



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA

TEMA:

**Estudio e implementación de módulos didácticos de generación de
energía eléctrica a base de hidrógeno**

AUTOR:

**Carlos Andrés Pérez Castro
Luis Antonio León Macías**

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de

INGENIERO ELECTRICO MECÁNICA

TUTOR:

Ricardo Xavier Echeverría Parra, M Sc

Guayaquil, Ecuador

19 de Septiembre del 2017



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por los Sres.

Carlos Andrés Pérez Castro y Luis Antonio León Macías como
requerimiento para la obtención del título de **INGENIERO EN ELÉCTRICO
MECÁNICA.**

TUTOR

Ing. Echeverría Parra, Ricardo Xavier, M. Sc

DIRECTOR DE CARRERA

Ing. Heras Sánchez, Miguel Armando, M. Sc

Guayaquil, a los 19 días del mes de Septiembre del año 2017



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICO

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **Carlos Andrés Pérez Castro** y **Luis Antonio León Macías**.

DECLARAMOS QUE:

El Trabajo de Titulación “**Estudio e Implementación de Módulos Didácticos de Generación de Energía Eléctrica a Base de Hidrógeno**” previo a la obtención del Título de **Ingeniero en Eléctrico Mecánica**, se ha desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme a las citas de referencias bibliográficas que están incorporadas en el documento. Consecuentemente este trabajo es de total autoría. En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 19 días del mes de Septiembre del año 2017

AUTORES

PÉREZ CASTRO, CARLOS ANDRÉS

LEÓN MACÍAS, LUIS ANTONIO



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO-MECÁNICO

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Pérez Castro, Carlos Andrés** y **León Macías, Luis Antonio**

Autorizamos a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: “**Estudio e Implementación de Módulos Didácticos de Generación de Energía Eléctrica a Base de Hidrógeno**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 19 días del mes de Septiembre del año 2017

AUTORES

PÉREZ CASTRO, CARLOS ANDRÉS

LEÓN MACÍAS, LUIS ANTONIO

REPORTE DE URKUND

Informe del Trabajo de Titulación de la Carrera de Ingeniería en Eléctrico Mecánica, con 0% de coincidencias perteneciente a los estudiantes, **PÉREZ CASTRO, CARLOS ANDRÉS** y **LEÓN MACÍAS, LUIS ANTONIO**.

URKUND

Documento: [Tesis sin anexos.docx](#) (D30274540)
Presentado: 2017-08-28 20:36 (-05:00)
Presentado por: romab.ecu@hotmail.com
Recibido: ricardo.echeverria.ucsg@analysis.urkund.com
Mensaje: RV: Tesis sin anexos de Luis León [Mostrar el mensaje completo](#)
0% de estas 50 páginas, se componen de texto presente en 0 fuentes.

Lista de fuentes Bloques

- [Tesis marco teorico.docx](#)
- https://es.wikipedia.org/wiki/Pila_de_combustible
- <https://energia-nuclear.net/que-es-la-energia-nuclear>
- <http://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/energia-hidroelectrica>
- <http://www.aficionadosalamecanica.net/motores-hidrogeno.htm>
- <http://www.fuelcellstore.com/fuel-cell-components/membrane-electrode-assembly>
- <http://www.ingenieroambiental.com/2040/Pilas%20de%20combustible.doc>

90% #56 Activo Fuente externa: <https://practicaciencia.com/juguetes-educativos-para-experimentar-con-el-hidrogeno...> 90%

practicaciencia.com. (2016b). MONITOR DE ENERGIAS RENOVABLES FCJJ-24 Horizon fuel cell PCFCJJ-24 6942503410068 Hidrógeno Para Científicos-Ciencia.

Recuperado el 10 de agosto de 2017, a partir de <https://practicaciencia.com/juguetes-educativos-para-experimentar-con-el-hidrogeno/273-monitor-de-energias-renovables-fcjj-24.html> Tiempo, C. E. E. (2000, noviembre 3). CELDAS DE COMBUSTIBLE, VIEJO INVENTO. Recuperado el 8 de agosto de 2017, a partir de <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-1287279> U.S. Department of Energy. (s/f-a). Hydrogen Production | Department of Energy. Recuperado el 4 de julio de 2017, a partir de <https://energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-production> U.S. Department of Energy. (s/f-b). Hydrogen Production: Electrolysis | Department of Energy. Recuperado el 4 de julio de 2017, a partir de <https://energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-production-electrolysis> U.S. Department of Energy. (s/f-c). Hydrogen Production Processes | Department of Energy. Recuperado el 4 de julio de 2017, a partir de <https://energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-production-processes>

V

123

XIV

II

Reabastecimiento de Hidrógeno

Atte.

M. Sc. Echeverría Parra, Ricardo Xavier
Docente Titular Principal – Tutor

DEDICATORIA

Este proyecto va dedicado a nuestros padres, que siempre estuvieron apoyándonos día tras día, tanto en lo ético como en lo moral, en todo este proceso académico; a nuestros demás familiares y amistades, que estuvieron pendientes en diversos aspectos, que ayudaron a nuestro crecimiento como personas de bien.

AUTORES

PÉREZ CASTRO, CARLOS ANDRÉS

LEÓN MACÍAS, LUIS ANTONIO

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, y sobre todas las cosas, damos las gracias totales a Dios, por darnos la vida y la sabiduría para poder iniciar este trayecto, culminar este proyecto y la carrera.

A nuestros respectivos padres y familiares, por su paciencia, apoyo y comprensión, ya que son un apoyo esencial, emocional, moral e intelectual, ya que han sido la base de nuestra formación como personas de bien.

Agradecemos a los docentes que nos guiaron con cada conocimiento y brindaron las herramientas adecuadas, la cual llegamos a desarrollar nuestras habilidades de manera exitosa.

Se agradece consecuentemente a nuestro tutor de tesis, el Ing. Ricardo Echeverría, que gracias a su apoyo constante y su experiencia, la cual ha sido tremendamente productiva, pudimos realizar de manera satisfactoria y exitosa este proyecto de tesis.

Un grato agradecimiento al Sr. José Márquez, que estuvo ofreciendo su ayuda y su talento durante todo el proceso de esta tesis, a fin de poder proceder con nuestra promoción.

AUTORES

PÉREZ CASTRO, CARLOS ANDRÉS

LEÓN MACÍAS, LUIS ANTONIO



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO-MECÁNICO

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

ING. HERAS SÁNCHEZ, MIGUEL ARMANDO M. Sc
DIRECTOR DE CARRERA

f. _____

ING. MONTENEGRO TEJADA, RAÚL M. Sc
COORDINADOR DE TITULACIÓN

f. _____

ING. MARTILLO ASEFFE, JOSÉ ALFONSO M. Sc
OPONENTE

Contenido

Índice de Imágenes.....	XIII
Índice de Tablas.....	XIV
Índice de Gráficos.....	XIV
Índice de Anexos	XIV
RESUMEN.....	XV
Abstract.....	XVI
Capítulo 1: Introducción.....	2
1.1 Introducción	2
1.2 Antecedentes	3
1.3 Planteamiento del Problema	5
1.4 Objetivos del Problema de Investigación.....	6
1.4.1 Objetivo General	6
1.4.2 Objetivos Específicos	6
1.5 Hipótesis	6
1.6 Metodología de Investigación.....	7
Capítulo 2: Fundamentos Teóricos	9
2.1 Energía Renovable	9
2.1.1 Tipos de Energía Renovable.....	9
2.1.1.1 Energía de la Biomasa	9
2.1.1.2 Energía Geotérmica.....	10
2.1.1.3 Energía Hidroeléctrica	10
2.1.1.4 Energía por Hidrógeno	10
2.1.1.5 Energía Nuclear.....	11
2.1.1.6 Energía Solar.....	11
2.1.1.7 Energía de las Mareas.....	11
2.1.1.8 Energía de las Olas	12
2.1.1.9 Energía Eólica	12
2.2 Hidrógeno como Energía Renovable.....	15

2.2.1	Importancia del Hidrógeno Como Buena Opción Para Una Fuente de Energía Futura.....	16
2.2.2	Medidas Para la Uso del Hidrógeno	17
2.2.2.1	Producción del Hidrógeno	18
2.2.3	Procesos de Producción de Hidrógeno	19
2.2.4	Procesos Termoquímicos.....	19
2.2.4.1	Reformado con Vapor	20
2.2.4.2	Oxidación Parcial	21
2.2.4.3	Reformado Autotérmico	22
2.2.4.4	Gasificación del Carbón	22
2.2.4.5	Biomasa.....	23
2.2.5	Procesos Termoquímico Solar	24
2.2.5.1	Electrólisis del Agua.....	25
2.2.6	Tecnologías Para el Almacenamiento del Hidrógeno	26
2.2.6.1	Almacenamiento Líquido del Hidrógeno.....	28
2.2.6.2	Almacenamientos de Hidruros Metálicos	28
2.2.6.3	Nanotubos de Carbono	30
2.2.7	Estaciones de Reabastecimiento de Hidrógeno en Todo el Mundo.....	31
2.2.8	Producción Actual del Hidrógeno en el Mercado	32
2.3	Electrolizadores.....	36
2.3.1	Tipos de Diseños de Electrolizadores	38
2.3.1.1	Electrolizador Monopolar	38
2.3.1.2	Electrolizador Bipolar	39
2.3.2	Tipos de Electrolizadores	40
2.3.2.1	Electrolizador Alcalino.....	40
2.3.2.2	Electrolizador PEM	42
2.3.3	Celdas de Electrólisis de Óxido Sólido	43
2.3.3.1	Catalizadores.....	43
2.4	Celda de Combustible	45
2.4.1	Historia de la Celda de Combustible	46
2.4.2	Tipos de Celdas de Combustible.....	47
2.4.2.1	Celda de Combustible Alcalina (AFC).....	48

2.4.2.2	Celda de Combustible de Carbonatos Fundidos (MCFC).....	48
2.4.2.3	Celdas de Combustible de Membrana Polimérica (PEM).....	48
2.4.2.4	Celdas de Combustible de Óxido Sólido (SOFC).....	49
2.4.2.5	Celda de Combustible de Ácido Fosfórico (PAFC).....	49
2.4.2.6	Celdas de Combustible de Metanol Directo (DMFC).....	50
2.4.2.7	Características Principales de las Celdas de Combustible.....	50
2.4.3	Funcionamiento de la Celda de Combustible	52
2.4.4	Eficiencia de una Celda de Combustible	53
2.4.5	Calor de Reacción.....	58
2.4.6	Poder Calorífico del Hidrógeno	60
2.4.7	Potencial Teórico	60
2.4.8	Pérdidas de Energía.....	62
2.4.9	Componentes de una Celda de Combustible	64
2.4.9.1	Combustible y Oxidante	64
2.4.9.2	Ánodo	65
2.4.9.3	Cátodo	65
2.4.9.4	Membrana o Electrolito	65
2.4.9.5	Ensamblajes de Electrodo de Membrana (MEA).....	66
2.4.9.6	Membrana de Intercambio Protónico	66
2.4.9.7	Capa de Electrolito.....	67
2.4.9.8	Capa de Difusión de Gas	68
2.4.9.9	Capa Catalizadora	68
2.4.9.10	Placas Bipolares	70
2.4.9.11	Productos.....	70
2.4.9.12	Circuito Externo (Carga)	71
2.4.10	Condiciones de Funcionamiento	71
2.4.11	Ventajas de las Celdas de Combustible	73
2.4.12	Limitaciones de las Celdas de Combustible	75
2.4.13	Resumen de las Tecnologías de Producción de Hidrógeno	77
2.4.14	Aplicaciones de las Celdas de Combustibles	78
2.4.14.1	Sector Estacionario.....	78
2.4.14.2	Mercado de Transporte.....	80

2.4.14.3 Sector Portátil	83
2.4.15 Aspecto que Tendría un Sistema Energético Integrado en el Futuro	84
Capítulo 3: Descripción, Ensamblajes y Pruebas de Módulos Didácticos de Generación de Energía a Base de Hidrógeno.....	85
3.1 Tecnología de Celda de Combustible Horizon	85
3.2 Descripción de Módulos de Tecnología de Celda de Combustible Horizon a Implementar.....	87
3.2.1 Módulo Educativo de Energía Renovable FCJJ 37	87
3.2.2 Conjunto de Generadores Hidrógeno Solar FCJJ 16	89
3.2.3 Monitor de Energía Horizon FCJJ 24	90
3.3 Funciones y Características de los Módulos Didácticos	91
3.3.1 Módulo Educativo de Energía Renovable FCJJ 37	91
3.3.2 Módulo de Generador Hidrógeno Solar FCJJ 16.....	93
3.3.3 Monitor de Energía Renovable Horizon FCJJ 24.....	94
3.4 Descripción y Parámetros de Modelos de Prácticas y Actividades	95
3.4.1 FCJJ 37 – Unidad de Aprendizaje Basada en Problemas (Prácticas Para el Estudiante).....	95
3.4.1.1 Práctica 1. Circuitos Eléctricos.....	95
3.4.1.2 Práctica 2. Red de Energía Renovable	99
3.4.1.3 Práctica 3. Conservación y Transformación de la Energía	102
3.4.1.4 Práctica 4. Reacciones de Redox	106
3.4.1.5 Práctica 5. Energía Renovable.....	109
3.4.2 FCJJ 16 – Guía de Circuitos Eléctricos (Prácticas Para el Estudiante) 112	
3.4.3 FCJJ 16 – Guía de Estequiometría (Práctica Para el Estudiante)	113
3.4.4 FCJJ 16 – Guía de Semiconductores (Práctica Para el Estudiante)	116
3.4.5 FCJJ 16 – Guía de Luz (Práctica Para el Estudiante)	120
Capítulo 4. Conclusiones y Recomendaciones	123
4.1 Conclusiones.....	123
4.2 Recomendaciones	125
Referencias Bibliográficas	127
Bibliografía.....	132
Anexos	133

Índice de Imágenes

Imagen 1. El Ciclo Ideal de la Generación de Hidrógeno.....	15
Imagen 2. Uso Simple de la Biomasa.	24
Imagen 3. La Electrólisis del Agua.	26
Imagen 4. Pozo por Encima de la Caverna de Hidrógeno y Equipo Integrado de Apoyo de la Caverna.	27
Imagen 5. Gasolinera de Hidrógeno en Columbia Británica, Canadá.	32
Imagen 6. Ejemplo Básico de un Electrolizador Monopolar.	39
Imagen 7. Electrolizador Bipolar.	40
Imagen 8. Catalizador de Platino.	44
Imagen 8. Representación Gráfica de una Celda de Combustible.....	64
Imagen 9. El Diagrama Básico de una Celda de Combustible.	72
Imagen 10. Esquema Interno de una Celda de Combustible, tipo PEM.	73
Imagen 11. Esquema de la Generación y Distribución del Hidrógeno.....	76
Imagen 13. Sistema de Cogeneración de PEMFC de 250 kW.....	78
Imagen 14. Situación del Sistema de Alimentación de un BMW Hydrogen 7...	82
Imagen 15. Configuración de Micro-Red en Viviendas.	84
Imagen 16. Aspecto que Podría Llegar a Tener un Sistema Energético Integrado en el Futuro.	84
Imagen 17. Módulo Modelo FCJJ-37, Marca Horizon.	87
Imagen 18. Módulo Modelo FCJJ-16, Marca Horizon.	89
Imagen 19. Módulo Modelo FCJJ-24, Marca Horizon.	90

Índice de Tablas

Tabla 1. Ventajas y Desventajas de Recursos de Energías Renovables.	14
Tabla 2. Repaso de la Historia de la Celda de Combustible.	46
Tabla 3. Las Celdas de Combustible Según las Reacciones de Electrodo.	47
Tabla 4. Características de los Tipos de las Celdas de Combustible.	51
Tabla 5. Eficiencia Máxima de Algunas Reacciones en las Celdas de Combustible.....	57
Tabla 6. Entalpías de Formación Estándar (25°C, 1 atm) de Algunos Compuestos Inorgánicos.	59
Tabla 7. Diferentes Tipos de NAFION Ofrecidos por Dupont.	67
Tabla 8. Tecnología de Producción del Oxígeno.	77

Índice de Gráficos

Gráfico 1. Reabastecimiento de Hidrógeno.....	31
Gráfico 2. Producción Global de Hidrógeno por Proceso.....	33

Índice de Anexos

Anexo 1. FCJJ 37 – Guía de Instrucción de Problemas Para el Estudiante ...	133
Anexo 2. FCJJ 37 – Guía de Instrucción de Problemas Para el Docente.....	161
Anexo 3. FCJJ 16 – Guía de Circuitos Eléctricos Para el Estudiante	187
Anexo 4. FCJJ 16 – Guía de Circuitos Eléctricos Para el Docente	187
Anexo 5. FCJJ 16 – Guía de Estequiometría Para el Estudiante	188
Anexo 6. FCJJ 16 – Guía de Estequiometría Para el Docente.....	191
Anexo 7. FCJJ 16 – Guía de Semiconductores Para el Estudiante.....	196
Anexo 8. FCJJ 16 – Guía de Semiconductores Para el Docente	200
Anexo 9. FCJJ 16 – Guía de Luz Para el Estudiante	205
Anexo 10. FCJJ 16 – Guía de Luz Para el Docente.....	209
Anexo 11. Guías de Ensamblaje.....	214
Anexo 12. Fotos de las Prácticas de los Módulos	227

RESUMEN

El desarrollo de esta investigación e implantación es incentivar tanto a estudiantes como docentes el estudio y la aplicación de una de las energías renovables puesto que en la actualidad se están integrando nuevas tecnologías como lo es la celda de combustible de hidrógeno, una moderna orientación que brindara soluciones contundentes en la eficiencia energética, reducción cero de emisiones contaminantes, acoplamiento ideal con diversos sistemas de energías, usando un elemento abundante que es el hidrógeno. En consecuente, primero se realizó un estudio general de la energía renovable con la tecnología de celdas de combustibles, ya que esto proporcionará los fundamentos y parámetros apropiados para la comprensión de esta ciencia. La metodología de investigación que se utilizan es documental, descriptiva, experimental y aplicada. La implementación de módulos didácticos aportará su estudio, características, aplicaciones, análisis con sus respectivos manuales de experimentación, ensamblaje, prácticas y actividades para la realización de pruebas que permitan verificar los fundamentos ya mencionados, que permitirán un mayor dominio sobre este campo; con el fin de que en el futuro puedan promover estudios e implementaciones más avanzadas para la realización de sistemas más complejos, aplicados a sectores residenciales hasta industriales.

Palabras Claves: HIDRÓGENO, CELDA DE COMBUSTIBLE, ELECTROLIZADOR, ENERGÍA RENOVABLE, ELECTRICIDAD, ALMACENAMIENTO.

Abstract

The development of this research and implementation is to encourage both students and teachers to study and apply one of the renewable energies since currently are integrating new technologies such as the hydrogen fuel cell, a modern orientation that will provide strong solutions in energy efficiency, zero reduction of pollutant emissions, ideal coupling with various energy systems, using an abundant element that is hydrogen.

Consequently, a general study of renewable energy was first conducted with fuel cell technology, as this will provide the fundamentals and appropriate parameters for the understanding of this science.

The research methodology used is documentary, descriptive, experimental and applied. The implementation of didactic modules will contribute their study, characteristics, applications, analysis with their respective manuals of experimentation, assembly, practices and activities to carry out tests that allow to verify the aforementioned foundations, that will allow a greater dominion on this field; So that in the future they can promote studies and more advanced implementations for the realization of more complex systems, applied to residential to industrial sectors.

Keywords: HYDROGEN, FUEL CELL, ELECTROLYZER, ELECTRICITY, STORAGE, RENEWABLE ENERGY.

Capítulo 1: Introducción

1.1 Introducción

Debido al gran uso de combustibles fósiles en este mundo hemos llegado a la necesidad de buscar nuevas alternativas de combustibles agradables con el medio ambiente, es decir cero contaminación, cada vez se van implementando nuevas formas de creación de energía y cada vez con un grado más alto de eficiencia como por ejemplo la fotovoltaica, la hidroeléctrica, la eólica, la mareomotriz, la biomasa y el hidrógeno como fuentes de generación de energía eléctrica a gran escala; hoy en día en el Ecuador se está fomentando el uso de energías renovables y es fundamental que en las universidades se comiencen a realizar estudios con relación a las celdas de combustible de hidrógeno para generación de energía, ya que esta generación es de cero contaminación, y nos ahorramos grandes cantidades en mantenimientos de equipos debido a que son estáticos y tenemos el hidrógeno como base, que es un elemento que se lo puede obtener de varios compuestos y poder reutilizarlo para seguir una constante generación, también una gran ventaja es que los equipos de este sistema son de larga duración, el acoplamiento de la generación por hidrógeno en los otros medios de generación es un complemento muy importante para evitar las desventajas o limitaciones de estas energías renovables, en esta implementación se pretende resaltar la generación de energía eléctrica por hidrógeno y su complementación para las otras energías renovables,

incentivando la investigación y estudio para futuras generaciones de ingenieros eléctricos-mecánicos.

1.2 Antecedentes

El tema de las energías renovables en el Ecuador se ha hecho énfasis en el desarrollo de la eficiencia energética y la búsqueda de nuevas alternativas de generación de energía eléctrica tales como las hidroeléctricas que constituyen una gran parte de la inversión energética del Ecuador, también tenemos la central eólica en Villonaco, y en Imbabura una central fotovoltaica, pero actualmente en el Ecuador no se ha desarrollado la generación de energía eléctrica por medio del hidrógeno, y se están realizando estudios de esta nueva alternativa para futuros beneficios en el país.

En la Facultad Técnica para el Desarrollo de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil contamos con dos sistemas de emergencia para alumbrado de pasillos en sectores diferentes, uno con sistema de panel fotovoltaico y otro con sistema eólico.

La historia de la celda de combustible comienza en 1839, la primera de todas fue concebida por sir William Robert Grove, juez, inventor y físico galés. Él mezcló hidrógeno y oxígeno con la presencia de un electrolito y produjo electricidad y agua. La invención no produjo electricidad suficiente para ser favorable.

En 1889, el término celda del combustible fue nombrado por Ludwig Mond y Charles Langer, construyendo una, usando aire y gas industrial del carbón. Otra fuente indica que William White Jacques fue el que primero usó el término. Jacques fue también el primer investigador en usar el ácido fosfórico como electrolito.

Las indagaciones sobre el tema en la Alemania de los 20's abrieron la vía al desarrollo de las celdas de combustible de hoy.

En 1932, el ingeniero Francis T. Bacon inició su investigación en las celdas de combustible. Para ese entonces los primeros diseñadores usaron electrodos de platino poroso y ácido sulfúrico como electrolito. Usar platino era costoso y ácido sulfúrico, corrosivo. Bacon mejoró el costoso catalizador de platino con hidrógeno y oxígeno, y con electrolito alcalino menos corrosivo, además de usar los más baratos electrodos de níquel. Y así le tomó a Bacon hasta 1959 para perfeccionar su celda de combustible, cuando demostró que la suya generaba cinco kilovatios, accionando una máquina de soldadura. Y llamó a su diseño la Celda de Bacon.

En octubre de 1959, el ingeniero Harry Karl Ihrig expuso una celda que potenció un tractor de 20 HP (14,7 kilovatios). Éste fue el primer vehículo accionado por celdas de combustible de la historia.

A principios de los 60's, General Electric produjo el sistema de corriente eléctrica basado en esta tecnología para las cápsulas espaciales Géminis y

Apolo de la NASA. General Electric usó los principios de la Celda de Bacon como la base de su diseño. La electricidad del transbordador espacial es compensada actualmente por las celdas de combustible, cuyo residuo, agua pura, la consume la tripulación. Por eso, la NASA decidió que usar reactores nucleares era un riesgo muy alto, y usar baterías convencionales o energía solar era demasiado abultado para instalar en vehículos espaciales.

Los primeros buses operados por celdas terminaron en 1993 y varios autos prototipos se construyen en Europa y en Estados Unidos. Daimler-Benz y Toyota lanzaron sus prototipos en 1997.

En Alemania, en el exterior del aeropuerto de Múnich, se instaló el primer surtidor robotizado de hidrógeno, para que los vehículos marca BMW que ya cuentan con esta tecnología se abastezcan con el limpio gas. (Tiempo, 2000)

1.3 Planteamiento del Problema

Como desarrollar prácticas mediante el uso de las celdas de combustible de hidrógeno como energía renovable en el Laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.4 Objetivos del Problema de Investigación

1.4.1 Objetivo General

Realizar un sistema de generación de electricidad por medio de una celda de combustible de hidrógeno con el fin de incentivar el uso de esta energía y estudiar la eficiencia eléctrica que emite esta energía renovable.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Equipar mediante módulos didácticos de celda de combustible en el Laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo de la USCG.
- Demostrar las ventajas, limitaciones, y uso mediante prácticas elaboradas en el laboratorio sobre la celda de combustible de hidrógeno y la importancia en el apoyo de este tipo de generación hacia la generación eólica y solar.
- Promover el uso de la generación de hidrógeno como energía renovable en la facultad técnica para el desarrollo de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.5 Hipótesis

La falta de conocimiento en los estudiantes de eléctrico-mecánico de la Facultad Técnica para el Desarrollo de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil en el extenso campo de las energías renovables, nos lleva a implementar al Laboratorio de Electricidad de dicha Facultad celdas de combustible en forma didáctica, y producir una resolución positiva en el pensamiento actual, tanto en los alumnos como en los docentes, y así fomentar

estudios, investigaciones e implementaciones para el desarrollo académico y energético.

1.6 Metodología de Investigación

El estudio y la implementación de equipos que incentiven su uso y la investigación para el desarrollo de energías renovables especialmente en la utilización del hidrógeno como factor importante nos llevan a desarrollar esta tesis con varios métodos de investigación.

La investigación de tipo documental se la realiza mediante una extensa recopilación de información: en artículos, revistas científicas, documentales, tesis, páginas web relacionadas con las celdas de combustible de hidrógeno.

Metodología Experimental; se basa en obtener información de los beneficios de la celda de hidrógeno como complemento de los otros tipos de energías renovables mediante la realización de experimentos y comparaciones de resultados obtenidos para así lograr el interés del desarrollo y el estudio de este tipo de energía en la UCSG.

Se utiliza Metodología Descriptiva; que da a conocer los módulos a instalar, su procedencia, los tipos de materiales de construcción, relaciones de capacidad, a su vez vamos a indicar los tipos de prácticas y actividades a realizar con los equipos.

En este proyecto se realizará una investigación aplicada, ya que se realizarán demostraciones de los conocimientos para el manejo de las energías renovables, y su acoplamiento conveniente y complementario con la generación de energía por medio del hidrógeno como combustible.

Capítulo 2: Fundamentos Teóricos

2.1 Energía Renovable

Las energías renovables son aquellas que se producen de forma continua y son perennes a escala humana; se renuevan perpetuamente, a diferencia de los combustibles fósiles, de los que existen determinadas cantidades o reservas, agotables en un plazo determinado. Las formas más distinguidas de energías renovables que existen son: la biomasa, la geotérmica, la hidroeléctrica, el hidrógeno, química nuclear, el sol, la marea, las olas, el viento. Las energías renovables provienen, de forma directa o indirecta, de la energía del sol; componen una alteración de la energía geotérmica y la de las mareas. (“Libro-de-energias-renovables-y-eficiencia-energetica.pdf”, Schallenberg et al., 2008, p. 46)

2.1.1 Tipos de Energía Renovable

2.1.1.1 Energía de la Biomasa

La formación de biomasa es el modelo básico de atracción y acumulación de energía solar por las especies vegetales verdes, seleccionado por la naturaleza a lo largo de un proceso escalonado de más de 3000 millones de años, y que ha conservado la vida en la Tierra hasta nuestros días. Es decir, la materia orgánica forma parte de la energía solar almacenada y se designa energía de la biomasa. (Gavilanez Delgado, Abarca, & Joel, 2013, p. 15)

2.1.1.2 Energía Geotérmica

Se conceptúa por energía geotérmica al calor almacenado en el interior de la tierra, por tanto la energía geotérmica es la que se deriva de este calor que es producido por la descomposición espontánea, natural y perpetua de los isótopos radioactivos que existen, en muy pequeña cantidad, en todas las rocas naturales. El calor se suele trasladar por conducción a través de los materiales del subsuelo, pero debido a la baja conductividad térmica de los mismos, gran parte de esta energía se acumula en las entrañas de la Tierra por largo tiempo. (Gavilanez Delgado et al., 2013, p. 10)

2.1.1.3 Energía Hidroeléctrica

La energía hidroeléctrica es la electricidad generada que se produce de la energía del agua en movimiento. La lluvia o el agua de deshielo, derivados normalmente de colinas y montañas, crean arroyos y ríos, llegando en el océano. (@natgeoespana, 2010)

2.1.1.4 Energía por Hidrógeno

El hidrógeno está siendo considerado como un relevo para los combustibles fósiles de hoy porque es eficiente, y diverso de otras opciones, ofrece el potencial de ser renovable y no produce ningunas emisiones perjudiciales. Se usa como portador de energía para crear energía eléctrica con celdas de combustible y motores de combustión. (Air Products, 2017)

2.1.1.5 Energía Nuclear

La energía nuclear es la energía producida en el núcleo de un átomo. Los átomos son las partículas más pequeñas que conforman un material. En el núcleo de cada átomo hay dos tipos de partículas (neutrones y protones) que se conservan fundidas; ésta energía es procedente de la separación o unión de estas partículas. (energia-nuclear.net, 2017)

2.1.1.6 Energía Solar

El sol es una masiva fuente de energía que actualmente ofrece una alternativa a los combustibles fósiles sucios, costosos y temporales; aunque sea muy popular tanto en plantas de energías, áreas domésticas, dispositivos portátiles con nuevos sistemas de absorción de energía por medio de celdas, colectores entre otros, todavía no se obtiene la energía necesaria para suplir la demanda requerida, además de tener indudables desventajas que todavía no se dominan, pero sigue siendo un gran complemento en sistemas híbridos para la optimización de generación energía eléctrica.

2.1.1.7 Energía de las Mareas

La energía de las mareas auxiliará a detener el cambio climático mediante la reducción de nuestra huella de carbono. La energía mareomotriz es derivada mediante la utilización de la “generación de energía de las mareas”. Es un método que utiliza una estructura de la presa similar colocado en la boca de una

fuente de agua que lleva en el océano. Esto hace que el agua viaje a través de él. (Cousineau, 2016)

2.1.1.8 Energía de las Olas

La energía de las olas se origina cuando los generadores de electricidad se colocan en la superficie del océano. La energía de salida está determinado por la altura del oleaje, velocidad de onda, longitud de onda y la densidad del agua. Actualmente sólo hay un conjunto de plantas experimentales de generador de onda que opera en todo el mundo, pero se siguen realizando investigaciones, a fin de poder utilizar esta energía renovable no contaminante que suministran las olas. (Energía Solar, 2017)

2.1.1.9 Energía Eólica

La energía eólica tiene su umbral en el viento, es decir, en el aire en movimiento. El viento se puede puntualizar como una corriente de aire resultante de las diferencias de presión en la atmósfera provocadas, en la mayoría de los casos, por variaciones de temperatura, esto se debe a las diferencias de la radiación solar en los distintos puntos de la Tierra. (Ávila Granados, 2003, p. 1)

En contraste con la hidroelectricidad y la energía nuclear, no perjudicará gravemente a nadie y no inquietará a los agraciados ecosistemas. Es también más módico, fácil de construir e instalar, más factible de conservar y brinda seguridad para los trabajadores.

Tipos de Energía	Dónde proviene	Ventajas	Desventajas
Solar	La energía de la luz solar se refleja en los paneles solares y la convierte en electricidad.	Abasto de energía en potencia infinita. Las casas propias pueden tener su propio suministro de energía eléctrica.	Fabricación y aplicación de paneles solares puede ser costoso.
Viento	Las turbinas de viento (molinos de viento modernos) convierten la energía eólica en energía eléctrica.	Se lo encuentra singularmente, pero por lo general están en los parques eólicos. Provisión de energía en potencia infinita.	Producción y curso de parques eólicos es costoso. Algunas personas locales se oponen a los parques eólicos en tierra, con la excusa de que se pierda el campo.
Marea	El curso de las mareas mueve las turbinas. Una barrera de mareas se construye a través de las deltas, forzando el agua a través de los hoyos. En el futuro turbinas submarinas pueden ser posibles en el mar y sin presas.	Ideal para una isla como Reino Unido. Potencial para generar una gran cantidad de energía. La barrera de mareas puede funcionar como un puente, ayudando a prevenir las inundaciones.	Obra de aluviones muy cara. Unas pocas deltas son propicias. Algunos grupos de ambiente se oponen por una causa negativa sobre la fauna. Puede reducir el flujo de las mareas y de parar el flujo de aguas restantes en el mar.
De las Olas	El curso del agua del mar dentro y fuera de una cavidad en la orilla comprime el aire atrapado, la conducción de una turbina.	Ideal para un país insular. Más probabilidades de ser pequeñas operaciones locales, en lugar de hecho a escala nacional.	La construcción puede ser costoso. Podrá ser impugnada por grupos locales o ambientales.
Geotérmica	En las regiones volcánicas, es posible utilizar el calor natural de la tierra. El agua fría se bombea bajo tierra y sale como vapor.	Suministro de energía potencialmente infinita. Utilizado con éxito en algunos países, como Nueva Zelanda e Islandia.	Pueden ser caros de instalar y sólo opera en zonas de actividad volcánica. Esta energía y la actividad volcánica podría calmarse, dejando estaciones

	El vapor puede ser utilizado para la calefacción o para mover turbinas que crean electricidad.		de alimentación redundantes. Elementos peligrosos que están bajo tierra, deben eliminarse con cuidado.
Hidroeléctrica	La energía aprovechada por el movimiento del agua a través de ríos, lagos y embalses.	Crea las reservas de agua, así como el suministro de energía.	Costosas de construir, puede causar la inundación de las comunidades y los paisajes de los alrededores. Las presas tienen grandes impactos ecológicos sobre la hidrología local.
Biomasa	Descomposición de residuos de plantas o animales. Material orgánico, puede quemarse y proveer energía, calor, electricidad. Ej.: el exceso de semillas aceitosas (produce aceite). Después del proceso con efectos químicos puede ser usado como combustible en motores diésel.	Es una fuente barata y fácilmente disponible de energía. Si se sustituye, la biomasa puede ser a largo plazo, una fuente de energía sostenible.	Cuando se quema, emite contaminantes atmosféricos, incluyendo gases de efecto invernadero. La biomasa es solamente un recurso renovable si se vuelven a plantar cultivos.

Tabla 1. Ventajas y Desventajas de Recursos de Energías Renovables. (BBC, 2014)

2.2 Hidrógeno como Energía Renovable

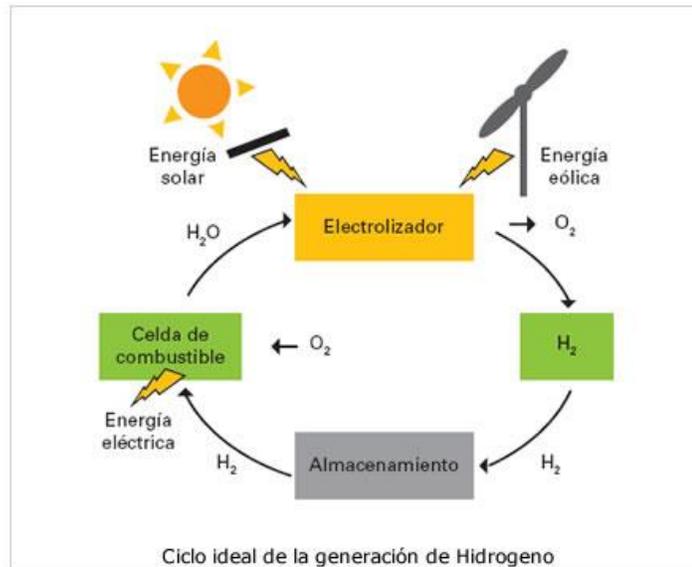


Imagen 1. El Ciclo Ideal de la Generación de Hidrógeno. (Aficionados a la Mecánica, 2014)

El hidrógeno es uno de los elementos más abundantes en la tierra. Se compone de sólo un protón y un electrón, y es un portador de energía, no una fuente de energía. El hidrógeno puede acumular y proveer energía, pero no existe por sí mismo en la naturaleza y debe ser producido a partir de los compuestos que lo contienen.

El hidrógeno, a pesar de ser el elemento más abundante en el universo, no es una fuente primaria de energía, ya que generalmente se encuentra asociado a otros elementos, como es el caso del agua donde se encuentra formando una molécula con el oxígeno. Se trata de un vector energético, es decir, una forma secundaria de energía que se debe transformar a partir de otras fuentes primarias.

La dificultad de las energías renovables hace que sea necesario el almacenamiento de la energía para su utilización cuando se demande. Estas energías encuentran en el hidrógeno una forma potencial de almacenamiento. El hidrógeno producido a partir de energías renovables, para su posterior uso en el transporte o para producir electricidad y calor, permite adaptar la generación a las necesidades.

El hidrógeno está siendo considerado mundialmente como medio de almacenamiento energético, debido a su extraordinaria flexibilidad. Además de ser utilizado en celdas de combustible, para alimentar motores eléctricos, también puede usarse como combustible en turbinas de gas, en ciclos combinados o en motores de combustión interna en vehículos. (“Libro-de-energias-renovables-y-eficiencia-energetica.pdf”, s/f, pp. 41–42)

2.2.1 Importancia del Hidrógeno Como Buena Opción Para Una Fuente de Energía Futura

- Elemento abundante.
- Producido a partir de muchas fuentes de energía primaria.
- Alta difusividad.
- El vapor de agua es el principal producto de oxidación.
- El combustible más versátil.
- El hidrógeno se puede crear de muchas fuentes. Es 100% renovable.
- El precursor más abundante y limpio para el hidrógeno es el agua.

- Se puede recoger como un gas, un líquido o un sólido y recolecta en diversos productos químicos y sustancias, como metanol, etanol e hidruros de metal.
- Puede procrearse y convertirse en electricidad con altas eficiencias.
- Se puede trasladar y recoger con la misma seguridad que otros combustibles utilizados en la actualidad.
- El hidrógeno puede proveer energía para todas las partes de la economía: industria, residencias, transporte y aplicaciones móviles.
- Puede reemplazar a los combustibles a base de petróleo usados para automóviles, y puede proveer una solución atractiva para la electricidad hacia las comunidades.
- A través de la electrólisis mediante electricidad obtenida exclusivamente de fuentes de energía nuclear o de energías renovables (como en el Conjunto de Educación Energética Renovable).

2.2.2 Medidas Para la Uso del Hidrógeno

Un inconveniente crítico a la adopción del hidrógeno como combustible para el consumidor es el conocimiento general de la seguridad del hidrógeno. Al contrario de la creencia popular, el hidrógeno es menos inflamable que la gasolina y otros combustibles fósiles. Así como cualquier otro combustible, el hidrógeno tiene riesgos si no es recogido o trasladado discretamente. Estos riesgos se pueden controlar con el uso de la dirección y de los controles apropiados. Estas medidas son:

- Prevención de fugas mediante pruebas exhaustivas de tanques y equipos.
- Instalación de más de una válvula.
- Diseño de equipos para choques, vibraciones y amplios rangos de temperatura.
- Aumento de sensores de hidrógeno o detectores de fugas.
- Prevención del encendido iluminando todas las fuentes de chispas eléctricas.
- Diseño de líneas de suministro de celdas de combustible separadas físicamente de otros equipos.

Para que el hidrógeno sea considerablemente reconocido, es necesario desarrollar códigos y normas internacionales para el diseño, construcción, mantenimiento y la operación de las instalaciones y equipos a base de hidrógeno. La uniformidad de los requisitos de seguridad progresará con la confianza del usuario en el uso del hidrógeno.

2.2.2.1 Producción del Hidrógeno

El hidrógeno puede producirse usando diversos recursos, incluyendo los combustibles fósiles, como el gas natural y carbón; energía nuclear y otras fuentes de energía renovables, como la biomasa, la eólica, el solar, la geotérmica y la hidroeléctrica, utilizando una extensa escala de procesos.

El hidrógeno puede producirse:

- En o cerca del lugar de uso en la producción distribuida.
- En grandes bases, luego son cedidos al punto de uso en la central de creación.
- En las instalaciones de escala intermedia situada en estrecha proximidad (25-100 millas) hasta el punto de uso en la producción de semi-centro.

Fuente: (U.S. Department of Energy, s/f)

2.2.3 Procesos de Producción de Hidrógeno

El hidrógeno se origina usando un número de diferentes procesos termoquímicos, que usan reacciones de calor y químicos para liberar el hidrógeno a partir de materia orgánica, tales como combustibles fósiles y biomasa. El agua se puede dividir en hidrógeno y oxígeno utilizando la electrólisis o la energía solar. Los microorganismos tales como bacterias y algas pueden producir hidrógeno a través de procesos biológicos.

2.2.4 Procesos Termoquímicos

Algunos métodos térmicos usan la energía en diferentes recursos, tales como gas natural, carbón o biomasa, para liberar hidrógeno a partir de su distribución molecular. En otros métodos, el calor, combinado con ciclos cerrado-químico, produce hidrógeno a partir de materiales de alimentación tales como agua. Los siguientes procesos termoquímicos son:

- Reformado de gas natural
- La gasificación del carbón
- Oxidación Parcial
- Reformado Autotérmico
- Biomasa
- Proceso termoquímico Solar.
- Electrólisis

El reformado con vapor de gas natural, la oxidación parcial de hidrocarburos y la gasificación del carbón, estas tecnologías no ayudarán a

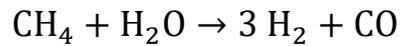
disminuir la inferioridad de los combustibles fósiles; además que la biomasa y el proceso termoquímico solar no representa una futura confiabilidad en el campo de las energías renovables. Por tal motivo la electrólisis del agua es una tecnología sensata para la elaboración de hidrógeno. Es eficiente, pero requiere grandes cantidades de electricidad. Esto se soluciona usando energía solar o eólica para producir la electricidad necesaria para liberar el hidrógeno.

Esta tecnología es lo suficientemente seria para ser usada a gran escala para la generación de electricidad e hidrógeno. Otras opciones para crear hidrógeno son la energía hidroeléctrica, las plantas nucleares, la desintegración térmica directa, la termólisis, los ciclos termoquímicos y la fotólisis. Estas tecnologías se encuentran en diversas etapas de desarrollo, y algunas han sido abandonadas.

2.2.4.1 Reformado con Vapor

El proceso de reformado con vapor es el proceso más utilizado para la generación de un gas de síntesis rico en hidrógeno, a partir de hidrocarburos ligeros, principalmente a partir de gas natural. Es el más extendido a nivel industrial para la producción de H₂ en refinería y petroquímica. Los materiales de alimentación como el gas natural, el gas líquido o la nafta se convierten endotérmicamente con vapor de agua en gas de síntesis (mezcla compuesta en gran medida por hidrógeno y monóxido de carbono CO, y en menor, por dióxido de carbono CO₂ y metano CH₄) mediante reactores tubulares catalíticos. El calor

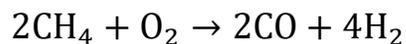
del proceso, además del gas de combustión, se utiliza para la generación de vapor. (The Linde Group, 2016)



Es una tecnología barata para la obtención de hidrógeno. Sin embargo, las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) son el principal inconveniente de este proceso, al ser el metano un combustible fósil.

2.2.4.2 Oxidación Parcial

La oxidación parcial (POX, Partial Oxidation); consiste en una oxidación incompleta de un hidrocarburo pesados, por ejemplo gas natural, donde sólo se oxida el carbono y monóxido de carbono, permaneciendo libre el hidrógeno. La oxidación parcial de gas natural es un proceso por el cual se produce hidrógeno por la combustión parcial de metano con oxígeno para producir CO, carbón e hidrógeno.



