



TEC de Monterrey®

DEL SISTEMA TECNOLÓGICO DE MONTERREY

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY
CAMPUS CIUDAD DE MÉXICO

ESCUELA DE DISEÑO, INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

Microgeneración de energía a partir de fuentes alternas

IMT José Fernando Lastra García
IMT Luis Eduardo Colonnier Sánchez
IMT Brian Antonio Brenes Uribe



Asesor: Dr. Rogelio Bustamante Bello

Proyecto de Ingeniería Mecatrónica

México, D.F.

Mayo 2012

Índice

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	14
1.1 METAS	14
1.2 OBJETIVO GENERAL	14
1.3 OBJETIVOS PARTICULARES	14
CAPÍTULO 2: ANTECEDENTES	15
2.1 HISTORIA	16
2.2 SITUACIÓN INTERNACIONAL	18
2.3 SITUACIÓN NACIONAL	18
2.4 INTRODUCCIÓN A LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA	19
2.5 ESTUDIO AMBIENTAL	19
2.6 EL CICLO DE LA ENERGÍA	20
2.7 EL CICLO DEL AGUA	20
2.8 EL CICLO DEL CARBONO	21
2.9 CAMBIO CLIMÁTICO	22
2.9.1 <i>Cambio climático en México</i>	22
2.9.2 <i>Adaptación al cambio climático en México</i>	23
2.10 GENERACIÓN DE ENERGÍA	23
2.10.1 <i>Generación de energía en México</i>	23
2.10.2 <i>Fuentes renovables</i>	25
2.10.3 <i>Fuentes no renovables</i>	25
2.10.4 FUENTES RENOVABLES CONVENCIONALES Y NO CONVENCIONALES	25
2.10.4.1 <i>Convencionales</i>	25
2.10.4.1.1 <i>Energía hidráulica</i>	25
2.10.4.1.2 <i>Energía solar térmica</i>	26
2.10.4.1.3 <i>Energía eólica</i>	26
2.10.4.1.4 <i>Energía de biomasa</i>	27
2.10.4.1.5 <i>Energía geotérmica</i>	28
2.10.5 FUENTES NO RENOVABLES CONVENCIONALES Y NO CONVENCIONALES	28
2.10.5.1 <i>Convencionales</i>	28
2.10.5.1.1 <i>Energía fósil</i>	28
2.10.5.1.2 <i>Energía nuclear</i>	29
2.10.5.1.3 <i>Pilas</i>	29
2.10.6 DIAGRAMA CLASIFICACIÓN DE ENERGÍA	32
2.10.7 SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA	32
CAPÍTULO 3: ESTADO DEL ARTE	34
3.1 INTRODUCCIÓN A LAS ENERGÍAS RENOVABLES	34
3.2 ENERGÍAS RENOVABLES CONVENCIONALES	35
3.2.1 <i>Minihidroeléctrica</i>	35
3.3 ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES	35
3.3.1 <i>Celdas de combustible</i>	35
3.3.2 <i>Celdas de polímero sólido o membrana de intercambio de protones (PEM)</i>	36

3.3.3 Direct Ethanol Fuel Cell (DEFC)	38
3.4 ENERGÍAS NO RENOVABLES NO CONVENCIONALES	38
3.4.1 <i>Baterías activadas por agua</i>	38
3.5 INVESTIGACIÓN, SELECCIÓN Y ADQUISICIÓN DE LOS SISTEMAS A EVALUAR	39
3.5.1 <i>Dispositivos investigados</i>	39
3.5.1.1 <i>Water Activated Batteries (de NoPoPo)</i>	39
3.5.1.2 <i>Direct Ethanol Fuel Cell (DEFC)</i>	40
3.5.1.3 <i>Celdas de hidrógeno H – Series</i>	41
3.5.1.4 <i>Cargador de energía portátil a base de hidrógeno (MINIPAK)</i>	42
3.5.1.5 <i>Arreglo Pilas de Agua (ASYL Power)</i>	43
3.5.2 <i>Dispositivos seleccionados</i>	45
3.6 <i>Pruebas de los dispositivos seleccionados</i>	45
3.6.1 <i>Pruebas NoPoPo Batteries</i>	45
3.6.2 <i>Pruebas DEFC</i>	45
3.7 CONFIGURACIÓN GENERAL DEL SISTEMA	46
3.8 SUBSISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA INVESTIGADOS	47
3.8.1 <i>EH4205 (Subsistema de almacenamiento de energía. Fabricante: ALD)</i>	47
3.8.2 <i>EH1D (Fabricante: FemtoGen)</i>	47
CAPÍTULO 4: EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS NO CONVENCIONALES DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA	49
4.1 DESARROLLO DEL PROYECTO	49
4.2 DISEÑO MECÁNICO DEL MONTAJE DE LA CELDA DEFC	49
TAPA SUPERIOR	50
4.3 PROTOCOLOS DE PRUEBAS	53
<i>Celda de combustible de etanol directa (DEFC)</i>	53
<i>NoPoPo Batteries</i>	53
4.3.1 <i>Protocolo de pruebas DEFC</i>	53
<i>Tabla 5. Tabla utilizada para las mediciones del protocolo de pruebas de la DEFC.</i>	55
4.3.2 <i>Protocolo de pruebas NoPoPo Batteries</i>	55
4.4. RESULTADOS DE PRUEBAS	56
4.4.1. <i>Resultados obtenidos de las pruebas de la celda DEFC</i>	56
4.4.2 <i>Resultados obtenidos NoPoPo Batteries</i>	70
CAPÍTULO 5: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS PRUEBAS	76
5.1 <i>Análisis de resultados DEFC</i>	76
5.1.1 <i>Resultados DEFC peor desempeño</i>	76
5.1.2 <i>Resultados DEFC mejor desempeño</i>	78
5.1.3 <i>Resumen de resultados DEFC</i>	79
5.1.4 <i>Energía total del sistema DEFC</i>	81
5.2 <i>Análisis de resultados baterías NoPoPo</i>	83
5.2.1 <i>Resultados baterías NoPoPo peor desempeño</i>	83
5.2.2 <i>Resultados baterías NoPoPo mejor desempeño</i>	84
5.2.3 <i>Resumen resultados baterías NoPoPo</i>	85

5.2.4 Tiempo de operación y energía total del sistema	85
CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES	87
6.1 TRABAJO A FUTURO	87
REFERENCIAS	89
BIBLIOGRÁFICAS:	89
INTERNET:	89
ANEXOS	94
ANEXO 1	94
<i>Diagrama de Gantt y división de actividades</i>	94
ANEXO 2	95
<i>Generación de energía en México</i>	95
ANEXO 3	95
<i>Reacciones químicas en una celda PEM</i>	96
<i>Reacciones químicas en una celda DEFC</i>	96
ANEXO 4	97
Otros modelos de las celdas de hidrógeno H-Series	97
H-20	97
H-30	97
H-100	98
H-200	99
ANEXO 5	101
<i>Teorema de transferencia de potencia máxima</i>	101
ANEXO 6	102
<i>Cálculo de la energía en los dispositivos</i>	102

Índice de Tablas

Tabla 1: Escala de generación de energía.	15
Tabla 2: Desarrollo de la capacidad instalada	24
Tabla 3: Capacidad efectiva instalada por tipo de generación.	24
Tabla 4: La contaminación por pilas y baterías en México.	31
Tabla 5: Tabla utilizada para las mediciones del protocolo de pruebas de la DEFC.	55
Tabla 6: Resultados <i>DEFC</i> al 5% de concentración de etanol y carga de 50Ω [Prueba 1]	57
Tabla 7: Resultados <i>DEFC</i> al 5% de concentración de etanol y carga de 50Ω [Prueba 2]	57
Tabla 8: Resultados <i>DEFC</i> al 5% de concentración de etanol y carga de 100Ω [Prueba 1]	58
Tabla 9: Resultados <i>DEFC</i> al 5% de concentración de etanol y carga de 100Ω [Prueba 2]	59
Tabla 10: Resultados <i>DEFC</i> al 5% de concentración de etanol y carga de 200Ω [Prueba 1]	60
Tabla 11: Resultados <i>DEFC</i> al 5% de concentración de etanol y carga de 200Ω [Prueba 2]	60
Tabla 12: Resultados <i>DEFC</i> al 10% de concentración de etanol y carga de 50Ω [Prueba 1]	61
Tabla 13: Resultados <i>DEFC</i> al 10% de concentración de etanol y carga de 50Ω [Prueba 2]	62
Tabla 14: Resultados <i>DEFC</i> al 10% de concentración de etanol y carga de 100Ω [Prueba 1]	63
Tabla 15: Resultados <i>DEFC</i> al 10% de concentración de etanol y carga de 100Ω [Prueba 2]	63
Tabla 16: Resultados <i>DEFC</i> al 10% de concentración de etanol y carga de 200Ω [Prueba 1]	64
Tabla 17: Resultados <i>DEFC</i> al 10% de concentración de etanol y carga de 200Ω [Prueba 2]	65
Tabla 18: Resultados <i>DEFC</i> al 15% de concentración de etanol y carga de 50Ω [Prueba 1]	66
Tabla 19: Resultados <i>DEFC</i> al 15% de concentración de etanol y carga de 50Ω [Prueba 2]	66
Tabla 20: Resultados <i>DEFC</i> al 15% de concentración de etanol y carga de 100Ω [Prueba 1]	67
Tabla 21: Resultados <i>DEFC</i> al 15% de concentración de etanol y carga de 100Ω [Prueba 2]	68
Tabla 22: Resultados <i>DEFC</i> al 15% de concentración de etanol y carga de 200Ω [Prueba 1]	69
Tabla 23: Resultados <i>DEFC</i> al 15% de concentración de etanol y carga de 200Ω [Prueba 2]	69
Tabla 24: Resultados NoPoPo Batteries recarga 1 con 150 Ω.	71
Tabla 25: Resultados NoPoPo Batteries recarga 2 con 150 Ω.	71
Tabla 26: Resultados NoPoPo Batteries recarga 3 con 150 Ω.	72

Tabla 27: Resultados NoPoPo Batteries recarga 1 con 250 Ω .	72
Tabla 28: Resultados NoPoPo Batteries recarga 2 con 250 Ω .	73
Tabla 29: Resultados NoPoPo Batteries recarga 3 con 250 Ω .	73
Tabla 30: Resultados NoPoPo Batteries recarga 1 con 500 Ω .	74
Tabla 31: Resultados NoPoPo Batteries recarga 2 con 500 Ω .	74
Tabla 32: Resultados NoPoPo Batteries recarga 1 con 1000 Ω .	75
Tabla 33: Resultados NoPoPo Batteries recarga 2 con 1000 Ω .	75
Tabla 34: Resultados <i>DEFC</i> peor desempeño al 5% de concentración de etanol y carga de 50 Ω [Prueba 1]	76
Tabla 35: Resultados <i>DEFC</i> peor desempeño al 5% de concentración de etanol y carga de 50 Ω [Prueba 2]	77
Tabla 36: Resultados <i>DEFC</i> mejor desempeño al 15% de concentración de etanol y carga de 200 Ω [Prueba 1]	78
Tabla 37: Resultados <i>DEFC</i> mejor desempeño al 15% de concentración de etanol y carga de 200 Ω [Prueba 2]	78
Tabla 38: Resultados del peor desempeño NoPoPo Batteries.	83
Tabla 39: Resultados del mejor desempeño NoPoPo Batteries.	84

Índice de Figuras

Figura 1. Presa El Cajón, Nayarit	17
Figura 2. La Ventosa, Oaxaca	17
Figura 3. Ciclo de la energía	20
Figura 4. Ciclo del agua	21
Figura 5. Ciclo del carbono	21
Figura 6. Energía Hidráulica	26
Figura 7. Energía solar térmica	26
Figura 8. Energía eólica	27
Figura 9. Biomasa vegetal	27
Figura 10. Energía geotérmica	28
Figura 11. Energía fósil (carbón)	29
Figura 12. Energía nuclear	29
Figura 13. Tipos de pilas	30
Figura 14: Diagrama de clasificación de fuentes de energía	32
Figura 15. Celda de combustible	36
Figura 16. Funcionamiento de una celda de combustible	37
Figura 17. NoPoPo Batteries	40
Figura 18. Curvas características H-12	41
Figura 19. MINIPAK	42
Figura 20. HYDROFILL	43
Figura 21. HYDROSTIK	43
Figura 22. Celda ASYL Power	44
Figura 23. Configuración general del sistema de micorgeneración y aprovechamiento de energía	46
Figura 24. Cosechador de energía EH4205	47
Figura 25. Cosechador de energía EH1D	48

Figura 26. Diseño de la tapa frontal de la DEFC	50
Figura 27. Diseño de la tapa superior de la DEFC	50
Figura 28. Diseño de la tapa inferior de la DEFC	51
Figura 29. Diseño de la tapa frontal de la DEFC	51
Figura 30. Diseño en SolidWorks de la celda DEFC	52
Figura 31. Partes del dispositivo de la DEFC	53
Figura 32. Circuito de pruebas de la DEFC	54
Figura 33. Circuito de pruebas de las NoPoPo Batteries	56
Figura 34. Gráficas de potencia <i>DEFC</i> al 5% de concentración de etanol y carga de 50 Ω	58
Figura 35. Gráficas de potencia <i>DEFC</i> al 5% de concentración de etanol y carga de 100 Ω	59
Figura 36. Gráficas de potencia <i>DEFC</i> al 5% de concentración de etanol y carga de 200 Ω	61
Figura 37. Gráficas de potencia <i>DEFC</i> al 10% de concentración de etanol y carga de 50 Ω	62
Figura 38. Gráficas de potencia al 10% de concentración de etanol y carga de 100 Ω	64
Figura 39. Gráficas de potencia <i>DEFC</i> al 10% de concentración de etanol y carga de 200 Ω	65
Figura 40. Gráficas de potencia <i>DEFC</i> al 15% de concentración de etanol y carga de 50 Ω	67
Figura 41. Gráficas de potencia <i>DEFC</i> al 15% de concentración de etanol y carga de 100 Ω	68
Figura 42. Gráficas de potencia <i>DEFC</i> al 15% de concentración de etanol y carga de 200 Ω	70
Figura 43. Resultados recarga 1 NoPoPo Batteries con 150 Ω	71
Figura 44. Resultados recarga 2 NoPoPo Batteries con 150 Ω	71
Figura 45. Resultados recarga 3 NoPoPo Batteries con 150 Ω	72
Figura 46. Resultados recarga 1 NoPoPo Batteries con 250 Ω	72
Figura 47. Resultados recarga 2 NoPoPo Batteries con 250 Ω	73
Figura 48. Resultados recarga 3 NoPoPo Batteries con 250 Ω	73
Figura 49. Resultados recarga 1 NoPoPo Batteries con 500 Ω	74
Figura 50. Resultados recarga 2 NoPoPo Batteries con 500 Ω	74
Figura 51. Resultados recarga 1 NoPoPo Batteries con 1000 Ω	75
Figura 52. Resultados recarga 7 NoPoPo Batteries con 1000 Ω	75

Figura 53. Gráficas de potencia <i>DEFC</i> al 5% de concentración de etanol y carga de 50Ω	77
Figura 54. Gráficas de potencia <i>DEFC</i> al 15% de concentración de etanol y carga de 200Ω [Prueba 2]	79
Figura 55. Resumen de resultados <i>DEFC</i> [Prueba 1]	80
Figura 56. Resumen de resultados <i>DEFC</i> [Prueba 2]	80
Figura 57. Gráficas de energía total con diferente concentración <i>DEFC</i> [Prueba 1]	81
Figura 58. Gráficas de energía total con cargas variables <i>DEFC</i> [Prueba 1]	81
Figura 59. Gráficas de energía total con diferente concentración <i>DEFC</i> [Prueba 2]	82
Figura 60. Gráficas de energía total con cargas variables <i>DEFC</i> [Prueba 2]	82
Figura 61. Gráfica del peor desempeño NoPoPo Batteries	83
Figura 62. Gráfica del mejor desempeño NoPoPo Batteries	84
Figura 63. Resumen de resultados obtenidos NoPoPo Batteries	85
Figura 64. Tiempo de operación NoPoPo Batteries	86
Figura 65. Energía total NoPoPo Batteries	86

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

La energía es una parte vital para la sociedad moderna debido a que permite el movimiento de las personas y bienes, el continuo avance de la tecnología y la vida como la conocemos.

Actualmente las fuentes de energía disponibles, como lo son el petróleo crudo, el carbón y el gas natural, tienen una gran ventaja al satisfacer las crecientes necesidades de la humanidad (estacionarias o de transportación). Esta demanda de energía seguirá incrementando debido al continuo crecimiento global de la población.

Sin embargo, es un hecho que dicha demanda difícilmente podrá ser satisfecha ya que los combustibles fósiles están limitados y además se encuentran en regiones muy selectas a través del planeta. Desafortunadamente, el uso de estos combustibles ha dado como resultado una serie de consecuencias negativas, incluyendo la severa contaminación con la que hoy vivimos.

Por razones económicas y ambientales es necesario desarrollar tecnologías que utilicen energías alternas.

1.1 Metas

En este proyecto se desea alcanzar un conocimiento detallado acerca del panorama actual de la microgeneración de energía enfocándonos en las energías alternas no convencionales, para así desarrollar una propuesta cuya relevancia cambiará el enfoque tradicional que se tiene sobre la generación de energía en México.

1.2 Objetivo general

Demostrar que es posible sustituir fuentes de energía no renovables convencionales por dispositivos de energías alternas no convencionales para poder operar sistemas que consuman una potencia en el orden de los miliWatts.

1.3 Objetivos particulares

- Investigar, cotizar y evaluar de manera teórica dispositivos de micro generación de energía.
- Seleccionar y adquirir los dispositivos mejor evaluados técnica y económicamente.

- Caracterizar, evaluar y analizar los sistemas para obtener las capacidades de generación de potencia, así como sus posibles aplicaciones.

CAPÍTULO 2: ANTECEDENTES

Desde hace ya varios años la energía eléctrica ha logrado producirse a partir de diferentes fuentes y hoy en día llega a generarse en centrales eléctricas, hidroeléctricas, térmicas, nucleares, solares, eólicas, geotérmicas, etc. También existen algunas fuentes de menor escala, tal es el caso de las pilas que funcionan a partir de energía química y muy recientemente se han desarrollado celdas a partir de diferentes combustibles. [I]

La microgeneración es el término utilizado para describir la generación de electricidad de manera amigable con el ambiente en una escala pequeña para uso individual del consumidor. Existen distintas escalas dentro de la generación de energía, las cuales abarcan diferentes rangos según la literatura consultada. Basándonos en dichas referencias, es posible unificar los diferentes criterios en la siguiente clasificación:

Tipo de Generación	Escala de energía
Microgeneración	Menor a 100 W
Minigeneración	Alrededor de 1 kW
Generación	Mayor a 1 MW

Tabla 1. Escala de generación de energía.¹

La microgeneración se distingue de la generación convencional, ya que ésta última es la producción de electricidad por grandes generadores que la envían a través de los sistemas de transmisión y distribución hacia las casas, granjas, comercios e industrias.

Los sistemas de microgeneración deben utilizar electricidad generada por fuentes de energía amigables con el medio ambiente, tales como paneles solares, hidráulicas, aerogeneradores a pequeña escala, biomasa, materiales piezoeléctricos, celdas de combustible y otras fuentes de energía alternas. [II]

La microgeneración surge en primera instancia en lugares donde no era accesible el suministro a la red eléctrica tradicional, utilizándose en esos casos esquemas aislados de generación. Los más utilizados son: pequeños aerogeneradores y

¹ Esta clasificación se propuso por el equipo de trabajo y pretende homogeneizar las diferentes escalas que se encontraron en las fuentes consultadas.

paneles fotovoltaicos. En los últimos años se han implementado soluciones de microgeneración conectadas a la red, donde la energía generada es consumida localmente, y los excedentes pueden ser devueltos a la misma.

El concepto de microgeneración se enfoca generalmente en centros con pequeños consumos de energía, ya sea en pequeñas ciudades o lugares aislados de redes eléctricas donde no llega el suministro por la vía tradicional.

La microgeneración, que utiliza fuentes renovables como lo son energía solar, eólica, biomasa y microhidráulica, presenta la ventaja de funcionar con recursos locales y menos agresivos con el ambiente.

Los beneficios principales de la microgeneración con energías renovables son la diversificación del “*energy mix*”² con fuentes locales, la protección del medio ambiente (en la mayoría de los casos) y la generación de conciencia social en cuanto al uso eficiente de la energía, ya que permite ver de modo más detallado la cantidad de recursos necesarios para generar la misma. [III]

2.1 Historia

La historia de la generación de electricidad en México se remonta al año de 1937, cuando México vivía circunstancias difíciles en cuanto al abastecimiento y la cobertura de servicio, debido a que éste se encontraba en manos privadas. Los objetivos de desarrollo, tanto en áreas rurales como urbanas, no eran correspondidos por las empresas privadas que tenían menos del 38% de cobertura de energía eléctrica, y por esta razón en agosto de 1937 se crea la Comisión Federal de Electricidad con el objetivo de construir la infraestructura necesaria para abastecer de energía eléctrica a toda la población.

La capacidad de generación alcanzada por la CFE no pudo ser igualada por las empresas privadas y hacia 1960, existía una capacidad instalada de 2,308 Megawatts, de los cuales la CFE generaba el 54%. El resto se encontraba en manos de empresas como *Mexican Light* que producía tan sólo el 25% y la *American and Foreign* que producía el 12%; el 9% restantes eran compañías de menor tamaño.

Debido a que en más de 20 años solo se había podido incrementar la capacidad en 10%, el 27 de septiembre de 1960, el Gobierno Mexicano, encabezado por el Presidente Adolfo López Mateos, toma la decisión de nacionalizar la industria. Con

² *Energy mix* o matriz energética: es una tabla o gráfica donde se analizan las diferentes fuentes energéticas de un país, qué se hace con ellas, de dónde provienen y cómo las usan. Se refiere a la distribución, dentro de un área geográfica dada, del consumo de las diferentes fuentes de energía. [IV]

la nueva inversión obtenida del estado aseguró la creación de infraestructura en todo el territorio nacional, las instalaciones que habían pertenecido a las empresas de capital extranjero fueron compradas y se incrementó la cobertura del servicio a un ritmo acelerado.

Actualmente, la capacidad instalada que reporta la CFE es de 49,861 Megawatts, dividiéndose esta en diferentes fuentes, las termoeléctricas producen el 44.82%, mientras que 22.98% corresponde a los Productores Independientes de Energía, las hidroeléctricas contribuyen con el 22.15%, las carboeléctricas producen el 5.21%, y en menor grado, las geotérmicas contribuyen con el 2.74% de la producción nacional, y finalmente las eoloeléctricas con el 0.17%.

En el territorio de la República Mexicana se cuenta con 177 centrales generadoras, que producen 49,861 Megawatts, así mismo, se cuenta con una red de transmisión de 48,527 km. En los últimos años se ha tenido una clara preocupación por el abastecimiento de energía, pues se busca que cubra el ritmo de crecimiento urbano e industrial que el país presenta. El proyecto hidroeléctrico más importante de los últimos años es el Cajón de Nayarit, el cual tuvo una inversión de más de 80 mdd y su capacidad instalada es de 750 MW. Esta obra de grandes dimensiones tiene una cortina que se eleva hasta 395 metros, y cuenta con un área de la cuenca hidrológica de 54,198 km². Esta es una de las obras de ingeniería más importantes del país y ha servido como preámbulo para la proyección de una empresa de mayor dimensión, la Hidroeléctrica La Yesca, en Nayarit, cuya obra costará cerca de 8 mmdp y generará 750 MW.

Dentro del programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico se busca incrementar la capacidad futura. Hacia el año 2014 se estima tener una generación total de 22,126 MW, y 28, 527 km de líneas de transmisión. Por otro lado, el reto es la generación de energía sustentable que a largo plazo disminuya el uso de energías no renovables, como el petróleo y la gasolina. Por eso, el Gobierno Federal está promoviendo el uso de energías alternas. El Instituto de Investigaciones Eléctricas y la Comisión Federal de electricidad impulsaron el primer parque eólico en el Istmo de Tehuantepec, en La Ventosa, Oaxaca, la cual tiene 98 aerogeneradores que logran producir 83 Megawatts, en 700 hectáreas.

[V]



Figura 1. Presa El Cajón, Nayarit [VI]



Figura 2. La Ventosa, Oaxaca [VII]

2.2 Situación internacional

El departamento de Energía de los Estados Unidos reporta que las principales fuentes de energía renovable que utilizan son: agua, madera, biocombustibles, aire, desperdicios orgánicos, geotérmica, y el sol. Todo esto para cubrir aproximadamente el 8% de sus necesidades energéticas en 2009.

También en 2009 los productores de electricidad en Estados Unidos consumieron 53% de energía renovable para producir electricidad. Aproximadamente 26% de la energía renovable utilizada fue a través de biomasa que fue consumida para aplicaciones industriales y en combustibles de transportes (etanol y biodiesel). La mayor parte de la electricidad renovable generada proviene de la energía hidroeléctrica (66%), seguida por el viento (17%), madera (9%), desperdicios de biomasa (4%), geotérmica (4%), y solar (0.2%).

Vale la pena mencionar que Estados Unidos es el segundo productor de electricidad renovable, ya que China lidera el mundo debido a la producción masiva hidroeléctrica. Seguido de Estados Unidos y muy cerca se encuentran Brasil y Canadá. [VIII]

2.3 Situación nacional

México es un país exportador de petróleo rico en combustibles fósiles. Sin embargo, las normas y la escasa inversión en estos recursos nos aseguran que no será posible explotar estos recursos naturales de una manera suficiente para lograr un crecimiento macroeconómico estable. Particularmente, la producción de gas natural ha sido insuficiente para satisfacer las necesidades domésticas, además de perjudicar al sector eléctrico. Es por eso que esta situación ha generado el interés de la Secretaría de Energía (SENER) y de Comisión Federal de Electricidad (CFE) para desarrollar fuentes domésticas de energía renovable y así complementar el uso de combustibles fósiles en la generación de electricidad.

El sistema eléctrico mexicano es operado principalmente por Comisión Federal de Electricidad (CFE), ya que sirve al 95% de la población. Aproximadamente el 73% de la generación eléctrica en México está basada en combustibles fósiles. Mientras que la energía hidroeléctrica aporta el 14% de la generación total. En el estado de Oaxaca existen recursos eólicos de clase mundial, los cuales ofrecen un prospecto económico competitivo dentro del término medio, es decir permiten ubicarnos dentro de los extremos de la riqueza y de la pobreza. El desarrollo de estos recursos ofrece un beneficio económico local, dentro de las bases económicas nacionales y del ambiente. [IX]

2.4 Introducción a la generación de energía eléctrica

En general, todas las actividades industriales ofrecen beneficios a la vez que generan riesgos o deterioros tanto al medio ambiente como a la sociedad. Los riesgos nulos no existen debido a que físicamente no es posible eliminarlos; los riesgos pueden ser mayores o menores, y es mediante la educación y la tecnología que se les puede disminuir hasta un nivel aceptable. [X]

Los beneficios de la energía eléctrica son importantes y bien conocidos y se pueden medir en calidad de vida, asistencia técnica, alfabetismo, población con acceso a agua potable, expectativa de vida, entre otros; estos indicadores aumentan con el consumo de energía por habitante, no porque gastar sea beneficioso, sino porque el uso racional de la misma lo es.

