ANEXO 1. CONDICIONES TECNICAS BASICAS OBLIGATORIAS

El proyecto consiste en la implementación integral de nuevas metodologías avanzadas para la producción, cuantificación y almacenamiento químico de hidrógeno verde a partir del agua de mar en Cartagena, Colombia. El alcance del proyecto incluye el desarrollo y optimización de un sistema híbrido de electrólisis que combine la electrólisis tradicional con procesos de oxidación de biopolímeros y/o polímeros, así como la exploración de métodos alternativos como la fotocatálisis, la termólisis y los ciclos químicos.

El proyecto abarcará el diseño y evaluación de materiales y sistemas de contención resistentes a la corrosión y degradación provocadas por el contacto continuo con hidrógeno y sus compuestos, con el fin de mejorar la durabilidad y eficiencia de las tecnologías de almacenamiento de hidrógeno verde. También se desarrollará un sistema de medición instrumental preciso para asegurar la pureza y eficiencia del hidrógeno producido. Además, se realizará una investigación exhaustiva para integrar innovaciones tecnológicas en catalizadores y membranas, con el propósito de maximizar tanto la eficiencia como la sostenibilidad del proceso.

Se llevará a cabo la recopilación y adaptación de información técnica internacional de vanguardia, junto con la evaluación crítica y adaptación de tecnologías emergentes. Asimismo, se realizarán cálculos teóricos avanzados, como simulaciones de dinámica molecular y estudios de optimización de procesos, para mejorar
el rendimiento de los sistemas.

OBJETO: 601. Contratar el diseño, evaluación y la implementación a escala de laboratorio integral de la metodología avanzadas para la producción, cuantificación y almacenamiento químico de hidrógeno verde a partir de agua de mar en el Distrito Turístico y Cultural de Cartagena de Indias, Colombia.

ANTECEDENTES

1. Hidrogeno verde

Esta tecnología se basa en la generación de hidrógeno como un combustible universal, ligero y muy reactivo a través de un proceso químico conocido como electrólisis. Este método utiliza la corriente eléctrica para separar el hidrógeno del oxígeno que hay en el agua, por lo que, si esa electricidad se obtiene de fuentes renovables, produciremos energía sin emitir dióxido de carbono a la atmósfera.

Esta manera de obtener hidrógeno verde, como apunta la AIE, ahorraría los 830 millones de toneladas anuales de CO2 que se originan cuando este gas se produce mediante combustibles fósiles. Asimismo, reemplazar todo el hidrógeno gris mundial significaría 3.000 TWh renovables adicionales al año —similar a la demanda eléctrica actual en Europa—. No obstante, existen algunos interrogantes sobre la viabilidad del hidrógeno verde por su alto coste de producción; unas dudas razonables que se disiparán conforme avance la descarbonización del planeta y, en consecuencia, se abarate la generación de energía renovable.

El hidrógeno es el elemento químico más abundante de la naturaleza. Su demanda global como combustible se ha triplicado desde 1975, como señala la AIE. El objetivo es que llegue a las 30 toneladas de hidrógeno verde para 2030. Además, el hidrógeno verde es una fuente de energía limpia que solo emite vapor de agua y no deja residuos en el aire, a diferencia del carbón y el petróleo.

La relación del hidrógeno con la industria viene de lejos. Este gas se ha empleado como combustible desde principios del siglo XIX para coches, dirigibles y naves espaciales. La descarbonización de la economía mundial, un proceso inaplazable, le otorgará más

protagonismo y, si su producción se abarata un 50 % para 2030 tal y como vaticina el Consejo Mundial del Hidrógeno, estaremos sin duda ante uno de los combustibles del futuro.

