

Diseño de prácticas didácticas para la asignatura de laboratorio de procesos II: celda de combustible de Membrana de Intercambio Protónico (PEM) y electrolizador de producción de hidrógeno.

Leidy Lorena Cortés Rodríguez y Keinny Yajaira Fuentes Marín

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniera Química

Director

Viatcheslav Kafarov

Doctor en Ciencias Técnicas

Codirectora

Ana María Rosso Cerón

Doctora en Ingeniería Química

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físicoquímicas

Escuela de Ingeniería Química

Bucaramanga

2020

Dedicatoria

Dedico este proyecto al creador de todo lo que existe, sin su compañía y su guía no habría sido posible.

A mis maravillosos padres Marelbis y Wladimir, este triunfo no es solo mío, es nuestro, no solo por su apoyo, por sus buenos consejos , por ser la mano donde me sujete durante tantos días difíciles, sin su amor y su esfuerzo no lo habría logrado, por todos sus viajes de horas solo a verme, a darme una palabra de aliento, son todo lo que amo, y les agradezco por todas las enseñanzas, este antes que mi sueño fue el suyo, y ahora se está haciendo realidad.

A Alcides por llegar en el momento exacto en el que lo necesitaba, Dios hace cosas buenas solo si nosotros lo permitimos, gracias por todos sus consejos y por su apoyo, agradezco tu humanidad, este triunfo también es tuyo.

A Stivenn por todos los momentos vividos, por ser un amigo invaluable, por su lealtad y respeto, las circunstancias de la vida nos trajeron hasta este punto juntos, gracias por tantas noches de llamadas, tantas palabras de aliento y visitas inesperadas, por tus buenos consejos culinarios, los amigos son tesoros únicos.

A Vid, por tanto, amor, por todo el apoyo desinteresado, por convertir los domingos en días especiales, por llegar a mi vida a enseñarme a apreciar las cosas importantes, y sobre todo por abrir la puerta a un nuevo futuro lleno de cosas valiosas.

A Chelly, mi negrita, por todos sus consejos y por todo su apoyo durante toda mi carrera universitaria, por todo su amor desinteresado hacia mi familia, este logro también es parte de ti por ser la hermana que nunca tuve.

A Orley por ser la tía más especial y dedicada, por llamarme y preocuparse por mis problemas, por todas las geniales vacaciones, y por su apoyo y su incondicional amor.

A mis abuelos Eugenio, Claudino, Alba Elena, Nohemi, por todas sus oraciones, sus palabras de apoyo, y por ser incondicionales en mi vida.

Keinny Yajaira Fuentes Marin

A Dios por todas las bendiciones recibidas.

A Laura, mi madre por su confianza y fe en mí, por creer en mis sueños y acompañarme en la distancia. Eres mi referente por seguir, tu tenacidad y apoyo incondicional fueron mi soporte en cada momento de mi vida.

A Mario, mi padre por sus esfuerzos, apoyo y amor incondicional.

Este triunfo también es para ustedes.

A Vivi, mi hermana por apoyarme en aquellos momentos de debilidad, por su amor y consejo.

Por ayudarme a encontrar la luz cuando el camino se tornaba oscuro. Me hiciste fuerte.

A mis sobrinos, que a pesar del sacrificio del tiempo juntos fueron un pilar fundamental en esta meta que hoy culmina.

A toda mi familia y en especial a Mati, que siempre estuvieron presentes e hicieron parte de este proceso.

A Nilso por acompañarme en este camino desde el primer día, por las risas, comprensión, amor y palabras de aliento.

A mis amigos y compañeros de universidad, Karen, Alejo, Edwin, Leo, Tatis, Cami, Fabi, por compartir este camino y aportar para hacer este sueño realidad.

A Jenny por su amistad incondicional, sus oraciones, abrazo y paciencia. Por su apoyo y risas. Por compartir conmigo este nuevo logro.

A todas las personas que estuvieron conmigo a lo largo de esta etapa y aquellos que en la distancia con sus llamadas y mensajes me acompañaban.

Leidy Lorena Cortés Rodríguez

Agradecimientos

Agradezco a DIOS por la oportunidad de cultivar mi conocimiento y por tanto camino recorrido, por todas las situaciones que me llevaron a lograr mis sueños, y a forjar la persona que soy, a la Universidad Industrial de Santander por la formación académica recibida, por todos los profesores a los cuales tuve la oportunidad de conocer, y de los cuales aprendí, especialmente a mi director y codirectora, por toda la guía que recibimos en la construcción de este proyecto y todo el apoyo brindado.

A mis amigos y a Edwin, por ser en múltiples ocasiones la fuente de motivación en todas las dificultades que ocurrieron en el camino, por todo el apoyo, por tantas risas en momentos difíciles, por aportar a la persona que actualmente soy.

A mi compañera de proyecto, por todo el apoyo brindado, por tantas noches de esfuerzo, para lograr esta meta, por todos los consejos y los momentos vividos, por su paciencia en días largos, por no rendirse ni permitir que me rindiera.

Keinny Yajaira Fuentes Marin

A Dios por permitirme cumplir esta meta y guiarme a lo largo de estos años.

A mis Padres, por su amor, comprensión y apoyo, por todo su esfuerzo que hoy da frutos.

A la Universidad Industrial de Santander y la escuela de Ingeniería Química, y en ella a todos los directivos, docentes y administrativos por haber compartido su conocimiento y experiencia.

Al Dr. Viatcheslav Kafarov y la Dra. Ana María Rosso Cerón, director y codirectora de este proyecto quienes, con su disposición y colaboración, permitieron culminar este trabajo.

A las familias de mis compañeros, Sr. Dalmiro y Sra. Luz Dary, Sr. Wladimir y Sra. Marelbis, Sr. Jaime y Sra. Luz Astrid por su amor y apoyo, por adoptarme en su familia y hacerme sentir como a una hija, gracias a ustedes por todo.

A mi compañera de tesis, por su entrega y compromiso, por la dedicación y especialmente por la amistad brindada durante estos años, por ser el complemento en cada momento, gracias, ¡Lo logramos!

Leidy Lorena Cortés Rodríguez

Contenido

	Pág.
Introducción	15
1. Objetivos	20
1.1 Objetivo General.....	20
1.2 Objetivos Específicos.....	20
2. Metodología	21
2.1 Fase 1. Revisión bibliográfica y manuales	21
2.2 Fase 2. Conceptos generales y prácticas para proponer.....	21
2.3 Fase 3. Implementación del aula virtual de aprendizaje.	22
3. Resultados.	24
3.1 Fase uno	24
3.1.1 Manual de seguridad de la unidad PEM y el electrolizador	24
3.1.1.1 Advertencias de la unidad PEM.....	26
3.1.1.2 Advertencias del electrolizador.....	27
3.1.1.3 El hidrógeno.....	29
3.1.2 Manual de funcionamiento.	29
3.1.2.1 Manipulación del PEM.	32
3.1.2.2 Manipulación del electrolizador.	33
3.2 Fase Dos.....	35

3.2.1 Elaboración contenido teórico.	35
3.2.2 Diseño guía operativa.	38
3.2.3 Estructuración de las prácticas.	39
3.3 Fase Tres.	39
3.3.1 Contenido realizado usando las TIC's.	39
3.3.2 Videos propuestos para el Moodle.....	40
4. Conclusiones	48
Referencias Bibliográficas	50
Apéndices.....	54

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Equipo PEM	18
Figura 2. Diagrama de flujo desarrollo metodología.....	23
Figura 3. Esquema de protección del equipo PEM.....	25
Figura 4. Advertencias de la unidad PEM.	26
Figura 5. Advertencias del electrolizador.	28
Figura 6. Características para tener en cuenta en el equipo PEM.....	32
Figura 7. Pasos para el funcionamiento del electrolizador.	33
Figura 8. Esquema introducción guía prácticas de laboratorio PEM.....	36
Figura 9. Esquema objetivos, temas para consultar y elementos necesarios de las guías.	37
Figura 10. Sección desarrollo experimental guía práctica PEM.....	38
Figura 11. Imagen tomada del video “seguridad del electrolizador”.....	41
Figura 12. Imágenes tomadas del video “funcionamiento del electrolizador”.	42
Figura 13. Imágenes tomadas del video “Seguridad del laboratorio PEM”.	42
Figura 14. Imágenes tomadas del video “El hidrógeno”.	43
Figura 15. Imágenes tomadas del video “Practicas del laboratorio PEM” pasos iniciales.....	43
Figura 16. Imágenes tomadas de las “prácticas de laboratorio PEM” pasos finales.	44
Figura 17. Imágenes tomadas del video “Advertencias de la unidad PEM”.	45
Figura 18. Imagen tomada del cuestionario de preguntas del laboratorio PEM.....	46

Figura 19. Ejemplo cuestionario evaluativo en la plataforma MOODLE. 47

Figura 20. Vista preliminar de la temática..... 47

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Equipos del laboratorio PEM	30
Tabla 2. Posibles problemas y soluciones del electrolizador.....	34

Lista de Apéndices.

	Pág.
Apéndice A. Manual de seguridad del laboratorio.	54
Apéndice B. Ficha técnica del hidrógeno (Principales, 2013b).....	60
Apéndice C. Manual de funcionamiento.	61
Apéndice D. Prácticas de laboratorio.....	77
Apéndice E. Cuestionario evaluativo.....	90

Resumen

Título: Diseño de prácticas didácticas para la asignatura de laboratorio de procesos ii: celda de combustible de membrana de intercambio protónico (PEM) y electrolizador de producción de hidrógeno*.

Autores: Leidy Lorena Cortés Rodríguez - Keinny Yajaira Fuentes Marín**

Palabras Clave: Membrana De Intercambio Protónico, Electrolizador de Producción de Hidrógeno, tecnologías de la información y comunicación.

Descripción:

El programa de Ingeniería Química de la Universidad Industrial de Santander, dispone de diversos recursos para el desarrollo de las actividades de formación, entre los que se destacan los laboratorios, siendo estos indispensables en la formación del futuro profesional.

El objetivo de esta tesis es la elaboración de material pedagógico, para la implementación de prácticas de laboratorio de una celda de combustible de membrana de intercambio protónico y un electrolizador de producción de hidrógeno, para la asignatura de laboratorio de procesos II de la escuela de Ingeniería Química, mediante la implementación de las tecnologías de la información y comunicación (TIC's) como alternativa educativa para los estudiantes.

El equipo para el desarrollo de las prácticas fue adquirido por parte de la escuela de Ingeniería Química de la Universidad Industrial de Santander como donación por parte del proyecto THE CRUX, financiado por la unión europea. Proyecto que busca fortalecer la enseñanza en energías renovables e incentivar el desarrollo de iniciativas en este tema, permitiendo un intercambio de estrategias pedagógicas por parte de Universidades Europeas y Latinoamericanas.

En este documento se describen las etapas metodológicas realizadas para el cumplimiento de los objetivos. La primera etapa corresponde a la búsqueda, recopilación y revisión de información, y el diseño y elaboración de las guías de seguridad y operación de los equipos. En la segunda etapa se diseñaron 2 prácticas de laboratorio y sus correspondientes manuales, estos cuentan principalmente con seis secciones: introducción, objetivos, temas para consultar, elementos necesarios, tablas y registro de datos, y desarrollo experimental. Por último, se elaboran seis videos ilustrativos que abordan toda la información de las guías y manuales, y los cuestionarios acerca de los temas a abordar. Finalmente, se organizan todos los documentos y archivos creados para permitir su posterior implementación en el aula virtual de aprendizaje.

* Proyecto de Grado

** Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas Escuela de Ingeniería Química Director Viatcheslav Kafarov Doctor en Ciencias Técnicas Codirectora Ana María Rosso Cerón Doctora en Ingeniería Química

Abstract

Title: Design of didactic practices for the process laboratory subject ii: proton exchange membrane (PEM) fuel cell and hydrogen production electrolyser *

Authors: Leidy Lorena Cortés Rodríguez - Keinny Yajaira Fuentes Marín **

Key Words: Proton Exchange Membrane, Hydrogen Production Electrolyzer, information and communication technologies.

Description:

The Chemical Engineering program of the Industrial University of Santander has several resources for the development of training activities, among which the laboratories stand out, being these essential in the training of the future professional.

The objective of this thesis is the elaboration of pedagogical material for the implementation of laboratory practices of a proton exchange membrane fuel cell and a hydrogen production electrolyzer, for the process laboratory II subject of the Chemical Engineering School, through the implementation of information and communication technologies (TIC's) as an educational alternative for students.

The equipment for the development of the internship was acquired by the School of Chemical Engineering of the Industrial University of Santander as a donation by the project THE CRUX, financed by the European Union. This project seeks to strengthen the teaching of renewable energies and to encourage the development of initiatives in this field, allowing an exchange of pedagogical strategies by European and Latin American Universities.

This document describes the methodological steps taken to achieve the objectives. The first stage corresponds to the search, gathering and review of information, and the design and preparation of safety and equipment operation guides. In the second stage, two laboratory practices and their corresponding manuals were designed. These mainly have six sections: introduction, objectives, topics to be consulted, necessary elements, tables and data recording, and experimental development. Finally, six illustrative videos were produced that address all the information in the guides and manuals, and the questionnaires about the topics to be addressed. Finally, all the documents and files created are organized to allow their subsequent implementation in the virtual learning classroom.

* Proyecto de Grado

** Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas Escuela de Ingeniería Química Director Viatcheslav Kafarov Doctor en Ciencias Técnicas Codirectora Ana María Rosso Cerón Doctora en Ingeniería Química

Introducción

Debido al constante crecimiento de la demanda de energía tanto por parte del sector urbano y rural, como por parte de la industria, los recursos energéticos de los que se dispone se deben aprovechar de la mejor manera posible. El desarrollo de energías sostenibles es un modo de suplir esta necesidad y tienen como propósito reducir el impacto ambiental, además de disminuir costos (Londoño, 2017).

Dados estos escenarios, se plantea la necesidad que en la universidad se amplíe el estudio en energías renovables, esencialmente en el campo ingenieril, y en vista de que la ingeniería química se fundamenta en disciplinas aplicadas tales como la ingeniería de procesos (Fernández, n.d.), la parte experimental juega un papel muy importante en su ejecución.

Ahora bien, el laboratorio de procesos de Ingeniería Química de la Universidad Industrial de Santander posee diferentes prácticas en temas asociados con: fenómenos de transporte, destilación, absorción, reactores, entre otros contenidos, sin embargo, el sector de energías renovables carece de un laboratorio práctico. Se observa entonces, la necesidad de desarrollar prácticas donde los estudiantes potencien habilidades y destrezas; poniendo en juego sus conocimientos previos y confrontándolos con la realidad (López Rúa, Ana Milena; Tamayo Alzate, 2012).

Una alternativa en auge para desarrollar dichas competencias, son las TIC's, estas se basan en la tecnología digital y en la ampliación de oportunidades para acelerar el desarrollo, particularmente a los más pobres y conectando a las personas con oportunidades, servicios y

conocimiento (“Desarrollo digital,” n.d.). Sin embargo, una de las preocupaciones del Ministerio de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, y del Ministerio de Educación Nacional (MEN) frente a los retos que presentan las TIC’s, es el nivel de aprovechamiento que se hace de ellas en los distintos niveles del sistema educativo. Diversos estudios indican que, si bien estas tecnologías han llegado a las instituciones, su uso se ha limitado a su conocimiento y manejo, pero no a su incorporación con sentido pedagógico (Barreto, 217AD).

La construcción de plataformas virtuales juega un papel muy importante en la formación académica mundial actual (Ortiz & Martín-sánchez, 2011); un ejemplo de ello es la Universidad de los Andes, que desde el año 2003 inició la incorporación de las TIC’s en sus procesos educativos obteniendo grandes resultados (Drews, Académica, Adriana, Gómez, & Gestión, 2016), y la implementación de la plataforma WebCT en la Universidad de Sevilla durante el 2006 y 2007, software que permite crear cursos en línea como complemento a los cursos presenciales (XXV Congreso Internacional de Tecnologías de la Información en la Educación, TELEDU2019 TIC: Educación, Innovación y Empleo, 2019).

El uso de un aula virtual de aprendizaje busca cubrir una serie de necesidades educativas de manera que se libere al docente y al estudiante de la coincidencia temporal e incluso espacial (Aula & Escolar, n.d.), esto permite a los estudiantes mantener acceso permanente a los materiales de la clase. Mediante esta alternativa se logran superar los límites del aula, permite un uso flexible del tiempo por parte de los estudiantes, emplea una diversidad de medios y recursos que permite adaptarse al modo de aprender de cada alumno, promueve igualmente la autonomía de los participantes y da paso a desarrollar un pensamiento creativo y constructivo mediante el uso de tecnología de vanguardia (Marini Munguía, 2016).

