



**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE
HIDRÓGENO, EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA Y VIABILIDAD**

ANDRÉS FELIPE CAMERO MONTAÑA

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS
Rectoría Sede Principal
Sede Bogotá D.C. - Sede Principal
PROGRAMA INGENIERÍA INDUSTRIAL
Junio de 2024**

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE HIDRÓGENO,
EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA Y VIABILIDAD.

ANDRÉS FELIPE CAMERO MONTAÑA

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Industrial

Asesor(a)
Nobel Eliecer Castellanos Bejarano
Ingeniero eléctrico

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS
Rectoría Sede Principal
Sede Bogotá D.C. - Sede Principal
PROGRAMA Ingeniería Industrial
Junio de 2024

Contenido

Lista de tablas	5
Lista de figuras.....	6
Lista de anexos.....	7
Resumen.....	8
Abstract.....	9
Introducción	10
1 Planteamiento del problema.....	11
2 Justificación	12
3 Objetivos	14
3.1 Objetivo general.....	14
3.2 Objetivos específicos	14
4 Antecedentes	15
4.1 Biogás en Colombia y el resto del mundo.....	15
4.2 Generación de biogás mediante un biodigestor.....	17
4.2.1 Desafíos para la implementación del proyecto de biogás en Bogotá.....	19
5 Marco teórico	21
5.1 El hidrógeno como combustible	21
5.1.1 Propiedades del hidrógeno.....	21
5.2 Propiedades físicas y químicas del hidrogeno	23
5.2.1 Propiedades físicas del hidrógeno:.....	23
5.2.2 Propiedades químicas del hidrógeno:	24
5.2.3 Rutas en la producción de hidrógeno.....	24
5.3 Colores del hidrogeno.....	26
5.4 Almacenamiento de hidrógeno	27
5.5 Aplicaciones del hidrógeno.....	28
5.6 Desafíos y oportunidades del hidrógeno	29
6 Metodología	31
6.1 Diseño y construcción de un sistema de electrólisis	31

6.2	Funcionamiento del sistema.....	34
6.3	Diseño mecanismo Arduino y código	35
6.3.1	Diseño de código:	35
7	Materiales y costos de proyecto.....	38
7.1	Componentes Electrónicos	38
7.2	Componentes del Sistema	39
7.3	Elementos Prestados del Laboratorio.....	39
7.4	Resumen de Costos.....	40
8	Análisis de resultados	41
8.1	Análisis de la tabla de ppm de hidrógeno:.....	43
8.2	Viabilidad del Proceso.....	44
9	Discusión.....	45
9.1	Reacción química:	45
9.2	Mejora del proceso	47
	Conclusiones	48
	Recomendaciones	50
	Referencias.....	52
	Anexos	56

Lista de tablas

Tabla 1 Propiedades físicas y químicas	23
Tabla 2 Valor componentes Electrónicos.....	38
Tabla 3 Valor componentes del sistema de electrolisis.....	39
Tabla 4 Elementos no contados en el presupuesto	40
Tabla 5 Datos recolectados a medida que se cambian las concentraciones de sal y de voltaje	42

Lista de figuras

FIGURA 1 Las potencias del mundo en hidrógeno	16
FIGURA 2 Fotografía de biodigestor realizado en semillero de investigación	18
FIGURA 3 Rutas principales en la producción de hidrógeno.....	24
FIGURA 4 Componentes de una celda.....	31
FIGURA 5 Imagen del armado de las celdas de hidrogeno	32
FIGURA 6 Sensor MQ 8.....	33
FIGURA 7 Esquema sistema de celdas de electrolisis	33
FIGURA 8 Sistema de electrolisis principal	34
FIGURA 9 Componentes del sistema Arduino.....	35
FIGURA 10 Diagrama de flujo pasos del sistema a realizar	36
FIGURA 11 Proceso de electrolisis, comienzo de turbidez del agua	41
FIGURA 12 Medición Ppm de hidrogeno	42

Lista de anexos

Anexo 1 Código Arduino, sensor de gas y pantalla LCD	56
Anexo 2 Datasheet mq-8 sensor	57
Anexo 3 Hoja de seguridad y NFPA 704.....	59

Resumen

En el contexto de la crisis climática y la búsqueda de una economía sostenible, el proyecto "Diseño e Implementación de un sistema de generación de hidrógeno combustible, Evaluación de la Eficiencia y Viabilidad " se propone avanzar en la producción de hidrógeno a partir de fuentes renovables mediante la tecnología de electrólisis.

El proyecto tiene como objetivo principal evaluar la eficiencia y viabilidad de la generación de hidrógeno mediante electrólisis a pequeña escala, para su aplicación como combustible. Se busca analizar el rendimiento del sistema en términos de eficiencia energética, producción de hidrógeno y costos asociados. Para ello, se realiza una exhaustiva revisión bibliográfica sobre la electrólisis, la producción de hidrógeno y sus aplicaciones. Se diseñará el sistema de electrólisis basado en celdas de hidrogeno, integrado con un sistema de Arduino con sensores, y se realizarán pruebas exhaustivas para evaluar su rendimiento.

El proyecto espera contribuir al avance del conocimiento y la tecnología de electrólisis, promoviendo su adopción como una alternativa viable para la producción de hidrógeno limpio y sostenible. Además, se espera que el proyecto contribuya a la transición hacia una economía sostenible y la lucha contra el cambio climático.

Palabras clave: Cambio climático, eficiencia energética, electrólisis, hidrógeno, sostenibilidad, viabilidad.

Abstract

In the context of the climate crisis and the search for a sustainable economy, the project "Design and Implementation of a fuel hydrogen generation system, Evaluation of Efficiency and Viability" aims to advance the production of green hydrogen from sources. renewable through electrolysis technology.

The main objective of the project is to design, implement and evaluate an electrolysis system controlled by Arduino, capable of generating hydrogen efficiently and economically viable. The aim is to analyze the performance of the system in terms of energy efficiency, hydrogen production and associated costs. To this end, an exhaustive bibliographic review is carried out on electrolysis, hydrogen production and its applications. The hydrogen cell-based electrolysis system will be designed, integrated with an Arduino system with sensors, and extensive tests will be carried out to evaluate its performance.

The project hopes to contribute to the advancement of electrolysis knowledge and technology, promoting its adoption as a viable alternative to produce clean and sustainable hydrogen. Furthermore, the project is expected to contribute to the transition towards a sustainable economy and the fight against climate change.

Keywords: Climate change, electrolysis, energy efficiency, hydrogen, sustainability, viability.

Introducción

En el actual panorama de transición hacia fuentes de energía más sostenibles y limpias, la generación de hidrógeno mediante el proceso de electrólisis emerge como una alternativa sumamente prometedora. Este método ha sido crucial en diversos ámbitos, Desde sus inicios con Michael Faraday en el siglo XIX hasta nuestros días, este método se ha visto en la producción de metales hasta la purificación de sustancias químicas y la fabricación de productos industriales.

Según la Ruta de hidrógeno de Colombia “Colombia dispone de las condiciones para aprovechar la oportunidad del hidrógeno y convertirse en líder regional de la transición energética gracias a su privilegiada ubicación geográfica y a un marco regulatorio y político estable, capaz de atraer inversiones a largo plazo” (Ministerio de minas y energía de Colombia, 2021) .

En este contexto, se plantea el proyecto titulado " Diseño e implementación de un Sistema de Generación de Hidrógeno Combustible, Evaluación de la Eficiencia y Viabilidad". El propósito fundamental de esta iniciativa es explorar a fondo los aspectos técnicos, económicos y ambientales asociados con la tecnología de la electrólisis. Se busca no solo analizar la eficiencia y rentabilidad de la producción de hidrógeno mediante este método, sino también arrojar luz sobre su viabilidad en el contexto actual de la transición energética. Se aspira contribuir al avance de soluciones energéticas más limpias y sostenibles al proporcionar una evaluación exhaustiva de la tecnología de la electrólisis para la generación de hidrógeno. Se espera que los hallazgos obtenidos impulsen el desarrollo de sistemas eficientes y viables que puedan integrarse con éxito en el panorama energético del futuro tanto en la universidad o del país.

1 Planteamiento del problema

La electrólisis ofrece una solución prometedora para la producción sostenible de hidrógeno, con el potencial de desempeñar un papel crucial en la transición hacia una economía baja en carbono y en la mitigación del cambio climático. El proyecto de “Diseño, implementación y evaluación de un sistema de generación de hidrógeno combustible” a través de electrólisis contribuirá a avanzar en el conocimiento y la implementación de esta tecnología, abriendo un camino hacia un futuro energético más sostenible y limpio

El mundo se enfrenta a una crisis climática sin precedentes, impulsada principalmente por las emisiones de gases de efecto invernadero derivadas del uso de combustibles fósiles. Esta situación exige una transición urgente hacia fuentes de energía más sostenibles y limpias para mitigar el cambio climático y garantizar un futuro habitable para las generaciones venideras.

En este contexto, el hidrógeno emerge como una alternativa prometedora como combustible del futuro. Posee una alta densidad energética, lo que significa que puede almacenar una gran cantidad de energía en un volumen relativamente pequeño. Además, su combustión no genera emisiones de gases de efecto invernadero, sino solo vapor de agua. Sin embargo, la producción actual de hidrógeno a gran escala se basa principalmente en combustibles fósiles, como el gas natural, mediante procesos como la reforma de vapor. Estos métodos generan grandes cantidades de dióxido de carbono, lo que contradice los objetivos de sostenibilidad y descarbonización.

2 Justificación

La electrólisis se presenta como una solución alternativa para la producción de combustibles ya que al ser un proceso sencillo de replicar se obtiene hidrógeno, un material químico altamente inflamable a partir de una fuente de energía eléctrica que descompone el agua en sus componentes, hidrógeno y oxígeno. Este proceso ofrece diversas ventajas para la producción de hidrógeno, como, por ejemplo:

Flexibilidad geográfica: A diferencia de la producción convencional de hidrógeno, que depende de la disponibilidad de gas natural, la electrólisis puede implementarse en una amplia variedad de ubicaciones, impulsando la descentralización de la producción de energía.

Bajo impacto ambiental: La producción de hidrógeno mediante electrólisis no emite gases de efecto invernadero, lo que minimiza su impacto ambiental y contribuye a la lucha contra el cambio climático.

Aplicaciones diversas: El hidrógeno producido mediante electrólisis puede utilizarse en diversas aplicaciones, como el transporte, la generación de energía y la industria, impulsando la descarbonización de múltiples sectores. Sin embargo, la implementación a gran escala de la electrólisis enfrenta desafíos como la eficiencia energética de los electrolizadores, el almacenamiento y distribución del hidrógeno, y factores económicos y políticos que aún no favorecen esta tecnología.

Por esto el proyecto de diseño, implementación y evaluación de un sistema de generación de hidrógeno combustible a través de electrólisis cobra relevancia. Este proyecto permitirá evaluar la viabilidad técnica y económica de la electrólisis, identificar los retos y oportunidades, y proponer

soluciones y estrategias para optimizar la eficiencia, reducir costos y promover su adopción como fuente de energía limpia y sostenible.

3 Objetivos

3.1 Objetivo general

Evaluar la eficiencia y viabilidad de la generación de hidrógeno mediante electrólisis a pequeña escala, para su aplicación como combustible.

3.2 Objetivos específicos

- Diseñar y construir un sistema de electrólisis controlado por Arduino
- Verificar los datos obtenidos mediante la realización de diferentes pruebas.
- Mostrar los resultados y evaluar la eficiencia energética del proceso de electrólisis.
- Elaborar un informe detallado que describa la metodología, los resultados y las conclusiones del proyecto.

4 Antecedentes

4.1 Biogás en Colombia y el resto del mundo

En la universidad de los Andes se desarrolló el proyecto: “Análisis técnico económico de tecnología de electrólisis tipo PEM para producción de hidrógeno en Colombia” (Diaz, 2020). Un análisis técnico económico de la tecnología de electrólisis PEM para la producción de hidrógeno en Colombia que evalúa la viabilidad de esta tecnología en el contexto del país. Esta investigación considera diversos aspectos, incluyendo algunos aspectos técnicos: como su funcionamiento donde dice Carlos Diaz (2020). que la electrólisis PEM utiliza una membrana de intercambio de protones para separar el agua en hidrógeno y oxígeno y su eficiencia varía entre el 60% y el 80%, y se ve afectada por la temperatura, la presión y la pureza del agua.

El 7 de junio de 2024, se presenta la noticia donde “Se inaugura de manera oficial la oficina H2-Diplo en Colombia” (Minenergía, 2024), la primera de este tipo en la región. Esta iniciativa, mencionada como: financiada por el Ministerio Federal de Asuntos Exteriores (AA) de Alemania e implementada por la Cooperación Alemana para el Desarrollo (GIZ), busca fortalecer el potencial de Colombia para aprovechar el hidrógeno verde y sus derivados como una alternativa energética limpia y sostenible. La oficina H2-Diplo servirá como plataforma para el diálogo y la articulación entre actores del sector público, privado, academia, sociedad civil y cooperación internacional, con el fin de promover el desarrollo del ecosistema del hidrógeno en Colombia.

Revisando las empresas que más comprometidas están en Colombia está la empresa Ecopetrol la cual presenta su interés en desarrollar esta tecnología y nos habla que en Cartagena arrancó el piloto para la producción de este energético. Además: “El Grupo Ecopetrol presentó su Plan Estratégico de

Hidrógeno de bajo carbono, que tendrá proyectos por un valor de US\$2.500 millones al año 2040.”

(Ecopetrol, 2022). Esto con una inversión anual promedio de USD 140 millones hasta el mismo año, para el desarrollo de hidrógeno verde, azul y blanco, presentando una meta de disminuir entre el 9% y el 11% las emisiones de alcance 1, 2 y 3 al 2050.

Adicionalmente a esto La Hoja de Ruta del Hidrógeno en Colombia, presentada por el Ministerio de Minas y Energía en el 2021, establece un plan estratégico para el desarrollo e implementación del hidrógeno como vector energético de bajas emisiones en el país, con el objetivo de contribuir a la descarbonización de la economía y alcanzar las metas de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. (Ministerio de minas y energía de Colombia, 2021).