ASPECTOS TÉCNICOS Y ACTIVIDADES A EJECUTAR:

Se propone llevar a cabo un desarrollo integral para la implementación a escala de laboratorio de una metodología avanzada en la producción, cuantificación instrumental y almacenamiento químico de hidrógeno verde a partir de diversas fuentes, incluyendo la electrólisis del agua de mar, polímeros, biopolímeros y otros compuestos orgánicos en agua de mar en el Distrito de Cartagena, Colombia. Este proyecto abarcará una recopilación sistemática y multidimensional de información técnica, económica y de mercado, englobando la producción, medición y almacenamiento químico seguro del hidrógeno verde.

Se integrará y adaptará la información técnica proveniente de proyectos internacionales de hidrógeno verde a las características específicas de Cartagena, explorando posibles aplicaciones y adaptaciones locales.

Se realizarán cálculos teóricos avanzados utilizando métodos de mecánica cuántica avanzada y simulaciones de dinámica molecular, para optimizar las rutas de producción de hidrógeno a partir de las distintas fuentes mencionadas.

El proyecto incluirá el desarrollo y la caracterización de membranas de separación innovadoras, empleando materiales nanocompuestos o biomiméticos, diseñadas para maximizar la eficiencia de la electrólisis de agua de mar y otros procesos de conversión. Estas membranas avanzadas están orientadas a reducir el consumo energético y aumentar la durabilidad de los sistemas de producción de hidrógeno verde.

Asimismo, se llevará a cabo la síntesis y evaluación de nuevos catalizadores, tanto basados en metales como en carbono dopado, con propiedades específicas para mejorar la eficiencia del proceso y minimizar la dependencia de metales preciosos, como el platino. Se evaluarán

también los efectos de aditivos provenientes de biopolímeros y otros materiales en la eficiencia y sostenibilidad del proceso.

El proyecto incorporará un análisis exhaustivo del ciclo de vida (LCA) para evaluar el impacto ambiental de los nuevos materiales y tecnologías, desde la extracción de materias primas hasta su disposición final, proporcionando una visión integral de los impactos ambientales y facilitando la identificación de áreas para la mejora continua.

Finalmente, se presentarán los resultados mediante informes detallados, mapas, tablas y figuras, proporcionando una representación gráfica exhaustiva de los datos obtenidos y los avances logrados en el proyecto.

METODOLOGÍA. Materiales

Obtención de hidrógeno verde usando membranas de PTFE

Los materiales necesarios para llevar a cabo la electrólisis del agua de mar basado en membranas para producir hidrógeno (Estudio 1) son los siguientes:

Tabla 1. Reactivos estudio 1.

Reactivos	Pureza	Vendedor
KOH	>90%	Sigma Aldrich
Ácido sulfúrico	96%	Merck Millipore
NaCl	99.5%	Thermo Scientific Chemicals
N, N'-metilenbisacrilamida (MBA)	99%	Sigma Aldrich
Ácido 2-acrilamida-2-metilpropanosulfónico (AMPS)	98%	Thermo Scientific Chemicals
Persulfato de amonio (APS)	98%	Thermo Scientific Chemicals
Alcohol polivinílico 1799	-	Kelong

$Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$	99%	Thermo Scientific Chemicals
CH_4N_2S (Tiourea)	99%	Thermo Scientific Chemicals
$Ni(CH_3COO)_2 \cdot 4H_2O$	98%	Sigma Aldrich
Catalizador comercial poroso MoNi/NF (apertura de 85 ppi, densidad de área de 450 gm^{-2})	-	Kunshan Guangjiayuan Electronic Materials
Catalizador comercial de malla PtNi	-	Luzhou Hongjiang Electrolytic Equipment
Membranas porosas de PTFE con diferentes tamaños de poros	0.1 µm 0.45 µm 1 µm 3 µm 5 µm	JCMSC Hunan Lujing Environmental Technology

Preparación de SDE higroscópicas a partir de PAMPS y PVA/KOH.