En efecto, las prácticas de laboratorio introducidas en la ingeniería requieren estar actualizadas a las necesidades de la sociedad. Para el caso de las energías sostenibles, el hidrógeno se ha destacado actualmente como fuente de combustible (Braumakis, Magiri-skouloudi, Grimekis, & Karellas, 2020), dando paso a la creación de la PEM, este es un dispositivo electroquímico que convierte directamente la energía química; y el electrolizador de producción de hidrógeno, que es una unidad basada en la electrolisis del agua para la obtención de hidrógeno, el cual presenta residuos únicamente de agua y calor (Equipo, 2015), creando una nueva oportunidad de explotar un recurso abundante como es el hidrógeno.

El dispositivo mostrado en la figura 1, corresponde a la celda de combustible de intercambio protónico, se encuentra en el laboratorio de procesos de la escuela de ingeniería química de la Universidad Industrial de Santander.

Este equipo fue adquirido por la escuela de Ingeniería Química como donación por parte del proyecto THE CRUX, como resultado de un intercambio de enseñanzas en el tema de energías renovables, por parte de Universidades Europeas y Latinoamericanas, financiado por la unión europea, a cargo del profesor Viatcheslav Kafarov, director del Centro de Investigaciones para el desarrollo sostenible en Industria y Energías de la escuela de Ingeniería Química.

Figura 1.*Equipo PEM*

Aunque existen numerosos tipos de pilas de combustible, cada una con sus ventajas, inconvenientes y aplicaciones ideales, la célula de combustible de intercambio protónico (PEM) es hoy, la que ofrece mejores características para aplicaciones portátiles y de automoción (Equipo, 2015).

Cabe destacar que existen celdas de combustible que han sido implementadas desde hace varias décadas, como lo es en la NASA, desde 1960 las ha usado en sus programas espaciales, sin embargo, no se le ha dado la importancia que esta tecnología debería tener al ser una opción ambientalista y eficiente en su conversión y aporte energético (Moreno, 2016).

En este orden de ideas, para desarrollar un conocimiento consolidado en energías renovables en los estudiantes, es necesaria la creación de trabajos prácticos, no basados en indicaciones rigurosamente explícitas (Enrique & Alzugaray, 2013a); en los cuales generalmente el estudiante se encarga de seguir pasos estructurados, mas no afianza las habilidades aprendidas en busca de desarrollar criterio en la toma de decisiones.

El presente trabajo se basó en la elaboración de herramientas educativas, para la implementación de prácticas de laboratorio de una celda de combustible de membrana de intercambio protónico y un electrolizador de producción de hidrógeno, para la asignatura de laboratorio de procesos II de la escuela de Ingeniería Química implementando las TIC's. Para esto, el desarrollo metodológico se dividió en tres etapas; la primera etapa destinada a la búsqueda, recopilación y revisión de información, y el diseño y elaboración de las guías de seguridad y operación de los equipos, la segunda etapa respondiendo al diseño de 2 prácticas de laboratorio y sus correspondientes manuales, estos cuentan con las siguientes secciones: introducción, objetivos, temas para consultar, elementos necesarios, desarrollo experimental y tablas para registro de datos. La tercera etapa es la elaboración de videos didácticos que abordan la información de las guías, manuales y cuestionarios sobre los temas a abordar, donde se toma como base la tecnología digital y el manejo de plataformas, para que la formación del estudiante sea más personalizada, y se reconozca a este con aptitudes diferentes, para evaluar y extraer su máximo potencial, logrando que sea protagonista en la construcción de su propio conocimiento (Regional, 2013). Finalmente, se organizan todos los documentos y archivos creados para permitir su posterior implementación en el aula virtual de aprendizaje.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Diseñar prácticas para la asignatura de laboratorio de procesos II y guías didácticas para la plataforma Moodle: celda de combustible de membrana de intercambio protónico (PEM) y electrolizador de producción de hidrógeno.

1.2 Objetivos Específicos

- Desarrollar el protocolo de operación, funcionamiento y seguridad de las prácticas de laboratorio para el PEM y el electrolizador.
- Desarrollar un texto guía para los estudiantes, que incluyan los conceptos generales y las prácticas propuestas para cada tópico.
- Proporcionar recursos audiovisuales guía como videos y pruebas tipo test, para el desarrollo de las prácticas planteadas, por medio del Moodle de la Universidad Industrial de Santander.

2. Metodología

2.1 Fase 1. Revisión bibliográfica y manuales

En esta etapa se realizó la recopilación bibliográfica relacionada con las TIC's, las medidas de seguridad y el funcionamiento del equipo PEM y el electrolizador.

Posteriormente se analizó la información y se desarrollaron las guías de operación y seguridad, con el fin de proporcionar al estudiante un manual de laboratorio donde se establezca una metodología para la ejecución del PEM y el electrolizador además de las medidas de seguridad que deben adoptar, para la protección del equipo y de la integridad física de los estudiantes.

2.2 Fase 2. Conceptos generales y prácticas para proponer.

En la segunda etapa se realizó el manual del laboratorio, este incluye los objetivos de la práctica, el cuestionario a resolver, en conjunto con los parámetros a experimentar y tablas para el registro de datos. Por otra parte, se incluyen las pautas para el desarrollo de éste, como también, ilustración de los equipos y una descripción de las partes de estos, además de textos guías donde se indiquen los fundamentos de cada práctica a realizar, esto con el fin de conceptualizar al estudiante en el tema de las PEM y el electrolizador.

Las prácticas propuestas fueron realizadas a partir del manual de indicaciones que trae el equipo. Estas prácticas no fueron verificadas debido a la contingencia sanitaria del COVID-19, por lo cual es necesario realizar las pruebas experimentales y efectuar los cambios necesarios.

2.3 Fase 3. Implementación del aula virtual de aprendizaje.

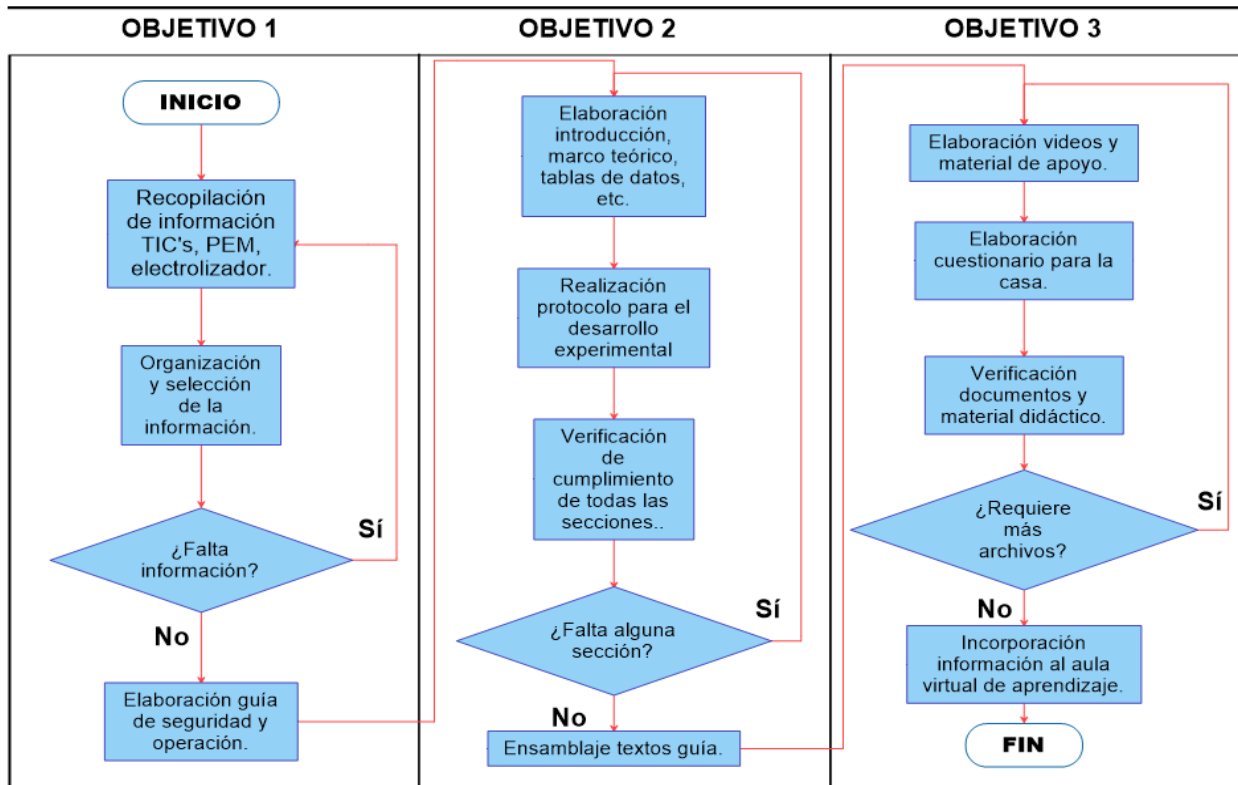
En la tercera fase se diseñaron los videos, actividades para la casa, además de cuestionarios sobre los contenidos expuestos en los manuales, en busca de evaluar el aprendizaje adquirido por el estudiante. Posteriormente, se organizó toda la documentación y material didáctico, para su implementación en el Moodle de la Universidad Industrial de Santander.

En la figura 2, se muestra el diagrama de flujo correspondiente al desarrollo de la metodología para el cumplimiento de los objetivos propuestos.

Figura 2.

Diagrama de flujo desarrollo metodología.

Diseño De Prácticas Didácticas Para La Asignatura De Laboratorio De Procesos Ii: Celda De Combustible De Membrana De Intercambio Protónico (Pem) Y Electrolizador De Producción De Hidrógeno.



3. Resultados.

3.1 Fase uno

3.1.1 Manual de seguridad de la unidad PEM y el electrolizador

El manual de seguridad está constituido por las normas de seguridad y trabajo que el estudiante debe seguir por precaución y la de todos los que asisten al laboratorio, seguido por los elementos de protección personal, como la bata antifluido, el tipo de zapato que debe usar, entre otros, se estructuraron algunas descripciones de la unidad PEM y el electrolizador además de advertencias e instrucciones.

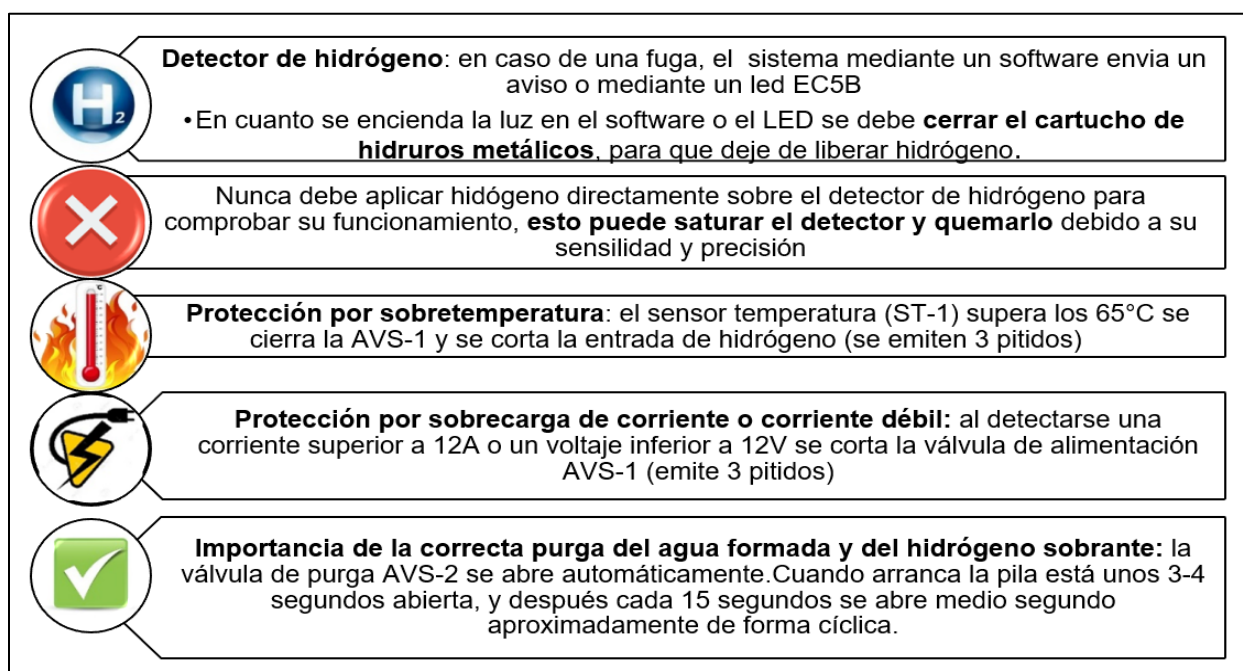
En las descripciones de la unidad PEM se encuentran los diversos tipos de protección del equipo, entre ellos, un proceso automático que se encarga de hacer la purga del agua formada y el hidrógeno sobrante, para una correcta manipulación del equipo (Equipo, 2015). En la figura 3, se observa el esquema de las indicaciones de protección con imágenes representativas; siendo estas el elemento principal, con el objetivo de ser captada por el estudiante antes que el texto. Estas imágenes resultan sencillas de interpretar y asociar inmediatamente con alguna alerta ya almacenada en la memoria (Morales, 2012).

En estudios, se ha encontrado que los estudiantes aprenden a partir de esquemas, debido a que se encuentra la información organizada y aquello con lo que no se encuentran familiarizados les resulta fácil de identificar (NACIONAL, 2015), a partir de esto se le puede dar importancia a

sistemas que en este caso posee el sistema PEM, como las protecciones por temperatura, corriente, purga, y detector hidrógeno, con las que el estudiante se puede adaptar y conocer con anticipación, un ejemplo de ello es tener claro que el detector de hidrógeno envía una señal al software que dará aviso a los estudiantes, y cuál será el accionar del estudiante en caso de que esto ocurra (**Ver Anexo A**).

Figura 3.

Esquema de protección del equipo PEM.

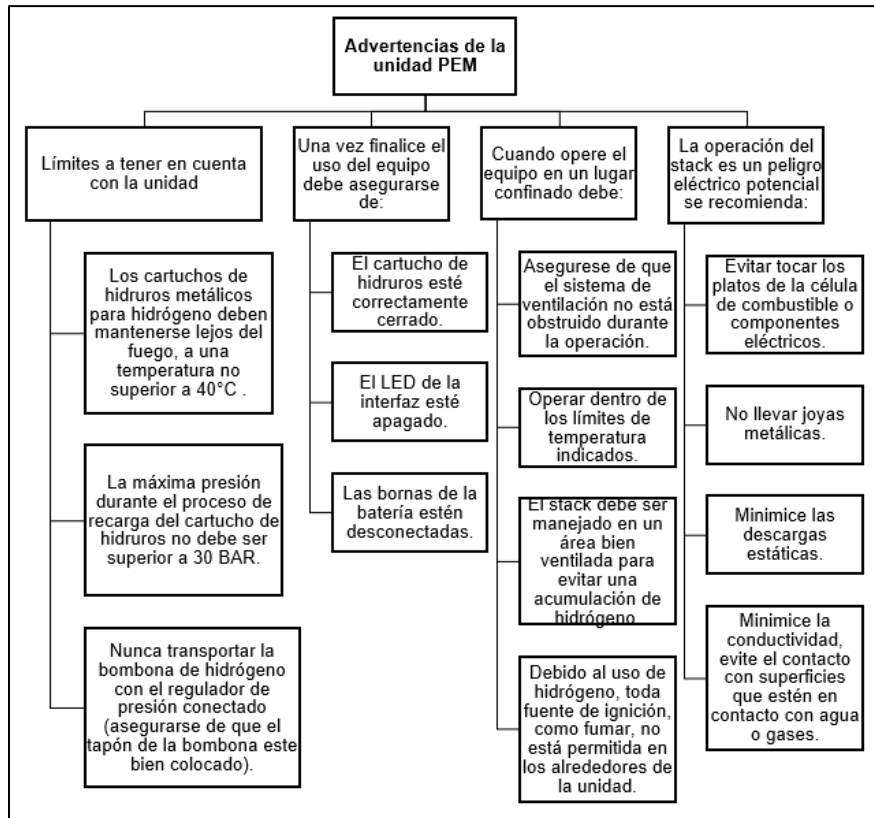


En contexto el estudiante debe saber qué tipo de protección posee el equipo como se mostró anteriormente, de manera análoga es necesario que sepa que cuidados debe tener, por esto, el manual cuenta con advertencias de la unidad PEM.