FIGURA 1

Las potencias del mundo en hidrógeno



Fuente: Irena / Gráfico: LR-AL

Nota: imagen revisada en La Republica.co, donde presenta un gráfico que muestra los principales países productores y consumidores de hidrógeno en el mundo.

A nivel mundial el periódico La Republica nos habla que “China y Estados Unidos son los países líderes en producción y consumo de hidrógeno” (Arenales, 2023) , se destaca el papel protagónico de China y Estados Unidos en la industria del hidrógeno a nivel global. Ambos países tienen una amplia experiencia en la producción y consumo de hidrógeno, y están invirtiendo fuertemente en el desarrollo de tecnologías para la producción y utilización de hidrógeno verde. La Unión Europea, India y Japón (figura 1) también están avanzando en sus planes para desarrollar la industria del hidrógeno, pero aún se encuentran en etapas más tempranas de desarrollo,

4.2 Generación de biogás mediante un biodigestor

En el marco de este proyecto de investigación, se implementó un biodigestor (figura 2) el cual es: “Es un recipiente o tanque (cerrado herméticamente) que se carga con residuos orgánicos. En su interior se produce la descomposición de la materia orgánica para generar biogás, un combustible con el cual se puede cocinar, calentar agua y producir energía eléctrica, mediante un generador a gas.” (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Argentina, 2022). El objetivo del proyecto “Generación de biogás mediante un biodigestor” (Camero, 2023), consistía en determinar la eficiencia del biodigestor y analizar los resultados obtenidos a partir de desechos orgánicos en la ciudad de Bogotá. Donde los resultados del proyecto fueron los siguientes:

- **Estabilización del proceso:** A medida que avanzaron las pruebas, se observó una mayor estabilización del proceso de biodigestión, lo que condujo a una producción más consistente de biogás.

- **Fugas de biogás:** En los primeros meses, se detectaron fugas de biogás debido a que el sistema no estaba herméticamente sellado. Esto resultó en una pérdida de gas y una reducción en su eficiencia. Sin embargo, se pudo solucionar el problema y se obtuvo una mejor concentración de gas en días posteriores.
- **Generación de biogás:** Se observó la generación de biogás en las primeras etapas, lo que indica que el sistema estaba funcionando y que los microorganismos anaeróbicos estaban descomponiendo los residuos orgánicos.
- **Temperatura:** Se determinó que la temperatura no era adecuada y estable, lo que podría afectar negativamente la eficiencia del proceso. Se reajustaron y cambiaron partes del biodigestor para mejorar la temperatura y la producción de biogás.

FIGURA 2

Fotografía de biodigestor realizado en semillero de investigación



Nota: Imagen tomada durante la realización del biodigestor para la producción de gas

Los resultados del proyecto demuestran que la generación de biogás mediante un biodigestor es una alternativa viable para aprovechar los desechos orgánicos y producir una fuente de energía renovable.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que es necesario implementar medidas para evitar fugas de biogás y garantizar la estabilidad del proceso de biodigestión.

A partir de los resultados obtenidos, se recomendó lo siguiente:

- Implementar un sistema de monitoreo para controlar la temperatura y otros parámetros del biodigestor.
- Realizar un mantenimiento regular del biodigestor para evitar fugas de biogás.
- Capacitar al personal sobre el funcionamiento del biodigestor y las medidas de seguridad.
- Investigar el uso de diferentes tipos de materia orgánica para la producción de biogás.

4.2.1 Desafíos para la implementación del proyecto de biogás en Bogotá

A pesar de las ventajas mencionadas anteriormente, la implementación del proyecto de biogás en Bogotá enfrenta algunos desafíos que limitan su viabilidad:

Obtención de recursos: La implementación de un biodigestor a gran escala requiere una inversión significativa en infraestructura, equipos y capacitación del personal. La obtención de estos recursos puede ser un obstáculo importante, especialmente para pequeñas empresas o comunidades rurales.

Temperatura: La temperatura ambiente en Bogotá es relativamente baja, lo que puede afectar negativamente la eficiencia del proceso de biodigestión. Para obtener una producción óptima de biogás, es necesario mantener una temperatura adecuada dentro del biodigestor. Esto puede requerir el uso de sistemas de calefacción adicionales, lo que aumenta los costos operativos.

Disponibilidad de materia orgánica: La producción de biogás depende de la disponibilidad de materia orgánica adecuada. En Bogotá, puede ser difícil obtener una cantidad suficiente de materia orgánica de calidad constante, especialmente en áreas urbanas.

Falta de experiencia: La implementación de biodigestores es relativamente nueva en Colombia. Existe una falta de experiencia y conocimiento técnico en el manejo y mantenimiento de estos sistemas, lo que puede generar problemas operativos y reducir la eficiencia del proyecto.

Aceptación social: La implementación de biodigestores a gran escala puede generar resistencia social debido a la percepción de olores y riesgos sanitarios. Es importante realizar campañas de sensibilización y educación para informar a la población sobre los beneficios y riesgos del biogás.

Adicionalmente a esto la composición de la materia orgánica puede variar significativamente, lo que puede afectar la eficiencia del proceso de biodigestión. Es importante realizar estudios para determinar la composición óptima de la materia orgánica para el biodigestor. Y también es importante contar con un plan adecuado para la gestión de los residuos sólidos generados por el proceso de biodigestión.

En conclusión, si bien la generación de biogás mediante un biodigestor es una alternativa viable y beneficiosa, es importante considerar los desafíos mencionados anteriormente para garantizar la viabilidad técnica, económica y social del proyecto.

5 Marco teórico

5.1 El hidrógeno como combustible

El hidrógeno es un gas combustible limpio y sostenible que tiene un gran potencial para su uso en diversos sectores, como la generación de energía, el transporte y la industria química. La electrólisis es un método eficiente para producir hidrógeno a partir del agua utilizando energía eléctrica.

5.1.1 *Propiedades del hidrógeno*

El hidrógeno (H_2) es el elemento más abundante del universo, desde el principio del big-ban, de hecho, "...el hidrógeno es el combustible principal de las estrellas, en las que se fusiona para producir una gran cantidad de energía y helio como resultado. En nuestro planeta se trata de un elemento omnipresente que representa 0,14 % de la masa total." (National Geographic , 2022) y presenta propiedades únicas que lo convierten en un combustible atractivo, según Crespo (2022), en su artículo de NatGeo llamado; "¿Qué es el hidrógeno y qué papel puede jugar en la transición energética?", nos habla que tiene las siguientes ventajas y desventajas:

Ventajas:

- **Alto poder calorífico:** Posee un poder calorífico por unidad de masa mayor que los combustibles fósiles, liberando más energía por kilogramo. Y **Combustión limpia:** Su combustión solo produce vapor de agua (H_2O), sin emitir gases de efecto invernadero ni contaminantes atmosféricos.

Según el Centro Nacional de Hidrogeno de España: "El hidrógeno tiene un rango de inflamabilidad muy amplio (entre el 4% y el 74% de concentración en el aire) y requiere muy poca energía (0.02 mJ) para iniciar la combustión." (2019)

- **Abundancia:** Es el elemento más abundante en la Tierra, presente en agua, compuestos orgánicos y combustibles fósiles.
- **Versatilidad:** Se puede almacenar en diferentes formas (gaseosa, líquida e hidruros metálicos) y transportar a través de infraestructuras existentes.
- **Combustible limpio y sostenible:** Reduce la contaminación del aire y las emisiones de gases de efecto invernadero, contribuyendo a la lucha contra el cambio climático.
- **Mejora de la seguridad energética:** Disminuye la dependencia de los combustibles fósiles y diversifica las fuentes de energía, aumentando la seguridad energética.
- **Aplicaciones diversas:** Se puede utilizar en diversos sectores, como el transporte, la generación de energía y la industria, impulsando la descarbonización de la economía.)
- **Potencial para el almacenamiento de energía:** Permite almacenar energía renovable de forma eficiente, facilitando su integración en la red eléctrica.

Desventajas:

- **Producción:** La producción actual de hidrógeno depende en gran medida de combustibles fósiles, lo que genera emisiones de CO₂. Se requiere un mayor desarrollo de métodos de producción sostenibles como la electrólisis con energías renovables.)
- **Almacenamiento y transporte:** El almacenamiento y transporte de hidrógeno, especialmente en estado gaseoso, suponen desafíos técnicos y económicos debido a su baja densidad volumétrica. Se necesitan tecnologías de almacenamiento más eficientes y seguras.
- **Infraestructura:** La infraestructura para la distribución y uso de hidrógeno a gran escala aún está en desarrollo, lo que requiere inversiones significativas.
- **Costo:** El costo actual del hidrógeno producido a partir de combustibles fósiles es mayor que el de los combustibles convencionales. Se necesitan avances tecnológicos y economías de escala para reducir los costos.

5.2 Propiedades físicas y químicas del hidrogeno

La importancia del hidrógeno radica en su abundancia, versatilidad, propiedades únicas y potencial para contribuir a un futuro más sostenible, a continuación se dan algunas de sus propiedades más importantes:

Tabla 1

Propiedades físicas y químicas

Propiedades	Hidrógeno (H)
Valencia	1
Número atómico	1
Estado de oxidación	+1 y -1
Masa atómica	1,00797 g/mol
Densidad	0,071 g/ml
Punto de ebullición	-252,7 °C
Punto de fusión	-259,2 °C

Nota: Tabla extraída de: Propiedades del hidrogeno, artículo web de NatGeo (2024)

https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/propiedades-hidrogeno-h_18653

En el artículo web de NatGeo (2024) propiedades del hidrogeno nos dan una lista detallada de cuales otras propiedades físicas y químicas tiene y nos nombran las siguientes:

5.2.1 Propiedades físicas del hidrógeno:

- Estado de agregación: Gas a temperatura y presión ambiente.
- Color-Olor-Sabor: Insípido.
- Solubilidad en agua: Ligeramente soluble.

5.2.2 Propiedades químicas del hidrógeno:

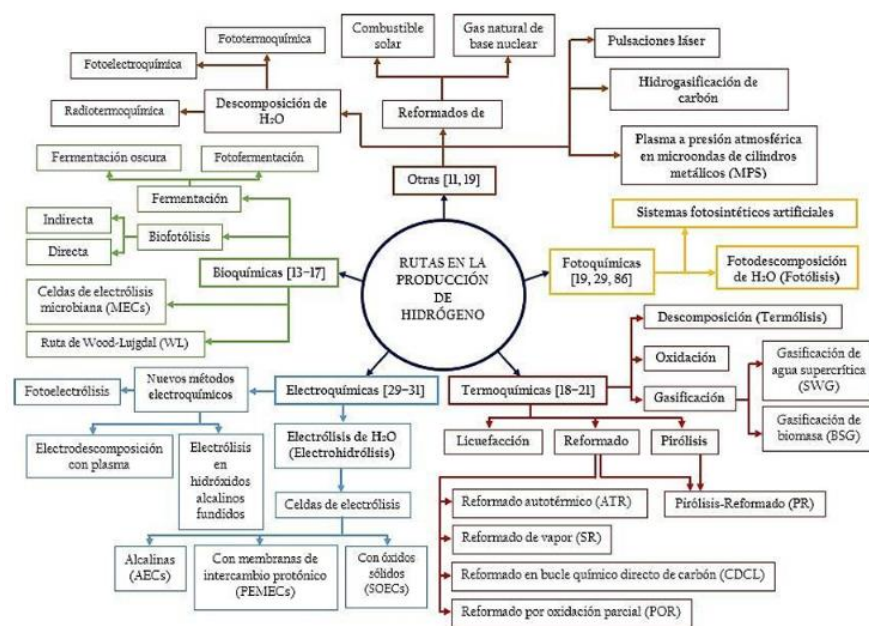
- Reactividad: Reactivo con muchos elementos, especialmente con el oxígeno.
- Inflamabilidad: Altamente inflamable.

5.2.3 Rutas en la producción de hidrógeno

En la revista de ingeniería y competitividad de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, (Uptc) en su artículo “Principales Rutas en la Producción de Hidrógeno” (2021) nos presenta la figura 3:

FIGURA 3

Rutas principales en la producción de hidrógeno.



Nota: La figura muestra las diferentes rutas que ha tomado la industria en la obtención de hidrógeno, así como sus diferentes subrutas, Uptc, recuperado de:

https://revistaingenieria.univalle.edu.co/index.php/ingenieria_y_competitividad/articulo/view/11155

En este mismo artículo nos habla que: “Dada la amplia gama de aplicaciones que continuamente surgen al utilizar el hidrógeno como un precursor alternativo de energía, actualmente se conocen varias formas de producción, al igual que otros métodos no tan comunes” (Brijaldo, Castillo, & Pérez, 2021). Seguidamente nos explican que estas rutas se clasifican en dos categorías principales:

Rutas directas: En estas rutas, el hidrógeno se produce a partir del agua o de otras moléculas que contienen hidrógeno, como la biomasa o los combustibles fósiles. Algunas de las rutas directas más comunes incluyen:

- **Electrólisis:** La electrólisis es un proceso en el que se utiliza una corriente eléctrica para dividir el agua en hidrógeno y oxígeno. La electrólisis puede realizarse a temperatura ambiente o a altas temperaturas. Donde está ubicado el proyecto.
- **Termólisis:** La termólisis es un proceso en el que se utiliza el calor para descomponer el agua o otras moléculas que contienen hidrógeno. La termólisis puede realizarse con energía solar, nuclear o fósil.
- **Fotocatálisis:** La fotocatalisis es un proceso en el que se utiliza la luz para activar un catalizador que descompone el agua u otras moléculas que contienen hidrógeno.

Rutas indirectas: En estas rutas, el hidrógeno se produce a partir de otras moléculas que no contienen hidrógeno, como los combustibles fósiles o la biomasa. Algunas de las rutas indirectas más comunes incluyen:

- **Reformado de vapor:** El reformado de vapor es un proceso en el que se utiliza vapor de agua para convertir los combustibles fósiles, como el gas natural o el metanol, en hidrógeno y dióxido de carbono.