La relación entre energía y medio ambiente es innegable. Para poder reducir la degradación ambiental debemos reconocer que el cuidado del medio ambiente está directamente relacionado con la supervivencia de la humanidad. Se deben examinar cuidadosamente las opciones energéticas para encontrar alternativas viables que en su conjunto permitan minimizar el impacto sobre el medio ambiente. [XI]

2.5 Estudio ambiental

El planeta Tierra cuenta con muchas propiedades y características que hacen que éste sea un planeta demasiado complejo. La Tierra se encuentra rodeada de una capa llamada atmósfera, la cual es la encargada de proteger la vida en la Tierra, absorbiendo en la capa de ozono una parte de la radiación solar ultravioleta, y reduciendo de esta forma las diferencias de temperatura entre el día y la noche. Además, la atmósfera funciona como escudo protector contra los meteoritos. Esta capa está formada principalmente de nitrógeno (78%) y oxígeno (21%). Es importante mencionar que estos componentes son transparentes a la radiación solar que entra a la Tierra y a la radiación que ésta emite.

La atmósfera también está formada por dióxido de carbono (CO_2), el cual representa el 0.03% del volumen del aire y se encarga de realizar procesos importantes. Las plantas necesitan CO_2 para realizar la fotosíntesis. El vapor de agua se encuentra en cantidad muy variable, debido a que participa en la formación de las nubes y junto con el dióxido de carbono ayudan a retener el calor de los rayos solares, además de mantener la temperatura atmosférica que permite la vida en el planeta.

Otro elemento del cual está formada la atmósfera es el vapor de agua, es el más abundante pero no está distribuido de igual manera a lo largo de la capa atmosférica. Este elemento participa en la formación de nubes y es el principal causante del efecto invernadero.

Existen otros gases como el metano, ozono y óxidos nitrosos que se encuentran en la atmósfera. La radiación infrarroja absorbida por todos estos gases y reflejada en diferentes direcciones hace que se logre una temperatura ideal en la Tierra, por lo que brindan las condiciones ideales para que exista la vida.

Los componentes del sistema climático global consisten en la atmósfera (incluyendo la tropósfera y la estratósfera), la geosfera, la cual incluye la tierra sólida (litósfera), los océanos, ríos, masa de agua (hidrósfera) y nieve; por último la biosfera, donde la flora, fauna y la mayor parte de los organismos vivos y muertos se pueden encontrar.

En nuestro planeta existen diferentes ciclos que estudiados de manera individual también determinan las condiciones climáticas de cada región. [XII]

2.6 El ciclo de la energía

La mayor parte del total de la energía que recibe la Tierra del Sol es absorbida por las nubes y los gases atmosféricos, mientras que otra parte es refractada hacia la superficie. Aproximadamente la mitad de la energía es absorbida por la tierra, gracias a la superficie terrestre y al mismo tiempo esta energía es re-irradiada y transferida a la atmósfera de regreso por medio de calor latente por convección. Este ciclo termina cuando la atmósfera alcanza su balance para así mantener la temperatura ideal en la Tierra. [XIII]

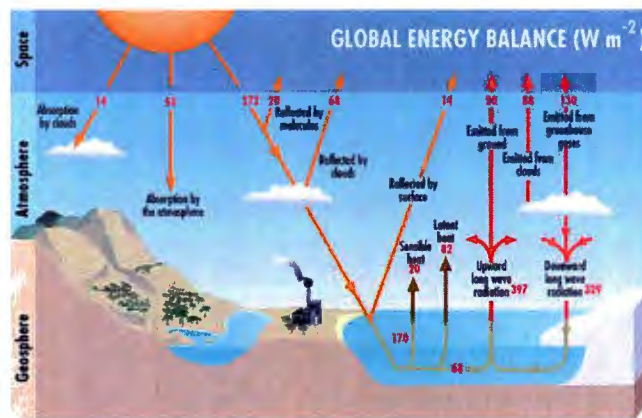


Figura 3. Ciclo de la energía [XIII]

2.7 El ciclo del agua

El ciclo del agua inicia con la evaporación del agua de los océanos y mantos acuíferos. Esta agua es transportada hacia la atmósfera, donde por medio de la condensación logra formar nubes, y regresa a la superficie terrestre gracias a la precipitación en forma de lluvia o nieve. Como se sabe el ciclo del agua es vital

para nuestro planeta, ya que si no hay agua no hay vida, pero también el ciclo del agua ayuda a regular el clima, transporta la brisa de los océanos hacia los continentes y de esta forma mantiene el ciclo funcionando. El vapor de agua es el elemento principal del efecto invernadero y es el encargado de mantener la temperatura del planeta. Es por eso que el ciclo del agua y el ciclo de la energía están altamente relacionados. [XIV]

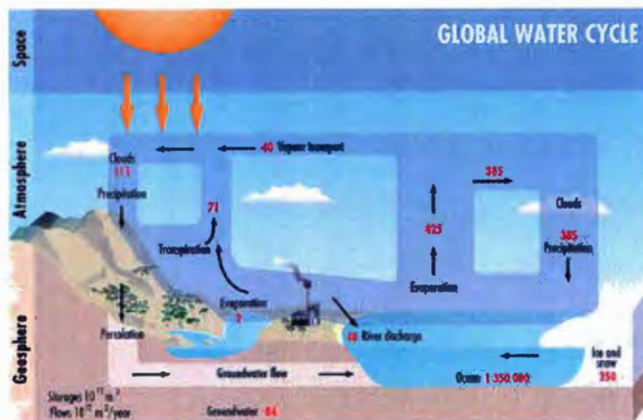


Figura 4. Ciclo del agua [XIV]

2.8 El ciclo del carbono

El ciclo del carbono es de gran importancia, debido a que ayuda a regular el clima en la Tierra, además durante este ciclo se ven implicadas actividades básicas para el sostenimiento de la vida. Lo que hay que resaltar de este ciclo es la interacción que tiene la atmósfera, biósfera e hidrósfera durante el intercambio del carbono, ya que si existe un balance de este elemento, el ciclo nos puede brindar condiciones óptimas para que exista la vida, pero si existe una perturbación, como por ejemplo un exceso de gases de carbono la Tierra sufre un desorden que conocemos hoy en día como cambio climático. [XV]

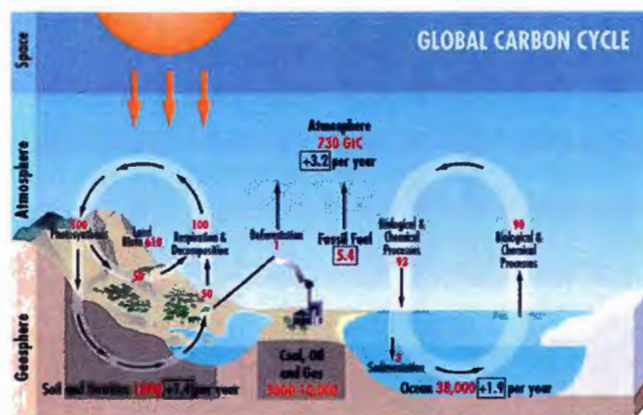


Figura 5. Ciclo del carbono [XV]

2.9 Cambio climático

Cambio climático se refiere a cualquier cambio significativo con respecto al clima, por ejemplo, temperatura, precipitaciones o viento, que haya durado un extenso periodo. El cambio climático es el resultado de:

- Factores naturales, tales como cambios en la intensidad del Sol o pequeños cambios en la órbita terrestre alrededor del Sol.
- Procesos naturales dentro del sistema climático.
- Actividades humanas que cambien la composición de la atmósfera, a través de quema de combustibles fósiles, deforestación, reforestación, urbanización, desertificación, etc.

El cambio climático es un fenómeno que se manifiesta por el aumento que existe en la temperatura promedio del planeta, directamente relacionada con el aumento en la concentración de gases de efecto invernadero existentes en la atmósfera. Este aumento de la temperatura tiene como resultado la intensidad de los fenómenos climáticos en todo el planeta. [XVI]

2.9.1 Cambio climático en México

Los efectos del cambio climático en México estiman que la temperatura promedio aumente entre 3 y 5 grados centígrados afectando drásticamente al país con sequías en casi 50% de las tierras cultivables y el aumento del nivel del mar con daños considerables en zonas habitadas de la costa del Golfo de México y del Caribe. Los impactos previstos en México por cambio climático son:

- La temperatura en la superficie del mar en el Golfo de México, Caribe y Pacífico Mexicano puede aumentar entre 1 y 2°C, aumentando así las probabilidades de que los ciclones tropicales alcancen categorías mayores en la escala Saffir-Simpson.
- El ciclo hidrológico será más intenso, ya que se espera que aumente el número de tormentas, pero a su vez también existirán periodos de sequía más extremos y prolongados. En los últimos años se ha observado que el comportamiento del cambio climático en México coincide con este planteamiento.
- Existe la posibilidad que el número de incendios forestales sea mayor.
- Los pastizales, matorrales xerófilos y los bosques de encino se verán afectados. Para 2050, se estima un incremento fuerte en el porcentaje afectado, debido a que entre el 53 y 62% de las comunidades vegetales estarán sometidas a condiciones climáticas diferentes a las que se presentan hoy en día.
- Se prevé que habrá una menor disponibilidad de agua, dando como resultado que las actividades económicas de la región se vean afectadas, por ejemplo, la agricultura, fruticultura y el sector industrial.

- Se presentará una disminución en el área apta para el cultivo de maíz en la parte centro-sur del país.

México es uno de los mayores centros de biodiversidad en el planeta. El grupo biológico que se verá más afectado debido a las modificaciones del hábitat, es el grupo de los vertebrados. Aproximadamente México cuenta con 530 especies de mamíferos, de las casi 5,100 que existen en la Tierra, ocupando así nuestro país el tercer lugar por debajo de Indonesia y Brasil. [XVII]

2.9.2 Adaptación al cambio climático en México

Actualmente en México no existe una cultura generalizada de planeación con base en información climática. Los sectores del gobierno relacionados con agua, agricultura y bosques tienen una cierta conciencia de cómo enfrentar la condición extrema del clima que se puede llegar a vivir. Algunos de los sectores del gobierno e inclusive el sector privado, tienen interés de aprovechar los avances tecnológicos para la cuestión de predicción del clima. Se consideran al agua y a los bosques elementos de seguridad nacional, por lo que se han iniciado trabajos con el objetivo de definir estrategias de adaptación al cambio climático. [XVIII]

2.10 Generación de energía

Los procesos de generación de energía que existen hoy en día son ineficientes y altamente contaminantes en la mayoría de los casos, como por ejemplo los combustibles fósiles o las pilas. Los métodos convencionales tienen el gran problema de producir sustancias tóxicas no deseables en el medio ambiente, estos contaminantes no sólo son un peligro para el ser humano, sino también para el planeta, sus ecosistemas, flora y fauna.

Con el fin de tener en cuenta las ventajas y desventajas inherentes a cada tipo de energía, a continuación se explica más a detalle una clasificación general de las fuentes de energía.

2.10.1 Generación de energía en México

En México la Comisión Federal de Electricidad es la empresa del gobierno mexicano que genera, transmite, distribuye y comercializa energía eléctrica para casi 35.4 millones de clientes. La infraestructura para poder generar la energía eléctrica está constituida por 210 centrales generadoras, con una capacidad de 52,512 Megawatts.

La CFE produce energía eléctrica utilizando diferentes tecnologías y diferentes fuentes energéticas primarias. Cuenta con centrales termoeléctricas,

hidroeléctricas, carboeléctricas, geotermoeléctricas, eoloeléctricas y una nucleoeleétrica.

En la siguiente tabla se muestra el desarrollo de la capacidad instalada y de la generación sin zona centro:

		2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011*
Capacidad (MW)	CFE	36,855	36,971	38,422	37,325	37,470	38,397	38,474	38,927	39,704	39,270
	PIE's	3,495	6,756	7,265	8,251	10,387	11,457	11,457	11,457	11,907	11,907
	Total	40,350	43,727	45,687	45,576	47,857	49,854	49,931	50,384	51,611	51,177
Generación (TWh)	CFE	177.05	169.32	159.53	170.07	162.47	157.51	157.16	154.14	160.37	170.42
	PIE's	21.83	31.62	45.85	45.56	59.43	70.98	74.23	76.5	78.44	84.26
	Total	198.88	200.94	205.39	215.63	221.9	228.49	231.4	230.64	238.81	254.68

Tabla 2: Desarrollo de la capacidad instalada. [XIX]

En la siguiente tabla se muestra la capacidad efectiva instalada por tipo de generación al mes de diciembre de 2011:

Tipo de generación	Capacidad efectiva en MW	Porcentaje
Termoeléctrica	23,121.17	45.2%
Hidroeléctrica	11,210.90	21.9%
Carboeléctrica	2,600.00	5.1%
Geotermoeléctrica	886.60	1.7%
Eoloeléctrica	86.75	0.2%
Nucleoeleétrica	1,364.88	2.7%
Termoeléctrica (Productores Independientes)	11,906.90	23.3%
Total	51,177.20	100%

Tabla 3: Capacidad efectiva instalada por tipo de generación [XIX]

Como se puede observar en la tabla anterior, México todavía tiene una alta dependencia en generar energía por medio de hidrocarburos. Además de ser un sistema ineficiente de generación de energía, la quema de hidrocarburos produce niveles excesivos de contaminantes que se depositan en nuestros ecosistemas, por lo que hoy en día se debe buscar una solución más limpia y rentable para generar energía. [XIX]

2.10.2 Fuentes renovables

Son aquellas obtenidas de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen o porque son capaces de regenerarse por medios naturales. Las fuentes renovables han constituido una parte fundamental de la energía utilizada por los humanos desde tiempos antiguos, sobre todo la eólica, hidráulica y solar. [XX]

Con el invento de la máquina de vapor por James Watt, se van abandonando estas formas de aprovechamiento, por considerarse inestables en el tiempo y caprichosas y se utilizan cada vez más los motores eléctricos y térmicos, en una época en la que el todavía había escaso consumo no hacía prever un agotamiento de las fuentes ni los problemas ambientales que más tarde se desarrollarían.

Hacia la década de 1970 las energías renovables se consideraron una alternativa a las energías tradicionales, tanto por su disponibilidad presente y futura como por su menor impacto ambiental en el caso de las energías limpias. Actualmente estas energías son una realidad y no solo alternativas. [XXI]

2.10.3 Fuentes no renovables

Estas fuentes obtienen la energía a partir de recursos no renovables, es decir, una vez que se gastan no se pueden reponer, en algún momento se acabarán, y en la mayoría de los casos es necesario disponer de millones de años de evolución similar para contar nuevamente con ellos. Las reservas de este tipo de recursos son limitadas y eventualmente se agotan con su uso. Las principales fuentes de este tipo son: la energía nuclear y los combustibles fósiles como el petróleo, el gas natural y el carbón. [XX]

2.10.4 Fuentes renovables convencionales y no convencionales

2.10.4.1 Convencionales

2.10.4.1.1 Energía hidráulica

Se obtiene principalmente de la energía potencial acumulada en los saltos de agua. Las centrales hidroeléctricas aprovechan la energía de los ríos para poner en funcionamiento unas turbinas que mueven un generador eléctrico. Uno de los recursos más importantes cuantitativamente en la estructura de las energías renovables es la procedente de las instalaciones hidroeléctricas. La energía hidráulica es una fuente limpia y local pero para la que se necesitan construir infraestructuras que permitan aprovechar el potencial disponible con un coste nulo de combustible. El inconveniente de este tipo de energía es que depende de las condiciones climatológicas. [XX]



Figura 6. Energía Hidráulica [XX]

2.10.4.1.2 Energía solar térmica

Consiste en acumular la energía del sol a través de paneles solares y convertirla en calor el cual puede destinarse a satisfacer numerosas necesidades. Por ejemplo, se puede obtener agua caliente para consumo doméstico o industrial o para dar calefacción a hoteles, hogares o fábricas. En agricultura se pueden conseguir otro tipo de aplicaciones como son los invernaderos solares que favorecen la calidad y cantidad de las cosechas, los secaderos agrícolas que consumen menos energía si se combinan con un sistema solar, y plantas de purificación o desalinización de agua sin consumir ningún tipo de combustible. [XX]



Figura 7. Energía solar térmica [XX]

2.10.4.1.3 Energía eólica

A pesar de que la energía eólica capta su fuente en el viento, también es considerada una forma indirecta de energía solar, ya que según se ha estudiado, entre el uno y dos por ciento de la energía proveniente del sol, se convierte en viento, debido al movimiento del aire ocasionado por el desigual calentamiento de la superficie terrestre.

Entre sus ventajas se encuentran el ser no contaminante y el tener un costo mucho más bajo que la energía tradicional, sin contar su condición casi inagotable según la zona en que se instalen las torres. Lo que si puede llegar a ser caro es precisamente la instalación de los parques eólicos, cuyos costos sólo podrían disminuir si las centrales se instalan a menos de 17 kilómetros de las subestaciones eléctricas. [XXII]



Figura 8. Energía eólica [XXIII]

2.10.4.1.4 Energía de biomasa

Se define como la energía obtenida de la materia orgánica renovable de origen vegetal, animal o procedente de la transformación natural o artificial de la misma, puede producirse a través de su quema directa o de su procesamiento para conseguir otro tipo de combustible. Generalmente la biomasa se utiliza para producir electricidad mediante plantas de cogeneración eléctrica que aprovechan los residuos energéticos de otros procesos industriales como la producción de celulosa. Esta biomasa forestal se emplea como combustible en calderas, las que al producir vapor, son usadas en la generación de electricidad. [XXII]



Figura 9. Biomasa vegetal [XXIV]

2.10.4.1.5 Energía geotérmica

Corresponde a la energía calórica contenida en el interior de la tierra y que se transmite por conducción térmica hacia la superficie. En este sentido, las reservas hidrotérmicas son las más aprovechadas para fines energéticos, en particular para la generación eléctrica. Estas fuentes, contienen agua a alta presión y temperatura almacenada bajo la corteza de la tierra. [XXII]

La conversión de energía geotérmica en electricidad consiste en la utilización de un vapor, que pasa a través de una turbina que está conectada a un generador, produciendo electricidad.

Su principal ventaja es que los residuos que produce son mínimos y ocasionan menos impacto ambiental que los originados por el petróleo o el carbón. Entre sus inconvenientes se encuentran la emisión de ácido sulfúrico, la emisión de CO₂, la contaminación de aguas próximas con sustancias como arsénico o amoníaco, la contaminación térmica, el deterioro del paisaje y que no es posible transportarla debido a su origen. [XXV]



Figura 10. Energía geotérmica [XXVI]

2.10.5 Fuentes no renovables convencionales y no convencionales

2.10.5.1 Convencionales

2.10.5.1.1 Energía fósil

Los combustibles fósiles se pueden utilizar en forma sólida (carbón), líquida (petróleo) o gaseosa (gas natural). Estos combustibles son acumulaciones de seres vivos que vivieron hace millones de años y que se han fosilizado formando carbón o hidrocarburos. En el caso del carbón, se trata de bosques de zonas pantanosas, y en el caso del petróleo y el gas natural, de grandes masas de plancton marino acumuladas en el fondo del mar. En ambos casos la materia orgánica se descompuso parcialmente por falta de oxígeno y acción de la temperatura, la presión y las bacterias, de forma que quedó almacenada, formando moléculas con enlaces de alta energía.

Actualmente la energía más utilizada en el mundo es la energía fósil. Es de suma importancia medir con exactitud las reservas de combustibles fósiles del planeta, así se distinguen las reservas identificadas aunque no estén explotadas, y las reservas probables, que se podrían descubrir con las tecnologías futuras. Según los cálculos, el planeta puede suministrar energía durante 40 años más si sólo se utiliza petróleo y más de 200 años si se sigue utilizando el carbón. [XX]



Figura 11. Energía fósil (carbón) [XX]

2.10.5.1.2 Energía nuclear

Consiste en desintegrar el núcleo atómico de elementos pesados como el uranio (fisión nuclear) y liberar energía radiante y cinética. Las centrales termonucleares aprovechan esta energía para producir electricidad mediante turbinas de vapor de agua. La energía se obtiene al romper los átomos de minerales radiactivos en reacciones en cadena que se producen en el interior del reactor nuclear. Una consecuencia de la producción de este tipo de energía, son los residuos nucleares que pueden tardar miles de años en desaparecer además de que tardan mucho tiempo en perder la radiactividad. [XX]



Figura 12. Energía nuclear [XX]

2.10.5.1.3 Pilas

Las pilas son hoy en día la perfecta solución para disfrutar de diversos entretenimientos fijos y portátiles, como son los reproductores de música, cámaras digitales, juegos de vídeo, etc. Es por eso que sin esta fuente de energía portátil no sería posible que diversos dispositivos eléctricos y electrónicos existieran en la

actualidad. Las pilas se clasifican según el tipo de electrolito usado en su construcción, ya sea ácido, medianamente ácido y alcalino. Las pilas de tipo alcalino utilizan hidróxido de sodio o de potasio como principal componente, pero también las pilas se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Primarias o pilas. Son desechables, y son la mayoría de las pilas de uso doméstico.
- Secundarias o baterías. Éstas pueden recargarse, debido a que la transformación de energía química en eléctrica es reversible.
- Pilas tipo Leclanché o de cinc-carbón. Son las pilas comunes o también conocidas como “pilas secas”. Son las más baratas en el mercado y su desempeño es menor a las alcalinas.
- Pilas alcalinas o de cinc-dióxido de manganeso. Son las que ofrecen mayor duración dentro de la categoría de pilas no recargables de 1.5 V.
- Pilas de litio. Su costo es mayor con respecto a las alcalinas, ya que producen tres veces más energía que estas; se utilizan en dispositivos de alta descarga como las cámaras digitales.
- Pilas recargables de níquel-hidruro. Ofrecen un buen desempeño y son la mejor opción para remplazar a las pilas alcalinas desechables AA.
- Pilas recargables de ion-litio. Tienen la ventaja de poder almacenar gran cantidad de energía en volúmenes pequeños, además de contar con poco peso. Estas pilas son empleadas en videocámaras digitales, cámaras digitales y teléfonos celulares.
- Pilas recargables de níquel-cadmio. Almacenan menos energía que las pilas de níquel-hidruro, por lo que deben recargarse constantemente.

Actualmente no se conoce ningún estudio en el que se muestre el impacto que ocasiona el manejo inadecuado de las pilas y baterías hacia el ambiente en México. Al ser desechadas, las pilas se oxidan con el paso del tiempo y esto hace que liberen en el ambiente sus componentes en los suelos cercanos. Se considera que en México se desechan aproximadamente 35,500 toneladas de pilas y baterías al año. Desgraciadamente, en México las prácticas de reciclado han estado ausentes, por lo que se necesita pensar en alternativas para la generación de energía portátil. [2]



Figura 13. Tipos de pilas [2]

Problemática de las Pilas

Con el aumento de sistemas electrónicos fijos y portátiles, el uso de baterías cada día está en aumento siendo una gran problemática en cuestiones ecológicas debido a los contaminantes que estas contienen.

De acuerdo al reporte del Instituto Nacional de Ecología, actualmente no se conoce ningún estudio que evalúe el impacto al ambiente ocasionado por la utilización y manejo inadecuado de pilas y baterías en México; se sabe que varios componentes usados en su fabricación son tóxicos y por tanto la contaminación ambiental y los riesgos de afectar la salud y los ecosistemas dependen de la forma, lugar y volumen en que se ha dispuesto o tratado este tipo de residuos. [IV]

Periodo	PilasGeneradas*	Hg**	Cd**	Ni**	MnO2**	Ion-Li**
60 - 69	7,715	77	3	0	1,929	0
70 - 79	29,619	296	11.8	0	7,405	0
80 - 89	123,709	619	0	0	30,927	0
90 - 99	355,600	180	15,100.00	16,530	79,160	13.4
00 - 02	119,029	60	5,054.00	5,533	26,497	63.9
Total de pilas y baterías		635,673				
Total de contaminantes		1,232	20,168.8	22,063	145,918	77.3
Total de contaminantes generados en 43 años: 189,382 Toneladas						

Tabla 4. La contaminación por pilas y baterías en México. [IV]

2.10.6 Diagrama clasificación de energía

A continuación se presenta un diagrama que clasifica los diferentes tipos de fuentes de energía:

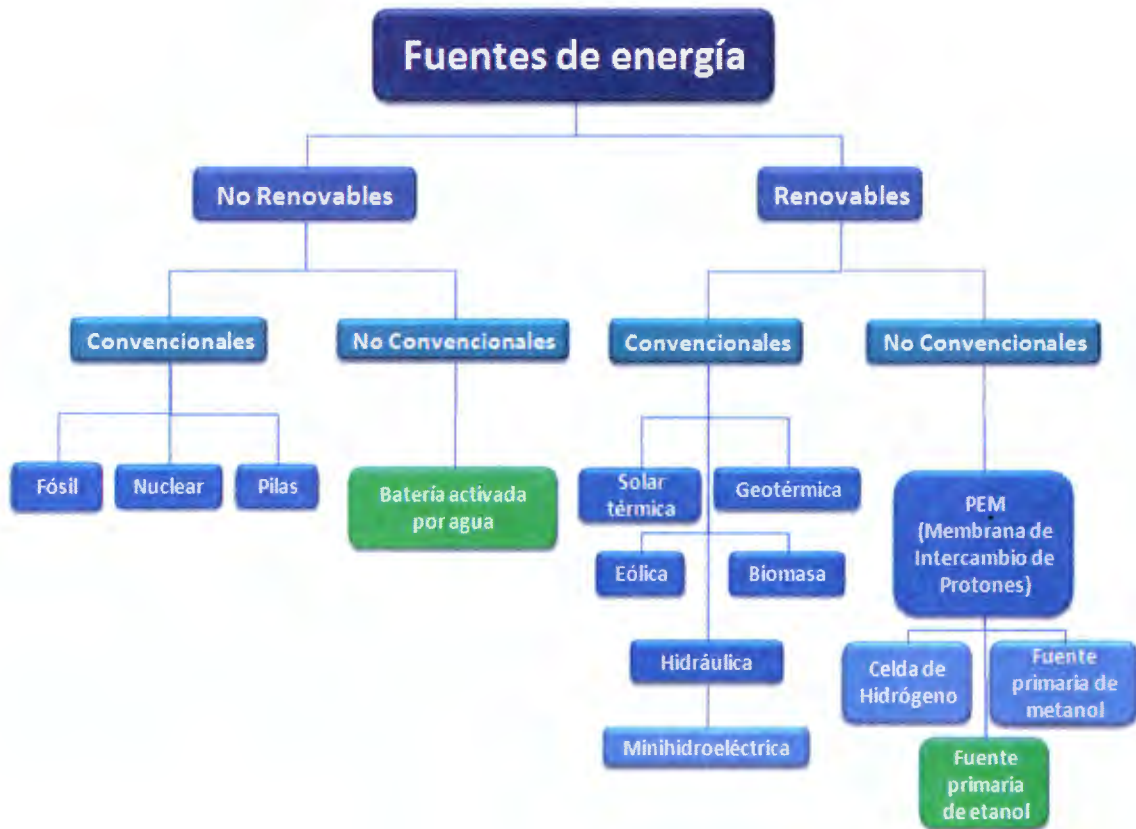


Figura 14: Diagrama de clasificación de fuentes de energía

2.10.7 Sistemas de almacenamiento de energía

El almacenamiento de energía forma parte, de una u otra forma, tanto de los procesos naturales como de los artificiales, de aprovechamiento de energía. Existen muchos tipos de sistemas de almacenamiento energético, por lo que su clasificación tiende a ser muy compleja. En la mayoría de los casos, son de importancia fundamental dos características:

- La calidad de energía almacenada.
- El tiempo de almacenamiento.