La reacción se verifica con oxígeno puro o con aire en presencia de catalizadores a temperaturas superiores a 800°C . La elevada presencia de monóxido de carbono en el gas obtenido tiene el riesgo de la deposición de cisco, principalmente si la reacción ocurre a presión elevada, lo que es requerido para conseguir reformadores más compactos. Este cisco depositado sobre los catalizadores inhibe la continuación del proceso. El monóxido de carbono formado se puede eliminar oxidándolo para formar dióxido de carbono o bien

desplazándolo con agua, de la misma forma que en el reformado con vapor de agua, para obtener más hidrógeno y nuevamente dióxido de carbono. La eficiencia del proceso es de alrededor del 70% en grandes producciones industriales.

2.2.4.3 Reformado Autotérmico

El reformado autotérmico (ATR, Auto-Thermal Reforming); es un proceso aplicado industrialmente en grandes unidades centralizadas. Recientemente se ha introducido esta tecnología a pequeños equipos. Se trata de un método que combina el Reformado de Vapor y la Oxidación Parcial, de modo que el calor liberado en el último se aproveche para el primero, facilitando lugar a un balance neto nulo. El monóxido de carbono producido es transportado con agua para producir más hidrógeno y dióxido de carbono. La eficiencia del proceso es similar a la del método de oxidación parcial, con un estimado entre el 70% al 76%. (Peñalver, 2009)

2.2.4.4 Gasificación del Carbón

La gasificación de carbón corresponde originalmente al concepto de oxidación parcial de hidrocarburos pesados y tiene lugar en un recipiente a presión vacío. Las diferencias con respecto a la ruta de oxidación parcial se encuentran principalmente en el método de introducción de la materia prima en el gasificador. El carbón alimenta al generador de gas como polvo seco a través de tolvas de bloqueo y alimentadores giratorios o se introduce como suspensión

concentrada de agua / carbón por medio de una bomba de vaivén. La dirección del flujo y el uso de calderas de calor residual o apagado y su grado de composición del proceso pueden diferir en los procesos individuales así como las disposiciones para recoger y eliminar la escoria en la parte inferior del gasificador. La separación del polvo de carbón del gas crudo, que contiene algunas cenizas volantes, es muy similar a la eliminación de carbono en la gasificación de hidrocarburos pesados. Las temperaturas de reacción son alrededor de 1500°C. El gas bruto tiene un bajo contenido de metano (0,4%), un contenido moderado de CO₂ y CO/H₂ mayor que 1. ("Ivic_aaf.pdf", s/f, p. 73)

2.2.4.5 Biomasa

La biomasa consiste en compuestos orgánicos producidos por las actividades de los seres vivos, y es materia prima renovable para la producción de hidrógeno. El hidrógeno se origina a partir de biomasa por gasificación de la misma, seguida de su conversión en hidrógeno. Hay tres tecnologías principales para la gasificación de la biomasa: la conversión termoquímica, la biometanación y el tratamiento hidrotérmico. La primera se ajusta en el tratamiento de biomasa bastante seca, y las otras son adecuadas para el tratamiento de biomasa con alto contenido de humedad. Debe elegirse una tecnología adecuada dependiendo de la especie de biomasa a ser gasificada. Para la conversión de gas producto en hidrógeno, son aplicables tecnologías convencionales para la reacción de desplazamiento agua–gas y reacción de reforma.



Imagen 2. Uso Simple de la Biomasa. (Horizon Educational Group, 2016)

La producción de hidrógeno a partir de biomasa tiene las ventajas de renovabilidad, neutralidad de carbono y almacenamiento. Es una tecnología clave para alcanzar el desarrollo sostenible con otras tecnologías de producción de hidrógeno basadas en la energía solar. (Matsumura, s/f)

2.2.5 Procesos Termoquímico Solar

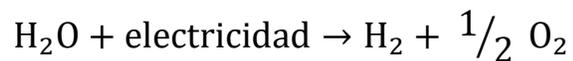
La división de agua solar directa fotolítica, es un proceso que usa la energía de la luz para dividir el agua en hidrógeno y oxígeno. Ahora están iniciando la investigación, brindando potencial a futuro al origen de hidrógeno en un bajo impacto ambiental. Los procesos son: Foelectroquímico y Fotobiológico.

Los investigadores utilizan un reactor de horno solar de alto flujo para concentrar la energía solar y generar temperaturas entre 1.000 y 2.000 grados centígrados. Las temperaturas ultra-altas son necesarias para que los ciclos de reacción termoquímica produzcan hidrógeno. Tales procesos termoquímicos

estimulados por energía solar a alta temperatura y alto flujo prometen un nuevo enfoque para la producción benigna de hidrógeno en el medio ambiente. Las velocidades de reacción muy altas a estas temperaturas elevadas dan lugar a velocidades de reacción muy rápidas, lo que aumenta significativamente las tasas de producción y más que compensar la naturaleza intermitente del recurso solar. (NREL, s/f)

2.2.5.1 Electrólisis del Agua

La producción de hidrógeno mediante electrólisis en agua ocurre cuando se necesita hidrógeno puro. La electrólisis del agua es un proceso en el cual el agua se rompe en hidrógeno y oxígeno a través de la aplicación de la energía eléctrica.



La energía total que se requiere para la electrólisis del agua aumenta paulatinamente con la temperatura, mientras que la energía eléctrica requerida disminuye. La electrólisis a altas temperaturas es posible cuando se dispone de una cantidad alta de calor, procedente del rechazo de otro proceso.

Este proceso electrolítico se usa raramente en aplicaciones industriales debido a que el hidrógeno puede ser producido a menor costo por medio de combustibles fósiles. Pero en cuestión con el medio ambiente, es uno de los medios más influyentes y con potencial a futuro para generar hidrógeno, Cabe destacar el hecho de que el hidrógeno producido por electrólisis es del orden de

4.9-5.6 kWh por cada m³ de hidrógeno generado, lo que resulta al menos dos veces más caro que el hidrógeno obtenido por reformado del gas natural.

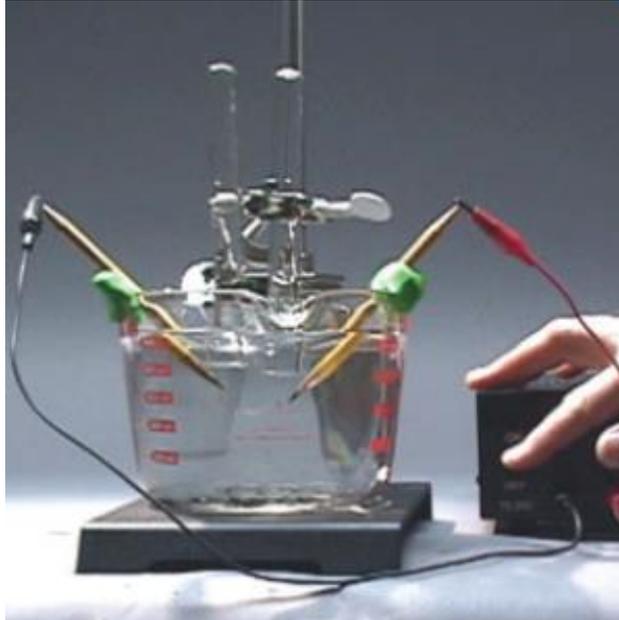


Imagen 3. La Electrólisis del Agua. (Horizon Educational Group, 2016)

2.2.6 Tecnologías Para el Almacenamiento del Hidrógeno

Existen tecnologías comercialmente útiles para guardar hidrógeno. El método de provisión más común usado es el tanque de almacenamiento presurizado, de numerosos tamaños y rangos de presión.

El hidrógeno se guarda bajo tierra en subsuelos, acuíferos y campos de petróleo y gas que hoy están agotados. Estos grandes sistemas subterráneos de abastecimiento serán similares a los métodos actualmente empleados para el gas natural, pero estos procedimientos pueden ser alrededor de tres veces más costosos. Dichos métodos diseñan dificultades técnicas mínimas, y hay varias

reservas de hidrógeno y otros gases guardados bajo tierra. En Kiel, Alemania, el gas de la ciudad está bajo tierra. Gaz de France, la compañía francesa de gas, conserva gas natural. Las industrias químicas del Reino Unido guardan hidrógeno en minas de sal en Teeside.

Un tanque de hidrógeno presurizado se usa para la mayoría del depósito de hidrógeno. Hay limitados materiales adecuados para recoger hidrógeno, porque éste fragiliza muchos de los materiales generalmente usados para la provisión de gas. Los altos materiales de tanque son compuestos ultraligeros que ceden presiones de más de 20 bares. Se usan en prototipos de coches y autobuses. Algunos tanques se usan para la provisión continua a largo plazo, y otros son diseñados para ser de repuesto de reabastecimiento de combustible en una estación de hidrógeno.



Imagen 4. Pozo por Encima de la Caverna de Hidrógeno y Equipo Integrado de Apoyo de la Caverna. (Horizon Educational Group, 2016)

2.2.6.1 Almacenamiento Líquido del Hidrógeno

El almacenamiento de hidrógeno en forma de líquido, a unos 22°K (-243,15°C), es el único método utilizado actualmente de manera regular para almacenar grandes cantidades de hidrógeno. Un gas enfriado hasta convertirse en líquido de esta manera es denominado líquido criogénico. Actualmente se utilizan grandes cantidades de hidrógeno criogénico en procesos como el refinamiento de petróleo o la producción de amonio. Un usuario destacado de este tipo de hidrógeno es la NASA, que dispone de unos enormes tanques de 3.200 m³, para asegurarse un suministro continuo de hidrógeno para el programa espacial. El contenedor de hidrógeno es un gran termo, fuertemente reforzado. El hidrógeno líquido se evaporará lentamente, y la presión en el contenedor normalmente se mantiene por debajo de los 3 bares, aunque algunos contenedores más grandes soportan presiones más altas. (“Capítulo+4+-+Almacenamiento+de+Hidrógeno.pdf”, s/f, pp. 5–6)

2.2.6.2 Almacenamientos de Hidruros Metálicos

El almacenamiento de hidruro metálico ha sido muy investigado durante los últimos 25 años. Se han desarrollado varios tipos de hidruros metálicos que absorben y expulsan fácilmente hidrógeno a temperatura ambiente y presión atmosférica (20°C y 1 atm). El grupo de metales más ligeros en la tabla periódica, tales como litio, berilio, sodio, magnesio, boro y aluminio forman una gran diversidad de compuestos de hidruro metálico. Estos compuestos son muy

interesantes, ya que son livianos y tienen un equilibrio alto de átomos de hidrógeno por átomo de metal.

El almacenamiento de hidruros metálicos ocurre bajo temperaturas y presiones moderadas, lo que crea una ventaja de seguridad sobre el almacenaje gaseoso presurizado y el almacenamiento de hidrógeno líquido. Los hidruros metálicos tienen una mayor densidad de almacenamiento de hidrógeno que el hidrógeno gaseoso o el hidrógeno líquido (6,5 átomos de H/cm³, frente a 0,99 átomos de H/cm³ y 4,2 átomos de H por cm³). Por lo tanto, el almacenamiento de hidruro metálico es un firme candidato para conservar hidrógeno en aplicaciones vehiculares.

Los hidruros metálicos deben cumplir todas las siguientes propiedades para ser eficaces en la liberación de hidrógeno:

1. Debe ser capaz de almacenar una cantidad significativa de hidrógeno por unidad de masa y volumen. Esto determina la cantidad de energía disponible.
2. Debe ser capaz de liberar hidrógeno fácilmente, y requieren una baja cantidad de energía para liberar el hidrógeno.
3. No debe liberar una gran cantidad de calor durante la formación del hidruro metálico, y durante la carga y descarga de hidrógeno.
4. Debe ser muy firme contra el oxígeno y la humedad en largos períodos de tiempo.
5. Debe ser de bajo costo y ser muy seguro durante los tiempos de carga y descarga.

Fuente: (Horizon Educational Group, 2016)

2.2.6.3 Nanotubos de Carbono

Los nanotubos de carbono (CNTs) están constituidos por redes hexagonales de carbono curvadas y cerradas, formando tubos de carbono nanométricos con una serie de propiedades fascinantes que fundamentan el interés que han despertado en numerosas aplicaciones tecnológicas. Son sistemas ligeros, huecos y porosos que tienen alta resistencia mecánica, y por tanto, interesantes para el reforzamiento estructural de materiales y formación de compuestos de bajo peso, alta resistencia a la tracción y enorme elasticidad.

Electrónicamente, se ha comprobado que los nanotubos se comportan como hilos cuánticos ideales monodimensionales con comportamiento aislante, semiconductor o metálico dependiendo de los parámetros geométricos de los tubos. Otra más de sus interesantes propiedades es su alta capacidad de emisión de electrones. En este campo, su interés radica en que sean capaces de emitir electrones a 0.11 eV de energía mientras que los mejores emisores de electrones utilizados en la actualidad emiten en un rango entre 0.6 y 0.3 eV (electronvoltio). Además del estrecho rango de emisión de energía, los CNTs presentan otras ventajas respecto a los cristales líquidos utilizados en las pantallas planas como: amplio ángulo de visión, capacidad de trabajar en condiciones extremas de temperatura y brillo suficiente para poder ver las imágenes a la luz del sol. (PortalCiencia, s/f)

2.2.7 Estaciones de Reabastecimiento de Hidrógeno en Todo el Mundo

Hay una lenta provisión de estaciones de reabastecimiento de combustible en los países listados desde los 90's. Algunos países, como Alemania, comenzarán a introducir raudamente estaciones de recarga de hidrógeno en los próximos cinco años.

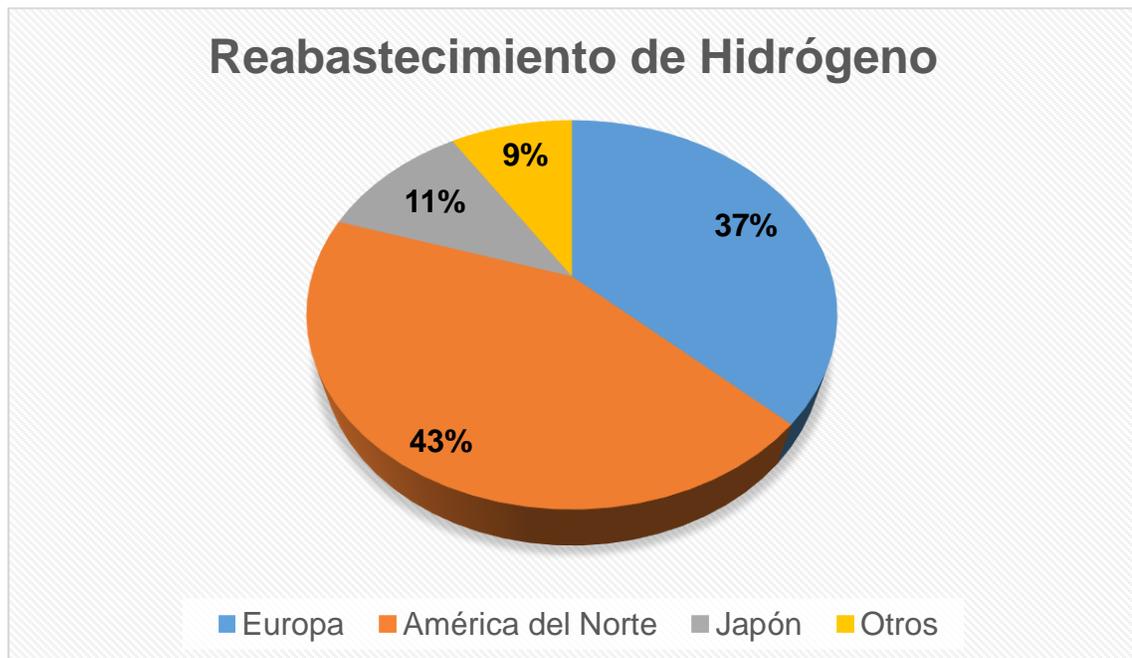


Gráfico 1. Reabastecimiento de Hidrógeno. Elaborado por: Autores

- Muchos fabricantes de vehículos de celda de combustible no comenzará la producción desde un hoyo de mercado.
- Tanto la industria automotriz como los proveedores de combustible requieren producir en masa un cierto número de unidades con el fin de reducir los costos.
- Los clientes no cederán un combustible que no esté "ampliamente disponible".
- Existe un mercado de combustibles y vehículos alternativos en Brasil y Argentina.



Imagen 5. Gasolinera de Hidrógeno Ubicado en Columbia Británica, Canadá. (Horizon Educational Group, 2016)

Brasil utiliza etanol, Argentina usa gas natural. Lo aprendido en el estudio de la introducción de vehículos de combustible alternativo y estaciones de combustible implican que un prólogo rápido es una mejor manera de ganar clientes y la aceptación de la nueva tecnología. Estados Unidos tiene muchas estaciones de recarga de hidrógeno, la mayoría en California. Alemania le sigue con el mayor número de estaciones de reabastecimiento, seguido por Japón. Esto se armoniza con los países que cuentan con la mayor financiación para la indagación de creación de celdas de combustible. (Horizon Educational Group, 2016)

2.2.8 Producción Actual del Hidrógeno en el Mercado

Según el Departamento de Energía de EE.UU., el 48% del hidrógeno surge del gas natural, el 30% es del petróleo y el 18% del carbón en todo el mundo. El

4% restante se crea a partir del agua. En EE.UU., el 95% del hidrógeno producido nace del gas natural.

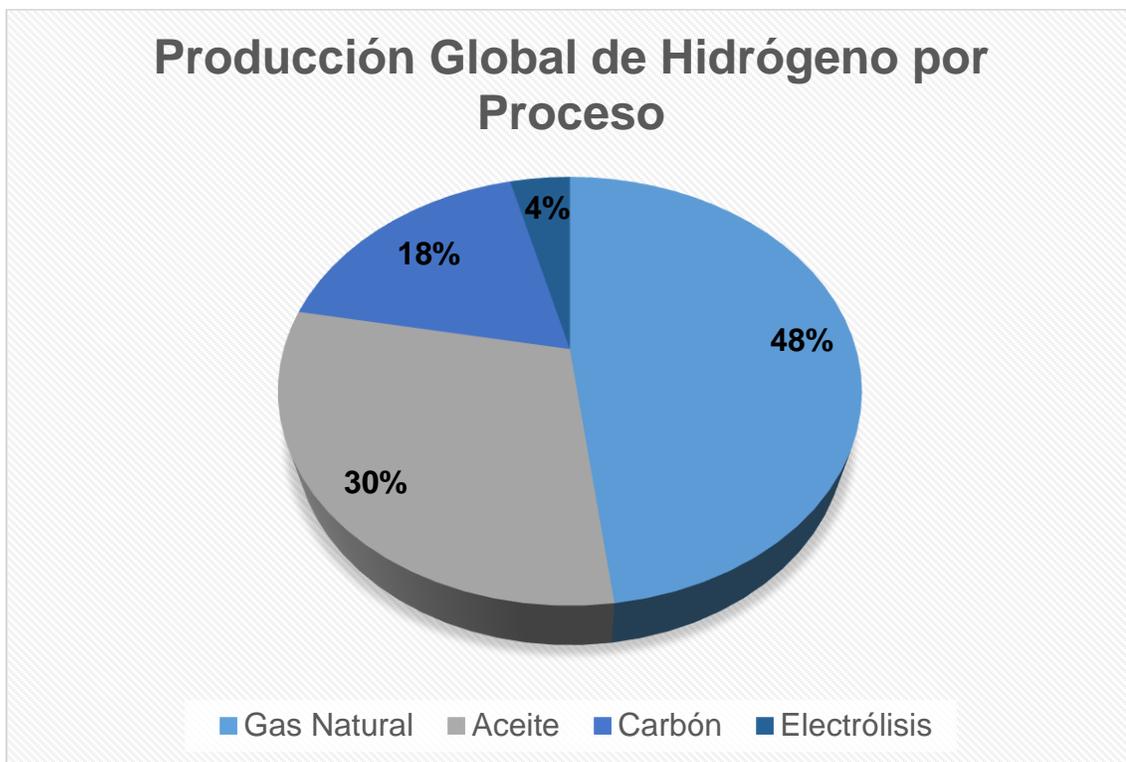


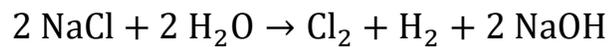
Gráfico 2. Producción Global de Hidrógeno por Proceso. Elaborado por: Autores

La mayor parte del hidrógeno producido a nivel mundial se fabrica mediante reformado de metano a vapor (SMR, Steam Methane Reformer). La producción de hidrógeno por electrólisis no es tan económicamente competitiva con SMR, pero actualmente está posicionada para ser competitiva con SMR debido al inevitable aumento de precios del gas natural y al creciente interés en factores ambientales y políticos.

El SMR, al igual que la producción de hidrógeno a partir de combustibles fósiles, es limitado en cantidad, y también produce emisiones de gases de efecto

invernadero. El proceso de reforma crea CO₂ y monóxido de carbono (CO). Si millones de motores de combustión se alimentan con hidrógeno generado a partir de SMR, una gran cantidad de gases de efecto invernadero contaminantes seguirán siendo emitidos por las fábricas.

Alrededor del 4% del hidrógeno mundial se produce mediante electrólisis. La mayor parte se produce como un producto secundario durante la electrólisis de salmuera en la producción de cloro.



En esta reacción, se produce hidrógeno en un electrodo, y se producen iones de cloro en el otro electrodo. El hidrógeno creado a partir de este proceso se quema y se usa para singularidades químicas u otras aplicaciones a pequeña escala.

El mercado actual del hidrógeno se divide en dos segmentos: aquellos que lo usan en una ubicación y aquellos que lo han entregado en el lugar donde debe utilizarse. El mercado del hidrógeno incluye productores químicos, refinerías, hidrogenación de grasas y aceites y producción de metales. Una porción más pequeña del mercado incluye constructores de electrónica y servicios públicos.

El futuro mercado del hidrógeno es mucho mayor. La electrólisis se convertirá en una opción viable para la competencia en el mercado del hidrógeno a medida que aumenta el precio del gas natural. Si se va a usar el hidrógeno como el combustible de transporte preferido, las ganancias ambientales por la transición

a una economía de hidrógeno sólo se va a realizar cuando se utilizan fuentes de energía renovables para producir una cantidad creciente de hidrógeno. La producción de hidrógeno electrolítico ofrece un futuro energético más estable y seguro sobre el petróleo. (Horizon Educational Group, 2016)

2.3 Electrolizadores

Los electrolizadores son dispositivos que usan electricidad para fragmentar el agua en hidrógeno y oxígeno. La electrólisis del agua es una reacción electroquímica que es una causa simple que no requiere partes móviles. Es muy fiable y puede producir hidrógeno muy puro (>99,999%), de manera que no contamine cuando la fuente eléctrica es de energía renovable.

Las tecnologías actuales para la producción de hidrógeno a través de electrólisis de un 75% de eficiencia energética, debe ser capaz de alcanzar el 90% en el futuro. Aproximadamente 39 KWh de electricidad y 8,9 litros de agua son requeridos para producir 1 kg de hidrógeno a 25°C y 1 atm (atmósferas).

La mayor desventaja de la electrólisis del agua como fuente de hidrógeno, es la necesidad de energía eléctrica para completar la reacción. La electricidad de la red tiene que ser conducida a través de una costosa infraestructura de transmisión y de líneas de distribución de energía. Idealmente, la energía eléctrica que se necesita para la reacción de electrólisis debe provenir de fuentes de energía renovables tales como fuentes eólicas, solares e hidroeléctricas para que sea respetuosa con el medio ambiente.

Para obtener eficazmente una economía del hidrógeno, uno de los requisitos es producir hidrógeno de una manera que no forme emisión de carbono, y puede ser a un costo suficientemente bajo para ser competitivo con otras

tecnologías energéticas. Muchos tipos de sistemas pueden ser construidos con energía solar o eólica, o ambas, con la adición de electrónica de potencia.

Estos sistemas suelen contener un convertidor de corriente AC/DC o DC/DC, fuente de alimentación, controlador del sistema, radiador, relés de control y desconexiones de CC si están conectados a un panel fotovoltaico. Ha habido prototipo de sistemas híbridos que han sido diseñados para que los costos de capital del sistema y el costo del hidrógeno producido sean muy bajos.

Los electrolizadores serían muy útiles e ideales si se incorporaran a sistemas estacionarios, portátiles y de transporte. Algunos ejemplos de aplicaciones en las que los electrolizadores serían particularmente ventajosos son para los vehículos con celdas de combustible, botes y electrónica portátil para generar cantidades suficientes de hidrógeno antes de su uso.

Un electrolizador puede ser una adición beneficiosa a un sistema que utiliza energía solar y eólica. Alguna energía obtenida de las turbinas solares y de viento se puede usar para electrolizar el agua, y producir el hidrógeno para ser almacenado a las celdas de combustible de energía cuando la energía solar y eólica es discontinuo. El exceso de energía de la energía solar durante el día se puede utilizar para producir hidrógeno desde un uso nocturno.

La energía eólica suele producir la mayor cantidad de energía en medio de la noche cuando los vientos son altos, pero cuando la demanda de energía es parcialmente baja. El exceso de energía eólica en la noche se puede usar para

producir hidrógeno, y ser utilizado durante el día cuando existen los requisitos de potencia de pico. Actualmente hay muchos ejemplares que generan electricidad a partir de la luz solar y el hidrógeno por electrólisis. (Horizon Educational Group, 2016)

2.3.1 Tipos de Diseños de Electrolizadores

La construcción de un electrolizador es muy similar a una batería o celda de combustible. Tiene un ánodo, un cátodo y un electrolito. En el electrodo negativo, los protones son eliminados del electrolito, y los electrones son proporcionados por el suministro eléctrico externo.

Los electrolizadores se dividen en dos diseños principales: monopolar y bipolar. El monopolar usa un electrolito líquido, y el bipolar usa un electrolito polimérico sólido.

2.3.1.1 Electrolizador Monopolar

Los primeros electrolizadores son de diseño monopolar. Los electrodos, ánodos y cátodos se suspenden en un tanque lleno con una solución de electrolito al 20–30%. Cada celda se conecta en paralelo, y se opera a 1,9–2,5 V. Este diseño es fácil de hacer y reparar, pero no es tan eficiente como los diseños más modernos.



Imagen 6. Ejemplo Básico de un Electrolizador Monopolar. (Hitachi Zosen Corporation, s/f)

2.3.1.2 Electrolizador Bipolar

El electrolizador bipolar consiste en un único modulo con un gran número de electrodos, donde cada uno funciona como cátodo por un extremo como ánodo por la otro. El conjunto se monta de forma que se obtiene una configuración tipo filtro-prensa donde cada electrodo es aislado y cada par de electrodos se separa por un diafragma, formando una celda individual. De esta forma un electrolizador bipolar puede contener de varias decenas a cientos de celdas individuales en serie.

En los primeros diseños, las celdas para la electrólisis del agua eran tipo tanque, sin embargo, recientemente han sido sustituidas por celdas bipolares por el hecho de que estas últimas presentan menores costos de instalación y también por la mayor facilidad de operación a temperaturas y presiones altas, lo que ocasiona una reducción en el voltaje de la celda. Algunas ventajas del diseño bipolar son densidades de corrientes más altas, y la fabricación de gas de

hidrógeno de presión más alta. La desventaja de estos electrolizadores bipolares es que una celda defectuosa paraliza la operación de toda la celda tanque. (García, 2012)



Imagen 7. Electrolizador Bipolar. (Horizon Educational Group, 2016)

2.3.2 Tipos de Electrolizadores

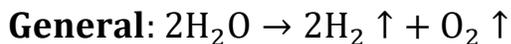
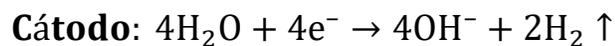
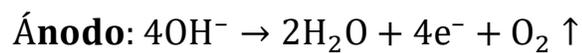
Existen diversos tipos de electrolizadores, de los que resaltan dos tipos de electrólisis a baja temperatura: membrana de intercambio alcalino y membrana de intercambio de protones (PEM). El electrolizador alcalino utiliza un electrolito líquido que consiste en hidróxido de potasio altamente concentrado (KOH). Y el electrolizador PEM se basa en el uso de un polímero conductor sólido que conduce los iones cuando se hidratan con agua. (Fuel Cell Markets, 2017)

2.3.2.1 Electrolizador Alcalino

Los electrolizadores alcalinos suelen usar una solución acuosa de hidróxido de potasio (KOH) como electrolito. Otros electrolitos usados con frecuencia incluyen ácido sulfúrico (H_2SO_4), hidróxido de potasio (KOH), cloruro de sodio (NaCl) e hidróxido de sodio (NaOH) La concentración típica para una solución de

electrolización es de 20 a 30% en peso debido a que la resistencia de la solución proporciona un equilibrio entre la conductividad óptima y la resistencia a la corrosión.

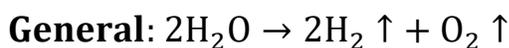
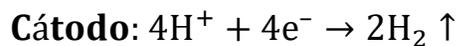
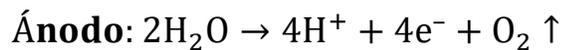
Los electrolizadores alcalinos operan bien a temperaturas de operación entre 25–100°C y presiones de 1–30 bar respectivamente. Los electrolizadores alcalinos comerciales se ejecutan con densidades de corriente en el rango de 100–400 mA/cm². Las reacciones químicas para el electrolizador alcalino son:



La construcción general de un electrolizador alcalino es muy simple. Típicamente tiene un diseño monopolar, significa que consiste en dos electrodos metálicos suspendidos en una solución acuosa del electrolito. Cuando se suministra electricidad a los electrodos, surgirán hidrógeno y oxígeno en cada electrodo. El electrolizador debe diseñarse de manera que cada gas pueda ser recogido y retirado del electrolizador de manera eficiente. El diseñador debe asegurar que los gases no pueden combinarse, porque en presencia de una chispa, una mezcla de hidrógeno y oxígeno es en potencia inflamable. (Horizon Educational Group, 2016)

2.3.2.2 Electrolizador PEM

Un electrolizador PEM utiliza un polímero sólido conductor iónicamente. Cuando se aplica la diferencia de potencial (voltaje) entre los dos electrodos, de oxígeno cargado negativamente en las moléculas de agua renuncian a su electrón en el ánodo para hacer protones, electrones y O₂ en el ánodo. Los iones H⁺ viajan a través del polímero conductor de protones hacia el cátodo donde toman un electrón y se convierten en átomos de H neutros que se combinan para formar H₂ en el cátodo. El electrolito y dos electrodos están intercalados entre dos placas bipolares. El papel de la placa bipolar es transportar el agua a las placas, transportar los gases del producto lejos de la celda, conducir la electricidad, y hacer circular un líquido refrigerante para enfriar el proceso. Sus reacciones son:



Igual que las celdas de combustible, muchas celdas individuales de electrolizador pueden conectarse en serie para formar el componente central de un sistema de electrolizador, la celda de células, donde se producen H₂ y O₂. (Hydrogenics, 2017)

2.3.3 Celdas de Electrólisis de Óxido Sólido

Los electrolizadores de óxido sólido, que utilizan un material cerámico sólido como el electrolito que conduce de manera selectiva iones de oxígeno cargados negativamente (O_2^-) a temperaturas elevadas, generan hidrógeno de una manera ligeramente diferente. El agua en el cátodo se combina con electrones del circuito externo para crear hidrógeno gaseoso e iones de oxígeno cargados negativamente. Y los iones de oxígeno pasan a través de la membrana cerámica sólida y reaccionan en el ánodo para crear oxígeno gaseoso y formar electrones para el circuito externo.

Los electrolizadores de óxido sólido debe funcionar a temperaturas justamente altas, así las membranas de óxido sólido trabajan correctamente (alrededor de 700–800°C, en balance con los electrolizadores PEM, que operan a 70–90°C, y electrolizadores alcalinas comerciales, que funcionan a 100–150°C). Estos usan eficazmente el calor disponible en estas temperaturas elevadas (de diversas fuentes, incluida la energía nuclear) para reducir la cantidad de energía eléctrica necesaria y así producir hidrógeno a base de agua. (U.S. Department of Energy, s/f)

2.3.3.1 Catalizadores

Los catalizadores son sustancias que aceleran la velocidad de las reacciones químicas y a ese efecto se le denomina catálisis., los catalizadores son inevitables para dividir el agua en hidrógeno y oxígeno. Para esta reacción, el

platino (Pt) es el catalizador más utilizado. Un catalizador barato sería ideal para la reacción, aunque el platino es costoso trabaja tan bien que no se ha encontrado aún otro como reemplazo, ya que este forma hidruros con enlace covalente entre el metal y el hidrógeno. Estos hidruros reaccionan con facilidad con el oxígeno, formando diversas combinaciones en la superficie del metal para finalmente formar agua.

Si se usan catalizadores menos eficaces para el cátodo, entonces habrá mayores pérdidas de tensión. La eficiencia energética de la electrólisis del agua se muestra entre 50–80%, pero estos valores sólo reseñan la eficiencia de la conversión de la energía eléctrica en energía química. (Hiru, s/f)

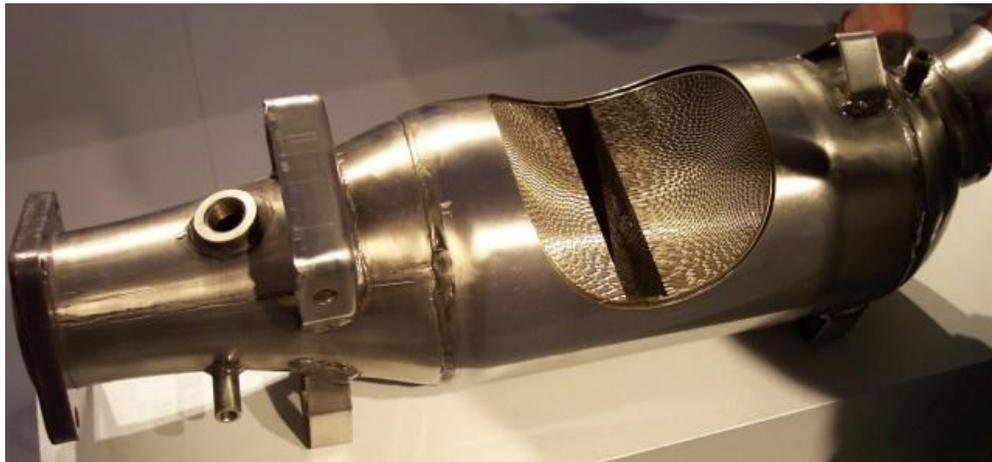


Imagen 8. Catalizador de Platino. (Talleres Davisan, s/f)

2.4 Celda de Combustible

Una celda de combustible es un tipo de batería de alta tecnología que convierte la energía química del combustible que la alimenta en energía eléctrica. Pero hay una gran diferencia una batería almacena en su interior la energía química que convierte en electricidad; cuando se termina esa energía química, la batería se tira; o, en el mejor de los casos, se recarga en un largo y tedioso proceso. La celda de combustible, en cambio, convierte en electricidad la energía química de un combustible que recibe del exterior y es capaz de suministrar energía eléctrica de forma continua mientras se mantenga el aporte de este combustible. Uno de los reactivos de la celda es siempre el oxígeno, que actúa como oxidante en el cátodo y que, dada su disponibilidad en el aire, generalmente no es necesario almacenar. El combustible propiamente dicho es habitualmente el hidrógeno, que suministrado de forma directa o a partir del reformado de un primer combustible (metanol o etanol, por ejemplo) alimenta la celda. (Asensio, 2007)

Las celdas de combustible serán parte integrante de la futura economía del hidrógeno. Las celdas de combustible tienen la capacidad de satisfacer todas nuestras necesidades globales de energía al mismo tiempo que son altamente eficientes, con una tecnología de baja contaminación. Hay seis tipos principales de celdas de combustible. El tipo comúnmente usado para envío y aplicaciones portátiles es la celda de combustible de membrana de electrolito polimérico (PEM),

estas celdas operan a temperaturas entre 20 y 80°C, lo que admite un tiempo de arranque similar al del motor de combustión interna.

Las celdas de combustible PEM son aptos para obtener densidades de potencia neta de más de 1 kW/litro, lo que las hace competitivas con el motor de combustión interna para aplicaciones de transporte.

2.4.1 Historia de la Celda de Combustible

A William Grove se le atribuye la invención de la primera celda de combustible en 1839. Las celdas de combustible no se investigaron mucho durante los años 1800 y gran parte de los 1900. La investigación exhaustiva de la celda de combustible comenzó durante los años 60 en la NASA. Durante la última década, las celdas de combustible se han investigado ampliamente, y están finalmente acercándose a la comercialización.

1800	W. Nicholson y A. Carlisle describieron el proceso de usar la electricidad para romper el agua
1836	Demostración de celdas de combustible de William Grove
1889	Los equipos L. Mond & C. Wright, y C. Thompson / L. Cailleteon & L. Colardeau realizaron varios experimentos con celdas de combustible
1893	F. Ostwald describió los roles de los componentes de la celda de combustible
1896	W. Jacques construyó una batería de carbón
Principios de 1900	E. Baur y sus estudiantes realizaron experimentos en dispositivos de alta temperatura
1960's	T. Grubb y L. Niedrach inventaron la tecnología de celdas de combustible de PEM en General Electric
1990 – Actualidad	Amplia investigación de celdas de combustible en todo el mundo sobre todos sus tipos

Tabla 2. Repaso de la Historia de la Celda de Combustible. (Horizon Educational Group, 2016)

2.4.2 Tipos de Celdas de Combustible

Hay diversos tipos de celdas de combustible, que se clasifican según el tipo de electrolito empleado. Así, los distintos tipos de celdas de combustible operan a diferentes temperaturas, y requieren diversos grados de pureza del hidrógeno suministrado. Una forma de clasificación de celdas es según el tipo de electrolito, estos son los seis tipos de celda de combustible existentes:

- Celdas de Membrana de Intercambio de Protones o de Membrana Polimérica
- Celdas de Combustible Alcalinas
- Celdas de Ácido Fosfórico
- Celdas de Carbonato Fundido
- Celdas de Óxido Sólido
- Celdas de Metanol Directo

Fuente: ("CD-6497.pdf", s/f, p. 19)

Tipos de Celdas de Combustible	Reacciones de Electrodo
Electrolito de Polímero	Ánodo: $H_2 = 2H^+ + 2e^-$ Cátodo: $\frac{1}{2} O_2 + 2H^+ + 2e^- = H_2O$
Metanol Directo	Ánodo: $CH_3OH + H_2O = CO_2 + 6H^+ + 6e^-$ Cátodo: $\frac{3}{2} O_2 + 6H^+ + 6e^- = 3H_2O$
Alcalino	Ánodo: $H_2 + 2 OH^- = H_2O + 2e^-$ Cátodo: $\frac{1}{2} O_2 + H_2O + 2e^- = 2 OH^-$
Ácido Fosfórico	Ánodo: $H_2 = 2H^+ + 2e^-$ Cátodo: $\frac{1}{2} O_2 + 2H^+ + 2e^- = H_2O$
Carbonato Fundido	Ánodo: $H_2 + CO_3^{2-} = H_2O + CO_2 + 2e^-$ Cátodo: $\frac{1}{2} O_2 + CO_2 + 2e^- = CO_3^{2-}$
Óxido Sólido	Ánodo: $H_2 + O_2^- = H_2O + 2e^-$ Cátodo: $\frac{1}{2} O_2 + 2e^- = O_2^-$

Tabla 3. Las Celdas de Combustible Según las Reacciones de Electrodo. ("spr06_p41-44.pdf", s/f, p. 2)

2.4.2.1 Celda de Combustible Alcalina (AFC)

Las celdas de combustible alcalinas fueron de las primeras que se desarrollaron, y el primer tipo usado de forma extensiva en el programa espacial de Estados Unidos para producir energía eléctrica y agua a bordo de las naves espaciales. Estas celdas AFC utilizan una solución de hidróxido de potasio en agua como electrolito y pueden usar una gran variedad de metales no preciosos como catalizadores en el ánodo y el cátodo.

2.4.2.2 Celda de Combustible de Carbonatos Fundidos (MCFC)

Las celdas de combustible de carbonatos fundidos funcionan a altas temperaturas desde los 600°C hasta los 1000°C, se manipulan compuestos como los carbonatos de sodio, litio o potasio para el electrolito. El rendimiento de esta tecnología se encuentra actualmente en torno al 60%. Se han construido unidades MCFC de hasta 2 MW y existen diseños para unidades de hasta 100 MW. El calor residual puede ser reciclado para obtener electricidad adicional.

2.4.2.3 Celdas de Combustible de Membrana Polimérica (PEM)

También llamadas celdas de combustible de membrana de intercambio de protones, usan como electrolito de polímero sólido y electrodos porosos de carbono que contienen un catalizador de platino. Necesitan hidrógeno, oxígeno y agua, y no requieren el uso de fluidos corrosivos como otras celdas de combustible. Normalmente usan hidrógeno puro como combustible almacenado en depósitos o convertidores incorporados. Este tipo de celdas operan a

temperaturas relativamente bajas (80°C). Esto permite que arranquen rápidamente al necesitar menos tiempo de calentamiento. Las PEM operan con un catalizador de platino que es extremadamente sensible a la contaminación por CO.

2.4.2.4 Celdas de Combustible de Óxido Sólido (SOFC)

Las celdas de combustible de óxido sólido usan como electrolito un cerámico, a base de cerámica de metal (como calcio o circonio) y óxidos. Al ser el electrolito un sólido, las celdas no se tienen que construir con una configuración laminar, como ocurre en las otras celdas. Las SOFC entre el 50–60%. En aplicaciones cuya finalidad es captar y utilizar el calor que desprende el sistema (cogeneración), el rendimiento total del combustible puede llegar hasta el 80–85%. Las celdas SOFC operan a temperaturas muy elevadas (alrededor de los 1000°C). Las elevadas temperaturas hacen que no sea necesario utilizar metales nobles como catalizadores, reduciendo el coste. También permite a la celda convertir los efectos de los tratamientos térmicos en la circona utilizada como electrolito en las celdas de combustible de óxido sólido combustibles internamente, lo que supone la oportunidad de usar diferentes combustibles y reduce el coste asociado que supone añadir un convertidor al sistema.

2.4.2.5 Celda de Combustible de Ácido Fosfórico (PAFC)

Estas celdas utilizan ácido fosfórico líquido como electrolito concentrado al 100% y electrodos de carbono poroso que contienen un catalizador de platino.

A temperaturas más bajas, el ácido fosfórico es un conductor iónico pobre, y el envenenamiento de CO del electro catalítico en la punta del ánodo llega a ser severo. La estabilidad relativa del ácido fosfórico concentrado se compara a otros ácidos comunes; por lo tanto la PAFC es capaz de funcionar en las partes altas del rango de temperaturas ácidas (100 hasta 220°C). Además, el uso del ácido concentrado reduce al mínimo la presión de vapor de agua.

2.4.2.6 Celdas de Combustible de Metanol Directo (DMFC)

Las celdas de combustible de metanol directo son similares a las celdas PEM en cuanto a que usan un polímero de membrana como electrolito. Sin embargo, las DMFC usan metanol sobre el ánodo, lo que elimina la necesidad de que el combustible pase por un reformador. Las DMFC son interesantes para alimentar dispositivos electrónicos portátiles, como ordenadores portátiles o cargadores de baterías.

Fuente: (Cruz Reina & Jiménez Ferreiro, 2010, pp. 4–6)

2.4.2.7 Características Principales de las Celdas de Combustible

En la tabla siguiente se exponen brevemente las características principales de los seis tipos de celdas de combustible antes mencionada, su tipo de electrolito, su eficiencia, temperatura de operación, ventajas, desventajas y aplicaciones.