- **Gasificación:** La gasificación es un proceso en el que se utiliza aire o vapor de agua para convertir la biomasa o los combustibles fósiles en una mezcla de gases, incluyendo hidrógeno, monóxido de carbono y dióxido de carbono.
- **Fermentación:** La fermentación es un proceso en el que se utilizan microorganismos para convertir la biomasa en hidrógeno y otros productos, como el dióxido de carbono y el metano.

5.3 Colores del hidrogeno

Según David Nuevo en su página EsHidrogeno.com: “La clasificación del hidrógeno por colores se basa en la **emisión de gases de efecto invernadero** durante su proceso de producción. Los colores del hidrógeno son: azul, verde, turquesa, amarillo, rosa, azul, gris, marrón y negro.” (Los colores del Hidrógeno, 2022). Esta categorización tiene como objetivo diferenciar el hidrógeno producido de manera sostenible de aquel que genera emisiones contaminantes. Algunos significados que nos habla en el artículo son:

Hidrógeno verde:

- Se produce a partir de la electrólisis del agua utilizando energía renovable, como la solar, eólica o hidráulica. No emite gases de efecto invernadero durante su producción, por lo que se considera la opción más sostenible.

Hidrógeno azul:

- Se obtiene a partir del reformado de gas natural con captura y almacenamiento de carbono (CCS). Reduce significativamente las emisiones de CO₂ en comparación con el hidrógeno gris, pero no las elimina por completo. Se considera una tecnología puente hacia el hidrógeno verde.

Hidrógeno gris:

- Se produce mediante el reformado de gas natural sin captura de carbono, lo que genera emisiones de CO₂. Es el método de producción de hidrógeno más común en la actualidad, pero el más contaminante.

Hidrógeno negro:

- Se obtiene a partir del carbón o lignito, lo que genera emisiones significativas de CO₂ y otros contaminantes. Es la opción más contaminante de todas y no se considera sostenible.

Hidrógeno rosa:

- Se produce a partir de la electrólisis del agua utilizando energía nuclear. No emite gases de efecto invernadero durante su producción, pero su sostenibilidad depende de la fuente de energía nuclear utilizada. Su producción genera debate en cuanto a la seguridad y los residuos nucleares.

5.4 Almacenamiento de hidrógeno

El hidrógeno a temperatura ambiente se encuentra en estado gaseoso. El almacenamiento de este es un aspecto crucial para su viabilidad como vector energético, existen diversos métodos, cada uno con sus ventajas y desventajas.

Una de ellas y la más utilizadas es la **Compresión**, en “Hidrógeno y su almacenamiento. El futuro de la energía eléctrica” de la universidad de Cataluña nos habla que: “Cuando el hidrógeno se almacena en estado gaseoso a 250 bar y temperatura atmosférica, su relación de expansión a presión atmosférica es 1:240” (Molina & Casteleiro Roca, 2021) , esto es producto de a la baja densidad energética por unidad de volumen (125 j/m³), debido a esto es el método más simple y económico. El hidrógeno se comprime a alta presión en tanques. Sin embargo, requiere tanques pesados y voluminosos, limitando su uso en aplicaciones móviles.

Otro método menos utilizado es el de **Adsorción**, Diana Hernández en su artículo de la Universidad Nacional de Colombia “Almacenamiento de hidrógeno en carbones activados por oxidación con aire” (Hernández & Jiménez, Francisco, 2007), nos habla que es un mecanismo donde el hidrógeno se adhiere a la superficie de un material adsorbente, como el carbón activado. Permite almacenar mayor cantidad de hidrógeno en un volumen reducido, pero la capacidad de almacenamiento es menor que la compresión.

Hay que tener en cuenta que El almacenamiento seguro del hidrógeno requiere seguir prácticas rigurosas y contar con los equipos adecuados. El NFPA 704 proporciona una comunicación rápida de los riesgos del hidrógeno, mientras que la MSDS (Anexo 3) ofrece información detallada para su manejo seguro. La combinación de estas herramientas y la capacitación adecuada del personal son esenciales para prevenir accidentes y garantizar la seguridad en el trabajo con hidrógeno.

5.5 Aplicaciones del hidrógeno

El hidrógeno tiene un amplio potencial en diversas aplicaciones, desde el transporte, la generación de energía

Transporte:

- **Vehículos de pila de combustible:** El hidrógeno alimenta una pila de combustible que produce electricidad para impulsar el motor. Emisiones cero, pero requiere infraestructura de reabastecimiento de hidrógeno.
- **Motores de combustión interna:** El hidrógeno puede usarse en motores de combustión interna como alternativa a los combustibles fósiles. Reduce las emisiones, pero requiere modificaciones en los motores existentes.

Generación de energía:

- **Pilas de combustible estacionarias:** Generan electricidad para la red eléctrica o para aplicaciones fuera de la red.
- **Turbinas de gas:** El hidrógeno se quema para impulsar turbinas que generan electricidad. Almacena energía renovable de forma eficiente.

Industria:

- **Procesos industriales:** El hidrógeno se utiliza en diversos procesos industriales, como la producción de acero, amoníaco y vidrio. Reduce las emisiones de gases de efecto invernadero.
- **Refinería de petróleo:** El hidrógeno se utiliza para eliminar el azufre del petróleo, produciendo combustibles más limpios.

5.6 Desafíos y oportunidades del hidrógeno

El hidrógeno, como vector energético y materia prima industrial, presenta un potencial enorme para descarbonizar sectores difíciles de electrificar y contribuir a un futuro energético sostenible. Sin embargo, en la Hoja de Ruta del Hidrógeno, presentada por el Ministerio de minas y energía de Colombia (2021), nos indica que en su desarrollo y comercialización a gran escala enfrenta diversos desafíos y oportunidades que deben abordarse para alcanzar su máximo potencial las cuales varían desde:

Desafíos:

Costos de producción: La producción de hidrógeno sea verde o de otro proceso, la opción más sostenible, sigue siendo costosa en comparación con los combustibles fósiles. Reducir los costos mediante la optimización de procesos, el aumento de la escala y la innovación tecnológica es crucial para su viabilidad comercial.

Almacenamiento y transporte: El hidrógeno es una molécula de baja densidad, lo que dificulta su almacenamiento y transporte. Se requieren tecnologías eficientes y rentables para almacenar y transportar grandes cantidades de hidrógeno de forma segura y confiable.

Infraestructura: La infraestructura actual para el hidrógeno es limitada y se necesita una inversión significativa para expandirla y adaptarla a la distribución a gran escala. Esto incluye la construcción de estaciones de servicio, redes de tuberías y terminales de importación/exportación.

Oportunidades:

Descarbonización: El hidrógeno verde puede desempeñar un papel fundamental en la descarbonización de sectores clave como el transporte pesado, la industria y la generación de energía. Su capacidad de almacenamiento de energía renovable a largo plazo también es una ventaja significativa.

Seguridad energética: El hidrógeno puede diversificar el suministro energético y reducir la dependencia de los combustibles fósiles importados, mejorando la seguridad energética y la independencia nacional.

Creación de empleo: La industria del hidrógeno tiene el potencial de crear nuevos empleos en diversos sectores, desde la producción y el transporte hasta la investigación y el desarrollo.

Desarrollo tecnológico: El desarrollo de nuevas tecnologías para la producción, almacenamiento, transporte y uso del hidrógeno puede generar oportunidades de innovación y crecimiento económico.

Lo anterior dicho en pocas palabras en la Hoja de Ruta del Hidrógeno (Ministerio de minas y energía de Colombia, 2021) nos presenta un futuro prometedor del hidrogeno como vector energético y materia prima industrial sostenible. Si bien existen desafíos que deben abordarse, las oportunidades que ofrece son significativas y pueden contribuir a una economía baja en carbono, segura y próspera.

6 Metodología

El presente proyecto destinado a la obtención diseño, implementación y Evaluación de la Eficiencia y Viabilidad de un Sistema de Generación de Hidrógeno Combustible por medio de la hidrólisis se basa en una metodología experimental que incluye las siguientes etapas:

6.1 Diseño y construcción de un sistema de electrólisis

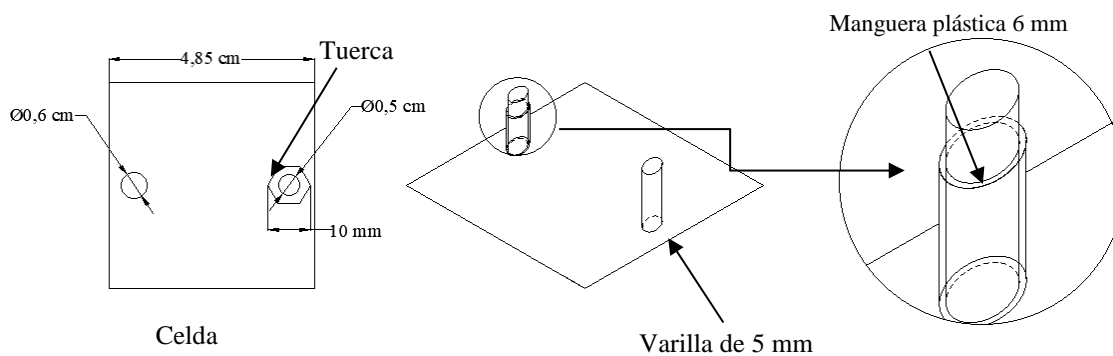
6.1.1 Diseño del sistema

El sistema de electrólisis propuesto se compone de los siguientes elementos:

- **Celdas electrolíticas:** Se construye una serie de celdas o divisiones metálicas cuadradas de aproximadamente 4,8 cm de lado. Estas celdas se distribuirán verticalmente a lo largo de un envase de plástico transparente.

FIGURA 4

Componentes de una celda



Nota: Partes de la celda, se muestra diferentes detalles internos, medidas, accesorios

Las celdas están fabricadas en acero inoxidable, “es un material altamente conductor, resistente a la corrosión y al electrolito.” (Inoxidable.com, (s. f.)). Su diseño incluye dos varillas tipo tornillo de 5 mm de grosor, dos turcas de 10 mm para ajuste y una manguera de 6 mm de diámetro externo, que actúan como aislante entre el cátodo y el ánodo.

FIGURA 5

Imagen del armado de las celdas de hidrogeno



Nota: Imagen de armado de las celdas, donde se ven los componentes como tornillos, tuercas, y plástico aislante

- **Electrolito:** Se utilizará una solución de hidróxido de sodio (NaOH) o sal común (NaCl) como electrolito. Se espera que la concentración del electrolito afecte la eficiencia de la electrólisis.
- **Fuente de alimentación:** Se utilizará una fuente de alimentación de corriente continua (CC) para proporcionar la energía eléctrica necesaria para la electrólisis. La corriente y el voltaje de la fuente de alimentación deben ajustarse según el tamaño y el diseño de las celdas electrolíticas, en este caso al caer pequeñas solo hace falta de 10 a 24 voltios.
- **Sensores de gas:** Se utilizarán sensores de gas tipo MQ8 (figura 5) para medir la concentración de hidrógeno y oxígeno en el gas producido. Los datos de los sensores se enviarán a un microcontrolador Arduino para su procesamiento y visualización. Algunas de las características que tienen es que son de: “Alta sensibilidad al hidrógeno, baja sensibilidad a otros gases (alcohol, GLP, gases de cocina), rango de detección: 100 ppm a 10000 ppm (partes por millón), tiempo de respuesta rápido, bajo consumo de energía y fácil de usar.” (Sigma electronica, 2024)

FIGURA 6

Sensor MQ 8

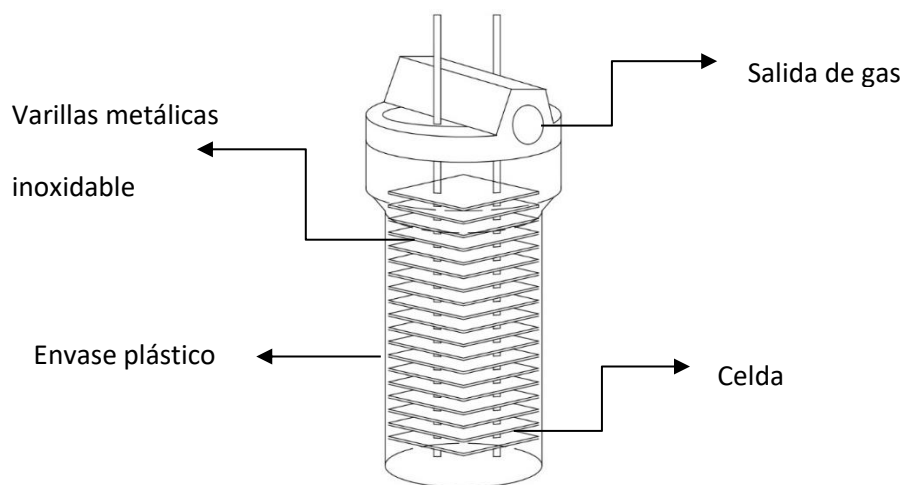


Nota: sensor de hidrógeno, imagen extraída de <https://hetpro-store.com/mq-8/>, Se presenta en el Anexo 2 el datasheet del sensor MQ-8 para mayor referencia.

- **Cilindro de almacenamiento:** Se utilizará un cilindro o envase para almacenar el hidrógeno producido. El cilindro debe estar hecho de un material compatible con el hidrógeno y debe estar diseñado para soportar la presión del gas.

FIGURA 7

Esquema sistema de celdas de electrolisis



Nota: Representación gráfica del sistema de celdas de hidrógeno, diseñado para evitar la corrosión, y escapes de gas, autoría propia

6.2 Funcionamiento del sistema

El sistema de electrólisis (figura 5) funciona de la siguiente manera:

1. El agua se introduce en las celdas electrolíticas.
2. Se aplica una corriente eléctrica a las celdas electrolíticas. Esto provoca la descomposición del agua en hidrógeno y oxígeno. El hidrógeno se produce en el cátodo (electrodo negativo) y el oxígeno se produce en el ánodo (electrodo positivo).
3. El hidrógeno y el oxígeno se separan y se recogen por separado.
4. El hidrógeno se almacena en un cilindro o envase.
5. Los datos de concentración de hidrógeno y oxígeno se monitorean y visualizan utilizando el microcontrolador Arduino.