Así mismo son importantes, tanto la forma de energía que se va a consumir como las variaciones en la velocidad del consumo, pero los parámetros claves a

considerar cuando se comparan sistemas de almacenamiento son, en efecto, la densidad energética y el tiempo de almacenamiento.

Los combustibles fósiles representan, a la vez que una fuente de energía primaria, la mejor forma almacenable de energía. Por el contrario, la mayoría de las fuentes de energía renovables no proporcionan un flujo de energía constante y, al contrario de los combustibles fósiles, no son almacenables directamente: requieren de sistemas de almacenamiento. [3]

Conseguir almacenar la energía que producimos para utilizarla cuando la necesitamos, se ha convertido en uno de los principales problemas a los que se enfrentan hoy las energías renovables. Es por ello que se necesita de diferentes sistemas que cumplan con esta tarea.

A gran escala existen muchas maneras de almacenamiento de energía, tales como la hidroelectricidad bombeada, almacenamiento de energía con aire comprimido (CAES por sus siglas en inglés), volantes de inercia, baterías, almacenamiento de energía en superconductores magnéticos (SMES, por sus siglas en inglés), supercapacitores, almacenamiento térmico e hidrógeno. [XXVII]

Sin embargo, la mayoría de ellos tienen como función principal almacenar energía potencial, cinética, electroquímica, electromagnética o electrostática.

Dentro del campo del almacenamiento de energía eléctrica a pequeña escala podemos encontrar una serie de dispositivos y sistemas que cumplen con esta función. Algunos ejemplos son los módulos de cosecha de energía (*energy harvesting modules*), los convertidores para amplificar el voltaje (*boost converters*), y los cargadores de baterías. Muchos de estos sistemas están diseñados para aplicaciones de baja potencia, trabajo intermitente y almacenamiento prolongado. Además estos módulos capturan energía residual como un subproducto de un fenómeno ambiental natural o un proceso industrial, almacenando y acondicionando la energía para su uso en un momento posterior. [XXVIII]

CAPÍTULO 3: ESTADO DEL ARTE

3.1 Introducción a las energías renovables

Ante la problemática de la variación que ocasionalmente tienen los precios del petróleo y algunos otros combustibles, el impacto que esto causa sobre la economía, así como los problemas que se han presentado con el impacto al medio ambiente por las partículas de CO₂ y NO_x emitidas a la atmósfera y ante el riesgo de que el llamado efecto invernadero lleve al planeta a condiciones críticas, se ha estado impulsando el desarrollo y aplicación de nuevas fuentes de energía.

La calidad ambiental significa distintas cosas para personas diferentes, para algunos un ambiente de la más alta calidad, podría ser un ambiente virgen no explorado, un hábitat natural que no esté significativamente alterado por la intervención de los seres humanos, para otros, podría ser una bella ciudad, rica en cultura y logros de su población.

Otras personas pueden definir la calidad ambiental en términos de la disponibilidad eléctrica, aire limpio, vida salvaje, paz y quietud. Sin importar mucho estas definiciones, un ambiente de calidad es aquel que ofrece las condiciones de vida más favorables para las personas con distintos intereses en todo el mundo. [4]

Con el fin de acercarnos a un ambiente de calidad, en los últimos años se ha venido desarrollando tecnología que utiliza energías renovables. Este tipo de energías, también llamadas actualmente energías alternas pueden suplir a las energías o fuentes energéticas actuales, ya sea por su menor efecto contaminante, o fundamentalmente por su posibilidad de renovación.

El consumo de energía es uno de los medidores del progreso y bienestar de una sociedad. El concepto de crisis energética aparece cuando las fuentes de energía de las cuales se abastece la sociedad se agotan. Un modelo económico como el actual, cuyo funcionamiento depende de un continuo crecimiento, exige también una demanda igualmente creciente de energía. Puesto que las fuentes de energía fósil y nuclear son finitas, es inevitable que en un determinado momento la demanda no pueda ser abastecida y todo el sistema colapse, salvo que se descubran y desarrollen otros nuevos métodos para obtener energía, como son las energías alternas no convencionales.

Se tiene también que el abuso de las energías convencionales actuales como el petróleo y la combustión de carbono acarrearán consigo problemas de agravación progresiva como la contaminación, el aumento de los gases invernadero y la perforación de la capa de ozono. [XXIX]

3.2 Energías renovables convencionales

3.2.1 Minihidroeléctrica

Aún no existe una convención mundial aceptada respecto a la clasificación de las pequeñas centrales hidroeléctricas. En algunos países una pequeña central puede ser aquella cuya potencia instalada no rebase los 10 MW, sin embargo, en algunos otros esta denominación aplica para centrales de no más de 2 o 5 MW. Otras denominaciones son "mini" y "micro" centrales, para designar a las que tienen un Megawatt o menos de potencia. En nuestro país la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica menciona que un "pequeño productor" será aquel que instale en una central una potencia menor a 30 MW. [XXX]

Las minihidroeléctricas son una buena oportunidad para aprovechar pequeñas corrientes de agua e incentivar el desarrollo de pequeñas comunidades ubicadas en zonas aisladas; también pueden llegar a incrementar la productividad de aquellas empresas cuyos procesos permitan este tipo de proyectos, por ejemplo, en los sistemas de abasto de agua potable, durante el proceso de conducción, ocasionalmente es necesario disminuir la presión de las tuberías mediante el desfogue a tanques abiertos a la atmósfera, en estos casos esa energía hidráulica que se pierde podría aprovecharse para la generación de energía eléctrica. [XXXI]

3.3 Energías renovables no convencionales

Debido a que el mundo se encuentra preocupado por el medio ambiente y por la necesidad de incrementar la generación eléctrica y que ésta se pueda distribuir a cualquier lado, nació el interés de la generación de energía distribuida renovable. Esta energía es obtenida a partir de recursos libres de contaminación, por ejemplo, la energía solar fotovoltaica y la energía eólica. En esta categoría también se encuentran la generación de energía distribuida a base de fuentes que contengan gases con baja emisión de contaminantes, tal como lo son las celdas de combustible y los dispositivos de potencia basados en microturbinas.

3.3.1 Celdas de combustible

La primera celda de combustible fue creada por Sir William Grove en 1893, la cual era una batería de gas voltaica. Pero no fue hasta 50 años después cuando Ludwig Mond y Charles Langer impusieron el nombre de celda de combustible a este dispositivo cuyo objetivo es producir electricidad por medio de un modelo práctico.

Hoy en día las modernas celdas de combustible son plantas electro-químicas, cuyo combustible puede ser hidrógeno o algún otro hidrocarburo.

A partir del siglo XXI, la tecnología de las celdas de combustible ha experimentado un crecimiento exponencial. Es por eso que se espera que para la primera mitad

del siglo XXI las celdas de combustible tengan el mismo comportamiento que las computadoras en la segunda mitad del siglo XX [5].

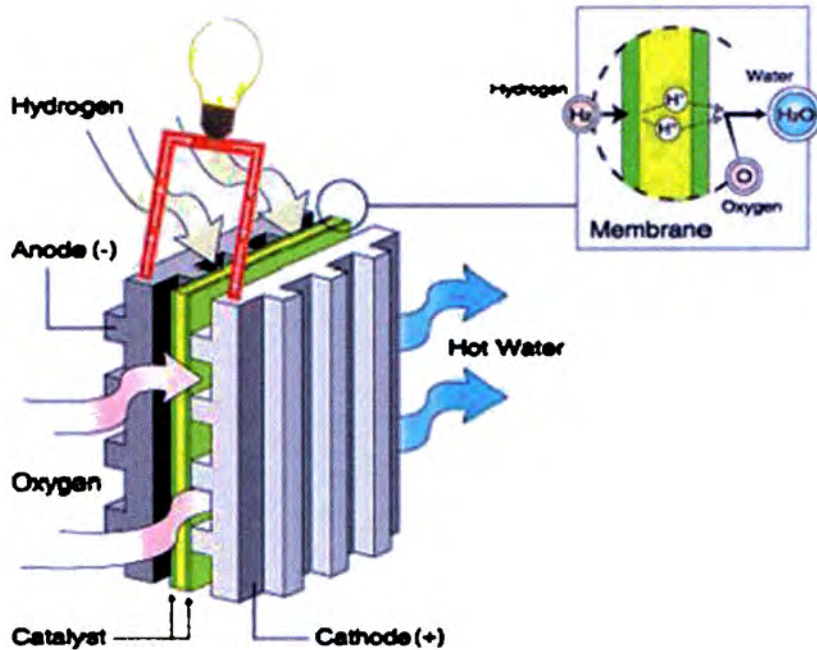


Figura 15. Celda de combustible [XXXII]

Algunas de las grandes ventajas que tienen las celdas de combustible son:

- Son mucho más eficientes que los motores de combustión interna (aproximadamente el doble).
- Las únicas emisiones son calor y vapor de agua.

Los principales tipos de celdas de combustible incluyen, la membrana de intercambio de protones, alcalina, oxido sólido, carbono fundido, ácido fosfórico, metanol directo y etanol directo.

3.3.2 Celdas de polímero sólido o membrana de intercambio de protones (PEM)

Como su nombre lo dice esta celda utiliza como electrolito una membrana polimérica, la cual es conductora de protones. Este tipo de celda de combustible es una de las tecnologías más prometedoras hoy en día. Los elementos básicos de una celda de combustible PEM son los siguientes:

- El ánodo, el polo negativo de la celda de combustible, realiza trabajos muy importantes. Es el encargado de conducir electrones que son alimentados

por medio de las moléculas de hidrógeno, para que así puedan ser utilizadas como un circuito interno.

- El cátodo, el polo positivo de la celda de combustible, cuenta con canales grabados, en los cuales se distribuye el oxígeno a través de la superficie del catalizador. Además conduce los electrones del circuito externo de vuelta hacia el catalizador, donde pueden ser recombinados con iones de hidrógeno y oxígeno para formar agua.
- El electrolito es la membrana intercambiadora de protones. Este material especialmente tratado es el encargado de conducir los iones positivamente cargados. Cabe mencionar que la membrana debe ser hidratada para poder funcionar y mantenerse estable.

La forma en que funciona la celda comienza cuando se introduce gas de hidrógeno (H_2) por el lado del ánodo de la celda. Cuando una molécula de H_2 entra en contacto con el platino a través del catalizador, esta molécula se divide en dos iones de H^+ y dos electrones (e^-). De esta forma los electrones son conducidos a través del ánodo, donde ellos pueden crear su propio camino hacia el circuito externo (haciendo trabajo útil como mover un motor) y regresar a la celda gracias al cátodo. Mientras tanto, en el lado positivo de la celda, donde se encuentra el cátodo, el gas de oxígeno (O_2) está siendo forzado por el catalizador a formar dos átomos de oxígeno. Cada uno de estos átomos tiene una fuerte carga negativa. La carga negativa atrae dos iones de H^+ a través de la membrana, donde se pueden combinar con un átomo de oxígeno y así formar moléculas de agua. La reacción de una sola celda produce aproximadamente 0.7 volts, por lo que hay que hacer un arreglo de celdas y así obtener el voltaje deseado.

Este tipo de celdas probablemente terminarán proporcionando energía a automóviles, autobuses, y quizá puedan energizar una casa. [XXXIII]

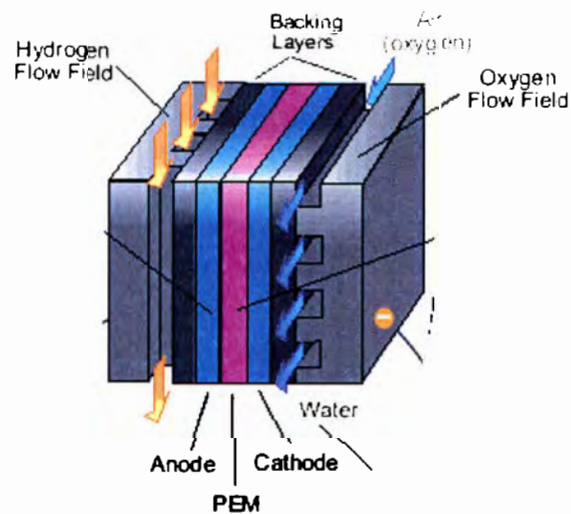


Figura 16. Funcionamiento de una celda de combustible [XXXIV]

Uno de los equipos comerciales que se encuentra hoy en día es el que distribuye Horizon Fuel Cell Technologies, esta empresa cuenta con la serie H de celdas de combustible PEM, las cuales son las más pequeñas y las más ligeras en el mercado. Lo importante de estas celdas, es que abren las puertas a todos los ingenieros y científicos alrededor del mundo para poder innovar productos que ayuden a mejorar la vida de las sociedades en el planeta.

3.3.3 Direct Ethanol Fuel Cell (DEFC)

Hoy en día existe el interés en desarrollar celdas de combustible basadas en etanol (*Direct Ethanol Fuel Cell*), el cual es el competidor potencial de las celdas de combustible basadas en metanol (*Direct Methanol Fuel Cell*). El etanol es un combustible líquido, como lo es la gasolina y el metanol. La energía específica y la densidad energética del etanol es 6.09 kWh/kg y 4.82 kWh/L, respectivamente, mientras que un tanque de gasolina tiene una energía específica de 12 kWh/kg y una celda de combustible de metanol directo produce alrededor de 2 kWh/kg. El etanol es un combustible no tóxico, a diferencia del metanol, y es producido en una escala mucho mayor. La tecnología que se utiliza actualmente en las celdas de combustible basadas en alcohol es la tecnología basada en PEMFC. [6]

3.4 Energías no renovables no convencionales

3.4.1 Baterías activadas por agua

Debido a la severa contaminación generada por las pilas y baterías, se ha buscado hacer una batería que no genere ningún contaminante, por lo que se ha descubierto que a partir de hacer reaccionar el agua con un compuesto de carbono y magnesio, es posible generar electricidad. Esta nueva propuesta es muy prometedora para generar energía portátil sin contaminar.

Estas baterías son consideradas un tipo de microgeneradores eléctricos que funcionan con agua debido a que esta reacciona con el magnesio que se encuentra dentro de la batería y que funciona como ánodo. Este tipo de baterías usualmente son llamadas de emergencia debido a que tienen un periodo de vida útil igual al periodo de tiempo que puede durar la reacción química del agua con el magnesio (aproximadamente 60 horas con la carga adecuada), hasta que éste último reaccione por completo.

3.5 Investigación, selección y adquisición de los sistemas a evaluar

En esta sección se mostrará toda la información recolectada acerca de los dispositivos que se contemplaron para ser adquiridos y evaluados. En la información se muestra una descripción general de cada dispositivo, su principio de funcionamiento, especificaciones técnicas (según el caso), y el costo directo, todo esto con el fin de llevar a cabo una evaluación técnica y económica que genere como resultado la selección de al menos dos dispositivos que cumplan de mejor manera los objetivos del proyecto con la mejor relación costo/beneficio.

Cabe destacar que dentro de nuestra investigación, nos encontramos con algunos dispositivos que se encuentran aún en la etapa de investigación y desarrollo (o como prototipos únicamente), mientras que hay otros que ya se encuentran en el mercado.

3.5.1 Dispositivos investigados

- *Water Activated Batteries* (de NoPoPo). Producto comercial.
- *Direct Ethanol Fuel Cell (DEFC)*. Producto comercial.
- Celda de Hidrógeno (H-12 Series). Producto comercial.
- Cargador de energía portátil a base de hidrógeno (MINIPAK). Producto comercial.
- Arreglo Pilas de Agua. (ASYL Power). Producto en etapa de desarrollo.

3.5.1.1 *Water Activated Batteries (de NoPoPo)*.

Las baterías *NoPoPo* (No Pollution Power) son fabricadas por *Aqua Power System Japan* y los mismos proveedores la definen más que como una batería, como un pequeño generador eléctrico. Esta batería tiene una vida útil de 20 años y puede recargarse, o más bien dicho rellenarse, hasta 5 veces. Cada batería es capaz de producir 1.5 V @ 500 mA de corriente con simplemente algunas gotas de agua, e incluso cualquier tipo de fluido. [XXXV]

Dentro de estas baterías, una mezcla de carbono y magnesio reacciona con el líquido para producir energía (alrededor de 500mAh en el caso de una batería AA). A diferencia de las baterías convencionales, las baterías *NoPoPo* no se deterioran después de un periodo de tiempo corto. Pueden retener su carga por 10 años, lo que las hace perfectas para situaciones de emergencia. También son amigables con el medio ambiente ya que no contienen sustancias dañinas, como mercurio, cromo hexavalente, plomo o cadmio. [XXXVI]

El cuerpo de la batería está compuesto por una esponja, la cual absorbe el líquido insertado por medio de un gotero (incluido con las baterías) y causa una reacción química, generando electricidad para el uso que sea necesario. La batería también se puede recargar completamente simplemente sumergiéndola en agua durante 3 a 5 minutos, característica conveniente en algunas situaciones de emergencia. [XXXVII]

Precio Directo: 22 USD por cada paquete de tres baterías.



Figura 17. NoPoPo Batteries. [XXXVII]

3.5.1.2 *Direct Ethanol Fuel Cell (DEFC)*

Este dispositivo es considerado una celda de combustible de etanol directa o *Direct Ethanol Fuel Cell (DEFC)* y su función es generar electricidad a partir de agua y unas gotas de etanol. Esta celda de combustible, fabricada por *Horizon*, tiene una cámara donde la solución de etanol (90% agua, 10% etanol) entra en contacto con la membrana de la celda en el lado del ánodo, mientras el lado del cátodo está abierto al aire del medio ambiente.

Los protones de hidrógeno provenientes de la solución de etanol, permean a través de la membrana de la *DEFC*, liberando electrones que son capturados en un circuito externo. En el lado del cátodo, la reacción catalítica del hidrógeno con el oxígeno presente en el aire forma agua como resultado.

Las celdas de combustible de etanol directas o *DEFC's* por sus siglas en inglés, son una subcategoría de las celdas de combustible de Membrana de Intercambio de Protones o *Proton Exchange Membrane (PEM)* en las que, el combustible de etanol no se reforma primero en hidrógeno puro, sino que se alimenta directamente a la membrana de la celda de combustible.

Durante la reacción, una parte del etanol se oxida completamente y se convierte en bióxido de carbono (CO_2), mientras que otra parte del etanol se oxida de manera incompleta y se convierte en acetaldehído y ácido acético, también conocido como vinagre.

La electricidad se produce cuando la solución se transforma lentamente en un ácido (acético o vinagre de acuerdo con el fabricante) hasta que dicha reacción se lleva a cabo en un 100%. Una vez completado este proceso, un mecanismo purgante permite al etanol puro entrar a la cámara de reacción, expulsando simultáneamente el combustible ya utilizado.

El proceso descrito anteriormente se evidenciará en el capítulo 4.

Precio: \$99 USD.

3.5.1.3 Celdas de hidrógeno H – Series

Las celdas de combustible de H-Series diseñadas por Horizon son un sistema confiable y eficiente que permite reducir periféricos, como son los ventiladores o humidificadores para estas celdas, dando como resultado un nuevo producto para las diversas necesidades de los ingenieros alrededor del mundo.

H-12

- Celda de 12W semi-integrada.
- Tipo de combustible: PEM.
- Número de Celdas: 13
- Desempeño: 7.8V@1.5A.
- Temperatura Ambiente: 5-30°C.
- Peso 275g(±30g)

Curvas características:

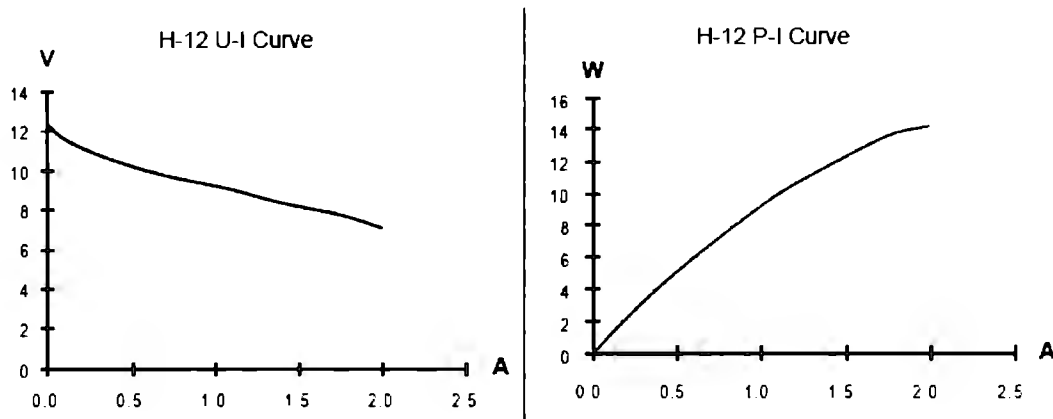


Figura 18. Curvas características H-12.³

³ Datos recuperados del personal de Horizon Fuel Cell ®

Incluye:

- Ventilador integrado y carcasa.
- Válvula de escape de 12W.

Precio directo: \$347 USD.

Otros modelos disponibles de esta misma línea son el H-20, H-30, H-100 y H-200.

Las características y especificaciones de dichos modelos se pueden encontrar en los anexos.

3.5.1.4 Cargador de energía portátil a base de hidrógeno (*MINIPAK*)

Es un dispositivo para recargar aparatos electrónicos portátiles diseñado para satisfacer las necesidades de aquellos que buscan energía portátil en un sólo paquete; es útil para recargar dispositivos que requieran hasta 2W, entre los cuales se incluyen: celulares, *smartphones*, videojuegos portátiles, sistemas de GPS, pequeños dispositivos de iluminación y reproductores de MP3.

El MINIPAK integra una celda de combustible pasiva y una unidad de almacenamiento de hidrógeno en estado sólido. El voltaje de corriente directa que produce puede ser entregado mediante un puerto micro-USB o un cable multi-salida. Este dispositivo debe ser alimentado con una unidad de almacenamiento de hidrógeno en estado sólido que puede ser recargable, para esto puede utilizarse un equipo llamado HYDROFILL. Las unidades de almacenamiento de hidrógeno también pueden ser adquiridas, estas son llamadas HYDROSTIK's. [XLI]



Figura 19. MINIPAK [XLI]



Figura 20. HYDROFILL [XLII]



Figura 21. HYDROSTIK [XLIII]

Precio MINIPAK: \$99 dólares (incluye un HYDROSTIK y una linterna USB)

Precio HYDROFILL: \$499 dólares

Precio HYDROSTIK: \$25 dólares cada uno

3.5.1.5 Arreglo Pilas de Agua (ASYL Power)

La celda ASYL (*Aqua Save Your Life*) es un producto de la *Aqua Power Series* de *Aqua Power System Japan*, mismo fabricante de las NoPoPo Batteries. Este producto es un arreglo de 10 celdas NoPoPo de 1.5 V/1000 mA conectadas en serie que resulta en una fuente de 15 V DC que se ingresa a un convertidor/inversor que produce 110 V, capaz de alimentar televisiones, radios, lámparas y todo tipo de aparatos que normalmente se conectan a la red eléctrica casera.



Figura 22. Celda ASYL Power [XLIV]

.La celda *ASYL* cuenta con dos tipos de salida:

- 15 V en DC
- 100 V en AC

Se considera a este dispositivo adecuado para casos de emergencia y para uso en exteriores. Algunas de las especificaciones de la celda *ASYL* son las siguientes:

- Dimensiones: 280 mm (Profundidad) x 135 mm (Ancho) x 165 mm (Altura).
- Materiales: Resina ABS, entre otros.
- Color: Transparente, negra, azul.
- Contenido: 10 celdas y partes opcionales (radio, luz LED, altavoz, etc.)
- Peso: 3.5 kg.

El precio del dispositivo aún no está disponible por no estar a la venta (este es un dispositivo en etapa de desarrollo e investigación) [XLII].

3.5.2 Dispositivos seleccionados

A continuación se mostrarán los dispositivos seleccionados para la realización de este proyecto, los cuales fueron escogidos debido al criterio que se propuso en los objetivos, el cual era generar energía a partir de fuentes alternas no convencionales. Otro criterio que se utilizó para la adquisición fue la rentabilidad que tenían estos dispositivos tanto técnica, como económica. Los dispositivos que se seleccionaron para dicha evaluación son:

- *Water Activated Batteries (de NoPoPo).*
- *Direct Ethanol Fuel Cell (DEFC).*

3.6 Pruebas de los dispositivos seleccionados

3.6.1 Pruebas NoPoPo Batteries

Las pruebas que se hicieron con las baterías NoPoPo consistieron en medir el voltaje, la corriente y la potencia que eran capaces de entregar, al mismo tiempo que se midió el tiempo que eran capaces de retener la carga. Asimismo, se logró comprobar su tiempo de vida y la cantidad de veces que pueden ser recargadas. También realizamos pruebas con distintos líquidos para ver cuál era el más efectivo y cuál nos entregaba una carga mayor durante más tiempo.

3.6.2 Pruebas DEFC

Se midió la cantidad de corriente, voltaje y potencia entregada por la *DEFC*. Asimismo, se cuantificó la cantidad de tiempo que fue capaz de producir energía sometida ante diferentes cargas. Finalmente, se experimentó con diferentes dispositivos eléctricos para ver qué tipo de cargas podía alimentar y durante cuánto tiempo, sin ver disminuido su desempeño.