Tipo Celda de Combustible	Tipo de Electrolito	Eficiencia	Temperatura de Operación	Ventajas	Desventajas	Aplicaciones
Celdas de Membrana Polimérica	Polímero sólido	60%	70 -80°C	Baja corrosión del electrolito y bajo mantenimiento de la celda. Rápido arranque y baja temperatura de operación. Acepta hidrocarburos ligeros reformados.	Catalizadores costosos y sensibles a impurezas.	Suministro energético para vehículos y generación estacionaria.
Celdas de Combustible Alcalinas	Solución acuosa de hidróxido de potasio	60%	90 -100°C	Reacción catódica rápida y alta eficiencia.	Alta sensibilidad a las impurezas. Necesita emplear hidrógeno puro.	Aplicaciones militares y espaciales.
Celdas de Ácido Fosfórico	Ácido fosfórico líquido	50 - 80 %	175 -200°C	Alta eficiencia en cogeneración de electricidad y calor. Acepta hidrógeno impuro.	Baja corriente y potencia. Gran peso y volumen.	Aplicaciones de generación estacionaria. Aparatos portátiles.
Celdas de Carbonato Fundido	Solución líquida de litio, sodio y potasio	60 - 90%	600 -1000°C	Alta eficiencia debido a la alta temperatura. Catalizadores relativamente baratos.	Baja vida útil por la corrosión a alta temperatura. Acepta hidrocarburos reformados, pero no tolera el azufre.	Generación estacionaria
Celdas de Óxido Sólido	Óxido de zirconio sólido con adiciones de itrio sólido	60 - 90 %	600 -1000°C	Debido a la alta temperatura, tienen alta eficiencia y los catalizadores son relativamente baratos.	Baja vida útil por la corrosión a alta temperatura. Acepta hidrocarburos reformados, pero no tolera el azufre.	Generación estacionaria
Conversión Directa con Metanol	Nafion	40%	120-190°C	Transporte, equipos portátiles, electricidad.	Combustible líquido, más cercano a la tecnología actual, más las ventajas de las PEM.	Aún se encuentra en desarrollo.

Tabla 4. Características de los Principales Tipos de las Celdas de Combustible. ("CD-6497.pdf", s/f, pp. 19–20)

2.4.3 Funcionamiento de la Celda de Combustible

El principio de funcionamiento en el que se establecen las celdas de combustible es el inverso al de la reacción electrolítica; oxígeno e hidrógeno se combinan para formar agua con producción de energía eléctrica y calor. Se trata, por lo tanto, de una reacción limpia, en la que el único producto es el vapor de agua que puede ser liberado a la atmósfera sin ningún peligro para el medio ambiente.

El elemento básico de una celda de combustible es la celda electroquímica formada principalmente por dos electrodos (ánodo y cátodo) y un electrolito. Existen varios tipos de celdas de combustible que más adelante se explicarán. Las reacciones que tengan lugar dependerán del tipo de celda del que se trate.

El hidrógeno (H_2) penetra por el electrodo negativo (ánodo) y se disocia, en presencia del catalizador, en iones positivos H^+ y electrones. El oxígeno (O_2) originario del aire penetra por el electrodo opuesto (cátodo) y se disocia igualmente en presencia del catalizador en iones O_2^- . Los iones positivos del hidrógeno se escapan a través del electrolito en dirección al cátodo, dejando a los electrones libres en el ánodo.

Si existe un circuito externo o camino eléctrico entre el ánodo y el cátodo los electrones lo recorrerán, produciendo corriente eléctrica. En el cátodo los iones hidrógeno, el oxígeno y los electrones se vuelven a combinar para formar moléculas de agua.

La conversión de la energía química de los reactantes a energía eléctrica, calor y agua se produce en las capas del catalizador. El agua y el calor residual generado por la celda de combustible deben excluirse continuamente y pueden presentar problemas críticos para las celdas de combustible.

Dado a que la mayoría de las aplicaciones tienen requisitos de voltaje o potencia que no pueden ser satisfechas por una sola celda, un número de celdas se conectan en serie para hacer una celda de celdas de combustible con mayor capacidad de generación. Estas celdas continuas se separan por placas de campo de flujo. Al aumentar el número de celdas en la celda cardinal aumenta el voltaje, mientras que la extensión del área superficial de las celdas aumenta la corriente.

La característica más relevante de estos sistemas es su capacidad de transformar energía química directamente en energía eléctrica, sin necesidad de transformaciones intermedias.

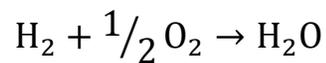
Una sola celda de combustible funciona a una tensión que fluctúa entre 0.6–0.8 V, y produce una corriente por área activa (densidad de corriente) de 0.2 a 1 A/cm². En una celda de combustible PEM, el MEA tiene típicamente un grosor de 500–600 μm, y consta de cinco capas: la membrana de intercambio de protones, dos capas de catalizador de ánodo y cátodo y dos capas de difusión de gas de ánodo y cátodo.

2.4.4 Eficiencia de una Celda de Combustible

Una de las principales ventajas es su eficiencia. Cuando se la quiere hallar

hay que hacer una distinción entre la eficiencia de la reacción electroquímica que en ella se produce y la eficiencia de todo el conjunto que forma una celda de combustible, incluyendo los sistemas auxiliares y el sistema de acondicionamiento de potencia.

La cantidad de energía liberada cuando se combinan el hidrógeno y oxígeno para formar agua, según la reacción:



Se obtiene a través de la entalpía de la reacción ΔH^0 , y tiene un valor de:

$$\Delta H_{(\text{liq})}^0 = -285,8 \frac{\text{kJ}}{\text{mol de agua}}$$

El calor que absorbe o libera un sistema sometido a presión constante se conoce como entalpía, y el cambio de entalpía que se produce en una reacción química es la entalpía de reacción.

Este valor es dado a condiciones de 25°C y 1 atm. Los cambios en la temperatura afectan más a este valor que los cambios de presión.

De ésta energía la parte disponible como trabajo útil, está dada por la variación de la energía libre de Gibbs $(\Delta G)^0$, cuyo valor en este caso a 25°C y 1 atm., es:

$$(\Delta G)^0 = -237,1 \frac{\text{kJ}}{\text{mol de agua}}$$

La energía libre de Gibbs (ΔG) es un potencial termodinámico, es decir, una función de estado prolongable con unidades de energía, que da la condición de equilibrio y de espontaneidad para una reacción química a presión y temperatura constantes.

Y si se tienen en cuenta los efectos de la temperatura su valor a 80°C (temperatura de funcionamiento) es:

$$(\Delta G) = -228,2 \frac{\text{kJ}}{\text{mol de agua}}$$

El voltaje de cada celda individual se relaciona con la energía libre de Gibbs mediante:

$$V_{\text{ideal}} = \frac{-\Delta G}{nF}$$

Donde:

n: es el número de electrones involucrados en la reacción expresado en mol de electrones.

F: constante de Faraday, también llamado faradio (96.500 Culombios/mol de electrones).

Reemplazando:

$$V_{\text{ideal}} = 1,182 \frac{\text{J}}{\text{C}} = 1,182 \text{ V}$$

Este es el valor de voltaje máximo teórico que cada celda puede generar a 80°C y 1 atm.

La eficiencia térmica o termodinámica de una celda se define como la relación entre la energía útil producida y la variación de entalpía de los productos y los reactivos en la reacción entre el hidrógeno y el oxígeno para formar agua.

$$\eta = \frac{\text{Energía Útil}}{\Delta H}$$

Por lo tanto, la eficiencia ideal de la celda operando en forma reversible:

$$\eta_{\text{ideal}} = \frac{\Delta G}{\Delta H}$$

De tal manera que reemplazando:

$$\eta_{\text{ideal}} = \frac{228,2 \text{ kJ/mol}}{296,9 \text{ kJ/mol}} = 0,8$$

En un funcionamiento ideal el voltaje de 1,18 v por celda debería mantenerse para cualquier estado de carga, sin embargo debido a la pérdidas de polarización y óhmicas el voltaje cae cuando aumenta la corriente.

En una celda real el voltaje puede llegar a 1,1V en vacío y puede caer a un valor de 0,5 a 0,6V, funcionando regularmente.

Es conveniente expresar la eficiencia real de una celda en función de la relación entre el voltaje actual y el voltaje ideal, por lo tanto:

$$\eta_{\text{real}} = \frac{\text{Energía Utilizada}}{\Delta H} = \frac{\text{Potencia Útil}}{\Delta G} \times 0,8$$

$$\eta_{\text{real}} = \frac{V_{\text{actual}} \times I}{V_{\text{ideal}} \times I} \times 0,8 = \frac{V_{\text{actual}}}{V_{\text{ideal}}} \times 0,8$$

Reemplazando el valor V_{ideal} , por el valor dado en:

$$\eta_{real} = \frac{V_{actual}}{1.18} \times 0,8 = 0,68 \times V_{actual}$$

En la práctica no todo el combustible entregado a la celda se consume en la reacción, por lo que se define un coeficiente de utilización:

$$\mu_f = \frac{\text{masa de combustible que reacciona en la celda}}{\text{masa de combustible entregada a la celda}}$$

Por lo tanto la eficiencia se expresa:

$$\text{Eficiencia}_{cel} = \mu_f \times \eta_{real} = \mu_f \times 0,68 V_{actual}$$

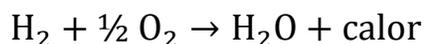
Fuente: ("03-085.pdf", s/f, pp. 3–4)

Combustible	Reacción	η máx (%)
Hidrógeno	$H_2 + \frac{1}{2} O_2 \leftrightarrow H_2O (l)$	83
	$H_2 + \frac{1}{2} O_2 \leftrightarrow H_2O (g)$	94,5
Metano	$CH_4 + 2O_2 \leftrightarrow CO_2 + 2H_2O (l)$	91,9
	$CH_4 + 2O_2 \leftrightarrow CO_2 + 2H_2O (g)$	99,81
Monóxido de Carbono	$CO + \frac{3}{2} O_2 \leftrightarrow CO_2$	90,9
Carbón	$C + \frac{1}{2} O_2 \leftrightarrow CO$	124,2
	$C + O_2 \leftrightarrow CO_2$	100,2
Metanol	$CH_3OH (l) + \frac{3}{2} O_2 \leftrightarrow CO_2 + 2H_2O (l)$	96,7
	$CH_3OH (l) + \frac{3}{2} O_2 \leftrightarrow CO_2 + 2H_2O (g)$	107,4

Tabla 5. Eficiencia Máxima de Algunas Reacciones en las Celdas de Combustible. (Linares Hurtado & Moratilla Soria, 2007, p. 104)

2.4.5 Calor de Reacción

La reacción global arriba descrita no es más que la reacción de combustión del hidrógeno. Esta reacción es exotérmica. Esto implica que se libera cierta cantidad de energía en forma de calor durante el proceso.



Este calor liberado es la diferencia que existe entre los calores de formación de productos y reactivos de la reacción anterior. Estos calores de formación son la variación de entalpía de la reacción de formación de dicho compuesto a partir de las especies elementales que lo componen. Así para una PEM, tomando 25°C de temperatura y presión atmosférica, se tiene que:

$$\Delta H = \Delta H_f(\text{H}_2\text{O}) - \Delta H_f(\text{H}_2) - \frac{1}{2} \Delta H_f(\text{O}_2)$$

Por convenio, se toman como valor de referencia las entalpías de formación de los elementos puros con valor nulo. Luego, el valor del calor de esta reacción es el calor de formación del agua, valor que podemos encontrar en tablas termodinámicas como la que se muestra a continuación. Hay que señalar que para las condiciones elegidas, el agua se encuentra en estado líquido.

Compuestos Inorgánicos [kJ/mol]	ΔH_f°
H₂O (g)	-241,818
H₂O (l)	-285,83
HF (g)	-268,6
HCl (g)	-92,3
NaCl (s)	-411,0
CaO (s)	-635,09
CaCO₃ (s, calcita)	-1206,92
CO (g)	-110,53
CO₂ (g)	-393,51
NO (g)	90,25
NH₃ (g)	-46,11
SO₂ (g)	-296,83
SO₃ (g)	-395,72

Tabla 6. Entalpías de Formación Estándar (25°C, 1 atm) de Algunos Compuestos Inorgánicos. (Martínez Reyes, 2016, p. 48)

Tenemos entonces la siguiente expresión para la formación del agua:

$$\Delta H = \Delta H_f(\text{H}_2\text{O}) - \Delta H_f(\text{H}_2) - \frac{1}{2} \Delta H_f(\text{O}_2)$$

$$-285,83 - 0 - 0 = -285,83 \text{ kJ/mol}$$

El signo negativo en el resultado de esta expresión, por convenio, significa que la reacción es exotérmica, ya que se libera energía.

2.4.6 Poder Calorífico del Hidrógeno

El cambio de entalpía asociado a una reacción de combustión se denomina “calor de combustión”. Para el caso concreto del hidrógeno, recibe el nombre de Poder Calorífico del hidrógeno. Se trata de la cantidad de calor que se generaría en la combustión completa de un mol de hidrógeno.

Dependiendo de las condiciones en las que tenga lugar la reacción, podemos destacar entre dos tipos de poder calorífico: superior e inferior. El poder calorífico superior es la cantidad de calor que se desprende cuando el vapor de agua ocasionado en la combustión del hidrógeno está condensado, este tiene un valor cercano a los -286 kJ/mol. En cambio, el poder calorífico inferior está referido al calor desprendido cuando el agua obtenida en la reacción de combustión se encuentra en estado gaseoso. Su valor es aproximadamente, según podemos ver en la tabla anterior, -241 kJ/mol. (Martínez Reyes, 2016, pp. 47–49)

2.4.7 Potencial Teórico

En general, el trabajo eléctrico se define como el producto de la carga que hay que transportar por el potencial:

$$W_{el} = q \cdot E$$

Para el caso de las celdas PEM, por cada mol de hidrógeno consumido, la cantidad de carga eléctrica (q) que se debe transformar viene determinada por la siguiente relación:

$$q = n \cdot N_{AV} \cdot E$$

Siendo:

- n = número de electrones por cada molécula de hidrógeno
- N_{AV} = número de Avogadro ($6,022 \cdot 10^{23}$ moléculas/mol)
- E = carga de un electrón ($1,3052 \cdot 10^{-19}$ C/electrón)

Cuando se tratan dispositivos que traten transformaciones electroquímicas, como es el caso de las celdas de combustible, se suele simplificar esta expresión usando la constante de Faraday (Faradio = F).

$$q = n \cdot N_{AV} \cdot e = n \cdot F$$

La expresión “nF” representa la cantidad de electrones transferidos en forma de corriente eléctrica que circula entre las especies químicas reaccionantes. Esta expresión hace por tanto de conexión entre todo aquello directamente relacionado con la termodinámica y la electricidad. El término F de esta expresión es lo que se conoce como la constante de Faraday o faradio, y toma el valor de $F = 96500$ C/mol.

Cabe señalar que el hecho de que esta constante sea un número tan grande, supone que se pueda obtener una cantidad relativamente elevada de

electricidad a partir de una pequeña reacción química. Por otro lado, en el caso de la celda PEM, el término “n” adopta el valor de 2, puesto que por cada mol de hidrógeno se generan dos electrones. Se puede entonces reescribir el trabajo eléctrico de la siguiente forma:

$$W_{el} = nF \cdot E$$

Además, como ya se ha explicado con anterioridad, la máxima cantidad de energía que se puede generar en la celda de combustible es la correspondiente a la energía libre de Gibbs. Por tanto se tiene que:

$$W_{el} = -\Delta G$$

Por lo que, teniendo todo esto en cuenta, si reescribimos la ecuación del trabajo eléctrico y despejamos, se tiene que el potencial teórico de una celda de combustible viene determinado por la siguiente ecuación:

$$E = -\frac{\Delta G}{nF}$$

Fuente: (Martínez Reyes, 2016, pp. 52–53)

2.4.8 Pérdidas de Energía

El comportamiento, así como el rendimiento real de una celda de combustible son inferiores a los valores ideales debido a las múltiples diversas desarrolladas en el circuito.

- **Pérdidas por efecto Joule.** Son una de las irreversibilidades más perjudiciales. Se deben al calor desarrollado durante el paso de la corriente eléctrica a través del electrolito y de los otros elementos del circuito eléctrico.

Otro tipo de pérdidas se deben a irreversibilidades relacionadas con la caída de tensión, proporcionalmente al aumento de la intensidad de la corriente.

Se pueden agrupar en:

- **Pérdidas de activación.** Debidas a la lentitud con la que se producen las reacciones en la superficie del electrodo, por las cuales parte de la tensión producida se pierde en iniciar estas reacciones.
- **Pérdidas resistivas.** Debidas a la resistencia eléctrica del electrolito al paso de iones y de los electrodos al paso de los electrones. Dichas pérdidas aumentan linealmente con el aumento de la intensidad.
- **Pérdidas de concentración.** Generadas por una alimentación deficiente, en la cual los fluidos que reaccionan no se difunden constante y homogéneamente por toda la superficie de la celda.

Por último, otros dos tipos de irreversibilidades que también debemos anotar:

- **Pérdidas por la porosidad residual del elemento electrolítico.** Debidas al fenómeno del crossover del combustible, por el cual parte del combustible atraviesa el electrolito y reacciona con el comburente directamente, sin haber podido aprovechar la energía eléctrica que podría haber producido.

- **Pérdidas por conductibilidad electrónica residual.** Debidas al paso de una pequeña cantidad de electrones a través del electrolito, causando “pequeños cortocircuitos” que disminuyen las características de la celda de combustible.

Fuente: (Ruiz, 2014, pp. 13–14)

2.4.9 Componentes de una Celda de Combustible

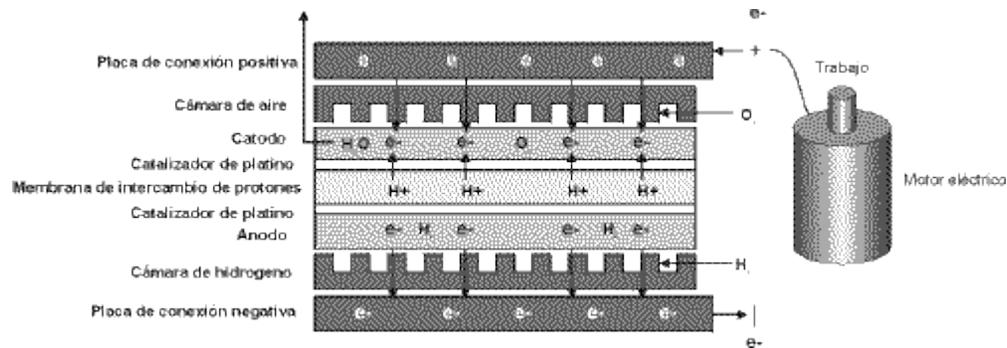


Imagen 8. Representación Gráfica de una Celda de Combustible. (“CD-6497.pdf”, s/f)

Los componentes para la labor de la celda de combustible son:

2.4.9.1 Combustible y Oxidante

En una celda de combustible PEM, un combustible rico en hidrógeno es inyectado por el ánodo, y un oxidante normalmente oxígeno puro o aire es alimentado a través del cátodo. Ambos electrodos están separados por un electrolito sólido que permite la conducción iónica y evita la circulación de electrones. La oxidación catalítica de H_2 y la reducción catalítica de O_2 tienen lugar en los electrodos negativo y positivo, respectivamente. (Kunusch, Puleston, & Mayosky, 2012)

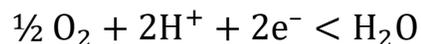
2.4.9.2 Ánodo

Son electrodos donde ocurren las reacciones anódicas o de oxidación. Los mismos se componen por un metal poroso conductor, recubierto por un electro catalizador de platino o aleaciones de platino. La reacción de oxidación que ocurre en una celda de combustible PEM es:



2.4.9.3 Cátodo

Son electrodos donde ocurren las reacciones catódicas o de reducción. Al igual que el ánodo, estos electrodos están compuestos por un material poroso conductor recubierto por un electrocatalizador, usualmente el catalizador Platino y Rutenio sobre Carbono (PtRu/C). La reacción de reducción que ocurre en el caso de una celda de combustible de hidrógeno o una de alcohol directo es:



2.4.9.4 Membrana o Electrolito

Es un polímero por donde se transfieren los iones. En el caso de la celda de combustible de hidrógeno o una de alcohol directo, es por donde se transfieren los protones desde el ánodo hacia el cátodo. Las membranas utilizadas están formadas por polímeros rígidos con sustituyentes voluminosos que se ajusta con una gran selección elevada de permeabilidad. Las altas temperaturas de estos materiales reducen los procesos de decadencia que reducen las prestaciones de las membranas poliméricas.

Fuente: (“CD-6497.pdf”, s/f, p. 18)

2.4.9.5 Ensamblajes de Electroodos de Membrana (MEA)

El Ensamble de Electroodos de Membrana (MEA) es el componente central de una celda de combustible que ayuda a producir la reacción electroquímica necesaria para apartar los electrones. En el lado del ánodo del MEA, un combustible (hidrógeno, metanol, etc.) se propaga a través de la membrana y se choca en el extremo del cátodo con un oxidante (oxígeno o aire) que se une con el combustible y recibe los electrones que estaban separados del combustible. Los catalizadores en cada lado permiten las reacciones, y la membrana accede a que los protones pasen a través, mientras que mantiene los gases separados. De esta manera se conserva el potencial de la celda y se extrae corriente de la célula que produce electricidad. (“Membrane Electrode Assemblies (MEA)”, 2017)

2.4.9.6 Membrana de Intercambio Protónico

La membrana de intercambio protónico es fabricada de un fluoropolímero sulfonado conocido como NAFION desarrollado por Dupont. Existen diferentes tipos de NAFION, como se muestra en la tabla, de acuerdo a su espesor. Las membranas más delgadas garantizan mayor conductividad de iones. (Tibaquirá & Posner, 2009, p. 3)

Tipo de NAFION®	Espesor
N 112	51 µm
N 1135	89 µm
N 115	127 µm
N 117	178 µm

Tabla 7. Diferentes Tipos de NAFION Ofrecidos por Dupont. (Tibaquirá & Posner, 2009, p. 3)

2.4.9.7 Capa de Electrolito

La capa de electrolito es fundamental para que una celda de combustible funcione correctamente. En las celdas de combustible de baja temperatura, cuando el combustible viaja a la capa de catalizador, la molécula de combustible se rompe en protones (H⁺) y electrones. Los electrones viajan al circuito externo para alimentar la carga, y el protón del hidrógeno (iones) viaja a través del electrolito hasta que alcanza el cátodo para combinarse con el oxígeno y formar el agua. En las celdas de alta temperatura y de combustible alcalina, el oxígeno reacciona en el cátodo para producir hidróxido (OH⁻), un ion carbonato (CO₃²⁻), o un ion de oxígeno (O²⁻). El ion viaja a través del electrolito para reaccionar con el hidrógeno en el cátodo.

Dependiendo del tipo de celda de combustible, los electrones se producen en el cátodo o ánodo. Independientemente del tipo de celda de combustible, el electrolito debe tener alta conductividad iónica, baja conductividad electrónica, estabilidad química y mecánica además de presentar una barrera adecuada para los reactivos. (Spiegel, 2017)

2.4.9.8 Capa de Difusión de Gas

Es una estructura porosa producida al entrelazar fibras de carbono en una tela de carbono o presionando fibras de carbono juntas en un papel carbónico. Muchas de estas capas estándar que se producen hoy en día aparecen con una capa micro-porosa y el politetrafluoroetileno (PTFE); ayudan con el contacto a la membrana y con el manejo del agua. La capa micro-porosa proporciona típicamente una capa lisa con una gran cantidad de superficie para el catalizador y un buen contacto con la membrana.

La capa a menudo utiliza PTFE como un adhesivo que aumenta la hidrofobia (propiedad física de las moléculas que repelen el agua), lo que ayuda a mantener el agua dentro de la membrana de filtrar o secar la membrana causando mayor resistencia con el menor rendimiento. A menudo hay un recubrimiento de PTFE adicional en la superficie de la capa para aumentar aún más la hidrofobia. (FuelCellsEtc, 2013)

2.4.9.9 Capa Catalizadora

La capa catalizadora o capa activa está en contacto directo con la membrana y la capa de difusión de gas. Tanto en el ánodo como en el cátodo, la capa de catalizadora por lo general se encuentra en los extremos de la membrana en una celda de combustible de PEM. La capa de catalizadora se aplica a la membrana o a la capa de difusión de gas. El objetivo es situar las

partículas catalizadoras, platino o aleaciones de platino, muy cerca de la membrana.

La primera generación de celdas de combustible de membrana de electrolito polimérico (PEMFC) utilizó electrocatalizadores negros de platino unidos al politetrafluoroetileno, que exhibieron un excelente rendimiento a largo plazo a un coste muy elevado. Estas capas catalizadoras convencionales presentaban generalmente costosas cargas de platino de 4 mg/cm^2 .

Una generosa cantidad de investigación se ha dirigido a reducir la carga de platino por debajo de $0,4 \text{ mg/cm}^2$. Esto se logra comúnmente mediante el desarrollo de métodos para aumentar la utilización del platino que se deposita. Recientemente, las cargas de platino tan bajo como $0,014 \text{ mg/cm}^2$ se han informado utilizando nuevos métodos de pulverización. Como resultado de este esfuerzo orientado, el coste del catalizador ya no es el principal obstáculo para la comercialización de celdas de combustible PEM.

Además de la carga del catalizador, hay varias propiedades de la capa de catalizadora que tienen que ser optimizadas minuciosamente para lograr una alta utilización del material del catalizador: la difusión del reactivo, la conductividad iónica y eléctrica y el nivel de hidrofobia tienen que ser equilibrados. Conjuntamente, la elasticidad del catalizador es una limitación de diseño importante. (Litster & McLean, 2004)

2.4.9.10 Placas Bipolares

Una placa bipolar es un componente multifuncional dentro de la celda de células de combustible PEM. Conecta y separa las celdas de combustible individuales en serie para formar una celda “stack” de combustible con voltaje requerido, ayuda a la distribución uniforme de gas combustible y oxígeno sobre toda la superficie activa de los conjuntos de membrana-electrodo (MEA), conduce corriente eléctrica desde el ánodo de una célula al cátodo de la siguiente, facilita la gestión del agua dentro de la celda, soporta la membrana delgada y electrodos y fuerzas de sujeción para el conjunto de la celda, entre otras cosas. Esencialmente las placas bipolares son las placas eléctricamente conductoras que unen el ánodo de una celda al cátodo de otra. (Fuel Cell Store, 2017)

Las placas bipolares están construidas de grafito o metal, y paralelamente distribuyen gases a través de canales de flujo a las capas de celdas de combustible (MEA) mientras transportan electrones a la carga. Los canales de flujo de gas permiten que los reactivos de ánodo y cátodo entren en el MEA, donde se originan las reacciones electroquímicas.

2.4.9.11 Productos

Dependiendo del combustible y del oxidante empleado son los productos obtenidos en las reacciones de oxidación y de reducción. En el caso de la celda

de combustible de hidrógeno el único producto es el agua y en una celda de alcohol directo, es CO_2 y H_2O . (“CD-6497.pdf”, s/f, p. 19)

2.4.9.12 Circuito Externo (Carga)

Es el lugar donde se cierra el circuito eléctrico y permite la transferencia de electrones del ánodo al cátodo, la cual puede valerse para realizar un trabajo eléctrico.

2.4.10 Condiciones de Funcionamiento

Las condiciones de funcionamiento de la celda de combustible dependen del diseño stack (apelación de celdas) y de la celda principal. Los parámetros operativos que afectan al rendimiento de la celda de combustible son:

- Presión de funcionamiento
- Temperatura de funcionamiento
- Caudales de los reactivos
- Humedad de los reactivos

Utilizar la condición de funcionamiento correcta para cada parámetro es fundamental para obtener un buen rendimiento de la celda de combustible. Las condiciones de funcionamiento de la celda de combustible van a depender de la celda de combustible y el diseño de la misma. Las condiciones óptimas varían de una celda a otra; por lo tanto, los parámetros óptimos deben ser estudiados y preferiblemente calculados para operar la celda. Las condiciones de funcionamiento típicas son diferentes para cada tipo de celda de

combustible. Las celdas de combustible PEM usualmente operan entre 20 y 100°C, y de 1 a 3 atm. Los caudales varían dependiendo del tipo de combustible y de los oxidantes utilizados. La humedad más alta normalmente mejora el rendimiento de las celdas de combustible de tipo PEM.

El caudal de los reactivos debe ser igual o mayor que la velocidad a la que se consumen dichos reactivos dentro de la celda. El oxígeno y el hidrógeno se introducen en el sistema de celdas de combustible con el caudal apropiado necesario para la corriente requerida. Esto requiere un sistema de flujo variable para mantener la estequiometría constante. Incluso en un sistema que usa "presión atmosférica", una presión ligeramente por encima de la atmosférica es necesaria para empujar los gases a través de los campos de flujo y forzar el agua líquida hacia fuera. La presión adicional requerida es de 0,1 a 2,0 psi (0,7 a 13,8 kPa) por encima de la atmosférica. El uso de las condiciones de funcionamiento correctas es necesario para obtener un buen rendimiento de la celda de combustible. (Spiegel, 2017)



Imagen 9. El Diagrama Básico de una Celda de Combustible. ("CD-6497.pdf", s/f)

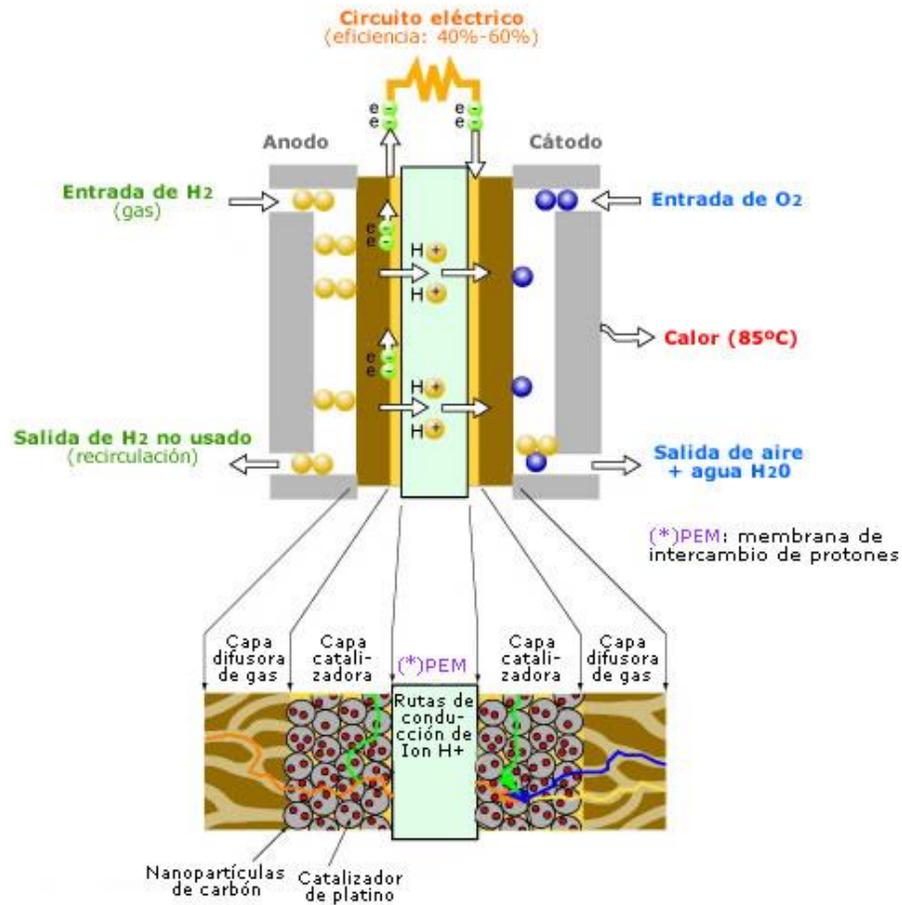


Imagen 10. Esquema Interno de una Celda de Combustible, tipo PEM. (Aficionados a la Mecánica, 2014)

2.4.11 Ventajas de las Celdas de Combustible

Existen numerosas ventajas y desafíos para las celdas de combustible.

- Las celdas de combustible tienen el potencial de una alta eficiencia operativa.
- Hay muchos tipos de fuentes de combustible y métodos de suministro de combustible a una celda de combustible.
- Las celdas de combustible tienen un diseño altamente escalable.
- No provocan contaminantes.

- Las celdas de combustible tienen poco mantenimiento porque no tienen partes móviles.
- No necesitan ser recargadas, y proporcionan energía instantáneamente cuando se suministran con combustible.
- Puede utilizarse para fines combinados de calor y energía
- Aumentar la eficiencia de la producción de energía
- Tienen una eficiencia mayor que los motores diésel o de gas.
- La mayoría funcionan en silencio, en comparación con los motores de combustión interna. Por ello son ideales para su uso dentro de edificios tales como hospitales.
- Puesto que el hidrógeno proviene de la electrólisis del agua impulsada por energía renovable, utilizando celdas de combustible se eliminan los gases de efecto invernadero en todo el ciclo.
- No necesitan combustibles convencionales como el petróleo o el gas, por lo que pueden reducir la dependencia económica de los países productores de petróleo, y crear una mayor seguridad energética para el país del usuario.
- Permiten una red de energía descentralizada, ya que el hidrógeno se puede producir en cualquier lugar donde haya agua y una fuente de alimentación, lo que es potencialmente más estable.
- Diseño modular, que ofrece flexibilidad en tamaño y eficiencia en la fabricación.
- Puede utilizarse para fines combinados de calor y energía.
- Son un gran ajuste energético para la optimización de cualquier sistema.
- Puede funcionar continuamente (siempre que haya combustible disponible).

- Se puede ejecutar a la inversa para el almacenamiento de energía, la producción de hidrógeno de la electricidad y el agua.

2.4.12 Limitaciones de las Celdas de Combustible

Algunas limitaciones comunes a todos los sistemas de celdas de combustible incluyen lo siguiente:

- La tecnología de reforma de combustible puede ser costosa, pesada y requiere potencia para funcionar.
- Si se introduce otro combustible además del hidrógeno en la celda de combustible, el rendimiento disminuye paulatinamente con el tiempo debido a la degradación del catalizador y el envenenamiento por electrolitos.
- El hidrógeno representa un problema para las celdas de combustible. Esto se debe a que es dificultoso de producir y de almacenar. Los procesos actuales son caro y requieren de bastante energía.
- Las celdas de combustible requieren combustible relativamente puro, libre de ciertos contaminantes. Estos contaminantes incluido el azufre y compuestos de carbono, y algunos líquidos residuales pueden dañar el catalizador de la celda de combustible.
- Las celdas de combustible aplicables para diferentes aplicaciones requieren el uso de un catalizador de platino. El platino es un metal raro y de alto costo.
- El agua no debe congelarse dentro de la celda de combustible. Las celdas generan agua pura y cualquier residuo de esta no debe permitírsele que se

congele. Al congelarse este aumenta su volumen y podría dañar la celda de combustible.

- Las celdas de combustible de membrana e intercambio de protones deben trabajar húmedas. Deben conservarse húmedas durante su uso y su almacenaje. De lo contrario, si intentamos encenderla en seco esto llevaría al daño de la membrana.
- Las celdas requieren sistemas complejos de control y soporte. Entre otros se requiere aire comprimido para lo cual necesitamos un compresor de aire.
- Todavía no se dispone de procesos de fabricación a gran escala ni de infraestructuras de apoyo tales como personal formado para los sistemas de celdas de combustible.

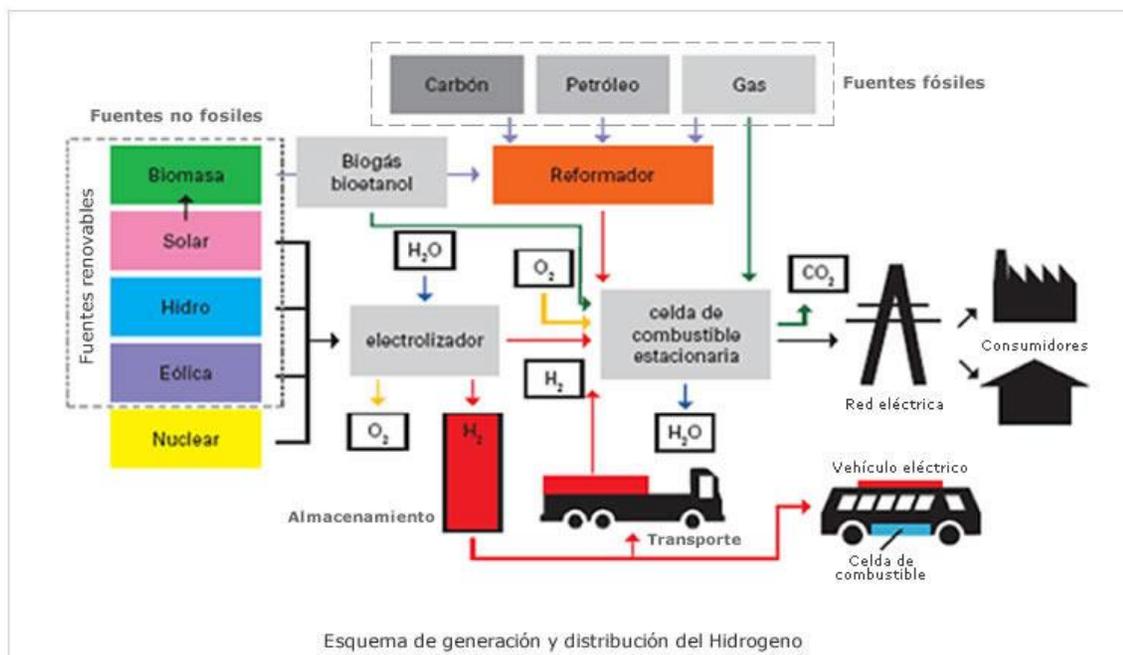


Imagen 11. Esquema de la Generación y Distribución del Hidrógeno. (Aficionados a la

Mecánica, 2014)

2.4.13 Resumen de las Tecnologías de Producción de Hidrógeno

Tecnología de producción de hidrógeno	Ventajas	Obstáculos
Electrólisis: descomposición del agua utilizando la electricidad	Disponible comercialmente con una tecnología comprobada; proceso industrial perfectamente entendido; modular; hidrógeno de gran pureza, conveniente para producir H ₂ a partir de electricidad renovable, que compensa la naturaleza intermitente de algunas energías renovables	Competencia con el uso directo de la electricidad renovable
Reformado (aplicaciones estacionarias y en vehículos): descomposición de hidrocarburos con calor y vapor	Perfectamente entendido a gran escala; generalizado; hidrógeno de bajo coste a partir de gas natural; oportunidades para combinar con la fijación de CO ₂ a gran escala («acumulación de carbono»)	Las unidades a pequeña escala no son comerciales; el hidrógeno contiene algunas impurezas (en algunas aplicaciones resulta necesaria una limpieza); emisiones de CO ₂ ; la fijación del CO ₂ genera costes adicionales
Gasificación: descomposición de hidrocarburos pesados y biomasa en hidrógeno y gases para reformado	Perfectamente entendido para hidrocarburos pesados a gran escala; puede utilizarse para combustibles sólidos y líquidos; posibles sinergias con combustibles sintéticos derivados de la biomasa; la gasificación de biomasa en fase de demostración	Las unidades pequeñas son muy escasas; el hidrógeno suele exigir una limpieza sustancial antes de su uso; las gasificación de biomasa aún es objeto de investigación; la biomasa tiene implicaciones para la utilización del territorio; competencia con los combustibles sintéticos derivados de la biomasa
Ciclos termoquímicos: utilizan el calor barato de alta temperatura procedente de la energía nuclear o solar concentrada	Producción potencialmente a gran escala y bajo coste y sin emisión de gases de invernadero para la industria pesada o el transporte; colaboración internacional (Estados Unidos, Europa y Japón) sobre investigación, desarrollo y despliegue	Hace falta investigación y desarrollo no comerciales sobre el proceso a lo largo de diez años: materiales, tecnología química; se precisa la implantación del reactor nuclear de alta temperatura (HTR)
Producción biológica: las algas y las bacterias producen directamente hidrógeno en determinadas condiciones	Recurso de gran envergadura potencial	Ritmo de producción de hidrógeno lento; se necesitan grandes superficies; la mayor parte de los organismos apropiados no se han encontrado todavía; aún es objeto de investigación

Tabla 8. Tecnología de Producción del Oxígeno. (European Commission & Directorate-General for Energy and Transport, 2003, p. 25)

2.4.14 Aplicaciones de las Celdas de Combustibles

La actual tecnología de celdas de combustible tiene el potencial de adaptarse a cualquier tipo de necesidad que el usuario desee, como por ejemplo dispositivos electrónicos o conjuntos residenciales, comerciales entre otros. Cada mercado requiere de celdas de combustible por diversas razones, como se puntualiza a continuación.

2.4.14.1 Sector Estacionario

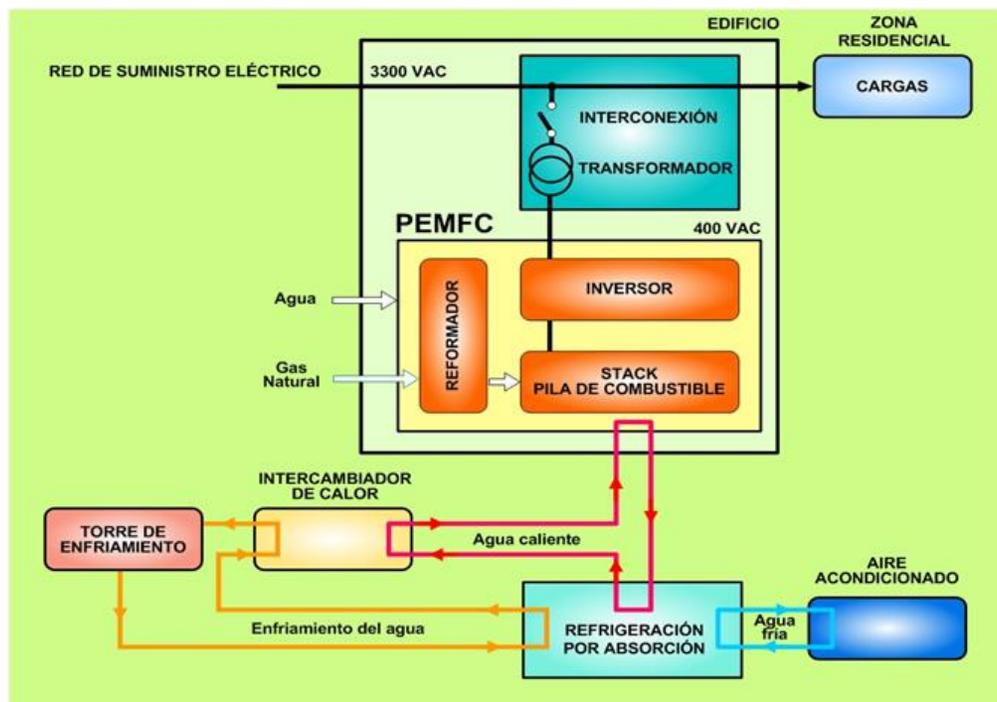


Imagen 13. Sistema de Cogeneración de PEMFC de 250 kW. (San Martín, Zamora, San Martín, Aperribay, & Buigues, 2008, p. 6)

Las celdas de combustible estacionarias generan y proporcionan energía limpia, eficiente y confiable fuera de la red a hogares, negocios, redes de

telecomunicaciones, servicios públicos y otros. Muchas compañías en todo el mundo están adoptando celdas de combustible para energía primaria y de respaldo, incluyendo: Adobe, Apple, AT&T, CBS, Coca-Cola, Cox Communications, Delmarva Power, eBay, Google, Honda, Microsoft, Target y Walmart.

Las celdas de combustible estacionarias son silenciosas y tienen muy bajas emisiones, por lo que pueden instalarse casi en cualquier lugar. Estos sistemas proporcionan energía directamente al cliente, sin las pérdidas de eficiencia de la transmisión de la red de largo alcance.