FIGURA 8

Sistema de electrólisis principal



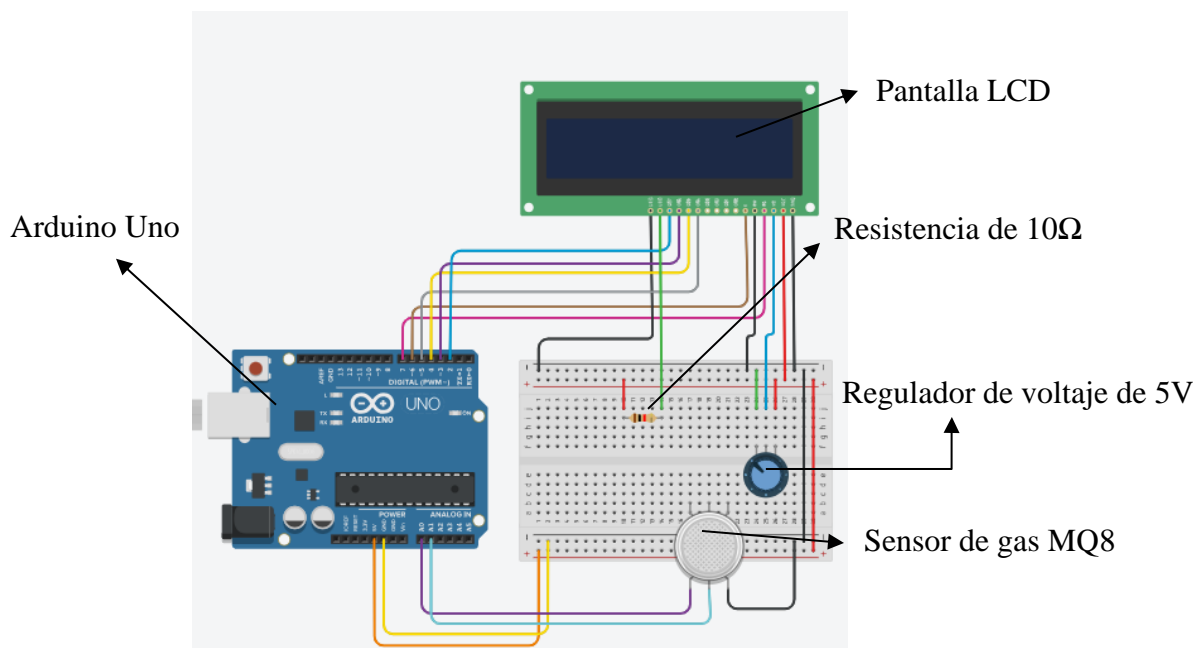
Nota: Sistema para obtención de hidrogeno ensamblado antes de las pruebas realizadas

6.3 Diseño mecanismo Arduino y código

El circuito de la figura 6 donde se muestran los componentes, es un circuito de detección de gas que utiliza un sensor de gas MQ8, un Arduino Uno R3, una pantalla LCD, una resistencia y un regulador de voltaje. El circuito funciona monitoreando la resistencia del sensor MQ8, que cambia en respuesta a la concentración de gas en el aire. Cuando la concentración de gas se detecta el sistema obtiene esos datos y los envía en la pantalla LCD la cual se usa para mostrar la concentración de gas actual.

FIGURA 9

Componentes del sistema Arduino



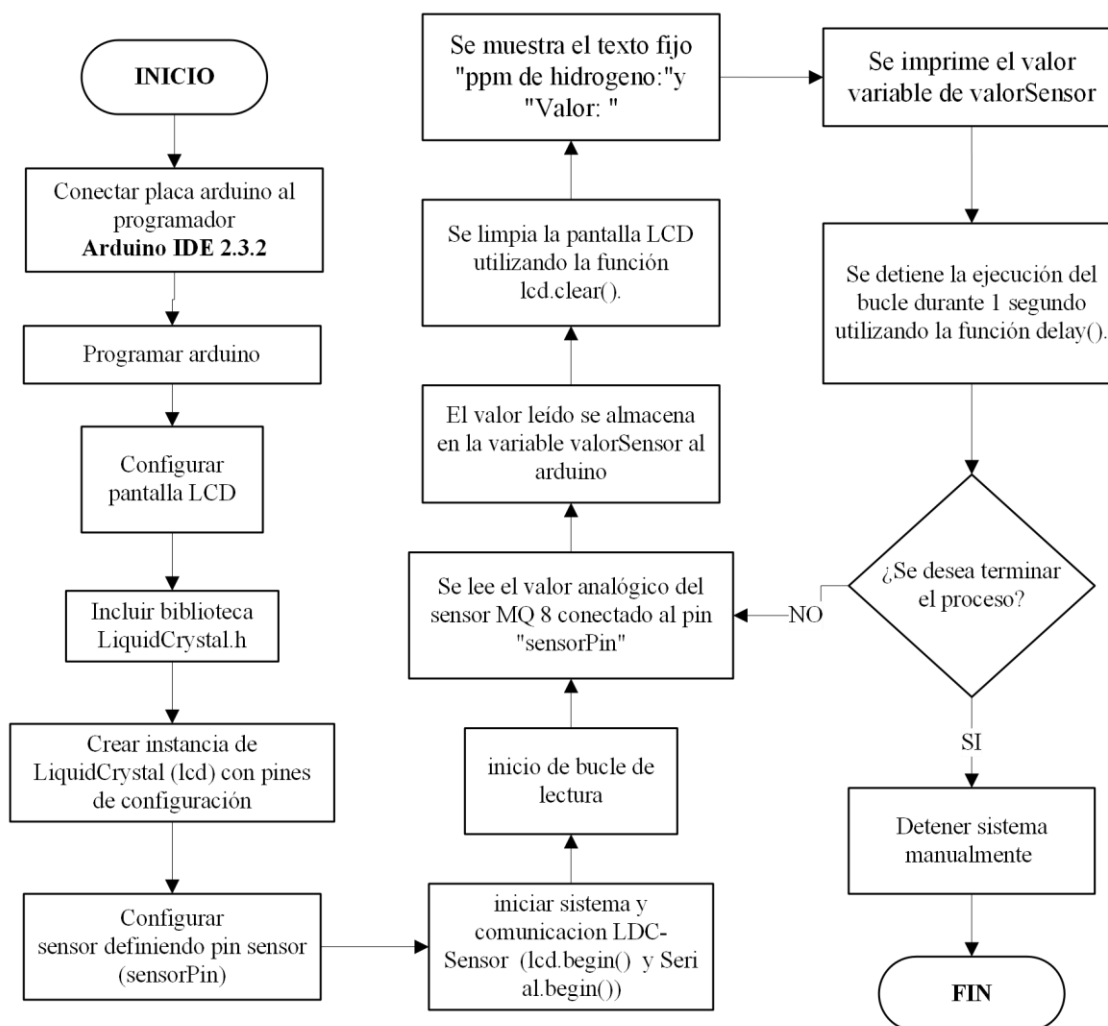
Nota: imagen realizada en TinkerCAD, autoría propia, se muestran los diferentes componentes utilizados para realizar la toma de medidas de hidrogeno.

6.3.1 Diseño de código:

El diagrama de flujo (figura 10) representa la lógica y los pasos del código Arduino para leer el valor de un sensor y mostrarlo en una pantalla LCD.

FIGURA 10

Diagrama de flujo pasos del sistema a realizar



Nota: Presenta los pasos o acciones que el código Arduino realiza en la programación. El Anexo 1 muestra el código del Arduino en lenguaje de programación C++, con su respectiva explicación de cada celda.

El diagrama de flujo ilustra el proceso de lectura y visualización de la concentración de hidrógeno (ppm) mediante un sensor MQ-8 conectado a una placa Arduino los pasos que nombra describe el proceso de instalación del código donde inicia el programa. Posteriormente, se conecta la placa Arduino al

programador utilizando la versión 2.3.2 del entorno de desarrollo Arduino (Arduino IDE), se programa la placa Arduino utilizando el lenguaje Arduino.incluyendo con esto la biblioteca LiquidCrystal.h, la cual permite controlar una pantalla LCD, adicionalmente se crea una instancia de la clase LiquidCrystal denominada "Icd", especificando los pines de conexión de la pantalla LCD.

Se configura el sensor MQ-8 definiendo el pin al que está conectado (sensorPin), se configura la pantalla LCD utilizando las funciones lcd.begin() y Serial.begin(). Con esto se inicia un bucle infinito que se repetirá continuamente, luego se desea que el sistema limpie la pantalla LCD para ello se usa la función lcd.clear().

Se lee el valor analógico del sensor MQ-8 conectado al pin "sensorPin". El valor leído se almacena en la variable valorSensor y se muestra en la pantalla LCD el texto fijo "ppm de hidrógeno:" y "Valor: ", con ello se imprime en la pantalla LCD el valor de la variable valorSensor, que representa la concentración de hidrógeno en ppm, para finalizar se detiene la ejecución del bucle durante 1 segundo utilizando la función delay(1000).

Luego se ingresa una pregunta para seguir o terminar la función, la respuesta es "No", se continúa con el bucle de lectura, si la respuesta es "Sí", se detiene la ejecución del programa.

Esta configuración de Arduino lee continuamente un sensor conectado al pin analógico A0, que mide la concentración de hidrógeno en partes por millón (ppm). Los valores del sensor se muestran en una pantalla LCD de 20x4 junto con algunos textos fijos ("ppm de hidrógeno") y se envían al monitor serial para la depuración. El programa espera un segundo entre cada lectura y actualización de la pantalla.

7 Materiales y costos de proyecto

Como se vio en el capítulo anterior hay diferentes componentes electrónicos y materiales para el sistema de electrolisis, a continuación, se presenta un desglose de cada uno de los materiales necesarios, junto con su cantidad, precio unitario y precio total. Además, se mencionan los elementos prestados del laboratorio que fueron esenciales para la realización del proyecto.

7.1 Componentes Electrónicos

A continuación, se enumeran los componentes electrónicos utilizados en el proyecto, junto con sus precios correspondientes.

Tabla 2

Valor componentes Electrónicos

Componentes electrónicos	Cant.	Precio c/u	Precio total
Arduino Uno R3	1	20000	20000
Cable USB Ch340	1	7000	7000
Jumper macho-macho	11	200	2200
Jumper macho-hembra	12	200	2400
Sensor MQ-8	1	12000	12000
Potenciómetro	1	13000	13000
Protoboard	1	10000	10000
Resistencia de 10 Ω	1	500	500
Pantalla LCD 12 X 4	1	35000	35000
Total			102100

Nota: Precios del mercado de mayo 2024, los precios pueden variar según el sector, componentes para la realización de la parte electrónica.

7.2 Componentes del Sistema

A continuación, se enumeran los componentes del sistema utilizados en el proyecto, junto con sus precios correspondientes.

Tabla 3

Valor componentes del sistema de electrolisis

Componentes sistema	Cant.	Precio c/u	Precio total
Cascara de filtro plástico	1	200000	200000
uniones macho 1/2	2	1000	2000
Válvula 1/2 Regulación Plástica	2	5000	10000
Tapón 1/2	1	1500	1500
Manguera 1 m.- 5 mm	1	3000	3000
Lamina aluminio 4,8 cm	19	4000	76000
Tornillo, rosca continua 3/16 1 m	1	2000	2000
Tuercas 10 mm	20	100	2000
Silicona negra	1	15000	15000
Total			311500

Nota: Precios del mercado de mayo 2024, los precios pueden variar según el sector, componentes del sistema de electrolisis,

7.3 Elementos Prestados del Laboratorio

Además de los componentes listados anteriormente, se utilizaron los siguientes elementos prestados del laboratorio del Parque Científico de Innovación Social (PCIS) – UNIMINUTO, estos fueron de gran importancia en el desarrollo del proceso de armado y primeras pruebas, las cuales se revisarán el apartado de análisis de resultados

Tabla 4

Elementos no contados en el presupuesto

Elemento	Cant.	Fuente	Comentario
Fuente de voltaje	1	laboratorio de PCIS	Para alimentar circuitos durante el desarrollo
Cable conector caimán	2	laboratorio de PCIS	para unir la fuente de voltaje con el sistema
Llave 10 mm	1	Personal	Para ensamblar las celdas del sistema
Briquet /encendedor	1	Personal	Para probar la obtención de gas inflamable H2

Nota: Instrumentos y materiales pedidos al laboratorio de PCIS

7.4 Resumen de Costos

El costo total de los componentes electrónicos es de \$ **102.100**, mientras que el costo total de los componentes del sistema es de \$ **311.500**. El costo total del proyecto asciende a \$ **413.600**. Los elementos prestados del laboratorio no se incluyen en este total, pero su contribución fue crucial para el éxito del proyecto.

8 Análisis de resultados

El sistema de electrólisis se conecta a una fuente de corriente continua (CC) regulada, este tipo de corriente es la más adecuada para este proceso porque favorece la eficiencia y aumenta la reactividad de los electrodos en este el sistema. Al conectar la fuente de alimentación a las celdas de hidrogeno, se observó un voltaje de, 30v a 3v, sin embargo, luego de unos segundos la reacción empieza, generando burbujas en las celdas. La mezcla sal (NaCl) y el agua se torna verde, calmándose luego de aproximadamente un minuto del proceso de electrólisis.