Otras pruebas que se realizaron con este dispositivo fueron:

1. Preparación de la solución y generación de electricidad en un sentido y en otro (polaridad). Medición de voltaje y corriente.
2. Medición del pH del reactivo y del producto.
3. Cambios en la concentración de la solución: Se estudió el efecto, tal como se muestra en la sección de resultados. Medición de voltaje y corriente.

3.7 Configuración general del sistema

Una vez realizada la evaluación teórico-económica de los dispositivos de micro generación, así como la adquisición de los mismos, se planteó un esquema de configuración general del sistema, con el fin de aprovechar la energía producida.

A continuación se presenta el esquema general del proyecto, el cual consiste de tres etapas: microgeneración, cosecha y almacenamiento y por último, aplicación. La primera etapa consta de la generación de energía al nivel de los miliwatts. En esta etapa se escogerá el sistema de generación con mejor desempeño, para poder pasar a la siguiente etapa, la cual es el almacenamiento de energía por medio de un cosechador que sea capaz de absorber la máxima potencia de la etapa previa. Por último viene la aplicación la cual será seleccionada dentro de la opción más viable.

Dichas etapas, que fueron propuestas por el equipo de trabajo para el sistema de nuestro proyecto, se resumen a continuación:

01. Microgeneración de energía eléctrica: Con la celda de etanol de combustible directa (*DEFC*) y con las baterías activadas por agua (*NoPoPo Batteries*).
02. Cosecha y almacenamiento de la energía generada: Con dispositivos que desempeñan dicha función y que se presentan en las secciones siguientes.
03. Aplicación: Las distintas aplicaciones en las que se aprovechará la energía producida por las fuentes de Microgeneración y que también se explican más adelante.

La configuración general del sistema de microgeneración y aprovechamiento de la energía se muestra a grandes rasgos en la siguiente imagen:



Figura 23. Configuración general del sistema de microgeneración y aprovechamiento de energía.⁴

⁴ Diagrama propuesto por el equipo de trabajo.

3.8 Subsistemas de almacenamiento de energía investigados

A continuación se presentarán los subsistemas de almacenamiento de energía que podrían ser compatibles con los sistemas de generación de energía previamente seleccionados.

3.8.1 *EH4205* (Subsistema de almacenamiento de energía. Fabricante: ALD)

El *EH4205* de ALD es considerado un *Energy Harvesting Module* o Módulo de Cosecha de Energía, y es un módulo de aumento de voltaje (o *voltage-booster*) auto alimentado que convierte una entrada de voltaje baja de corriente directa (DC) en una salida de voltaje más alta de corriente alterna (AC) o directa (DC), adecuado para muchas aplicaciones de cosecha de energía de baja potencia.

El *EH4205* no necesita una fuente de poder separada para operar y deriva su alimentación directamente de la fuente de voltaje de la entrada de baja potencia. Cabe destacar que la salida primaria del *EH4205* es de corriente alterna (AC), sin embargo es posible implementar un rectificador para obtener la salida de corriente directa (DC). [XXXVIII]

Algunas de las características de este subsistema se describen a continuación:

- Voltaje de entrada: Mínimo: 75 mV. Máximo: 5 V.
- Corriente de entrada: Máximo 100 mA.
- Potencia de entrada: Máximo: 250 mW.
- Voltaje de salida: Mínimo: 6V AC. Máximo: 15 V AC.



Figura 24. *EH4205*. [XXXIX]

Precio del cosechador de energía *EH4205*: \$54.52 dólares (Envío incluido).

3.8.2 *EH1D* (Fabricante: FemtoGen)

El módulo de cosecha de energía *EH1D* es una ideal fuente de poder para sensores inalámbricos y microcontroladores de baja potencia. El *EH1D* puede cosechar energía a partir de generadores termoelectricos, pequeñas celdas solares, y otras fuentes de energía con un voltaje por lo menos de 20 mV. El *EH1D* puede almacenar energía acumulada en un capacitor, super-capacitor o alguna otra batería recargable. [XL]

Las principales características de este subsistema son las siguientes:

- Vin mínimo: 20mV DC.
- Vin máximo: 2 V DC.
- Vout: Seleccionable (2.35, 3.3, 4.1 ó 5V) DC .
- Medio de almacenamiento: capacitor, supercapacitor o batería.
- Aplicaciones: WSN, módulos de RF de baja potencia, cosecha por vibración, térmica o solar, monitoreo ambiental, automatización de edificios, sistemas de alarma y seguridad.



Figura 25. EH1D IXL

Precio del cosechador de energía EH1D: \$64.13 dólares (Envío incluido).

CAPÍTULO 4: EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS NO CONVENCIONALES DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

En este capítulo se profundizará en el procedimiento para llevar a cabo la evaluación de los sistemas de microgeneración seleccionados, pues para evaluar a la celda DEFC, ésta se tuvo que acondicionar con el fin de tener un mejor manejo y fue así que se decidió montar la celda sobre unos perfiles diseñados por el equipo de trabajo. También se tratará el desarrollo de los protocolos de prueba tanto para la celda DEFC como para las *NoPoPo batteries* debido a que cada dispositivo presenta características propias que no permiten que se use el mismo protocolo de pruebas para ambos. Finalmente se presentarán y describirán los resultados de las pruebas realizadas.

4.1 Desarrollo del proyecto

En este apartado se abordarán los siguientes temas:

- Diseño del montaje de la celda *DEFC*
- Desarrollo del protocolo de pruebas
- Resultados y breve análisis de las pruebas

4.2 Diseño mecánico del montaje de la celda *DEFC*

Una vez conocidos los parámetros de la celda *DEFC*, decidimos realizar el diseño del montaje, a partir del programa *SolidWorks*, para así tener un mejor manejo de la celda y realizar las diferentes pruebas.

La primera etapa consistió en el diseño de los perfiles para poder montar la celda *DEFC*, nos basamos en las medidas del equipo adquirido, es decir, celda *DEFC*, válvula de paso, recipiente y manguera de entrada y salida.

Tapa frontal

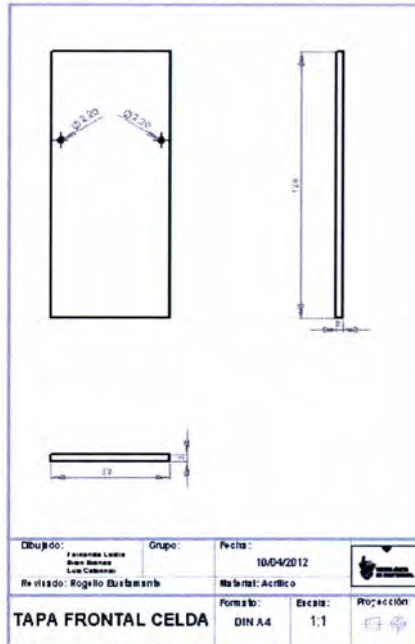


Figura 26. Diseño de la tapa frontal de la *DEFC*.

Tapa superior

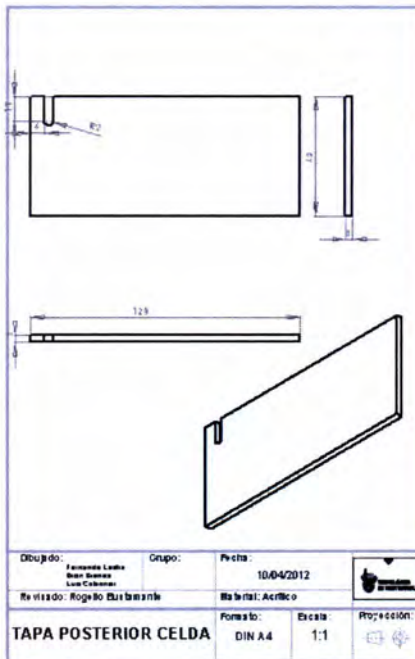


Figura 27. Diseño de la tapa superior de la *DEFC*.

Una vez teniendo el diseño de las piezas para el montaje se decidió hacer el dibujo de las demás piezas para poder comprobar mediante el ensamble que no había ningún problema para construir el prototipo del montaje de la celda DEFC.

Ensamble final

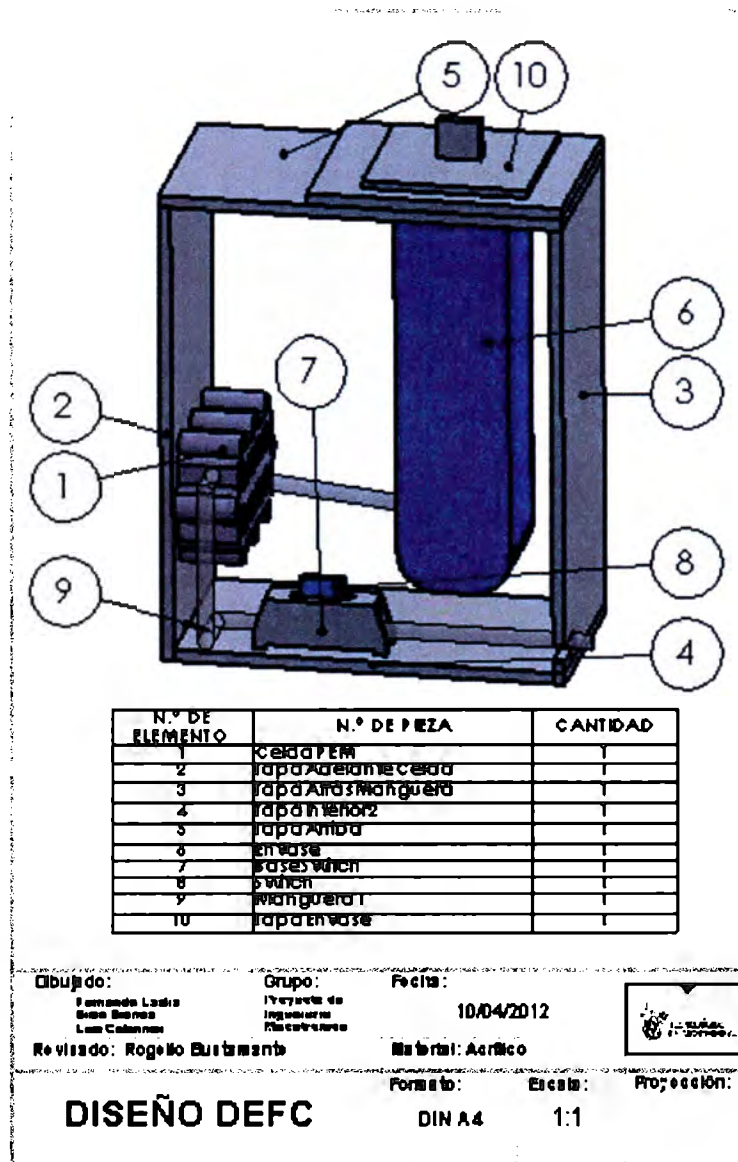


Figura 30. Diseño en SolidWorks de la celda DEFC.

4.2.1 Maquinado

Después de haber realizado el diseño del montaje de la celda *DEFC*, decidimos construir un prototipo de pruebas. Gracias a los diseños en CAD, nos fue posible utilizar una cortadora de laser, con la cual cuenta el Tecnológico de Monterrey Campus Ciudad de México, en el área de diseño, para así obtener las piezas deseadas y poder armar el prototipo.

4.3 Protocolos de pruebas

Los protocolos de pruebas se dividen en dos grupos, los cuales se derivan de los sistemas seleccionados con los cuales se realizarán las pruebas:

A) Celda de combustible de etanol directa (*DEFC*)

B) *NoPoPo Batteries*

4.3.1 Protocolo de pruebas *DEFC*

El primer dispositivo adquirido para ser evaluado fue la celda de combustible de etanol directa (*DEFC*, por sus siglas en inglés). Este dispositivo está conformado por las partes que se muestran en el siguiente diagrama:

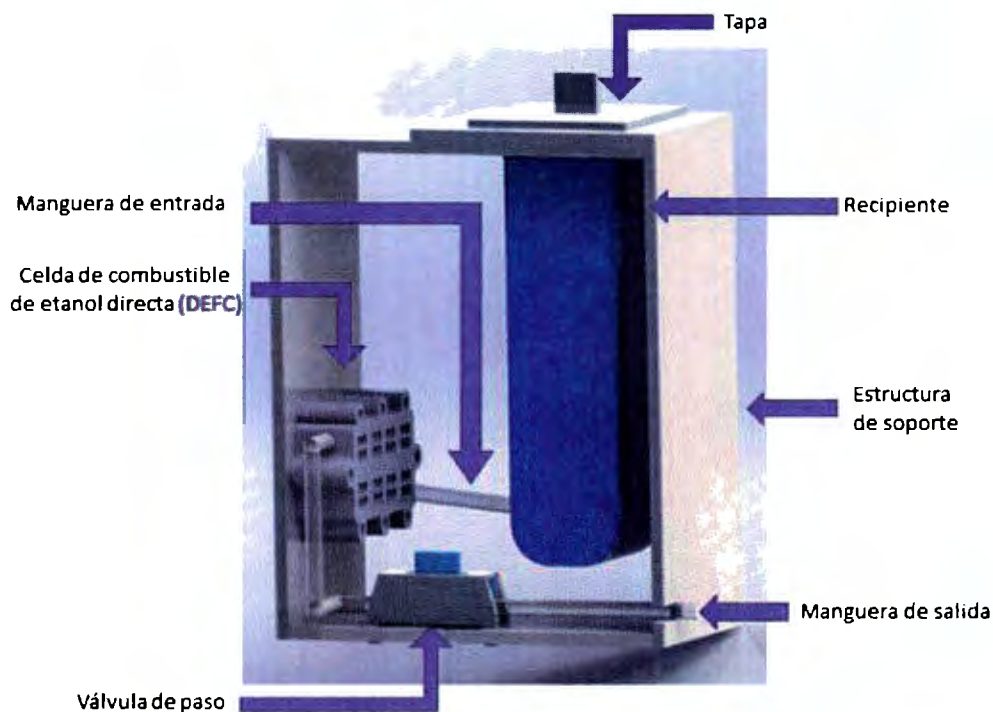


Figura 31. Partes del dispositivo de la *DEFC*

Con base en las características de los dispositivos adquiridos, se desarrolló un protocolo de pruebas. Dicho protocolo fue diseñado tras una serie de pruebas preliminares que nos ayudaron a conocer mejor el comportamiento de la celda y las posibilidades de adquirir mediciones importantes que nos ayudaran a calcular parámetros determinantes como la potencia y la energía del sistema sometido a diferentes cargas.

El protocolo diseñado por el equipo de trabajo se muestra a continuación:

- Preparar una mezcla de agua y alcohol teniendo éste una presencia del 5%, 10% o 15% de la solución total según se requiera. Cabe destacar que dichas concentraciones se definieron con base en las especificaciones del fabricante, quien recomienda utilizar la del 10% ya que, en teoría daba el mejor desempeño.
- Ingresar 20 ml de solución en el recipiente con ayuda de una jeringa para tener una mayor precisión.
- Medir el pH de la solución contenida en el recipiente, con el flujo de la manguera bloqueado. Esto con el fin de compararlo más adelante con el pH del producto obtenido.
- Dejar pasar la solución a la celda y nuevamente bloquear el flujo en la manguera. Medir el voltaje de la celda en circuito abierto (V_{oc}).
- Armar el siguiente sistema:

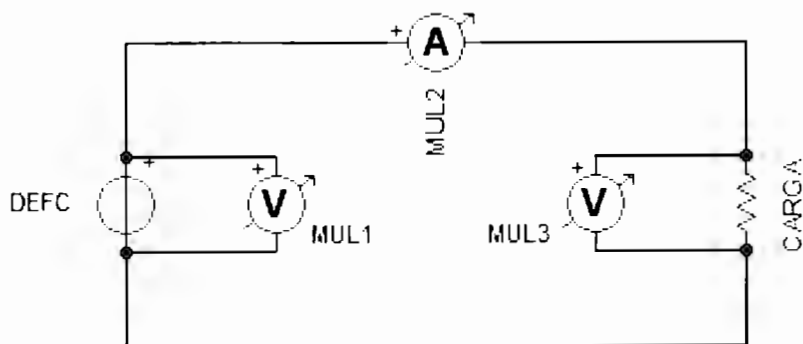


Figura 32. Circuito de pruebas de la DEFC

- Cerrar el circuito con el amperímetro conectado y encendido. Conectar dos multímetros para medir el voltaje en el generador y en la carga (tiempo=0 segundos).
- Realizar las tres mediciones mencionadas de acuerdo a la siguiente tabla:

Porcentaje de concentración				
Resistencia teórica [Ω]		Resistencia real [Ω]		
Voltaje circuito abierto [V]				
Horas	Voltaje Fuente [V]	Corriente [mA]	Voltaje carga [V]	Potencia Fuente [mW]
0				
0.25				
1				
2				
3				
5				
7				
11				
15				
23				

Tabla 5. Tabla utilizada para las mediciones del protocolo de pruebas de la DEFC.

4.3.2 Protocolo de pruebas *NoPoPo Batteries*

El segundo equipo adquirido fueron las baterías activadas por agua de *Aqua Power System Japan*. Al igual que para el sistema anterior, se realizó un protocolo de pruebas para llevar a cabo su caracterización.

El protocolo fue diseñado basándonos en las instrucciones incluidas en las baterías activadas por agua, y tras una serie de pruebas preliminares que nos permitieron conocer mejor el comportamiento de éstas.

De la misma manera que con la celda de etanol, nuestro interés principal era el de conocer la capacidad de generar energía de las baterías, por lo que las mediciones necesarias eran las de voltaje y corriente, tal como se explica más adelante. El protocolo se muestra a continuación:

- Llenar la batería con 5 ml de agua.
- Medir el voltaje de circuito abierto (V_{oc}).
- Conectar la carga deseada e instrumentar 3 multímetros (uno para corriente, uno para el voltaje de la batería y otro para el voltaje de la carga), como se muestra en el siguiente sistema:

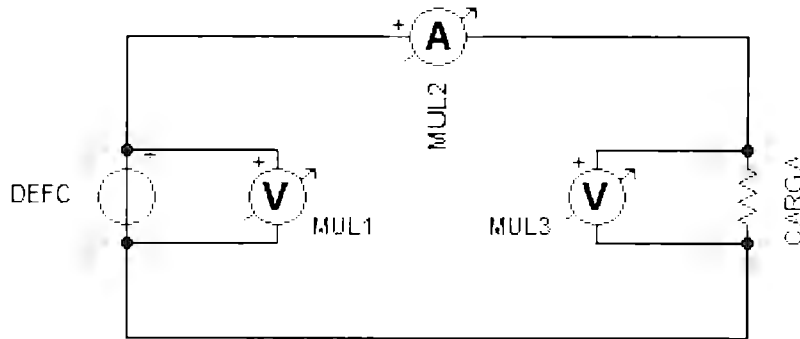


Figura 33. Circuito de pruebas de las NoPoPo Batteries

- Tomar mediciones cada hora hasta que el voltaje de la batería alcance un valor menor al 20% del voltaje inicial.
- **Nota 1:** Cada prueba debe realizarse con resistencias de 150Ω , 250Ω , 500Ω y $1k\Omega$.
- **Nota 2:** Llevar un registro del número de recargas de agua con el fin de conocer la vida útil de la batería.

4.4. Resultados de pruebas

Los resultados y un breve análisis e interpretación de las pruebas se presentan a continuación. Para este estudio, se observó y se midió el comportamiento de ambos sistemas en su estado estable y respetando su respectivo protocolo de pruebas, para así obtener una caracterización concreta de los sistemas adquiridos.

Los sistemas a evaluar fueron:

- A) Celda de combustible de etanol directa (DEFC).
- B) Baterías activadas por agua NoPoPo.

4.4.1. Resultados obtenidos de las pruebas de la celda DEFC

En esta sección se presentan los resultados obtenidos tras la realización de las pruebas mencionadas en el protocolo de pruebas para la celda de combustible de etanol directa (DEFC).

Como se mencionó anteriormente el número de pruebas propuestas para la DEFC daba un total de 9, como resultado de las combinaciones generadas con las concentraciones de etanol al 5%, 10% y 15% y las diferentes cargas de 50Ω, 100Ω y 200Ω; no obstante, para corroborar y asegurar la confiabilidad de los resultados, se realizaron dos series de 9 pruebas, es decir, se realizó un total de 18 pruebas de 23 horas cada una. A continuación se muestran las tablas de resultados y las gráficas de potencia para cada prueba:

Al 5% de concentración							
		R teórica	50	R real	50.4		
		Voc					
Segundos	Horas	V Fuente	I mA	V carga	Potencia mW	Energía J	
0	0	0.806	8.6	0.8	6.9316	1.803672	
900	0.25	0.376	5.33	0.782	2.00408	3.3071652	
3600	1	0.2973	4.12	0.705	1.224876	3.000672	
7200	2	0.2416	3.45	0.618	0.83352	2.1245328	
10800	3	0.2028	2.91	0.532	0.590148	1.9986264	
18000	5	0.1341	2.07	0.375	0.277587	1.257984	
25200	7	0.112	1.56	0.077	0.17472	1.5892272	
39600	11	0.0869	1.27	0.063	0.110363	1.420416	
54000	15	0.0822	1.2	0.06	0.09864	0.7018704	
79200	22	0.0422	0.66	0.033	0.027852	0	
E total [J]:						17.204166	

Tabla 6. Resultados al 5% de concentración de etanol y carga de 50Ω [Prueba 1]

Al 5% de concentración							
		R teórica	50	R real	50.6		
		Voc					
Segundos	Horas	V Fuente	I mA	V carga	Potencia mW	Energía J	
0	0	0.465	8.55	0.397	3.97575	1.231542	
900	0.25	0.277	4.94	0.244	1.36838	2.414421	
3600	1	0.223	4.01	0.198	0.89423	2.253744	
7200	2	0.188	3.33	0.163	0.62604	1.4634	
10800	3	0.15	2.71	0.132	0.4065	1.56024	
18000	5	0.11	1.97	0.097	0.2167	0.867888	
25200	7	0.082	1.47	0.072	0.12054	1.08576	
39600	11	0.065	1.16	0.057	0.0754	0.72504	
54000	15	0.053	0.95	0.047	0.05035	1.061928	
79200	22	0.049	0.86	0.042	0.04214	0	
E total [J]:						12.663963	

Tabla 7. Resultados al 5% de concentración de etanol y carga de 50Ω [Prueba 2]

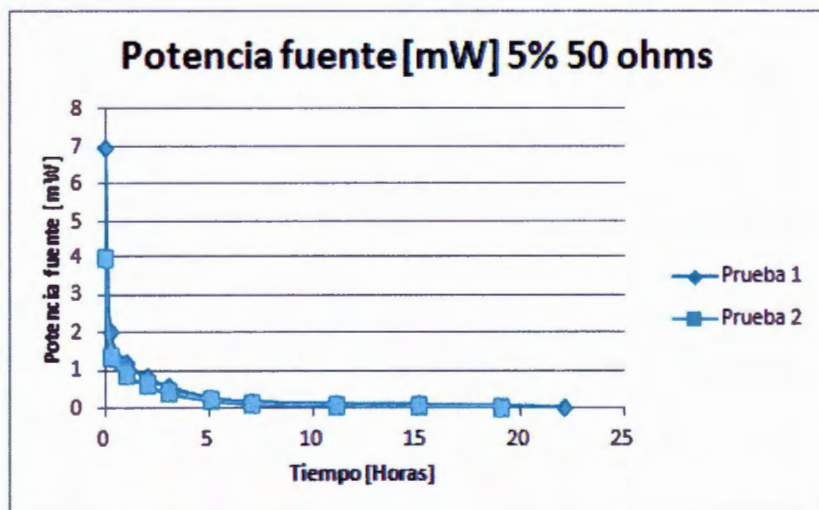


Figura 34. Gráficas de potencia al 5% de concentración de etanol y carga de 50Ω

Como se puede observar en la gráfica anterior, existe congruencia entre las dos pruebas, dado que en ambos casos la generación de energía eléctrica inicia con un gran pico de potencia que sólo se mantiene durante los primeros minutos y posteriormente disminuye de manera abrupta. Se observa que después de la tercera hora aproximadamente, la potencia alcanza un valor menor a los 0.5 mW.

Al 5% de concentración									
		R teórica	100	R real	98.6				
		Voc	1.128						
Segundos	Horas	V Fuente	I mA	V carga	Potencia mW	Energía J			
0	0	0.967	7.39	0.69	7.14613	1.409832			
900	0.25	0.428	3.66	0.357	1.56648	2.841696			
3600	1	0.352	2.99	0.292	1.05248	2.9633472			
7200	2	0.3118	2.64	0.258	0.823152	2.341728			
10800	3	0.2768	2.35	0.23	0.65048	3.1725864			
18000	5	0.2307	1.91	0.187	0.440637	2.6750592			
25200	7	0.2111	1.76	0.171	0.371536	3.6294336			
39600	11	0.1703	1.48	0.144	0.252044	2.6326944			
54000	15	0.1451	1.26	0.123	0.182826	2.678544			
82800	23	0.1045	0.89	0.087	0.093005	0			
						E total [J]:	24.3449208		

Tabla 8. Resultados al 5% de concentración de etanol y carga de 100Ω [Prueba 1]

Al 5% de concentración								
		R teórica	100	R real	100.2			
		Voc	0.899					
Segundos	Horas	V Fuente	I mA	V carga	Potencia mW	Energía J		
0	0	0.591	6.38	0.533	3.77058	1.221318		
900	0.25	0.378	3.59	0.357	1.35702	2.711016		
3600	1	0.326	3.08	0.307	1.00408	2.931768		
7200	2	0.294	2.77	0.276	0.81438	2.468268		
10800	3	0.271	2.53	0.252	0.68563	2.905344		
18000	5	0.208	1.94	0.193	0.40352	1.7172		
25200	7	0.159	1.5	0.15	0.2385	1.63152		
39600	11	0.11	1.03	0.103	0.1133	1.325808		
54000	15	0.099	0.93	0.092	0.09207	1.683648		
82800	23	0.079	0.74	0.073	0.05846	0		
E total [J]:						18.59589		

Tabla 9. Resultados al 5% de concentración de etanol y carga de 100Ω [Prueba 2]

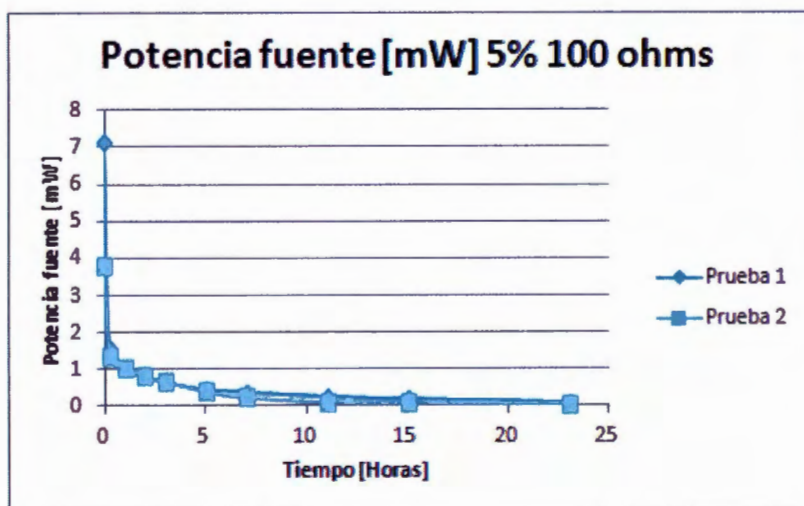


Figura 35. Gráficas de potencia al 5% de concentración de etanol y carga de 100Ω

Como se puede observar en la gráfica anterior, las dos pruebas son consistentes, ya que en ambos casos la generación de energía eléctrica inicia con un gran pico de potencia que sólo se mantiene durante los primeros minutos y posteriormente disminuye de manera abrupta. Se observa que después de la quinta hora aproximadamente, la potencia alcanza un valor menor a los 0.5 mW.