Los sistemas estacionarios de la celda de combustible también ocupan mucho menos espacio en proporción a otras tecnologías de energía limpia. Por ejemplo, una instalación de 10 megavatios (MW) de celdas de combustible puede ubicarse en un terreno de aproximadamente un acre. Esto se compara con aproximadamente 10 acres requeridos por MW de energía solar y alrededor de 50 acres por MW de viento.

La mayoría de las celdas de combustible estacionarias se conectan directamente a la infraestructura de gas natural, generando energía resistente a instalaciones críticas, incluso cuando la energía de la red no está disponible. Recientemente, cuando varios desastres naturales amenazan, las celdas de combustible demostraron su confiabilidad repetidamente en mantener las luces encendidas para negocios, hospitales, tiendas de comestibles y escuelas,

alimentando refugios de emergencia para vecindarios dañados y ahorrando cientos de miles de dólares de ingresos potencialmente perdidos.

Las celdas de combustible son altamente eficientes, alcanzando normalmente el combustible a la eficiencia de la electricidad de 60%, casi el doble de la eficiencia de la red eléctrica actual. Las celdas de combustible también generan calor que si se almacenan, pueden aumentar la eficiencia energética global a más del 90%. El calor producido por las celdas de combustible puede generar electricidad adicional a través de una turbina, proporcionar calefacción directamente a edificios o instalaciones cercanas, e incluso refrigeración con la adición de un enfriador de absorción.

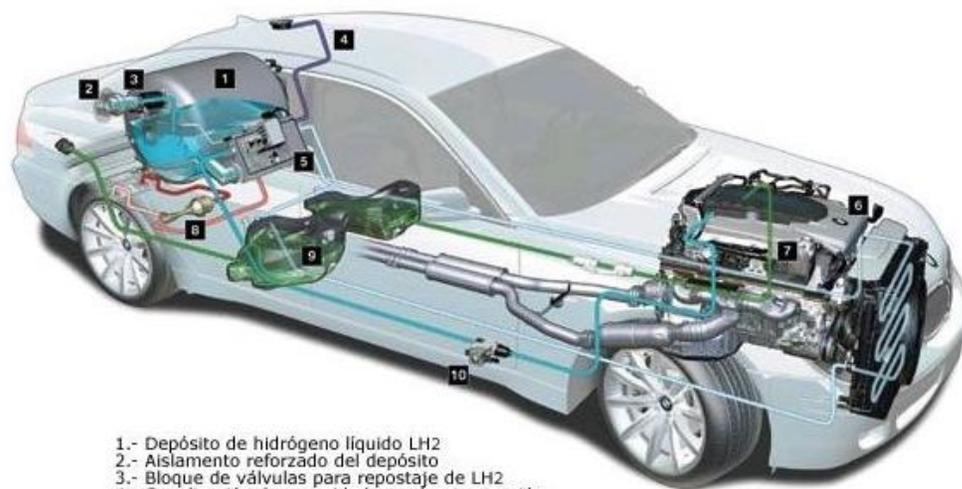
Las celdas de combustible están siendo adoptadas por los administradores de instalaciones federales con el fin de alcanzar los fines obligatorios de contaminación del aire. Las empresas de servicios públicos y las empresas que también trabajan para cumplir con las normas estatales de energía renovable y los requisitos de emisiones también están acudiendo cada vez más a las tecnologías de celdas de combustible. (FCHEA, s/f)

2.4.14.2 Mercado de Transporte

Las ventajas de la propulsión de vehículos basados en celdas de combustible incluyen emisiones de distribución cero y una eficiencia mucho mayor en las ruedas de los vehículos con motor de combustión interna o de batería. En comparación con los electronvoltios de batería, los electronvoltios de

las celdas de combustible tienen un rango más alto y un tiempo de reabastecimiento más corto del orden de algunos minutos.

Debido a los cortos tiempos de arranque y la demanda de carga altamente dinámica requerida en los sistemas de propulsión de vehículos, las celdas de combustible de electrolito de polímero (PEFC) se utilizan como la tecnología de elección. A pesar de la disponibilidad limitada de estaciones de servicio, el hidrógeno comprimido a 350 y 700 bares es el combustible preferido. El procesamiento a bordo de combustibles líquidos tales como metanol, gas de petróleo licuado, gasolina o diésel para producir hidrógeno se considera inviable para esta aplicación.



- 1.- Depósito de hidrógeno líquido LH2
- 2.- Aislamiento reforzado del depósito
- 3.- Bloque de válvulas para repostaje de LH2
- 4.- Canalización de seguridad para la evaporación
- 5.- Unidad de control del extractor de calor
- 6.- Motor
- 7.- Colector de admisión y la rampa de inyección
- 8.- Válvula de evaporación
- 9.- Depósito de gasolina
- 10.- Válvula dosificadora para mando de potencia con regulación electrónica

Imagen 14. Situación del Sistema de Alimentación de un BMW Hydrogen 7. (Aficionados a la Mecánica, 2014)

La aplicación de transporte se concentra principalmente en vehículos de pasajeros, autobuses y vehículos de manejo de materiales. También hay trabajo en vehículos de tracción ligera (coches de golf, sillas de ruedas, carros de aeropuerto, etc.), bicicletas, motocicletas, barcos, aviones, tranvías y locomotoras. La tecnología de las celdas de combustible de electrolito de polímero alimentada por H_2 y O_2 se han utilizado con éxito en submarinos militares, lo que permite una navegación lenta y silenciosa de hasta tres semanas sin reemplazo.

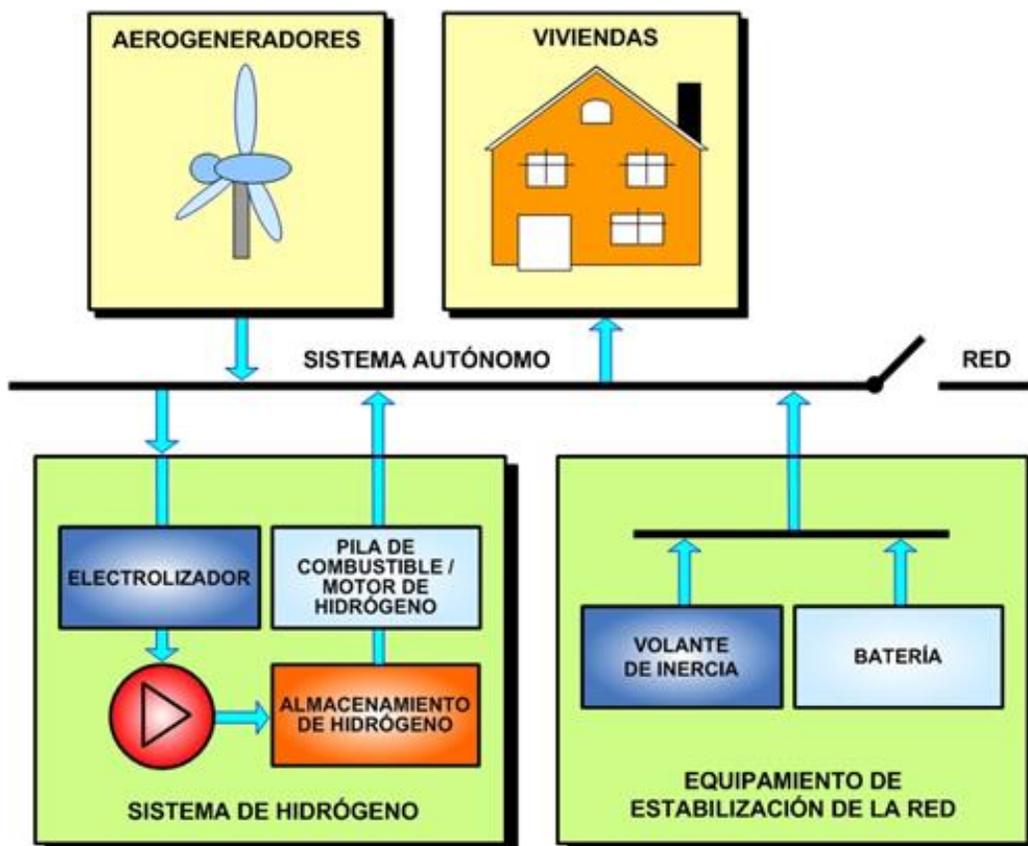
El mercado del transporte se beneficiará de las celdas de combustible porque los combustibles fósiles seguirán escaseando, y debido a esto, habrá aumentos forzados de precios. La legislación en todo el mundo también se está volviendo más diligente sobre la promulgación de la legislación con control de las emisiones ambientales.

Varios países están aprobando leyes para reducir las emisiones y vender un número mínimo de vehículos de emisión cero anualmente. Los vehículos de celda de combustible pueden ofrecer mayores eficiencias que los vehículos convencionales que operan con otros combustibles.

2.4.14.3 Sector Portátil

Una definición general es que las celdas de combustible portátiles abarcan las celdas de combustible diseñados para ser movidos, incluyendo unidades de potencia auxiliar (APU) de menor potencia. Las aplicaciones portátiles van de 25 W a 5 kW. Estas aplicaciones de celdas de combustible no son en su mayoría impulsadas por la eficiencia energética, sino más bien por la reducción del ruido y las emisiones, y la mejora en el tiempo de funcionamiento del dispositivo. Las aplicaciones militares son un campo especial de aplicaciones de las celdas de combustible portátiles. (Garche & Jürissen, 2015, p. 4)

Entre los ejemplos de celdas de combustible portátiles están para las industrias de ocio y de camiones, productos portátiles (antorchas, cortadoras de



vid, etc.), pequeños dispositivos electrónicos personales (reproductores, cámaras, etc.), electrónica personal grande (portátiles, impresoras, radios, etc.), kits de educación y juguetes. (FuelCellToday, 2017)

Imagen 15. Configuración de Micro-Red en Viviendas. (San Martín et al., 2008, p. 7)

2.4.15 Aspecto que Tendría un Sistema Energético Integrado en el Futuro

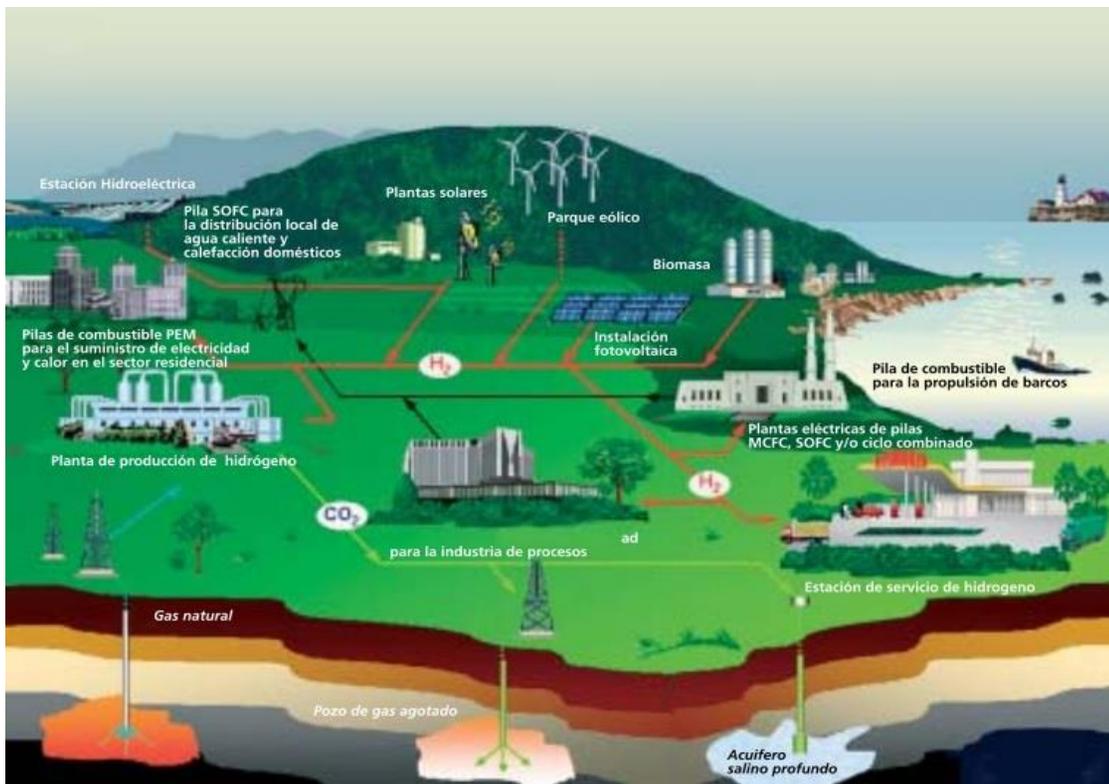


Imagen 16. Aspecto que Podría Llegar a Tener un Sistema Energético Integrado en el Futuro. (European Commission & Directorate-General for Energy and Transport, 2003)

Este es el aspecto que podría tener un sistema energético integrado en el futuro. Combinaría celdas de combustible grandes y pequeñas para generar electricidad doméstica y descentralizada. Utilizarían redes locales de hidrógeno para alimentar vehículos convencionales o de celdas de combustible. (European Commission & Directorate-General for Energy and Transport, 2003, p. 4)

Capítulo 3: Descripción, Ensamblajes y Pruebas de Módulos Didácticos de Generación de Energía a Base de Hidrógeno

3.1 Tecnología de Celda de Combustible Horizon

La Tecnología de Celdas de Combustibles Horizon fue fundada en Singapur en 2003 y actualmente opera 5 filiales internacionales. Su misión es cambiar el juego en las celdas de combustible, trabajando globalmente en la comercialización inmediata, reduciendo los costos de la tecnología y eliminando las antiguas barreras de suministro de hidrógeno. Comenzamos con productos pequeños y sencillos que requieren pequeñas cantidades de hidrógeno, mientras se preparan para aplicaciones más grandes y más complejas. Siguiendo una estricta guía y hoja de ruta, Horizon rápidamente surgió como el mayor productor mundial de celdas de combustible por debajo de 1000W, sirviendo a clientes en más de 65 países con lo que es la más amplia selección de productos comerciales en la industria de celdas de combustible. Ahora estamos preparando el lanzamiento de 5000W a 10,000W sistemas. (Horizon Fuel Cell Technologies, 2013)

La plataforma tecnológica de Horizon se compone de tres partes principales: celdas de combustible PEM (celdas de microcélulas y celdas), sus materiales, suministro de hidrógeno (electrólisis, reformado e hidrólisis) y sus dispositivos de almacenamiento de hidrógeno y los dispositivos relacionados con la presión. De esta plataforma, se derivan varias unidades de negocios centradas

en el mercado dentro de la empresa, con sus propias líneas de productos comerciales. (Horizon Fuel Cell Technologies, 2013)

En la actualidad, Horizon es una organización global, con equipos regionales en funcionamiento y 4 centros de competencia internacional distintos (automoción, telecomunicaciones, defensa / aeroespacial y productos de consumo). Como resultado de su plataforma compartida, la compañía es capaz de producir todo el espectro de productos de celdas de combustible; desde los sistemas más densos de energía del mundo hasta los sistemas de grado industrial, desde micro celdas de combustible hasta soluciones de grado industrial de varios kW. También suministran el derecho de almacenamiento de hidrógeno o soluciones de generación de hidrógeno en el sitio. (Horizon Fuel Cell Technologies, 2013)

3.2 Descripción de Módulos de Tecnología de Celda de Combustible Horizon a Implementar

3.2.1 Módulo Educativo de Energía Renovable FCJJ 37



Imagen 17. Módulo Modelo FCJJ-37, Marca Horizon. (Horizon Fuel Cell Technologies, 2013)

- Cuerpo de turbina eólica
- Cabeza de rotor para palas perfiladas
- 9 aspas perfilados para turbina
- Adaptador de cabeza de rotor para hojas
- 3 láminas de polipropileno para turbina
- Herramienta de desbloqueo del rotor
- Soporte de Turbina
- Poste de turbina eólica de aluminio
- Electrolizador PEM
- Base de electrolizador PEM
- Celdas de combustible PEM
- Base de celdas de combustible PEM
- Depósito de hidrógeno
- Tanque de oxígeno
- Contenedores de Gas Interior

- Base del módulo de la placa de circuitos
- Módulo de resistencia variable de 100 ohmios
- Panel solar de 1 vatio
- Adaptadores, tubería y válvula de purga
- Instrucciones de montaje
- CD con manuales del currículo
- Base del módulo del tanque de agua / gas
- Cables flexibles de conexión de plátano de 2 mm
- Tubo de silicio transparente
- Clavijas de enchufe de plástico para electrolizador
- Paquete de baterías con cables de conexión
- Jeringa
- Base del módulo del motor y del ventilador
- Hoja de hélice
- Pequeña rueda de coche
- Base del módulo LED

Fuente: (Horizon Fuel Cell Technologies, 2013)

3.2.2 Conjunto de Generadores Hidrógeno Solar FCJJ 16



Imagen 18. Módulo Modelo FCJJ-16, Marca Horizon. (Horizon Fuel Cell Technologies, 2013)

- Chasis con luz LED y motor
- Celda de combustible reversible (PEM)
- Celda solar de 0,75 vatios
- 2 x 2mm Conductores de conexión
- Paquete de baterías con cables de conexión
- Depósito de hidrógeno
- Tanque de oxígeno
- Contenedores de Gas Interior
- Clavijas plásticas para celdas de combustible
- Tubo de silicio transparente
- Jeringa
- Instrucciones de montaje
- CD-ROM con manuales del currículo

Fuente: (Horizon Fuel Cell Technologies, 2013)

3.2.3 Monitor de Energía Horizon FCJJ 24



Imagen 19. Módulo Modelo FCJJ-24, Marca Horizon. (Horizon Fuel Cell Technologies, 2013)

- Monitor de energía (hardware de registro de datos) con pantalla de lectura LCD
- La pantalla LCD muestra: tensión (V, mV), corriente (A, mA), potencia (W, mW), velocidad RPM, resistencia (Ohm), energía (joules)
- Cable USB de 1 metro de longitud
- CD-ROM con el software Horizon Data Acquisition
- CD-ROM con currículo completo de energía renovable
- Cables flexibles de conexión de banana de 2 mm para conectar a dispositivos Horizon

Fuente: (Horizon Fuel Cell Technologies, 2013)

3.3 Funciones y Características de los Módulos Didácticos

3.3.1 Módulo Educativo de Energía Renovable FCJJ 37

Este conjunto de experimentos muestra el funcionamiento completo de las tecnologías de las Energías Renovables. Con un gran valor pedagógico y funcionamiento real. El Modelo de experimentos educativos de EE.RR. Horizon incluye:

1. Aerogenerador.
2. Celda Fotovoltaica - Solar
3. Electrolizador.
4. Celda de Combustible PEM de Hidrógeno H₂.
5. Sistema de depósito de Hidrógeno.

Combinando los diversos elementos y fuentes de energía, aprendemos a conocer las posibilidades y reglas completas de las energías renovables a escala.

Fabricado con materiales de primera calidad, proporciona una experiencia realista apta para talleres formativos, escuelas y hogares concienciados con la necesidad del uso de las energías renovables. Es ideal para colegios y padres concienciados con el medio ambiente. Puede estudiar temas como:

- El efecto del calor sobre los paneles solares
- El efecto de la sombra en los paneles solares
- El efecto de Ángulo de inclinación de los paneles solares
- La constatación del panel solar punto de máxima potencia

- Modo de electrólisis Generación de H₂ y O₂
- Modo de Celda de Combustible generar electricidad a partir de H₂ y O₂
- La determinación de la tensión mínima de agua de descomposición
- Polarización Unidos para las celdas de hidrógeno
- Hélices con 3 modelos para la función eólica
- La eficiencia de la turbina
- Medición RPM
- Puesta a punto para una potencia máxima
- Ángulo de la hoja o de tono que puede afectar la potencia de salida
- Generar hidrógeno

Incluye materiales completos de actividad para STEM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas):

- Las reacciones de electrólisis reversibles
- Las velocidades de reacción
- El aumento de la eficiencia energética y el rendimiento del coche
- Energía renovable
- Conservación de la transferencia de energía y la energía
- Medición de los efectos de ángulo de celdas solares sobre la producción eléctrica
- La medición de los efectos de sombreado sobre la producción eléctrica
- Cambio de número de palas
- Cambio de ángulo de las palas
- El uso de cuchillas en forma de diferentes
- Dinámica rotacional

Fuente: (Almacén Educativo, 2017)

3.3.2 Módulo de Generador Hidrógeno Solar FCJJ 16

Consiste en inventar tus propias aplicaciones con energías limpias mediante las celdas de combustible y producir tu propio hidrógeno usando solamente sol y agua destilada.

Una herramienta económica, óptima para la creatividad y la educación en el aula. El Módulo Educativo Hidrógeno Solar FCJJ 16 Horizon incluye un panel solar, una celda de combustible reversible y dos tanques de almacenamiento de agua para crear una central eléctrica mini que puede almacenar la energía solar en forma de hidrógeno.

El hidrógeno puede ser utilizado más tarde por la celda de combustible para alimentar un pequeño motor proporcionado en el módulo.

El usuario puede utilizar el motor para accionar un ventilador o crear sus propias aplicaciones con celdas de combustible.

Es una herramienta óptima para la creatividad y la educación, ya proporciona libertad para inventar sus propias aplicaciones de energía limpia mediante celdas de combustible de hidrógeno, formado a partir de sol y agua.

Fuente: (practicaciencia.com, 2016)

3.3.3 Monitor de Energía Renovable Horizon FCJJ 24

El monitor de energía renovable FCJJ 24, es un dispositivo para la monitorización de datos educativo con un software para la medida y la visualización gráfica de las características y el rendimiento de los productos Horizon de energía limpia en la PC.

Tiene una pantalla LCD de 2 líneas para la medición y visualización, probando y analizando todos los parámetros con sólo pulsar un botón.

El monitor de energía renovable funciona con una celda no incluida, por lo que puede utilizarse para hacer las mediciones directamente en el exterior sin necesidad de utilizar un ordenador.

Esta compañía ha desarrollado el monitor de energía renovable para evitar el uso y la configuración de multímetros y cálculos complicados, con el fin de proporcionar una monitorización gráfica directa e inmediata de todos los datos. No se necesitan fórmulas ni cálculos adicionales.

Al realizar los numerosos experimentos y actividades para evaluar el potencial de las celdas de combustible de hidrógeno, de los módulos aerogeneradores o los paneles solares. Con este dispositivo de medición se podrá monitorizar en tiempo real, el voltaje, la corriente, la potencia, los joules, la

resistencia e incluso la velocidad en RPM, directamente o de una manera más gráfica y completa conectándolo a un PC a través de su puerto USB.

Fuente: (practicaciencia.com, 2016)

3.4 Descripción y Parámetros de Modelos de Prácticas y Actividades

A continuación se describe los parámetros de las prácticas y actividades de los kits a implementar con el fin de fomentar un esquema educativo para una comprensión absoluta de la tecnología de las celdas de combustibles y sus interacciones con otras fuentes de energía.

3.4.1 FCJJ 37 – Unidad de Aprendizaje Basada en Problemas (Prácticas Para el Estudiante)

3.4.1.1 Práctica 1. Circuitos Eléctricos

Estándares Científicos de Próxima Generación

Ciencia y Prácticas de Ingeniería:

- Planificación y realización de investigaciones
- Análisis e interpretación de datos
- Uso de matemáticas y pensamiento computacional
- Construir explicaciones y diseñar soluciones
- Participar en argumentos a partir de pruebas
- Obtención, evaluación y comunicación de información

Conceptos Transversales:

- Causa y efecto
- Energía y materia

Tiempo de preparación inicial

Aprox. 5-10 min. Por aparatos

Tiempo de Lección

1 – 2 períodos de clase, dependiendo de los experimentos realizados

Requisitos de montaje

- Tijeras

Materiales (para cada grupo de laboratorio):

- Equipo Horizon de Ciencias de la Energía Renovable
- Agua destilada
- Baterías AA
- Prolongador
- Cronómetro
- Monitor de Energía Renovable Horizon o multímetro (opcional)

Configuración del laboratorio

- Recomendamos completar el paso 1 en el Experimento 2 y los pasos 1 y 2 en el Experimento 3 en la Guía de Montaje para cada electrolizador para que sus estudiantes no tengan que montar el ventilador, cortar el tubo o llenar el electrolizador inicialmente.

- Para esta actividad, los estudiantes no necesitarán las partes de la turbina eólica del módulo de laboratorio.
- El laboratorio incluye piezas pequeñas que pueden faltar fácilmente. Establezca un área de recursos para cada tabla de laboratorio o para toda la clase para minimizar las piezas perdidas.

Seguridad

- Los paquetes de baterías pueden cortocircuitarse y calentarse si los contactos rojo y negro se tocan mientras la unidad está en la posición de encendido. Asegúrese de mantenerlos apagados cuando no estén en uso.
- El uso regular del agua del grifo en lugar del agua destilada acortará gravemente la vida útil de las celdas de combustible. El agua destilada se puede encontrar en la mayoría de las farmacias o farmacias.
- Con el paso de corriente eléctrica a través de celdas de combustible secas o uniendo las baterías hacia atrás, se pueden destruir las celdas de combustible. Asegúrese de conectar siempre el rojo al rojo y el negro al negro.
- Tener cuidado con los derrames de agua.

Notas sobre el Módulo de Ciencias de Energía Renovable:

- La luz directa del sol, o una luz eléctrica fuerte, es necesaria para el funcionamiento. La luz solar cubierta e indirecta puede no proporcionar suficiente energía. Asegúrese de que cualquier fuente de luz artificial esté cerca del panel solar.

- Asegúrese de alinear los orificios en los cilindros internos de los tanques H₂ y O₂ para que las burbujas puedan escapar.
- Es posible que necesite inyectar más agua en el lado O₂ de la celda si la reacción de electrólisis está siendo lenta. Espere 3 minutos y vuelva a intentarlo.

Problemas comunes

- El ventilador del motor a veces necesita un pequeño empujón para empezar.
- Si queda hidrógeno pero el motor no funciona, es posible que deba purgar la celda de combustible. Desconecte el enchufe negro y luego reemplácelo rápidamente para purgar los gases impuros.
- Si el nivel de agua no cambia después de purgar las celdas, asegúrese de que los huecos en la base de los cilindros internos estén abiertos para que el agua pueda llenarlos.

Metas

- ✓ Construir un circuito completo con un panel solar
- ✓ Alimentar un motor y un electrolizador con un panel solar
- ✓ Medir voltaje y amperaje en diferentes circuitos

3.4.1.2 Práctica 2. Red de Energía Renovable

Estándares Científicos de Próxima Generación

Prácticas de Ciencia e Ingeniería:

- Planificación y realización de investigaciones
- Análisis e interpretación de datos
- Usando matemáticas y pensamiento computacional
- Construir explicaciones y diseñar soluciones
- Participar en argumentos a partir de pruebas
- Obtención, evaluación y comunicación de información

Conceptos transversales:

- Escala, proporción y cantidad
- Sistemas y modelos de sistemas
- Energía y materia

Tiempo de preparación inicial

Aprox. 5 minutos. Por aparatos

Tiempo de Lección

1 – 4 períodos de clase, dependiendo de los experimentos realizados

Requisitos de montaje

- Destornillador Phillips pequeño
- Pequeña llave hexagonal

Materiales (para cada grupo de laboratorio):

- Equipo Horizon de Educación Energética Renovable
- Ventilador eléctrico
- Regla métrica
- Cronómetro
- Monitor de Energía Renovable Horizon o multímetro (opcional)

Configuración del laboratorio

- Recomendamos completar el paso 1 en el Experimento 2 y los pasos 1 y 2 en el Experimento 3 en la Guía de Montaje para cada electrolizador para que sus estudiantes no tengan que montar el ventilador, cortar el tubo o llenar el electrolizador inicialmente.
- Para esta actividad, los estudiantes no necesitarán la turbina eólica o las partes del panel solar del módulo de laboratorio.
- El laboratorio incluye piezas pequeñas que pueden faltar fácilmente. Establezca un área de recursos para cada tabla de laboratorio o para toda la clase para minimizar las piezas perdidas.
- Si no tiene acceso a un multímetro o Monitor de Energía Renovable Horizon, omita la sección Medición de esta actividad.

Seguridad

- Los paquetes de baterías pueden cortocircuitarse y calentarse si los contactos rojo y negro se tocan mientras la unidad está en la posición de encendido. Asegúrese de mantenerlos apagados cuando no estén en uso.

- El uso regular del agua del grifo en lugar del agua destilada acortará gravemente la vida útil de las celdas de combustible. El agua destilada se puede encontrar en la mayoría de las farmacias.
- Con el paso corriente eléctrico a través de celdas de combustible secas o uniendo las baterías hacia atrás puede destruir las celdas de combustible. Asegúrese de conectar siempre el rojo al rojo y el negro al negro.
- Tenga cuidado con los derrames de agua.

Notas sobre el Módulo de Ciencias de Energía Renovable

- La luz directa del sol, o una luz eléctrica fuerte, es necesaria para el funcionamiento. La luz solar cubierta e indirecta puede no proporcionar suficiente energía. Asegúrese de que cualquier fuente de luz artificial esté cerca del panel solar.
- Asegúrese de alinear los orificios en los cilindros internos de los tanques H₂ y O₂ para que las burbujas puedan escapar.
- Es posible que necesite inyectar más agua en el lado O₂ de la celda si la reacción de electrólisis está siendo lenta. Espere 3 minutos y vuelva a intentarlo.

Problemas comunes

- El ventilador del motor a veces necesita un pequeño empujón para empezar.
- Si queda hidrógeno pero el motor no funciona, es posible que deba purgar la celda de combustible. Desconecte el enchufe negro y luego reemplácelo rápidamente para purgar los gases impuros.

- Si el nivel de agua no cambia después de purgar las celdas, asegúrese de que los orificios en la base de los cilindros internos estén abiertos para que el agua pueda llenarlos.

Metas

- ✓ Comprender cómo funcionan las diferentes fuentes de energía renovable
- ✓ Combínelos para hacer una red inteligente de energía
- ✓ Hacer cálculos basados en datos

3.4.1.3 Práctica 3. Conservación y Transformación de la Energía

Estándares Científicos de Próxima Generación

Prácticas de Ciencia e Ingeniería:

- Hacer preguntas y definir problemas
- Planificación y realización de investigaciones
- Análisis e interpretación de datos
- Construir explicaciones y diseñar soluciones
- Obtención, evaluación y comunicación de información

Conceptos transversales:

- Energía y materia
- Estabilidad y cambio

Tiempo de preparación inicial

Aprox. 10 minutos. Por aparatos

Tiempo de Lección

1 – 2 períodos de clase, dependiendo de los experimentos realizados

Requisitos de montaje

- Tijeras
- Destornillador pequeño de Philips

Materiales (para cada grupo de laboratorio):

- Equipo Horizon de Ciencias de la Energía Renovable
- Agua destilada
- Baterías AA
- Cronómetro
- Monitor de Energía Renovable Horizon o multímetro (opcional)

Configuración del laboratorio

- Recomendamos completar el paso 1 en el Experimento 2 y los pasos 1 y 2 en el Experimento 3 en la Guía de Montaje para cada electrolizador para que sus estudiantes no tengan que montar el ventilador, cortar el tubo o llenar el electrolizador inicialmente.
- Para esta actividad, sus estudiantes no necesitarán el panel solar o las partes de la turbina eólica del módulo de laboratorio.
- Tenga en cuenta que la membrana de la celda de combustible PEM debe mantenerse sin resecarse. Lo mejor es sellarlo en una bolsa de plástico entre

usos. Antes de que los estudiantes usen la celda, asegúrese de que esté llena de agua y que los dos pequeños trozos de tubo estén conectados.

- Algunas de las partes del coche son bastante pequeñas (como las tapas de los tubos) y pueden perderse fácilmente. La creación de áreas de recursos en las tablas de laboratorio con contenedores etiquetados para las piezas de cada grupo puede evitar la pérdida de estas piezas pequeñas y ayudar a mantener separadas las partes del módulo de cada grupo.

Seguridad

- Los paquetes de baterías pueden cortocircuitarse y calentarse si los contactos rojo y negro se tocan mientras la unidad está en la posición de encendido. Asegúrese de mantenerlos apagados cuando no estén en uso.
- El uso regular del agua del grifo en lugar del agua destilada acortará gravemente la vida útil de las celdas de combustible. El agua destilada se puede encontrar en la mayoría de las farmacias.
- Con el paso de la corriente eléctrica a través de celdas de combustible secas o uniendo las baterías hacia atrás puede destruir las celdas de combustible. Asegúrese de conectar siempre el rojo al rojo y el negro al negro.
- Tenga cuidado con los derrames de agua.

Notas sobre el Módulo de Ciencias de Energía Renovable:

- La luz directa del sol, o una luz eléctrica fuerte, es necesaria para el funcionamiento. La luz solar cubierta e indirecta puede no proporcionar suficiente

energía. Asegúrese de que cualquier fuente de luz artificial esté cerca del panel solar.

- Asegúrese de alinear los orificios en los cilindros internos de los tanques H₂ y O₂ para que las burbujas puedan escapar.
- Es posible que necesite inyectar más agua en el lado O₂ de la celda si la reacción de electrólisis está siendo lenta. Espere 3 minutos y vuelva a intentarlo.

Problemas comunes

- El ventilador del motor a veces necesita un pequeño empujón para empezar.
- Si queda hidrógeno pero el motor no funciona, es posible que deba purgar la celda de combustible. Desconecte el enchufe negro y luego reemplácelo rápidamente para purgar los gases impuros.
- Si el nivel de agua no cambia después de purgar las celdas, asegúrese de que los huecos en la base de los cilindros internos estén abiertos para que el agua pueda llenarlos.

Metas

- ✓ Comprender cómo funcionan las reacciones químicas
- ✓ Realizar una reacción reversible
- ✓ Hacer cálculos basados en datos

3.4.1.4 Práctica 4. Reacciones de Redox

Estándares Científicos de Próxima Generación

Prácticas de Ciencia e Ingeniería:

- Hacer preguntas y definir problemas
- Planificación y realización de investigaciones
- Análisis e interpretación de datos
- Construir explicaciones y diseñar soluciones
- Obtención, evaluación y comunicación de información

Conceptos transversales:

- Energía y materia
- Estabilidad y cambio

Tiempo de preparación inicial

Aprox. 10 minutos. Por aparatos

Tiempo de Lección

1 – 2 períodos de clase, dependiendo de los experimentos realizados

Requisitos de montaje

- Tijeras
- Destornillador pequeño de Philips

Materiales (para cada grupo de laboratorio):

- Equipo Horizon de Ciencias de la Energía Renovable
- Agua destilada
- Baterías AA
- Cronómetro
- Monitor de Energía Renovable Horizon o multímetro (opcional)

Configuración del laboratorio

- Recomendamos completar el paso 1 en el Experimento 2 y los pasos 1 y 2 en el Experimento 3 en la Guía de Montaje para cada electrolizador para que sus estudiantes no tengan que montar el ventilador, cortar el tubo o llenar el electrolizador inicialmente.
- Para esta actividad, los estudiantes no necesitarán la turbina eólica o las partes del panel solar del módulo de laboratorio.
- El laboratorio incluye piezas pequeñas que pueden faltar fácilmente. Establezca un área de recursos para cada tabla de laboratorio o para toda la clase para minimizar las piezas perdidas.

Seguridad

- Los paquetes de baterías pueden cortocircuitarse y calentarse si los contactos rojo y negro se tocan mientras la unidad está en la posición de encendido. Asegúrese de mantenerlos apagados cuando no estén en uso.

- El uso regular del agua del grifo en lugar del agua destilada acortará gravemente la vida útil de las celdas de combustible. El agua destilada se puede encontrar en la mayoría de las farmacias o farmacias.
- Con el paso de la corriente eléctrica a través de celdas de combustible secas o uniendo las baterías hacia atrás puede destruir las celdas de combustible. Asegúrese de conectar siempre el rojo al rojo y el negro al negro.

Notas sobre el módulo de Ciencias de Energía Renovable

- La luz directa del sol, o una luz eléctrica fuerte, es necesaria para el funcionamiento. La luz solar cubierta e indirecta puede no proporcionar suficiente energía. Asegúrese de que cualquier fuente de luz artificial esté cerca del panel solar.
- Asegúrese de alinear los orificios en los cilindros internos de los tanques H₂ y O₂ para que las burbujas puedan escapar.
- Es posible que necesite inyectar más agua en el lado O₂ de la celda si la reacción de electrólisis está siendo lenta. Espere 3 minutos y vuelva a intentarlo.

Problemas comunes

- El ventilador del motor a veces necesita un pequeño empujón para empezar.
- Si queda hidrógeno pero el motor no funciona, es posible que deba purgar la celda de combustible. Desconecte el enchufe negro y luego reemplácelo rápidamente para purgar los gases impuros.

- Si el nivel de agua no cambia después de purgar las celdas, asegúrese de que los huecos en la base de los cilindros internos estén abiertos para que el agua pueda llenarlos.

Metas

- ✓ Entienda cómo funcionan las Reacciones Redox
- ✓ Realizar una reacción de electrólisis
- ✓ Hacer cálculos basados en datos

3.4.1.5 Práctica 5. Energía Renovable

Estándares Científicos de Próxima Generación

Prácticas de Ciencia e Ingeniería

- Planificación y realización de investigaciones
- Análisis e interpretación de datos
- Usando matemáticas y pensamiento computacional
- Construir explicaciones y diseñar soluciones
- Participar en argumentos a partir de pruebas
- Obtención, evaluación y comunicación de información

Conceptos transversales:

- Escala, proporción y cantidad
- Energía y materia
- Estructura y función
- Estabilidad y cambio

Tiempo de preparación inicial

Aprox. 5 minutos. Por aparatos

Tiempo de Lección

1 – 4 períodos de clase, dependiendo de los experimentos realizados

Requisitos de montaje

- Destornillador Phillips pequeño
- Pequeña llave hexagonal

Materiales (para cada grupo de laboratorio):

- Equipo Horizon de Educación Energética Renovable
- Ventilador eléctrico
- Regla métrica
- Cronómetro
- Monitor de Energía Renovable Horizon o multímetro (opcional)

Configuración del laboratorio

- Recomendamos completar el paso 1 en el Experimento 2 y los pasos 1 y 2 en el Experimento 3 en la Guía de Montaje para cada electrolizador para que sus estudiantes no tengan que montar el ventilador, cortar el tubo o llenar el electrolizador inicialmente.
- Para esta actividad, los estudiantes no necesitarán la turbina eólica o las partes del panel solar del módulo de laboratorio.

- El laboratorio incluye piezas pequeñas que pueden faltar fácilmente. Establezca un área de recursos para cada tabla de laboratorio o para toda la clase para minimizar las piezas perdidas.

Seguridad

- Los paquetes de baterías pueden cortocircuitarse y calentarse si los contactos rojo y negro se tocan mientras la unidad está en la posición de encendido. Asegúrese de mantenerlos apagados cuando no estén en uso.
- El uso regular del agua del grifo en lugar del agua destilada acortará gravemente la vida útil de las celdas de combustible. El agua destilada se puede encontrar en la mayoría de las farmacias o farmacias.
- Con el paso de corriente eléctrica a través de celdas de combustible secas o uniendo las baterías hacia atrás puede destruir las celdas de combustible. Asegúrese de conectar siempre el rojo al rojo y el negro al negro.
- Tenga cuidado con los derrames de agua.

Notas sobre el módulo de Ciencias de Energía Renovable

- La luz directa del sol, o una luz eléctrica fuerte, es necesaria para el funcionamiento. La luz solar cubierta e indirecta puede no proporcionar suficiente energía. Asegúrese de que cualquier fuente de luz artificial esté cerca del panel solar.
- Asegúrese de alinear los huecos en los cilindros internos de los tanques H₂ y O₂ para que las burbujas puedan escapar.

- Es posible que necesite inyectar más agua en el lado O₂ de la celda si la reacción de electrólisis está siendo lenta. Espere 3 minutos y vuelva a intentarlo.

Problemas comunes

- El ventilador del motor a veces necesita un pequeño empujón para empezar.
- Si queda hidrógeno pero el motor no funciona, es posible que deba purgar la celda de combustible. Desconecte el enchufe negro y luego reemplácelo rápidamente para purgar los gases impuros.
- Si el nivel de agua no cambia después de purgar las celdas, asegúrese de que los huecos en la base de los cilindros internos estén abiertos para que el agua pueda llenarlos.

Metas

- ✓ Reúna diferentes generadores de energía renovable
- ✓ Comparar las formas en que generan electricidad
- ✓ Hacer cálculos basados en datos

Fuente: (“FCJJ37-Problem-Based-Learning-Unit-Teacher.pdf”, s/f)

3.4.2 FCJJ 16 – Guía de Circuitos Eléctricos (Prácticas Para el Estudiante)

Véase más arriba en la Práctica 1 de Circuitos Eléctricos del FCJJ 37 – Unidad de Aprendizaje Basada en Problemas (Prácticas para el Estudiante)

Fuente: (“FCJJ16_Circuits_PH_Teacher.pdf”, s/f)

3.4.3 FCJJ 16 – Guía de Estequiometría (Práctica Para el Estudiante)

Estándares Científicos de Próxima Generación

Prácticas de Ciencia e Ingeniería:

- Planificación y realización de investigaciones
- Análisis e interpretación de datos
- Usando matemáticas y pensamiento computacional
- Construir explicaciones y diseñar soluciones
- Participar en argumentos a partir de pruebas
- Obtención, evaluación y comunicación de información

Conceptos transversales:

- Causa y efecto
- Energía y materia

Tiempo de preparación inicial

Aprox. 10-15 min. Por aparatos

Tiempo de Lección

1 – 2 períodos de clase, dependiendo de los experimentos realizados

Requisitos de montaje

- Tijeras
- Destornillador pequeño de Philips

Materiales (para cada grupo de laboratorio):

- Kit Horizon Solar para Ciencias del Hidrógeno
- Agua destilada
- Baterías AA
- Prolongador
- Cronómetro
- Papel de construcción de color
- Varios filtros de luz de colores
- Lámpara de calor y/o lámpara UV (opcional)
- Monitor de Energía Renovable Horizon o multímetro (opcional)

Configuración del laboratorio

- Recomendamos completar los pasos 1 y 2 en la Guía de montaje para cada electrolizador para que sus estudiantes no tengan que cortar tuberías o llenar el electrolizador inicialmente.
- El laboratorio incluye piezas pequeñas que pueden faltar fácilmente. Establezca un área de recursos para cada tabla de laboratorio o para toda la clase para minimizar las piezas perdidas.

Seguridad

- Los paquetes de baterías pueden cortocircuitarse y calentarse si los contactos rojo y negro se tocan mientras la unidad está en la posición de encendido. Asegúrese de mantenerlos apagados cuando no estén en uso.

- El uso regular del agua del grifo en lugar del agua destilada acortará gravemente la vida útil de las celdas de combustible. El agua destilada se puede encontrar en la mayoría de las farmacias o farmacias.
- Con el paso de corriente eléctrica a través de celdas de combustible secas o uniendo las baterías hacia atrás puede destruir las celdas de combustible. Asegúrese de conectar siempre el rojo al rojo y el negro al negro.

Notas sobre el Módulo de Hidrógeno Solar

- La luz directa del sol, o una luz eléctrica fuerte, es necesaria para el funcionamiento. La luz solar cubierta e indirecta puede no proporcionar suficiente energía. Asegúrese de que cualquier fuente de luz artificial esté cerca del panel solar.
- Asegúrese de alinear los orificios en los cilindros internos de los tanques H₂ y O₂ para que las burbujas puedan escapar.
- Es posible que necesite inyectar más agua en el lado O₂ de la celda si la reacción de electrólisis está siendo lenta. Espere 3 minutos y vuelva a intentarlo.

Problemas comunes

- El ventilador del motor a veces necesita un pequeño empujón para empezar.
- Si queda hidrógeno pero el motor no funciona, es posible que deba purgar la celda de combustible. Desconecte el enchufe negro y luego reemplácelo rápidamente para purgar los gases impuros.