FIGURA 11

Proceso de electrólisis, comienzo de turbidez del agua



Nota: imagen del proceso de electrólisis, estado de turbidez del agua, presencia de color verdoso
formación de burbujas y primeras tomas de hidrogeno

Posteriormente se varia la cantidad de corriente ente 2 y 6 v. y se cambia su concentración sal común, se toma las medidas con el sensor MQ-8 conectado al Arduino de la cantidad de partes por millón (ppm) obteniendo los siguientes datos:

Tabla 5

Datos recolectados a medida que se cambian las concentraciones de sal y de voltaje

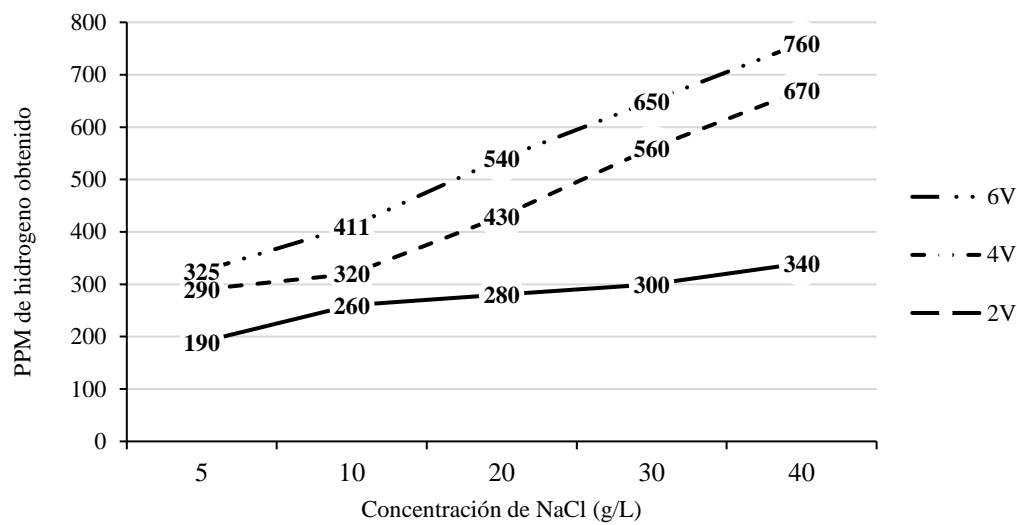
Concentración de NaCl (g/L)	Nivel de ppm de H2 variando su voltaje		
	6v	3v	2v
5	325	290	190
10	411	320	260
20	540	430	280
30	650	560	300
40	760	670	340

Nota: tabla con los datos recopilados de niveles de ppm de hidrógeno para diferentes niveles de voltajes y concentración de sal, autoría propia.

Para una mejor comprensión, se presenta la Figura 11, medición PPM de hidrogeno, la cual ilustra la relación entre el cambio de concentración de hidrógeno y el voltaje aplicado. Es importante mencionar que esta grafica fue obtenida utilizando los datos del sistema Arduino con un sensor MQ-8.

FIGURA 12

Medición Ppm de hidrogeno



Nota: Grafico de niveles de ppm de hidrógeno para diferentes niveles de voltajes y concentración de sal en el sistema de electrolisis hecho, autoría propia.

8.1 Análisis de la tabla de ppm de hidrógeno:

La tabla de ppm de hidrógeno en electrólisis con NaCl muestra una relación directa entre la concentración de sal, el voltaje aplicado y la producción de hidrógeno. Con 2 V no se produce mucha concentración de hidrógeno. Pero con 4V y 6V se ve una mejora en la producción, A mayor concentración de NaCl y voltaje, mayor es la cantidad de hidrógeno generado.

Efecto del voltaje: Se observa que, para una misma concentración de sal, el nivel de ppm de H₂ aumenta a medida que aumenta el voltaje. Esto se debe a que el voltaje proporciona la energía necesaria para impulsar la reacción de electrólisis, que produce H₂ y O₂ a partir del agua (H₂O). Con 2v no se produce mucha concentración de hidrógeno

Efecto de la concentración de sal: Se observa que, para un mismo voltaje, el nivel de ppm de H₂ aumenta a medida que aumenta la concentración de sal. Esto se debe a que la sal (NaCl) aumenta la

conductividad eléctrica del electrolito, lo que facilita el flujo de corriente eléctrica y, por lo tanto, la producción de H₂.

8.2 Viabilidad del Proceso

El proceso de electrólisis variando el voltaje y la concentración de sal demostró ser viable para la producción de hidrógeno. La relación directa entre el voltaje y la concentración de NaCl con la producción de hidrógeno indica que el sistema puede ser optimizado para obtener mayores rendimientos de H₂ ajustando estos parámetros. Se puede comparar el uso de diferentes tipos de sales y electrolitos para evaluar cuál proporciona los mejores resultados en términos de eficiencia y producción de hidrógeno.

9 Discusión

Con los resultados obtenidos surgen algunas dudas en el proceso de electrolisis según lo visto, la reacción química que se obtiene, la turbidez del agua con su coloración verdosa, y como se podría mejorar el proceso:

9.1 Reacción química:

En el libro Química 2da Edición (2022), los autores nos dicen que: “La reacción química principal en la electrólisis con NaCl se divide en dos etapas, oxidación y reducción” (Flowers, Robinson, Langley, & Theapold, 2022)

Oxidación en el ánodo: $2Cl^- \rightarrow Cl_2 + 2e^-$

Esto nos dice que en el ánodo (el electrodo positivo), los iones cloruro (Cl^-) pierden electrones (proceso de oxidación) para formar cloro molecular (Cl_2). En el documento “Reacciones de oxidación-reducción” de la UNAM de México (2022), nos habla que esta reacción puede describirse así:

1. **Oxidación:** Un ion cloruro (Cl^-) pierde un electrón para formar un átomo de cloro (Cl).
2. **Formación de Cloro Molecular:** Dos átomos de cloro ($2Cl$) se combinan para formar una molécula de cloro gaseoso (Cl_2).

Reducción en el cátodo: $2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$

En el cátodo (el electrodo negativo), los iones hidrógeno (H^+) ganan electrones (proceso de reducción) para formar hidrógeno gaseoso (H_2). Esta reacción puede describirse así (UNAM, 2022):

1. **Reducción:** Un ion hidrógeno (H^+) gana un electrón para formar un átomo de hidrógeno (H).

2. **Formación de Hidrógeno Molecular:** Dos átomos de hidrógeno ($(2H)$) se combinan para formar una molécula de hidrógeno gaseoso (H_2).

Turbidez del agua:

Como anteriormente se habló, se observa un cambio de color verdoso en el agua durante la electrólisis con cloruro de sodio (NaCl). En el artículo presentado por ANABE (2016) llamado; “La verdad sobre la electrólisis y la prueba viral del agua” nos habla que puede deberse a dos fenómenos principales:

1. **Formación de iones de hierro (Fe^{2+}):** Las impurezas de hierro (Fe) en los electrodos pueden disolverse durante la electrólisis, formando iones de hierro (Fe^{2+}). Estos iones reaccionan con el oxígeno disuelto en el agua para generar hidróxido de hierro ($Fe(OH)_2$), un precipitado de color verde.

2. **Rol del cloro:** Otra causa que puede contribuir al cambio de color verdoso del agua durante la electrólisis, en las siguientes razones:

- **Producción de ácido hipocloroso ($HClO$):** El cloro gaseoso (Cl_2) producido en el ánodo puede reaccionar con el agua para formar ácido hipocloroso ($HClO$), un compuesto con propiedades desinfectantes., liberando pigmentos verdes que contribuyen al color del agua.
- **Formación de complejos con hierro:** El cloro también puede formar complejos con los iones de hierro (Fe^{2+}), modificando su coloración y afectando la turbidez del agua.

Es importante mencionar que, según el artículo de ANABE (2016) mencionado anteriormente, "...en función de la cantidad de minerales que tenga el agua, ésta dejará pasar más o menos corriente eléctrica y presentará más o menos coloración. Pero la turbidez que aparece corresponde a los óxidos de

hierro que se desprenden de la barra." Esto nos indica que el cambio de color verdoso no afecta la eficiencia de la electrólisis ni la calidad del hidrógeno producido ya que la obtención de hidrogeno no depende de los óxidos de generados en el sistema de celdas.

9.2 Mejora del proceso

Para mejorar la eficiencia y la producción de hidrógeno, se podrían considerar las siguientes acciones:

- Optimización de los Electroodos: Usar electrodos de materiales con menor impureza para reducir la formación de óxidos y mejorar la conductividad.
- Ajuste Fino del Voltaje: Realizar pruebas adicionales para encontrar el rango óptimo de voltaje que maximice la producción de hidrógeno sin generar exceso de calor o desperdicio de energía.
- Purificación del Electrolito: Utilizar NaCl de mayor pureza, o buscar otro tipo de sales, o añadir agentes estabilizantes para mantener la solución limpia y minimizar los efectos de las impurezas.
- Control de Temperatura: Implementar un sistema de control de temperatura para mantener la solución a una temperatura constante y óptima para la electrólisis.

Conclusiones

El sistema de electrólisis propuesto es una forma eficiente, escalable y económica de producir hidrógeno, como se puede detallar en el anterior trabajo. El sistema tiene una amplia gama de aplicaciones potenciales en los sectores de energía, transporte e industria, la electrólisis con NaCl es una tecnología viable para la producción de hidrógeno a gran escala, pero se pueden ver diferentes tipos de sales, puede se puede revisar la diferencia entre la mezcla de sal dulce y la sal de mar,

La eficiencia del proceso puede optimizarse mediante la selección adecuada de materiales para los electrodos, la membrana y el electrolito, así como mediante el control de parámetros como la concentración de NaCl, el voltaje y la temperatura, como lo hemos visto en la parte experimental. Es un método sumamente beneficioso para la sostenibilidad, se puede hablar que la producción de hidrógeno a partir de la electrólisis con NaCl puede contribuir a la diversificación de la matriz energética y a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.

El sistema de electrólisis propuesto tiene las siguientes ventajas:

- **Eficiente:** El sistema es capaz de producir hidrógeno con una alta eficiencia.
- **Escalable:** El sistema se puede escalar fácilmente para producir diferentes cantidades de hidrógeno.
- **Modular:** El sistema es modular, lo que significa que se puede modificar fácilmente para satisfacer diferentes necesidades.
- **Bajo costo:** El sistema es relativamente económico de construir y operar.

Se pueden revisar formas para la prevención del color verdoso como utilizar agua destilada o desmineralizada: Esta agua tiene una menor concentración de impurezas, lo que reduce el riesgo de formación de hidróxido de hierro o emplear electrodos de materiales inertes: El uso de electrodos de

grafito, platino u otros materiales inertes evita la disolución de los electrodos y la liberación de iones de hierro.

Se recomienda continuar con la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías para mejorar la eficiencia y el costo de la electrólisis para obtener hidrogeno. Esto incluye el proceso de unión con energía solar o eólica u otros mecanismos de obtención de energía más limpios. Esto permitirá producir hidrógeno de manera sostenible y reducir la dependencia de los combustibles fósiles.

También se puede escalar la tecnología de electrólisis a nivel industrial mediante la construcción de plantas piloto y demostración. Esto permitirá evaluar la viabilidad técnica y económica de la tecnología a gran escala.

Recomendaciones

Continuar con la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías para mejorar la eficiencia y el costo de la electrólisis para obtener hidrógeno es esencial, por ello se busca integrar esta tecnología con energías renovables, tipo celdas solares u otros métodos, y escalar su aplicación a nivel industrial permitirá avanzar hacia una producción de hidrógeno sostenible y reducir la dependencia de los combustibles fósiles, contribuyendo así a un futuro más sostenible y limpio.

Algunas de las cosas que falta por revisar y crecer la investigación son las siguientes:

- **Almacenamiento idóneo:** Investigar y desarrollar métodos eficientes y seguros para el almacenamiento de hidrógeno, considerando opciones como almacenamiento a alta presión, visto en la presente investigación.
- **Encender un motor de combustión:** Evaluar la viabilidad de utilizar el hidrógeno obtenido a través de la electrólisis para encender motores de combustión interna. Esto incluye pruebas prácticas y ajustes en los motores para optimizar su funcionamiento con hidrógeno.
- **Cantidades energéticas del sistema:** Revisar los ppm obtenidos y mirar su ponencia energética, además se puede realizar un análisis exhaustivo de las cantidades energéticas involucradas en el sistema de electrólisis. Esto incluye la eficiencia energética global del proceso desde la producción de electricidad hasta la conversión del agua en hidrógeno y oxígeno.
- **Estimación de Costos a nivel industrial:** Se debe realizar un análisis detallado de los costos de la electrólisis si se quiere a nivel industrial, incluyendo los costos de los materiales, la energía, la mano de obra y la infraestructura.
- **Impacto ambiental:** Se debe evaluar el impacto ambiental de la electrólisis para obtención de hidrogeno mirar las emisiones de gases si son de efecto invernadero, el consumo de agua y la generación de residuos.

En resumen, la electrólisis para obtener hidrogeno tiene un gran potencial para convertirse en una fuente de hidrógeno limpia y sostenible a nivel industrial. Sin embargo, se requiere de un esfuerzo continuo en investigación, desarrollo, escalamiento, integración con sistemas de energía renovable, marco regulatorio y aceptación social para que esta tecnología alcance su pleno potencial.

Referencias

Agencia Internacional de la Energía. (2023). *The Future of Hydrogen*. Obtenido de IEA.org:

<https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>

ANABE. (19 de 2 de 2016). *La verdad sobre la electrólisis y la prueba viral del agua*. Obtenido de

aneabe.com/: [https://aneabe.com/actualidad/verdad-electrolisis-prueba-viral-agua-](https://aneabe.com/actualidad/verdad-electrolisis-prueba-viral-agua-aneabe/#:~:text=La%20presencia%20de%20la%20corriente,oscuro%20que%20enturbia%20el%20agua.)

[aneabe/#:~:text=La%20presencia%20de%20la%20corriente,oscuro%20que%20enturbia%20el%20agua.](https://aneabe.com/actualidad/verdad-electrolisis-prueba-viral-agua-aneabe/#:~:text=La%20presencia%20de%20la%20corriente,oscuro%20que%20enturbia%20el%20agua.)