Al 5% de concentración								
		R teórica	200	R real	199.9			
		Voc	1.15					
Segundos	Horas	V Fuente	I mA	V carga	Potencia mW	Energía J		
0	0	0.923	4.21	0.829	3.88583	1.265544		
900	0.25	0.558	2.52	0.502	1.40616	2.654802		
3600	1	0.466	2.11	0.42	0.98326	2.881044		
7200	2	0.419	1.91	0.378	0.80029	2.57904		
10800	3	0.398	1.8	0.359	0.7164	4.351644		
18000	5	0.3663	1.65	0.328	0.604395	3.5230752		
25200	7	0.3284	1.49	0.295	0.489316	5.2179984		
39600	11	0.2809	1.29	0.258	0.362361	4.136688		
54000	15	0.2498	1.15	0.23	0.28727	3.53808		
82800	23	0.1638	0.75	0.15	0.12285	0		
E total [J]:						30.1479156		

Tabla 10. Resultados al 5% de concentración de etanol y carga de 200Ω [Prueba 1]

Al 5% de concentración								
		R teórica	200	R real	198			
		Voc	1.112					
Segundos	Horas	V Fuente	I mA	V carga	Potencia mW	Energía J		
0	0	0.834	4.41	0.788	3.67794	0.7956		
900	0.25	0.425	2.08	0.411	0.884	1.903095		
3600	1	0.381	1.85	0.365	0.70485	2.287296		
7200	2	0.361	1.76	0.352	0.63536	2.204712		
10800	3	0.354	1.73	0.343	0.61242	3.743496		
18000	5	0.327	1.59	0.317	0.51993	2.975184		
25200	7	0.291	1.42	0.283	0.41322	3.436992		
39600	11	0.221	1.08	0.214	0.23868	2.293632		
54000	15	0.181	0.88	0.175	0.15928	3.525984		
82800	23	0.159	0.77	0.154	0.12243	0		
E total [J]:						23.165991		

Tabla 11. Resultados al 5% de concentración de etanol y carga de 200Ω [Prueba 2]

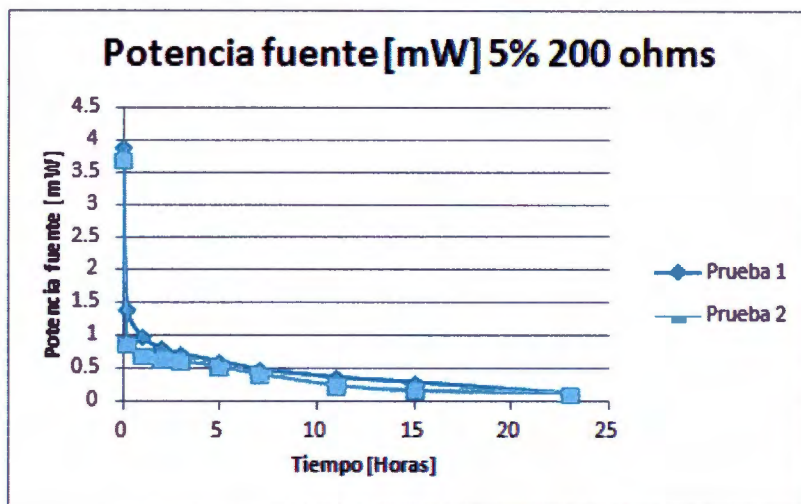


Figura 36. Gráficas de potencia al 5% de concentración de etanol y carga de 200Ω

Como es posible observar en la gráfica anterior, hay congruencia entre las dos pruebas, si bien se muestra una ligera diferencia entre la prueba 1 (la cual alcanzó valores más altos de potencia) y la prueba 2. En ambos casos la generación de energía eléctrica inicia con un gran pico de potencia que sólo se mantiene durante los primeros minutos y posteriormente decae de manera abrupta. Se observa que después de la séptima hora aproximadamente, la potencia alcanza un valor menor a los 0.5 mW.

		Al 10% de concentración					
		R teórica	50	R real	50.5		
		V oc	1.12				
Segundos	Horas	V Fuente	I mA	V carga	Potencia mW	Energía J	
0	0	0.722	10.6	0.538	7.6532	1.780515	
900	0.25	0.363	5.45	0.271	1.97835	3.2317704	
3600	1	0.2823	4.24	0.211	1.196952	3.1859568	
7200	2	0.2418	3.66	0.183	0.884988	2.6390016	
10800	3	0.2208	3.32	0.165	0.733056	3.5714952	
18000	5	0.1817	2.73	0.136	0.496041	2.816856	
25200	7	0.161	2.43	0.12	0.39123	3.6440064	
39600	11	0.1318	1.92	0.095	0.253056	2.680128	
54000	15	0.1128	1.65	0.082	0.18612	3.4176384	
82800	23	0.0899	1.32	0.065	0.118668	0	
E total [J]:						26.9673678	

Tabla 12. Resultados al 10% de concentración de etanol y carga de 50Ω [Prueba 1]

Al 10% de concentración								
		R teórica	50	R real	50.3			
		V oc	0.944					
Segundos	Horas	V Fuente	I mA	V carga	Potencia mW	Energía J		
0	0	0.446	9.41	0.422	4.19686	0.872784		
900	0.25	0.232	4.18	0.207	0.96976	1.85328		
3600	1	0.195	3.52	0.173	0.6864	1.97316		
7200	2	0.174	3.15	0.156	0.5481	1.531224		
10800	3	0.153	2.78	0.138	0.42534	2.29824		
18000	5	0.133	2.4	0.119	0.3192	1.777464		
25200	7	0.117	2.11	0.104	0.24687	2.661552		
39600	11	0.101	1.83	0.09	0.18483	1.966896		
54000	15	0.087	1.57	0.077	0.13659	2.56032		
82800	23	0.07	1.27	0.063	0.0889	0		
E total [J]:						17.49492		

Tabla 13. Resultados al 10% de concentración de etanol y carga de 50Ω [Prueba 2]

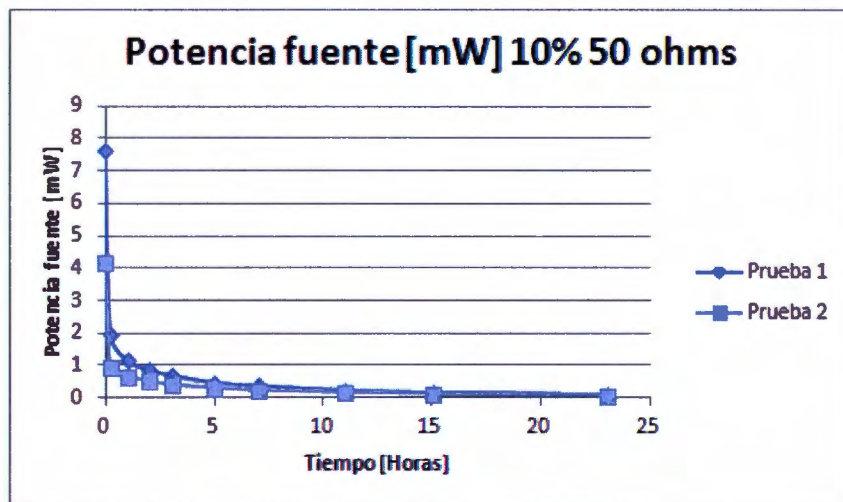


Figura 37. Gráficas de potencia al 10% de concentración de etanol y carga de 50Ω

Como se puede observar en la gráfica anterior, existe congruencia entre las dos pruebas, dado que en ambos casos la generación de energía eléctrica inicia con un gran pico de potencia que sólo se mantiene durante los primeros minutos y

posteriormente disminuye de manera abrupta. Se observa que después de la tercera hora aproximadamente, la potencia alcanza un valor menor a los 0.5 mW.

Al 10% de concentración								
		R teórica	100	R real	98.5			
		V oc	1.094					
Segundos	Horas	V Fuente	I mA	V carga	Potencia mW	Energía J		
0	0	0.784	6.85	0.668	5.3704	1.376892		
900	0.25	0.418	3.66	0.358	1.52988	2.7573642		
3600	1	0.3427	2.98	0.292	1.021246	2.8402704		
7200	2	0.3058	2.58	0.252	0.788964	2.444022		
10800	3	0.2771	2.45	0.239	0.678895	3.93822		
18000	5	0.2475	2.21	0.216	0.546975	3.755808		
25200	7	0.2415	2.16	0.211	0.52164	5.8917888		
39600	11	0.2131	1.92	0.181	0.409152	3.4100928		
54000	15	0.1622	1.46	0.142	0.236812	4.7398464		
82800	23	0.1349	1.22	0.119	0.164578	0		
E total [J]:						31.1543046		

Tabla 14. Resultados al 10% de concentración de etanol y carga de 100Ω [Prueba 1]

Al 10% de concentración								
		R teórica	100	R real	100.1			
		V oc	0.887					
Segundos	Horas	V Fuente	I mA	V carga	Potencia mW	Energía J		
0	0	0.61	6.45	0.545	3.9345	1.06731		
900	0.25	0.354	3.35	0.333	1.1859	2.831652		
3600	1	0.334	3.14	0.311	1.04876	3.15126		
7200	2	0.305	2.87	0.283	0.87535	2.68074		
10800	3	0.281	2.65	0.263	0.74465	3.513024		
18000	5	0.228	2.14	0.212	0.48792	2.241504		
25200	7	0.181	1.72	0.171	0.31132	3.347136		
39600	11	0.156	1.49	0.148	0.23244	2.107008		
54000	15	0.124	1.18	0.116	0.14632	2.330208		
82800	23	0.093	0.87	0.086	0.08091	0		
E total [J]:						23.269842		

Tabla 15. Resultados al 10% de concentración de etanol y carga de 100Ω [Prueba 2]

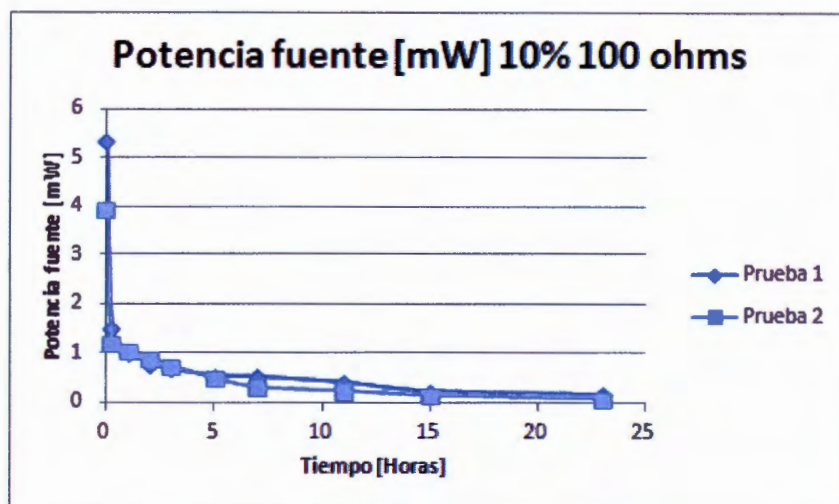


Figura 38. Gráficas de potencia al 10% de concentración de etanol y carga de 100Ω

En la gráfica anterior es posible notar que las dos pruebas son consistentes, dado que en ambos casos la generación de energía eléctrica inicia con un gran pico de potencia que sólo se mantiene durante los primeros minutos y posteriormente disminuye de forma abrupta. Sin embargo, a diferencia de los casos anteriores, en los que después de una cierta cantidad de horas (3, 5 ó 7) las dos pruebas alcanzan un valor menor a los 0.5 mW, en este caso hubo una pequeña diferencia en ese sentido, ya que la primera prueba alcanzó dicho valor después de casi 8 horas y la segunda después de sólo 5.

Al 10% de concentración								
		R teórica	200	R real	199.9			
		Voc	0.963					
Segundos	Horas	V Fuente	I mA	V carga	Potencia mW	Energía J		
0	0	0.869	2.66	0.548	2.31154	0.977445		
900	0.25	0.535	2.03	0.404	1.08605	2.07009		
3600	1	0.451	1.7	0.34	0.7667	2.329884		
7200	2	0.423	1.53	0.311	0.64719	2.079126		
10800	3	0.3983	1.45	0.29	0.577535	3.7540008		
18000	5	0.3751	1.39	0.277	0.521389	3.542832		
25200	7	0.354	1.39	0.278	0.49206	5.6353536		
39600	11	0.3156	1.24	0.248	0.391344	4.6472832		
54000	15	0.2856	1.13	0.224	0.322728	6.0750144		
82800	23	0.2318	0.91	0.182	0.210938	0		
E total [J]:						31.111029		

Tabla 16. Resultados al 10% de concentración de etanol y carga de 200Ω [Prueba 1]

Al 10% de concentración								
		R teórica	200	R real	197.7			
		Voc	0.946					
Segundos	Horas	V Fuente	I mA	V carga	Potencia mW	Energía J		
0	0	0.783	4.09	0.723	3.20247	1.021545		
900	0.25	0.483	2.35	0.467	1.13505	2.44377		
3600	1	0.431	2.1	0.418	0.9051	2.772648		
7200	2	0.397	1.94	0.386	0.77018	2.450448		
10800	3	0.374	1.82	0.363	0.68068	4.210128		
18000	5	0.346	1.69	0.336	0.58474	3.651192		
25200	7	0.323	1.57	0.313	0.50711	5.88816		
39600	11	0.29	1.41	0.28	0.4089	5.228496		
54000	15	0.273	1.33	0.265	0.36309	7.582752		
82800	23	0.233	1.13	0.226	0.26329	0		
E total [J]:						35.249139		

Tabla 17. Resultados al 10% de concentración de etanol y carga de 200Ω [Prueba 2]

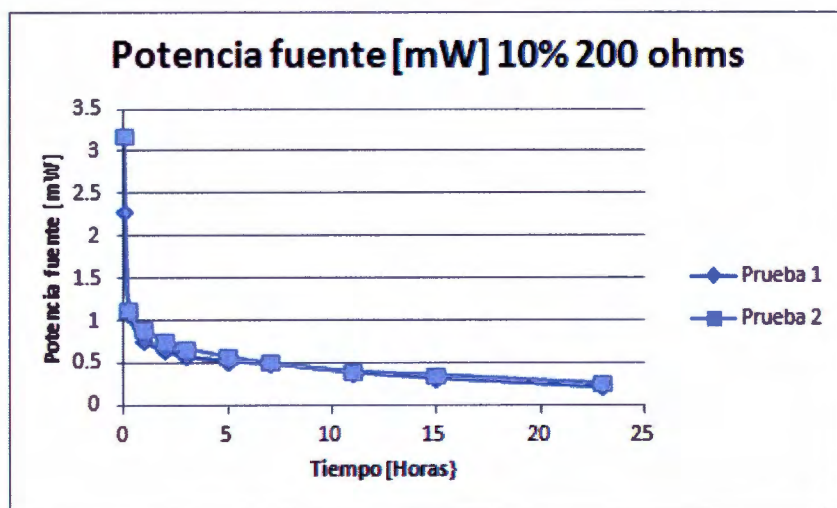


Figura 39. Gráficas de potencia al 10% de concentración de etanol y carga de 200Ω

Como se puede observar en la gráfica anterior, existe congruencia entre las dos pruebas, dado que en ambos casos la generación de energía eléctrica inicia con un gran pico de potencia que sólo se mantiene durante los primeros minutos y posteriormente disminuye de manera abrupta. Se observa que después de la séptima hora aproximadamente, la potencia alcanza un valor menor a los 0.5 mW.

Al 15% de concentración									
		R teórica	50	R real	50.5				
		V oc	1.008						
Segundos	Horas	V Fuente	I mA	V carga	Potencia mW	Energía J			
0	0	0.817	7.79	0.354	6.36443	1.228968			
900	0.25	0.404	3.38	0.168	1.36552	2.4161004			
3600	1	0.3339	2.68	0.133	0.894852	2.4489792			
7200	2	0.2788	2.44	0.121	0.680272	2.1129372			
10800	3	0.2563	2.29	0.114	0.586927	3.237444			
18000	5	0.2215	2.03	0.101	0.449645	2.6299728			
25200	7	0.2007	1.82	0.09	0.365274	3.6749952			
39600	11	0.1679	1.52	0.075	0.255208	3.0573216			
54000	15	0.1279	1.66	0.083	0.212314	5.8530816			
82800	23	0.1392	1.46	0.072	0.203232	0			
						E total [J]:	26.6598		

Tabla 18. Resultados al 15% de concentración de etanol y carga de 50Ω [Prueba 1]

Al 15% de concentración									
		R teórica	50	R real	50.6				
		V oc	0.972						
Segundos	Horas	V Fuente	I mA	V carga	Potencia mW	Energía J			
0	0	0.447	9.63	0.413	4.30461	1.244484			
900	0.25	0.276	5.01	0.248	1.38276	2.483514			
3600	1	0.226	4.07	0.202	0.91982	2.44998			
7200	2	0.195	3.49	0.173	0.68055	1.954368			
10800	3	0.174	3.12	0.155	0.54288	2.794176			
18000	5	0.147	2.64	0.131	0.38808	2.31552			
25200	7	0.134	2.4	0.119	0.3216	3.257856			
39600	11	0.112	2.02	0.1	0.22624	2.33928			
54000	15	0.095	1.71	0.085	0.16245	3.5856			
82800	23	0.083	1.5	0.073	0.1245	0			
						E total [J]:	22.424778		

Tabla 19. Resultados al 15% de concentración de etanol y carga de 50Ω [Prueba 2]

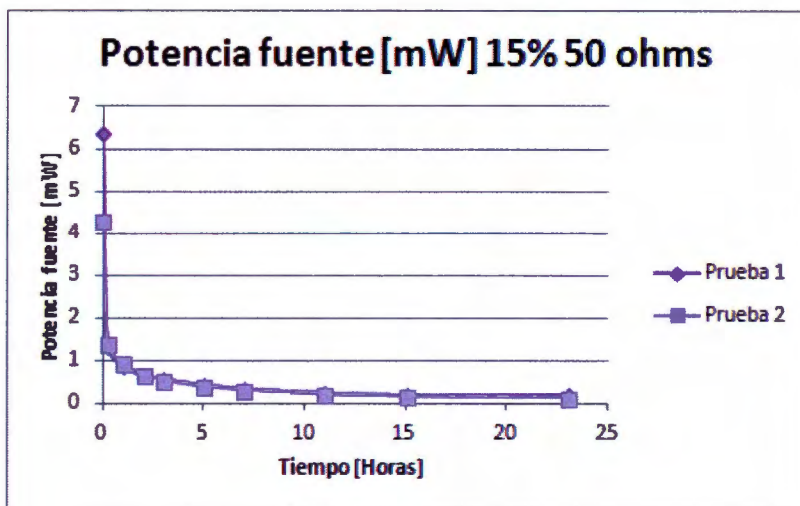


Figura 40. Gráficas de potencia al 15% de concentración de etanol y carga de 50Ω

Como se puede observar en la gráfica anterior, existe congruencia entre las dos pruebas, las cuales prácticamente se enciman, dado que en ambos casos la generación de energía eléctrica inicia con un gran pico de potencia que sólo se mantiene durante los primeros minutos y posteriormente disminuye de manera abrupta. Se observa que después de la quinta hora aproximadamente, la potencia alcanza un valor menor a los 0.5 mW.

Al 15% de concentración							
		R teórica	100	R real	100.6		
		V oc	0.942				
Segundos	Horas	V Fuente	I mA	V carga	Potencia mW	Energía J	
0	0	0.885	6.36	0.585	5.6286	1.232496	
900	0.25	0.432	3.17	0.309	1.36944	2.494206	
3600	1	0.3553	2.6	0.253	0.92378	2.6492544	
7200	2	0.3172	2.32	0.226	0.735904	2.2336884	
10800	3	0.2913	2.13	0.208	0.620469	3.4069248	
18000	5	0.2544	1.86	0.182	0.473184	2.8083744	
25200	7	0.2308	1.69	0.166	0.390052	4.0379904	
39600	11	0.2032	1.38	0.145	0.280416	3.1336704	
54000	15	0.1876	1.16	0.127	0.217616	4.1541984	
82800	23	0.1551	0.93	0.096	0.144243	0	
E total [J]:						26.1508032	

Tabla 20. Resultados al 15% de concentración de etanol y carga de 100Ω [Prueba 1]

Al 15% de concentración								
		R teórica	100	R real	100.6			
		V oc	0.942					
Segundos	Horas	V Fuente	I mA	V carga	Potencia mW	Energía J		
0	0	0.692	7.08	0.608	4.89936	1.105002		
900	0.25	0.359	3.42	0.336	1.22778	2.428677		
3600	1	0.307	2.93	0.29	0.89951	2.612664		
7200	2	0.277	2.62	0.261	0.72574	2.230272		
10800	3	0.256	2.42	0.24	0.61952	3.822336		
18000	5	0.237	2.24	0.222	0.53088	3.15792		
25200	7	0.215	2.04	0.203	0.4386	4.9248		
39600	11	0.19	1.8	0.179	0.342	4.1832		
54000	15	0.175	1.66	0.165	0.2905	6.218784		
82800	23	0.151	1.43	0.143	0.21593	0		
E total [J]:						30.683655		

Tabla 21. Resultados al 15% de concentración de etanol y carga de 100Ω [Prueba 2]

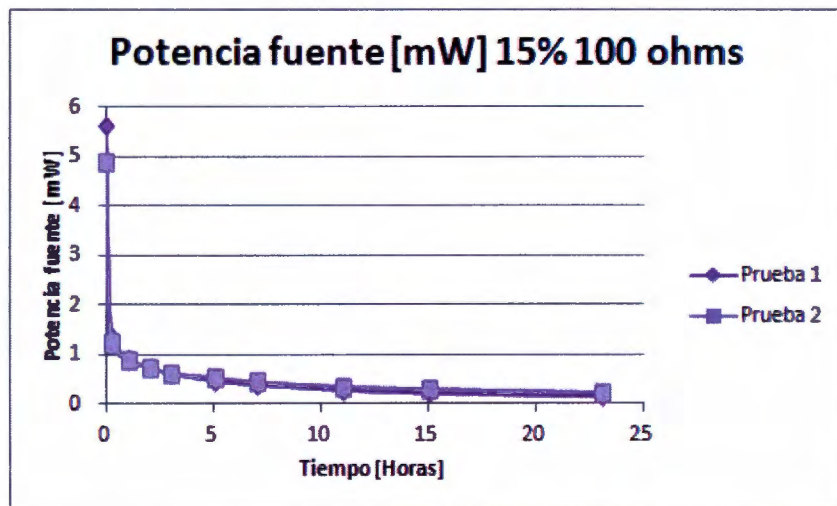


Figura 41. Gráficas de potencia al 15% de concentración de etanol y carga de 100Ω

Como se puede observar en la gráfica anterior, existe congruencia entre las dos pruebas, las cuales prácticamente se traslapan, dado que en ambos casos la generación de energía eléctrica inicia con un gran pico de potencia que sólo se mantiene durante los primeros minutos y posteriormente disminuye de manera abrupta. Sin embargo, existe una ligera diferencia en el sentido de que la primera prueba alcanza un valor menor a los 0.5 mW después de 5 horas mientras que la segunda prueba alcanza dicho valor a las 7 horas.

Al 15% de concentración								
		R teórica	200	R real	199.5			
		V oc	0.927					
Segundos	Horas	V Fuente	I mA	V carga	Potencia mW	Energía J		
0	0	0.908	4.35	0.754	3.9498	0.931068		
900	0.25	0.466	2.22	0.425	1.03452	2.1977676		
3600	1	0.4153	1.96	0.363	0.813988	2.4442092		
7200	2	0.3793	1.79	0.335	0.678947	2.1567168		
10800	3	0.3566	1.68	0.312	0.599088	3.4768656		
18000	5	0.3198	1.51	0.277	0.482898	2.9593656		
25200	7	0.2957	1.39	0.253	0.411023	4.7086272		
39600	11	0.2637	1.24	0.233	0.326988	4.5817344		
54000	15	0.2608	1.22	0.231	0.318176	8.210448		
82800	23	0.2479	1.15	0.221	0.285085	0		
E total [J]:						31.6668024		

Tabla 22. Resultados al 15% de concentración de etanol y carga de 200Ω [Prueba 1]

Al 15% de concentración								
		R teórica	200	R real	199.5			
		V oc	0.927					
Segundos	Horas	V Fuente	I mA	V carga	Potencia mW	Energía J		
0	0	0.819	4.39	0.771	3.59541	1.06488		
900	0.25	0.493	2.4	0.477	1.1832	2.466801		
3600	1	0.433	2.11	0.418	0.91363	2.751408		
7200	2	0.396	1.93	0.384	0.76428	2.477088		
10800	3	0.376	1.83	0.363	0.68808	4.27176		
18000	5	0.349	1.7	0.337	0.5933	3.77856		
25200	7	0.328	1.6	0.318	0.5248	6.565536		
39600	11	0.306	1.49	0.296	0.45594	5.724576		
54000	15	0.286	1.39	0.276	0.39754	9.10656		
82800	23	0.255	1.24	0.246	0.3162	0		
E total [J]:						38.207169		

Tabla 23. Resultados al 15% de concentración de etanol y carga de 200Ω [Prueba 2]

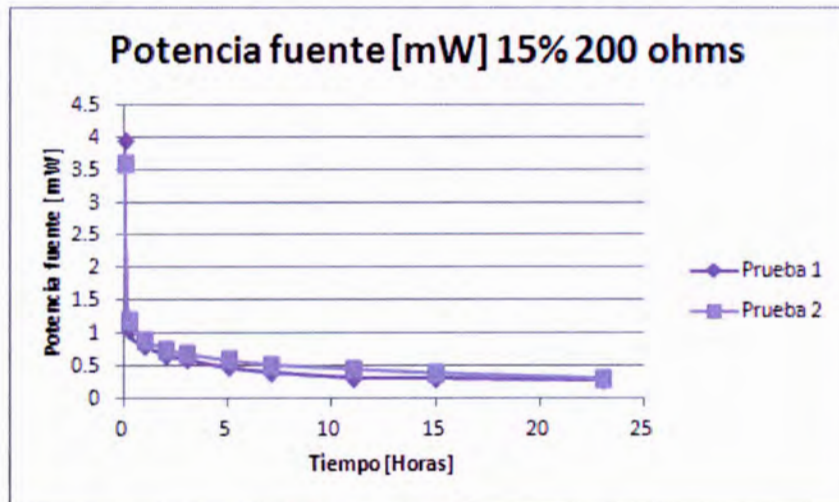


Figura 42. Gráficas de potencia al 15% de concentración de etanol y carga de 200 Ω

A partir de la gráfica anterior es posible notar que existe consistencia entre las dos pruebas, que tienen un comportamiento muy similar, dado que en ambos casos la generación de energía eléctrica inicia con un gran pico de potencia que sólo se mantiene durante los primeros minutos y posteriormente disminuye de manera abrupta. A pesar del comportamiento muy similar, la segunda prueba tardó más tiempo (11 horas aproximadamente) en alcanzar un valor menor a los 0.5 mW, mientras que la primera prueba llegó a dicho valor después de 5 horas aproximadamente.