3.1.1.1 Advertencias de la unidad PEM. La unidad PEM cuenta con algunos límites que posee el equipo; la forma de apagarlo, el lugar adecuado donde se debe operar, y algunos peligros potenciales que se pueden apreciar de manera sintetizada en la Figura 4; como método didáctico se usó un mapa conceptual, para representarlo en orden jerárquico, con el fin de exponer un entorno del tema, claro e intuitivo(Toro Toro & Vega, 2011) y captando lo más significativo, paralelamente la jerarquía ayuda a encontrar fácilmente lo que está buscando el estudiante(Del et al., 2017), el mapa conceptual se encuentra subdividido en temáticas principales del equipo, como los límites de este, el orden de apagado, los lugares adecuados en donde se debe operar el equipo y los peligros potenciales a tener en cuenta (**Ver Anexo A**).

Figura 4.

Advertencias de la unidad PEM.

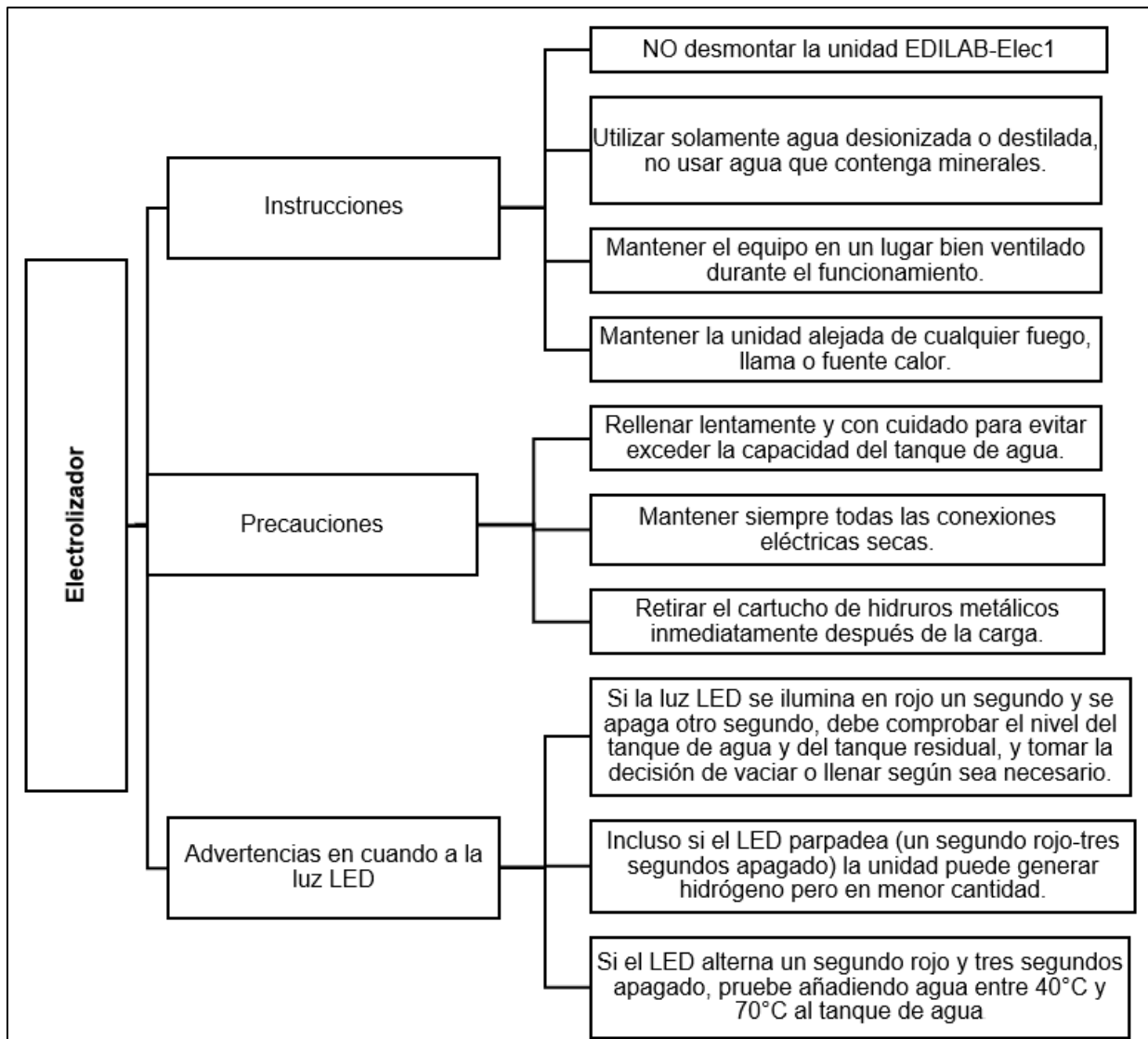


Teniendo en cuenta que el equipo PEM opera simultáneamente con el electrolizador, el manual presenta las advertencias de ambos equipos de manera tal, que el estudiante brinde importancia a ambos equipos por igual. A continuación, se presentan las advertencias del electrolizador.

3.1.1.2 Advertencias del electrolizador. El electrolizador cuenta con instrucciones, precauciones y advertencias de la luz LED, en la figura 5 se observa un mapa mental usado para plasmar estas condiciones de operación. El uso de estos mapas como herramienta en el aprendizaje es ligado con el concepto de que la memoria está estructurada con conocimientos interrelacionados (Del et al., 2017), es decir que para el estudiante un aprendizaje es más provechoso si se hacen conexiones entre los conceptos o ideas, asimismo se facilita la visualización del contenido a aprender (**Ver Anexo A**).

Figura 5.

Advertencias del electrolizador.



Los mapas conceptuales aparte de mejorar la visualización de la información ayudan a crear conexiones, un ejemplo de esto es que el estudiante en las instrucciones puede ver que el equipo usa agua desionizada en lugar de otro tipo de agua; siguiendo las precauciones se observa que se debe rellenar con ésta el equipo lentamente y con cuidado. Finalmente, en advertencias se presenta, que debe tener en cuenta la luz LED del software para comprobar que el nivel del tanque

de agua que ingresó al equipo sea la correcta, de acuerdo con esto el estudiante a medida que avanza en la lectura puede recordar los pasos de la forma de rellenar el tanque de agua del electrolizador, teniendo en cuenta 3 aspectos diferentes representados en el mapa mental.

Finalmente, después de hacer las descripciones e instrucciones de los equipos concernientes, y como aspecto no menos relevante se tiene en cuenta que los equipos usan hidrógeno, y debido a esto es necesario conocer aspectos relacionados a él, además de sus propiedades así que en el manual se adjuntaron algunas de estas con algunos riesgos para la salud.

3.1.1.3 El hidrógeno. En el manual de seguridad se encuentran las descripciones de algunas propiedades del hidrógeno, técnica del hidrógeno (**Ver Anexo B**), que se adjuntan como conocimiento previo, para usar en caso de emergencia en el laboratorio (**Ver Anexo A**), junto a la ficha.

Se realizó un manual de funcionamiento estructurado de manera que se presenten primero las partes de los equipos, seguido de sus definiciones.

3.1.2 Manual de funcionamiento.

En el manual de funcionamiento se encuentran estipulados brevemente los equipos que tiene el laboratorio PEM, con las imágenes correspondientes. En la tabla 1 se muestra un breve resumen de estos equipos. Generalmente, en los manuales se hacen las descripciones de los pasos a seguir, omitiendo elementos importantes como lo son las imágenes, que representan una eficiente adquisición del conocimiento, debido a que el cerebro humano rememora las ilustraciones primero

que los textos (Cámara, 2000), esto mejora la atención de los estudiantes con rasgos visuales relevantes (Ver Anexo C).

Tabla 1.

Equipos del laboratorio PEM .

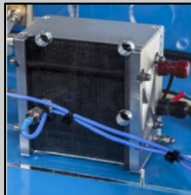


Imagen	Nombre	Descripción
	<p>Stack de pila de combustible con 24 celdas.</p>	<p>La pila de combustible es un dispositivo electroquímico capaz de convertir directamente en electricidad la energía contenida en un combustible; obtención de electricidad en forma de corriente continua</p>
	<p>Ventilador integrado en el stack.</p>	<p>Ventilador capaz de aportar el aire necesario para el buen funcionamiento y el mantenimiento de la temperatura apropiada al STACK.</p>
	<p>Válvula solenoide de alimentación del H₂</p>	<p>Dispositivo electromecánico que se energiza o desenergiza para abrir o cerrar un orificio de paso y permitir o bloquear el flujo de aire, agua, aceite, gases inertes, combustibles, vapor, etc.</p>
	<p>Regulador de presión de la botella de H₂.</p>	<p>Se encarga de convertir una presión de entrada variable en una presión de salida fija, con el fin de regular la presión de salida a 30 bar</p>


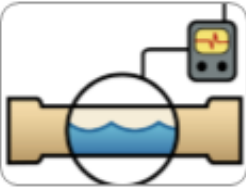

Imagen	Nombre	Descripción
	<p>Hidruro metálico para almacenamiento de H_2</p>	<p>Gracias a la absorción del hidrógeno en el interior, este queda almacenado de forma segura y certificada en los hidruros metálicos, la presión interna de este dispositivo es 8 bar a una temperatura ambiente de 20-25°C.</p>
	<p>Válvula solenoide de purga.</p>	<p>Una válvula solenoide, es un dispositivo electromecánico que se energiza o desenergiza para abrir o cerrar un orificio de paso y permitir o bloquear el flujo de aire, agua, aceite, gases inertes, combustibles, vapor, etc.</p>
	<p>Detector de escapes de hidrógeno (4-20 mA)</p>	<p>Se encarga de detectar la fuga de dicho gas, mediante el software se manda un aviso al usuario (o mediante un LED)</p>
	<p>Batería y cargador (12V).</p>	<p>Para que la unidad se encienda es necesario que la batería esté cargada y conectada, la batería que suministra 12V</p>
	<p>Sensores.</p>	<p>Un sensor es un dispositivo capaz de detectar diferentes tipos de materiales, con el objetivo de mandar una señal y permitir que continúe un proceso, o bien detectar un cambio</p>
	<p>Electrolizador</p>	<p>El electrolizador que incorpora consigue separar el agua en hidrógeno y oxígeno mediante la aplicación de electricidad</p>

El empleo de imágenes y conceptos claros de las partes del equipo que se va a emplear se realiza en busca de captar la mayor atención del estudiante y que para este logre seguir los pasos precisos para garantizar una eficiente toma de datos y los mejores resultados.

3.1.2.1 Manipulación del PEM. El equipo PEM posee 3 aspectos muy importantes presentados en la figura 6; en esta se resalta la relevancia de los temas al mostrarlos en un esquema como estrategia didáctica para lograr que el estudiante lo lea con mayor interés, con el objetivo de recordar el momento cuando el equipo hace la purga o cuando ocurre un suceso en el caudalímetro que puede influir en la correcta toma de datos en el laboratorio.

Figura 6.

Características para tener en cuenta en el equipo PEM.

	<p>Purga Se debe realizar una purga de hidrógeno y vapor de agua sobrante, dicha purga está programada para hacerse cada tres segundos.</p>
	<p>Cuidado de los datos Cuando ocurre la purga, al mismo tiempo durante medio segundo se absorbe hidrógeno, produciendo subidas de caudales (estos datos no se deben tener en cuenta en la práctica)</p>
	<p>Caudalímetro Es posible que algunas veces la bola del caudalímetro se atasque en la parte superior, en caso de que ocurra, se debe golpear suavemente el plástico que lo protege hasta que la bola caiga.</p>

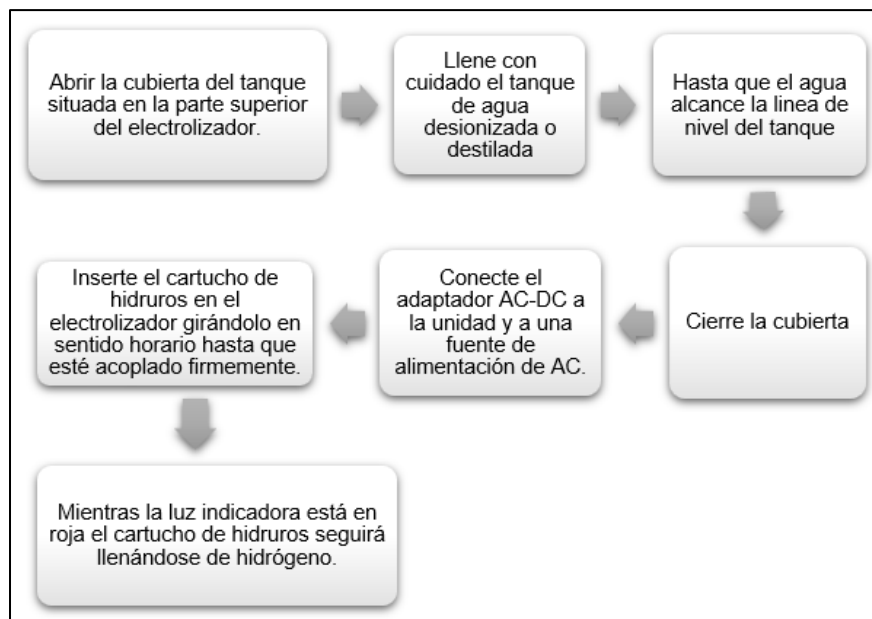
Seguido de la correcta manipulación del equipo en el manual de funcionamiento, se presentó un esquema que representa la manera de cargar la batería, debido a que sin ella el equipo no encendería (**Ver Anexo C**).

A continuación, en el manual se presentó la manera de manipular el electrolizador paso a paso con el fin de que sea visible y fácil de leer.

3.1.2.2 Manipulación del electrolizador. En la figura 7 se esquematiza los pasos a seguir para poner en funcionamiento el electrolizador, este tipo de esquemas facilitan al estudiante seguir una serie de pasos sin omitir alguno.

Figura 7.

Pasos para el funcionamiento del electrolizador.



En la tabla 2, se muestra las dificultades preestablecidas que ya tienen solución para el electrolizador.

Se realizó para el estudiante la síntesis de estos datos con el problema y sus posibles soluciones, éste contenido se plasmó en una tabla como método didáctico, debido a que éstas, poseen la característica de exponer el tema con facilidad y enfocándolo directamente a lo necesario, entonces el estudiante puede recordar claramente el tema en caso de que alguno de los problemas mencionados ocurra, (**Ver Anexo C**).

Tabla 2.

Posibles problemas y soluciones del electrolizador.

Problema	Solución
La lámpara LED indicadora de estado no se ilumina en verde después de conectar el cable de alimentación.	<p>Compruebe la conexión entre el adaptador AC-DC y la fuente de alimentación.</p>
La lámpara LED no cambia de color a roja después de conectar el cartucho de hidruros al electrolizador.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Desconecte el cartucho y vuélvalo a conectar despacio. Asegúrese de que la conexión es correcta y el cartucho está completamente insertado en la rosca. 2. Compruebe que el nivel de agua en los dos tanques es correcto. 3. Desconecte el adaptador AC-DC y vuelva a conectarlo.
La lámpara LED alterna entre roja durante un segundo y apagada durante 3 segundos.	<p>Probar añadiendo agua entre 40°C y 70°C en el tanque de agua.</p>
La lámpara LED alterna entre roja durante un segundo y apagada durante 1 segundo.	<p>Compruebe que el nivel del agua sea el correcto, y depende de esto añada o retire el agua necesaria.</p>
La lámpara LED se vuelve verde (el cartucho de hidruros metálicos está lleno) pero en	<ol style="list-style-type: none"> 1. Compruebe que la conexión con el electrolizador es correcta y que no hay fugas.

Problema	Solución
realidad no se ha generado hidrógeno o se ha llenado muy poco.	2. Compruebe la temperatura del agua (debe estar entre 40°C y 70°C)

3.2 Fase Dos

El texto guía está compuesto por 6 secciones, elaboradas a partir de la información recolectada en la fase uno; cinco de estas secciones permiten contextualizar sobre los principios aplicados y la sexta corresponde al instructivo para la ejecución de cada práctica. (**VER ANEXO D**).