Arenales, j. v. (13 de 10 de 2023). *China y Estados Unidos son los países líderes en producción y consumo*

de hidrógeno. Obtenido de [larepublica.co](https://www.larepublica.co/especiales/hidrogeno-en-la-transicion/china-y-estados-unidos-lideres-en-produccion-y-consumo-de-hidrogeno-3727242): [https://www.larepublica.co/especiales/hidrogeno-](https://www.larepublica.co/especiales/hidrogeno-en-la-transicion/china-y-estados-unidos-lideres-en-produccion-y-consumo-de-hidrogeno-3727242)

[en-la-transicion/china-y-estados-unidos-lideres-en-produccion-y-consumo-de-hidrogeno-3727242](https://www.larepublica.co/especiales/hidrogeno-en-la-transicion/china-y-estados-unidos-lideres-en-produccion-y-consumo-de-hidrogeno-3727242)

Brijaldo, M., Castillo, C., & Pérez, G. (2021). Principales Rutas en la Producción de Hidrógeno. *Ingeniería*

y competitividad, 22(2). doi:<https://doi.org/10.25100/iyc.v23i2.11155>

Camero, A. (2023). *Generación de biogás mediante un bio digestor*. Corporación Universitaria Minuto de

Dios, bogota. Obtenido de [https://uniminuto0-](https://uniminuto0-my.sharepoint.com/:b:/g/personal/marcela_camargop_uniminuto_edu/EWslFNBwytNJueZieEE4hLUBIHvhyvPaZu2dvDZdG7BUWA?e=F92Q8U)

[my.sharepoint.com/:b:/g/personal/marcela_camargop_uniminuto_edu/EWslFNBwytNJueZieEE4](https://uniminuto0-my.sharepoint.com/:b:/g/personal/marcela_camargop_uniminuto_edu/EWslFNBwytNJueZieEE4hLUBIHvhyvPaZu2dvDZdG7BUWA?e=F92Q8U)

[hLUBIHvhyvPaZu2dvDZdG7BUWA?e=F92Q8U](https://uniminuto0-my.sharepoint.com/:b:/g/personal/marcela_camargop_uniminuto_edu/EWslFNBwytNJueZieEE4hLUBIHvhyvPaZu2dvDZdG7BUWA?e=F92Q8U)

Centro Nacional del Hidrógeno. (7 de febrero de 2019). *Seguridad* . Obtenido de Centro Nacional del

Hidrógeno:

[https://www.cnh2.es/seguridad/#:~:text=El%20hidr%C3%B3geno%20tiene%20un%20rango,mJ](https://www.cnh2.es/seguridad/#:~:text=El%20hidr%C3%B3geno%20tiene%20un%20rango,mJ%20para%20iniciar%20la%20combusti%C3%B3n.)

[%20para%20iniciar%20la%20combusti%C3%B3n.](https://www.cnh2.es/seguridad/#:~:text=El%20hidr%C3%B3geno%20tiene%20un%20rango,mJ%20para%20iniciar%20la%20combusti%C3%B3n.)

CIC energi Gune. (30 de 11 de 2021). *Hidrógeno: oportunidades y retos de su cadena de valor*. Obtenido de cicenergigune.com: <https://cicenergigune.com/es/blog/hidrogeno-oportunidades-retos-cadena-valor#>

Consejo Europeo del Hidrogeno. (2023). *Hydrogen is the missing piece of the clean energy puzzle*. Obtenido de hydrogencouncil.com: <https://hydrogencouncil.com/en/>

Crespo, C. (5 de 9 de 2022). *National Geographic*. Obtenido de ¿Que es el hidrogeno y que papel puede jugar en la transicion energetica: <https://www.nationalgeographicla.com/medio-ambiente/2022/08/que-es-el-hidrogeno-y-que-papel-puede-jugar-en-la-transicion-energetica>

Díaz, C. S. (2020). *Análisis técnico económico de tecnología de electrolisis tipo PEM para producción de hidrógeno en Colombia*. Obtenido de Universidad de los Andes: <http://hdl.handle.net/1992/48973>

Ecopetrol. (18 de Mayo de 2022). *El Grupo Ecopetrol inició la producción de hidrógeno verde en Colombia*. Obtenido de Ecopetrol.com.co: <https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/es/noticias/detalle/Noticias+2021/el-grupo-ecopetrol-inicip-la-produccion-de-hidrogeno-verde-en-colombia>

Flowers, P., Robinson, W. R., Langley, R., & Theapold, k. (2022). *Electrólisis*. En *Química 2 ed*. Openstax. Recuperado el junio de 2024, de <https://openstax.org/books/qu%C3%ADmica-2ed/pages/17-7-electrolisis>

Hernández, D., & Jiménez, Francisco. (julio de 2007). *Almacenamiento de hidrógeno en carbones activados por oxidación con aire*. (U. N. Colombia, Ed.) Obtenido de Universidad Nacional de Colombia.

Inoxidable.com. ((s. f.)). *Resistencia a la corrosión de aceros inoxidables*. Obtenido de Inoxidable.com: <https://inoxidable.com/corrosion.htm>

Minenergía. (7 de 6 de 2024). *Se inaugura de manera oficial la oficina H2-Diplo en Colombia*. Obtenido de Minenergía.gov: <https://www.minenergia.gov.co/es/sala-de-prensa/noticias-index/se-inaugura-de-manera-oficial-la-oficina-h2-diplo-en-colombia/>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Argentina. (2022). *Biodigestores: los residuos como generadores de energía*. Obtenido de Argentina.gov.co: <https://www.argentina.gob.ar/interior/ambiente/accion/biodigestores#:~:text=Un%20biodigestor%20es%20un%20recipiente,mediante%20un%20generador%20a%20gas.>

Ministerio de minas y energía de Colombia. (26 de 12 de 2021). *Ruta de hidrógeno de Colombia*. Obtenido de Minenergía.gov.co: <https://www.minenergia.gov.co/es/micrositios/enlace-ruta-hidrogeno/>

Molina, R. A., & Casteleiro Roca, J. L. (2021). *Universidad de cataluña*. doi:<https://doi.org/10.17979/spudc.9788497497985>

Nuevo, D. (19 de mayo de 2022). *Los colores del Hidrógeno*. Obtenido de Eshidrogeno.com: <https://eshidrogeno.com/colores-hidrogeno/#:~:text=%F0%9F%91%89%20Los%20colores%20de%20hidr%C3%B3geno,a%20utilizarlos%20cada%20vez%20menos.>

Rodríguez, H. (15 de Enero de 2024). *Propiedades del hidrógeno (H)*. Obtenido de nationalgeographic.com.es: https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/propiedades-hidrogeno-h_18653

Sigma electronica. (31 de mayo de 2024). *Mq-8*. Obtenido de Sigmaelectronica.net: <https://www.sigmaelectronica.net/producto/mq-8/>

UNAM. (2022). *Reacciones de oxidación–reducción* . Obtenido de portalacademico.cch.unam.mx:

https://portalacademico.cch.unam.mx/materiales/prof/matdidac/sitpro/exp/quim/quim2/quimicall/L_reacc_oxidoreduccion.pdf

Anexos

Anexo 1 Código Arduino, sensor de gas y pantalla LCD

```
#include <LiquidCrystal.h>

LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2); // Configura los pines de tu LCD

int sensorPin = A0; // Pin analógico al que está conectado el sensor

void setup() {

  lcd.begin(20, 4); // Inicializa la pantalla LCD con 16 columnas y 4 filas

  Serial.begin(9600); // Inicializa la comunicación serial para el monitoreo
}

void loop() {

  // Lee el valor del sensor

  int valorSensor = analogRead(sensorPin);

  // Muestra el valor del sensor en la pantalla LCD

  lcd.clear(); // Borra la pantalla antes de escribir nuevos datos

  // Muestra el texto "ppm de hidrogeno:" en la primera fila y la parte fija del valor del sensor en la
segunda fila

  lcd.setCursor(0, 0);

  lcd.print("ppm de hidrogeno:");

  lcd.setCursor(0, 1);

  lcd.print("Valor: ");

  // Muestra la parte que se moverá del valor del sensor en la segunda fila

  lcd.print(valorSensor);

  delay(1000); // Espera un segundo antes de la siguiente lectura
}
```

Anexo 2 Datasheet mq-8 sensor

HANWEI ELETRONICS CO.,LTD

MQ-8

<http://www.hwsensor.com>

TECHNICAL DATA MQ-8 GAS SENSOR

FEATURES

- * High sensitivity to Hydrogen (H₂)
- * Small sensitivity to alcohol, LPG,cooking fumes
- * Stable and long life

APPLICATION

They are used in gas leakage detecting equipments in family and industry, are suitable for detecting of Hydrogen (H₂), avoid the noise of alcohol and cooking fumes, LPG,CO.

SPECIFICATIONS

A. Standard work condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
V _c	Circuit voltage	5V±0.1	AC OR DC
V _H	Heating voltage	5V±0.1	AC OR DC
P _L	Load resistance	10K Ω	
R _H	Heater resistance	31 ± 5%	Room Tem
P _H	Heating consumption	less than 800mW	

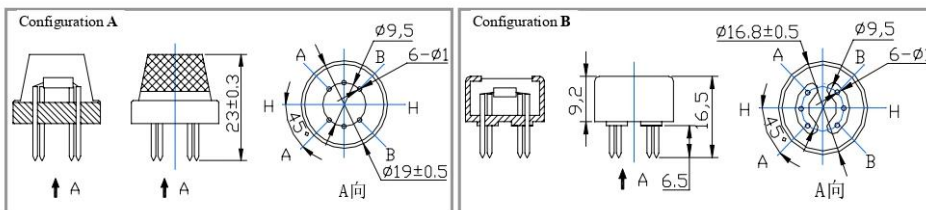
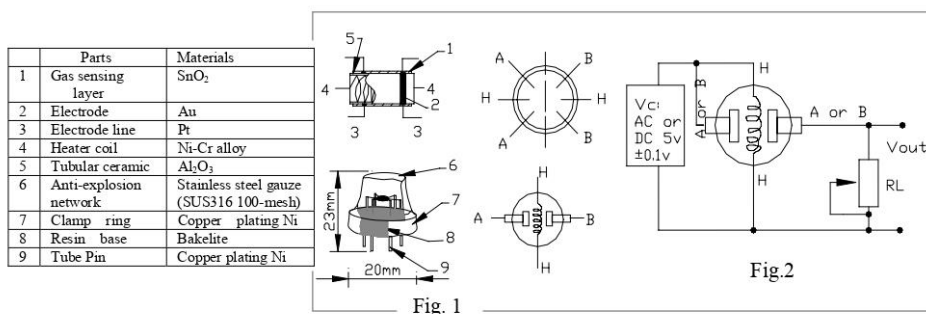
B. Environment condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
T _{ao}	Using Tem	-10℃-50℃	
T _{as}	Storage Tem	-20℃-70℃	
R _H	Related humidity	less than 95%Rh	
O ₂	Oxygen concentration	21%(standard condition)Oxygen concentration can affect sensitivity	minimum value is over 2%

C. Sensitivity characteristic

Symbol	Parameter name	Technical parameter	Remark 2
R _s	Sensing Resistance	10K Ω - 60K Ω (1000ppm H ₂)	Detecting concentration scope: 100-10000ppm Hydrogen (H ₂)
α (1000ppm/ 500ppmH ₂)	Concentration slope rate	≤0.6	
Standard detecting condition	Temp: 20℃±2℃ Humidity: 65%±5%	V _c :5V±0.1 V _H : 5V±0.1	
Preheat time	Over 24 hour		

D. Structure and configuration, basic measuring circuit



TEL: 86-371- 67169070 67169080

FAX: 86-371-67169090

E-mail: sales@hwsensor.com

Structure and configuration of MQ-8 gas sensor is shown as Fig. 1 (Configuration A or B), sensor composed by micro Al_2O_3 ceramic tube, Tin Dioxide (SnO_2) sensitive layer, measuring electrode and heater are fixed into a crust made by plastic and stainless steel net. The heater provides necessary work conditions for work of sensitive components. The enveloped MQ-8 have 6 pin ,4 of them are used to fetch signals, and other 2 are used for providing heating current.

Electric parameter measurement circuit is shown as Fig.2

E. Sensitivity characteristic curve

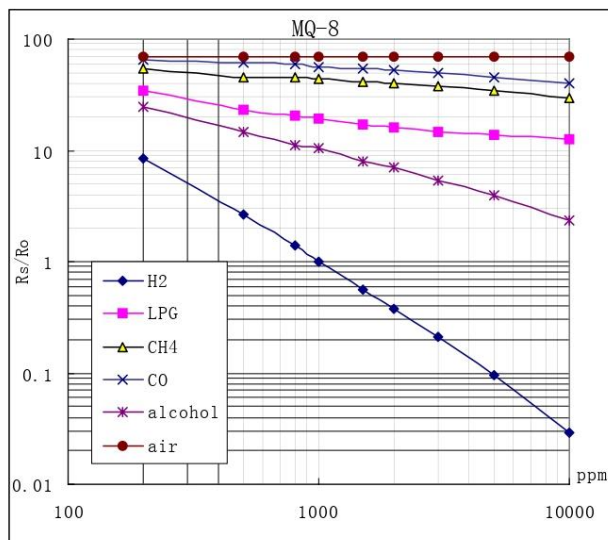


Fig.2 sensitivity characteristics of the MQ-8

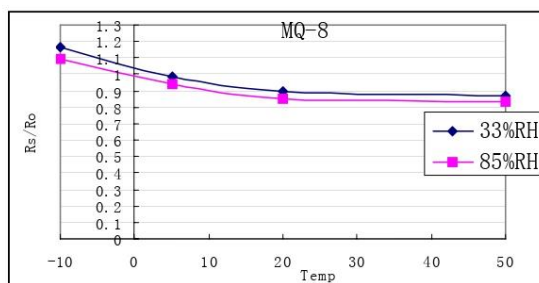


Fig.4 is shows the typical dependence of the MQ-8 on temperature and humidity.
 R_o : sensor resistance at 1000ppm of H_2 in air at 33%RH and 20 degree.
 R_s : sensor resistance at 1000ppm of H_2 in air at different temperatures and humidities.

SENSITIVITY ADJUSTMENT

Resistance value of MQ-8 is difference to various kinds and various concentration gases. So, When using this components, sensitivity adjustment is very necessary. we recommend that you calibrate the detector for 1000ppm H_2 concentration in air and use value of Load resistance (R_L) about 10 K Ω (5K Ω to 33 K Ω).

When accurately measuring, the proper alarm point for the gas detector should be determined after considering the temperature and humidity influence.

Anexo 3 Hoja de seguridad y NFPA 704



Hidrógeno comprimido

Hoja de datos de seguridad

de acuerdo con NOM-018-STPS-2015

HDS- P-4604-SGA-MX

Fecha de Emisión: 01/01/1980 Fecha de Revisión:06/03/2015

SECCIÓN 1: Producto e identificación de la empresa

1.1. Identificación del producto

Forma de producto	: Sustancia
Nombre	: Hidrógeno comprimido
CAS N°	: 1333-74-0
Fórmula	: H2
Otros medios de identificación	: Dihidrógeno, para-H hidrógeno, Gas refrigerante R702, Gas de Agua, Hidrógeno Grado; 6.0 Investigación, 5.0 metanizador FID, 5.0 Ultra alta pureza, 4.5 Carbono orgánico total, 4.5 Cero, 4.5, 6.0 Proceso de gas semiconductor, 5.5 Proceso de gas semiconductor, 5.0 Proceso de gas semiconductor.