- Si el nivel de agua no cambia después de purgar las celdas, asegúrese de que los huecos en la base de los cilindros internos estén abiertos para que el agua pueda llenarlos.

Metas

- ✓ Predice los rendimientos de la reacción con estequiometría
- ✓ Utilice un electrolizador para generar H₂ y O₂
- ✓ Hacer cálculos basados en datos

Fuente: ("FCJJ16_Stoichiometry_CH_Teacher.pdf", s/f)

3.4.4 FCJJ 16 – Guía de Semiconductores (Práctica Para el Estudiante)

Estándares Científicos de Próxima Generación

Prácticas de Ciencia e Ingeniería

- Planificación y realización de investigaciones
- Análisis e interpretación de datos
- Usando matemáticas y pensamiento computacional
- Construir explicaciones y diseñar soluciones
- Participar en argumentos a partir de pruebas
- Obtención, evaluación y comunicación de información

Conceptos transversales:

- Causa y efecto
- Energía y materia

Tiempo de preparación inicial

Aprox. 10-15 min. Por aparatos

Tiempo de Lección

1 – 2 períodos de clase, dependiendo de los experimentos realizados

Requisitos de montaje

- Tijeras
- Destornillador pequeño de Philips

Materiales (para cada grupo de laboratorio):

- Kit Horizon Solar para Ciencias del Hidrógeno
- Agua destilada
- Baterías AA
- Prolongador
- Cronómetro
- Papel de construcción de color
- Varios filtros de luz de colores
- Lámpara de calor y/o lámpara UV (opcional)
- Monitor de Energía Renovable Horizon o multímetro (opcional)

Configuración del laboratorio

- Recomendamos completar los pasos 1 y 2 en la Guía de montaje para cada electrolizador para que sus estudiantes no tengan que cortar tuberías o llenar el electrolizador inicialmente.

- El laboratorio incluye piezas pequeñas que pueden faltar fácilmente. Establezca un área de recursos para cada tabla de laboratorio o para toda la clase para minimizar las piezas perdidas.
- Puede utilizarse una lámpara de calor o lámpara UV durante el experimento #2, si está disponible.

Seguridad

- Los paquetes de baterías pueden cortocircuitarse y calentarse si los contactos rojo y negro se tocan mientras la unidad está en la posición de encendido. Asegúrese de mantenerlos apagados cuando no estén en uso.
- El uso regular del agua del grifo en lugar del agua destilada acortará gravemente la vida útil de las celdas de combustible. El agua destilada se puede encontrar en la mayoría de las farmacias o farmacias.
- Con el paso de corriente eléctrica a través de celdas de combustible secas o uniendo las baterías hacia atrás puede destruir las celdas de combustible. Asegúrese de conectar siempre el rojo al rojo y el negro al negro.

Notas sobre el Módulo de Hidrógeno Solar

- La luz directa del sol, o una luz eléctrica fuerte, es necesaria para el funcionamiento. La luz solar cubierta e indirecta puede no proporcionar suficiente energía. Asegúrese de que cualquier fuente de luz artificial esté cerca del panel solar.

- Asegúrese de alinear los orificios en los cilindros internos de los tanques H₂ y O₂ para que las burbujas puedan escapar.
- Es posible que necesite inyectar más agua en el lado O₂ de la celda si la reacción de electrólisis está siendo lenta. Espere 3 minutos y vuelva a intentarlo.

Problemas comunes

- El ventilador del motor a veces necesita un pequeño empujón para empezar.
- Si queda hidrógeno pero el motor no funciona, es posible que deba purgar la celda de combustible. Desconecte el enchufe negro y luego reemplácelo rápidamente para purgar los gases impuros.
- Si el nivel de agua no cambia después de purgar las celdas, asegúrese de que los huecos en la base de los cilindros internos estén abiertos para que el agua pueda llenarlos.

Metas

- ✓ Utilice un panel solar para generar electricidad a partir de la luz
- ✓ Entender cómo los semiconductores en el panel solar cambian la luz a la electricidad

Fuente: ("FCJJ16_Semiconductors_CH_Teacher.pdf", s/f)

3.4.5 FCJJ 16 – Guía de Luz (Práctica Para el Estudiante)

Estándares Científicos de Próxima Generación

Prácticas de Ciencia e Ingeniería:

- Planificación y realización de investigaciones
- Análisis e interpretación de datos
- Usando matemáticas y pensamiento computacional
- Construir explicaciones y diseñar soluciones
- Participar en argumentos a partir de pruebas
- Obtención, evaluación y comunicación de información

Conceptos transversales:

- Causa y efecto
- Energía y materia

Tiempo de preparación inicial

Aprox. 10-15 min. Por aparatos

Tiempo de Lección

1 – 2 períodos de clase, dependiendo de los experimentos realizados

Requisitos de montaje

- Tijeras
- Destornillador pequeño de Philips

Materiales (para cada grupo de laboratorio):

- Kit Horizon Solar para Ciencias del Hidrógeno
- Agua destilada
- Baterías AA
- Prolongador
- Cronómetro
- Papel de construcción de color
- Varios filtros de luz de colores
- Lámpara de calor y/o lámpara UV (opcional)
- Monitor de Energía Renovable Horizon o multímetro (opcional)

Configuración del laboratorio

- Recomendamos completar los pasos 1 y 2 en la Guía de montaje para cada electrolizador para que sus estudiantes no tengan que cortar tuberías o llenar el electrolizador inicialmente.
- El laboratorio incluye piezas pequeñas que pueden faltar fácilmente. Establezca un área de recursos para cada tabla de laboratorio o para toda la clase para minimizar las piezas perdidas.
- Puede utilizarse una lámpara de calor o lámpara UV durante el experimento #2, si está disponible.

Seguridad

- Los paquetes de baterías pueden cortocircuitarse y calentarse si los contactos rojo y negro se tocan mientras la unidad está en la posición de encendido. Asegúrese de mantenerlos apagados cuando no estén en uso.
- El uso regular del agua del grifo en lugar del agua destilada acortará gravemente la vida útil de las celdas de combustible. El agua destilada se puede encontrar en la mayoría de las farmacias o farmacias.
- Con el paso de la corriente eléctrica a través de celdas de combustible secas o uniéndolas hacia atrás puede destruir las celdas de combustible. Asegúrese de conectar siempre el rojo al rojo y el negro al negro.
- Tenga cuidado con los derrames de agua.

Notas sobre el Módulo de Hidrógeno Solar

- La luz directa del sol, o una luz eléctrica fuerte, es necesaria para el funcionamiento. La luz solar cubierta e indirecta puede no proporcionar suficiente energía. Asegúrese de que cualquier fuente de luz artificial esté cerca del panel solar.
- Asegúrese de alinear los orificios en los cilindros internos de los tanques H₂ y O₂ para que las burbujas puedan escapar.
- Es posible que necesite inyectar más agua en el lado O₂ de la celda si la reacción de electrólisis está siendo lenta. Espere 3 minutos y vuelva a intentarlo.

Problemas comunes

- El ventilador del motor a veces necesita un pequeño empujón para empezar.
- Si queda hidrógeno pero el motor no funciona, es posible que deba purgar la celda de combustible. Desconecte el enchufe negro y luego reemplácelo rápidamente para purgar los gases impuros.
- Si el nivel de agua no cambia después de purgar las celdas, asegúrese de que los huecos en la base de los cilindros internos estén abiertos para que el agua pueda llenarlos.

Metas

- ✓ Utilice un panel solar para generar electricidad a partir de la luz
- ✓ Ejecutar un motor con la electricidad generada
- ✓ Utilice la velocidad del motor para medir la energía de la luz

Fuente: ("FCJJ16_Light_PH_Teacher.pdf", s/f)

NOTA: Todos los modelos de práctica, actividades, guías de ensamblaje, experimentos referentes a los módulos o kits se pueden apreciar en **Anexos**.

Capítulo 4. Conclusiones y Recomendaciones

4.1 Conclusiones

En esta investigación se pudo apreciar que las celdas de combustible serán una parte fundamental en la futura economía en el ámbito de las energías renovables. Tienen la capacidad de satisfacer diversas necesidades en el campo energético tanto en sistemas estacionarios, en el transporte y la industria de energía portátil.

Cualquiera de los tipos de celdas de combustible se puede utilizar junto con un sistema de energía híbrido. La energía solar, el viento, la electrólisis y la electrónica de potencia, entre otras, pueden ser parte de un sistema de energía híbrido ideal, como se puede observar en los módulos didácticos de Horizon.

El hidrógeno tiene múltiples características únicas que lo hacen adecuado para su uso como combustible para aplicaciones estacionarias, de transporte y portátiles. Hay muchas maneras en que el hidrógeno se puede usar y almacenar, incluyendo gas comprimido, líquido, hidruros de metal y nanotubos de carbono.

El campo de la indagación de celdas de combustible de hidrógeno está enfocada en el progreso de celdas con materiales más económicos, más eficientes y con nuevos diseños, ya que mediante la demostración de las ventajas y limitaciones con los equipos de energía renovables se tiene que pensar que las celdas de hidrógeno complementan a los otros tipos de energías renovables para que el proceso de generación de energía no sea intermitente.

Al implementar módulos didácticos de la empresa Horizon, la cual es muy reconocida en la implantación en diferentes sectores tanto para el aprendizaje, proyectos avanzados o industrias, se podrá manifestar como es la base del trabajo de las celdas de combustible junto con la integración de otras fuentes como la eólica y solar; con sus relativas combinaciones en los diversos experimentos con sus determinadas prácticas.

El uso combinado de estas energías incentivará el desarrollo tecnológico y científico en la UCSG al Campo del Estudio de Energías Eficientes, para lograr un grado aceptación sólido que permita un nuevo rumbo en el uso de energías limpias e implementarlas en el mismo campus e inducir estudios avanzados, ya que esto provocará reacciones positivas en todos los involucrados e incluso atención externa para un aumento de nivel de progreso en el vector energético e institucional, y por ende, terminar el daño insistente que hay al usar combustibles fósiles, conjuntamente de evolucionar los regímenes energéticos y poder ser unos de los pioneros al usar este tipo tecnología en gran escala a nivel nacional y en América Latina.

Con el desarrollo de esta investigación y la implementación de módulos didácticos en los laboratorios, esto será de gran beneficio, tanto para los estudiantes, como para los docentes en el estudio de la generación de energía eléctrica renovable a base de hidrógeno, con la tecnología de la celdas de combustible y otros tipos de energías renovables para concientizar y motivar el diseño o mejora de nuevos laboratorios, para así, aumentar las competencias

específicas en los futuros ingenieros eléctricos de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo, de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

4.2 Recomendaciones

- Usar los manuales de instrucción cada vez que se vaya a realizar una práctica.
- Los equipos deben estar en las condiciones tal y como salieron de los paquetes.
- Las celdas de combustible de hidrógeno deben estar secas al momento del término de las prácticas de laboratorio.
- Tener en cuenta que la celda de combustible Horizon viene dentro de una bolsa de aluminio, después del ensayo en el laboratorio debe ser guardado, de lo contrario, con 5 días expuesto al ambiente, éste se secará y dejará de funcionar.
- Usar lámparas con foco incandescente para simular los rayos del sol en el panel solar para uso en el laboratorio.
- Usar ventilador de mucha potencia para generar viento al sistema de generación eólico y aprovechar al máximo la eficiencia en este generador.
- Motivar la investigación a los alumnos en el desarrollo de esta energía renovable.
- La UCSG debería invertir en equipos más sofisticados por el avance de esta energía como potencial a futuro.
- Un programa piloto y de demostración que haga llegar los ejercicios de validación de la tecnología al ámbito del desarrollo del mercado a través de una serie de proyectos de demostración.

- Antes de hacer uso de los kits y las actividades se recomienda estudiar mediante el libro electrónico de la empresa Horizon que se encuentra en su respectiva página web.
- Si no se tiene acceso a un multímetro o Monitor de Energía Renovable Horizon omita la sección de Medición de las actividades en las prácticas.
- La información de los modelos de prácticas y actividades son de la empresa Horizon, se ha seleccionado las más convenientes para implementarlo al sistema educativo, si se desea más información verificar en la página web de esta empresa.
- Para obtener más información de los módulos, equipos más avanzados, y demás, visitar (en inglés):

www.horizonfuelcell.com

www.horizoncurriculum.com

www.fuelcellstore.com

www.heliocentris.com/en

Referencias Bibliográficas

- 03-085.pdf. (s/f). Recuperado a partir de http://www.cab.cnea.gov.ar/ieds/images/2011/hyfusen_2011/trabajos/03-085.pdf
- 001272764-an-01-es-ERNEUERBARE_ENERGIEN_PAEDAGOGIK_KIT.pdf. (s/f). Recuperado a partir de http://www.produktinfo.conrad.com/datenblaetter/1200000-1299999/001272764-an-01-es-ERNEUERBARE_ENERGIEN_PAEDAGOGIK_KIT.pdf
- Aficionados a la Mecánica. (2014). Hidrogeno: celdas de combustible, motores de hidrógeno. Recuperado el 14 de agosto de 2017, a partir de <http://www.aficionadosalamecanica.net/motores-hidrogeno.htm>
- Air Products. (2017). Power Generation. Recuperado el 21 de agosto de 2017, a partir de <http://www.airproducts.com/industries/Energy/Hydrogen-Energy/Power-Generation.aspx>
- Almacen Educativo. (2017). Horizon Kit de Energia Renovable FCJJ-37. Recuperado el 10 de agosto de 2017, a partir de <https://www.almaceneducativo.com/products/horizon-kit-de-energia-renovable-fcjj-37>
- Asensio, P. (2007). Hidrógeno y pila de combustible. *Colección energía renovables para todos. Haya comunicación. Madrid.*[En línea: <http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/cuadernos-energias-renovables-para-todos-hidrogeno-y-pila-de-combustible.pdf>] Fecha de consulta, 15. Recuperado a partir de <https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/cuadernos-energias-renovables-para-todos-hidrogeno-y-pila-de-combustible.pdf>
- Ávila Granados, J. (2003). La energía del viento: Proyecto de Recuperación de los molinos tradicionales de Campos en Mallorca. *Ambienta: la revista del Ministerio de Medio Ambiente*, (19), 43–48.
- BBC. (2014). BBC - GCSE Bitesize: Renewable energy sources. Recuperado el 4 de julio de 2017, a partir de

http://www.bbc.co.uk/schools/gcsebitesize/geography/energy_resources/energy_rev2.shtml

Capítulo+4+-+Almacenamiento+de+Hidrógeno.pdf. (s/f). Recuperado a partir de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/30127/fichero/Cap%C3%ADtulo+4+-+Almacenamiento+de+Hidr%C3%B3geno.pdf>

CD-6497.pdf. (s/f). Recuperado a partir de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/11517/1/CD-6497.pdf>

Cousineau, L. (2016). Tidal Power. Recuperado el 4 de julio de 2017, a partir de <http://www.climate-change-guide.com/tidal-power.html>

Cruz Reina, O., & Jiménez Ferreiro, D. (2010). Efecto de los tratamientos térmicos en la circona utilizada como electrolito en las pilas de combustible de óxido sólido. Recuperado a partir de <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/10499>

Energía Solar. (2017). Energía de las Olas. Recuperado el 13 de septiembre de 2017, a partir de <http://www.isolari.es/energia-undimotriz>, <http://www.isolari.es/energia-undimotriz>

energia-nuclear.net. (2017, mayo 16). Qué es la energía nuclear - Concepto y definición. Recuperado el 31 de julio de 2017, a partir de <https://energia-nuclear.net/que-es-la-energia-nuclear>

European Commission, & Directorate-General for Energy and Transport. (2003). *La Energía del hidrógeno y las Pilas de combustible: una visión para nuestro futuro*. Luxemburgo: EUR-OP.

FCHEA. (s/f). Stationary Power. Recuperado el 15 de septiembre de 2017, a partir de <http://www.fchea.org/stationary/>

Fuel Cell Markets. (2017). Electrolysers / Electrolyzer / Electrolysis - Fuel Cell Markets - Electrolysers / Electrolyzer / Electrolysis. Recuperado el 14 de septiembre de 2017, a partir de http://www.fuelcellmarkets.com/fuel_cell_markets/Electrolysers/4,1,1,2223.html

Fuel Cell Store. (2017). Bipolar Plates. Recuperado el 15 de septiembre de 2017, a partir de <http://www.fuelcellstore.com/fuel-cell-components/plates/fuel-cell-graphite-plates/bipolar-plate>

- FuelCellsEtc. (2013, febrero 26). What is the Purpose of a Gas Diffusion Layer (GDL)? Recuperado el 15 de septiembre de 2017, a partir de <http://fuelcellsetc.com/2013/02/purpose-of-a-gas-diffusion-layer-gdl/>
- FuelCellToday. (2017). FCT - Fuel Cell Applications - Portable. Recuperado el 14 de septiembre de 2017, a partir de <http://www.fuelcelltoday.com/applications/portable>
- Garche, J., & Jürissen, L. (2015). Applications of Fuel Cell Technology: Status and Perspectives. *The Electrochemical Society Interface*, 24(2), 39–43.
- García, J. C. (2012, noviembre 26). Producción de hidrógeno mediante electrolizadores. Estado del arte de la tecnología. Recuperado el 14 de septiembre de 2017, a partir de <http://www.ingenieriaquimica.net/articulos/302-produccion-de-hidrogeno-mediante-electrolizadores-estado-del-arte-de-la-tecnologia-electrolizadore>
- Gavilanez Delgado, M. L., Abarca, O., & Joel, E. (2013). *Diseño del control y simulación de un sistema de generación de energía eléctrica basado en módulos fotovoltaicos, un inversor trifásico desconectado de la red y batería como unidad de almacenamiento* (B.S. thesis). Recuperado a partir de <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/21579>
- Hiru. (s/f). Catalizadores - hiru.eus. Recuperado el 14 de septiembre de 2017, a partir de <http://www.hiru.eus/quimica/catalizadores>
- Hitachi Zosen Corporation. (s/f). Electro-Chlorination System, Hydrogen Generation System, Rubber Lined Products | Products | Hitachi Zosen Corporation. Recuperado el 17 de septiembre de 2017, a partir de http://www.hitachizosen.co.jp/english/products/products056_dhp.html
- Horizon Educational Group. (2016). Horizon Energy Curriculum | STEM for bright futures. Recuperado el 16 de septiembre de 2017, a partir de <https://www.horizoncurriculum.com/>
- Horizon Fuel Cell Technologies. (2013). HOME PAGE | HORIZON FUEL CELL TECHNOLOGIES | GLOBAL. Recuperado el 16 de septiembre de 2017, a partir de <http://www.horizonfuelcell.com>

Hydrogenics. (2017). Electrolysis | Hydrogenics. Recuperado el 14 de septiembre de 2017, a partir de <http://www.hydrogenics.com/technology-resources/hydrogen-technology/electrolysis/kns9es.pdf>. (s/f). Recuperado a partir de <http://www.velleman.eu/downloads/6/kns9es.pdf>

Kunusch, C., Puleston, P., & Mayosky, M. (2012). PEM Fuel Cell Systems. En C. Kunusch, P. Puleston, & M. Mayosky, *Sliding-Mode Control of PEM Fuel Cells* (pp. 13–33). London: Springer London. https://doi.org/10.1007/978-1-4471-2431-3_2

Libro-de-energias-renovables-y-eficiencia-energetica.pdf. (s/f). Recuperado a partir de <http://www.cienciacanaria.es/files/Libro-de-energias-renovables-y-eficiencia-energetica.pdf>

Linares Hurtado, J. I., & Moratilla Soria, B. Y. (2007). *El hidrógeno y la energía*. Madrid: Asociación Nacional de Ingenieros del ICAI Universidad Pontificia Comillas, Cátedra Rafael Mariño de Nuevas Tecnologías Energéticas, Escuela Técnica Superior de Ingeniería.

Litster, S., & McLean, G. (2004). PEM fuel cell electrodes. *Journal of Power Sources*, 130(1–2), 61–76. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2003.12.055>

lvic_aaf.pdf. (s/f). Recuperado a partir de http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/lvic_aaf.pdf

Martínez Reyes, R. (2016). Pilas de combustible tipo PEM. Aplicación al suministro de energía eléctrica a una vivienda. Recuperado a partir de <https://idus.us.es/xmlui/handle/11441/49358>

Matsumura, Y. (s/f). HYDROGEN FROM BIOMASS (2). Recuperado a partir de <https://www.eolss.net/sample-chapters/C08/E3-13-04-05.pdf>

Membrane Electrode Assemblies (MEA). (2017). Recuperado el 21 de agosto de 2017, a partir de <http://www.fuelcellstore.com/fuel-cell-components/membrane-electrode-assembly>

@natgeoespana. (2010, mayo 9). Energía hidroeléctrica. Recuperado el 31 de julio de 2017, a partir de <http://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/energia-hidroelectrica>

- NREL. (s/f). Hydrogen Production and Delivery | Hydrogen and Fuel Cells | NREL. Recuperado el 14 de septiembre de 2017, a partir de <https://www.nrel.gov/hydrogen/hydrogen-production-delivery.html>
- Peñalver, A. M. (2009). ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL Y EL POTENCIAL DEL HIDRÓGENO COMO VECTOR ENERGÉTICO EN EL FUTURO. Recuperado a partir de <https://www.iit.comillas.edu/pfc/resumenes/4877989e2b71d.pdf>
- PortalCiencia. (s/f). Nanotubos de carbono. Recuperado el 13 de septiembre de 2017, a partir de <http://www.portalciencia.net/nanotecnologia/nanotubos.html>
- practicaciencia.com. (2016). Juguetes Educativos y Científicos para niños - Practicaciencia.com. Recuperado el 16 de septiembre de 2017, a partir de <https://practicaciencia.com/>
- Ruiz, A. G. (2014). Proyecto Fin de Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales. Recuperado a partir de http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/90048/descargar_fichero/Proyecto+Fin+d+e+Grado-Alfonso+Grande+Ruiz.pdf
- San Martín, J. I., Zamora, I., San Martín, J. J., Aperribay, V., & Buigues, G. (2008). Aplicaciones estacionarias de las pilas de combustible. *Energía: Revista de Ingeniería Energética*, (204), 106–113.
- Spiegel, D. C. (2017, abril 18). The Fuel Cell Electrolyte Layer for Low-Temperature Fuel Cells. Recuperado el 15 de septiembre de 2017, a partir de <http://www.fuelcellstore.com/blog-section/fuel-cell-electrolyte-layer-low-temperature-fuel-cells>
- Spiegel, D. C. (2017, mayo 30). Fuel Cell Operating Conditions. Recuperado el 15 de septiembre de 2017, a partir de <http://www.fuelcellstore.com/blog-section/fuel-cell-operating-conditions>
- spr06_p41-44.pdf. (s/f). Recuperado a partir de https://www.electrochem.org/dl/interface/spr/spr06/spr06_p41-44.pdf
- Talleres Davisan. (s/f). ¿Cómo funciona el catalizador, y por qué es tan importante? - Talleres Davisan. Recuperado el 17 de septiembre de 2017, a partir de <http://www.talleresdavisan.es/noticias/como-funciona-el-catalizador-y-por-que-es-tan-importante.html>

The Linde Group. (2016). Reformado con Vapor. Recuperado el 13 de septiembre de 2017, a partir de http://www.linde-engineering.ec/es/process_plants/hydrogen_and_synthesis_gas_plants/gas_generation/steam_reforming/index.html

Tibaquirá, J. E., & Posner, J. D. (2009). Diseño y construcción de una celda de combustible tipo membrana de intercambio protónico. *Scientia et Technica*, 2(42). Recuperado a partir de <http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/2569>

Tiempo, C. E. E. (2000, noviembre 3). CELDAS DE COMBUSTIBLE, VIEJO INVENTO. Recuperado el 8 de agosto de 2017, a partir de <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-1287279>

U.S. Department of Energy. (s/f). Department of Energy. Recuperado el 16 de septiembre de 2017, a partir de <https://energy.gov/>

wind-energy-kit-spanish-assembly-guide.pdf. (s/f). Recuperado a partir de <http://www.fuelcellstore.com/manuals/wind-energy-kit-spanish-assembly-guide.pdf>

Bibliografía

Horizon Educatinal Group. (2016). *"FCJJ37-Problem-Based-Learning-Unit-Teacher"*. Singapur: Horizon Educational. Retrieved from <https://www.horizoncurriculum.com/download/4860>

Horizon Educational Group. (2016). *"FCJJ37-Problem-Based-Learning-Unit-Student"*. Singapur: Horizon Educational. Retrieved from <https://www.horizoncurriculum.com/download/4863>

Horizon Educational Group. (2016). *Horizon Energy Curriculum | STEM for bright futures*. Retrieved from <https://www.horizoncurriculum.com/>

Anexos

Prácticas de los Módulos Avanzados de Horizon

Anexo 1. FCJJ 37 – Guía de Instrucción de Problemas Para el Estudiante

Práctica 1. Circuitos Eléctricos

Actividad 1: Procedimiento

1. Utilice su panel solar para alimentar el pequeño motor que controla el ventilador. Usted necesitará conectar la celda solar al ventilador usando los alambres para llevar la electricidad. ¿Por qué crees que necesitas dos cables?
2. Cuando haya conectado el panel solar al motor, puede que tenga que darle un pequeño empujón al ventilador para que empiece. El panel solar funcionará mejor en la luz solar directa. ¿Qué le sucede al ventilador si prueba la celda solar con otras fuentes de luz?
3. Usted puede utilizar la electricidad del panel solar para generar gas hidrógeno usando el electrolizador. El electrolizador es el cuadrado con "H₂" y "O₂" impreso a cada lado. ¿Qué crees que pasará si la conecta a una fuente de electricidad como el panel solar?
4. Su electrolizador es también una celda de combustible de hidrógeno que puede generar electricidad a partir de hidrógeno y oxígeno. Tiene dos pequeños tubos conectados a ella. ¿Hay otro lugar en la celda de combustible que pueda conectar los tubos más largos?

5. Mira las piezas restantes de tu módulo. Si la celda de combustible divide el agua en gases de hidrógeno y oxígeno, ¿qué se podría usar para atrapar los gases y que no floten?
6. Conecte los tubos de su celda de combustible para que pueda atrapar los gases. Para generar hidrógeno, necesitará suministrar una corriente eléctrica. Puede hacerlo con la batería o con la celda solar. Prueba ambos. ¿Cuál es mejor en la producción de hidrógeno? Explique.
7. Cuando haya producido hidrógeno, usar la celda de combustible para alimentar el motor como lo hizo con el panel solar. Conecte el motor a la celda de combustible, éste debe comenzar a girar. Observe en sus observaciones si ve alguna diferencia en cómo el motor trabaja con la celda de combustible en vez del panel solar.

Actividad 2: Experimento

1. Con el motor conectado, intente inclinar el panel solar para que cambie el ángulo de la luz que lo golpea. ¿Se puede inclinar lo suficiente para que el motor deje de funcionar? ¿Importa la dirección en la que se inclina el panel? Utilizando un transportador, mida el ángulo más grande en el que aún puede ejecutar el motor.
2. Conecte el motor y el electrolizador al panel solar en serie y registre sus observaciones a continuación.
3. Ahora conecte ambos en paralelo. ¿Cómo se puede dividir la electricidad entre los dos dispositivos? ¿Cómo se compara su desempeño con cuándo se unieron en serie? Registre sus observaciones a continuación.

Actividad 3: Medición

Para esta sección necesitará un multímetro o el Monitor de Energía Renovable Horizon.

1. Mida la corriente en amperios y la tensión en voltios mientras funciona el motor.

Registre sus respuestas a continuación:

Actual: _____ A

Voltaje: _____ V

2. Mida la corriente en amperios y el voltaje en voltios mientras que funciona el motor y el electrolizador en serie. Registre sus respuestas a continuación:

Actual: _____ A

Voltaje: _____ V

3. El voltaje es igual a la corriente multiplicada por la resistencia ($V = IR$), así que según sus datos, ¿Cuál es la resistencia combinada en Ohmios (ohm) del electrolizador y del motor?

Resistencia: _____ Ω

4. Mida la corriente en amperios y el voltaje en voltios mientras funciona el motor y el electrolizador en paralelo. Registre sus respuestas a continuación:

Actual: _____ A

Voltaje: _____ V

Actividad 4: Análisis

1. Haga una declaración científica sobre lo que observó mientras usaba sus circuitos.
2. ¿Qué evidencia tiene para respaldar su afirmación científica?
3. ¿Qué razonamiento utilizó para apoyar su reclamación?
4. Utilice sus observaciones para diseñar un experimento que podría ejecutar para aumentar la cantidad de electricidad generada por el panel solar. Describa su experimento a continuación.

Actividad 5: Conclusión

1. ¿Con base en sus observaciones el electrolizador y el motor obtuvieron más corriente eléctrica cuando se conectaron en serie o en paralelo? Explica su respuesta.
2. ¿Conectar más dispositivos a un circuito eléctrico en serie aumenta o disminuye la corriente eléctrica en el circuito? Explica tu respuesta.
3. ¿Cuál es la mejor manera de conectar el motor y el electrolizador con la celda solar al mismo tiempo: serie o paralelo? Explica tu respuesta.

Práctica 2. Red de Energía Renovable

Actividad 1: Procedimiento de Viento y Celda de Combustible

1. Mire los tres diferentes tipos de cuchillas disponibles (etiquetados A, B y C).
¿Cómo son similares? ¿En qué se diferencian? Discuta con su grupo el tipo de hoja que cree que funcionaría mejor con su turbina y registre sus observaciones a continuación.
2. Seleccione el tipo y el número de cuchillas que desea probar. ¿Por qué desea probar este tipo de cuchilla primero? ¿Crees que será mejor o peor que los otros tipos?
3. Compruebe que las cuchillas estén en la misma posición utilizando las tres muescas cerca de las bases blancas de las cuchillas. Gire las cuchillas individuales si es necesario para colocar todas las cuchillas en la misma posición.
¿Su turbina todavía trabajaría si las palas estaban en diversas posiciones?
4. Inserte las cuchillas en la base del rotor y coloque el soporte de la cuchilla y el bloqueo del ensamblaje de la cuchilla, luego coloque la unidad de cuchilla en el eje metálico de la turbina. ¿Pueden colocarse las cuchillas hacia atrás? ¿Cómo sabes si hay una "manera correcta" de colocar una cuchilla?
5. Ahora está listo para usar la electricidad de la turbina eólica para generar gas hidrógeno usando el electrolizador. El electrolizador es el cuadrado azul con "H₂" y "O₂" impreso a cada lado. ¿Qué crees que pasará si la conecta a una fuente de electricidad como el aerogenerador?

6. Su electrolizador es también una celda de combustible de hidrógeno que puede generar electricidad a partir de hidrógeno y oxígeno. Tiene dos pequeños tubos conectados a ella. ¿Hay otro lugar en la celda de combustible que pueda conectar los tubos más largos?
7. Mira las piezas restantes de tu módulo. Si la celda de combustible divide el agua en gases de hidrógeno y oxígeno, ¿qué podría usar para atrapar los gases para que no floten?
8. Conecte los tubos de su celda de combustible para que pueda atrapar los gases. Para generar hidrógeno, necesitará suministrar una corriente eléctrica de la turbina eólica.
9. Encienda el ventilador y colóquelo delante de la turbina. Funcionará mejor si mantiene el ventilador cerca de la turbina y alinee el centro del ventilador con el centro de la turbina. ¿Por qué el cambio de posición del ventilador afectaría al viento que golpea la turbina?
10. Conecte la turbina a la celda de combustible utilizando los cables rojo y negro. Registre sus observaciones en la tabla de datos a continuación: ¿La celda de combustible comenzó a producir gas hidrógeno y oxígeno?
11. Si el tanque H_2 se llena de hidrógeno, desconecte la turbina y utilice la celda de combustible para alimentar el motor o los LEDs. Si el tanque H_2 no tiene gas, continúe con el paso siguiente. Registre sus observaciones a continuación.
12. Discuta lo que observó con su grupo y discuta lo que quiere cambiar para tratar de conseguir que la turbina produzca más electricidad: el número de cuchillas, el ángulo de las cuchillas, el tipo de cuchillas o alguna combinación de ellas.

13. Desmonte su turbina eólica y vuelva a ensamblarla con tantos cambios como se pueda imaginar, luego vuelva a conectarla a la celda de combustible. Registre sus observaciones en la tabla de datos a continuación.

Tabla de Datos

Tipo de cuchilla (A, B, C)	No. de cuchillas	Ángulo de cuchilla (6°, 28°, 56°)	Gas H ₂ (S/N)	Otras observaciones

Actividad 2: Experimentación de Viento y Celda de Combustible

1. Basándose en los datos del experimento anterior, mantenga los ángulos de las cuchillas iguales e intente diferentes números de diferentes tipos de cuchillas para ver cuál funciona mejor. Registre sus observaciones a continuación.

Número de cada tipo de hoja	Gas H ₂ (S/N)	Otras observaciones

¿Qué combinación funcionó mejor?

2. Si usó una combinación de diferentes tipos de cuchillas, intente cambiar la disposición de las cuchillas (A, B, A, B o A, A, B, B, por ejemplo) para intentar que el rotor gire más rápido. Si su rotor giró más rápido con un solo tipo de hoja, puede omitir este experimento.

Orden de la cuchilla	Gas H ₂ (S/N)	Otras observaciones

¿Qué arreglo funcionó mejor?

3. ¿Cuál es la distancia más lejana que puede mover su ventilador y todavía generar gas de hidrógeno? Utilice su regla para medir cuán lejos está su ventilador de sus palas de la turbina. Pruebe diferentes arreglos para ver si puede conseguir que la turbina trabaje a distancias aún más lejanas.

Tipo de Cuchilla (A, B, C)	Número de Cuchillas	Ángulo de la Cuchilla (6°, 28°, 56°)	Distancia (cm)	Gas H ₂ (S/N)	Otras Observaciones

4. ¿Cuál es la velocidad más rápida que puede llenar el tanque H₂? Usando las mejores configuraciones de acuerdo con sus datos anteriores, vea cuánto tiempo tarda en llenar su tanque. Registre sus observaciones a continuación.

Tipo de Cuchilla (A, B, C)	Número de Cuchillas	Ángulo de la Cuchilla (6°, 28°, 56°)	Tiempo (s)	Otras Observaciones

Actividad 3: Celda de Combustible y Procedimiento Solar

1. Ahora usará su panel solar para alimentar el electrolizador de la misma manera que usó la turbina eólica durante el último experimento. Asegúrese de que tiene una fuente de luz es lo suficientemente brillante como para generar una corriente eléctrica.
2. Conecte el panel solar al electrolizador utilizando cables rojos y negros, tal como se conectó antes con el aerogenerador. Registre sus observaciones a continuación.

Actividad 4: Experimentación Solar y Celda de Combustible

1. Discuta con su grupo cómo podría obtener su panel solar para generar más electricidad para ejecutar el electrolizador más rápido. Pruebe diferentes enfoques para ver qué funciona mejor. Determina el tiempo que tarda cada configuración en llenar el tanque H₂. Registre sus observaciones a continuación.

Prueba	Qué ha cambiado	Tiempo (s)	Otras observaciones
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			

2. Conecte su panel solar a los LEDs y al electrolizador usando cables rojos y negros y la placa de circuitos. Esto simulará una red de energía inteligente, usando electricidad mientras que también capturará el exceso de energía como hidrógeno. Utilice sus mejores configuraciones según sus datos y vea si usted puede conseguir los LEDs para encenderse mientras que también genera el hidrógeno. Registre sus observaciones a continuación.

Configuración	Gas H ₂ (S/N)	LEDs Encendidos (S/N)	Otras Observaciones

Actividad 5: Medición

Para esta sección necesitará un multímetro o el Monitor de Energía Renovable Horizon.

1. Mide la corriente en amperios y la tensión en voltios mientras que la turbina eólica en su configuración más rápida enciende los LEDs y el electrolizador. Registre sus respuestas a continuación:

Actual: _____ A

Voltaje: _____ V

2. Mida la corriente en amperios y el voltaje en voltios mientras que el panel solar en su mejor configuración acciona los LEDs y el electrolizador. Registre sus respuestas a continuación:

Actual: _____ A

Voltaje: _____ V

3. La potencia es el tiempo actual del voltaje ($P = IV$). Según sus datos, ¿qué fuente de energía genera la mayor cantidad de energía mientras se ejecuta el electrolizador y los LEDs?

Actividad 6: Análisis

1. Haga una declaración científica sobre sus generadores eléctricos.
2. ¿Qué evidencia tiene para respaldar su afirmación científica?
3. ¿Qué razonamiento utilizó para apoyar su reclamación?
4. Diseñe un experimento que compare la producción de uno de los generadores que probó con otra forma de energía renovable. Describa su experimento a continuación.

Actividad 7: Conclusión

1. Basándose en sus datos, ¿cree usted que almacenar el exceso de energía en hidrógeno es una buena manera de manejar la energía variable producida por la energía eólica y solar? Explique por qué.
2. ¿Cree usted que la energía eólica o solar sería una mejor fuente de energía renovable para su comunidad? Explique su razonamiento.
3. Sobre la base de su respuesta anterior y los datos que recopiló, ¿recomendaría que su comunidad sea alimentada por la fuente de energía que eligió con un sistema de celdas de combustible de hidrógeno? ¿Por qué o por qué no?

Práctica 3. Conservación y Transformación de la Energía

Actividad 1: Procedimiento

1. Una vez que la celda de combustible empiece a producir gas hidrógeno y oxígeno del agua, necesitaremos atrapar los gases para poder usarlos para la reacción inversa. ¿Cómo se pueden atrapar los gases utilizando los materiales suministrados?
2. El lado de oxígeno de la celda de combustible necesita ser llenado con agua. Observando la celda de combustible de hidrógeno, ¿por qué crees que solo un lado necesita ser llenado de agua? ¿Crees que importa si el agua se inyecta en la salida superior o inferior?
3. ¿Cómo podemos saber cuánto gas se ha generado a partir de nuestra reacción?
4. ¿Importa cómo la batería está conectada a la celda de combustible? ¿Por qué o por qué no?
5. Si está listo para capturar los gases producidos por la celda de combustible, coloque la batería. Observe lo que sucede y anote sus observaciones a continuación.

Actividad 2: Experimento

1. Ha producido hidrógeno y oxígeno del agua. Ahora, conecte la celda de combustible al motor. ¿Qué ocurre?
2. Genere más hidrógeno y oxígeno usando la celda de combustible, como antes. ¿Puedes decir cuánto hidrógeno has generado? ¿Cuál es el volumen de hidrógeno producido?
3. ¿Qué se produce más rápido: el hidrógeno o el oxígeno? ¿Qué piensa al respecto?
4. ¿Cómo haría más gas con esta reacción? Elabore un experimento que usted podría funcionar para aumentar la cantidad de hidrógeno y del oxígeno que usted produce. Describa su experimento a continuación.

Actividad 3: Medición

Para esta sección necesitará un multímetro o el Monitor de Energía Renovable Horizon.

1. Mida la corriente en amperios y la tensión en voltios mientras que genera el hidrógeno y el oxígeno. Registre sus respuestas a continuación:

Actual: _____ A

Voltaje: _____ V

2. El voltaje es igual a la corriente multiplicada por la resistencia ($V = IR$), así que según sus datos, ¿cuál es la resistencia de la celda de combustible?

Resistencia: _____ Ω

3. Mida la corriente en amperios y la tensión en voltios combinando el hidrógeno y el oxígeno para producir agua. Registre sus respuestas a continuación:

Actual: _____ A

Voltaje: _____ V

4. ¿Se necesita más energía para dividir el hidrógeno y el oxígeno o combinarlos? Explique su razonamiento.

Actividad 4: Análisis

1. Haga una afirmación científica sobre lo que observó mientras ejecutaba la celda de combustible.
2. ¿Qué evidencia tiene para respaldar su afirmación científica?
3. ¿Qué razonamiento utilizó para apoyar su reclamación?
4. Utilice sus observaciones para diseñar un experimento que podría ejecutar para aumentar la cantidad de electricidad generada por la celda de combustible. Describa su experimento a continuación.

Actividad 5: Conclusiones

1. ¿Cómo describirías lo que sucedió durante las reacciones de descomposición y síntesis que acabas de observar en términos de energía involucrada?
2. ¿Toda la energía del hidrógeno se transformó en energía eléctrica? Si no, ¿a dónde más iba?
3. ¿Qué tipo de medidas podría hacer para confirmar que la energía se conservó durante estas reacciones?

Práctica 4. Reacciones de Redox

Actividad 1: Procedimiento

1. La celda de combustible está marcada H_2 y O_2 en ambos lados. ¿Qué lado es el cátodo? ¿Cuál es el ánodo? ¿Cómo explica dicho desarrollo?
2. Una vez que la celda de combustible empiece a producir gas hidrógeno y oxígeno del agua, necesitaremos atrapar los gases para poder usarlos para la reacción inversa. ¿Cómo se pueden atrapar los gases utilizando los materiales suministrados?
3. Conocer sus medias reacciones, ¿dónde debería introducirse el agua en la celda de combustible? ¿Importa qué lado? ¿Importa si el agua se inyecta en la salida superior o inferior?
4. ¿Cómo podemos saber cuánto gas ha sido generado por nuestra reacción?
5. ¿Importa cómo se acopla la batería a la celda de combustible? ¿Por qué o por qué no?
6. Si está listo para capturar los gases producidos por la celda de combustible, coloque la batería. Observe lo que sucede y anote sus observaciones a continuación.

Actividad 2: Experimento

1. Ha producido hidrógeno y oxígeno del agua. Ahora, conecte la celda de combustible al motor. Explique lo que sucede.
2. Escriba la reacción equilibrada para la recombinación de hidrógeno y oxígeno a continuación.
3. Genere más hidrógeno y oxígeno usando la celda de combustible, como antes. ¿Cuál es el volumen de hidrógeno producido?
4. ¿Cuál es la proporción de hidrógeno a oxígeno generado? ¿Su medición coincide con la relación teórica?
5. Suponiendo temperatura y presión estándar, ¿cuántos moles de gas hidrógeno ha generado? ¿Cuántas moléculas de hidrógeno hay en tu cilindro?
6. ¿Cómo maximizaría el rendimiento de esta reacción? Elabore un experimento que usted podría funcionar para aumentar la cantidad de hidrógeno y del oxígeno que usted produce. Describa su experimento a continuación.

Actividad 3: Medición

Para esta sección necesitará un multímetro o el Monitor de Energía Renovable Horizon.

1. Mida la corriente en amperios mientras genera hidrógeno y oxígeno. Tiempo cuánto tiempo se tarda en llenar su cilindro de hidrógeno. Registre sus respuestas a continuación:

Actual: _____ A

Tiempo: _____ s

2. Un amplificador es equivalente a 6.242×10^{18} electrones por segundo, así que ¿cuántos electrones estaban fluyendo a través de sus cables mientras generaba hidrógeno?
3. Si llena el cilindro, ¿cuántos moles de hidrógeno ha producido? ¿Cuántos átomos de hidrógeno serían?
4. ¿Cada electrón que fluye a través de su alambre corresponde a un átomo de hidrógeno producido por esta reacción? Explique su razonamiento.

Actividad 4: Análisis

1. Haga una afirmación científica sobre lo que observó mientras ejecutaba la celda de combustible.
2. ¿Qué evidencia tiene para respaldar su afirmación científica?
3. ¿Qué razonamiento utilizó para apoyar su reclamación?
4. Basándose en sus observaciones, ¿cómo podría saber que se estaba produciendo una reacción durante la electrólisis y la síntesis?

Actividad 5: Conclusión

1. Usando las ecuaciones del cátodo y del ánodo de la sección del fondo, ¿cuál sería la reacción total durante la electrólisis?
2. ¿La síntesis de hidrógeno y oxígeno requiere más energía de activación que la reacción de electrólisis?
3. Describir la forma en que los electrones se mueven durante las reacciones de electrólisis y recombinación en la celda de combustible. ¿En qué lado de la celda está el ánodo y cuál es el cátodo en cada reacción?