3.2.1 *Elaboración contenido teórico.*

Consistió en exponer los conceptos necesarios para el desarrollo y ejecución de las prácticas. Estas guías fueron diseñadas con el fin de orientar al estudiante dentro del laboratorio. A continuación, se enuncia el contenido de cada sección que conforma el texto guía:

- **Introducción:** breve descripción y justificación de las actividades (Rojas suárez & Mayorca Manrique, 2010). En la figura 8, se muestra el esquema usado para las guías de las prácticas del laboratorio PEM.

Figura 8.

Esquema introducción guía prácticas de laboratorio PEM.

	Universidad Industrial de Santander	Universidad Industrial de Santander Escuela de Ingeniería Química Laboratorio de energías renovables
	PRÁCTICAS DE LABORATORIO.	
NOMBRES:	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	
DOCENTE:	<input type="text"/>	
GRUPO:	<input type="text"/>	
PRÁCTICA 1. Principios fundamentales del funcionamiento de una PEM.		
INTRODUCCIÓN El avance en el sector industrial y su ampliación produjo un incremento en la demanda energética actual, que está basada en un modelo insostenible desde los puntos de vista económico y medioambiental.[1] El desarrollo de energías sostenibles es un modo de suplir esta necesidad con el propósito de reducir el impacto ambiental, además de disminuir costos. Una alternativa en auge son las celdas de combustible, siendo estas un dispositivo electroquímico que convierte la energía química de una reacción, directamente en energía eléctrica[2]. Aunque existen numerosos tipos de pilas de combustible, cada una con sus ventajas,		

- **Objetivos:** fines trazados para la ejecución de las prácticas.
- **Temas para consultar:** conceptos que deben ser investigados antes de la puesta en marcha de las prácticas, que conduzcan a un mejor dominio de las temáticas a desarrollar.
- **Elementos necesarios:** componentes utilizados en el desarrollo de las prácticas.

En la figura 9 se observa las secciones antes mencionadas para cada práctica.

Figura 9.

Esquema objetivos, temas para consultar y elementos necesarios de las guías.

<p>OBJETIVOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Comprender el manejo y funcionamiento de la unidad EC5C (o EC5B). • Determinar la eficiencia de una célula de combustible tipo PEM. • Establecer la influencia de diferentes caudales de hidrógeno de entrada en la eficiencia de una célula de combustible tipo PEM. • Analizar el efecto del caudal de hidrógeno de entrada sobre la densidad de corriente de una célula de combustible tipo PEM. <p>TEMAS PARA CONSULTAR</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hidrógeno • Almacenamiento del hidrógeno en hidruros metálicos • Tipos de células de combustible • Pila de Combustible de Membrana Polimérica (PEM) • Principio de operación de una celda de combustible • Termodinámica y eficiencia de las pilas de combustible. • Balance energético y de masa. <p>ELEMENTOS NECESARIOS</p> <p>Para la realización de la práctica se requiere:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Unidad EC5C (o EC5B). • Botella de hidrógeno gaseoso comprimido (pureza del 99,99%) a una presión de 150-200 bar.


- Tablas y resultados: busca que el estudiante comprenda y analice el comportamiento de los resultados obtenidos en la práctica con el uso de gráficos o la deducción de distintos modelos, y a su vez los confronte respecto a lo expuesto en la literatura (Parada Mendez & Vera calderon, 2009) . Espacio donde se evalúa y registra los resultados obtenidos.

- Desarrollo experimental: parámetros secuenciales que debe seguir el estudiante para desarrollar las prácticas.

Se sintetiza los pasos que el estudiante debe seguir de acuerdo con la temática específica a estudiar, esto se puede ver en la figura 10.

Figura 10.

Sección desarrollo experimental guía práctica PEM.



Universidad
Industrial de
Santander

Universidad Industrial de Santander
Escuela de Ingeniería Química
Laboratorio de energías renovables

DESARROLLO EXPERIMENTAL

Antes de comenzar con la práctica lea las instrucciones principales, advertencias y precauciones en el manual de seguridad del equipo.

1. Conecte la interfaz (o consola).
2. Abra lentamente en sentido antihorario el cartucho de hidruros, y seguidamente, lo más rápido posible, ejecute el software de control EC5C, pulse start y comienza el proceso de arranque (20 segundos). Recuerde que durante este tiempo el software no le permitirá pulsar STOP ni salir.
3. Fije el regulador de la unidad en 0,6 bar aproximadamente de manera que la presión de entrada al stack leída a través del software mediante SP-1 sea de 0,4-0,5 bar.
4. En el caso del EC5B siga los mismos pasos, abra el cartucho de hidruros, seguidamente encienda en la consola el interruptor de la pila de combustible y fije el regulador de la unidad en 0,6 bar aproximadamente de manera que la presión de entrada al stack leída a través del manómetro sea de 0,4-0,5 bar.
5. La válvula AVS-1 se abrirá permitiendo la entrada de hidrógeno.

Desarrollo experimental para cálculo de eficiencia:

Posterior a la apertura de la válvula AVS-1 permitiendo la entrada de hidrógeno del paso 5:

3.2.2 Diseño guía operativa.

Las guías de funcionamiento fueron diseñadas de manera clara y concisa para la puesta en marcha y operación del equipo, teniendo en cuenta los lineamientos del manual oficial del usuario de la PEM.

La estructuración de las guías permite estudiar los principios fundamentales del funcionamiento de la PEM y los diversos parámetros de ésta, para lo cual se proponen dos prácticas:

- **Práctica 1:** eficiencia del equipo, densidad de corriente y la variación de estos parámetros en función del consumo de reactivos y de la potencia desarrollada.
- **Práctica 2:** curvas de polarización, curvas características y la variación de estos parámetros en función del consumo de reactivos y de la potencia desarrollada.

El diseño de dos prácticas evita la predisposición del estudiante ante un resultado y mantiene su interés en la variedad de opciones que el equipo puede ofrecer.

3.2.3 Estructuración de las prácticas.

Una vez desarrolladas cada una de las secciones con base en la información recopilada durante la fase 1, y finalizada la elaboración de la guía de operación del equipo, se procedió al ensamblaje de los documentos finales.

El resultado de esta fase corresponde a los documentos titulados “Principios fundamentales del funcionamiento de una PEM” y “Curvas características de una PEM” (**VER ANEXO D**).

3.3 Fase Tres.

3.3.1 Contenido realizado usando las TIC's.

Las ventajas del uso de las TIC's, es el constante contacto con contenidos de multimedia, permitiendo a los estudiantes moverse entre textos, videos, imágenes. Algunas características a tener en cuenta para los contenidos audiovisuales son:

- El estudiante cree su propia ruta de aprendizaje con cada video.
- No se sature al estudiante de información.
- No se debe caer en la tendencia marcada de mostrar la forma de información muy superficial en poco tiempo y no al fondo de ella (Benavides, Alvira, Córdoba, & Rodríguez, 2011).

Basados en la información anteriormente mencionada se realizaron una serie de videos individuales, que se subdividen en los temas específicos del laboratorio con sus reglas básicas. Estos tienen una duración máxima de 6 minutos, como método para fortalecer los conocimientos previamente leídos en los manuales, estos permitirán una experiencia más avanzada para la memoria, además, este tipo de medios audiovisuales están familiarizados con el estudiante. A continuación, se presentarán algunas fotografías, tomadas de los videos, que se adjuntaron al Moodle, junto a los manuales.

3.3.2 Videos propuestos para el Moodle.

Los 6 videos propuestos para este laboratorio fueron basados, en imágenes coloridas y gifs, tomando en cuenta las capacidad o habilidades que surgen en las personas luego de tener interacción con medios visuales, es decir la inteligencia relacionada con el uso iconográfico; esta inteligencia es muy desarrollada desde la infancia, dicha forma de aprendizaje transforma las habilidades visuales en elementos que generan pensamientos y comprensión de los problemas, en conclusión las formas importantes del pensamiento provienen directamente de nuestra propia percepción del mundo, es decir de lo que vemos(González, 2018).

En la figura 11, se muestran imágenes correspondientes al video "Instrucciones de seguridad en el uso del electrolizador"; las imágenes y gifs fueron un instrumento facilitador de aprendizaje, asimismo estas son percibidas como una fuente de motivación haciendo una dinámica diferente en el laboratorio(Rigo, 2017).

Figura 11.

Imagen tomada del video “seguridad del electrolizador”.



La operación del electrolizador se presenta en el video “funcionamiento del electrolizador”, con el paso a paso, unido a imágenes claras que facilitan interacción del estudiante con el equipo. En la figura 12 se muestran las imágenes correspondientes a este video; donde se evidencia el propósito de enfocar la atención en los temas relevantes del electrolizador (Morales, 2012), el video desarrolla la imaginación en el estudiante, además permite representar ilustraciones próximas a la realidad, diferente a leer un texto únicamente, que nos da una idea lógica mas no representativa (Antonio, Matamoros, & Pedagógico, 2014).

Figura 12.

Imágenes tomadas del video “funcionamiento del electrolizador”.



Para la unidad PEM se realizó un video con temática de *detective*¹, cuyas imágenes se muestran en la figura 13. Este tema fue escogido con el propósito de impactar al estudiante, de darle la impresión de estar en un juego mientras aprende, haciendo que recuerde con facilidad y manteniendo su atención, partiendo del video como un instrumento motivador, destacando la importancia de la motivación en el proceso de aprendizaje (Antonio et al., 2014).

Figura 13.

Imágenes tomadas del video “Seguridad del laboratorio PEM”.



¹ Referencia al cine policíaco; donde se siguen una serie de tareas para cumplir una misión.

Las fichas de seguridad son importantes, pero su extensión presenta distracciones en el estudiante, el video “El Hidrógeno” se realizó con algunas características de este elemento, con el objetivo de recuperar datos importantes que el estudiante por extensión de las lecturas omite, un ejemplo de estas se encuentran en la figura 14.

Figura 14 .

Imágenes tomadas del video “El hidrógeno”.



Con el fin de orientar a los estudiantes en el desarrollo de las prácticas se creó un video sobre la ejecución de estos procedimientos, donde inicialmente se establecen los pasos a seguir que tienen en común ambas prácticas, en la figura 15, se observan imágenes correspondientes a este video.

Figura 15.

Imágenes tomadas del video “Practicas del laboratorio PEM” pasos iniciales.



Posteriormente, se mostraron algunas ilustraciones de las partes del equipo y software del PEM, como se ilustra en la figura 16.

En los videos realizados se utilizaron una amplia gama de colores en busca de evitar que el estudiante se distraiga al ver las mismas imágenes de manera repetitiva. Teniendo en cuenta que algunos estudios encontraron que los colores tienen influencia en los procesos cognitivos de las personas (Ortiz Hernande, 2014), como lo son el color azul en la fácil memorización y el color verde en el aumento de la concentración, se buscó que estos colores influyeran en gran parte de los videos.

Figura 16.

Imágenes tomadas de las “prácticas de laboratorio PEM” pasos finales.



Por último, se realizó un video de las advertencias de la unidad PEM. Debido al peligro eléctrico, se presentaron imágenes claras, unidas a explicaciones que debe acatar el estudiante, por su propia seguridad y la de sus compañeros. Se establecieron *gifs* ilustrativos con los colores originales de los objetos, según estudios el color tiene una influencia en la memoria del estudiante, haciendo así que recuerde con facilidad la palabra asociada con la ilustración presentada, si esta tiene los colores originales asociados con la realidad (Ortiz Hernande, 2014). Imágenes de este video se pueden observar en la figura 17.

Figura 17.

Imágenes tomadas del video “Advertencias de la unidad PEM”.



Finalmente, como un método para evaluar lo aprendido en los manuales y videos, se realizó un banco de preguntas. La figura 18 presenta un ejemplo de estas, que se encontrarán aleatoriamente en la plataforma Moodle, tipo test, de este modo cada estudiante y el docente tendrá la posibilidad de evaluar el conocimiento adquirido antes de ingresar al laboratorio (**VER ANEXO E**).

Figura 18.

Imagen tomada del cuestionario de preguntas del laboratorio PEM.

Universidad Industrial de Santander
Escuela de Ingeniería Química
Laboratorio de energías renovables

CUESTIONARIO EVALUATIVO.

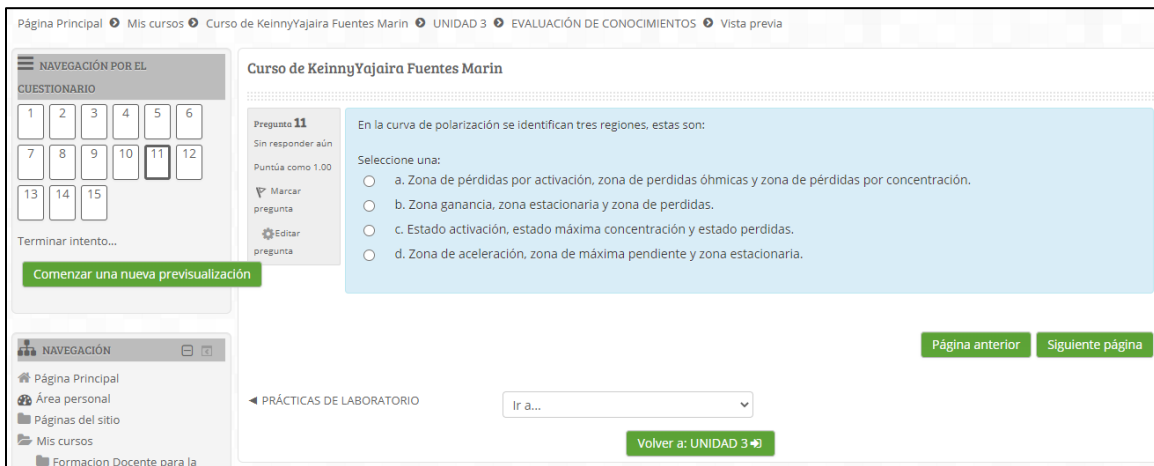
Cuestionario

- Los cartuchos de hidruros metálicos deben mantenerse a que temperatura:
a) Mayor de 80°C
b) 100°C
c) **No mayor a 40°C**
d) Ninguna de las anteriores
- Que riesgos tiene el hidrógeno a la salud humana:
a) Dolor en las articulaciones
b) **Enfermedades respiratorias**
c) Enfermedades en general
d) Ninguna de las anteriores
- Cómo se puede detectar una fuga de hidrógeno en el laboratorio
a) Con su olor
b) **Con un equipo de detección, ejemplo un sensor**
c) Viendo su color
d) Ninguna de las anteriores
- Como aumenta la posibilidad de una combustión del hidrógeno
a) **Con concentraciones altas**
b) No se produce nunca la combustión
c) No se produce combustión debido a los altos límites inferiores de inflamabilidad y detonación que posee
d) Ninguna de las anteriores
- Cuál de estas opciones representa un riesgo potencial del hidrógeno
a) Peligroso si se encuentra en espacios confinados
b) Se puede encender en un rango amplio de concentración
c) Es 14 veces más liviano que el aire, por lo tanto, asciende y se dispersa rápidamente
d) **Todas las anteriores**
- En caso de que el sensor muestre una fuga de hidrógeno en el laboratorio, el estudiante debe
a) No debe hacer nada
b) Llamar al director del laboratorio

La figura 19 muestra un ejemplo de cómo encontrarán los estudiantes las preguntas del cuestionario desarrollado.

Figura 19.

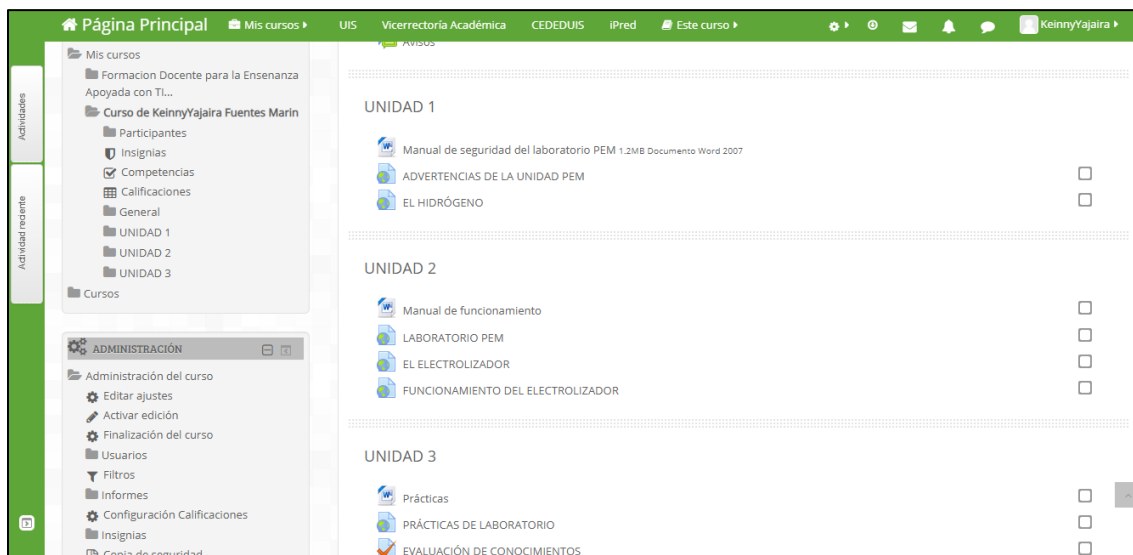
Ejemplo cuestionario evaluativo en la plataforma MOODLE.