4.4.2 Resultados obtenidos *NoPoPo Batteries*

En esta sección se presentan los resultados obtenidos tras la realización de las pruebas mencionadas en el protocolo de pruebas para las *NoPoPo Batteries*.

Una vez activada la batería, se armó el sistema previamente mencionado en el protocolo y dejamos a la batería que proporcionara los flujos de corriente y voltaje para así realizar las correspondientes mediciones.

Se trabajó con un total de 4 pilas, las cuales nos dieron pruebas con diferentes cargas conectadas, es decir, con resistencias de 150 Ω , 250 Ω , 500 Ω y 1000 Ω . Además de estas pruebas también se fue midiendo el desempeño que iban teniendo las baterías con respecto a las recargas de agua que iban teniendo.

Debido al largo tiempo (aproximadamente tres días) que tomaban las baterías al descargarse se tomaron las mediciones del desempeño hasta la tercera recarga de cada una de las 4 baterías con sus diferentes resistencias.

La primera prueba se realizó con una carga de 150 Ω , la cual dejó ver que su desempeño no es el más óptimo, debido a que tan sólo proporciono energía

durante aproximadamente 11 horas y además, la potencia generada fue baja en comparación a las otras pruebas. A continuación se muestran los resultados y las gráficas de la prueba a 150 Ω con sus tres recargas.

Pila 2 Recarga 1						
Resistencia de 150						
Segundos	Voc	2.45				
Horas	V carga	I (mA)	V pila	Potencia (mW)	Energía J	
0	0	0.1	306	0.46	48.76	22.464
3600	1	0.03	39	0.16	6.24	8.21664
7200	2	0.03	28.53	0.08	2.2824	6.15168
10800	3	0.02	21.36	0.08	1.7088	19.2348
28800	8	0.01	17.81	0.06	1.0686	3.2616
32400	9	0.01	15.1	0.06	0.906	6.12648
39600	11	0.01	12.7	0.067	0.8509	
Energía Total J						65.4552

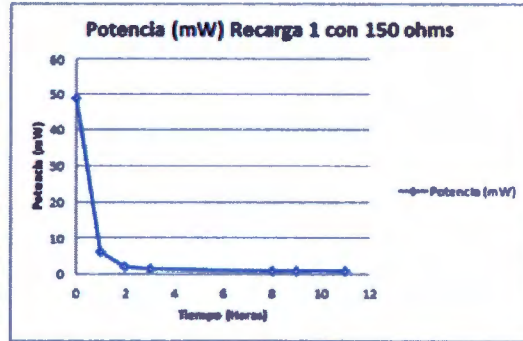


Tabla 24. Resultados recarga 1 con 150 Ω .

Figura 43. Resultados recarga 1 con 150 Ω .

Como se puede observar en la gráfica al principio se tiene una gran potencia, pero aproximadamente a las 2 horas de operación esta potencia llega a ser nula, por lo que su desempeño no es bueno.

Pila 2 Recarga 2				
Resistencia de 150				
Voc	1.58			
Horas	V carga	I (mA)	V pila	Potencia (mW)
0	0.03	28	0.12	3.36
1	0.019	19.54	0.058	1.13332
2	0.015	15.42	0.045	0.6939
3	0.015	15.55	0.046	0.7153
4	0.021	19.4	0.0825	1.6005
6	0.015	15.3	0.067	1.0251
8	0.014	14.8	0.06	0.888
10	0.013	13.5	0.09	1.215
20	0.07	7	0.044	0.308

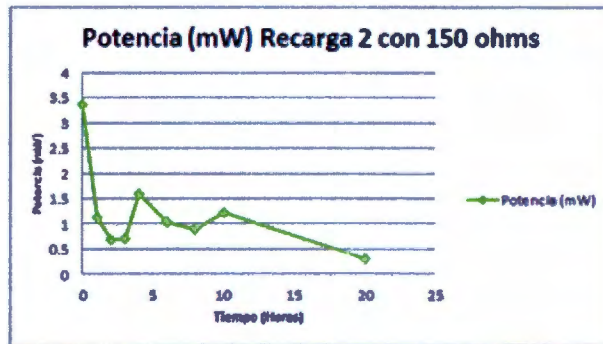


Tabla 25. Resultados recarga 2 con 150 Ω .

Figura 44. Resultados recarga 2 con 150 Ω .

En esta gráfica se puede observar que sigue mostrando el mismo comportamiento que con la primera recarga, con la diferencia que la potencia de inicio ya no sigue siendo tan alta.

Pila 2 Recarga 3				
Resistencia de 250				
Voc	1.47			
Horas	V carga	I (mA)	V pila	Potencia (mW)
0	0.016	15	0.072	1.08
1	0.01	10.77	0.053	0.57081
3	0.09	9.41	0.048	0.45168
4	0.09	9.36	0.046	0.43056
5	0.09	9.12	0.045	0.4104
6	0.09	9.09	0.045	0.40905

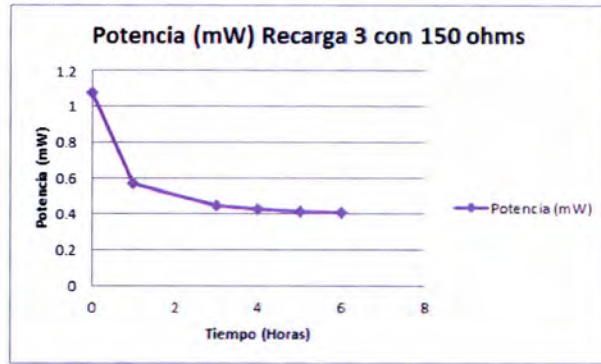


Tabla 26. Resultados recarga 3 con 150 Ω. Figura 45. Resultados recarga 3 con 150 Ω.

Como peor desempeño tenemos la tercera recarga con 150 Ω, ya que presenta una muy baja potencia al principio y a lo largo de su corta operación y se puede decir que esta potencia no es utilizable para las aplicaciones deseadas en el proyecto.

La segunda prueba consistió en evaluar el desempeño que presentó la batería conectada con una carga de 250 Ω, al igual que la prueba anterior a continuación se presentan los resultados y las gráficas con sus respectivas recargas.

Pila 4 Recarga 1						
Resistencia de 250						
Voc	2.24					
Segundos	Horas	V carga	I (mA)	V pila	Potencia (mW)	Energía J
0	0	1.375	6.3	1.6	10.08	30.56832
3600	1	1.374	5.8	1.464	8.4912	29.1384
7200	2	1.419	5.7	1.42	8.094	53.2656
14400	4	1.348	5.4	1.37	7.398	25.9488
18000	5	1.336	5.3	1.36	7.208	25.9488
21600	6	1.326	5.3	1.36	7.208	24.7104
25200	7	1.307	5.2	1.32	6.864	23.6844
28800	8	1.28	5.1	1.29	6.579	22.95
32400	9	1.26	5	1.275	6.375	22.05
36000	10	1.22	4.9	1.25	6.125	15.2064
75600	21	0.321	1.2	0.32	0.384	
Energía Total J						273.47112

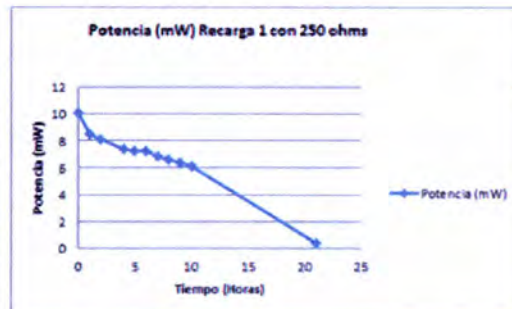


Tabla 27. Resultados recarga 1 con 250 Ω. Figura 46. Resultados recarga 1 con 250 Ω.

En esta gráfica se puede observar el comportamiento lineal, ya que al principio tiene una potencia aproximada de 10 mW y conforme transcurre el tiempo de operación esta potencia baja poco a poco.

Pila 4 Recarga 2				
Resistencia de 250				
Voc	1.61			
Horas	V carga	I (mA)	V pila	Potencia (mW)
0	1.49	5.9	1.49	8.791
1	1.35	5.4	1.36	7.344
2	1.31	5.2	1.32	6.864
3	1.36	5.4	1.37	7.398
4	1.35	5.4	1.36	7.344
5	1.33	5.3	1.34	7.102
6	1.28	5.1	1.29	6.579
7	1.25	5	1.26	6.3
8	1.21	4.8	1.22	5.856
9	1.13	4.5	1.136	5.112
10	1.083	4.3	1.1	4.73
20	0.429	1.7	0.431	0.7327

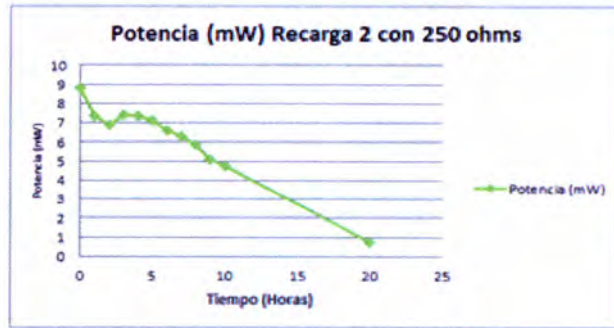


Tabla 28. Resultados recarga 2 con 250 Ω . Figura 47. Resultados recarga 2 con 250 Ω .

En esta segunda recarga podemos ver que tiene un comportamiento similar al anterior ya que inician con una potencia aproximadamente igual y durante el tiempo de operación, esta potencia desciende poco a poco.

Pila 4 Recarga 3				
Resistencia de 250				
Voc	1.6			
Horas	V carga	I (mA)	V pila	Potencia (mW)
0	1.39	5.8	1.39	8.062
1	1.029	4.1	1.1	4.51
2	0.85	3.7	0.812	3.0044
3	0.858	3.4	0.922	3.1348
4	0.824	3.3	0.854	2.8182
12	0.417	1.7	0.422	0.7174
19	0.38	1.5	0.395	0.5925
20	0.357	1.3	0.37	0.481
21	0.398	1.6	0.4	0.64
25	0.39	1.5	0.394	0.591
26	0.39	1.5	0.396	0.594
30	0.25	1	0.26	0.26

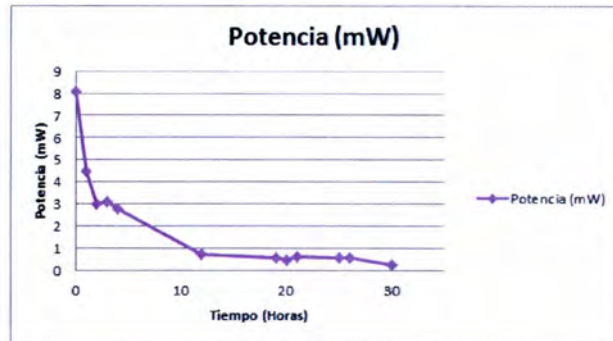


Tabla 29. Resultados recarga 3 con 250 Ω . Figura 48. Resultados recarga 3 con 250 Ω .

Durante la tercera recarga se puede observar que ya no tiene un comportamiento consistente a los anteriores, debido a que la potencia del inicio tiene un descenso muy rápido y a más de la mitad del tiempo de operación tiene un valor casi nulo.

La tercera prueba se realizó con una resistencia de 500 Ω , la cual presentó un comportamiento mucho mejor al de las baterías anteriores. Los resultados y las gráficas se muestran a continuación.

Pila 3 Recarga 1						
Resistencia de 500						
Voc	2.12					
Segundos	Horas	V carga	I (mA)	V pila	Potencia (mW)	Energía J
0	0	1.8	3.64	1.81	6.5884	24.57324
3600	1	1.82	3.73	1.83	6.8259	22.04352
7200	2	1.73	3.56	1.72	6.1232	43.22232
14400	4	1.69	3.47	1.73	6.0031	19.9584
18000	5	1.67	3.3	1.68	5.544	75.1104
32400	9	1.62	3.2	1.63	5.216	195.696
75600	21	1.5	3	1.51	4.53	48.6
86400	24	1.49	3	1.5	4.5	113.4
111600	31	1.49	3	1.5	4.5	93.52152
133200	37	1.48	2.9	1.493	4.3297	137.16
176400	49	1.26	2.5	1.27	3.175	43.2
212400	59	0.749	1.5	0.8		1.2
Energía Total J						816.4854

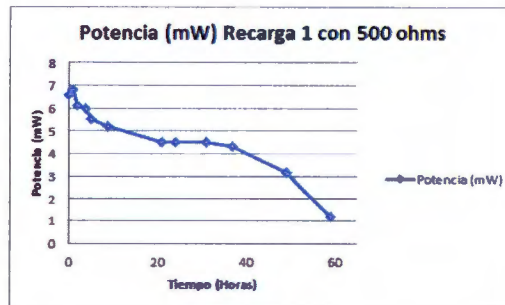


Tabla 30. Resultados recarga 1 con 500 Ω. Figura 49. Resultados recarga 1 con 500 Ω.

En esta gráfica podemos observar el mejor desempeño, ya que la gráfica nos muestra un comportamiento constante, es decir se mantiene la potencia con un mismo valor a lo largo de la operación, y solo hasta las diez últimas horas se puede ver una baja considerable de la potencia.

Pila 3 Recarga 2				
Resistencia de 500				
Voc	1.59			
Horas	V carga	I (mA)	V pila	Tiempo (Horas)
0	1.33	2.7	1.33	3.591
1	0.945	1.9	0.952	1.8088
2	0.74	1.4	0.749	1.0486
3	0.728	1.4	0.735	1.029
5	0.737	1.4	0.743	1.0402
8	0.686	1.2	0.698	0.8376
12	0.66	1.3	0.668	0.8684
14	0.666	1.3	0.67	0.871
18	0.69	1.38	0.7	0.966
26	0.673	1.35	0.68	0.918
28	0.616	1.19	0.62	0.7378
32	0.645	1.29	0.67	0.8643
45	0.552	1.1	0.558	0.6138
57	0.283	0.56	0.29	0.1624

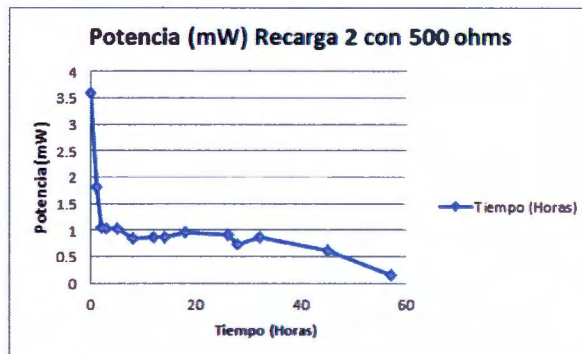


Tabla 31. Resultados recarga 2 con 500 Ω. Figura 50. Resultados recarga 2 con 500 Ω.

En esta segunda recarga se esperaba que tuviera un comportamiento similar al anterior, probablemente esta situación se presentó, debido a que se absorbió la máxima potencia y dejó la batería con valores nulos de potencia.

Por último se realizaron pruebas con una resistencia de 1000 Ω, en la cual esperábamos que los resultados tuvieran un desempeño mucho mejor que las pruebas anteriores pero cabe destacar que los resultados obtenidos estuvieron por debajo de la pruebas realizadas con la carga conectada de 500 Ω. A continuación se muestran los resultados y las gráficas.

Pila 1 Recarga 1					
Resistencia de 1k					
Voc		2.16			
Segundos	Horas	V carga	I (mA)	Potencia (mW)	Energía J
0	0	1.99	1.8	3.582	10.2816
3600	1	1.68	1.7	2.856	10.6488
7200	2	1.74	1.7	2.958	10.5264
10800	3	1.72	1.7	2.924	10.5264
14400	4	1.7	1.6	2.72	9.6192
18000	5	1.67	1.6	2.672	102.384
61200	17	1.58	1.5	2.37	23.8896
72000	20	1.58	1.4	2.212	96.552
115200	32	1.49	1.5	2.235	25.6608
136800	38	1.08	1.1	1.188	
Energía Total J					300.0888

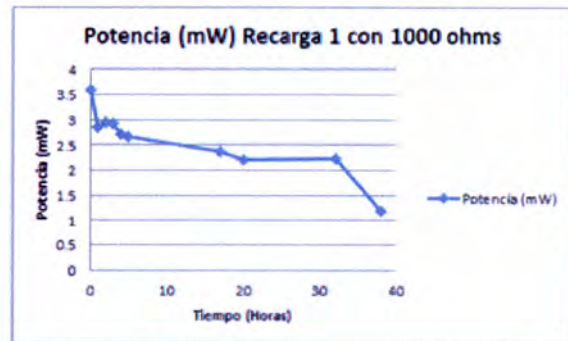


Tabla 32. Resultados recarga 1 con 1000 Ω.

Figura 51. Resultados recarga 1 con 1000 Ω.

En esta grafica se puede ver un comportamiento similar a los resultados de la primera recarga con 500 Ω, debido a que se mantiene constante la potencia y en las últimas 10 horas de operación la potencia cae de una manera lineal.

Pila 1 Recarga 2				
Resistencia de 1000				
Voc		1.64		
Horas	V carga	I (mA)	V pila	Potencia (mW)
0	1.2	1.53	1.43	2.1879
1	1.49	1.49	1.5	2.235
3	1.48	1.47	1.49	2.1903
4	1.45	1.45	1.46	2.117
6	1.35	1.36	1.39	1.8904
11	1.25	1.2	1.34	1.608



Tabla 33. Resultados recarga 2 con 1000 Ω.

Figura 52. Resultados recarga 7 con 1000 Ω.

Por último en esta gráfica se puede ver una consistencia con los resultados anteriores. La diferencia fue que el tiempo de operación fue mucho menor, ya que alcanzó valores de potencia muy bajos mucho más rápido.

CAPÍTULO 5: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS PRUEBAS

En el presente capítulo se realiza el análisis de los resultados obtenidos tras la realización de las pruebas de los dos dispositivos seleccionados, los cuales son:

- A) Celda de combustible de etanol directa (DEFC).
- B) Baterías activadas por agua (NoPoPo Batteries).

5.1 Análisis de resultados DEFC

Para el análisis se puso un especial énfasis en el peor y mejor desempeño obtenido para la DEFC. Esto para hacer una debida comparación en la que puedan apreciarse los efectos que se tienen al variar la concentración de alcohol en la solución y el efecto que se tiene al variar la carga del sistema.

5.1.1 Resultados DEFC peor desempeño

		Al 5% de concentración					
		R teórica	50	R real	50.4		
		Voc	1.019				
Segundos	Horas	V Fuente	I mA	V carga	Potencia mW	Energía J	
0	0	0.806	8.6	0.8	6.9316	1.803672	
900	0.25	0.376	5.33	0.782	2.00408	3.3071652	
3600	1	0.2973	4.12	0.705	1.224876	3.000672	
7200	2	0.2416	3.45	0.618	0.83352	2.1245328	
10800	3	0.2028	2.91	0.532	0.590148	1.9986264	
18000	5	0.1341	2.07	0.375	0.277587	1.257984	
25200	7	0.112	1.56	0.077	0.17472	1.5892272	
39600	11	0.0869	1.27	0.063	0.110363	1.420416	
54000	15	0.0822	1.2	0.06	0.09864	0.7018704	
79200	22	0.0422	0.66	0.033	0.027852	0	
E total [J]:						17.204166	

Tabla 34. Resultados al 5% de concentración de etanol y carga de 50Ω [Prueba 1]

Al 5% de concentración						
		R teórica	50	R real	50.6	
		Voc	0.956			
Segundos	Horas	V Fuente	I mA	V carga	Potencia mW	Energía J
0	0	0.465	8.55	0.397	3.97575	1.231542
900	0.25	0.277	4.94	0.244	1.36838	2.414421
3600	1	0.223	4.01	0.198	0.89423	2.253744
7200	2	0.188	3.33	0.163	0.62604	1.4634
10800	3	0.15	2.71	0.132	0.4065	1.56024
18000	5	0.11	1.97	0.097	0.2167	0.867888
25200	7	0.082	1.47	0.072	0.12054	1.08576
39600	11	0.065	1.16	0.057	0.0754	0.72504
54000	15	0.053	0.95	0.047	0.05035	1.061928
79200	22	0.049	0.86	0.042	0.04214	0
E total [J]:						12.663963

Tabla 35. Resultados al 5% de concentración de etanol y carga de 50Ω [Prueba 2]

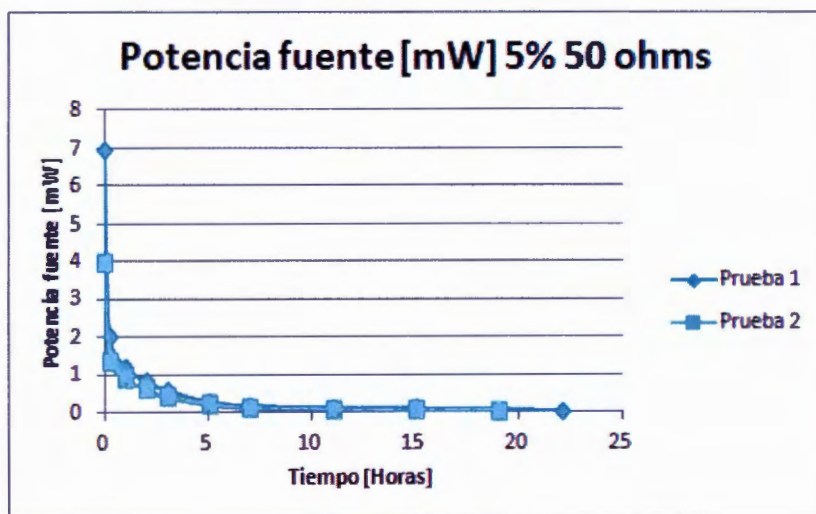


Figura 53. Gráficas de potencia al 5% de concentración de etanol y carga de 50Ω

En las tablas 34 y 35 podemos observar el peor desempeño de todos los resultados, tanto en la prueba 1 como en la prueba 2, debido a que presentaron el menor valor de potencia en el intervalo de tiempo que duraron las pruebas (23 horas). Como puede observarse en la figura 53, la potencia presenta un pico al inicio, sin embargo, aproximadamente a las 5 horas el valor de potencia desciende hasta mantenerse en valores que son prácticamente inútiles para los dispositivos de almacenamiento y cosecha de energía investigados.

5.1.2 Resultados DEFC mejor desempeño

Al 15% de concentración								
		R teórica	200	R real	199.5			
		V oc	0.927					
Segundos	Horas	V Fuente	I mA	V carga	Potencia mW	Energía J		
0	0	0.908	4.35	0.754	3.9498	0.931068		
900	0.25	0.466	2.22	0.425	1.03452	2.1977676		
3600	1	0.4153	1.96	0.363	0.813988	2.4442092		
7200	2	0.3793	1.79	0.335	0.678947	2.1567168		
10800	3	0.3566	1.68	0.312	0.599088	3.4768656		
18000	5	0.3198	1.51	0.277	0.482898	2.9593656		
25200	7	0.2957	1.39	0.253	0.411023	4.7086272		
39600	11	0.2637	1.24	0.233	0.326988	4.5817344		
54000	15	0.2608	1.22	0.231	0.318176	8.210448		
82800	23	0.2479	1.15	0.221	0.285085	0		
E total [J]:						31.6668024		

Tabla 36. Resultados al 15% de concentración de etanol y carga de 200Ω [Prueba 1]

Al 15% de concentración								
		R teórica	200	R real	199.5			
		V oc	0.927					
Segundos	Horas	V Fuente	I mA	V carga	Potencia mW	Energía J		
0	0	0.819	4.39	0.771	3.59541	1.06488		
900	0.25	0.493	2.4	0.477	1.1832	2.466801		
3600	1	0.433	2.11	0.418	0.91363	2.751408		
7200	2	0.396	1.93	0.384	0.76428	2.477088		
10800	3	0.376	1.83	0.363	0.68808	4.27176		
18000	5	0.349	1.7	0.337	0.5933	3.77856		
25200	7	0.328	1.6	0.318	0.5248	6.565536		
39600	11	0.306	1.49	0.296	0.45594	5.724576		
54000	15	0.286	1.39	0.276	0.39754	9.10656		
82800	23	0.255	1.24	0.246	0.3162	0		
E total [J]:						38.207169		

Tabla 37. Resultados al 15% de concentración de etanol y carga de 200Ω [Prueba 2]

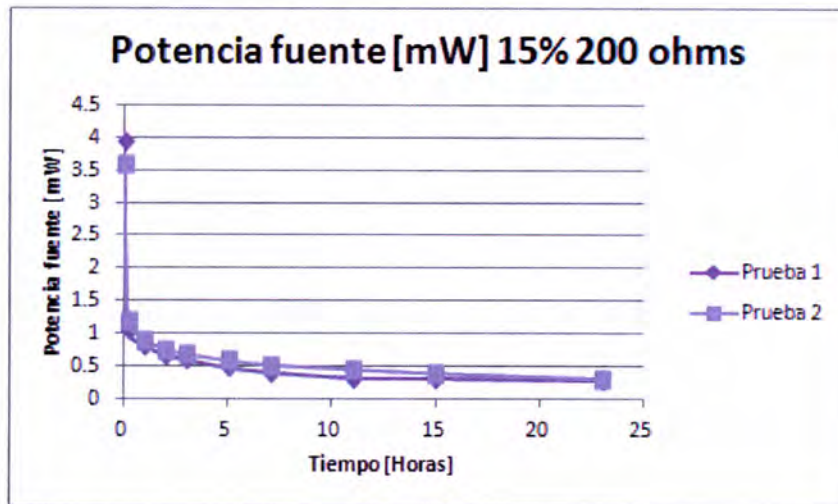


Figura 54. Gráficas de potencia al 15% de concentración de etanol y carga de 200Ω [Prueba 2]

En las tablas 36 y 37 pueden apreciarse los valores obtenidos para la combinación que produjo la mayor cantidad de potencia a lo largo de la prueba, esta combinación fue aquella que tenía un 15% de alcohol en la solución y una carga de 200Ω. En la gráfica podemos observar que el pico ya no es tan alto como en el caso de la gráfica de la figura 53 del peor desempeño, también el valor de potencia no disminuye tan rápidamente como en el caso mencionado, es decir, no alcanza el mismo nivel bajo de potencia sino hasta después de unas 7 horas aproximadamente, sino que se mantiene casi constante a un valor aceptable y adecuado para los dispositivos de almacenamiento y cosecha de energía investigados.