Práctica 5. Energía Renovable

Actividad 1: Procedimiento de Turbina Eólica

1. Mire los tres diferentes tipos de cuchillas disponibles (etiquetados A, B y C).
¿Cómo son similares? ¿En qué se diferencian? Discuta con su grupo el tipo de hoja que cree que funcionaría mejor con su turbina y registre sus observaciones a continuación.
2. Seleccione el tipo y el número de cuchillas que desea probar. ¿Por qué desea probar este tipo de cuchilla primero? ¿Crees que será mejor o peor que los otros tipos?
3. Compruebe que las cuchillas estén en la misma posición utilizando las tres muescas cerca de las bases blancas de las cuchillas. Gire las cuchillas individuales si es necesario para colocar todas las cuchillas en la misma posición.
¿Su turbina todavía trabajaría si las palas estaban en diversas posiciones?
4. Inserte las cuchillas en la base del rotor y coloque el soporte de la cuchilla y el bloqueo del ensamblaje de la cuchilla, luego coloque la unidad de cuchilla en el eje metálico de la turbina. ¿Pueden colocarse las cuchillas hacia atrás? ¿Cómo saber si hay una "manera correcta" de colocar una cuchilla?
5. Conecte la base de la turbina a las luces LEDs utilizando los cables negro y rojo.
¿Por qué cree que las luces necesitan dos cables para funcionar?
6. Encienda el ventilador y colóquelo delante de la turbina. Funcionará mejor si mantiene el ventilador cerca de la turbina y alinee el centro del ventilador con el

centro de la turbina. ¿Por qué el cambio de posición del ventilador afectaría al viento que golpea la turbina?

7. Registre sus observaciones en la siguiente tabla de datos: ¿Se encendieron las luces? ¿Eran oscuros o brillantes?
8. Discuta lo que observó con su grupo y discuta lo que quiere cambiar: el número de cuchillas, el ángulo de las cuchillas, el tipo de cuchillas o alguna combinación de ellas.
9. Repita los pasos 1-8 con tantos cambios como se pueda imaginar.

Tabla de Datos

Tipo de Cuchilla (A, B, C)	Número de Cuchillas	Ángulo de la Cuchilla (6°, 28°, 56°)	Otras Observaciones

Actividad 2: Experimentación de la Turbina Eólica

1. Basándose en los datos del experimento anterior, mantenga los ángulos de las cuchillas iguales e intente diferentes números de diferentes tipos de cuchillas para ver cuál funciona mejor. Registre sus observaciones a continuación.

Número de cada tipo de hoja	Observaciones

¿Qué combinación funcionó mejor?

2. Si usó una combinación de diferentes tipos de cuchillas, intente cambiar la disposición de las cuchillas (A, B, A, B o A, A, B, B, por ejemplo) para intentar que el rotor gire más rápido. Si su rotor giró más rápido con un solo tipo de hoja, puede omitir este experimento.

Orden de la cuchilla	Observaciones

¿Qué arreglo funcionó mejor?

3. Mueva su ventilador hacia atrás, para reducir la velocidad del viento golpeando su turbina. Pruebe diferentes configuraciones de cuchillas y registre sus observaciones a continuación.

Tipo de Cuchilla (A, B, C)	Número de Cuchillas	Ángulo de la Cuchilla (6°, 28°, 56°)	Observaciones

¿Fue el mejor arreglo lo mismo que a la mayor velocidad del viento?

4. ¿Cuál es la distancia más lejana que puede mover su ventilador y todavía girar su turbina? Utilice su regla para medir cuán lejos está su ventilador de sus palas de la turbina. Pruebe diferentes arreglos para ver si puede conseguir que la turbina gire a distancias aún más lejanas.

Tipo de Cuchilla (A, B, C)	Número de Cuchillas	Ángulo de la Cuchilla (6°, 28°, 56°)	Distancia (cm)	Observaciones

Actividad 3: Procedimiento del Panel Solar

1. Utilice su panel solar para alimentar el pequeño motor que controla el ventilador. Usted necesitará conectar el panel solar al ventilador usando los alambres para llevar la electricidad. ¿Por qué crees que necesitas dos cables?
2. Cuando haya conectado el panel solar al motor, puede que tenga que darle un pequeño empujón al ventilador para que empiece. El panel solar funcionará mejor en la luz solar directa. ¿Qué le sucede al ventilador si prueba el panel solar con otras fuentes de luz?
3. Ahora trate de usar el panel solar para alimentar los LEDs. Registre sus observaciones a continuación.

Actividad 4: Experimentación del Panel Solar

1. Puede utilizar geles de plástico de color, o diferentes bombillas, para cambiar el color de la luz golpeando el panel solar. ¿Ciertos colores funcionan mejor que otros? Trate de usar el panel solar para ejecutar el ventilador y los LEDs mientras que el panel se golpea con diferentes longitudes de onda de la luz y registrar sus observaciones a continuación.

Color de Luz	Observaciones

2. El panel solar es oscuro en color. ¿El color de su entorno afecta la forma en que recoge la luz para generar electricidad? Pruebe a utilizar el panel para ejecutar el ventilador y los LEDs mientras el panel está delante de fondos de diferentes colores y anote sus observaciones a continuación.

Color de Fondo	Otras Observaciones

3. Conecte el panel solar al motor y use un trozo de papel u otro método para sombrear partes del panel y observar los efectos. ¿Cuánto del panel solar puede cubrir antes de que el motor deje de funcionar? ¿Importa qué lado del panel solar está sombreado?

Actividad 5: Procedimiento de Celda de Combustible

1. Puede usar la electricidad de la batería para generar gas hidrógeno usando el electrolizador. El electrolizador es el cuadrado con "H₂" y "O₂" impreso a cada lado. ¿Qué crees que pasará si lo conecta a una fuente de electricidad como la batería?
2. Su electrolizador es también una celda de combustible de hidrógeno que puede generar electricidad a partir de hidrógeno y oxígeno. Tiene dos pequeños tubos conectados a ella. ¿Hay otro lugar en la celda de combustible que pueda conectar los tubos más largos?
3. Mire las piezas restantes de su módulo. Si la celda de combustible divide el agua en gases de hidrógeno y oxígeno, ¿Qué podría usar para atrapar los gases para que no floten? Conecte los tubos de su celda de combustible para que pueda atrapar los gases. Para generar hidrógeno, necesitará suministrar una corriente eléctrica. Puede hacerlo con la batería o con el panel solar. Prueba ambos. ¿Cuál es mejor en la producción de hidrógeno?
4. Cuando haya producido hidrógeno, puede utilizar la celda de combustible para alimentar el motor como lo hizo con el panel solar. Conecte el motor a la celda de combustible y debe comenzar a girar. Observe en sus observaciones si ve alguna diferencia en cómo el motor trabaja con la celda de combustible en vez del panel solar.

Actividad 6: Experimentación con Celdas de Combustible

1. Utilice la batería y la celda de combustible para generar gas hidrógeno como antes. A continuación, conecte la celda de combustible a los LEDs y mida cuánto tiempo funcionan. Repita y anote cualquier cambio. Registre sus observaciones a continuación.

Prueba	Tiempo de ejecución (s)	Observaciones
1		
2		
3		
4		

2. Pruebe el mismo experimento con el motor del ventilador. Registre sus observaciones a continuación.

Prueba	Tiempo de ejecución (s)	Observaciones
1		
2		
3		
4		

Actividad 7: Medición

Para esta sección necesitará un multímetro o el Monitor de Energía Renovable Horizon.

1. Mida la corriente en amperios y la tensión en voltios mientras que la turbina de viento en su configuración más rápida acciona los LEDs. Registre sus respuestas a continuación:

Actual: _____ A

Voltaje: _____ V

2. Mida la corriente en Amperios y la tensión en Voltios mientras el panel solar alimenta los LEDs. Registre sus respuestas a continuación:

Actual: _____ A

Voltaje: _____ V

3. Mida la corriente en Amperios y la tensión en Voltios mientras la celda de combustible alimenta los LEDs. Registre sus respuestas a continuación:

Actual: _____ A

Voltaje: _____ V

4. La potencia es el tiempo actual de la tensión ($P = IV$). Según sus datos, ¿qué fuente de energía generó más energía?

Actividad 8: Análisis

1. Haga una declaración científica sobre sus generadores eléctricos.
2. ¿Qué evidencia tiene para respaldar su afirmación científica?
3. ¿Qué razonamiento utilizó para apoyar su reclamación?
4. Diseñe un experimento que pruebe cómo mejorar la potencia de salida de uno de sus generadores.

Actividad 9: Conclusión

1. ¿Cree que la celda de combustible, la turbina eólica o el panel solar son la mejor fuente de energía eléctrica? Explique su razonamiento.
2. ¿Cuál es la mayor limitación de la fuente de energía que eligió arriba? ¿Por qué cree usted que es el más grande?
3. ¿Qué podría hacer para superar esa limitación?

Fuente: ("FCJJ37-Problem-Based-Learning-Unit-Student.pdf", s/f)

Anexo 2. FCJJ 37 – Guía de Instrucción de Problemas Para el Docente

Práctica 1. Circuitos Eléctricos

Actividad 1: Procedimiento

1. Utilice su panel solar para alimentar el pequeño motor que controla el ventilador. Usted necesitará conectar la celda solar al ventilador usando los alambres para llevar la electricidad. ¿Por qué crees que necesitas dos cables?
2. Cuando haya conectado el panel solar al motor, puede que tenga que darle un pequeño empujón al ventilador para que empiece. El panel solar funcionará mejor en la luz solar directa. ¿Qué le sucede al ventilador si prueba la celda solar con otras fuentes de luz?
3. Usted puede utilizar la electricidad del panel solar para generar gas hidrógeno usando el electrolizador. El electrolizador es el cuadrado con "H₂" y "O₂" impreso a cada lado. ¿Qué crees que pasará si la conecta a una fuente de electricidad como el panel solar?
4. Su electrolizador es también una celda de combustible de hidrógeno que puede generar electricidad a partir de hidrógeno y oxígeno. Tiene dos pequeños tubos conectados a ella. ¿Hay otro lugar en la celda de combustible que pueda conectar los tubos más largos?
5. Mira las piezas restantes de tu módulo. Si la celda de combustible divide el agua en gases de hidrógeno y oxígeno, ¿qué se podría usar para atrapar los gases y que no floten?
6. Conecte los tubos de su celda de combustible para que pueda atrapar los gases. Para generar hidrógeno, necesitará suministrar una corriente eléctrica. Puede hacerlo con la batería o con la celda solar. Prueba ambos. ¿Cuál es mejor en la producción de hidrógeno? Explique.
7. Cuando haya producido hidrógeno, usar la celda de combustible para alimentar el motor como lo hizo con el panel solar. Conecte el motor a la celda de combustible, éste debe comenzar a girar. Observe en sus observaciones si ve

alguna diferencia en cómo el motor trabaja con la celda de combustible en vez del panel solar.

Actividad 2: Experimento

1. Con el motor conectado, intente inclinar el panel solar para que cambie el ángulo de la luz que lo golpea. ¿Se puede inclinar lo suficiente para que el motor deje de funcionar? ¿Importa la dirección en la que se inclina el panel? Utilizando un transportador, mida el ángulo más grande en el que aún puede ejecutar el motor.

El ángulo máximo cambiará en función del tipo de fuente de luz. Una potente fuente de luz puede ser capaz de mantener una celda solar casi perpendicular funcionando. Los estudiantes deben presentar datos para determinar si una dirección de inclinación es mejor o peor que otra.

2. Conecte el motor y el electrolizador al panel solar en serie y registre sus observaciones a continuación.

Fuentes de luz débiles podrían no ser capaces de ejecutar ambos en absoluto, más fuertes fuentes de luz se ejecutan ambos, pero visiblemente más lento que cada uno independientemente.

3. Ahora conecte ambos en paralelo. ¿Cómo se puede dividir la electricidad entre los dos dispositivos? ¿Cómo se compara su desempeño con cuándo se unieron en serie? Registre sus observaciones a continuación.

Los estudiantes deben usar la placa de circuito para conectar los dispositivos en paralelo. Deben tener en cuenta el rendimiento relativo de cada dispositivo en comparación con la configuración anterior.

Actividad 3: Medición

Para esta sección necesitará un multímetro o el Monitor de Energía Renovable Horizon.

1. Mida la corriente en amperios y la tensión en voltios mientras funciona el motor. Registre sus respuestas a continuación: **(Las respuestas variarán, pero compruebe que están dentro de la razón, es decir, no >1A.)**

Actual: _____ A

Voltaje: _____ V

2. Mida la corriente en amperios y el voltaje en voltios mientras que funciona el motor y el electrolizador en serie. Registre sus respuestas a continuación:

Actual: _____ A

Voltaje: _____ V

3. El voltaje es igual a la corriente multiplicada por la resistencia ($V = IR$), así que según sus datos, ¿Cuál es la resistencia combinada en Ohmios (ohm) del electrolizador y del motor?

Resistencia: _____ Ω

4. Mida la corriente en amperios y el voltaje en voltios mientras funciona el motor y el electrolizador en paralelo. Registre sus respuestas a continuación:

Actual: _____ A

Voltaje: _____ V

Actividad 4: Análisis

1. Haga una declaración científica sobre lo que observó mientras usaba sus circuitos.

La reivindicación debe hacer referencia a las características de series y/o configuraciones paralelas.

Ejemplo: "Los circuitos en serie suministran menos corriente a cada dispositivo conectado a ellos".

2. ¿Qué evidencia tiene para respaldar su afirmación científica?

La evidencia debe citar datos en las secciones Observaciones y/o Experimentación.

Ejemplo: "Medimos la corriente como 0.19A cuando los dispositivos estaban en paralelo y 0.05A cuando los dispositivos estaban en serie".

3. ¿Qué razonamiento utilizó para apoyar su reclamación?

El razonamiento puede extraerse de la sección de Antecedentes y/u otros materiales utilizados en clase.

Ejemplo: "Sabemos que un circuito en serie suma las resistencias de todos los dispositivos y que $V = IR$ de la Ley de Ohm".

4. Utilice sus observaciones para diseñar un experimento que podría ejecutar para aumentar la cantidad de electricidad generada por el panel solar. Describa su experimento a continuación.

Muchas respuestas son posibles, pero los estudiantes deben incluir maneras de medir la producción eléctrica y grupos claros de control y experimentales en la descripción.

Actividad 5: Conclusión

1. ¿Con base en sus observaciones el electrolizador y el motor obtuvieron más corriente eléctrica cuando se conectaron en serie o en paralelo? Explica su respuesta.

Asegúrese de que las respuestas de los estudiantes citan datos de sus observaciones durante la serie y experimentos paralelos.

2. ¿Conectar más dispositivos a un circuito eléctrico en serie aumenta o disminuye la corriente eléctrica en el circuito? Explica tu respuesta.

Los estudiantes deberían haber observado la disminución de la corriente eléctrica cuando un dispositivo adicional en serie estaba conectado y las respuestas aquí deberían hacer referencia a esas observaciones.

3. ¿Cuál es la mejor manera de conectar el motor y el electrolizador con la celda solar al mismo tiempo: serie o paralelo? Explica tu respuesta.

Cualquiera de los dos es aceptable, siempre y cuando los estudiantes pueden respaldar su respuesta con los datos de sus experimentos.

Práctica 2. Red de Energía Renovable

Actividad 1: Procedimiento de Viento y Celda de Combustible

1. Mire los tres diferentes tipos de cuchillas disponibles (etiquetados A, B y C). ¿Cómo son similares? ¿En qué se diferencian? Discuta con su grupo el tipo de hoja que cree que funcionaría mejor con su turbina y registre sus observaciones a continuación.
2. Seleccione el tipo y el número de cuchillas que desea probar. ¿Por qué desea probar este tipo de cuchilla primero? ¿Crees que será mejor o peor que los otros tipos?
3. Compruebe que las cuchillas estén en la misma posición utilizando las tres muescas cerca de las bases blancas de las cuchillas. Gire las cuchillas individuales si es necesario para colocar todas las cuchillas en la misma posición. ¿Su turbina todavía trabajaría si las palas estaban en diversas posiciones?
4. Inserte las cuchillas en la base del rotor y coloque el soporte de la cuchilla y el bloqueo del ensamblaje de la cuchilla, luego coloque la unidad de cuchilla en el eje metálico de la turbina. ¿Pueden colocarse las cuchillas hacia atrás? ¿Cómo sabes si hay una "manera correcta" de colocar una cuchilla?
5. Ahora está listo para usar la electricidad de la turbina eólica para generar gas hidrógeno usando el electrolizador. El electrolizador es el cuadrado azul con "H₂" y "O₂" impreso a cada lado. ¿Qué crees que pasará si la conecta a una fuente de electricidad como el aerogenerador?
6. Su electrolizador es también una celda de combustible de hidrógeno que puede generar electricidad a partir de hidrógeno y oxígeno. Tiene dos pequeños tubos conectados a ella. ¿Hay otro lugar en la celda de combustible que pueda conectar los tubos más largos?
7. Mira las piezas restantes de tu módulo. Si la celda de combustible divide el agua en gases de hidrógeno y oxígeno, ¿qué podría usar para atrapar los gases para que no floten?

8. Conecte los tubos de su celda de combustible para que pueda atrapar los gases. Para generar hidrógeno, necesitará suministrar una corriente eléctrica de la turbina eólica.
9. Encienda el ventilador y colóquelo delante de la turbina. Funcionará mejor si mantiene el ventilador cerca de la turbina y alinee el centro del ventilador con el centro de la turbina. ¿Por qué el cambio de posición del ventilador afectaría al viento que golpea la turbina?
10. Conecte la turbina a la celda de combustible utilizando los cables rojo y negro. Registre sus observaciones en la tabla de datos a continuación: ¿La celda de combustible comenzó a producir gas hidrógeno y oxígeno?
11. Si el tanque H₂ se llena de hidrógeno, desconecte la turbina y utilice la celda de combustible para alimentar el motor o los LEDs. Si el tanque H₂ no tiene gas, continúe con el paso siguiente. Registre sus observaciones a continuación.
12. Discuta lo que observó con su grupo y discuta lo que quiere cambiar para tratar de conseguir que la turbina produzca más electricidad: el número de cuchillas, el ángulo de las cuchillas, el tipo de cuchillas o alguna combinación de ellas.
13. Desmunte su turbina eólica y vuelva a ensamblarla con tantos cambios como se pueda imaginar, luego vuelva a conectarla a la celda de combustible. Registre sus observaciones en la tabla de datos a continuación.

Actividad 3: Celda de Combustible y Procedimiento Solar

1. Ahora usará su panel solar para alimentar el electrolizador de la misma manera que usó la turbina eólica durante el último experimento. Asegúrese de que tiene una fuente de luz es lo suficientemente brillante como para generar una corriente eléctrica.
2. Conecte el panel solar al electrolizador utilizando cables rojos y negros, tal como se conectó antes con el aerogenerador. Registre sus observaciones a continuación.

Actividad 5: Medición

Para esta sección necesitará un multímetro o el Monitor de Energía Renovable Horizon.

1. Mide la corriente en amperios y la tensión en voltios mientras que la turbina eólica en su configuración más rápida enciende los LEDs y el electrolizador. Registre sus respuestas a continuación: **(Las respuestas variarán, pero compruebe que están dentro de la razón, es decir, no 100V o >1A.)**

Actual: _____ A

Voltaje: _____ V

2. Mida la corriente en amperios y el voltaje en voltios mientras que el panel solar en su mejor configuración acciona los LEDs y el electrolizador. Registre sus respuestas a continuación:

Actual: _____ A

Voltaje: _____ V

3. La potencia es el tiempo actual del voltaje ($P = IV$). Según sus datos, ¿qué fuente de energía genera la mayor cantidad de energía mientras se ejecuta el electrolizador y los LEDs?

Actividad 6: Análisis

1. Haga una declaración científica sobre sus generadores eléctricos.

La reclamación debe hacer referencia a la capacidad de uno o más generadores.

Ejemplo: "La turbina eólica y la celda de combustible serían la mejor fuente de energía renovable".

2. ¿Qué evidencia tiene para respaldar su afirmación científica?

La evidencia debe citar datos en las secciones Observaciones y/o Experimentación.

Ejemplo: "Con una configuración de tres cuchillas B a 28° en el rotor de la turbina, pudimos generar más corriente y voltaje mientras se ejecuta el electrolizador y los LEDs".

3. ¿Qué razonamiento utilizó para apoyar su reclamación?

El razonamiento puede extraerse de la sección de Antecedentes y/u otros materiales utilizados en clase.

Ejemplo: "Más voltaje y corriente significa que se genera más energía eléctrica, por lo que más se puede almacenar como hidrógeno".

4. Diseñe un experimento que compare la producción de uno de los generadores que probó con otra forma de energía renovable. Describa su experimento a continuación.

Hay muchas respuestas posibles, pero los estudiantes deben mencionar los generadores que eligen, cómo medirían la producción y tener un control claro y grupos experimentales en su descripción.

Actividad 7: Conclusión

1. Basándose en sus datos, ¿cree usted que almacenar el exceso de energía en hidrógeno es una buena manera de manejar la energía variable producida por la energía eólica y solar? Explicar por qué.

Los estudiantes potencialmente pueden contestar "Sí" o "No" siempre y cuando sean capaces de respaldar su asección usando evidencia de sus experimentos y/o información discutida en clase.

2. ¿Cree usted que la energía eólica o solar sería una mejor fuente de energía renovable para su comunidad? Explique su razonamiento.

Los estudiantes podrían elegir cualquiera de las opciones, dependiendo de los datos que recopilaren y su conocimiento de las condiciones locales de viento / luz solar. Sólo deben ser capaces de respaldar su asección.

3. Sobre la base de su respuesta anterior y los datos que recopiló, ¿recomendaría que su comunidad sea alimentada por la fuente de energía que eligió con un sistema de celdas de combustible de hidrógeno? ¿Por qué o por qué no?

Los estudiantes pueden mencionar la cantidad de tiempo que estiman que su fuente de energía renovable sería capaz de generar suficiente energía contra la cantidad de tiempo que dependería de la copia de seguridad de la celda de combustible de hidrógeno. También podrían abogar por un tipo diferente de sistema de energía en conjunto, o decidir que ninguno de estos sería adecuado para su comunidad, siempre y cuando sean capaces de proporcionar datos que respalde estas opiniones.

Práctica 3. Conservación y Transformación de la Energía

Actividad 1: Procedimiento

1. Una vez que la celda de combustible empiece a producir gas hidrógeno y oxígeno del agua, necesitaremos atrapar los gases para poder usarlos para la reacción inversa. ¿Cómo se pueden atrapar los gases utilizando los materiales suministrados?
2. El lado de oxígeno de la celda de combustible necesita ser llenado con agua. Observando la celda de combustible de hidrógeno, ¿por qué crees que solo un lado necesita ser llenado de agua? ¿Crees que importa si el agua se inyecta en la salida superior o inferior?
3. ¿Cómo podemos saber cuánto gas se ha generado a partir de nuestra reacción?
4. ¿Importa cómo la batería está conectada a la celda de combustible? ¿Por qué o por qué no?
5. Si está listo para capturar los gases producidos por la celda de combustible, coloque la batería. Observe lo que sucede y anote sus observaciones a continuación.

Actividad 2: Experimento

1. Ha producido hidrógeno y oxígeno del agua. Ahora, conecte la celda de combustible al motor. ¿Qué ocurre?

Los estudiantes deben notar que el ventilador comienza a girar y pueden tomar nota de cualquier aspecto particular del rendimiento del ventilador: el sonido del motor, cuánto tiempo corre, etc.

2. Genere más hidrógeno y oxígeno usando la celda de combustible, como antes. ¿Puedes decir cuánto hidrógeno has generado? ¿Cuál es el volumen de hidrógeno producido?

Los estudiantes deben usar las marcas mL en los cilindros para contestar. Las respuestas variarán, pero no deben exceder de los 10mL.

3. ¿Qué se produce más rápido: el hidrógeno o el oxígeno? ¿Qué piensa al respecto?

El hidrógeno se produce más rápidamente (más exactamente, se produce un mayor volumen de hidrógeno) debido a la relación de hidrógeno a oxígeno en el agua.

4. ¿Cómo haría más gas con esta reacción? Elabore un experimento que usted podría funcionar para aumentar la cantidad de hidrógeno y del oxígeno que usted produce. Describa su experimento a continuación.

El gas podría ser almacenado en tanques más grandes, la corriente podría funcionar por un tiempo más largo, las celdas múltiples del combustible podrían ser utilizadas, y más pueden ser respuestas aceptables.

Actividad 3: Medición

Para esta sección necesitará un multímetro o el Monitor de Energía Renovable Horizon.

1. Mida la corriente en amperios y la tensión en voltios mientras que genera el hidrógeno y el oxígeno. Registre sus respuestas a continuación: **(Las respuestas variarán, pero compruebe que están dentro de la razón, es decir, no 100V o >1A.)**

Actual: _____ A

Voltaje: _____ V

2. El voltaje es igual a la corriente multiplicada por la resistencia ($V = IR$), así que según sus datos, ¿cuál es la resistencia de la celda de combustible?

Resistencia: _____ Ω

3. Mida la corriente en amperios y la tensión en voltios combinando el hidrógeno y el oxígeno para producir agua. Registre sus respuestas a continuación:

Actual: _____ A

Voltaje: _____ V

4. ¿Se necesita más energía para dividir el hidrógeno y el oxígeno o combinarlos? Explique su razonamiento.

Las mediciones de corriente y tensión deben ser tanto mayores cuando se divide el agua como cuando se recombinan. Esto implicaría que se requiere más energía para dividirlo que para recombinarlo.

Actividad 4: Análisis

1. Haga una afirmación científica sobre lo que observó mientras ejecutaba la celda de combustible.

La reivindicación debe hacer referencia a la reacción de electrólisis y/o síntesis de agua.

Ejemplo: "Hay energía almacenada en los enlaces de una molécula de agua".

2. ¿Qué evidencia tiene para respaldar su afirmación científica?

La evidencia debe citar datos en las secciones Observaciones y/o Experimentación.

Ejemplo: "La energía para romper las moléculas de agua en hidrógeno y oxígeno fue mayor que la energía para sintetizar el agua".

3. ¿Qué razonamiento utilizó para apoyar su reclamación?

El razonamiento puede extraerse de la sección de Antecedentes y/u otros materiales utilizados en clase.

Ejemplo: "La Ley de Conservación de la Energía dice que la energía extra debe ser almacenada en algún lugar ya que no puede ser destruida".

4. Utilice sus observaciones para diseñar un experimento que podría ejecutar para aumentar la cantidad de electricidad generada por la celda de combustible. Describa su experimento a continuación.

Cambiar la presión / temperatura del agua / gases, construir celdas de combustible con diferentes materiales, cambiar la forma del ánodo / cátodo, y más son todas las ideas que podrían ser probadas. Los estudiantes deben

identificar configuraciones de control y experimentales, y definir la variable a ser probada.

Actividad 5: Conclusiones

1. ¿Cómo describirías lo que sucedió durante las reacciones de descomposición y síntesis que acabas de observar en términos de energía involucrada?

La energía es necesaria para romper los enlaces que mantienen una molécula de agua juntos, por lo que la energía eléctrica de la batería se puede utilizar para dividir la molécula de agua. La reacción química de la combinación de hidrógeno y oxígeno convierte la energía química almacenada en energía eléctrica.

2. ¿Toda la energía del hidrógeno se transformó en energía eléctrica? Si no, ¿a dónde más iba?

El calor de la reacción, la energía del nuevo enlace químico, las vibraciones de la molécula, y otros pueden ser respuestas aceptables.

3. ¿Qué tipo de medidas podría hacer para confirmar que la energía se conservó durante estas reacciones?

Medir pequeños cambios de temperatura, medir las fuerzas aplicadas al automóvil por el motor, medir la corriente eléctrica en el motor y la batería, y más pueden ser respuestas aceptables.

Práctica 4. Reacciones de Redox

Actividad 1: Procedimiento

1. La celda de combustible está marcada H_2 y O_2 en ambos lados. ¿Qué lado es el cátodo? ¿Cuál es el ánodo? ¿Cómo explica dicho desarrollo?
2. Una vez que la celda de combustible empiece a producir gas hidrógeno y oxígeno del agua, necesitaremos atrapar los gases para poder usarlos para la reacción inversa. ¿Cómo se pueden atrapar los gases utilizando los materiales suministrados?
3. Conocer sus medias reacciones, ¿dónde debería introducirse el agua en la celda de combustible? ¿Importa qué lado? ¿Importa si el agua se inyecta en la salida superior o inferior?
4. ¿Cómo podemos saber cuánto gas ha sido generado por nuestra reacción?
5. ¿Importa cómo se acopla la batería a la celda de combustible? ¿Por qué o por qué no?
6. Si está listo para capturar los gases producidos por la celda de combustible, coloque la batería. Observe lo que sucede y anote sus observaciones a continuación.

Actividad 2: Experimento

1. Ha producido hidrógeno y oxígeno del agua. Ahora, conecte la celda de combustible al motor. Explique lo que sucede.

Los estudiantes deben notar que el ventilador comienza a girar y pueden tomar nota de cualquier aspecto particular del rendimiento del ventilador: el sonido del motor, cuánto tiempo corre, etc.

2. Escriba la reacción equilibrada para la recombinación de hidrógeno y oxígeno a continuación.



3. Genere más hidrógeno y oxígeno usando la celda de combustible, como antes. ¿Cuál es el volumen de hidrógeno producido?

Los estudiantes deben usar las marcas mL en los cilindros para contestar. Las respuestas variarán, pero no deben exceder 10mL.

4. ¿Cuál es la proporción de hidrógeno a oxígeno generado? ¿Su medición coincide con la relación teórica?

Las respuestas deben ser aproximadamente 2:1 para que coincida con la relación teórica.

5. Suponiendo temperatura y presión estándar, ¿cuántos moles de gas hidrógeno ha generado? ¿Cuántas moléculas de hidrógeno hay en tu cilindro?

Los estudiantes deben usar la Ley de Gas Ideal ($PV = nRT$) y su medición de volumen desde arriba.

6. ¿Cómo maximizaría el rendimiento de esta reacción? Elabore un experimento que usted podría funcionar para aumentar la cantidad de hidrógeno y del oxígeno que usted produce. Describa su experimento a continuación.

Cambiar la presión / temperatura del agua / gases, construir celdas de combustible con diferentes materiales, cambiar características o materiales del ánodo / cátodo, y más son ideas que podrían ser probadas. Los estudiantes deben identificar configuraciones de control y experimentales, y definir la variable a ser probada.

Actividad 3: Medición

Para esta sección necesitará un multímetro o el Monitor de Energía Renovable Horizon.

1. Mida la corriente en amperios mientras genera hidrógeno y oxígeno. Tiempo cuánto tiempo se tarda en llenar su cilindro de hidrógeno. Registre sus respuestas a continuación: **(Las respuestas variarán, pero compruebe que están dentro de la razón, es decir, no >1A.)**

Actual: _____ A

Tiempo: _____ s

2. Un amplificador es equivalente a 6.242×10^{18} electrones por segundo, así que ¿cuántos electrones estaban fluyendo a través de sus cables mientras generaba hidrógeno?

(Amperios desde arriba) x (6.242x1018) x (Segundos desde arriba)

3. Si llena el cilindro, ¿cuántos moles de hidrógeno ha producido? ¿Cuántos átomos de hidrógeno serían?

Los estudiantes deben usar la Ley de Gas Ideal ($PV = nRT$) y el volumen del cilindro para encontrar lunares. Esta respuesta se multiplica entonces por el número de Avogadro para obtener un número de átomos.

4. ¿Cada electrón que fluye a través de su alambre corresponde a un átomo de hidrógeno producido por esta reacción? Explique su razonamiento.

Comparar el número de electrones calculados anteriormente con el número de átomos calculados. ¿Son aproximadamente equivalentes?

Actividad 4: Análisis

1. Haga una afirmación científica sobre lo que observó mientras ejecutaba la celda de combustible.

La afirmación debería hacer referencia a las reacciones de electrólisis y síntesis observadas.

Ejemplo: "La estequiometría predice con precisión las proporciones de productos en la electrólisis".

2. ¿Qué evidencia tiene para respaldar su afirmación científica?

La evidencia debe citar datos en las secciones Observaciones y/o Experimentación.

Ejemplo: "Medimos 10mL de hidrógeno y 5 mL de oxígeno de nuestra reacción".

3. ¿Qué razonamiento utilizó para apoyar su reclamación?

El razonamiento puede extraerse de la sección de Antecedentes y/u otros materiales utilizados en clase.

Ejemplo: "Sabemos por la fórmula química del agua que la relación de H:O debe ser 2:1."

4. Basándose en sus observaciones, ¿cómo podría saber que se estaba produciendo una reacción durante la electrólisis y la síntesis?

Dos observaciones clave: las burbujas se forman durante la electrólisis y viajan a través de los tubos, generando una corriente eléctrica durante la síntesis. Otras respuestas también son aceptables.

Actividad 5: Conclusión

1. Usando las ecuaciones del cátodo y del ánodo de la sección del fondo, ¿cuál sería la reacción total durante la electrólisis?



2. ¿La síntesis de hidrógeno y oxígeno requiere más energía de activación que la reacción de electrólisis?

Los estudiantes deben citar sus datos y/o materiales usados en clase para apoyar su respuesta.

3. Describir la forma en que los electrones se mueven durante las reacciones de electrólisis y recombinación en la celda de combustible. ¿En qué lado de la celda está el ánodo y cuál es el cátodo en cada reacción?

Los estudiantes deben reconocer que el ánodo y el cátodo "vuelcan" durante las diferentes reacciones porque los electrones fluyen en dos direcciones diferentes.

Práctica 5. Energía Renovable

Actividad 1: Procedimiento de Turbina Eólica

1. Mire los tres diferentes tipos de cuchillas disponibles (etiquetados A, B y C). ¿Cómo son similares? ¿En qué se diferencian? Discuta con su grupo el tipo de hoja que cree que funcionaría mejor con su turbina y registre sus observaciones a continuación.
2. Seleccione el tipo y el número de cuchillas que desea probar. ¿Por qué desea probar este tipo de cuchilla primero? ¿Crees que será mejor o peor que los otros tipos?
3. Compruebe que las cuchillas estén en la misma posición utilizando las tres muescas cerca de las bases blancas de las cuchillas. Gire las cuchillas individuales si es necesario para colocar todas las cuchillas en la misma posición. ¿Su turbina todavía trabajaría si las palas estaban en diversas posiciones?
4. Inserte las cuchillas en la base del rotor y coloque el soporte de la cuchilla y el bloqueo del ensamblaje de la cuchilla, luego coloque la unidad de cuchilla en el eje metálico de la turbina. ¿Pueden colocarse las cuchillas hacia atrás? ¿Cómo saber si hay una "manera correcta" de colocar una cuchilla?
5. Conecte la base de la turbina a las luces LEDs utilizando los cables negro y rojo. ¿Por qué cree que las luces necesitan dos cables para funcionar?
6. Encienda el ventilador y colóquelo delante de la turbina. Funcionará mejor si mantiene el ventilador cerca de la turbina y alinee el centro del ventilador con el centro de la turbina. ¿Por qué el cambio de posición del ventilador afectaría al viento que golpea la turbina?
7. Registre sus observaciones en la siguiente tabla de datos: ¿Se encendieron las luces? ¿Eran oscuros o brillantes?
8. Discuta lo que observó con su grupo y discuta lo que quiere cambiar: el número de cuchillas, el ángulo de las cuchillas, el tipo de cuchillas o alguna combinación de ellas.
9. Repita los pasos 1-8 con tantos cambios como se pueda imaginar.

Actividad 3: Procedimiento del Panel Solar

1. Utilice su panel solar para alimentar el pequeño motor que controla el ventilador. Usted necesitará conectar el panel solar al ventilador usando los alambres para llevar la electricidad. ¿Por qué crees que necesitas dos cables?
2. Cuando haya conectado el panel solar al motor, puede que tenga que darle un pequeño empujón al ventilador para que empiece. El panel solar funcionará mejor en la luz solar directa. ¿Qué le sucede al ventilador si prueba el panel solar con otras fuentes de luz?
3. Ahora trate de usar el panel solar para alimentar los LEDs. Registre sus observaciones a continuación.

Actividad 4: Experimentación del Panel Solar

1. Conecte el panel solar al motor y use un trozo de papel u otro método para sombrear partes del panel y observar los efectos. ¿Cuánto del panel solar puede cubrir antes de que el motor deje de funcionar? ¿Importa qué lado del panel solar está sombreado?

Actividad 5: Procedimiento de Celda de Combustible

1. Puede usar la electricidad de la batería para generar gas hidrógeno usando el electrolizador. El electrolizador es el cuadrado con "H₂" y "O₂" impreso a cada lado. ¿Qué crees que pasará si lo conecta a una fuente de electricidad como la batería?
2. Su electrolizador es también una celda de combustible de hidrógeno que puede generar electricidad a partir de hidrógeno y oxígeno. Tiene dos pequeños tubos conectados a ella. ¿Hay otro lugar en la celda de combustible que pueda conectar los tubos más largos?
3. Mire las piezas restantes de su módulo. Si la celda de combustible divide el agua en gases de hidrógeno y oxígeno, ¿Qué podría usar para atrapar los gases para que no floten? Conecte los tubos de su celda de combustible para que pueda atrapar los gases. Para generar hidrógeno, necesitará suministrar una corriente eléctrica. Puede hacerlo con la batería o con el panel solar. Prueba ambos. ¿Cuál es mejor en la producción de hidrógeno?
4. Cuando haya producido hidrógeno, puede utilizar la celda de combustible para alimentar el motor como lo hizo con el panel solar. Conecte el motor a la celda de combustible y debe comenzar a girar. Observe en sus observaciones si ve alguna diferencia en cómo el motor trabaja con la celda de combustible en vez del panel solar.

Actividad 7: Medición

Para esta sección necesitará un multímetro o el Monitor de Energía Renovable Horizon.

1. Mida la corriente en amperios y la tensión en voltios mientras que la turbina de viento en su configuración más rápida acciona los LEDs. Registre sus respuestas a continuación: **(Las respuestas variarán, pero compruebe que están dentro de la razón, es decir, no 100V o >1A.)**

Actual: _____ A

Voltaje: _____ V

2. Mida la corriente en Amperios y la tensión en Voltios mientras el panel solar alimenta los LEDs. Registre sus respuestas a continuación:

Actual: _____ A

Voltaje: _____ V

3. Mida la corriente en Amperios y la tensión en Voltios mientras la celda de combustible alimenta los LEDs. Registre sus respuestas a continuación:

Actual: _____ A

Voltaje: _____ V

4. La potencia es el tiempo actual de la tensión ($P = IV$). Según sus datos, ¿qué fuente de energía generó más energía?

Actividad 8: Análisis

1. Haga una declaración científica sobre sus generadores eléctricos.

La reclamación debe hacer referencia a la capacidad de uno o más generadores.

Ejemplo: "La turbina eólica sería la mejor fuente de energía renovable".

2. ¿Qué evidencia tiene para respaldar su afirmación científica?

La evidencia debe citar datos en las secciones Observaciones y/o Experimentación.

Ejemplo: "Con una configuración de tres cuchillas B a 28° en el rotor de la turbina, pudimos generar más corriente y voltaje que cualquier otro generador".

3. ¿Qué razonamiento utilizó para apoyar su reclamación?

El razonamiento puede extraerse de la sección de Antecedentes y/u otros materiales utilizados en clase.

Ejemplo: "Más voltaje y corriente significa que se genera más energía eléctrica".

4. Diseñe un experimento que pruebe cómo mejorar la potencia de salida de uno de sus generadores.

Hay muchas respuestas posibles, pero los estudiantes deben mencionar el generador que eligen, cómo lo modificarían y tener un control claro y grupos experimentales en su descripción.

Actividad 9: Conclusión

1. ¿Cree que la celda de combustible, la turbina eólica o el panel solar son la mejor fuente de energía eléctrica? Explique su razonamiento.

Los estudiantes pueden elegir cualquiera de los generadores, siempre y cuando sean capaces de respaldar su elección con los datos de sus experimentos y observaciones.

2. ¿Cuál es la mayor limitación de la fuente de energía que eligió arriba? ¿Por qué cree usted que es el más grande?

Las respuestas variarán según el generador elegido. Cualquier cosa de días nublados, la falta de viento, espacio de almacenamiento pequeño para el hidrógeno o cualquier número de factores se puede elegir, siempre y cuando los estudiantes pueden hacer referencia a una razón convincente para su elección.

3. ¿Qué podría hacer para superar esa limitación?

Las respuestas variarán de nuevo según el generador / limitación elegido. Los estudiantes deben describir una manera factible de limitar los efectos de la limitación que eligieron, pero no limitado a conectar muchos paneles solares en serie, almacenar energía no utilizada, tanques de hidrógeno presurizado, etc.

Fuente: ("FCJJ37-Problem-Based-Learning-Unit-Teacher.pdf", s/f)

Anexo 3. FCJJ 16 – Guía de Circuitos Eléctricos Para el Estudiante

Esta práctica está en la Actividad 1 del manual FCJJ 37 – Unidad de Aprendizaje

Basada en Problemas para el Estudiante.

Fuente: (“FCJJ16_Circuits_PH_Student.pdf”, s/f)

Anexo 4. FCJJ 16 – Guía de Circuitos Eléctricos Para el Docente

Esta práctica está en la Actividad 1 del manual FCJJ 37 – Unidad de Aprendizaje

Basada en Problemas para el Docente.

Fuente: (“FCJJ16_Circuits_PH_Teacher.pdf”, s/f)

Anexo 5. FCJJ 16 – Guía de Estequiometría Para el Estudiante

Actividad 1: Procedimiento

1. Puede usar la electricidad del panel solar para generar gas hidrógeno usando el electrolizador. El electrolizador es el cuadrado con "H₂" y "O₂" impreso a cada lado. ¿Qué crees que pasará si la conecta a una fuente de electricidad como la celda solar?
2. Su electrolizador es también una celda de combustible de hidrógeno que puede generar electricidad a partir de hidrógeno y oxígeno. Tiene dos pequeños tubos conectados a ella. ¿Hay otro lugar en la celda de combustible que pueda conectar los tubos más largos?
3. Mire las piezas restantes de su módulo. Si la celda de combustible divide el agua en gases de hidrógeno y oxígeno, ¿qué podría usar para atrapar los gases para que no floten?
4. Conecte los tubos de su celda de combustible para que pueda atrapar los gases. Para generar hidrógeno, necesitará suministrar una corriente eléctrica. Puede hacerlo con la batería o con la celda solar. Prueba ambos. ¿Cuál es mejor en la producción de hidrógeno? Dé una explicación.
5. Cuando haya originado hidrógeno, puede usar la celda de combustible para alimentar el motor como lo hizo con la celda solar. Conecte el motor a la celda de combustible y debe comenzar a girar. Mire en sus observaciones si ve alguna diferencia en cómo el motor trabaja con la celda de combustible en vez de la celda solar.

Actividad 2: Experimento

1. Con la celda de combustible conectada, intente inclinar el panel solar para que cambie el ángulo de la luz que lo golpea. ¿Se puede inclinar lo suficiente para que la celda de combustible deje de generar hidrógeno y oxígeno? ¿Importa la dirección en la que se inclina el panel? Usando un transportador, mida el ángulo más grande en el cual usted todavía puede funcionar la celda de combustible.
2. Genere más hidrógeno y oxígeno usando la celda de combustible, como antes. ¿Puedes decir cuánto hidrógeno has generado? ¿Cuál es el volumen de hidrógeno y oxígeno producido? ¿Sus datos coinciden con lo que usted esperaría?

Actividad 3: Medición

Para esta sección necesitará un multímetro o el Monitor de Energía Renovable Horizon.

1. Mida la corriente en amperios y la tensión en voltios mientras que genera el hidrógeno y el oxígeno usando el panel solar y la celda de combustible. Registre sus respuestas a continuación:

Actual: _____ A

Voltaje: _____ V

2. El voltaje es igual a la corriente multiplicada por la resistencia ($V = IR$), así que según sus datos, ¿cuál es la resistencia de la celda de combustible?