Una vez realizada la planificación y el diseño pedagógico de la temática, se realizó el montaje de todos los recursos en la plataforma MOODLE. En la figura 20 se observa la vista preliminar de la plataforma virtual con los archivos desarrollados anteriormente.

Figura 20.

Vista preliminar de la temática.



4. Conclusiones

Se elaboraron los manuales de seguridad y funcionamiento de los equipos PEM y electrolizador, donde se establecen las pautas del correcto uso de los quipos, se especificaron algunas señales importantes, como material didáctico, mapas conceptuales en la seguridad del electrolizador y la unidad PEM con el objetivo de ser precisos en la información para el estudiante, y dar relevancia a aspectos importantes de los equipos.

Se diseñaron dos manuales para el desarrollo de las prácticas; en estos se sintetiza la información recolectada sobre la operación y manipulación del equipo, los objetivos y temas a estudiar en cada práctica, con el fin de guiar al estudiante en la ejecución de la práctica de laboratorio. Se recomienda entregar estos manuales con anterioridad al estudiante para que se familiarice con la información.

Se desarrollaron 6 videos educativos, haciendo síntesis de los manuales de funcionamiento de los equipos PEM y electrolizador, permitiendo desarrollar alternativas que den respuesta a la diversidad de aprendizaje, y motivando al estudiante a recordar fácilmente lo anteriormente leído en los manuales, además de aumentar las posibilidades de retención de la información, esto con la finalidad de que el estudiante, a la hora de presentar el laboratorio físicamente, recuerde con más facilidad los conceptos y mejore su desempeño en el laboratorio.

Finalmente, se creó un cuestionario de preguntas como método de evaluación, y una forma de medir la efectividad del aprendizaje, plasmado en los manuales y videos realizados, tomando

en cuenta los temas principales, y conceptos generales que el estudiante debe tener en cuenta antes de presentar el laboratorio.

5. Recomendaciones

Se recomienda la realización de las prácticas del laboratorio con sus resultados correspondientes, para hacer análisis y las correcciones de estas.

Se recomienda tomar fotografías más precisas de las partes del laboratorio, para mejorar la ubicación de los elementos del laboratorio.

Se recomienda agregar imágenes más precisas del software del equipo, por motivos del covid-19 no se pudieron anexar de esa manera en este proyecto.

Referencias Bibliográficas

- Antonio, M., Matamoros, G., & Pedagógico, U. (2014). Uso Instruccional del video didáctico Using instructional of didactic video. *Revista de Investigación N°*, 81, 42–68. Retrieved from <https://www.redalyc.org/pdf/3761/376140396002.pdf>
- ASCO Numatics - Emerson Méx. (2014). *Catálogo ASCO Express México*. Retrieved from <https://www.emerson.com/documents/automation/cat%Ellogo-asco-express-m%E9xico-es-mx-5297662.pdf>
- Aula, C. D. E., & Escolar, V. (n.d.). *Hacia el aula virtual: actividades de enseñanza y aprendizaje en la red*. 1–22.
- Barreto, C. R. (217AD). *Las TIC en la educación superior*.
- Benavides, M., Alvira, B., Córdoba, E., & Rodríguez, E. (2011). Crear Y Publicar Con Las Tic. In *Universidad del cauca* (Vol. 53). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Braimakis, K., Magiri-skouloudi, D., Grimekis, D., & Karellas, S. (2020). Energy-exergy analysis of ultra-supercritical biomass-fuelled steam power plants for industrial CHP , district heating and cooling. *Renewable Energy*, 154, 252–269. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.02.091>
- Cámara, E. L. (2000). Imágenes En La Enseñanza. *Revista de Psicodidáctica*, 1–19. Retrieved from <http://www.redalyc.org/pdf/175/17500911.pdf>. Fecha de Consulta:24/04/2017.
- Del, G., El, C. Y., Ing, A., Simón, A. J., Boris, I., Suárez, P., ... Bravo, R. (2017). *Las TIC y los mapas conceptuales en función de potenciar la gestión del conocimiento y el aprendizaje*. Autores: Ing. Alfredo J. Simón Cuevas, Ing. Boris Piñero Suárez, Ing. Danaisy Ruiz Bravo. (October), 469–478.

Desarrollo digital. (n.d.). Retrieved June 14, 2020, from <https://www.bancomundial.org/es/topic/digitaldevelopment/overview>

Drews, O. M., Académica, C., Adriana, L., Gómez, O., & Gestión, C. De. (2016). *Investigando la innovación con TIC en Educación*.

Enrique, C. M., & Alzugaray, G. E. (2013a). Modelo de enseñanza-aprendizaje para el estudio de la cinemática de un volante inercial usando tecnologías de la información y la comunicación en un laboratorio de física. *Formacion Universitaria*, 6(1), 3–12. <https://doi.org/10.4067/S0718-50062013000100002>

Enrique, C. M., & Alzugaray, G. E. (2013b). Modelo de enseñanza-aprendizaje para el estudio de la cinemática de un volante inercial usando tecnologías de la información y la comunicación en un laboratorio de física. *Formacion Universitaria*, 6(1), 3–12. <https://doi.org/10.4067/S0718-50062013000100002>

Equipo, D. D. E. L. (2015). *Manual de prácticas*.

Fernández, V. R. F. (n.d.). *Ingeniería química: un*. 1–9.

González, V. (2018). *Iconografía Como Herramienta Didáctica Para La Enseñanza De Las Ciencias Sociales*. Universidad Externado de Colombia.

Londoño, A. A. (2017). Energías renovables en Colombia: una aproximación desde la economía. *Revista Ciencias Estratégicas*, 25(38), 375–390. <https://doi.org/10.18566/v25n38.a7>

López Rua, Ana Milena; Tamayo Alzate, Ó. E. (2012). Las prácticas de laboratorio en la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos (Colombia)*, 8, 145–166.

Marini Munguía, V. (2016). *Uso de dispositivos digitales portátiles: perfiles de estudiantes universitarios*. 192.

- Morales, P. (2012). *Elaboración de material didáctico*. Retrieved from http://www.aliat.org.mx/BibliotecasDigitales/derecho_y_ciencias_sociales/Elaboracion_material_didactico.pdf
- Moreno, S. (2016). Estudio teórico – práctico de la célula de combustible . Caracterización eléctrica y mejoras en la gestión del agua a partir de nuevos materiales .
- NACIONAL, M. D. E. (2015). *Orientaciones para la construcción en los establecimientos educativos del manual de normas de seguridad en el laboratorio de química y de física* (p. 69). p. 69. Bogotá.
- Ortiz Hernande, G. (2014). El Color Un Facilitador Dicactico. *Revista de Psicología*, 24.
- Ortiz, J. E., & Martín-sánchez, D. (2011). *Tecnologías a la enseñanza application of new technologies to the*. 187, 171–176. <https://doi.org/10.3989/arbor.2011.Extra-3n3140>
- Parada Mendez, G. A., & Vera calderon, A. steven. (2009). *Implementación de las prácticas de laboratorio para las materias de estequiometría, fenómenos de transporte I y fenómenos de transporte II para reforzar el nuevo plan academico de ingeniería química* (Univerisdad Industrial de Santander; Vol. 2). Retrieved from ???
- Pc, C. (2018). *Equipo de Pila de Combustible PEM , con SCADA*.
- Praxair. (2014). *Instrucciones de funcionamiento regulador para botella de gases puros*.
- Principales, I. (2013a). *7 Manual de prácticas*. 1–21.
- Principales, I. (2013b). *Manual de prácticas*. 1–21.
- Regional, O. (2013). *Enfoque estratégico sobre tics en educación en américa latina y el caribe*.
- Rigo, D. (2017). Aprender y enseñar a través de imágenes: desafío educativo. *ASRI Revista Investigación*, (Abril 2014).

- Rojas suárez, M., & Mayorca Manrique, J. A. (2010). *Diseño e implementación de protocolos de seguridad para los laboratorios de química, ingeniería civil e ingeniería mecánica que presentan riesgo químico y biológico en la sede central de la Universidad Industrial de Santander*. (Universidad Industrial de Santander; Vol. 9). <https://doi.org/10.1558/jsrnc.v4il.24>
- Toro Toro, J. D., & Vega, O. A. (2011). Mapas conceptuales como mediación del uso educativo de las TIC [Concept maps as a mediation of the educational use of ICT]. *Ventana Informatica*, (24), 181–204. <https://doi.org/10.30554/ventanainform.24.164.2011>
- Universidad Industrial de Santander. (2016). *Protocolo de bioseguridad en laboratorios universidad industrial de santander proceso talento humano. 1*, 1–29.
- Vanegas García, J. H. (2014). Sensores y Transductores. *Universidad de Tarapacá*, 34. Retrieved from http://www.eudim.uta.cl/files/5813/2069/8949/fm_Ch03_mfuentesm.pdf
- XXV Congreso Internacional de Tecnologías de la Información en la Educación, TELEDU2019 TIC: Educación, Innovación y Empleo*. (2019). 19, 252.

Apéndices

Apéndice A. Manual de seguridad del laboratorio.

Normas de seguridad y trabajo (NACIONAL, 2015).

1. Previamente debe consultar la ficha de seguridad del producto químico (HIDRÓGENO) que se usa en el laboratorio.
2. Al ingresar al laboratorio usted debe seguir las indicaciones del personal a cargo y/o técnico de laboratorio.
3. Conozca la metodología y procedimientos para el trabajo a realizar en el laboratorio.
4. Utilizar bata de mangas largas, siempre bien abrochada, para protección de la ropa y la piel.
5. Evitar el uso de accesorios colgantes (aretes, pulseras, collares).
6. Por seguridad, recoger el cabello.
7. Use calzado cerrado que cubra completamente el pie.
8. En caso de producirse un accidente o lesión, comuníquelo inmediatamente al profesor o encargado del laboratorio.
9. No reciba visitas durante el desarrollo de su práctica de laboratorio.

10. Los visitantes sin importar la razón de su visita deben estar autorizados antes de entrar al laboratorio, y dependiendo de la actividad que vayan a realizar, deben utilizar obligatoriamente bata y elementos de protección personal.

11. No se debe comer, ni beber, ya que los alimentos y bebidas, pueden causar daños en los equipos.




12. Antes de comenzar una práctica se debe conocer y entender los procesos que se van a realizar.

13. Prohibido el uso del equipo sin haber recibido entrenamiento previo y sin supervisión durante su uso.

Elementos de protección personal (EPP).

Los EPP son elementos indispensables de los métodos de control de riesgos para proteger al trabajador, colocando barreras, en los posibles peligros, es claro que los usos de los EPP ayudan a proteger al estudiante frente a los riesgos presentes en los diferentes tipos y lugares de trabajo; sin embargo, se hacen las siguientes recomendaciones en la tabla 1 para un uso adecuado .(UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER, 2016)

Tabla 1.*Elementos de protección de uso en el laboratorio.*

Elemento	Nombre del elemento	Indicaciones de uso
	Bata antifluido	Indicaciones de uso: actividades de laboratorio en ambientes estudiantiles y experimentales.
	Gafas de seguridad	Indicaciones de uso: exposición a gases y vapores.
	Botas	Indicaciones de uso: exposición a factor de riesgo mecánico por caída de personas.

Seguridad de la unidad PEM.

A continuación, se presentan algunos aspectos importantes para tener en cuenta con la unidad PEM, además de distintas advertencias en caso de ocurrir ciertos eventos que se mencionarán en la **figura 1**.

Figura 1.

Seguridad de la unidad PEM (Equipo, 2015).



Detector de hidrógeno: en caso de una fuga, el sistema mediante un software envía un aviso o mediante un led EC5B

- En cuanto se encienda la luz en el software o el LED se debe **cerrar el cartucho de hidruros metálicos**, para que deje de liberar hidrógeno.

Nunca debe aplicar hidrógeno directamente sobre el detector de hidrógeno para comprobar su funcionamiento, **esto puede saturar el detector y quemarlo** debido a su sensibilidad y precisión

Protección por sobretemperatura: el sensor temperatura (ST-1) supera los 65°C se cierra la AVS-1 y se corta la entrada de hidrógeno (se emiten 3 pitidos)

Protección por sobrecarga de corriente o corriente débil: al detectarse una corriente superior a 12A o un voltaje inferior a 12V se corta la válvula de alimentación AVS-1 (emite 3 pitidos)

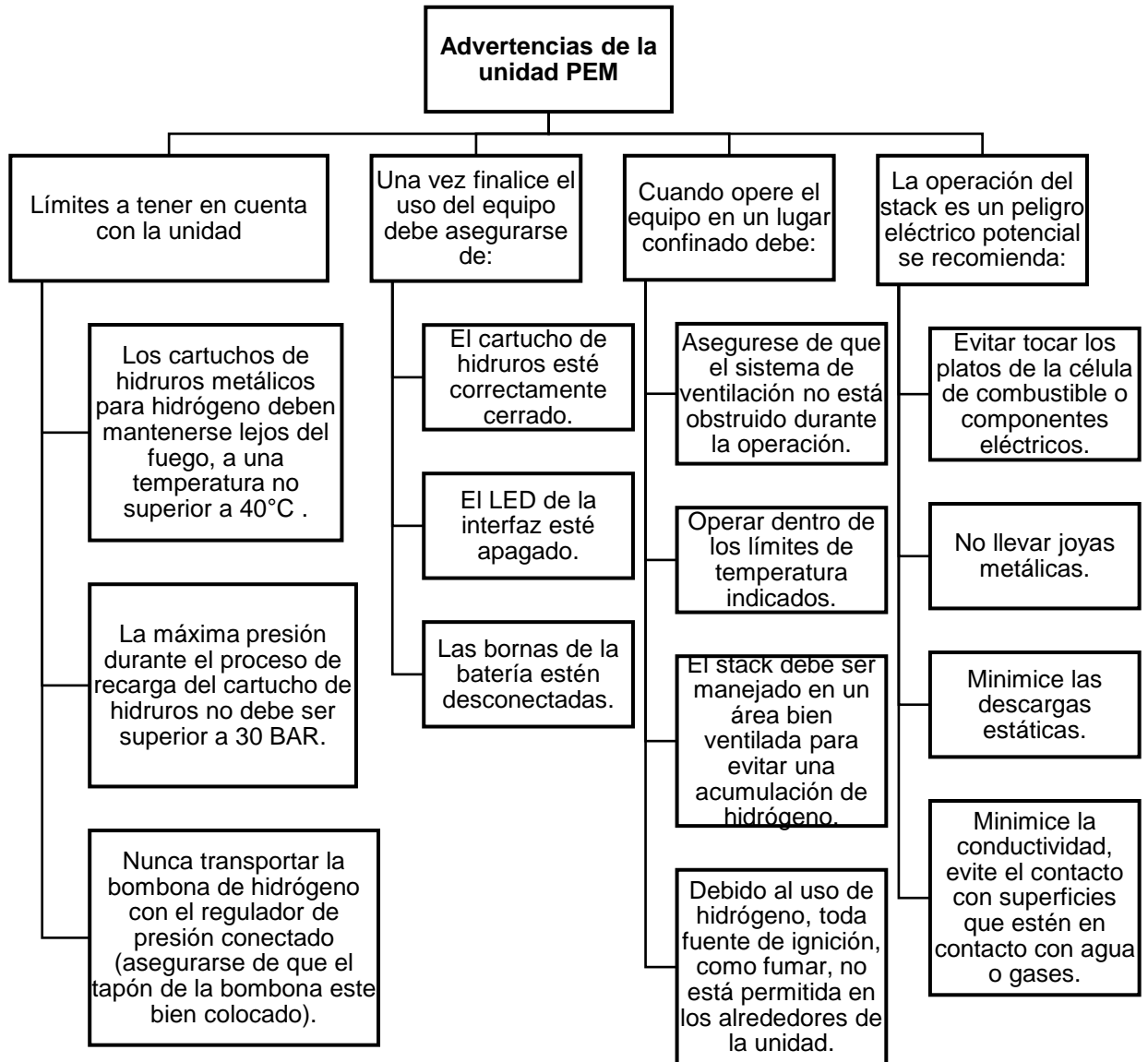
Importancia de la correcta purga del agua formada y del hidrógeno sobrante: la válvula de purga AVS-2 se abre automáticamente. Cuando arranca la pila está unos 3-4 segundos abierta, y después cada 15 segundos se abre medio segundo aproximadamente de forma cíclica.