5.1.3 Resumen de resultados DEFC

Los resultados obtenidos en la figura 54 son los que arrojan los valores más altos de potencia a lo largo del tiempo que se definió para las pruebas. Podemos observar que esta vez los picos del inicio de la prueba no son tan altos como para las demás pruebas, sin embargo, en esta ocasión se observa que el valor de la potencia no desciende tan rápidamente, sino que aproximadamente a las 5 horas logra mantenerse en un valor estable alrededor de los 0.5 miliWatts.

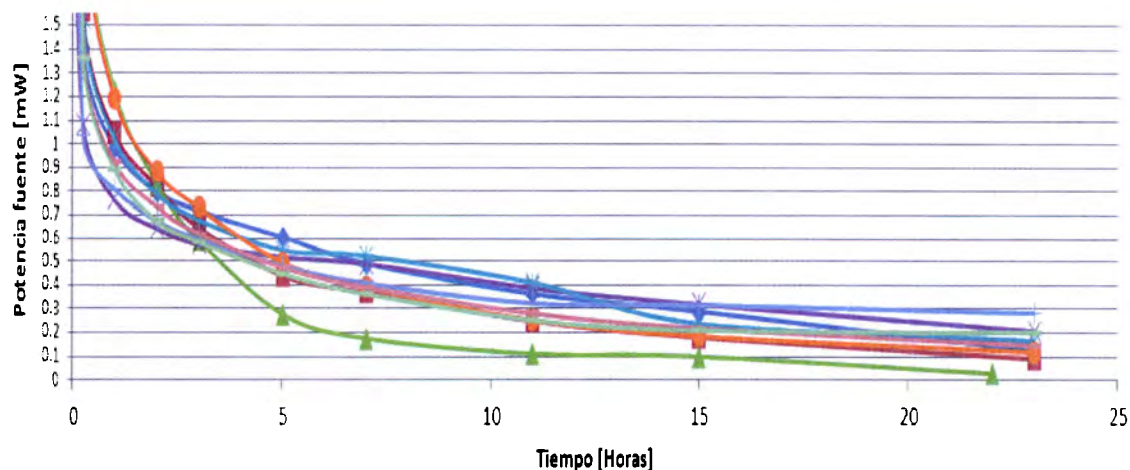


Figura 55. Resumen de resultados DEFC [Prueba 1]

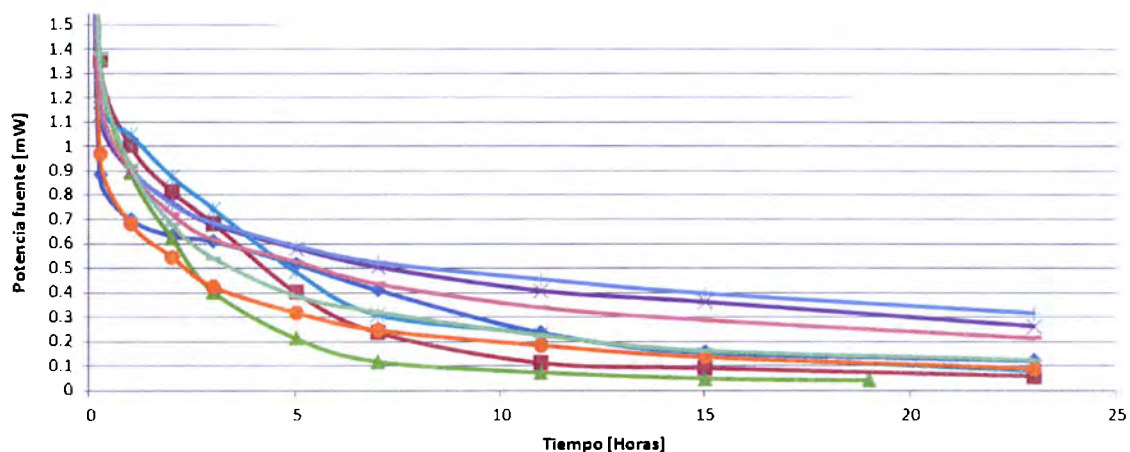


Figura 56. Resumen de resultados DEFC [Prueba 2]

En las figuras 55 y 56 se puede observar que en general todas las gráficas de potencia de las pruebas presentan el mismo comportamiento, es decir, todas adquieren un valor elevado de potencia al principio que suele descender hasta aproximadamente las 5 primeras horas; después de eso, la potencia sigue descendiendo pero de manera mucho más lenta y en algunos casos la potencia logra mantenerse prácticamente estable. Lo anterior podemos atribuirlo a que inicialmente la celda adquiere unos ciertos valores propios de voltaje y corriente en circuito abierto, al conectarle la carga dichos valores descienden rápidamente hasta volverse prácticamente estables durante varias horas. Finalmente, una vez que la reacción en la celda está por completarse, dichos valores comienzan a descender lentamente hasta que la reacción se lleve a cabo en su totalidad.

5.1.4 Energía total del sistema DEFC

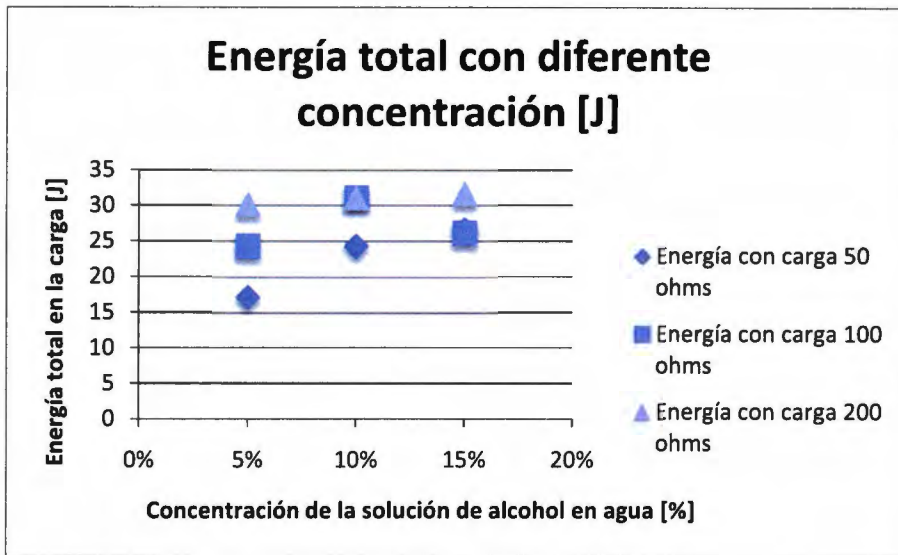


Figura 57. Gráficas de energía total con diferente concentración [Prueba 1]

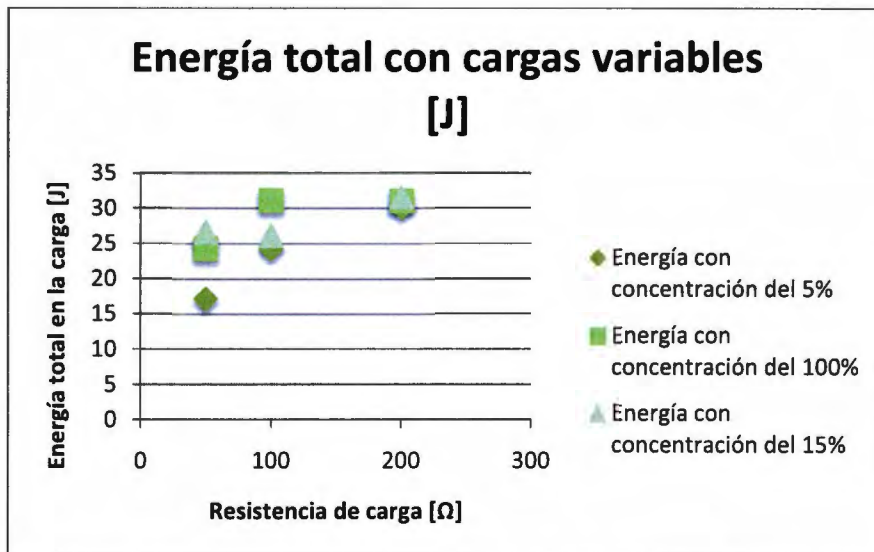


Figura 58. Gráficas de energía total con cargas variables [Prueba 1]

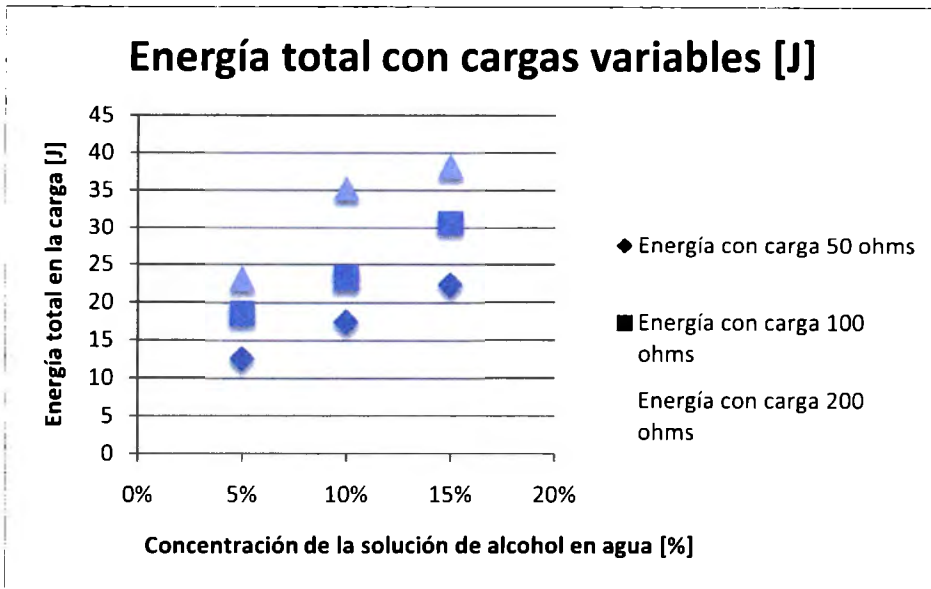


Figura 59. Gráficas de energía total con diferente concentración [Prueba 2]

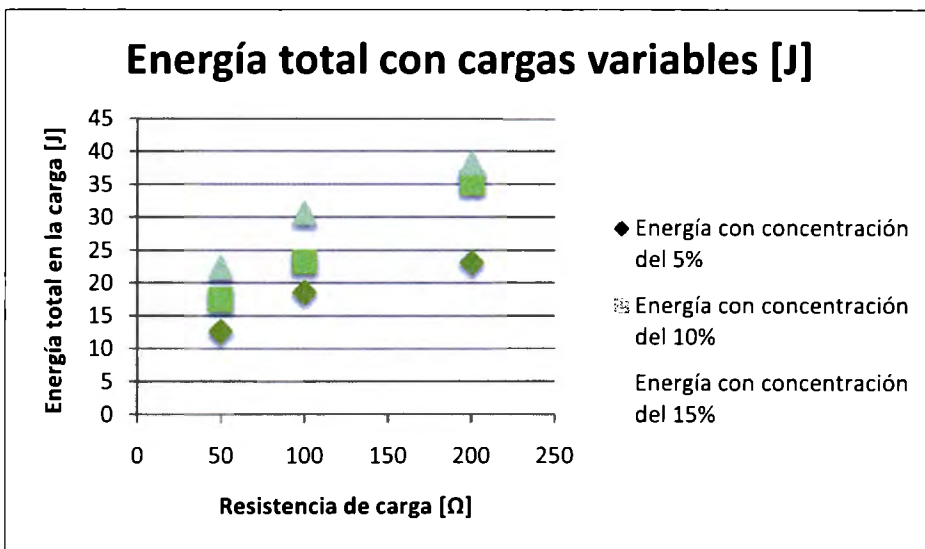


Figura 60. Gráficas de energía total con cargas variables [Prueba 2]

En las figura 59 correspondiente a la prueba 2 podemos observar que la cantidad de energía total aumenta conforme la concentración de etanol de la solución aumenta. De la misma manera en la figura 60 podemos ver que conforme la carga aumenta a 200Ω, el valor de la energía total también incrementa.

5.2 Análisis de resultados baterías NoPoPo

Para este análisis se escogió el mejor y peor desempeño de los resultados obtenidos. Esto se hizo para poder hacer una comparación en la cual se pueda apreciar el comportamiento de las baterías a diferentes resistencias. Además este análisis también contempla un resumen de los resultados obtenidos y por último se muestra el tiempo de operación del sistema y la energía total acumulada a lo largo de su operación.

5.2.1 Resultados baterías NoPoPo peor desempeño

A continuación se muestran los resultados y la gráfica obtenida con el peor desempeño registrado, éste fue el peor desempeño, ya que la potencia, la energía y el tiempo de operación del sistema fue el más bajo a lo largo de las diferentes pruebas.

Pila 2 Recarga 1						
Resistencia de 150						
Voc		2.45				
Segundos	Horas	V carga	I (mA)	V pila	Potencia (mW)	Energía J
0	0	0.1	106	0.46	48.76	22.464
3600	1	0.03	39	0.16	6.24	8.21664
7200	2	0.03	28.53	0.08	2.2824	6.15168
10800	3	0.02	21.36	0.08	1.7088	19.2348
28800	8	0.01	17.81	0.06	1.0686	3.2616
32400	9	0.01	15.1	0.06	0.906	6.12648
39600	11	0.01	12.7	0.067	0.8509	
Energía Total J						65.4552

Tabla 38. Resultados del peor desempeño.

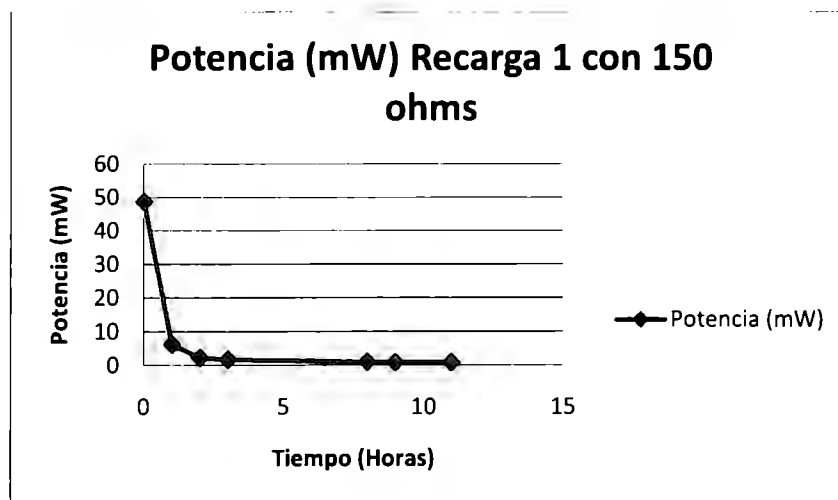


Figura 61. Gráfica del peor desempeño NoPoPo Batteries.

Como se puede observar tanto en los resultados como en la gráfica, el sistema presenta al inicio un valor de potencia muy alto que rápidamente desciende hasta un valor de potencia casi nulo. Este comportamiento nos indica que si al sistema se le conecta una baja impedancia como ésta (150 Ω), el sistema no opera por un largo tiempo y no es posible entregar la máxima potencia que el sistema está dispuesto a dar.

5.2.2 Resultados baterías NoPoPo mejor desempeño

Los siguientes resultados muestran el mejor desempeño obtenido a lo largo de las pruebas. Es el mejor desempeño, debido a que presentó los valores más altos en potencia, energía y tiempo de operación.

Pila 3Recarga 1						
Resistencia de 500						
Voc		2.12				
Segundos	Horas	V carga	I (mA)	V pila	Potencia (mW)	Energía J
0	0	1.8	3.64	1.81	6.5884	24.57324
3600	1	1.82	3.73	1.83	6.8259	22.04352
7200	2	1.73	3.56	1.72	6.1232	43.22232
14400	4	1.69	3.47	1.73	6.0031	19.9584
32400	9	1.62	3.2	1.63	5.216	195.696
86400	24	1.49	3	1.5	4.5	113.4
111600	31	1.49	3	1.5	4.5	93.52152
133200	37	1.48	2.9	1.493	4.3297	137.16
176400	49	1.26	2.5	1.27	3.175	43.2
212400	59	0.749	1.5	0.8	1.2	
Energía Total J						816.4854

Tabla 39. Resultados del mejor desempeño.

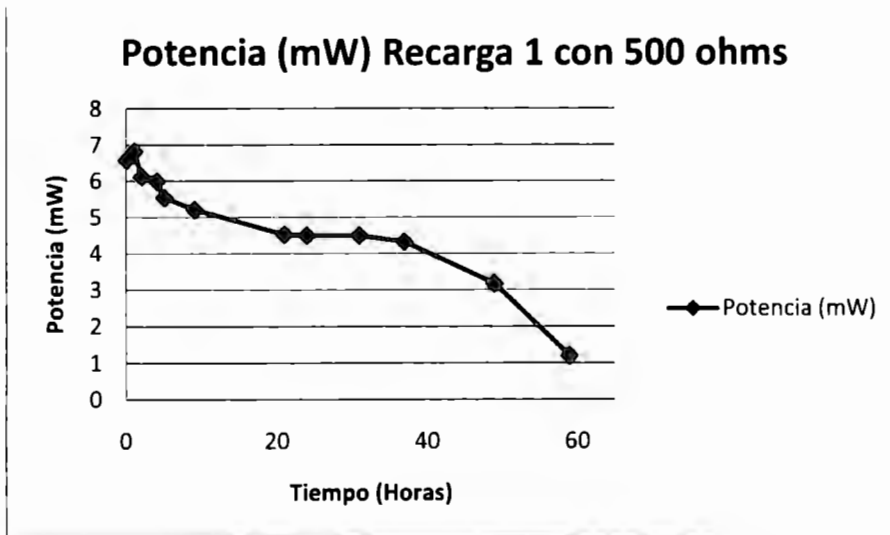


Figura 62. Gráfica del mejor desempeño NoPoPo Batteries.

A comparación de la gráfica anterior, se puede observar que el valor de la potencia desciende lentamente dando como resultado que se maximice la absorción de potencia en la carga en un tiempo mucho más prolongado.

5.2.3 Resumen resultados baterías NoPoPo

A continuación se mostrará una gráfica en la que se pueda contemplar el comportamiento de las pruebas realizadas.

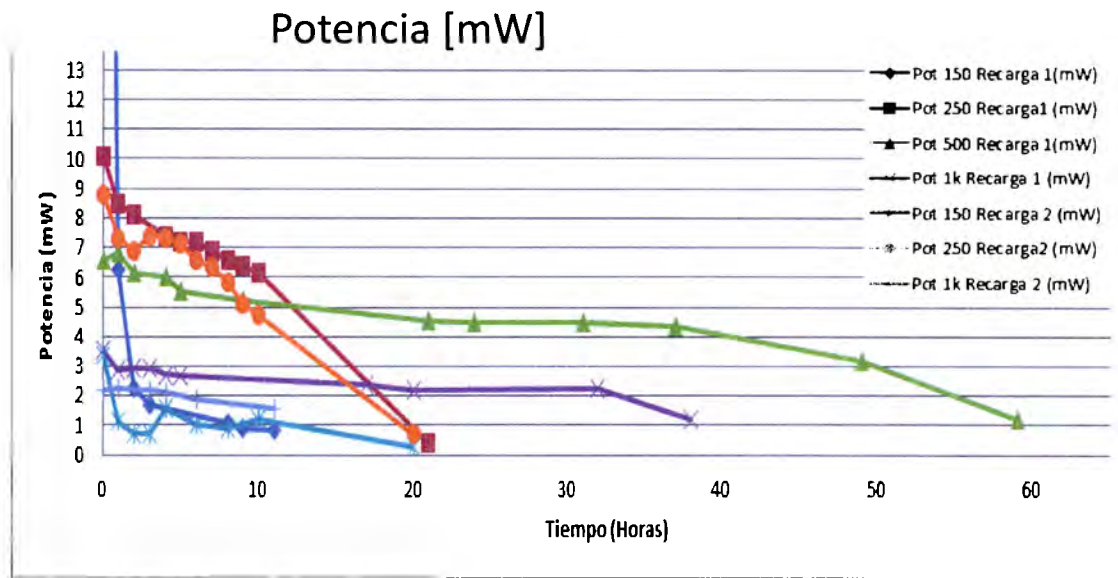


Figura 63. Resumen de resultados obtenidos.

En general las gráficas de las pruebas presentan un comportamiento similar, en donde se observa una primera caída de potencia, seguida de una etapa de estabilidad, para finalmente tener una última caída de potencia.

5.2.4 Tiempo de operación y energía total del sistema

En esta parte del trabajo se muestra el tiempo de operación del sistema, es decir, se mostrará una gráfica en la cual se evalúe el tiempo en el cual el sistema estuvo activo con las diferentes resistencias. Además se mostrará una gráfica en la cual se pueda observar la energía total entregada a la carga.

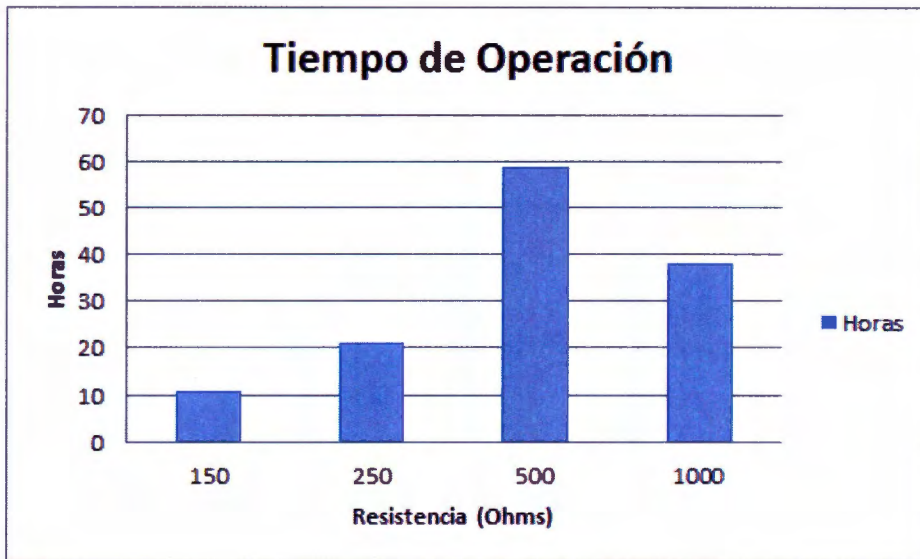


Figura 64. Tiempo de operación.

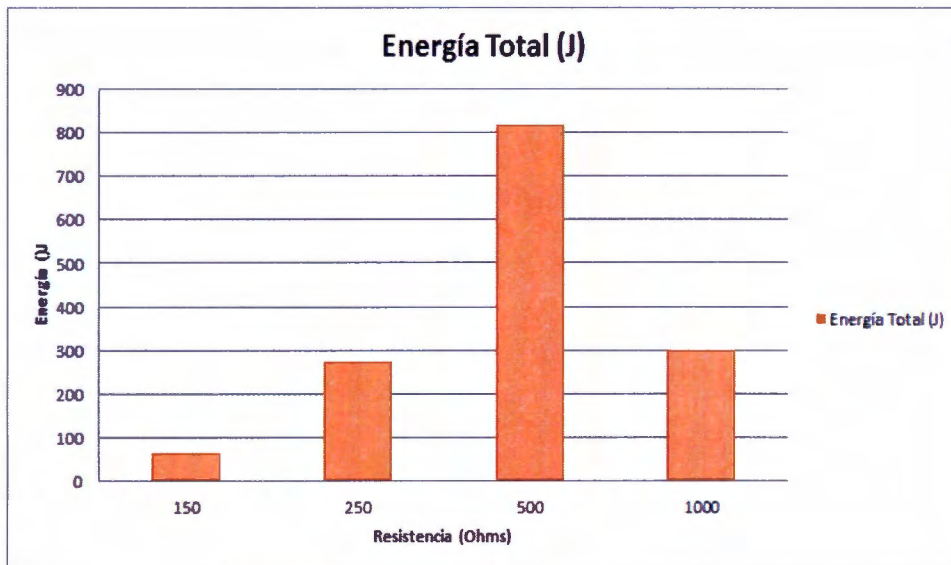


Figura 65. Energía total.

Como podemos apreciar, la resistencia con la cual se tuvo una mayor operación a lo largo del tiempo y una entrega de energía mayor, fue la resistencia de 500 Ω . Este comportamiento era de esperarse, porque la resistencia de 500 Ω siempre presentó un mejor comportamiento, lo cual indica que hemos encontrado la carga óptima la cual maximiza la absorción de la potencia.

CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES

Gracias a las pruebas realizadas pudimos seleccionar una carga óptima que maximizara la absorción de potencia.

Basados en el comportamiento que ambos dispositivos presentan pudimos comprobar que maximizan la potencia cuando se les conecta una carga de alta impedancia.

Tras hacer un comparativo entre la máxima producción de energía de cada dispositivo en un intervalo de tiempo similar, se observa que las baterías de agua generan mucho más energía (540 J) que la *DEFC* (38 J).

A pesar de la mayor capacidad energética de las baterías, éstas cuentan con la desventaja de que sólo se pueden recargar 4 veces, lo cual disminuye notablemente su tiempo de vida útil.

Por otra parte, la *DEFC* cuenta con la ventaja de que se le puede suministrar la solución de agua y alcohol cuantas veces sea necesario, con menos de 5 ml por recarga.

Gracias a que la tecnología presenta un continuo avance, el desarrollo de tecnologías que utilicen energías alternas, como lo son las celdas de combustible y los módulos de cosecha de energía, logrará reducir el uso de baterías convencionales en los diferentes dispositivos electrónicos, fijos y móviles.