Resistencia: _____ Ω

3. Mida la corriente en Amperios y la tensión en Voltios combinando el hidrógeno y el oxígeno para producir agua usando la celda de combustible. Registre sus respuestas a continuación:

Actual: _____ A

Voltaje: _____ V

4. ¿Se necesita más energía para dividir el hidrógeno y el oxígeno o combinarlos? Explique su razonamiento.

Actividad 4: Análisis

1. Haga una afirmación científica sobre lo que observó mientras ejecutaba la celda de combustible.
2. ¿Qué evidencia tiene para respaldar su afirmación científica?
3. ¿Qué razonamiento utilizó para apoyar su reclamación?
4. Utilice sus observaciones para diseñar un experimento que podría ejecutar para aumentar la cantidad de electricidad generada por la celda de combustible. Describa su experimento a continuación. ¿Oxígeno o combinarlos? Explique su razonamiento.

Actividad 5: Conclusión

1. ¿Cómo reflejaron los volúmenes de hidrógeno y oxígeno que midió la estequiometría de la reacción que los produjo?
2. ¿Cuáles fueron algunas fuentes potenciales de error que podrían haber hecho que sus medidas difieran de la proporción esperada de hidrógeno a oxígeno?
3. Sabemos que estos productos de reacción se crean siempre en proporciones conocidas de moles. Pero si todos los productos son gaseosos, ¿una reacción siempre crearía productos en las mismas proporciones para los volúmenes de esos gases? ¿Por qué o por qué no?

Fuente: ("FCJJ16_Stoichiometry_CH_Student.pdf", s/f)

Anexo 6. FCJJ 16 – Guía de Estequiometría Para el Docente

Actividad 1: Procedimiento

1. Puede usar la electricidad del panel solar para generar gas hidrógeno usando el electrolizador. El electrolizador es el cuadrado con "H₂" y "O₂" impreso a cada lado. ¿Qué crees que pasará si la conecta a una fuente de electricidad como la celda solar?
2. Su electrolizador es también una celda de combustible de hidrógeno que puede generar electricidad a partir de hidrógeno y oxígeno. Tiene dos pequeños tubos conectados a ella. ¿Hay otro lugar en la celda de combustible que pueda conectar los tubos más largos?
3. Mire las piezas restantes de su módulo. Si la celda de combustible divide el agua en gases de hidrógeno y oxígeno, ¿qué podría usar para atrapar los gases para que no floten?
4. Conecte los tubos de su celda de combustible para que pueda atrapar los gases. Para generar hidrógeno, necesitará suministrar una corriente eléctrica. Puede hacerlo con la batería o con la celda solar. Prueba ambos. ¿Cuál es mejor en la producción de hidrógeno? Dé una explicación.
5. Cuando haya producido hidrógeno, puede usar la celda de combustible para alimentar el motor como lo hizo con la celda solar. Conecte el motor a la celda de combustible y debe comenzar a girar. Mire en sus observaciones si ve alguna diferencia en cómo el motor trabaja con la celda de combustible en vez de la celda solar.

Actividad 2: Experimento

1. Con la celda de combustible conectada, intente inclinar el panel solar para que cambie el ángulo de la luz que lo golpea. ¿Se puede inclinar lo suficiente para que la celda de combustible deje de generar hidrógeno y oxígeno? ¿Importa la dirección en la que se inclina el panel? Usando un transportador, mida el ángulo más grande en el cual usted todavía puede funcionar la celda de combustible.

El ángulo máximo cambiará en función del tipo de fuente de luz. Una potente fuente de luz puede ser capaz de mantener una celda solar casi perpendicular funcionando. Los estudiantes deben presentar datos para determinar si una dirección de inclinación es mejor o peor que otra.

2. Genere más hidrógeno y oxígeno usando la celda de combustible, como antes. ¿Puedes decir cuánto hidrógeno has generado? ¿Cuál es el volumen de hidrógeno y oxígeno producido? ¿Sus datos coinciden con lo que usted esperaría?

Los estudiantes deben ser capaces de leer mL de hidrógeno en el cilindro. Las respuestas aquí deben anotar una proporción aproximada de 2:1 de hidrógeno a oxígeno, como se espera por la relación estequiométrica.

Actividad 3: Medición

Para esta sección necesitará un multímetro o el Monitor de Energía Renovable Horizon.

1. Mida la corriente en amperios y la tensión en voltios mientras que genera el hidrógeno y el oxígeno usando el panel solar y la celda de combustible. Registre sus respuestas a continuación: **(Las respuestas variarán, pero compruebe que están dentro de la razón, es decir, no >1A.)**

Actual: _____ A

Voltaje: _____ V

2. El voltaje es igual a la corriente multiplicada por la resistencia ($V = IR$), así que según sus datos, ¿cuál es la resistencia de la celda de combustible?

Resistencia: _____ Ω

3. Mida la corriente en Amperios y la tensión en Voltios combinando el hidrógeno y el oxígeno para producir agua usando la celda de combustible. Registre sus respuestas a continuación:

Actual: _____ A

Voltaje: _____ V

4. ¿Se necesita más energía para dividir el hidrógeno y el oxígeno o combinarlos? Explique su razonamiento.

Las respuestas de los estudiantes deben hacer referencia a sus mediciones en las preguntas anteriores y comparar la corriente y el voltaje de cada proceso.

Actividad 4: Análisis

1. Haga una afirmación científica sobre lo que observó mientras ejecutaba la celda de combustible.

La reivindicación debe referirse a la reacción de electrólisis y/o la reacción de recombinación.

Ejemplo: "La estequiometría predice con precisión las proporciones de productos en la electrólisis".

2. ¿Qué evidencia tiene para respaldar su afirmación científica?

La evidencia debe citar datos en las secciones Observaciones y/o Experimentación.

Ejemplo: "Medimos 10mL de hidrógeno y 5mL de oxígeno de nuestra reacción".

3. ¿Qué razonamiento utilizó para apoyar su reclamación?

El razonamiento puede extraerse de la sección de Antecedentes y/u otros materiales utilizados en clase.

Ejemplo: "Sabemos por la fórmula química del agua que la relación de H:O debe ser 2:1."

4. Utilice sus observaciones para diseñar un experimento que podría ejecutar para aumentar la cantidad de electricidad generada por la celda de combustible. Describa su experimento a continuación. ¿Oxígeno o combinarlos? Explique su razonamiento.

Muchas respuestas son aceptables, pero los estudiantes deben describir qué parámetro o parámetros cambiarían y por qué ese cambio se espera

que aumente la electricidad generada. Debe haber un control claro y grupos experimentales en la descripción.

Actividad 5: Conclusión

1. ¿Cómo reflejaron los volúmenes de hidrógeno y oxígeno que midió la estequiometría de la reacción que los produjo?

Las respuestas deben comparar la relación aproximada de los volúmenes medidos por la relación molar esperada basada en la estequiometría.

2. ¿Cuáles fueron algunas fuentes potenciales de error que podrían haber hecho que sus medidas difieran de la proporción esperada de hidrógeno a oxígeno?

Las medidas imprecisas debido a la falta de precisión en las marcas del cilindro mL, presencia de aire en los tubos y cilindros, cantidad relativamente pequeña de producto y otras respuestas pueden ser aceptables aquí.

3. Sabemos que estos productos de reacción se crean siempre en proporciones conocidas de moles. Pero si todos los productos son gaseosos, ¿una reacción siempre crearía productos en las mismas proporciones para los volúmenes de esos gases? ¿Por qué o por qué no?

Los estudiantes podrían responder "sí" o "no", siempre y cuando reconozcan el papel de la presión y la temperatura en la determinación de los volúmenes de gases.

Fuente: ("FCJJ16_Stoichiometry_CH_Teacher.pdf", s/f)

Anexo 7. FCJJ 16 – Guía de Semiconductores Para el Estudiante

Actividad 1: Procedimiento

1. Utilice su celda solar para alimentar el pequeño motor que controla el ventilador. Usted necesitará conectar la celda solar al ventilador usando los alambres para llevar la electricidad. ¿Por qué cree usted que necesita dos cables?
2. Cuando haya conectado la celda solar al motor, puede que tenga que darle un pequeño empujón al ventilador para que empiece. La celda solar funcionará mejor en la luz solar directa. ¿Qué le sucede al ventilador si prueba la celda solar con otras fuentes de luz?
3. Usted puede utilizar la electricidad del panel solar para generar gas hidrógeno usando el electrolizador. El electrolizador es el cuadrado con "H₂" y "O₂" impreso a cada lado. ¿Qué crees que pasará si la conecta a una fuente de electricidad como la celda solar?
4. Su electrolizador es también una celda de combustible de hidrógeno que puede generar electricidad a partir de hidrógeno y oxígeno. Tiene dos pequeños tubos conectados a ella. ¿Hay otro lugar en la celda de combustible que pueda conectar los tubos más largos?
5. Mira las piezas restantes de tu kit. Si la celda de combustible divide el agua en gases de hidrógeno y oxígeno, ¿qué podría usar para atrapar los gases para que no floten?
6. Conecte los tubos de su celda de combustible para que pueda atrapar los gases. Para generar hidrógeno, necesitará suministrar una corriente eléctrica. Puede hacerlo con la batería o con la celda solar. Prueba ambos. ¿Cuál es mejor en la producción de hidrógeno? Dé una explicación.
7. Cuando hayas producido hidrógeno, puedes usar la celda de combustible para alimentar el motor como lo hiciste con la celda solar. Conecte el motor a la celda de combustible y debe comenzar a girar. Mire en sus observaciones si ve alguna diferencia en cómo el motor trabaja con la celda de combustible en vez de la celda solar.

Actividad 2: Experimento

1. Con el motor conectado, intente inclinar el panel solar para que cambie el ángulo de la luz que lo golpea. ¿Se puede inclinar lo suficiente para que el motor deje de funcionar? ¿Importa la dirección en la que se inclina el panel? Utilizando un transportador, mida el ángulo más grande en el que todavía puede ejecutar el motor.
2. Puede utilizar geles de plástico de color, o diferentes bombillas, para cambiar el color de la luz golpeando el panel solar. ¿Ciertos colores funcionan mejor que otros? Trate de usar el panel solar para ejecutar el electrolizador, mientras que el panel se golpea con diferentes longitudes de onda de la luz y registrar sus observaciones a continuación:

Color de luz	Tiempo para llenar H ₂	Observaciones

3. Conecte el panel solar al motor y use un trozo de papel u otro método para sombrear partes del panel. Usando una regla, mida la distancia más lejana desde el borde del panel solar para mover la cubierta antes de que el motor deje de funcionar.

Lado	Distancia	Observaciones

Actividad 3: Medición

Para esta sección necesitará un multímetro o el Monitor de Energía Renovable Horizon.

1. Con el panel solar conectado al motor, mida la corriente en Amperios y la tensión en Voltios mientras inclina el panel para obtener los valores más altos. Registre sus medidas a continuación:

Actual: _____ A

Voltaje: _____ V

2. Mida la corriente en amperios y el voltaje en voltios mientras que sombrea el panel solar. ¿Cuál es la corriente más baja y el voltaje que todavía funcionará el motor?

Actual: _____ A

Voltaje: _____ V

3. Utilice diversos colores de la luz con su panel solar como antes. Mida la corriente en amperios y el voltaje en voltios mientras que funciona el motor. ¿Qué color dio los valores más altos? Registre sus respuestas a continuación:

Color: _____

Actual: _____ A

Voltaje: _____ V

Actividad 4: Análisis

1. Haga una afirmación científica sobre los semiconductores de silicio basados en lo que observó mientras ejecutaba el panel solar.
2. ¿Qué evidencia tiene para respaldar su afirmación científica?
3. ¿Qué razonamiento utilizó para apoyar su reclamación?
4. Diseñar un experimento que podría probar los efectos de temperaturas extremas en el silicio en la celda solar. Describa su experimento a continuación.

Actividad 5: Conclusión

1. Basándose en sus observaciones, ¿cree que un panel solar sería útil para generar energía eléctrica de cualquier tipo de luz? Explique su razonamiento.
2. ¿Cuál dirías que es el factor más importante para determinar cuánta energía eléctrica produce un panel solar?
3. Basado en sus observaciones, ¿qué color de luz es absorbido más fácilmente por el panel solar?

Fuente: ("FCJJ16_Semiconductors_CH_Student.pdf", s/f)

Anexo 8. FCJJ 16 – Guía de Semiconductores Para el Docente

Actividad 1: Procedimiento

1. Utilice su celda solar para alimentar el pequeño motor que controla el ventilador. Usted necesitará conectar la celda solar al ventilador usando los alambres para llevar la electricidad. ¿Por qué cree usted que necesita dos cables?
2. Cuando haya conectado la celda solar al motor, puede que tenga que darle un pequeño empujón al ventilador para que empiece. La celda solar funcionará mejor en la luz solar directa. ¿Qué le sucede al ventilador si prueba la celda solar con otras fuentes de luz?
3. Usted puede utilizar la electricidad del panel solar para generar gas hidrógeno usando el electrolizador. El electrolizador es el cuadrado con "H₂" y "O₂" impreso a cada lado. ¿Qué crees que pasará si la conecta a una fuente de electricidad como la celda solar?
4. Su electrolizador es también una celda de combustible de hidrógeno que puede generar electricidad a partir de hidrógeno y oxígeno. Tiene dos pequeños tubos conectados a ella. ¿Hay otro lugar en la celda de combustible que pueda conectar los tubos más largos?
5. Mira las piezas restantes de tu kit. Si la celda de combustible divide el agua en gases de hidrógeno y oxígeno, ¿qué podría usar para atrapar los gases para que no floten?
6. Conecte los tubos de su celda de combustible para que pueda atrapar los gases. Para generar hidrógeno, necesitará suministrar una corriente eléctrica. Puede hacerlo con la batería o con la celda solar. Prueba ambos. ¿Cuál es mejor en la producción de hidrógeno? Dé una explicación.
7. Cuando hayas producido hidrógeno, puedes usar la celda de combustible para alimentar el motor como lo hiciste con la celda solar. Conecte el motor a la celda de combustible y debe comenzar a girar. Mire en sus observaciones si ve alguna diferencia en cómo el motor trabaja con la celda de combustible en vez de la celda solar.

Actividad 2: Experimento

1. Con el motor conectado, intente inclinar el panel solar para que cambie el ángulo de la luz que lo golpea. ¿Se puede inclinar lo suficiente para que el motor deje de funcionar? ¿Importa la dirección en la que se inclina el panel? Utilizando un transportador, mida el ángulo más grande en el que todavía puede ejecutar el motor.

El ángulo máximo cambiará en función del tipo de fuente de luz. Una potente fuente de luz puede ser capaz de mantener una celda solar casi perpendicular funcionando. Los estudiantes deben presentar datos para determinar si una dirección de inclinación es mejor o peor que otra.

Actividad 3: Medición

Para esta sección necesitará un multímetro o el Monitor de Energía Renovable Horizon.

1. Con el panel solar conectado al motor, mida la corriente en Amperios y la tensión en Voltios mientras inclina el panel para obtener los valores más altos. Registre sus medidas a continuación: **(Las respuestas variarán, pero compruebe que están dentro de la razón, es decir, no >1A.)**

Actual: _____ A

Voltaje: _____ V

2. Mida la corriente en amperios y el voltaje en voltios mientras que sombrea el panel solar. ¿Cuál es la corriente más baja y el voltaje que todavía funcionará el motor?

Actual: _____ A

Voltaje: _____ V

3. Utilice diversos colores de la luz con su panel solar como antes. Mida la corriente en amperios y el voltaje en voltios mientras que funciona el motor. ¿Qué color dio los valores más altos? Registre sus respuestas a continuación:

Color: _____

Actual: _____ A

Voltaje: _____ V

Actividad 4: Análisis

1. Haga una afirmación científica sobre los semiconductores de silicio basados en lo que observó mientras ejecutaba el panel solar.

La reivindicación debe hacer referencia a las características físicas o químicas de los semiconductores de silicio.

Ejemplo: "Las celdas solares de silicio son mejores en la conducción de electrones con una longitud de onda de luz visible".

2. ¿Qué evidencia tiene para respaldar su afirmación científica?

La evidencia debe citar datos en las secciones Observaciones y/o Experimentación.

Ejemplo: "El electrolizador llenó el cilindro de hidrógeno en 116 segundos cuando el panel solar estaba bajo luz visible. El infrarrojo tomó 451 segundos y el ultravioleta tomó 389 segundos."

3. ¿Qué razonamiento utilizó para apoyar su reclamación?

El razonamiento puede extraerse de la sección de Antecedentes y/u otros materiales utilizados en clase.

Ejemplo: "Los tiempos más largos significan que los semiconductores no podrían conducir electrones también."

4. Diseñar un experimento que podría probar los efectos de temperaturas extremas en el silicio en la celda solar. Describa su experimento a continuación.

Muchas respuestas son posibles, pero los estudiantes deben incluir maneras de cambiar / medir la temperatura y de supervisar la salida eléctrica de la celda solar. Debe haber un control claro y grupos experimentales en la descripción.

Actividad 5: Conclusión

1. Basándose en sus observaciones, ¿cree que un panel solar sería útil para generar energía eléctrica de cualquier tipo de luz? Explique su razonamiento.

"Sí" o "no" son ambas respuestas aceptables, siempre y cuando los estudiantes puedan señalar datos específicos de sus experimentos para respaldar su afirmación.

2. ¿Cuál dirías que es el factor más importante para determinar cuánta energía eléctrica produce un panel solar?

Las respuestas de los estudiantes deben referirse a los datos recogidos en todos los experimentos.

3. Basado en sus observaciones, ¿qué color de luz es absorbido más fácilmente por el panel solar?

Las respuestas dependerán de la variedad de colores utilizados.

Fuente: ("FCJJ16_Stoichiometry_CH_Teacher.pdf", s/f)

Anexo 9. FCJJ 16 – Guía de Luz Para el Estudiante

Actividad 1: Procedimiento

1. Utilice su celda solar para alimentar el pequeño motor que controla el ventilador. Usted necesitará conectar la celda solar al ventilador usando los alambres para llevar la electricidad. ¿Por qué crees que necesitas dos cables?
2. Cuando haya conectado la celda solar al motor, puede que tenga que darle un pequeño empujón al ventilador para que empiece. La celda solar funcionará mejor en la luz solar directa. ¿Qué le sucede al ventilador si prueba la celda solar con otras fuentes de luz?
3. Usted puede utilizar la electricidad del panel solar para generar gas hidrógeno usando el electrolizador. El electrolizador es el cuadrado con "H₂" y "O₂" impreso a cada lado. ¿Qué crees que pasará si la conecta a una fuente de electricidad como la celda solar?
4. Su electrolizador es también una celda de combustible de hidrógeno que puede generar electricidad a partir de hidrógeno y oxígeno. Tiene dos pequeños tubos conectados a ella. ¿Hay otro lugar en la celda de combustible que pueda conectar los tubos más largos?
5. Mira las piezas restantes de tu kit. Si la celda de combustible divide el agua en gases de hidrógeno y oxígeno, ¿qué podría usar para atrapar los gases para que no floten?
6. Conecte los tubos de su celda de combustible para que pueda atrapar los gases. Para generar hidrógeno, necesitará suministrar una corriente eléctrica. Puede hacerlo con la batería o con la celda solar. Prueba ambos. ¿Cuál es mejor en la producción de hidrógeno? Dé una explicación.
7. Cuando hayas producido hidrógeno, puedes usar la celda de combustible para alimentar el motor como lo hiciste con la celda solar. Conecte el motor a la celda de combustible y debe comenzar a girar. Observe en sus observaciones si ve alguna diferencia en cómo el motor trabaja con la celda de combustible en vez de la celda solar.
8. Cuando hayas producido hidrógeno, puedes usar la celda de combustible para alimentar el motor como lo hiciste con la celda solar. Conecte el motor a la celda de combustible y debe comenzar a girar. Observe en sus observaciones si ve alguna diferencia en cómo el motor trabaja con la celda de combustible en vez de la celda solar.

Actividad 2: Experimento

1. Puede utilizar geles de plástico de color, o diferentes bombillas, para cambiar el color de la luz golpeando el panel solar. ¿Ciertos colores funcionan mejor que otros? Trate de usar el panel solar para ejecutar el electrolizador, mientras que el panel se golpea con diferentes longitudes de onda de la luz y registrar sus observaciones a continuación.

Luz de Color	Tiempo para llenar H ₂	Observaciones

2. El panel solar es oscuro en color. ¿El color de su entorno afecta la forma en que recoge la luz para generar electricidad? Trate de usar el panel para ejecutar el electrolizador mientras el panel está delante de diferentes fondos de color y registrar sus observaciones a continuación.

Color de Fondo	Tiempo para llenar H ₂	Observaciones

3. Conecte el panel solar al motor y use un trozo de papel u otro método para sombrear partes del panel y observar los efectos. ¿Cuánto del panel solar puede cubrir antes de que el motor deje de funcionar? ¿Importa qué lado del panel solar está sombreado?

Actividad 3: Medición

Para esta sección necesitará un multímetro o el Monitor de Energía Renovable Horizon.

1. Conecte el motor a su panel solar. Mida la corriente en amperios y el voltaje en voltios mientras que sombrea el panel solar para encontrar los valores mínimos para cada uno que todavía funcionará el motor. Registre sus respuestas a continuación.

Actual: _____ A

Voltaje: _____ V

2. El voltaje es igual a la corriente multiplicada por la resistencia ($V = IR$), así que según sus datos, ¿Cuál es la resistencia del motor?

Resistencia: _____ Ω

3. Utilice diversos colores de la luz con su panel solar como antes. Mida la corriente en amperios y el voltaje en voltios mientras que funciona el motor. ¿Qué color dio los valores más altos? Registre sus respuestas a continuación.

Color: _____

Actual: _____ A

Voltaje: _____ V

Actividad 4: Análisis

1. Haga una afirmación científica sobre lo que observó mientras ejecutaba el panel solar.
2. ¿Qué evidencia tiene para respaldar su afirmación científica?
3. ¿Qué razonamiento utilizó para apoyar su reclamación?
4. Diseñar un experimento que podría probar la relación entre la energía de la luz y su longitud de onda.

Actividad 5: Conclusión

1. Basándose en sus observaciones, ¿cree que un panel solar sería útil para generar energía eléctrica de cualquier tipo de luz? Explique su razonamiento.
2. ¿Cuál dirías que es el factor más importante para determinar cuánta energía eléctrica produce un panel solar?
3. Sobre la base de sus observaciones, ¿qué color de la luz emite más energía?
4. Sobre la base de sus observaciones, ¿qué color de fondo absorbe más energía?

Fuente: ("FCJJ16_Light_PH_Student.pdf", s/f)

Anexo 10. FCJJ 16 – Guía de Luz Para el Docente

Actividad 1: Procedimiento

1. Utilice su celda solar para alimentar el pequeño motor que controla el ventilador. Usted necesitará conectar la celda solar al ventilador usando los alambres para llevar la electricidad. ¿Por qué crees que necesitas dos cables?
2. Cuando haya conectado la celda solar al motor, puede que tenga que darle un pequeño empujón al ventilador para que empiece. La celda solar funcionará mejor en la luz solar directa. ¿Qué le sucede al ventilador si prueba la celda solar con otras fuentes de luz?
3. Usted puede utilizar la electricidad del panel solar para generar gas hidrógeno usando el electrolizador. El electrolizador es el cuadrado con "H₂" y "O₂" impreso a cada lado. ¿Qué crees que pasará si la conecta a una fuente de electricidad como la celda solar?
4. Su electrolizador es también una celda de combustible de hidrógeno que puede generar electricidad a partir de hidrógeno y oxígeno. Tiene dos pequeños tubos conectados a ella. ¿Hay otro lugar en la celda de combustible que pueda conectar los tubos más largos?
5. Mira las piezas restantes de tu kit. Si la celda de combustible divide el agua en gases de hidrógeno y oxígeno, ¿qué podría usar para atrapar los gases para que no floten?
6. Conecte los tubos de su celda de combustible para que pueda atrapar los gases. Para generar hidrógeno, necesitará suministrar una corriente eléctrica. Puede hacerlo con la batería o con la celda solar. Prueba ambos. ¿Cuál es mejor en la producción de hidrógeno? Dé una explicación.
7. Cuando hayas producido hidrógeno, puedes usar la celda de combustible para alimentar el motor como lo hiciste con la celda solar. Conecte el motor a la celda de combustible y debe comenzar a girar. Observe en sus observaciones si ve alguna diferencia en cómo el motor trabaja con la celda de combustible en vez de la celda solar.
8. Cuando hayas producido hidrógeno, puedes usar la celda de combustible para alimentar el motor como lo hiciste con la celda solar. Conecte el motor a la celda de combustible y debe comenzar a girar. Observe en sus observaciones si ve alguna diferencia en cómo el motor trabaja con la celda de combustible en vez de la celda solar.

Actividad 2: Experimento

1. Conecte el panel solar al motor y use un trozo de papel u otro método para sombrear partes del panel y observar los efectos. ¿Cuánto del panel solar puede cubrir antes de que el motor deje de funcionar? ¿Importa qué lado del panel solar está sombreado?

Los estudiantes deben tener en cuenta que, dependiendo de qué lado sombra, no se necesita mucho para detener el motor. Este es el resultado de cómo las celdas fotovoltaicas individuales en la celda solar están conectadas entre sí.

Actividad 3: Medición

Para esta sección necesitará un multímetro o el Monitor de Energía Renovable Horizon.

1. Conecte el motor a su panel solar. Mida la corriente en amperios y el voltaje en voltios mientras que sombrea el panel solar para encontrar los valores mínimos para cada uno que todavía funcionará el motor. Registre sus respuestas a continuación. **(Las respuestas variarán, pero compruebe que están dentro de la razón, es decir, no >1A.)**

Actual: _____ A

Voltaje: _____ V

2. El voltaje es igual a la corriente multiplicada por la resistencia ($V = IR$), así que según sus datos, ¿Cuál es la resistencia del motor?

Resistencia: _____ Ω

3. Utilice diversos colores de la luz con su panel solar como antes. Mida la corriente en amperios y el voltaje en voltios mientras que funciona el motor. ¿Qué color dio los valores más altos? Registre sus respuestas a continuación.

Color: _____

Actual: _____ A

Voltaje: _____ V

Actividad 4: Análisis

1. Haga una afirmación científica sobre lo que observó mientras ejecutaba el panel solar.

La afirmación debe hacer referencia a los límites de las capacidades de la celda solar, en términos de longitudes de onda de la luz, la cantidad de luz, o la absorción de su entorno.

Ejemplo: "El panel solar funciona mejor con longitudes de onda visibles de luz".

2. ¿Qué evidencia tiene para respaldar su afirmación científica?

La evidencia debe citar datos en las secciones Observaciones y/o Experimentación.

Ejemplo: "El electrolizador llenó el cilindro de hidrógeno en 102 segundos cuando el panel solar estaba bajo luz visible, pero tomó 240 segundos bajo ultravioleta y 307 segundos bajo infrarrojo".

3. ¿Qué razonamiento utilizó para apoyar su reclamación?

El razonamiento puede extraerse de la sección de Antecedentes y/u otros materiales utilizados en clase.

Ejemplo: "El panel solar debe haber estado produciendo menos corriente si tardó más en alimentar el electrolizador".

4. Diseñar un experimento que podría probar la relación entre la energía de la luz y su longitud de onda.

Hay muchas respuestas posibles, pero debe haber una mención de una manera de medir tanto la longitud de onda y la energía de la luz y el control claro y los grupos experimentales en el experimento.

Actividad 5: Conclusión

1. Basándose en sus observaciones, ¿cree que un panel solar sería útil para generar energía eléctrica de cualquier tipo de luz? Explique su razonamiento.

"Sí" o "no" son ambas respuestas aceptables, siempre y cuando los estudiantes puedan señalar datos específicos de sus experimentos para respaldar su afirmación.

2. ¿Cuál dirías que es el factor más importante para determinar cuánta energía eléctrica produce un panel solar?

Las respuestas de los estudiantes deben referirse a los datos recogidos en todos los experimentos.

3. Sobre la base de sus observaciones, ¿qué color de la luz emite más energía?

Las respuestas dependerán de la variedad de colores utilizados.

4. Sobre la base de sus observaciones, ¿qué color de fondo absorbe más energía?

Las respuestas dependerán de la variedad de colores utilizados.

Fuente: ("FCJJ16_Stoichiometry_CH_Teacher.pdf", s/f)

Anexo 11. Guías de Ensamblaje

Módulo Educativo de Energía Renovable:

Fuente: ("001272764-an-01-es-ERNEUERBARE_ENERGIEN_PAEDAGOGIK_KIT.pdf", s/f)

Módulo Educativo de Energía Eólica:

Fuente: ("wind-energy-kit-spanish-assembly-guide.pdf", s/f)

Guía de Montaje de Hidrógeno Fotovoltaico:

Fuente: ("kns9es.pdf", s/f)

Set Educativo De Energía Renovable Guía de Ensamblaje

CE Model No.: FCJJ-37

⚠ Advertencia:

Para evitar el riesgo de causar daños físicos, lesiones graves y la muerte:
Este equipo solo debe ser utilizado por adultos y niños sobre la edad de 12 años (y solo bajo la supervisión de adultos quienes se hayan familiarizado con las medidas de seguridad descritos en el manual. Mantenga fuera del alcance de los niños y los animales ya que el equipo educativo contiene partes pequeñas que de ser tragadas podrían resultar en la muerte. Las Pilas de Combustible generan gases que pueden prenderse en fuego fácilmente lea las instrucciones antes de darle uso al equipo de ensamblaje y manténgalas cerca para referirse a ellas durante el uso.

Instrucciones para Operar la Batería:

1. Los diferentes tipos de baterías tales como las recargable, alcalinas, estándares, nuevas o usadas deberían de ser usadas a por separado y no mezcladas entre sí.

2. Solo los adultos deben quitar y poner las baterías. Use un desarmador para desatornillar el tornillo que mantiene la tapa de las baterías en su lugar. Una vez que saque el tornillo, levante la tapa y saque las baterías manualmente. Favor de no emplear objetos de metal para sacar las baterías. Preste atención a la polaridad de las baterías y asegúrese de insertarlas de modo correcto de acuerdo a dicha polaridad (la extremidad positiva debería de corresponder al signo de "+" y la extremidad negativa debería de corresponder al signo de "-" en el compartimento de las baterías), cierre el compartimento de las baterías y asegure la tapa en su lugar al volver a atornillar y apretar el tornillo de la tapa.

3. Baterías no-recargables no deberían de cargarse.

4. Los cables del compartimento de las baterías no deben conectarse a un enchufe de AC.

5. Las terminales de recurso del compartimento de baterías no deben padecer corto-circuito.

6. Los cables de repuesto de colores rojo y negro no deben ser introducidos en un enchufe de AC.

7. Baterías exhaustas deben sacarse del compartimento de baterías.

Set Educativo De Energía Renovable

Guía de Ensamblaje

¿Que necesitas? ● SEER ● 2 Baterías AA ● 100ML de agua ● Tijeras

IMPORTANTE: Use el sentido común cuando conecte las partes descritas en la guía. Conexiones incorrectas pueden resultar en la causa de un sistema fallido o en daños permanentes al equipo.



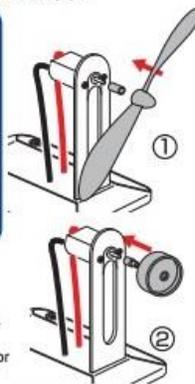
Experimento 1

Experimento 1: Use Un Panel Solar Para Encender El Modulo LED

Conecte los cables al panel solar y al cartucho del circuito para encender el modulo LED (ilustrado a continuación). Asegure de conectar los cables rojo y negro a sus terminales de color correspondientes.

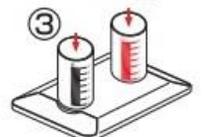
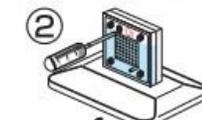
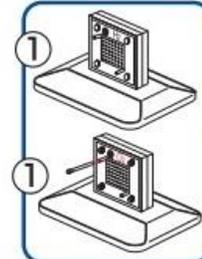
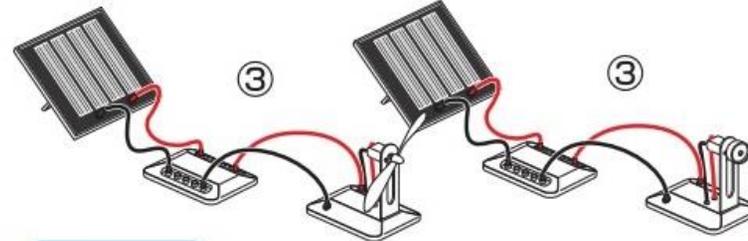
Experimento 2: Use Un Panel Solar Para Encender El Pequeño Abanico/Modulo De Motor De Llant

1. Ensamblaje del pequeño abanico: Conecte el pequeño adaptador blanco a la hélice del abanico. Conecte el adaptador al axis del motor.
2. Ensamblaje de la llanta del auto: Conecte firmemente el otro adaptador (tapizado) blanco a la pequeña llanta. Adjunte el adaptador al axis del motor.



Experimento 2

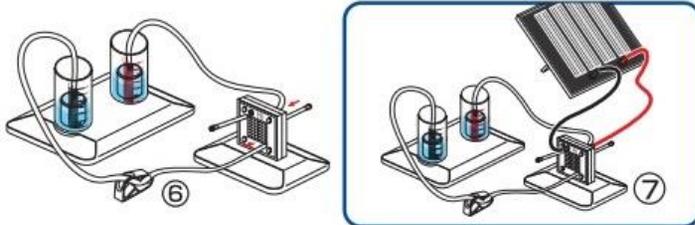
3. Conecte el panel solar al cartucho del circuito y luego a la base del motor (de la manera que esta simulado en la ilustración). El abanico podría necesitar que usted lo impulse con los dedos para arrancar.



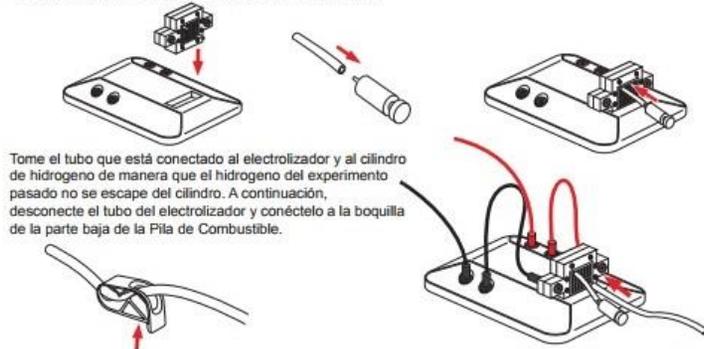
Experimento 3: Preparación Del Modulo Electroizador y Producción de Hidrogeno A Base De Energía Solar

1. Inserte el electroizador (con la terminal arriba) por el orificio de la base. Corte piezas de hule de 2x4cm e introduzca un alfiler negro en la extremidad del tubo. Coloque el tubo con el alfiler negro en el alfiler superior del lado del hidrogeno (la terminal negra). Coloque el otro tubo firmemente sobre la boquilla del lado del oxigeno.
2. Llene la jeringa con agua DESTILADA. Del lado rojo de oxigeno del electroizador, conecte la jeringa al tubo destapado. Llène el electroizador hasta que el agua empiece a chorrear fuera del tubo. Adjunte un tapón rojo al tubo del lado del oxigeno. Espere 3 minutos.
3. Una los cilindros redondos a la base de cilindros, presione hacia abajo y atornille para asegurarlos en sus sitios, luego agregue agua hasta la línea del "0".
4. Corte un tubo de 20cm. Llévelo a través de los hoyos de la laña, la cual debería de estar a 4cm de la extremidad del tubo.
5. Coloque los recipientes internos en los cilindros de afuera teniendo en cuenta que las grietas no estén obstruidas por rines interiores de plástico. Asegúrese de que el agua siga al nivel del "0". De no ser así, extraiga un poco de agua con la jeringa hasta que el nivel del agua baje a "0". Conecte los tubos a las boquillas superiores en los recipientes internos. Si los tubos se conectan a los cilindros internos en último lugar, no habrá aire atrapado en los recipientes internos.
6. Conecte el otro extremo del tubo a la parte baja del lado negro de hidrogeno del electroizador. Conecte el otro extremo del tubo a la parte baja del lado rojo de oxigeno del electroizador.
7. Conecte el electroizador al panel solar usando los cables correspondientes. Expóngalo directamente al sol. (Importante: asegúrese de que las conexiones sean correctas, de no ser así podría ocurrirle daños al equipo, asegúrese de que la laña) esté ABIERTA. El sistema ahora podrá producir oxigeno e hidrogeno en sus cilindros correspondientes. El ciclo habrá concluido cuando haya burbujas en el recipiente del hidrogeno. Desconecte el electroizador. Procedimiento para producir gas repetidamente: desconecte los taponcitos de los tubos que están conectados a las boquillas del electroizador. Esto permitirá que el agua fluya dentro de los cilindros internos para reemplazar los gases y hacer que los niveles de agua regresen al "0". Vuelva a insertar los tapones en los tubos y repita la el proceso de electroización.

Experimento 3



USANDO PILAS DE COMBUSTIBLE PARA CONVERTIR EL HIDROGENO EN ELECTRICIDAD
 Inserte la Pila de Combustible en la base con la extremidad roja del mismo lado que las terminales rojas en la base. Conecte una válvula purgante verde de un extremo a un tubo de 2cm y del otro extremo a la boquilla superior del lado de hidrogeno de la Pila de Combustible.

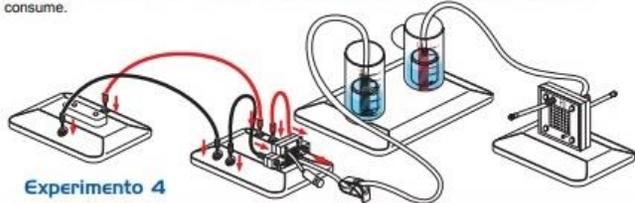


Tome el tubo que está conectado al electrolizador y al cilindro de hidrogeno de manera que el hidrogeno del experimento pasado no se escape del cilindro. A continuación, desconecte el tubo del electrolizador y conéctelo a la boquilla de la parte baja de la Pila de Combustible.

Experimento 4: Usar Una Pila de Combustible PEM Para Encender El Modulo LED

Conecte la Pila de Combustible a la base usando los cables de color negro y rojo. Asegure de insertar el cable negro en la terminal delineada de negro y el cable rojo en la terminal delineada de rojo. Ahora conecte el modulo LED a la base del mismo modo.

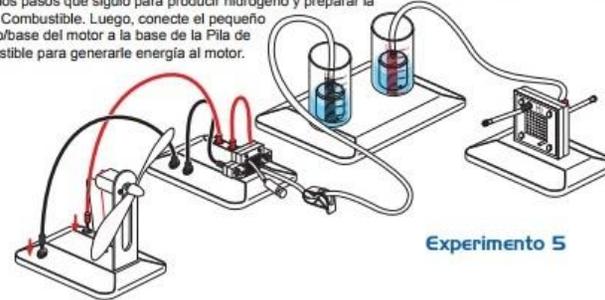
Debería de notar como parpadean las luces del modulo LED. De no ser así, purgue una pequeña cantidad de la válvula para dejar que escape un poco de gas y se infiltre en la Pila de Combustible. Conforme la luz del LED consume energía de la Pila de Combustible, esta en sí consumirá hidrogeno del cilindro y usted podrá ver que el nivel del agua refleja la cantidad de gas que se consume.



Experimento 4

Experimento 5: Usar Una Pila de Combustible PEM Para Encender El Modulo Del Abanico

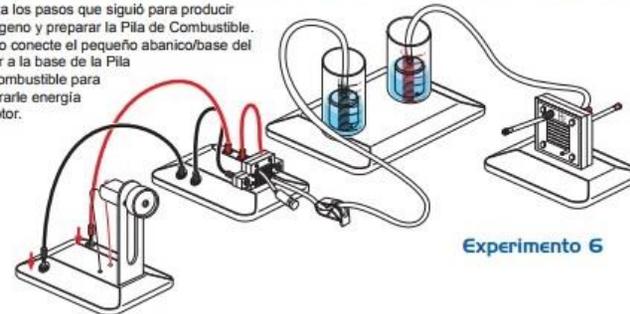
Repita los pasos que siguió para producir hidrogeno y preparar la Pila de Combustible. Luego, conecte el pequeño abanico/base del motor a la base de la Pila de Combustible para generarle energía al motor.



Experimento 5

Experimento 6: Usar Una Pila de Combustible PEM Para Encender El Modulo Del Auto

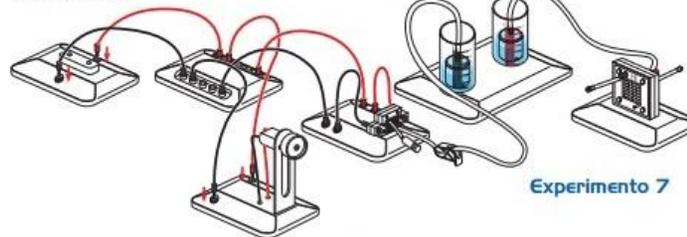
Repita los pasos que siguió para producir hidrogeno y preparar la Pila de Combustible. Luego conecte el pequeño abanico/base del motor a la base de la Pila de Combustible para generarle energía al motor.



Experimento 6

Experimento 7: Usar Una Pila de Combustible PEM Para Encender El Modulo Del Abanico/Motor Y El Modulo LED Simultáneamente.

Repita los pasos que siguió para producir hidrogeno y preparar la Pila de Combustible. Luego conecte el pequeño abanico/base del motor y el modulo LED al cartucho del circuito. Ahora conecte el cartucho del circuito a la base del modulo de la Pila de Combustible para generarles energía a los dos módulos simultáneamente.



Experimento 7

DESCUBRIENDO LA ANERGIA EÓLICA Ensamblaje de la Turbina Eólica

Favor de referirse a las instrucciones del Ensamblaje del Kit Educativo Wind Kit incluido en su Kit HydroWind para hacerle referencia mientras que construye la Turbina Eólica.

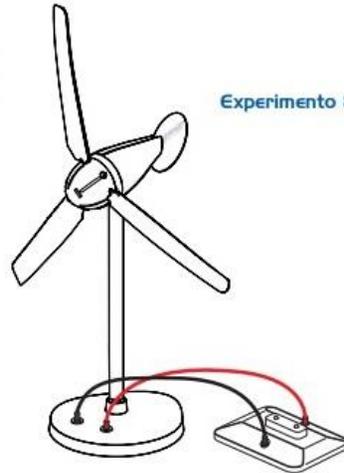
A continuación esta la tabla con el pronóstico de velocidades de RMP, corriente, voltaje, y potencia cuando se coloca el Wind Kit in frente a un viento que lleva una velocidad de 10mph y mientras está conectado a una carga de 50 Ohms. Este nivel de resistencia se podría aplicar usando un medidor de potencia o el modulo de resistencia variable de Horizon (que viene incluido en el Set Educativo de energía Renovable – FCJJ-37)

Especificaciones Técnicas de Wind Kit:

Tipo de Hélice	Numero de Hélices	Velocidad del Viento (mph)	Carga (Ohm)	Producción de Voltaje (V)	Producción de Corriente (mA)	Producción de Poder (W)	Velocidad de Rotor (RPM)
A	3	10	50	1.15	28	0.03	400
B	3	10	50	1.35	30	0.04	490
C	3	10	50	2.50	50	0.125	705

Experimento 8: Usar La Turbina Para Encender El Modulo LED

Encienda el modulo LED con solo conectar los cables de la turbina a sus respectivas terminales en la base del modulo. Coloque la turbina de manera que quede directamente frente la fuente de viento.