En la **figura 2**, se muestran las advertencias de la unidad PEM. Y en la **figura 3**, las instrucciones y advertencias correspondientes al electrolizador.

Advertencias de la unidad PEM.

Figura 2.

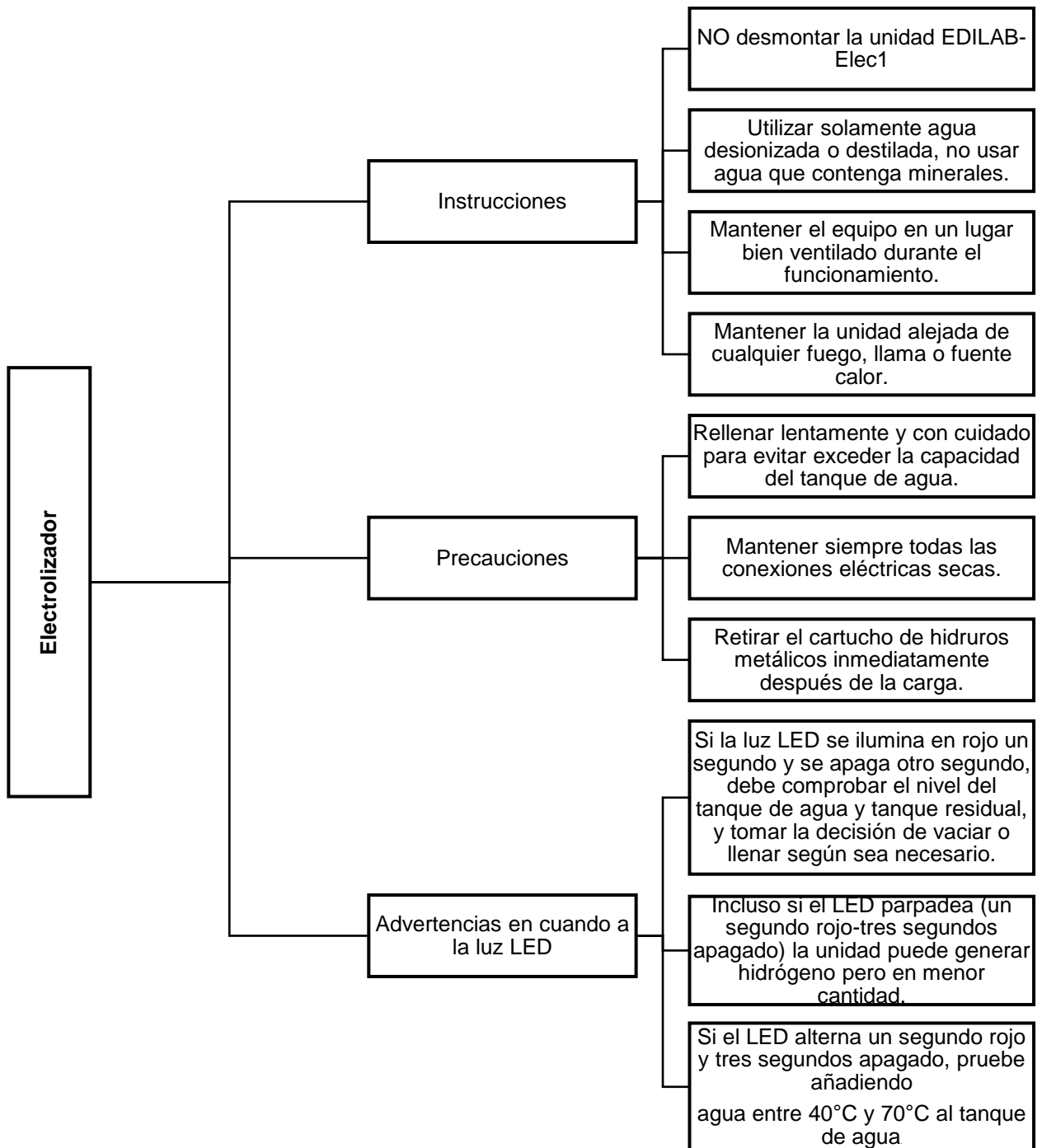
Advertencias de la unidad PEM (Equipo, 2015).



Instrucciones, precauciones y advertencias del electrolizador.

Figura 3.

Instrucciones, precauciones y advertencias del electrolizador (Principales, 2013b).



Apéndice B. Ficha técnica del hidrógeno (Principales, 2013b).

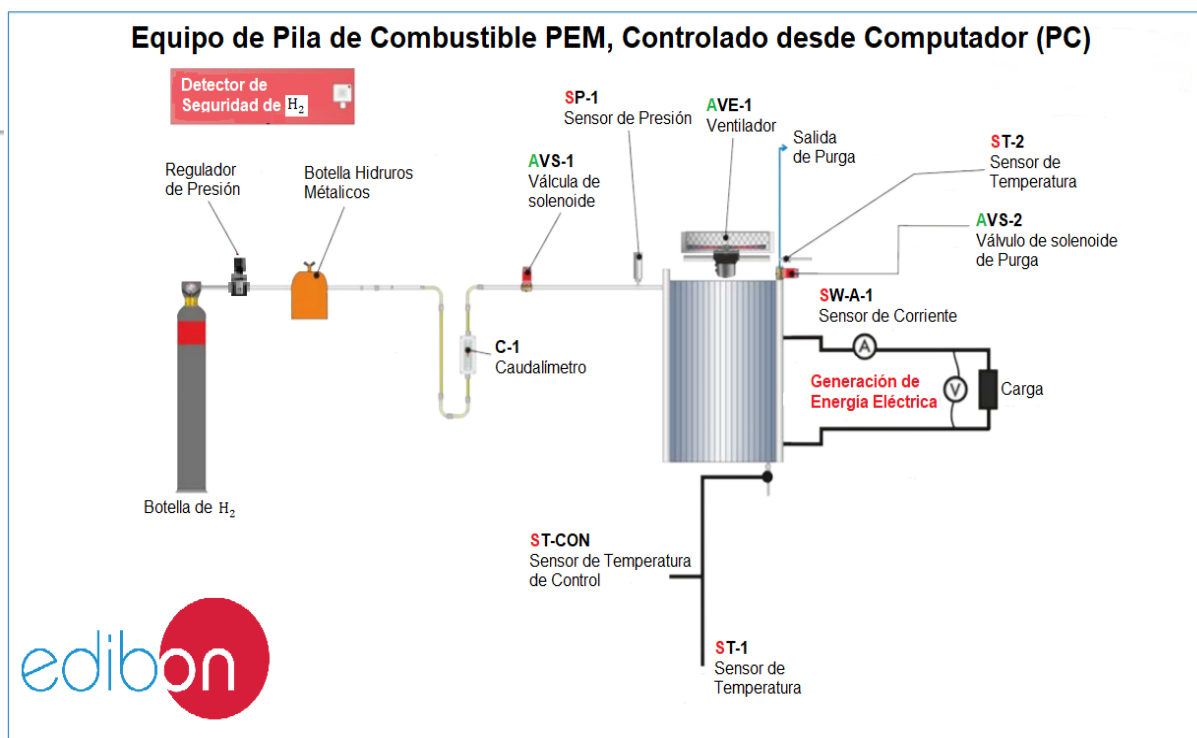
Información del producto	
Número de CAS	1333-74-0
Gas inflamable	Categoría 1
Nombre	Hidrógeno
Símbolo	H ₂
Propiedades Físicoquímicas	
Apariencia y color	Gas incoloro y sin olor
Densidad [Kg/m ³]	0,0899
% Concentración	99-100
Punto Fusión [K]	14,025
Punto ebullición [K]	20,268
Punto inflamabilidad [K]	255
Capacidad irritante del material	Producto del material no irritante
Condiciones por evitar	Evitar el contacto con materiales incompatibles y exponer a calor, chispas u otras fuentes de ignición. Cilindros expuestos a temperaturas altas o llamas directas pueden explotar violentamente.

Apéndice C. Manual de funcionamiento.

En la **figura 1**, se establecen las partes del equipo de pila de combustible, con sus nombres definidos.

Figura 1.

Equipo de pila de combustible PEM, controlado desde computador



Stack de pila de combustible con 24 celdas.

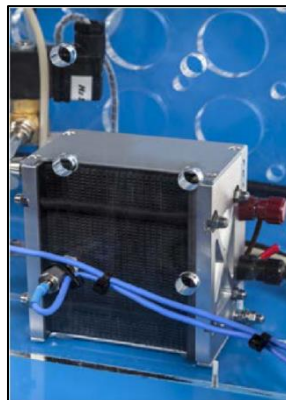
El *stack* de pila de combustible de membrana de intercambio protónico (PEM) presentada en la **figura 2**, tiene una potencia nominal de 100 [W] y está compuesto por 24 celdas con forma

de placas con canales que permiten el flujo de aire a través de la membrana; Esto facilita el flujo de hidrógeno, generando la liberación de electrones, entre cada par de celdas hay placas separadas conductoras de electricidad que permiten dicho flujo de electrones, son autohumidificables y no necesitan ningún tipo de humidificación externa.

La pila de combustible es un dispositivo electroquímico capaz de convertir directamente en electricidad la energía contenida en un combustible; Esta obtención de electricidad en forma de corriente continua, se lleva a cabo sin la necesidad de ningún proceso de combustión, ya que la oxidación del combustible y la reducción del comburente se producen en lugares físicos diferentes(Equipo, 2015).

Figura 2.

Stack de pila de combustible



Ventilador integrado en el stack.

El *stack* presentado en la **figura 3** lleva integrado un ventilador capaz de aportar el aire necesario para el buen funcionamiento y el mantenimiento de la temperatura apropiada(Equipo, 2015).

Figura 3.

Ventilador en el stack

**Válvula solenoide de alimentación del H₂.**

Una válvula solenoide, es un dispositivo electromecánico que se energiza o des energiza para abrir o cerrar un orificio de paso y permitir o bloquear el flujo de aire, agua, aceite, gases inertes, combustibles, vapor, etc. Este dispositivo está diseñado para el control unidireccional (un solo sentido) y es sumamente práctico y eficiente para el control de fluidos limpios(ASCO Numatics - Emerson Méx., 2014), en este caso esta válvula se encarga de controlar la entrada del hidrógeno, y cuando el equipo está apagado se cierra para evitar posibles fugas de hidrógeno(Equipo, 2015).

Regulador de presión de la botella de H₂.

El regulador de presión presentado en la **figura 4**, sirve para convertir una presión de entrada variable en una presión de salida fija, con el fin de regular la presión de salida a 30 bar (Praxair, 2014).

Figura 4

Regulador de Presión de la botella de H₂

**Regulador de presión del hidruro metálico.**

El regulador de presión de la **figura 5**, está destinado a reducir la presión del gas contenido en la botella a la presión que se requiere usar, está dotado de un manómetro de alta presión que indica el valor de la presión en la botella y un manómetro de baja presión que indica el valor de la presión reducida. Mediante un volante se consigue la regulación de la presión de suministro(Praxair, 2014), en este caso se usa para regular la presión de entrada al *stack* en un rango de 0,40 - 0,50 bar(Equipo, 2015).

Figura 5

Regulador de presión del hidruro metálico



Hidruro metálico para almacenamiento de H_2 de 3001 N de capacidad.

El almacenamiento de hidrógeno mostrado en la **figura 6**, representa uno de los puntos importantes dentro de la economía del hidrógeno, por lo que también incluye una botella de hidruros metálicos (3001 N). Gracias a la absorción del hidrógeno en el interior, este queda almacenado de forma segura y certificada, la presión interna de este dispositivo es 8 bar a una temperatura ambiente de 20-25°C. Tiene una presión de descarga de 15 - 20 bar(Equipo, 2015).

Figura 6

Hidruro metálico para almacenamiento de H_2

**Válvula solenoide de purga.**

Una válvula solenoide, es un dispositivo electromecánico que se energiza o des energiza para abrir o cerrar un orificio de paso y permitir o bloquear el flujo de aire, agua, aceite, gases inertes, combustibles, vapor, etc. Este dispositivo está diseñado para el control unidireccional (un solo sentido) y es sumamente práctico y eficiente para el control de fluidos limpios (ASCO Numatics - Emerson Méx., 2014), en este caso esta válvula se encuentra a la salida del *stack*, y purga hacia el exterior el agua y el hidrógeno sobrante para un correcto funcionamiento(Equipo, 2015).

Detector de escapes de hidrógeno (4-20 mA)

En la parte superior del equipo está instalado un detector de hidrógeno mostrado en la **figura 7**, que se encarga de detectar la fuga de dicho gas, mediante el software se manda un aviso al usuario (o mediante un LED)(Equipo, 2015).

Figura 7.

Detector de escapes de hidrógeno



Batería y cargador (12V).

En la unidad se dispone de una batería que suministra 12V a la interfaz representada en la **figura 8**, para que la unidad se encienda es necesario que la batería esté cargada y conectada(Equipo, 2015).

Figura 8.

Batería



Sensores.

Un sensor es un dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas, con el objetivo de mandar una señal y permitir que continúe un proceso, o bien detectar un cambio; dependiendo del caso que éste sea. Es un dispositivo que, a partir de la energía del medio, proporciona una señal de salida que es función de la magnitud que se pretende medir (Vanegas García, 2014), en este caso este equipo posee diferentes tipos de sensores (Equipo, 2015):

- Sensor de caudal para medir el caudal de H_2 de entrada al *stack*. Rango: 0,2 - 1,5 L/min. (o caudalímetro de rango: 0,2 - 2 L/min)
- Sensor de presión para medir la presión del H_2 a la entrada del *stack*. Rango: 0-1 bar (o manómetro de rango 0-1 bar)
- Sensor de corriente, sensor de voltaje y sensor de potencia.

Electrolizador

El electrolizador **figura 9**, es el encargado del proceso electrolítico de obtención de Hidrógeno. El electrolizador que incorpora consigue separar el agua en hidrógeno y oxígeno mediante la aplicación de electricidad. Este electrolizador PEM tiene una producción de hidrógeno de 3 L/h (Principales, 2013b).

Figura 9.

Electrolizador.



En la **tabla 1** se representan algunas descripciones a tener en cuenta del electrolizador, desde a que temperatura debe ser usada el agua, que tipo de pila es, entre otros.

Tabla 1.