1.2. Uso recomendado del producto químico y restricciones

Uso de la sustancia/mezcla	: Uso industrial. Utilice como indicado.
----------------------------	--

1.3. Datos sobre el proveedor de la hoja de datos de seguridad

Praxair México
 Praxair México S. de R.L. de C.V.
 Biólogo Maximino Martínez No. 3804
 Col. San Salvador Xochimanca, 02870 - MX
 T Centro de Soluciones al Cliente Praxair 01-800-PRAXAIR (018007729247)
www.praxair.com.mx

1.4. Número de teléfono en caso de emergencia

Número de emergencia	: 01-800-723-3244 (01-800-SAFE24-H)
----------------------	-------------------------------------

SECCIÓN 2: Identificación del peligro o peligros

2.1. Clasificación de la sustancia o mezcla

Clasificación de SGA-MX

Inflamable, Gas 1 H220
 Gas comprimido H280

2.2. Elementos de las etiquetas

Etiquetado SGA-MX

Pictogramas de peligro (SGA-MX)



Palabra de advertencia (SGA-MX)

: PELIGRO

Indicaciones de peligro (SGA-MX)

: H220 - GAS EXTREMADAMENTE INFLAMABLE
 H280 - CONTIENE GAS A PRESIÓN; PUEDE EXPLOTAR SI SE CALIENTA
 OSHA-H01 - PUEDE DESPLAZAR EL OXÍGENO Y CAUSAR ASFIXIA RÁPIDA
 CGA-HG04 - PUEDE FORMAR MEZCLAS EXPLOSIVAS CON EL AIRE
 CGA-HG08 - Arde con llama invisible.

Consejos de precaución (SGA-MX)

: P202 - No manipular antes de haber leído y comprendido todas las precauciones de seguridad
 P210 - Mantener alejado del calor, chispas, llamas al descubierto, superficies calientes y otras fuentes de ignición. No fumar. Del calor, de llamas al descubierto, De chispas, De superficies calientes
 P271+P403 - Utilizar y almacenar sólo en exteriores o en lugares bien ventilados
 P377 - Fuga de gas inflamado: No apagar las llamas del gas inflamado si no puede hacerse sin riesgo
 P381 - En caso de fuga, eliminar todas las fuentes de ignición
 CGA-PG05 - Utilice un dispositivo de prevención de contraflujo en la tubería
 CGA-PG10 - Utilice sólo con equipo con especificación para la presión del cilindro
 CGA-PG12 - No abrir la válvula hasta que se conecte con el equipo preparado para su uso
 CGA-PG06 - Cierre la válvula después de cada uso y cuando esté vacío
 CGA-PG02 - Proteger de la luz solar

Hidrógeno comprimido

Hoja de datos de seguridad

de acuerdo con NOM-018-STPS-2015

2.3. Otros peligros que no figuren en la clasificación

Otros peligros que no contribuyen a la clasificación : Ninguno.

2.4. Toxicidad aguda desconocida (SGA-MX)

No hay datos disponibles

SECCIÓN 3: Composición/información sobre los componentes

3.1. Sustancia

Nombre : Hidrógeno comprimido

CAS N° : 1333-74-0

Nombre	Identificación del producto	%
Hidrógeno	(CAS N°) 1333-74-0	99.5 - 100

3.2. Mezcla

No aplicable

SECCIÓN 4: Primeros auxilios

4.1. Descripción de las medidas necesarias

Medidas de primeros auxilios tras una inhalación : Transportar la víctima al aire libre y mantenerla en una posición que le facilite la respiración. Si no respira, dar respiración artificial. Si respira con dificultad el personal calificado debe administrar oxígeno. Llame a un médico.

Medidas de primeros auxilios tras el contacto con la piel : No se esperan efectos adversos de este producto.

Medidas de primeros auxilios tras un contacto con los ojos : Lavar inmediatamente los ojos con agua durante, al menos, 15 minutos. Mantenga los párpados separados del ojo para asegurar que toda la superficie ocular ha sido lavada completamente. Consultar inmediatamente a un oftalmólogo. Consultar a un médico inmediatamente.

Medidas de primeros auxilios tras una ingestión : La ingestión no se considera una vía potencial de exposición.

4.2. Síntomas/efectos más importantes, agudos y retardados

No se dispone de más información

4.3. Indicación de la necesidad de recibir atención médica inmediata y tratamiento especial requerido en caso necesario

Ninguno.

SECCIÓN 5: Medidas de lucha contra incendios

5.1. Medios de extinción

Medios de extinción apropiados : El dióxido de carbono, polvo químico seco, agua pulverizada, niebla.

5.2. Peligros específicos de los productos químicos

Peligro de incendio : GAS EXTREMADAMENTE INFLAMABLE. La flama de hidrógeno es casi invisible. El hidrógeno tiene una baja energía de ignición; gas hidrógeno escapando puede incendiarse espontáneamente. Una bola de fuego se formará si la nube de gas se incendia inmediatamente después de liberarse. El hidrógeno forma mezclas explosivas con el aire y con agentes oxidantes.

Peligro de explosión : GAS EXTREMADAMENTE INFLAMABLE. Forma mezclas explosivas con el aire y con agentes oxidantes.

Reactividad : No hay peligro de reactividad distintos de los efectos que se describen a continuación.

5.3. Equipo de protección especial y precauciones para los equipos de lucha contra incendios

Instrucciones para extinción de incendio : Si un gas que esta venteando ó fugando se incendia, no extinga las flamas. Los vapores flamables pueden esparcirse del punto de fuga, creando un riesgo de una re-ignición explosiva. Los vapores pueden incendiarse mediante el piloto de luces, otras flamas, cigarrillos, chispas, calentadores, equipo eléctrico, descargas estáticas u otras fuentes de ignición en ubicaciones distantes del punto de manejo del producto. Atmosferas explosivas pueden persistir. Antes de entrar a un área, especialmente un área confinada, verifique la atmósfera con un dispositivo apropiado. Evacue a todo el personal del área de peligro. Utilice equipo de aire autónomo (SCBA) y ropa protectora. Inmediatamente enfríe los contenedores con agua desde una distancia máxima segura. Detenga el flujo de gas si es seguro de hacer, mientras continúa rociando agua. Remueva las fuentes de ignición si es seguro de hacer. Remueva los contenedores del área de fuego si es seguro de hacer. La brigada contra incendio debe cumplir con lo requerido en OSHA 29 CFR 1910.156 y los estándares aplicables en 29 CFR 1910 Sub-parte L-Protección contra Fuego.

Protección durante la extinción de incendios : Gas comprimido: asfixiante. Peligro de sofocamiento por falta de oxígeno.

Hidrógeno comprimido

Hoja de datos de seguridad

de acuerdo con NOM-018-STPS-2015

Equipos de protección especiales para bomberos	: Vestimenta y equipo de protección standard (aparato de respiración autónoma) para bomberos.
Métodos específicos	: Utilizar medidas de control de incendios apropiadas con el incendio circundante. La exposición de los envases de gas al fuego y al calor puede provocar su ruptura. Enfríe los envases dañados con chorro de agua pulverizada desde una posición protegida. No vacíe el agua contaminada por el fuego en los desagües. Si es posible detener la fuga de producto. Usar agua en spray o en nebulizador para disipar humos de incendios.

SECCIÓN 6: Medidas que deben tomarse en caso de derrame accidental

6.1. Precauciones individuales, equipos de protección y procedimientos de emergencia

Medidas generales	: Reducir el gas con niebla o rocío de agua. Ventilar el local o mover contenedores a un área bien ventilada. gas inflamable puede propagarse de fuga. Antes de entrar en la zona, especialmente en un espacio cerrado. Compruebe la atmósfera con un dispositivo adecuado
-------------------	--

6.1.1. Para el personal que no forma parte de los servicios de emergencia

No se dispone de más información

6.1.2. Para el personal de los servicios de emergencia

No se dispone de más información

6.2. Precauciones medioambientales

Impedir la contaminación del suelo y agua. Disponga el contenido/los contenedores de acuerdo con la regulación local/regional/nacional/internacional. Contacte a su proveedor para cualquier requerimiento especial.

6.3. Métodos y materiales de aislamiento y limpieza

No se dispone de más información

6.4. Motivo de utilización desaconsejado

Ver también las Secciones 8 y 13.

SECCIÓN 7: Manipulación y almacenamiento

7.1. Precauciones para una manipulación segura

Precauciones para una manipulación segura	: Mantener alejado del calor, chispas, llamas al descubierto, superficies calientes y otras fuentes de ignición. No fumar. No utilizar herramientas que produzcan chispas. Usar solamente equipamiento antideflagrante. Usar guantes de seguridad de cuero y zapatos de seguridad cuando se manejen cilindros de gas a presión. Proteger los cilindros de los daños materiales, no arrastrar, ni rodar, deslizar o dejar caer. Mientras mueve el cilindro, mantenga siempre colocada la cubierta de la válvula desmontable. Nunca intente levantar el cilindro por el capuchón; el capuchón está diseñado únicamente para proteger a la válvula. Si mueve cilindros, incluso en pequeños recorridos, use una carretilla (mecánica, manual, etc.) diseñada para transportar cilindros. Nunca inserte un objeto (ejemplo: llaves o barras metálicas, desarmadores) entre el capuchón y el cuerpo del cilindro; esto puede dañar la válvula y causar una fuga. Utilice una llave de correa para remover los capuchones sobre apretados u oxidados. Abra la válvula lentamente. Si se dificulta abrir la válvula, descontinúe el uso del cilindro y contacte a su proveedor. Cierre la válvula del contenedor después de cada uso; manténgala cerrada incluso cuando se encuentre vacío. Nunca aplique flama o calor directamente a cualquier parte del contenedor. Las altas temperaturas pueden dañar el contenedor y pueden causar que el dispositivo de relevo de presión falle prematuramente, venteando el contenido del cilindro. Para otras precauciones en el uso de este producto, vea la sección 16.
---	---

7.2. Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas cualesquiera incompatibilidades

Condiciones de almacenamiento	: PELIGRO! Gas de Alta presión Inflamable Almacene únicamente donde la temperatura no exceda los 52°C (125°F). Coloque señalamientos de "NO FUMAR" ó "PROHIBIDO USO DE FLAMA ABIERTA" en las áreas de almacenaje y de trabajo. No deben de existir fuentes de ignición. Separe los materiales y protéjalos contra fuego potencial y/o daños por explosión siguiendo los códigos y requerimientos apropiados (ej. NFPA 30, NFPA 55, NFPA 70 y/o NFPA 22 en los EU) ó de acuerdo a lo requerimientos determinados por la autoridad que tenga jurisdicción (AHJ). Siempre asegure los contenedores en posición vertical a fin de prevenir su caída ó que sean golpeados. Coloque los capuchones de protección, si estos son suministrados, con firmeza apretados con la mano cuando los contenedores no están en uso. Almacene de forma separada los contenedores llenos y vacíos. Utilice un sistema de inventario primeras entradas, primeras salidas para prevenir el almacenaje de contenedores llenos por largos periodos de tiempo. Para otras precauciones en el uso de este producto vea la sección 16. OTRAS PRECAUCIONES PARA EL MANEJO, ALMACENAJE Y USO: Cuando maneje el producto a presión, utilice tubería y equipo adecuadamente diseñado para soportar la presión. Nunca trabaje en un sistema presurizado. Utilice un dispositivo preventivo de contraflujo en la tubería. Los gases pueden causar una rápida sofocación debido a la deficiencia de oxígeno; almacene y use con ventilación adecuada. Si ocurre una fuga, cierre la válvula del contenedor y purgue el sistema de forma segura y ambientalmente correcta de forma que cumpla con las todas las leyes internacionales/federales/nacionales/estatales/municipales y locales; después repare la fuga. Nunca coloque un contenedor donde pueda convertirse en parte de un circuito eléctrico.
-------------------------------	--

Hidrógeno comprimido

Hoja de datos de seguridad

de acuerdo con NOM-018-STPS-2015

7.3. Usos específicos finales


Ninguno.

SECCIÓN 8: Controles de exposición/protección personal

8.1. Parámetros de control

Hidrógeno comprimido (1333-74-0)		
ACGIH	No está establecido	
USA OSHA	No está establecido	
Hidrógeno (1333-74-0)		
ACGIH	Observación (ACGIH)	Simple asfixiante
USA OSHA	No está establecido	

8.2. Controles de exposición

Controles apropiados de ingeniería	: Use an explosion-proof local exhaust system. La extracción local y ventilación general deben ser suficientes para cumplir con las normas de exposición. Mecánica (General): Inadecuada - Utilizar solamente en un sistema cerrado. Use equipo a prueba de explosión y de iluminación.
Protección ocular	: Usar gafas con de seguridad con protecciones laterales.
	
Protección de las vías respiratorias	: Un respirador con suministro de aire debe ser utilizado cuando se trabaje con este producto en espacios confinados. La protección respiratoria usada debe cumplir con las reglas de OSHA especificadas en 29 CFR 1910.134. Seleccione en base a OSHA 29 CFR 1910.134 y ANSI Z88.2.
Protección contra peligros térmicos	: No necesaria.
Otra información	: Considerar el uso de prendas de seguridad resistentes a llama antiestática. Usar zapatos de seguridad mientras se manejan envases.