Experimento 8

25

Experimento 9: Preparación del Modulo Electrolizador y la Producción de Hidrogeno a Través de Energía Eólica

Conecte los cables rojo y negro a sus terminales correspondientes (colocadas en la turbina y la pila de combustible reversible). Para obtener mejores resultados usando Wind Kit (junto con la pila de combustible reversible incluida) para producir hidrogeno, prepare el centro de turbinas eólicas con 3 hélices. Combine los diferentes tipos de hélices (A, B Y C). Coloque el ángulo de las hélices a 6 grados. Asegure que la turbina de aire esté produciendo por lo menos 2.5 volts. De no ser así acerque la turbina eólica al abanico eléctrico hasta que produzca el nivel de voltaje deseado. Entre estos ángulos, la turbina es más sensible a las altas velocidades de viento.

Deje que el abanico eléctrico y la turbina eólica permanezcan encendidos unos 60 minutos a la mayor velocidad posible de modo que se genere una cantidad de gases de oxigeno y gases de hidrogeno suficientes para que se almacenen en los tanques de agua y gas.

Si el viento es suficientemente vasto el sistema comenzara a producir hidrogeno y oxigeno en los respectivos cilindros. Cuando se produzcan burbujas en el cilindro del hidrogeno el ciclo estará completo. Desconecte la pila de combustible reversible de la turbina eólica.

Procedimiento para reproducir gas: desconecte los taponcitos de los tubos adjuntos a las perillas de la pila de combustible reversible. Esto permitirá que entre el agua a los cilindros y de esta forma reemplazar los gases y volver a bajar los niveles de agua a "0". Vuelva a insertar los tapones a los tubos y repita la electrolisis de nuevo. *Nótese: también puede usar el paquete de batería para llevar a cabo la electrolisis (en caso de que no haya fuente de viento).

Experimento 10 (Alternativo): Usar El Compartimento De Baterías Para Realizar La Electrolisis (En Caso De Que No Haya Sol o Viento)

Favor de retirar el tornillo que mantiene puesta la tapa del compartimento de baterías (use un desarmador). Oprima la tapa de manera que la quite con sus dedos y abra el compartimento. Intente NO tocar los cables al abrir dicho compartimento. Coloque dos baterías AA de manera indicada. Coloque la tapa en su sitio de nuevo y atornille de nuevo usando un desarmador.

- ⚠ Asegúrese de que el interruptor del compartimento de baterías este apagado antes de colocar las baterías en su sitio.
- ⚠ AVISO: Si el cable sufre un corto circuito, las baterías podrían calentarse u ocasionar quemaduras, o un incendio.
- ⚠ Nótese: La energía de la batería se podría consumir después de 4 o 5 veces que se use.

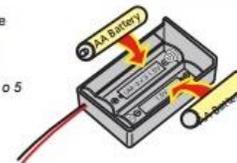


Experimento 9

empuje y deslice la tapa cobertura para abrirla



Experimento 10



26

SET EDUCATIVO ENERGIA RENOVABLE APOYO TECNICO

1. Los niveles de agua no bajan cuando ambos tubos de los costados de la Pila de Combustible se encuentran desconectados

Solución:

Revise si los orificios en la parte interna del recipiente interior están bloqueados. De ser así, torne el recipiente interno hasta que el agua se adentre en los orificios y llene el recipiente interior.

2. El electrolizador no produce hidrogeno u oxigeno

Solución 1:

Revise que los cables estén conectados de manera apropiada y asegure que no haya conexiones inestables. La Pila de Combustible podría ser totalmente destruida si es que el cable rojo proveniente del compartimento de baterías está conectado a la terminal negra en la Pila de Combustible.

Solución 2:

Reemplace las baterías por unas nuevas.

3. La carga no podrá funcionar mientras haya hidrogeno en el recipiente interior

Solución:

Oprima la válvula verde para purgar el pequeño deposito de hidrogeno. Después de esto podrá observar como la carga funciona de nuevo.

4. El proceso de electrolisis de agua se vuelve lento

Solución:

Introduzca hidrogeno a través del lado de oxígeno de la Pila de Combustible usando una jeringa. Espere por lo menos 3 minutos antes de utilizar el electrolizador de nuevo.

5. No se produce hidrogeno mientras se use la turbina afuera

Solución:

Si la velocidad no es suficientemente potente, no se producirá energía. Use un abanico eléctrico con un viento más rápido para realizar la electrolisis usando el electrolizador, o realice el experimento bajo condiciones de viento más potente.

6. La Pila de Combustible y/o el electrolizador se inunda de agua

Solución 1:

Utilice la jeringa para succionar el agua y despejar la Pila de Combustible.

Solución 2:

Utilice una secadora de cabello para proporcionarle aire caliente a la célula y las perillas a sus costados. Asegúrese de proporcionar aire caliente a la Pila de Combustible.

7. La Pila de Combustible no puede generar electricidad mientras quede hidrogeno en el recipiente (de hidrogeno)

Solución 1:

Oprima la válvula verde para purgar los restos de hidrogeno.

Solución 2:

Use la jeringa para succionar el agua de la Pila de Combustible.

Wind Energy Education Kit

GUIA DE ENSAMBLAJE



Modelo No.: FCJJ-39

⚠ Advertencia

Para evitar el riesgo de daños a la propiedad, lesiones graves o la muerte:
Este equipo sólo debe ser utilizado por personas mayores de 12 años y siempre bajo la supervisión de una persona adulta habituada a las medidas de seguridad descritas en el kit. Mantener fuera del alcance de niños pequeños y animales, ya que contiene piezas pequeñas que pueden ser tragadas.
La célula de combustible genera gases fácilmente inflamables.

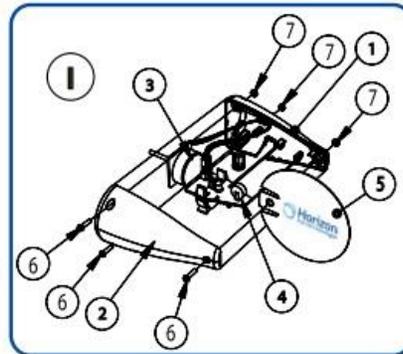
Wind Energy Education Kit

GUIA DE ENSAMBLAJE

Favor de hacer referencia a la siguiente ilustración del modelo y la Lista de Partes numeradas para construir la turbina.

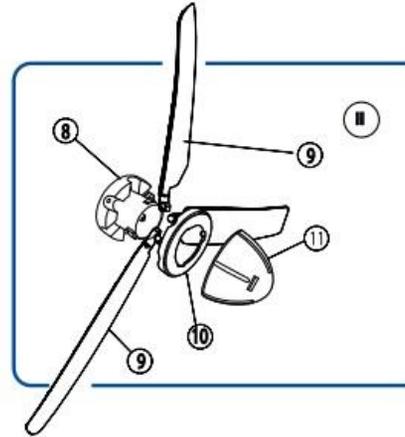
I. Cuerpo Principal Lista de Partes

1. Ventriculo Izquierdo
2. Ventriculo Derecho
3. Generador
4. Cartucho con Circuito Impreso
5. Estrato Polipropileno
6. Tornillo, M2.5 x 8mm
7. Botón Ex, M2.5
8. Base De Indicador Giratorio
9. Hélice Perfil Modelo
10. Sostén de Hélices
11. Candado de Hélices Ensambladas
12. Hélice/Hoja Polipropileno
13. Poste de aluminio
14. Tornillo, M3 x 2 mm
15. Cable de Potencia
16. Base de Apoyo
17. Toma de salida
18. Punta de Seguridad



www.horizonfuelcell.com

II. Ensamblaje de la Unidad de Hélices - Hélice vista de perfil:



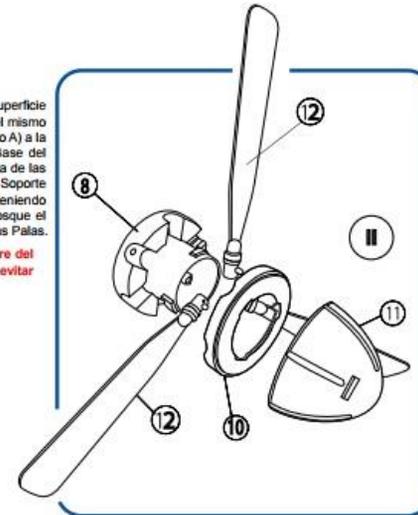
Coloque la Base del Rotor (8) sobre la superficie plana de una mesa. Instale 3 piezas del mismo tipo de palas perfiladas (marcadas como B o C) a la misma distancia unas de otras en la Base del Rotor. Presione para insertar la lengüeta de las palas en la Base del Rotor. Coloque el Soporte de las Palas (10) cubriéndolas, teniendo presente la dirección del Soporte. Enrosque el Cierre (11) encima del Ensamblaje de las Palas.

***No atornille demasiado fuerte el Cierre del Ensamblaje de las Palas para evitar dificultades al abrirlo.**

Hélice/Hoja:

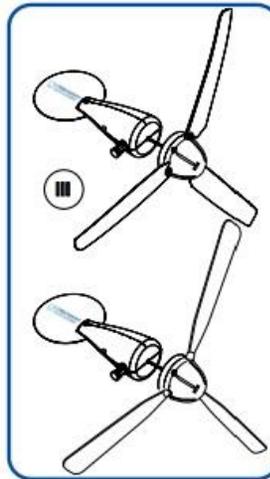
Coloque la Base del Rotor (8) sobre la superficie plana de una mesa. Instale 3 piezas del mismo tipo de palas laminadas (marcadas como A) a la misma distancia unas de otras en la Base del Rotor. Presione para insertar la lengüeta de las palas en la Base del Rotor. Coloque el Soporte de las Palas (10) cubriéndolas, teniendo presente la dirección del Soporte. Enrosque el Cierre (11) encima del Ensamblaje de las Palas.

***No atornille demasiado fuerte el Cierre del Ensamblaje de las Palas para evitar dificultades al abrirlo.**

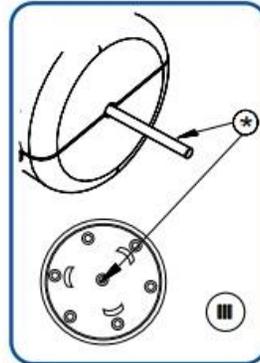


1

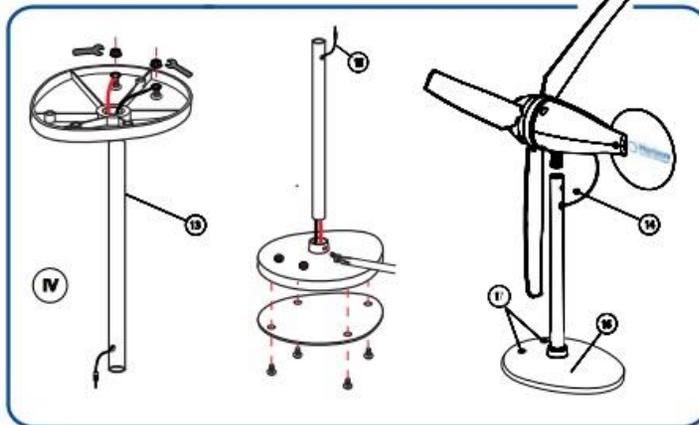
III. Instalación de Unidad de Hélices



Presione el eje del rotor en su base para asegurarse de que el cuerpo principal y el rotor están conectados correctamente. Inserte completamente la Unidad de las Pálas en el eje, comprobando que esté ensamblada de forma segura. Si no está instalada correctamente, el rotor no hará girar de forma eficaz el eje y no se generará electricidad.



IV. Apoyar la Base Ensamblada



2

Activar el Yaw:

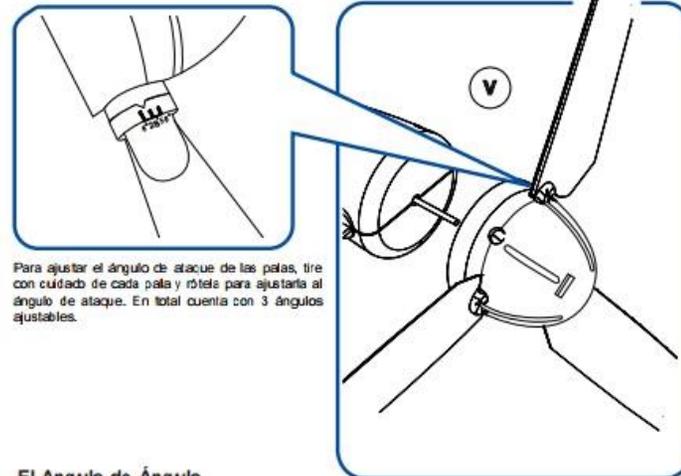
Yaw – girar sobre un eje vertical. Moverse de manera inestable o zigzaguear.

El agujero del cable conector debe situarse en el mismo lado del tubo (13) que cuenta con dos agujeros alineados verticalmente. Inserte el Tubo de Aluminio en la Base. Coloque la Góndola en el extremo del Tubo de Aluminio y asegúrela con el tornillo (14). El tornillo debe asegurarse desde la parte trasera del cuerpo de la turbina de viento en la muesca de la clavija de plástico para permitir al cuerpo de la turbina moverse y orientarse hacia el viento.

Desactivar el Yaw (No aparece en la ilustración posterior)

El agujero del cable conector debe situarse en el lado del tubo (13) opuesto a los dos agujeros alineados verticalmente. Inserte el Tubo de Aluminio en la Base. Coloque la Góndola en el extremo del Tubo de Aluminio y asegúrela con el tornillo (14). El tornillo debe asegurarse en la clavija sólida de plástico desde la parte delantera del cuerpo de la turbina de viento y a través del agujero del tubo de aluminio para impedir al cuerpo de la turbina moverse y orientarse hacia el viento.

V. Establecer Ángulo de Hélices



Para ajustar el ángulo de ataque de las pálas, tire con cuidado de cada pala y rótelas para ajustarla al ángulo de ataque. En total cuenta con 3 ángulos ajustables.

El Ángulo de Ángulo

Las Hélices en sí tienen diferentes ángulos en diferentes secciones para realzar sus funciones. De este modo se compensa la velocidad a la que rotan las hélices con respecto a los diferentes radios (secciones) y a su vez no se centran en una sección en particular. Podría conocer más a fondo el parámetro llamado proporción de velocidad a punta para comprender mejor este proceso. Esta proporción define a qué velocidad gira la turbina bajo la velocidad del viento. Al cambiarle el ángulo a la hélice también cambia dicha proporción. Por ende, la cantidad de energía eólica producida por la turbina cambia. Cada línea marcada en el indicador giratorio representa un cambio de 22 grados. Por lo tanto el ángulo se puede ajustar de 6 a 50 grados.

Cuando esta a una menor cantidad de grados, la velocidad de inicio debe de ser mayor. La mayor productividad de energía eólica ocurre cuando el ángulo esta en 28 grados. La velocidad de viento para iniciar debe de ser mayor cuando el ángulo esta a un nivel más bajo. Si la velocidad de aire para empezar es baja, debería de incrementar el ángulo para obtener un mayor nivel de productividad eléctrica.

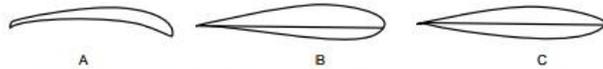
3

Especificaciones Técnicas de Wind Kit

Tipo de Hélice	Numero de Hélices	Velocidad del Viento (mph)	Carga (Ohm)	Producción de Voltaje (V)	Producción de Corriente (mA)	Producción de Poder (W)	Velocidad de Rotor (RPM)
A	3	10	50	1.15	28	0.03	400
B	3	10	50	1.35	30	0.04	490
C	3	10	50	2.50	50	0.125	705

Diferentes Tipos de Hélices

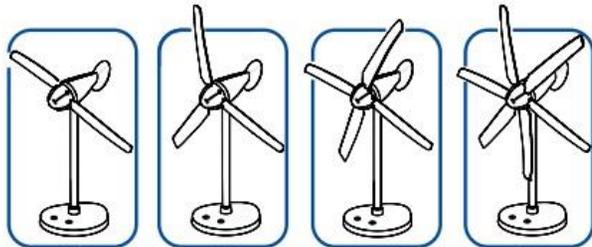
Hay tres tipos de hélices incluidos en el Wind kit. Después de obtener la productividad óptima con un cierto tipo de hélice, la puede reemplazar con otro tipo de hélice y comparar el rendimiento de cada una.



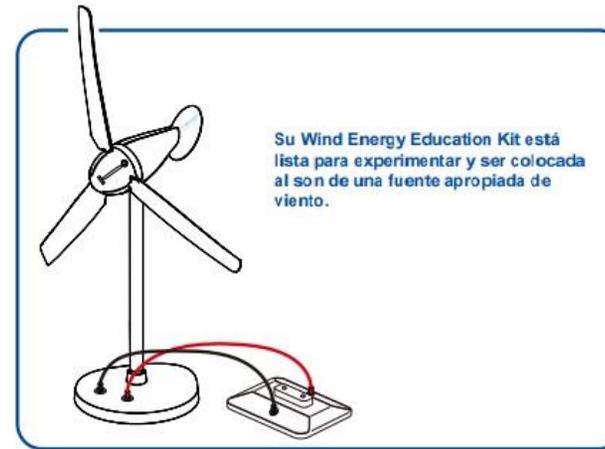
La diferencia entre estos tres perfiles de hélices es la cantidad de materia que da la cara al viento. Todas tienen un perfil mucho más curvado en la parte posterior (el lado bajo el viento) para incrementar la distancia que el viento recorre. El número del tipo de hélice está grabado en la parte de la hélice donde se conecta al interruptor (o sea la "raíz" de la hélice).

Cambiar el Número de Hélices

Hay 6 posiciones en las cuales se pueden instalar las hélices y es posible instalar hasta 6 hélices. No obstante, entre más hélices, menos ajustable el ángulo. Se recomienda que experimente con 2, 3, 4 y 6 hélices instaladas bajo diferentes velocidades y ángulos. Si usted cuenta con suficiente viento, intente reducir la cantidad de hélices a 2 ya que de esta manera obtendrá más energía eólica que si utilizara 3 hélices. Si instala más hélices le permitirá a la turbina que empieza a rotar con más rapidez bajo condiciones con menos viento.



4



Comúnmente se utiliza un ventilador portátil para producir el viento necesario para activar la turbina de Wind Kit. Un ventilador más grande le permite experimentar con el rendimiento de la turbina bajo condiciones de mayor velocidad de viento. Puede bajar la velocidad del ventilador o incrementar la distancia entre la turbina y el ventilador para obtener niveles más bajos de viento. Es difícil conseguir altos niveles de viento con un ventilador pequeño. Un ventilador con un diámetro de 16" es adecuado para la mayoría de los experimentos de energía eólica alterna. Para un rendimiento óptimo, alinee el centro del ventilador con el de la turbina. Por ende, es preferible que la altura del ventilador fuera ajustable.

El viento de una fuente natural nunca es continuo. Por lo tanto la potencia de la turbina siempre varía. Esto puede conllevar a la incertidumbre en cuanto a la información que se recauda después de cada experimento. Para reducir la inconsistencia en la velocidad del viento debida a la turbulencia, opere el aparato en medio de un pasillo o utilice un túnel ya que el viento será más estable bajo estas condiciones.

Con el Módulo LED que se incluye puede ilustrar la energía de salida producida por el Wind Energy Education Kit, utilizando esta energía para iluminar las luces LED del Módulo. Puede usar el Horizon Energy Monitor FCJ-24 (no incluido) para medir las luces LED.

Para conectar el Módulo LED, conecte simplemente el extremo de los cables rojo y negro del módulo en las tomas de color rojo y negro de la Base. Se recomienda encarecidamente conectar el módulo cuando la turbina de viento no esté en movimiento y no se haya colocado en una fuente de viento. Tenga cuidado de disponer los cables de forma que no se enreden con las púas en rotación. Utilice el Horizon Energy Monitor para medir cuánto voltaje se produce en las condiciones de su experimento.

Este Módulo LED está concebido como un aparato de demostración Básica. Para realizar experimentos mucho más detallados y explorar todo el potencial educativo de su Kit de Viento, recomendamos que adquiera los electrolizadores PEM de Horizon. Con este aparato, y en combinación con los electrolizadores PEM de Horizon, puede llevar a cabo multitud de experimentos, como por ejemplo:

5

¡Experimente con Wind Energy Education Kit!

A continuación están enlistados algunos experimentos de viento adicionales que pueden llevarse a cabo con la turbina Wind Kit usando un medidor múltiple o el Entrenamiento del uso del Horizon Energy Monitor para computadoras.

- **Utilizar Diferentes Hélices Genera Energía eólica**
Este experimento demuestra los diferentes niveles de energía eólica que se producen con diferentes hélices (con curvas variadas). Las hélices de turbinas tienen la misma forma que las alas de un avión y una sola medida no llena todos los requisitos. Usted podrá medir y comprender que la forma que tiene una hélice puede llegar a producir la potencia óptima bajo diferentes condiciones.
- **¿Cuántas Hélices Hay Que Usar Para Optimizar La Energía eólica Que Se Genera?**
Usar el número correcto de hélices en ciertas condiciones es importante para promover la mayor cantidad de electricidad posible que una turbina puede producir. Usted va a poder medir y comprender que decisiones hay que tomar en términos de cuantas hélices se requieren para producir los mejores resultados.
- **Ajustar El Ángulo Para Producir El Mejor Rendimiento**
Hacer que las hélices adquieran un ángulo hacia el viento son elementos importantes para crear la mayor ventaja posible – o disminuyendo la velocidad de las rotaciones. Este experimento le enseñará a usar técnicas para disminuir la velocidad y ajustar las hélices para obtener el máximo nivel de energía eólica del viento.
- **¿Cuánta Energía eólica Se Puede Extraer Del Viento?**
La energía eólica extraída del viento es gratis pero no ilimitada conforme a las leyes de física. Este experimento le enseñará cómo medir la velocidad del viento y comparar esta con la energía eólica extraída del viento.
- **Usar Energía eólica De Viento Para Generar Hidrogeno**
Uno de los usos de la energía eólica de viento es el poder de generar hidrogeno de tal manera que no contamina el medio ambiente. Este experimento demuestra tal y como realizarlo.
- **Medir El Rendimiento De La Turbina Por Medio De RPM**
Si usted usa el instrumento de medida electrónica podrá medir el voltaje, corriente, potencia y RMP (Revoluciones Por Minuto), velocidad rotacional de la turbina, y también podrá ver las medidas en el aparato en sí al igual que en su computadora. Observe las RPM conforme cambia la velocidad del viento y la carga del resistor. Atestigüe como disminuir la velocidad de la turbina y pararla por completo sin siquiera tocarla – solo con agregarle la combinación de resistores adecuada. Tome medidas eficientes de energía eólica para comprender como funciona este maravilloso aparato.
- **Construya un parque eólico**
Coloque múltiples turbinas WindPitch en hileras de manera que queden paralelas para estudiar el voltaje, las corrientes, y la energía eólica que se genera. Diseñe y simule un parque eólico comercial a escala modelo y aprenda sobre la energía eólica que se puede producir a nivel masivo.

Compre Wind kit adicionales y la Base de la Tabla del Circuito Modulo junto con los cables negro/rojo que se requieren para conectar las múltiples turbinas – sitio web <http://www.horizonfuelcell.com/>

Medidas de Seguridad

Antes de proceder y llevar a cabo los experimentos con la turbina eólica, nótese que el indicador giratorio puede rotar a miles de RPM (Rotaciones Por Minuto), especialmente cuando no está cargado. Cuando hay un nivel alto de velocidad acompañado de un alto nivel de productividad, la velocidad a la que rota el indicador giratorio puede ser igual de alta. Usted puede recibir daños corporales si tiene contacto con las hélices mientras estas rotan a una velocidad considerable. Debe de tener cuidado al instalar la turbina y asegurar que este bien incorporada de modo que no "camine" o se caiga. El peso de la base de la turbina ha sido incrementado (comparado a los modelos anteriores) para prevenir que esta "camine". Si usted coloca un tapete de hule o un libro delgado debajo de la base puede ayudar a balancear mejor la turbina y estabilizarla si es que la superficie de la mesa es demasiado rígida. Puede usted colocar adhesivo en el Extensor de la Base para ayudar a asegurar la base a una superficie segura. En caso de que la turbina se desbalancee a causa de velocidad excesiva, para evitar lastimarse, favor de no intentar atraparla. Al extender los "Extensores de Base" se incrementa el diámetro de estabilidad de la turbina y esto ayuda a reducir las posibilidades de que se voltee. Nótese que uno de los extensores tiene que estar alineado en la dirección veleta para prevenir que la turbina se voltee. Coloque los cables de la turbina para que recorran el interior del tubo de aluminio y salgan por la apertura del poste y se conecten a otros aparatos de tal modo que no se enreden o intervengan con las hélices rotantes, todas las medidas de seguridad posteriores ayudan a prevenir y reducir accidentes durante el uso de la turbina. No obstante, usted debe asegurar que las condiciones en las cuales opera la turbina sean favorables y seguras para realizar los experimentos. La supervisión de un adulto es necesaria. Esta turbina eólica no es apta

Hidrógeno solar fotovoltaico

Guía de montaje

Número del modelo: FCJJ-16



ADVERTENCIA

Para evitar daños, lesiones o incluso la muerte:

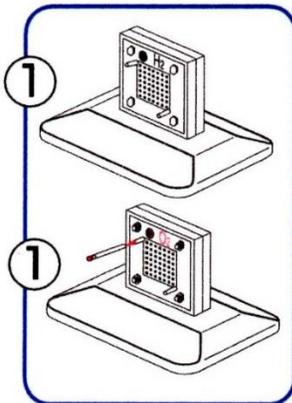
Este kit ha sido diseñado para personas mayores de 12 años y sólo bajo la supervisión de adultos que hayan leído y comprendido las instrucciones de este manual. Mantenga este aparato lejos del alcance de niños pequeños y animales: las piezas pequeñas pueden ser ingeridas y constituyen un riesgo de asfixia. Lea atentamente las instrucciones antes de utilizar el aparato. Guarde el manual del usuario para cuando necesite consultarlo.

Las Baterías:

1. Sólo adultos pueden sacar o introducir las baterías AA.
Desatornille el tornillo de fijación de la tapa con un destornillador Philips. Después de haber desatornillado el tornillo, abra la caja al deslizar la tapa. Saque las baterías con los dedos, no utilice un objeto metálico para sacarlas.
Controle la polaridad al introducir las baterías. Asegúrese de que el polo positivo de la batería coincida con el signo + de la caja y el polo negativa coincida con el signo -. Luego, cierre la caja y fije la tapa con el tornillo al utilizar un destornillador Philips.
2. ¡Nunca cargue baterías no recargables!
3. Nunca mezcle baterías recargables, baterías alcalinas y baterías estándares o baterías nuevas junto con baterías agotadas. Utilice siempre baterías del mismo tipo.
4. Nunca introduzca los conectores banana del compartimento de baterías en una toma de corriente alterna
5. Asegúrese de que nunca haya contacto entre las partes no aisladas de los terminales de los cables del compartimento de baterías (cortocircuito)
6. Nunca conecte el cable rojo y el cable negro (incl.) a una toma de corriente alterna
7. Saque las baterías agotadas del compartimento de baterías

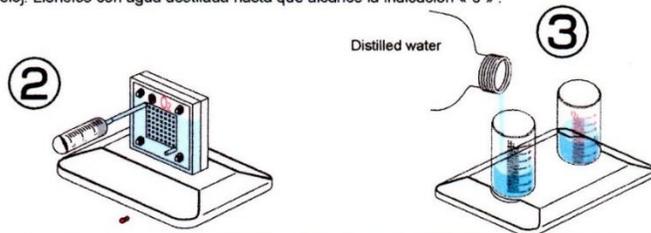
¿Qué necesita?

- FCJJ-16 ● Pilas AA = 2 uds. ● Agua destilada = 50ml ● Tijeras



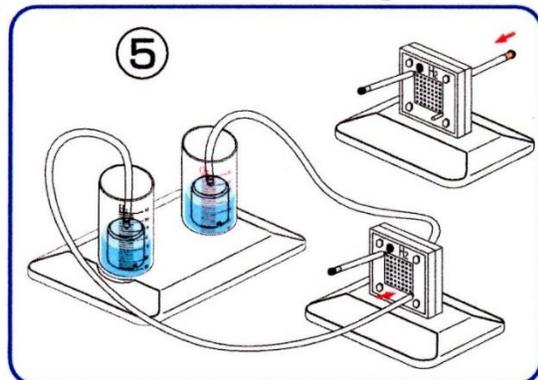
Preparar el electrolizador y producir hidrógeno con la energía solar:

1. Introduzca la pila de combustible « reversible » con las entradas eléctricas hacia arriba. Utilice unas tijeras para cortar dos partes del tubo de goma transparente (incl.) con una longitud de 4 cm. Introduzca un tapón negro en el extremo de uno de los tubos cortados y el tapón rojo en uno de los extremos del otro tubo cortado. Conecte el pequeño tubo con el tapón rojo a la parte superior de la pila de combustible « reversible » del lado oxígeno, O₂, es decir, del lado de la entrada roja. Conecte el tubo con el tapón negro a la parte superior de la pila de combustible « reversible » del lado hidrógeno, H₂, es decir, del lado de la entrada negra.
2. Rellene la jeringa con agua destilada. Saque el pequeño tapón rojo del tubo del lado oxígeno, O₂, e inyecte el agua destilada con la jeringa hasta que el agua alcance la salida de la parte inferior. Vuelva a poner el botón rojo y espere aproximadamente 3 minutos para que la membrana de la pila de combustible se humedezca.
3. Ponga los cilindros en la base y fíjelos al girar cuidadosamente en el sentido de las agujas del reloj. Llénelos con agua destilada hasta que alcance la indicación « 0 ».



4. Ponga los contenedores en los cilindros al presionarlos cuidadosamente para introducirlos en la ranura. Controle que las ranuras no estén bloqueadas. Corte lo demás del tubo de goma transparente en dos longitudes idénticas (aproximadamente 20 cm). Conecte un extremo de los grandes tubos a la parte superior de los contenedores. Asegúrese de que no quede aire en el interior de los contenedores.

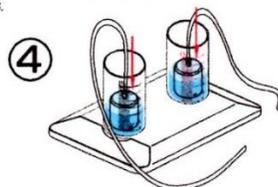
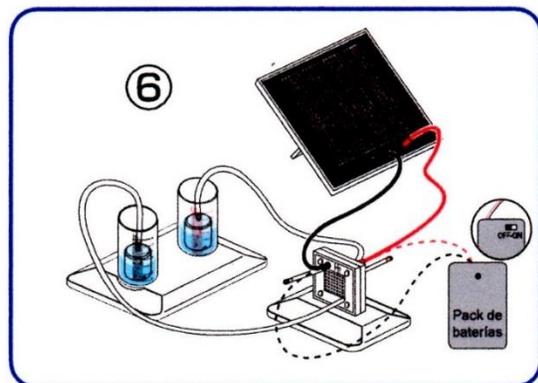
5. Conecte el otro extremo del tubo que sale de la parte superior del contenedor del tanque de hidrógeno (graduaciones negras) a la parte inferior de la pila de combustible « reversible » del lado hidrógeno, H₂, entrada negra. Conecte el tubo que sale de la parte superior del contenedor del tanque de oxígeno (graduaciones rojas) a la parte inferior de la pila de combustible, lado oxígeno, O₂, entrada roja. Conecte los cables de la placa solar fotovoltaica a las entradas de la pila de combustible « reversible » al respetar el código de colores, es decir, la polaridad. Instale la placa solar a la luz del sol.



6. El procedimiento de electrolisis se activa y aparece una burbuja de gas cada vez mayor en la parte superior de los contenedores. Si se escapan burbujas de hidrógeno de la base del cilindro para volver a la superficie del agua, el depósito de H₂ está lleno. Desconecte los cables de la pila de combustible « reversible ».

Procedimiento para una producción de gas repetida: desconecte los tubos conectados a la parte superior de la pila de combustible « reversible ». Esto permite que entre agua en los contenedores interiores para reemplazar los gases y reinicializar los niveles de agua a « 0 ». Vuelva a introducir los tubos y repita el procedimiento de electrolisis.

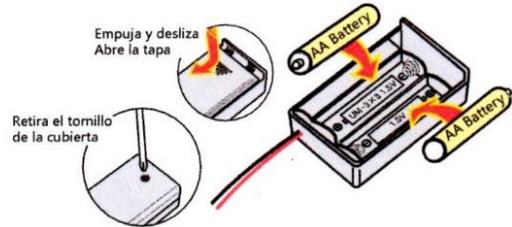
Nota: si no hay suficiente sol, puede utilizar el pack de baterías para alimentar la pila de combustible « reversible » y proceder al electrolisis.



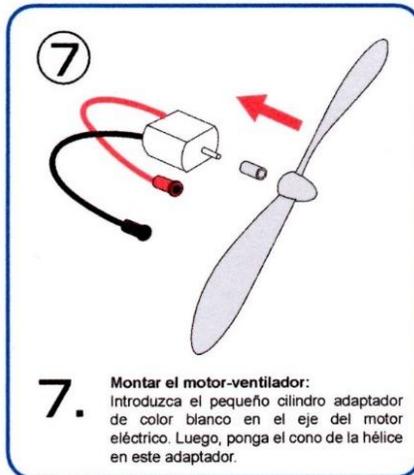
Utilizar el pack de baterías para proceder al electrolisis (si no hay suficiente sol):

Desatornille el tornillo de fijación de la tapa del pack de baterías con un destornillador philips. Deslice la tapa con el pulgar para abrir la caja. No toque los cables durante esta operación. Introduzca dos pilas AA. Respete la polaridad. Vuelva a poner la tapa y fije con el tornillo.

- ※ Asegúrese de que el conmutador de la caja de pilas esté en la posición « OFF » antes de introducir las pilas.
- ※ ¡OJO!: las pilas pueden sobrecalentarse, provocar quemaduras, hacer fundir la caja y encenderse si las partes desnudas de los cables de la caja de pilas se tocan, « cortocircuito ».
- ※ Nota: es posible que la energía de las pilas se agote después de aproximadamente 4 – 5 usos.

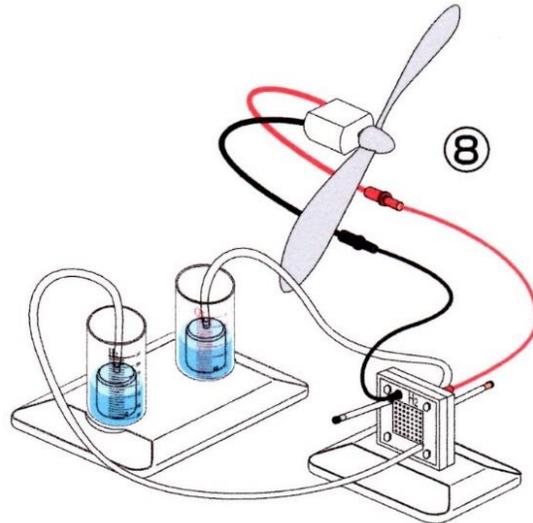


Utilizar la pila de combustible « reversible » para alimentar el motor eléctrico del ventilador:



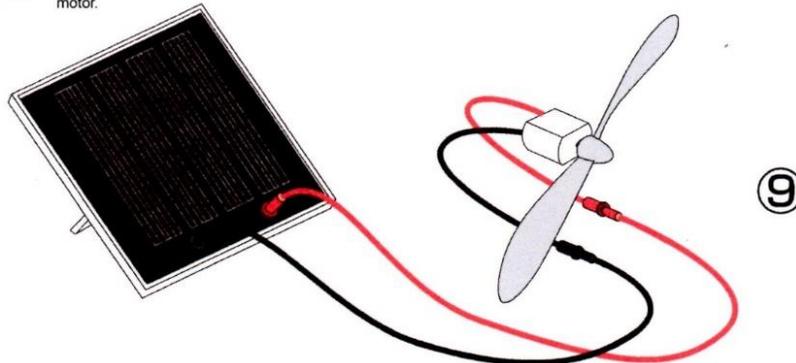
- 7.** Montar el motor-ventilador: Introduzca el pequeño cilindro adaptador de color blanco en el eje del motor eléctrico. Luego, ponga el cono de la hélice en este adaptador.

- 8.** Ponga los cables eléctricos del motor en las entradas de la pila de combustible (véase fig.). El motor se activa y empieza a consumir hidrógeno del tanque. Puede ser necesario dar un impulso a la hélice con un dedo para activar el motor.



Utilizar la placa solar fotovoltaica para alimentar el motor eléctrico del ventilador.

- 9.** Conecte el motor eléctrico del ventilador con los cables eléctricos a la placa solar fotovoltaica (véase la figura). Si la placa solar fotovoltaica está a la luz del sol, el motor se activa. Puede ser necesario dar un impulso a la hélice con un dedo para activar el motor.



Juego Hidrógeno Solar Fotovoltaico

Solución de Problemas

1. Al rellenar los cilindros con agua, no sube el nivel en los contenedores internos del tanque de gas, aunque están desconectados los tubos de la celda de combustible.

Solución:

Asegúrese de que los pequeños orificios de la parte inferior de los contenedores internos no estén bloqueados. Si es el caso, haga girar el contenedor cuidadosamente para desbloquear los orificios y permitir al agua de subir en el contenedor.

2. La celda de combustible «reversible» (electrolizador) no produce hidrógeno y/o oxígeno.

Solución 1:

Asegúrese de que los cables eléctricos estén conectados de manera correcta. Es posible destruir la celda de combustible «reversible» de manera definitiva si no respeta la polaridad, si hay una inversión de los colores de los cables, sobre todo, al utilizar la caja de baterías.

Solución 2:

Asegúrese de que las baterías estén instaladas de manera correcta (controle la polaridad).

Solución 3:

Reemplace las baterías agotadas por nuevas.

3. El procedimiento de electrólisis se ralentiza

Solución 1:

Inyecte agua destilada en el lado oxígeno O₂ de la celda de combustible «reversible» o el electrolizador, con la jeringa. Luego, espere 3 minutos y vuelva a efectuar el procedimiento de electrólisis.

Solución 2:

Reemplace las baterías AA agotadas de la caja e introduzca nuevas del mismo tipo.

4. Parece que la carga eléctrica, el motor, etc. no reciba energía eléctrica, aunque subsiste hidrógeno en el contenedor.

Solución:

Saque el tapón negro brevemente del tubo superior de la celda de combustible. Luego vuelva a ponerlo rápidamente. Si queda sólo hidrógeno en el contenedor, el motor eléctrico o la carga conectada vuelve a funcionar.

5. La celda de combustible reversible no produce hidrógeno, la placa solar fotovoltaica se ilumina por el sol.

Solución:

Si no hay suficiente luz solar, no genera suficiente electricidad para alimentar el procedimiento de electrólisis. En este caso, utilice la caja de baterías.

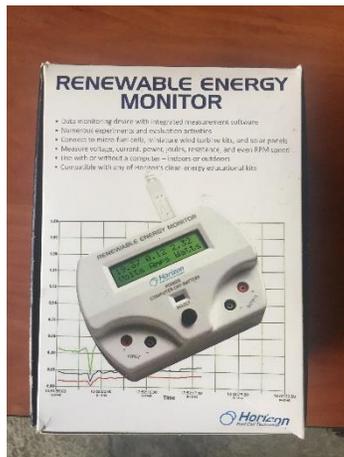
Anexo 12. Fotos de las Prácticas de los Módulos



Kits de Celdas de Combustible de Horizon



Modelo FCJJ-37 de Horizon



Modelo FCJJ-24 de Horizon



Modelo FCJJ-16 de Horizon



Presentación de los Kits de Celdas de Combustible de Horizon



Los Aspirantes y las Piezas de los Kits de Horizon



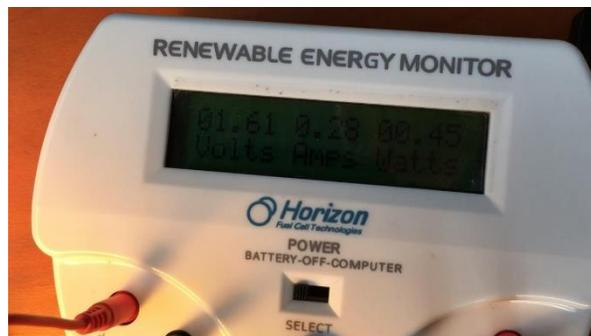
Desarrollo de los Kits del Modelo FCJJ-37 de Horizon



Operación de la Hélice en un Panel Solar



El Monitor FCJJ-24 Recibe Energía del Panel Solar



Monitor FCJJ-24 en Función



Operación de la Hélice desde el Electrolizador

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **PÉREZ CASTRO, CARLOS ANDRÉS**, con C.C: 0927396291, autor del Trabajo de Titulación: **ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE MÓDULOS DIDÁCTICOS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE HIDRÓGENO** previo a la obtención del título de **INGENIERO EN ELÉCTRICO MECÁNICA** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 19 de septiembre del 2017

Nombre: **PÉREZ CASTRO, CARLOS ANDRÉS**
C.C: 0927396291

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **LEÓN MACÍAS, LUIS ANTONIO**, con C.C: 0926934175, autor del Trabajo de Titulación: **ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE MÓDULOS DIDÁCTICOS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE HIDRÓGENO** previo a la obtención del título de **INGENIERO EN ELÉCTRICO MECÁNICA** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 19 de septiembre del 2017

Nombre: LEÓN MACÍAS, LUIS ANTONIO
C.C: 0926934175

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA		
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN		
TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Estudio e Implementación de Módulos Didácticos de Generación de Energía Eléctrica a Base de Hidrógeno	
AUTOR(ES) (apellidos/nombres):	Pérez Castro Carlos Andrés León Macías Luis Antonio	
REVISOR(ES)/TUTOR(ES) (apellidos/nombres):	Echeverría Parra Ricardo Xavier, Ing.	
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil	
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo	
CARRERA:	Ingeniería en Eléctrico-Mecánico	
TITULO OBTENIDO:	Ingeniero Eléctrico Mecánica con Mención en Gestión Empresarial	
FECHA DE PUBLICACIÓN:	19 de Septiembre del 2017	No. DE PÁGINAS: 229
ÁREAS TEMÁTICAS:	Diseño y función de una celda de combustible a base de hidrógeno	
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Hidrógeno, Celda de Combustible, Electrolizador, Energía Renovable, Electricidad, Almacenamiento	
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):	El desarrollo de esta investigación e implantación es impulsar tanto a estudiantes como docentes el estudio y la aplicación de una de las energías renovables ya que en la actualidad se están integrando nuevas tecnologías como lo es la celda de combustible de hidrógeno, una moderna orientación que brindara soluciones contundentes en la eficiencia energética, reducción cero de emisiones contaminantes, acoplamiento ideal con diversos sistemas de energías, usando un elemento abundante que es el hidrógeno. En consecuencia, primero se realizó un estudio general de la energía renovable con la tecnología de celdas de combustibles, esto proporcionará los fundamentos y parámetros apropiados para la comprensión de esta ciencia. La metodología de investigación que se usan es documental, descriptiva, experimental y aplicativa. La implementación de módulos didácticos aportará estudio, características, aplicaciones, análisis con sus respectivos manuales de experimentación, ensamblaje, prácticas y actividades para la realización de pruebas que verificando los fundamentos mencionados, permitiendo un mayor dominio sobre este campo; a fin de que en el futuro se promuevan estudios e implementaciones más avanzadas para la realización de sistemas más complejos, aplicados a sectores residenciales hasta industriales.	
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Tlf 1: +593 978951103 Tlf 2: +593 984742436	E-mail 1: Cp_0601@hotmail.com E-mail 2: romab.ecu@hotmail.com
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (Coordinador del Proceso UTE):	Nombre: Montenegro Tejada Raúl, M. Sc Teléfono: (04) 220 2933, ext: 2007 E-mail: raulmontenegro@cu.ucsg.edu.ec/ute@cu.ucsg.edu.ec	
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA		
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):		
Nº. DE CLASIFICACIÓN:		
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):		