6.1 Trabajo a futuro

Como trabajo a futuro se plantea lo siguiente:

- Adquirir los módulos de almacenamiento y cosecha de la energía producida.
- Evaluar el desempeño de los subsistemas de almacenamiento:
 - EH1D
 - EH4205
- Diseñar y desarrollar una de las aplicaciones previamente propuestas, entre las que se incluyen:

- WSN (Redes inalámbricas de sensores)
- Módulos de radiofrecuencia (RF) de baja potencia
- Cosecha de energía por vibración, térmica, química, biológica o solar
- Monitoreo ambiental
- Automatización de edificios
- Sistemas de alarma y seguridad

Referencias

Referencias bibliográficas:

- [1] OECD (2010), Cities and Climate Change, OECD, Publishing.
- [2] Pilas alcalinas desechables (marzo 2008). Laboratorio Profeco reporta.
- [3] El libro de las energías renovables. Francisco Jarabo Friedrich. Colección Era Solar. España, 1998.
- [4] Tecnologías de generación de energía eléctrica. Gilberto Enriquez Harper. México: Limusa, 2009.
- [5] Wang, Caisheng and Nehrir, M. Hashem (2009). Modeling and control of fuel cells. USA. IEEE Press.
- [6] Srinivasan, Supramaniam (2006). Fuel Cells, from fundamentals to Applications. USA. Springer.
- [7] Shah, R.K. and Kandlikar S.G. (2003). Fuel cells science, engineering and technology. New York, USA. The american society of mechanical engineers Press.

Referencias electrónicas (búsquedas en Internet):

- [I] Microgeneración de Energía. Recuperado 6 de febrero de 2012 de: <http://www.mitecnologico.com/Main/GeneradoresDeEnergiaElectrica>
- [II] Generación de Energía. Recuperado 6 de febrero de 2012 de: <http://www.energy.gov.ab.ca/Electricity/2396.asp>
- [III] Generación de Energía. Recuperado 6 de febrero de 2012 de: <http://www.miem.gub.uy/gxpfiles/miem/content/video/source0000000062/VID0000050000000941.pdf>
- [IV] *The Energy Mix- Definition, Current Situation and Future Trends*. Recuperado el 26 de febrero de 2012 de: <http://www.planete-energies.com/en/the-energy-of-tomorrow/the-energy-mix/the-energy-mix-definition-256.html>
- [V] Generación de electricidad en México. Recuperado 22 de febrero de 2012 de: <http://www.explorandomexico.com.mx/about-mexico/4/67/>
- [VI] LA PRESA EL CAJON, ORGULLO DE LA INGENIERIA Y MANO DE OBRA MEXICANA: ING. DOMINGUEZ MENDEZ. Recuperado el 22 de febrero de 2012 de: <http://bieindustrial.com/PAG9BIE89.htm>

[VII] El país de la energía contaminante. Recuperado 22 de febrero de 2012 de: <http://www.cnnexpansion.com/obras/2009/07/14/el-pais-de-la-energia-contaminante>

[VIII] Departamento de Energía de los Estados Unidos (U.S. DOE). Recuperado 20 de febrero de 2012 de: <http://energy.gov/>

[IX] Secretaría de Energía, México. Recuperado 20 de febrero de 2012 de: http://www.sener.gob.mx/portal/fuentes_de_energia.html

[X] La generación de energía eléctrica y la sociedad. Recuperado 20 de febrero de 2012 de: http://www.na-sa.com.ar/files/pdf/energia_sociedad.pdf

[XI] Bureau de Meteorología, Gobierno de Australia. Recuperado 20 de febrero de 2012 de: <http://www.bom.gov.au/info/climate/change/gallery/6.shtml>

[XII] Ciclo de la energía. Recuperado 20 de febrero de 2012 de: <http://www.bom.gov.au/info/climate/change/gallery/7.shtml>

[XIII] Ciclo del Agua. Recuperado 20 de febrero de 2012 de: <http://www.bom.gov.au/info/climate/change/gallery/7.shtml>

[XIV] Ciclo del carbono. Recuperado 20 de febrero de 2012 de: <http://www.bom.gov.au/info/climate/change/gallery/9.shtml>

[XV] USA EPA. Recuperado 21 de febrero de 2012 de: <http://www.epa.gov/climatechange/basicinfo.html>

[XVI] SEMARNAT. Recuperado 21 de febrero de 2012 de: http://cambio_climatico.ine.gob.mx/ccymedios/ccymediosnaceint.html

[XVII] Efectos del cambio climático en México. Recuperado 21 de febrero de 2012 de: http://participacionsocial.sre.gob.mx/docs/incidencia_social_ambito_regional_multilateral/agenda_internacional/agenda_y_temas_internacionales/cambio_climatico/presentaciones/cc_julia_2.pdf

[XVIII] Adaptación cambio climático en México. Recuperado 21 de febrero de 2012 de: http://participacionsocial.sre.gob.mx/docs/incidencia_social_ambito_regional_multilateral/agenda_internacional/agenda_y_temas_internacionales/cambio_climatico/presentaciones/cc_julia_2.pdf

[XIX] Comisión Federal de Electricidad. Recuperado 21 de febrero de 2012 de:
<http://www.cfe.gob.mx/QuienesSomos/estadisticas/Paginas/Indicadoresdegeneraci%C3%B3n.aspx>

[XX] Energías renovables y no renovables. Recuperado 23 de enero de 2012 de:
<http://informatica4eso1.blogspot.com/>

[XXI] ¿Qué son las energías renovables? Recuperado 23 de enero de 2012 de:
<http://www.biodisol.com/que-son-las-energias-renovables-clasificacion-evolucion-historica-las-fuentes-de-energias-renovables/>

[XXII] Energía renovables no convencionales: una alternativa frente a la amenaza de los apagones. Recuperado 27 de febrero de 2012 de:
http://www.bcn.cl/carpeta_temas_profundidad/energias-renovables-no-convencionales

[XXIII] Fuerte inversión de Uruguay en energía eólica hasta 2015. Recuperado el 23 de enero de 2012 de:
<http://www.planetaazul.com.mx/site/2012/02/29/fuerte-inversion-de-uruguay-en-energia-eolica-hasta-2015/>

[XXIV] Biomasa. Recuperado el 23 de enero de 2012 de:
<http://arquitecturabiosostenible.com/transformar-la-biomasa-vegetal-en-electricidad-y-combustible/>

[XXV] Energía Geotérmica. Recuperado 15 de febrero de 2012 de:
<http://pedroreina.net/trabalu/19981999/webitos4.htm>

[XXVI] La energía geotérmica. Recuperado 15 de febrero de 2012 de:
<http://www.otromundoesposible.net/noticias/energia-renovable-geotermica-gas-natural-fenosa-apuesta-por-la-energia-geotermica-para-conseguir-una-climatizacion-mas-eficiente>

[XXVII] Almacenamiento de energía. Recuperado 8 de marzo de 2012 de:
http://aeace08rei.files.wordpress.com/2011/05/almacenamiento_energia.pdf

[XXVIII] Energy harvesting products. Recuperado 8 de marzo de 2012 de:
http://www.aldinc.com/ald_energyharvesting.htm

[XXIX] Energías alternativas. Recuperado 23 de febrero de 2012 de:
<http://labioquia.com/labioquia/archives/210>

[XXX] La minihidroeléctrica en el mundo. Recuperado 23 de febrero de 2012 de: <http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/7086/2/cap1.pdf>

[XXXI] Plantas mini hidroeléctricas con bombas centrífugas y motores de inducción. Recuperado 23 de febrero de 2012 de: <http://www.mty.itesm.mx/etie/deptos/ie/profesores/allamas/cursos/ueee/renovables/GEN-09.pdf>

[XXXII] Hydrogen Fuel Cells. Recuperado 22 de febrero de 2012 de: www.automotiveworld.com

[XXXIII] How Fuel Cell Work. Recuperado 22 de febrero de 2012 de: <http://auto.howstuffworks.com/fuel-efficiency/alternative-fuels/fuel-cell2.htm>

[XXXIV] The official U.S. government source for fuel economy information. Recuperado 22 de febrero de 2012 de: http://www.fueleconomy.gov/feg/fcv_pem.shtml

[XXXV] The battery that runs on wáter. Recuperado 2 de marzo de 2012 de: <http://waterbattery.com/>

[XXXVI] Nopopo Battery: Power from water. Recuperado 2 de marzo de 2012 de: <http://crave.cnet.co.uk/accessories/nopopo-battery-power-from-water-are-you-taking-the-piss-49292553/>

[XXXVII] NoPoPo water battery gets an Update. Recuperado 2 de marzo de 2012 de: <http://www.japantrends.com/nopopo-water-battery-gets-an-update/>

[XXXVIII] Micropower step up low voltaje booster module. Recuperado 2 de marzo de 2012 de: <http://www.aldinc.com/pdf/EH4205.pdf>

[XXXIX] Step-up Micropower Voltage Boosters Simplify Energy Harvesting Solutions. Recuperado 2 de marzo de 2012 de: <http://www.digikey.com/us/en/techzone/energy-harvesting/resources/articles/step-up-micropower-voltage-boosters.html>

[XL] Energy Harvesting Module EH1D Now in Production. Recuperado 2 de marzo de 2012 de: http://www.femtogen.com/?page_id=2

[XLI] MINIPAK. Recuperado 2 de marzo de 2012 de:
<http://www.horizonfuelcell.com/store/minipak.htm>

[XLII] Imagen obtenida del manual proporcionado por el fabricante.

[XLIII] Imagen obtenida del manual proporcionado por el fabricante.

[XLIV] Aqua Power System Japan. *ASYL (Aqua Save Your Life)*. Recuperado 5 de marzo de 2012 de: <http://www.aps-j.jp/pdf/ASYL-english.pdf>

ANEXOS

ANEXO 1: *Diagrama de Gantt y división de actividades*

A continuación se presenta el diagrama de Gantt que utilizamos para la planeación de las tareas que componen nuestro proyecto:

Actividad	Semana															
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Investigación	█	█	█													
Adquisición de dispositivo				█	█	█	█									
Pruebas y evaluación							█	█	█	█	█	█				
Desarrollo del escrito	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
PLANIFICACION TEORICA	█															
PLANIFICACION REAL	█															

Diagrama de Gantt

La división de actividades se realizó de la siguiente manera:

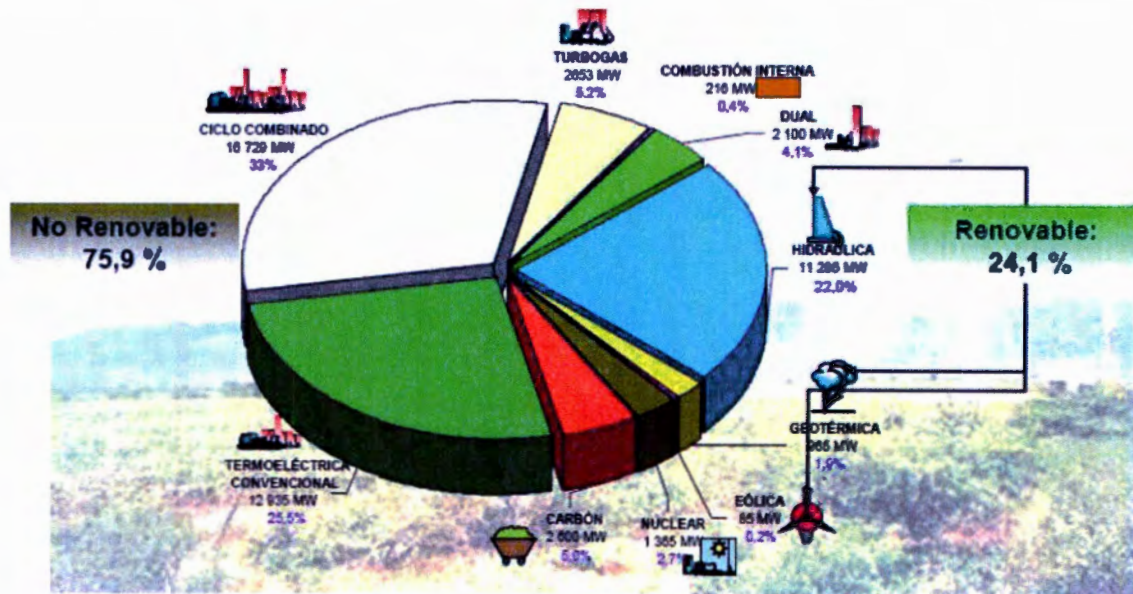
- Investigación: Todos los integrantes
- Adquisición de dispositivos:
 - DEFC: Brian Brenes Uribe
 - NoPoPo Batteries: Fernando Lastra García
 - Sistemas de almacenamiento de energía: Luis Eduardo Colonnier Sánchez
- Pruebas y evaluación: Todos los integrantes
- Desarrollo del escrito: Todos los integrantes

El avance de dichas tareas con respecto a la planificación teórica fue ligeramente lento y como resultado se produjo un retraso, sobre todo en la adquisición de los dispositivos, las pruebas y la evaluación.

Según nuestro diagrama de Gantt, se preveía adquirir los dispositivos en un máximo de seis semanas. Sin embargo, la recepción del DEFC se realizó hasta la semana 9, implicando un retraso de 3 semanas. De la misma manera, las pruebas y evaluación de los dispositivos se planeaban empezar en la semana 7, pero no se empezaron sino hasta la 9, representando un retraso de 2 semanas, ya que esta etapa dependía por completo de la fecha de adquisición de los dispositivos.

ANEXO 2: Generación de energía en México

En la siguiente figura se muestra una gráfica en la cual se puede observar de manera clara, cómo está distribuida la generación en México. Vale la pena destacar que en esta gráfica también se puede contemplar la gran dependencia que tiene nuestro país por utilizar los combustibles fósiles como principal fuente para generar energía.



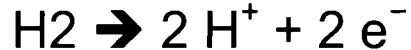
Energy mix o distribución de fuentes de energía en México [Hernández, J. Portafolio por tipo de Energía Primaria (energy mix). Formato PDF. Oct. 2010]

ANEXO 3: Reacciones químicas

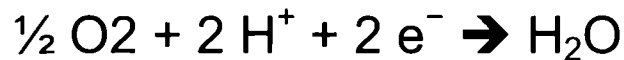
Reacciones químicas en una celda PEM

Las reacciones químicas que se llevan a cabo en una celda PEM, cuyo combustible es hidrógeno son las siguientes:

Reacción en el ánodo:



Reacción en el cátodo:



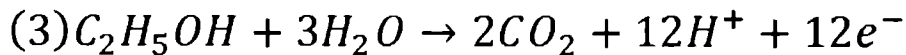
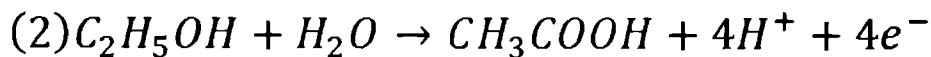
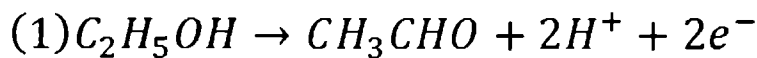
Electrolito:

Es un protón (H^+) conductor, en una membrana intercambiadora de protones (PEM). Ambas reacciones ocurren en los substratos hechos de platino.

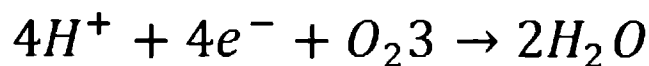
Reacciones químicas en una celda DEFC

A continuación se presentan las reacciones químicas que se llevan a cabo en una celda DEFC:

Reacción en el ánodo:



Reacción en el cátodo:



ANEXO 4: Otros modelos de las celdas de hidrógeno H-Series

H-20

Celda de 20W semi-integrada.

Tipo de combustible: PEM.

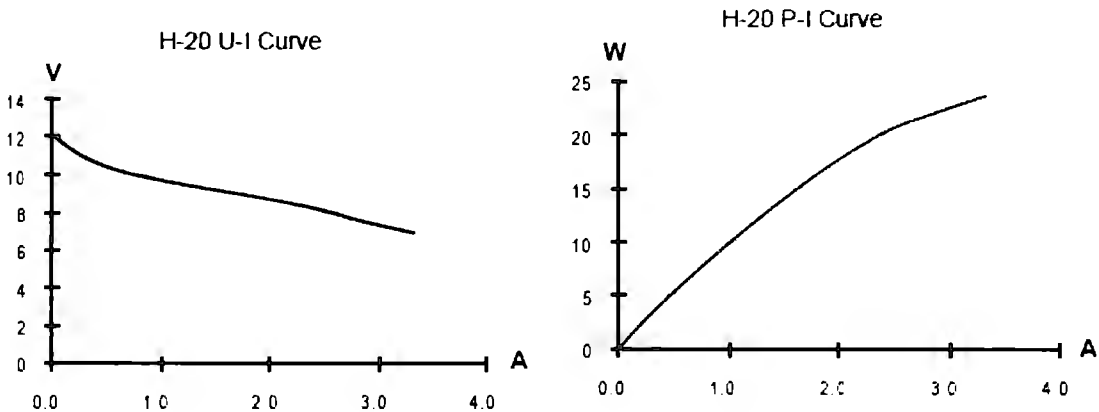
Número de Celdas: 13

Desempeño: 7.8V@2.6A.

Temperatura Ambiente: 5-30°C.

Peso 275g (± 30 g)

Curvas característica



Curvas características H-20.⁵

Incluye:

- Válvula electrónica miniatura.
- Electrónica de control.
- Ventilador integrado y carcasa.
- Protección de baja presión.
- Válvula de escape de 20W.

Precio directo: \$433 USD.

H-30

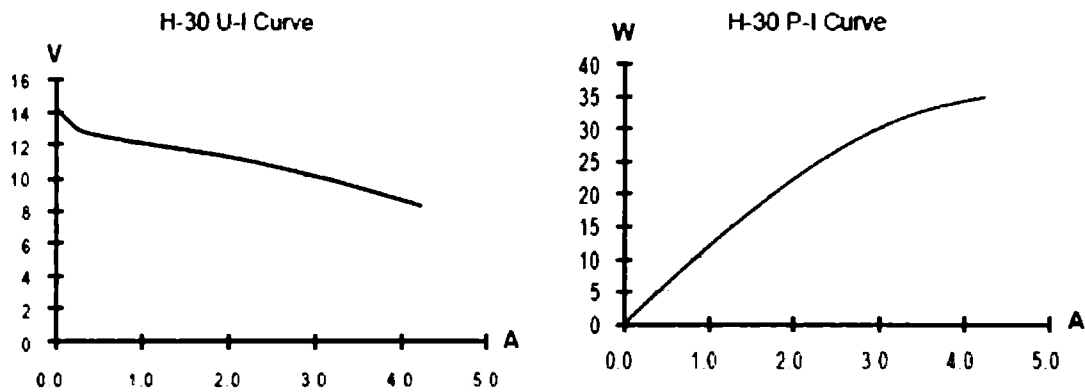
Celda de 30W semi-integrada.

Tipo de combustible: PEM.

⁵ Datos recuperados del personal de Horizon Fuel Cell ®

Número de Celdas: 14
Desempeño: 8.4V@3.6A.
Temperatura Ambiente: 5-30°C.
Peso 280g(±30g)

Curvas características:



Curvas características H-30. ⁶

Incluye:

- Válvula electrónica miniatura.
- Electrónica de control.
- Ventilador integrado y carcasa.
- Protección de baja presión.
- Válvula de escape de 30W.

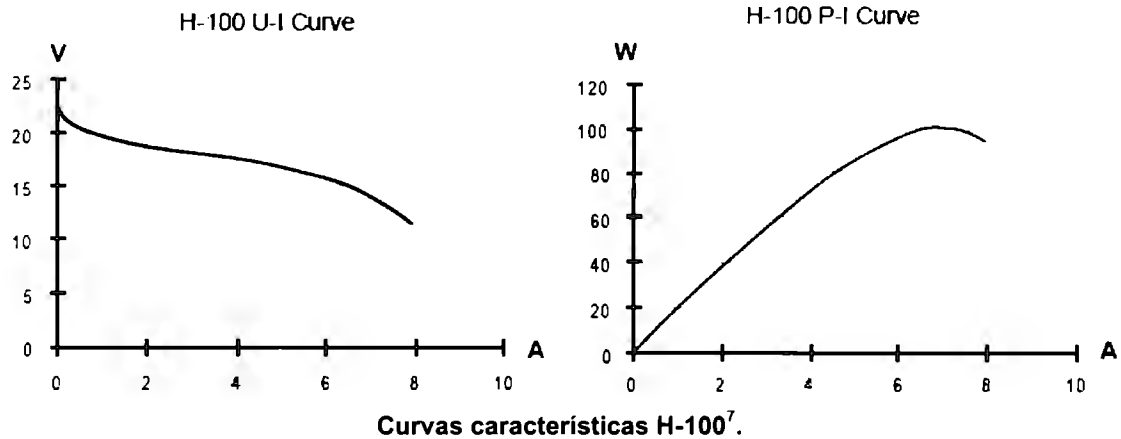
Precio directo: \$742 USD.

H-100

Celda de 100W semi-integrada.
Tipo de combustible: PEM.
Número de Celdas: 24
Desempeño: 14.4V@7.2A.
Temperatura Ambiente: 5-30°C.
Peso 960g(±30g)

⁶ Datos recuperados del personal de Horizon Fuel Cell ®

Curvas características



Incluye:

- Conexiones/Tuberías.
- Válvulas electrónicas.
- Caja electrónica de control.
- Válvula de escape de 100W.
- Switch ON/OFF para la celda.
- Switch ON/OFF SCU.

Precio directo: \$1,199 USD.

H-200

Celda de 200W semi-integrada.

Tipo de combustible: PEM.

Número de Celdas: 48

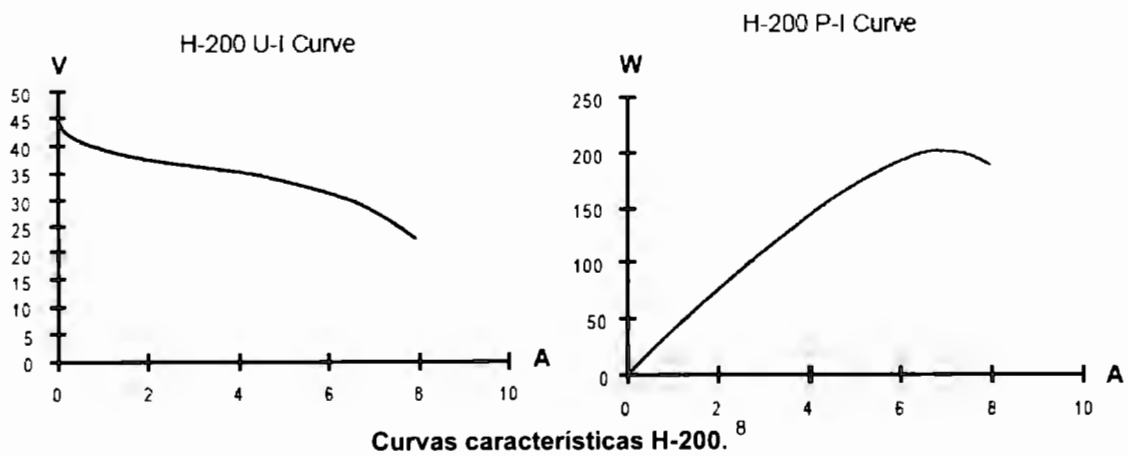
Desempeño: 28.8V@7.2A.

Temperatura Ambiente: 5-30°C.

Peso 1550g(±30g)

Curvas características:

⁷ Datos recuperados del personal de Horizon Fuel Cell ®



Incluye:

- Conexiones/Tuberías.
- Válvulas electrónicas.
- Caja electrónica de control.
- Válvula de escape de 200W.
- Switch ON/OFF para la celda.
- Switch ON/OFF SCU.

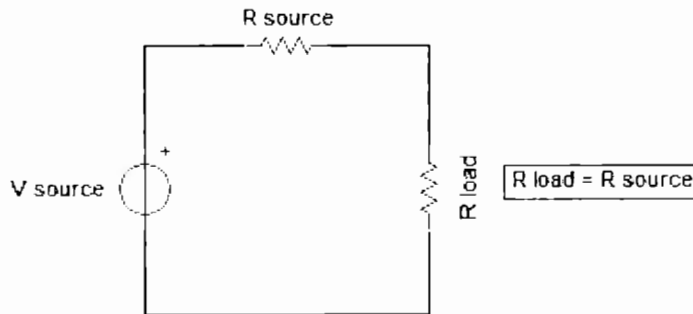
Precio directo: \$1,780 USD.

⁸ Datos recuperados del personal de Horizon Fuel Cell ®

ANEXO 5: Teorema de transferencia de potencia máxima

El teorema de transferencia de potencia máxima nos dice:

“Una fuente de tensión independiente en serie con una resistencia R_s , o una fuente de corriente independiente en paralelo con una resistencia R_s , suministra una potencia máxima a esa resistencia de carga R_L para la cual R_L es igual a R_s ”.



Este teorema está diseñado para ayudar a seleccionar una carga óptima a fin de maximizar la absorción de potencia.

Existe una gran diferencia entre tomar la potencia máxima de una fuente y entregar la potencia máxima a una carga. En pocas palabras, si la carga se diseña de tal forma que la resistencia de la carga sea igual a la resistencia de la fuente o red a la que está conectada, entonces recibirá la potencia máxima de la red. Sin embargo, si se toma la potencia máxima posible de la fuente de tensión tomando la corriente máxima posible, se entregará cero potencia a la carga, ya que la única forma de lograr esto es produciendo un cortocircuito.

ANEXO 6: Cálculo de la energía en los dispositivos

Uno de los objetivos del proyecto fue obtener la energía que los dispositivos generaban, para esto se realizó un cálculo aproximado el cual consistió en obtener la potencia instantánea por cada segundo que transcurría en los dispositivos, esta potencia la calculamos gracias al voltaje y a la corriente, previamente registradas. Como ya sabemos la energía es igual a la potencia producida en un tiempo determinado, por lo que al obtener el valor instantáneo de la potencia solo nos bastó con multiplicar por el tiempo y así obtener la energía. A continuación se muestra un ejemplo del cálculo aproximado de la energía:

T(segundos)	I (mA)	V pila	Potencia (mW)	Energía J
0	106	0.46	48.76	22.464
3600	39	0.16	6.24	8.21664

$$\text{Potencia} = V_{\text{pila}} \times I$$

$$\text{Energía} = (T_f - T_i) * \text{Potencia}$$



IMPRESA DIGITAL

IMPRESA OFFSET PLOTEO TESIS

Medicina 56, Esq. Medicina

Copilco Universidad

C.P. 04360, Coyoacan, México, D.F.

TEL. 5659 0009

impresadigital@prodigy.net.mx