SECCIÓN 9: Propiedades físicas y químicas

9.1. Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

Estado físico	: Gas
Apariencia	: Gas Incoloro
Masa molecular	: 2 g/mol
Color	: Incoloro.
Olor	: Inoloro
Umbral olfativo	: No hay datos disponibles
pH	: No es aplicable.
Grado relativo de evaporación (acetato de butilo=1)	: No hay datos disponibles
Grado relativo de evaporación (éter=1)	: No es aplicable.
Punto de fusión	: -259.2 °C (-434.56°F)
Punto de solidificación	: No hay datos disponibles
Punto de ebullición	: -252.9 °C (-422.97°F)
Punto de inflamación	: No hay datos disponibles
Temperatura crítica	: -239.9 °C (-399.82°F)
Temperatura de auto-ignición	: 566 °C (1051°F)
Temperatura de descomposición	: No hay datos disponibles
Inflamabilidad (sólido, gas)	: No hay datos disponibles
Presión de vapor	: Inaplicable.
Densidad relativa de vapor a 20 °C	: No hay datos disponibles
Densidad relativa	: No hay datos disponibles
Densidad	: 0.089 g/l (0.0056 lb/ft3) (at STP = 0°C and 1atm)
Densidad de gas relativa	: 0.07
Solubilidad	: Agua: 1.6 mg/l

11/05/2016

ES (español - MX)

Ref. HDS-P-4604-SGA-MX

4/8

Hidrógeno comprimido

Hoja de datos de seguridad

de acuerdo con NOM-018-STPS-2015

Log Pow	: No es aplicable.
Coefficiente de reparto octanol-agua	: No es aplicable.
Viscosidad, cinemático	: Inaplicable.
Viscosidad, dinámico	: Inaplicable.
Propiedades explosivas	: Inaplicable.
Propiedades comburentes	: Ninguno.
Límites de explosividad	: 4 - 77 vol %

9.2. Otra información

Grupo de gas	: Gas comprimido
Información adicional	: Arde con llama invisible

SECCIÓN 10: Estabilidad y reactividad

10.1. Reactividad

No hay peligro de reactividad distintos de los efectos que se describen a continuación.

10.2. Estabilidad química

Estable en condiciones normales.

10.3. Posibilidad de reacciones peligrosas

Puede formar mezclas explosivas con el aire. Puede reaccionar violentamente con materias oxidantes.

10.4. Condiciones que deben evitarse

Manténgase alejado de fuentes de calor, chispas, llama abierta o superficies calientes. – No fumar.

10.5. Materiales incompatibles

Oxidantes. Litio, halógenos.

10.6. Productos de descomposición peligrosos

En condiciones normales de almacenamiento y uso, no ocurre reacción peligrosa no debe ser producido

SECCIÓN 11: Información toxicológica

11.1. Información sobre los efectos toxicológicos

Toxicidad aguda	: No está clasificado
-----------------	-----------------------

Hidrógeno comprimido (f) 1333-74-0

CL50 inhalación rata (ppm)	> 15000 ppm/1h
----------------------------	----------------

Hidrógeno (1333-74-0)

CL50 inhalación rata (ppm)	> 15000 ppm/1h
----------------------------	----------------

Corrosión/irritación en la piel	: No está clasificado
	pH: No es aplicable.
Lesiones/irritaciones graves en los ojos	: No está clasificado
	pH: No es aplicable.
Sensibilización respiratoria o de la piel	: No está clasificado
Mutagenidad de células germinativas	: No está clasificado
Carcinogenicidad	: No está clasificado
Toxicidad a la reproducción	: No está clasificado
Toxicidad sistémica para órganos diana (exposición única)	: No está clasificado
Toxicidad sistémica para órganos diana (exposición repetida)	: No está clasificado
Peligro por aspiración	: No está clasificado

SECCIÓN 12: Información ecológica

12.1. Toxicidad

Ecología - general	: Este producto no causa daños ecológicos.
--------------------	--

12.2. Persistencia y degradabilidad

Hidrógeno comprimido (1333-74-0)

Persistencia y degradabilidad	Este producto no causa daños ecológicos.
-------------------------------	--

Hidrógeno comprimido

Hoja de datos de seguridad

de acuerdo con NOM-018-STPS-2015

Hidrógeno (1333-74-0)	
Persistencia y degradabilidad	Este producto no causa daños ecológicos.

12.3. Potencial de bioacumulación

Hidrógeno comprimido (1333-74-0)	
BCF peces 1	(ausencia de bioacumulación)
Log Pow	No es aplicable.
Coefficiente de reparto octanol-agua	No es aplicable.
Potencial de bioacumulación	Este producto no causa daños ecológicos.

Hidrógeno (1333-74-0)	
BCF peces 1	(ausencia de bioacumulación)
Log Pow	No es aplicable.
Coefficiente de reparto octanol-agua	No es aplicable.
Potencial de bioacumulación	Este producto no causa daños ecológicos.

12.4. Movilidad en suelo

Hidrógeno comprimido (1333-74-0)	
Movilidad en suelo	Sin datos disponibles.
Ecología - suelo	Este producto no causa daños ecológicos.

Hidrógeno (1333-74-0)	
Movilidad en suelo	Sin datos disponibles.
Ecología - suelo	Este producto no causa daños ecológicos.

12.5. Otros efectos adversos

Efectos en la capa de ozono	: Ninguno
Efectos en el calentamiento global	: Se desconocen los efectos de este producto

SECCIÓN 13: Información relativa a la eliminación de los productos

13.1. Descripción de los residuos e información sobre la manera de manipularlos sin peligro, así como sus métodos de eliminación

Recomendaciones para la eliminación de residuos	: Eliminar el contenido/recipiente de acuerdo con la regulación local/regional/nacional/internacional. Contacte a su proveedor para cualquier requerimiento especial.
---	---

SECCIÓN 14: Información relativa al transporte

Según los requisitos de DOT	
Descripción del documento del transporte	: UN1049 Hidrógeno Comprimido, 2.1
Nº ONU (DOT)	: UN1049
Designación oficial de transporte (DOT)	: Hidrógeno Comprimido
Clase (DOT)	: 2.1 - Clase 2.1 - Gas inflamable 49 CFR 173.115
Etiquetas de peligro (DOT)	: 2.1 - Gas inflamable



DOT Disposiciones Especiales (49 CFR 172.102)	: N89- Cuando se utilicen recipientes de presión de acero de la ONU, sólo están autorizados aquellos que lleven la marca "H"
---	--

Información adicional

Número de Guía de Respuesta a Emergencia (ERG)	: 115 (UN1049)
Otra información	: No hay información adicional disponible.

Hidrógeno comprimido

Hoja de datos de seguridad

de acuerdo con NOM-018-STPS-2015

Precauciones especiales de transporte : Evitar el transporte en los vehículos donde el espacio de la carga no esté separado del compartimiento del conductor. Asegurar que el conductor está enterado de los riesgos potenciales de la carga y que conoce que hacer en caso de un accidente o de una emergencia. Antes de transportar los cilindros: - Asegurar una ventilación adecuada. - Asegúrese de que los recipientes están bien fijados. - Asegurarse que las válvulas de los cilindros están cerradas y no fugan. - Asegurarse que el tapón del acoplamiento de la válvula (cuando exista) está adecuadamente apretado. - Asegurarse que la caperuza de la válvula o la tulipa, (cuando exista), está adecuadamente apretada.

Producto comercial

Nº ONU (IMDG) : 1049
 Designación oficial de transporte (IMDG) : HIDRÓGENO COMPRIMIDO
 Clase (IMDG) : 2 - Gases
 MFAg-Nº : 115

Transporte aéreo

Nº ONU (IATA) : 1049
 Designación oficial de transporte (IATA) : Hidrógeno Comprimido
 Clase (IATA) : 2
 Ley de Aeronáutica Civil : Gases a presión / gases inflamables bajo presión (materiales peligrosos notan Como apéndice Tabla 1 del artículo 194 del Reglamento de Aplicación)

SECCIÓN 15: Información sobre la reglamentación

15.1. Regulaciones federales de EE. UU

Hidrógeno comprimido (1333-74-0)	
Listado en el inventario de la TSCA (Acto de Control de Sustancias Tóxicas) de los Estados Unidos	
Ley SARA, Sección 311/312, Estados Unidos, Categorías de Peligro	Escape Brusco de Presión Peligrosa Peligro de incendio

Todos los componentes de este producto están listados o excluidos de la lista, en el Inventario de la Ley de Control de Sustancias Tóxicas de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (TSCA)

Este producto o mezcla no contiene un químico tóxico o químicos en exceso a la concentración de mínimos aplicable como se especifica en 40 CFR sujeta a los requerimientos de informe de la sección 313 del Título III de la Ley de Enmienda y Reautorización de Superfondos de 1986 y 40 CFR Parte 372.

15.2. Regulaciones Internacionales

CANADÁ

Hidrógeno comprimido (1333-74-0)	
Listado en la DSL (Lista de Sustancias Domésticas) canadiense	
Hidrógeno (1333-74-0)	
Listado en la DSL (Lista de Sustancias Domésticas) canadiense	

UE-Reglamentos

Hidrógeno comprimido (1333-74-0)	
Listado en el inventario EINECS (Inventario Europeo de Sustancias Químicas Comercializadas Existentes) de la CEE	

15.2.2. Reglamentos nacionales

Hidrógeno comprimido (1333-74-0)	
Listado en AICS (Inventario Australiano de Sustancias Químicas)	
Listado en el IECSC Inventario de las Sustancias Químicas Existentes Producidas o Importadas en China	
Listado en la ECL (Lista de Químicos Existentes) coreana	
Listado en el NZIoC (Inventario de Químicos de Nueva Zelanda)	
Listado en el PICCS (Inventario de Químicos y Sustancias Químicas de Filipinas)	
Listado en el INSQ (Inventario Nacional de sustancias Químicas) México por el INECC	

15.3. Regulaciones Estatales de EE. UU

Hidrógeno comprimido (1333-74-0)	
EE. UU - California - Proposición 65 - Lista de Carcinógenos	No
EE. UU - California - Proposición 65 - Toxicidad para el Desarrollo	No
EE. UU - California - Proposición 65 - Toxicidad Reproductiva - Femenino	No
EE. UU - California - Proposición 65 - Toxicidad Reproductiva - Masculino	No

Hidrógeno comprimido

Hoja de datos de seguridad

de acuerdo con NOM-018-STPS-2015

Hidrógeno comprimido (1333-74-0)	
Normativa nacional o local	U.S. - Massachusetts - Right To Know List U.S. - New Jersey - Right to Know Hazardous Substance List U.S. - Pennsylvania - RTK (Right to Know) List

California Proposition 65 - Este producto no contiene sustancias conocidas por el estado de California por causar cáncer o daño al desarrollo y/o reproducción.

Hidrógeno (1333-74-0)				
EE. UU - California - Proposición 65 - Lista de Carcinógenos	EE. UU - California - Proposición 65 - Toxicidad para el Desarrollo	EE. UU - California - Proposición 65 - Toxicidad Reproductiva - Femenino	EE. UU - California - Proposición 65 - Toxicidad Reproductiva - Masculino	Niveles sin riesgo significativo (NSRL)
No	No	No	No	

Hidrógeno (1333-74-0)	
U.S. - Massachusetts - Right To Know List	U.S. - New Jersey - Right to Know Hazardous Substance List
U.S. - Pennsylvania - RTK (Right to Know) List	

SECCIÓN 16: Otra información

Otra información

: Cuando usted mezcle dos o más químicos, usted puede crear riesgos adicionales inesperados. Obtenga y evalúe la información de seguridad para cada componente antes de producir la mezcla. Consulte a un higienista industrial u otra persona entrenada cuando usted evalúe el producto final. Antes de usar cualquier plástico, verifique la compatibilidad con este producto. Praxair solicita a los usuarios de este producto leer las hojas de seguridad (HDS) y estar alerta de los riesgos del producto y la información de seguridad. Para promover el uso seguro de este producto, el usuario (1) notificará a los empleados, y contratistas la información dada en esta hoja de seguridad (HDS) y cualquier otro riesgo del producto del cual tenga conocimiento así como de cualquier otra información de seguridad, (2) provea esta información a cada comprador del producto, y (3) solicite a cada comprador notifique a sus empleados y clientes los riesgos del producto y la información de seguridad. Las opiniones expresadas aquí son de expertos calificados de Praxair Inc. Creemos que la información contenida en este documento está actualizada a la fecha de esta Hoja de Seguridad. Dado que el uso de esta información, así como de sus condiciones de uso no están en control de Praxair, Inc., es obligación del usuario determinar las condiciones de uso seguro del producto. Las Hojas de Seguridad son suministradas en la venta o entregadas por Praxair o los distribuidores independientes y proveedores quienes empaquetan y venden nuestros productos. Para obtener las HDS actual para estos productos, póngase en contacto con su representante de ventas de Praxair, distribuidor local o proveedor, o descargar desde www.praxair.com.mx Si usted tiene preguntas con respecto a las HDS de Praxair, o le gustaría el número de documento y la fecha de las últimas HDS, o si desea los nombres de los proveedores de Praxair en su área, por teléfono o escribir a al Centro de Soluciones al Cliente Praxair 01-800-PRAXAIR/018007729247; Dirección: Praxair Centro de Soluciones al Cliente, Praxair México S. de R. L. de C. V., Biólogo Maximino Martínez No 3804, San Salvador Xochimanca, C.P. 02870 México D. F.. Praxair y el diseño que fluye la corriente aérea son marcas comerciales o marcas comerciales registradas de Praxair Technology, Inc. en los Estados Unidos y / o en otros países. Praxair y el diseño del flujo de aire son marcas registradas de Praxair Technology Inc., en los Estados Unidos y/o en otros países.

NFPA peligro para la salud

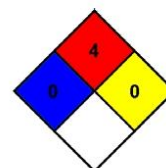
: 0 - Exposición bajo condiciones de fuego, no ofrece mayor peligro que el de los materiales combustibles ordinarios.

NFPA peligro de incendio

: 4 – Sustancia que puede inflamarse a temperatura ambiente y tiene un alto potencial para causar generación de calor o explosión.

NFPA reactividad

: 0 - Normalmente estable, incluso bajo condiciones de exposición de fuego y es reactiva con el agua.



Clasificación HMIS III

Salud

: 0 Peligro Mínimo - Ningún riesgo significativo para la salud

Inflamabilidad

: 4 Peligro Severo

Físico

: 3 Peligro Serio

Esta información se basa en nuestro conocimiento actual y tiene como finalidad describir el producto para la salud, seguridad y medio ambiente. Por lo tanto, no debe ser interpretada como garantía de ninguna característica específica del producto