Descripción del electrolizador (Principales, 2013b)

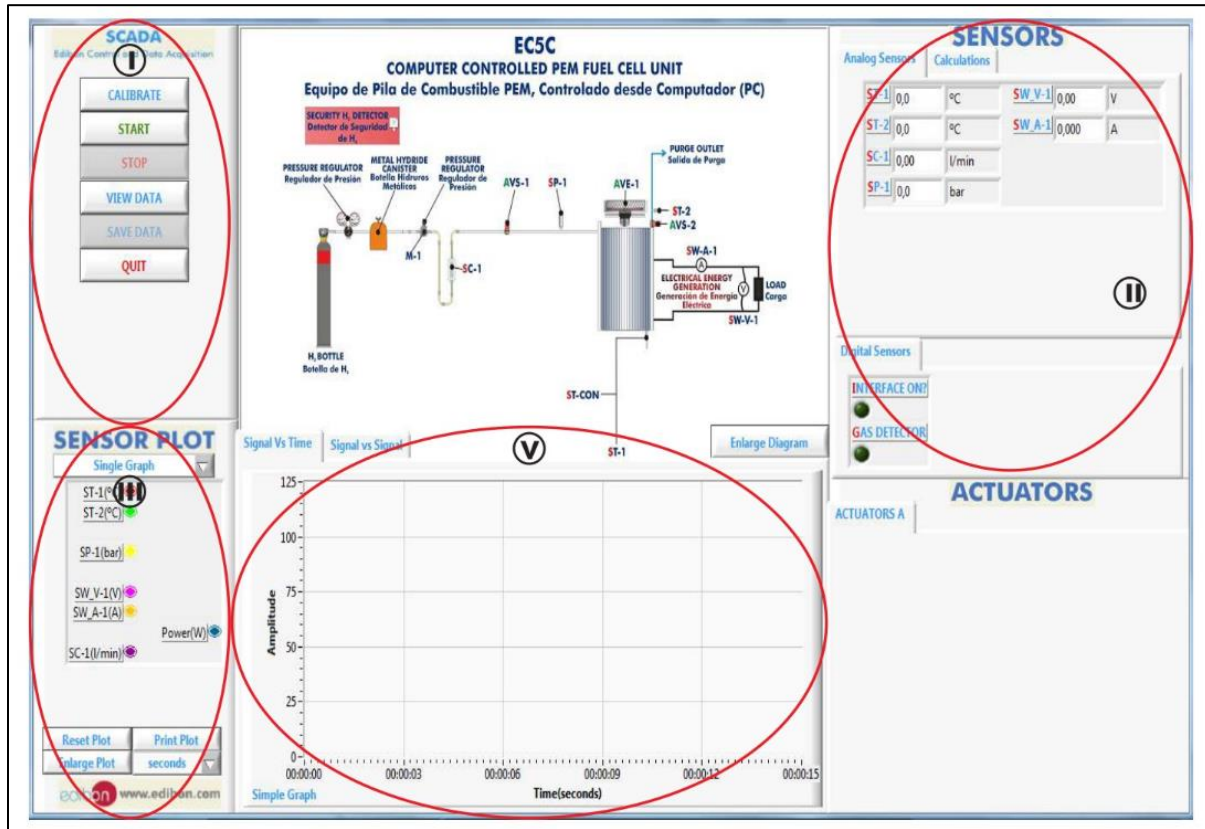
Tipo de pila	Celda de electrólisis de tipo membrana de intercambio protónico
Entrada de agua	Agua desionizada o destilada
Temperatura del agua	10-40°C (50-104° F)
Consumo de agua	Aprox. 20 ml/h (1,2 in ³ /h)
Capacidad de generación de hidrógeno	0,3 L/ h (0-183 in ³ /h)
Pureza	99,99%

Principales pantallas del software(PC, 2018)

El software se divide en 4 partes que tienen su propia función para la manipulación del equipo, a continuación en la **figura 10** se presentan las diferentes partes de la pantalla con sus nombres.

Figura 10.

Partes de la pantalla principal del software.



I) Controles principales

II) Displays de los sensores, valores en tiempo real, y parámetros extra de salida.

- ✓ ST= Sensor de temperatura
- ✓ SC= Sensor de caudal
- ✓ SP= Sensor de presión
- ✓ SW-V = Sensor de voltaje
- ✓ SW-A = Sensor de corriente

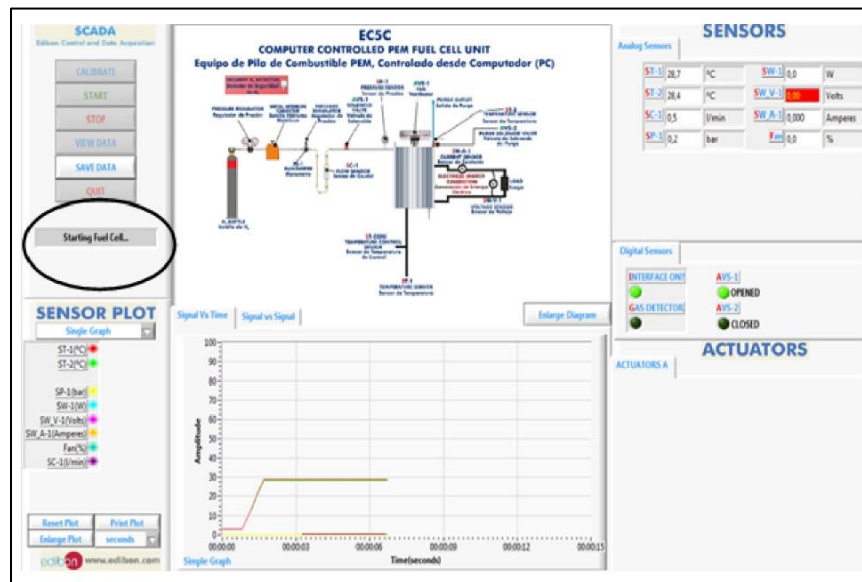
III) Selección de canales y otros parámetros para la configuración de gráficas.

IV) Displays de las gráficas en tiempo real.

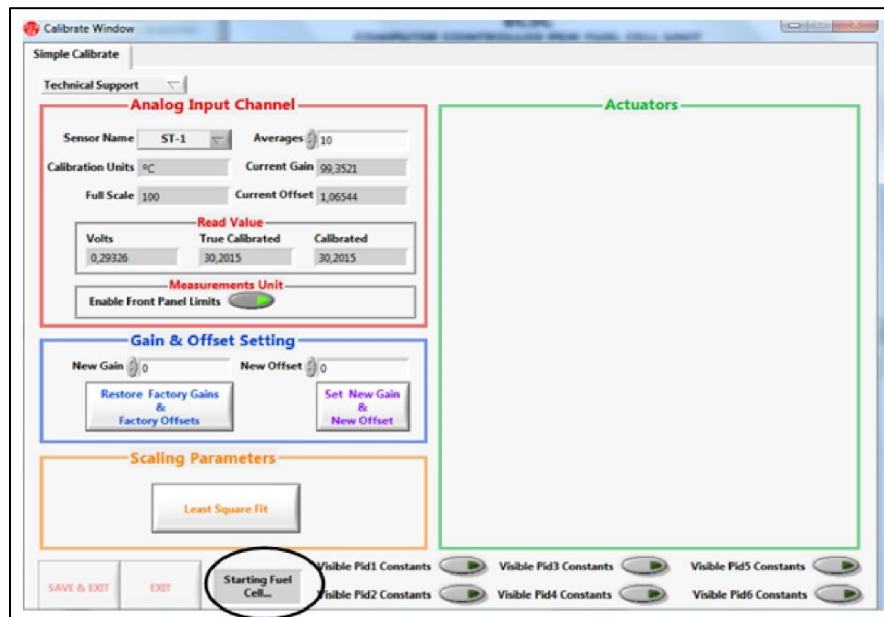
Proceso de arranque: Al pulsar *start*, **figura 11**, comienza el proceso de arranque que dura aproximadamente 20 s. Durante este tiempo el software no le permitirá pulsar *STOP* ni salir y mostrará el aviso “*Starting Fuel cell*” (Equipo, 2015).

Figura 11.

Proceso de arranque en el software



Calibración: Al entrar en la opción de calibración “*Calibrate*”, el software presentara la pantalla señalada en la **figura 12**, durante aproximadamente 20 [s], lleva a cabo un proceso de arranque(Equipo, 2015).

Figura 12.*Calibración en el software*


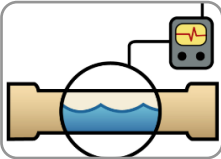

Salir del software: Al pulsar *EXIT* en el botón que se encuentra al lado de “*starting fuel cell...*” como se observa en la **figura 12**, se debe emitir un sonido (“doble pitido”) indicando que se ha apagado todo correctamente(Equipo, 2015).

Correcta manipulación de los equipos.

Funcionamiento del PEM (Equipo, 2015).

En la **figura 13** se presentan algunos aspectos a tener en cuenta con el equipo PEM, además de la correcta toma de datos.

Figura 13.*Manipulación del equipo PEM*

	Purga Se debe realizar una purga de hidrógeno y vapor de agua sobrante, dicha purga está programada para hacerse cada tres segundos.
	Cuidado de los datos Cuando ocurre la purga, al mismo tiempo durante medio segundo se absorbe hidrógeno, produciendo subidas de caudales (estos datos no se deben tener en cuenta en la práctica)
	Caudalímetro Es posible que algunas veces la bola del caudalímetro se atasque en la parte superior, en caso de que ocurra, se debe golpear suavemente el plástico que lo protege hasta que la bola caiga.

Funcionamiento de la batería (Equipo, 2015).

En la **figura 14** se encuentra presentado el paso a paso de la manera de cargar la batería para el equipo.

Figura 14.

Forma de recargar la batería



Para que la unidad se encienda, la batería debe estar cargada y conectada



Desenrosque los topes y conecte las pinzas como se indica en la imagen



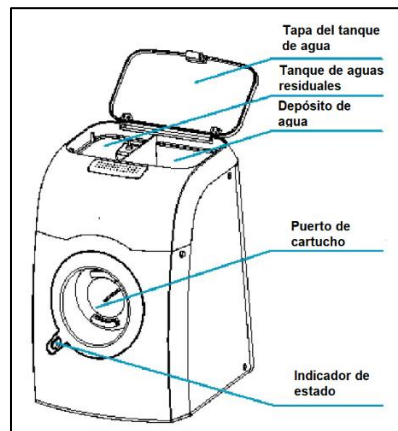
Conecte los bornes y rosque las tuercas PVC(+rojo y -negro)

Funcionamiento del electrolizador(Principales, 2013b).

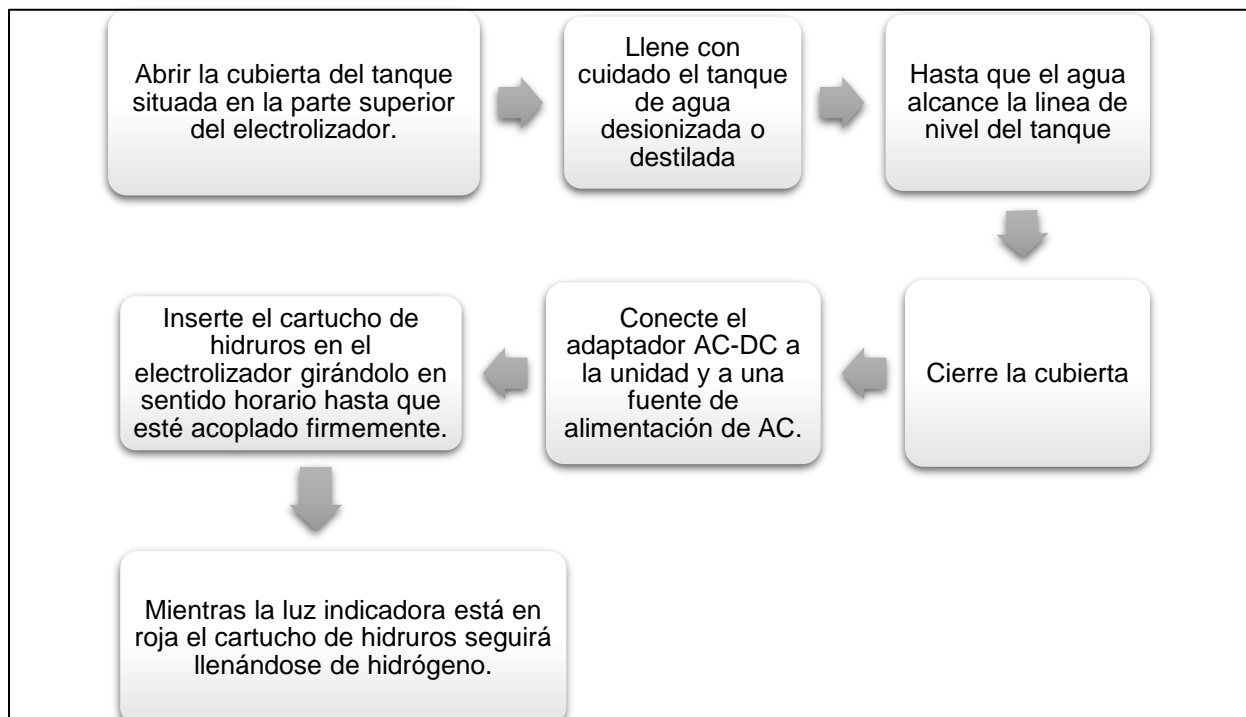
A continuación, se presenta una ilustración del electrolizador con sus partes principales **figura 15** y en el siguiente esquema se representan los pasos para usarlo **figura16**.

Figura 15.

Partes del electrolizador

**Figura 16.**

Pasos para el uso del electrolizador.



El electrolizador posee indicadores de luz led que presentan el estado actual del equipo de este modo permite un seguimiento de pasos que debe hacer el estudiante en caso de alguno de estos indicadores, en la **tabla 2** se adjuntan los pasos generales que normalmente el equipo presenta, y en la **tabla 3** se adjuntan algunos problemas con sus soluciones.

Tabla 2.

Indicadores de estado de acuerdo con la luz (Principales, 2013b).



 Luz verde	 Luz roja	Estado del sistema
Encendida		La botella de hidruros metálicos está llena.
1 [s] Encendida/1 [s] apagada		Tiempo de comienzo del proceso de llenado.
	Encendida	La botella de hidruros metálicos se está llenado.
	1 [s] Encendida/1 [s] apagada	Añada agua o vacíe el tanque de agua residual.

Tabla 3.

Soluciones a los indicadores LED que puede tener el electrolizador. (Principales, 2013b)

Problema	Solución
La lámpara LED indicadora de estado no se ilumina en verde después de conectar el cable de alimentación.	Compruebe la conexión entre el adaptador AC-DC y la fuente de alimentación.
	4. Desconecte el cartucho y vuélvalo a conectar despacio. Asegúrese de que la

La lámpara LED no cambia de color a roja después de conectar el cartucho de hidruros al electrolizador.

conexión es correcta y el cartucho está completamente insertado en la rosca.

5. Compruebe que el nivel de agua en los dos tanques es correcto.

6. Desconecte el adaptador AC-DC y vuelva a conectarlo.

La lámpara LED alterna entre roja durante un segundo y apagada durante 3 segundos.

Probar añadiendo agua entre 40°C y 70°C en el tanque de agua.

La lámpara LED alterna entre roja durante un segundo y apagada durante 1 segundo.

Compruebe que el nivel del agua sea el correcto, y depende de esto añada o retire el agua necesaria.

La lámpara LED se vuelve verde (el cartucho de hidruros metálicos está lleno) pero en realidad no se ha generado hidrógeno o se ha llenado muy poco.

3. Compruebe que la conexión con el electrolizador es correcta y que no hay fugas.

4. Compruebe la temperatura del agua (debe estar entre 40°C y 70°C)

Apéndice D. Prácticas de laboratorio.

NOMBRES:	
DOCENTE:	
GRUPO:	

Práctica 1.

Principios fundamentales del funcionamiento de una PEM.

Introducción

El avance en el sector industrial y su ampliación produjo un incremento en la demanda energética actual, que está basada en un modelo insostenible desde los puntos de vista económico y medioambiental.(Londoño, 2017) El desarrollo de energías sostenibles es un modo de suplir esta necesidad con el propósito de reducir el impacto ambiental, además de disminuir costos. Una alternativa en auge son las celdas de combustible, siendo estas un dispositivo electroquímico que convierte la energía química de una reacción, directamente en energía eléctrica(Principales, 2013a).

Aunque existen numerosos tipos de pilas de combustible, cada una con sus ventajas, inconvenientes y aplicaciones ideales, la célula de combustible de intercambio protónico (PEM)

es hoy, la que ofrece mejores características para aplicaciones portátiles y de automoción. Este tipo de dispositivo es capaz de generar electricidad a partir de hidrógeno proveniente de diversas fuentes y de oxígeno de la atmósfera, produciendo como residuo únicamente calor y agua(Principales, 2013a). Con respecto al hidrógeno, este se ha destacado actualmente como fuente de combustible, siendo una nueva oportunidad de explotar un recurso abundante que se puede obtener de numerosas fuentes.

En este orden de ideas, resulta indispensable desarrollar un conocimiento consolidado en energías renovables en los estudiantes(Enrique & Alzugaray, 2013b). En el caso particular de la Universidad Industrial de Santander, el laboratorio de ingeniería química cuenta con la unidad EC5C (o EC5B); una célula de combustible de intercambio protónico diseñada para permitir a los estudiantes la comprensión y el estudio de la tecnología de las células de combustible(Principales, 2013a).

A través de esta unidad se pueden estudiar los principios fundamentales del funcionamiento tanto de una célula de combustible de intercambio protónico como de un acumulador de hidruro metálico. También permite calcular diversos parámetros fundamentales de una célula de combustible tipo PEM, como la densidad de potencia, curvas de polarización, eficiencia, etc. y la variación de algunos de estos parámetros en función del consumo de reactivos y de la potencia desarrollada(Principales, 2013a).

OBJETIVOS

- Comprender el manejo y funcionamiento de la unidad EC5C (o EC5B).
- Determinar la eficiencia de una célula de combustible tipo PEM.
- Establecer la influencia de diferentes caudales de hidrógeno de entrada en la eficiencia de una célula de combustible tipo PEM.

- Analizar el efecto del caudal de hidrógeno de entrada sobre la densidad de corriente de una célula de combustible tipo PEM.

TEMAS PARA CONSULTAR

- Hidrógeno
- Almacenamiento del hidrógeno en hidruros metálicos
- Tipos de células de combustible
- Pila de Combustible de Membrana Polimérica (PEM)
- Principio de operación de una celda de combustible
- Termodinámica y eficiencia de las pilas de combustible.
- Balance energético y de masa.

ELEMENTOS NECESARIOS

Para la realización de la práctica se requiere:

- Unidad EC5C (o EC5B).
- Botella de hidrógeno gaseoso comprimido (pureza del 99,99%) a una presión de 150-200 bar.

DESARROLLO EXPERIMENTAL

Antes de comenzar con la práctica lea las instrucciones principales, advertencias y precauciones en el manual de seguridad del equipo.

1. Conecte la interfaz (o consola).
2. Abra lentamente en sentido antihorario el cartucho de hidruros, y seguidamente, lo más rápido posible, ejecute el software de control EC5C, pulse start y comienza el proceso de arranque (20 segundos). Recuerde que durante este tiempo el software no le permitirá pulsar STOP ni salir.

3. Fije el regulador de la unidad en 0,6 bar aproximadamente de manera que la presión de entrada al stack leída a través del software mediante SP-1 sea de 0,4-0,5 bar.

4. En el caso del EC5B siga los mismos pasos, abra el cartucho de hidruros, seguidamente encienda en la consola el interruptor de la pila de combustible y fije el regulador de la unidad en 0,6 bar aproximadamente de manera que la presión de entrada al stack leída a través del manómetro sea de 0,4-0,5 bar.

5. La válvula AVS-1 se abrirá permitiendo la entrada de hidrógeno.

Desarrollo experimental para cálculo de eficiencia:

Posterior a la apertura de la válvula AVS-1 permitiendo la entrada de hidrógeno del paso 5:

6. Espere 5 minutos a que el sistema se estabilice.

7. Con la válvula de aguja del caudalímetro fije un caudal medio (los picos de caudal cuando se abre la válvula de purga son necesarios y no se tienen en cuenta) y anótelos.

8. Espere 5 minutos y fije una corriente con el reóstato (módulo de carga).

9. Anote la potencia eléctrica obtenida (SW-1).

10. Repita el proceso con varios caudales diferentes de hidrógeno, pero la misma corriente fijada con el reóstato y anote los resultados obtenidos.

Desarrollo experimental para cálculo de densidad de corriente:

Posterior a la apertura de la válvula AVS-1 permitiendo la entrada de hidrógeno del paso 5:

6. Espere 5 minutos a que el sistema se estabilice.

7. Con la válvula de aguja del caudalímetro fije un caudal medio (los picos de caudal cuando se abre la válvula de purga son necesarios y no se tienen en cuenta) y anótelos.

8. Espere 5 minutos y anote la corriente obtenida (SW1-A).
9. Repita el proceso con varios caudales diferentes de hidrógeno y anote los resultados obtenidos.

Tablas y resultados

Para calcular la eficiencia de una célula de combustible tipo PEM se debe tener en cuenta el poder calorífico inferior del hidrógeno teórico descrito en la bibliografía:

Tabla 1.

PCI Inferior del hidrógeno teórico

Kg/h de H ₂	Nm ³ /h de H ₂ gas	Potencia (kw)
1	11,12	33,33
0,0899	1	3,00
0,0708	0,788	2,359

1. Anote los resultados obtenidos en la siguiente tabla:

Tabla 2

Resultados obtenidos

Nm ³ /h de H ₂ gas	Corriente (A)	Potencia (kw)

2. Calcule la potencia eléctrica teórica acorde al caudal de hidrógeno empleado:

$$KW_{Teóricos} = \frac{\frac{Nm^3}{h} \text{ de } H_2 \times 3 \text{ KW}}{1 \frac{Nm^3}{h} \text{ de } H_2 \text{ gas}} \quad \text{Ecuación 1}$$

3. Con la siguiente relación calcule la eficiencia real de la célula de combustible PEM y registre los resultados en la tabla 3:

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Potencia real}}{\text{Potencia teórica}} \times 100\% \quad \text{Ecuación 2}$$

Tabla 3.

Resultados obtenidos

Nm ³ /h de H ₂ gas	Corriente (A)	Potencia (kW)	Eficiencia (%)

4. Compare los resultados obtenidos representando en una gráfica el caudal de hidrógeno empleado frente a la eficiencia obtenida. Y responda:

- ¿Qué comportamiento presenta la gráfica? Analice.
- ¿Qué variables afectan la eficiencia de la celda? ¿La temperatura es una variable apreciable en el proceso? ¿Por qué?
- La potencia obtenida para cada uno de los caudales puede ser usada en procesos cotidianos, mencione un ejemplo para cada caudal.
- Comparado con una combustión tradicional y teniendo la misma cantidad de combustible, ¿la pila de combustible presenta ventaja o desventaja? Argumente su respuesta.

Como se indica en el fundamento teórico, en el diseño de las Pilas de Combustible es muy común utilizar el término Densidad de Corriente, en lugar de corriente:

$$I = i \times A_{cell} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

i: Densidad de corriente (A / cm²)

A_{cell}: Es el área de cada celda (cm²).

A continuación, se muestran los datos correspondientes a las dimensiones de la membrana:

Dimensiones de la membrana	90mm x 45mm
----------------------------	-------------

5. Usando la ecuación 1 complete la siguiente tabla registrando los resultados obtenidos:

Tabla 4

Resultados obtenidos

Nm ³ /h de H ₂ gas	Corriente obtenida (A)	Densidad de corriente, i (A/cm ²)

Conteste:

- ¿Cuál es el significado físico de la densidad de corriente en las pilas de combustible?
- ¿Cuál es la tendencia que muestra la densidad de corriente ante las variaciones del caudal de hidrógeno?
- ¿Qué se espera le suceda a la membrana si se usan altas densidades de corriente? Y ¿cuál sería el efecto en estas de usar bajas densidades de corriente?

- Si se aumentara el área de la membrana, ¿el consumo de hidrógeno disminuiría o aumentaría? ¿Por qué?

NOMBRES:	
DOCENTE:	
GRUPO:	

PRÁCTICA 2.

Curvas características de una PEM.

INTRODUCCIÓN

El avance en el sector industrial y su ampliación produjo un incremento en la demanda energética actual, que está basada en un modelo insostenible desde los puntos de vista económico y medioambiental. El desarrollo de energías sostenibles es un modo de suplir esta necesidad con el propósito de reducir el impacto ambiental, además de disminuir costos. Una alternativa en auge son las celdas de combustible, siendo estas un dispositivo electroquímico que convierte la energía química de una reacción, directamente en energía eléctrica.

Aunque existen numerosos tipos de pilas de combustible, cada una con sus ventajas, inconvenientes y aplicaciones ideales, la célula de combustible de intercambio protónico (PEM) es hoy, la que ofrece mejores características para aplicaciones portátiles y de automoción. Este tipo de dispositivo es capaz de generar electricidad a partir de hidrógeno proveniente de diversas fuentes y de oxígeno de la atmósfera, produciendo como residuo únicamente calor y agua. Con respecto al hidrógeno, este se ha destacado actualmente como fuente de combustible, siendo una nueva oportunidad de explotar un recurso abundante que se puede obtener de numerosas fuentes.

En este orden de ideas, resulta indispensable desarrollar un conocimiento consolidado en energías renovables en los estudiantes. En el caso particular de la Universidad Industrial de Santander, el laboratorio de ingeniería química cuenta con la unidad EC5C (o EC5B); una célula de combustible de intercambio protónico diseñada para permitir a los estudiantes la comprensión y el estudio de la tecnología de las células de combustible.

A través de esta unidad se pueden estudiar los principios fundamentales del funcionamiento tanto de una célula de combustible de intercambio protónico como de un acumulador de hidruro metálico. También permite calcular diversos parámetros fundamentales de una célula de combustible tipo PEM, como la densidad de potencia, curvas de polarización, eficiencia, etc. y la variación de algunos de estos parámetros en función del consumo de reactivos y de la potencia desarrollada.

OBJETIVOS

- Analizar la representación de la curva de polarización real de una pila de combustible tipo PEM.
- Representar las curvas características de voltaje y de potencia de una célula de combustible tipo PEM.

TEMAS PARA CONSULTAR

- Tipos de células de combustible
- Pila de Combustible de Membrana Polimérica (PEM)
- Principio de operación de una celda de combustible
- Curvas típicas de la PEM
- Curva de polarización de pilas PEM.
- Análisis eléctrico de una PEM.

ELEMENTOS NECESARIOS

Para la realización de la práctica se requiere:

- Unidad EC5C (o EC5B).
- Botella de hidrógeno gaseoso comprimido (pureza del 99,99%) a una presión de 150-200 bar.

DESARROLLO EXPERIMENTAL

Antes de comenzar con la práctica lea las instrucciones principales, advertencias y precauciones en el manual de seguridad del equipo.

1. Conecte la interfaz (o consola).
2. Abra lentamente en sentido antihorario el cartucho de hidruros, y seguidamente, lo más rápido posible, ejecute el software de control EC5C, pulse start y comienza el proceso de arranque (20 segundos). Recuerde que durante este tiempo el software no le permitirá pulsar STOP ni salir.
3. Fije el regulador de la unidad en 0,6 bar aproximadamente de manera que la presión de entrada al stack leída a través del software mediante SP-1 sea de 0,4-0,5 bar.
4. En el caso del EC5B siga los mismos pasos, abra el cartucho de hidruros, seguidamente encienda en la consola el interruptor de la pila de combustible y fije el regulador de la unidad en 0,6 bar aproximadamente de manera que la presión de entrada al stack leída a través del manómetro sea de 0,4-0,5 bar.
5. La válvula AVS-1 se abrirá permitiendo la entrada de hidrógeno.
6. Espere 5 minutos a que el sistema se estabilice.
7. Con la válvula de aguja del caudalímetro fije un caudal medio (los picos de caudal cuando se abre la válvula de purga son necesarios y no se tienen en cuenta) y anótelo.

8. Espere 5 minutos y fije una corriente con el reóstato (módulo de carga) y anótela.
9. Anote el voltaje obtenido correspondiente con esa corriente (SW1-V) y la potencia obtenida (SW-1).
10. Repita el proceso fijando diferentes corrientes con el reóstato y anote los resultados obtenidos. Es recomendable cubrir todo el rango de corrientes 0-7 A para observar mejor los resultados y preferiblemente de más carga a menos carga (es decir, de 0A a 7A).

TABLAS Y RESULTADOS

1. Anote los resultados obtenidos en la siguiente tabla:

Tabla 1.

Resultados obtenidos

Nm³/h de H₂ gas	Corriente fijada (A)	Potencia obtenida (W)	Voltaje obtenido (V)	Densidad de corriente (A/cm²)

2. Represente la curva de polarización y analice:
 - Voltaje obtenido frente a densidad de corriente.
3. Represente las curvas características de operación y analice:
 - Voltaje frente corriente.
 - Potencia frente corriente.

4. Compare las curvas obtenidas con las teóricas de operación y responda:

- Identifique las diferentes regiones en la curva de polarización y explique su comportamiento.

- ¿Qué factores pueden considerarse pérdidas de voltaje y afectar la curva de polarización?

- De acuerdo con la práctica ejecutada, explique los siguientes términos y donde se vieron aplicados:

- Polarización de Activación.
- Polarización Óhmica o resistiva.
- Polarización de Concentración o Transporte de Masa.

Explique el comportamiento que presentan las gráficas de voltaje y potencia respecto a corrientes.

Apéndice E. Cuestionario evaluativo.**Cuestionario**

1. Los cartuchos de hidruros metálicos deben mantenerse a que temperatura:
 - a) Mayor de 60°C
 - b) 100°C
 - c) **No mayor a 40°C**
 - d) Ninguna de las anteriores

2. Que riesgos tiene el hidrógeno a la salud humana:
 - a) Dolor en las articulaciones
 - b) **Enfermedades respiratorias**
 - c) Enfermedades en general
 - d) Ninguna de las anteriores

3. Cómo se puede detectar una fuga de hidrógeno en el laboratorio
 - a) Con su olor
 - b) **Con un equipo de detección, ejemplo un sensor**
 - c) Viendo su color
 - d) Ninguna de las anteriores

4. Como aumenta la posibilidad de una combustión del hidrógeno
 - a) **Con concentraciones altas**
 - b) No se produce nunca la combustión
 - c) No se produce combustión debido a los altos límites inferiores de inflamabilidad y detonación que posee
 - d) Ninguna de las anteriores

- 5.Cuál de estas opciones representa un riesgo potencial del hidrógeno
 - a) Peligroso si se encuentra en espacios confinados
 - b) Se puede encender en un rango amplio de concentración
 - c) Es 14 veces más liviano que el aire, por lo tanto, asciende y se dispersa rápidamente
 - d) **Todas las anteriores**

6. En caso de que el sensor muestre una fuga de hidrógeno en el laboratorio, el estudiante debe
 - a) No debe hacer nada
 - b) Llamar al director del laboratorio
 - c) **Cuando se encienda la luz del software, el estudiante debe cerrar el cartucho de hidruros metálicos.**
 - d) Ninguna de las anteriores

7. Para el electrolizador se debe usar que tipo de agua
 - a) Cualquier tipo de agua sirve
 - b) **Agua destilada o desionizada**

- c) Agua con minerales
 - d) Ninguna de las anteriores
8. Cuando el equipo hace la purga de hidrógeno y vapor de agua sobrante, el estudiante debe
- a) Seguir tomando los datos como normalmente lo estaba haciendo
 - b) No tener en cuentas los datos producidos en ese momento**
 - c) Ninguna de las anteriores
9. Cuando la bola del caudalímetro se atasque, el estudiante debe
- a) Debe esperar que se arregle
 - b) Se debe golpear suavemente el plástico que lo protege hasta que la bola caiga**
 - c) No se atasca
 - d) Ninguna de las anteriores
10. En la curva de polarización se identifican tres regiones, estas son:
- a) Zona de pérdidas por activación, zona de perdidas óhmicas y zona de pérdidas por concentración.**
 - b) Zona de aceleración, zona de máxima pendiente y zona estacionaria.
 - c) Estado activación, estado máxima concentración y estado perdidas.
 - d) Zona ganancia, zona estacionaria y zona de perdidas.
11. Los ejes de la curva de polarización corresponden a:
- a) Abscisas: densidad de corriente – Ordenadas: intensidad de corriente

- b) Abscisas: Voltaje – Ordenadas: densidad de corriente
- c) **Ordenadas: Tensión – Abscisas: densidad de corriente**
- d) Ordenadas: intensidad de corriente - Abscisas: densidad de corriente

12. Los siguientes factores corresponden a causas que se pueden atribuir a las pérdidas por activación:

- a) **Catalizador- Concentración de especies – Condiciones de operación – Envenenamiento – Mecanismos de reacción.**
- b) Suciedad – Condiciones de Operación - Temperatura – Tensión
- c) Tipo de Reacción – Intensidad – Catalizadores
- d) Condiciones de operación y aislantes

13. Algunas de las técnicas de producción de hidrógeno, son:

- a) Ciclos termoquímicos.
- b) Fermentación y foto electrólisis.
- c) **Reformado, gasificación y pirólisis.**
- d) Electrólisis y pirólisis.

14. La electrólisis es un proceso por el cual se logra que el agua se separe en hidrógeno y oxígeno mediante la aplicación de:

- a) Catalizadores
- b) **Electricidad**
- c) Fococeldas

d) Electroimanes

15. Los elementos principales que conforman una PEM son:

a) Sustancia electrolítica.

b) Electrodo (ánodo y cátodo)

c) Zona de difusión del gas

d) Todas las anteriores

e) Ninguna de las anteriores