El SDE higroscópico de PAMPS se obtendrá a través de una polimerización por radicales libres. Para ello, se preparará una solución precursora disolviendo en agua desionizada cantidades estequiométricas de AMPS, MBA y APS. Posteriormente, esta mezcla se someterá a una burbujeo con gas nitrógeno durante un mínimo de 10 minutos. A continuación, la solución precursora será transferida a un reactor de PTFE, manteniéndolo a temperatura ambiente durante 24 horas para permitir que la reacción se complete. El SDE higroscópico de PAMPS obtenido se enjuagará con agua pura para eliminar cualquier residuo remanente y luego se sumergirá en polietilenglicol para extraer el agua. Posteriormente, este SDE se utilizará en la generación de hidrógeno (H_2).

Para preparar el PVA/KOH, se creará una solución al 10% en peso de PVA al dispersar PVA 1799 en agua desmineralizada, aplicando agitación intensa y calentando a 70 °C. Esta solución precursora de PVA al 10% se transferirá a un contenedor de PTFE, el cual será enfriado a -20 °C. Posteriormente, la mezcla congelada de PVA se sumergirá en una solución al 40% en peso de KOH durante un máximo de 24 horas. De este modo, se obtendrá el SDE higroscópico de PVA/KOH. Durante la generación de hidrógeno (H_2), se utilizará el PVA/KOH para facilitar la licuefacción del vapor de agua y la migración de iones OH^-.

Preparación del electrocatalizador anódico Mo-Ni_3S_2/NF.

El electrocatalizador de ánodo Mo-Ni_3S_2/NF, se fabricará en el laboratorio, siguiendo el estudio realizado por Autor []. En una preparación estándar, se combinará $Ni(CH_3COO)_2{\cdot}4H_2O$ (1 mmol), $Na_2MoO_4{\cdot}2H_2O$ (1 mmol), CH_4N_2S (3 mmol) y 15 ml de agua desionizada, manteniendo una agitación constante hasta lograr su disolución completa. Posteriormente, la mezcla obtenida y las espumas de níquel se introducirán en un autoclave de acero inoxidable recubierto con teflón y se mantendrá a 160 °C durante 6 horas. Tras enfriarse hasta alcanzar la temperatura ambiente, se recogerán las muestras del electrocatalizador, y se lavarán varias veces con agua desionizada y etanol, para luego secarlas al vacío a 60 °C por algunas horas.

Técnicas de caracterización

Se utilizará un microscopio electrónico de barrido (SEM, Thermo Scientific Apreo 2C) para examinar la micromorfología de la ruta del gas a través de la membrana de PTFE. La caracterización estructural de la membrana de PTFE se llevará a cabo mediante espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (FTIR), cubriendo un rango de 4000 a 400 cm^{-1}. El ángulo de contacto del agua sobre la membrana de PTFE será evaluado con un goniómetro utilizando agua desionizada y gotas de agua de mar a temperatura ambiente. La estructura del catalizador comercial se analizará mediante un SEM (JEOL JSM-7500F).

Análisis de la Concentración de Iones: Caracterización y Evaluación

Se determinarán las concentraciones de Cl^-, SO_4^{2-} y Mg^{2+} en muestras de agua de mar y en el electrolito de soporte (SDE) utilizando técnicas de cromatografía iónica (Thermo Scientific ICS 100) y espectrometría de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (PE Avio 200). Para medir la concentración de hipoclorito (ClO^-) en el SDE, se aplicará el método de o-tolidina, basado en una reacción de óxido-reducción entre el hipoclorito y la o-tolidina. La solución utilizada debe contener 0.5 mmol de o-tolidina disuelto en agua desionizada. Se preparará una curva de calibración agregando diferentes concentraciones de ClO^- (0, 6, 12, 24, 36 y 60 µM) en soluciones de KOH (0.1 ml), las cuales se inyectarán en la solución de prueba. Los espectros de absorbancia ultravioleta-visible se medirán a una longitud de onda de 436 nm para establecer una relación entre la absorbancia y la concentración de ClO^-. Tras un período prolongado de electrólisis, se añadirá una muestra de SDE (0.1 ml) a la solución de prueba, y la concentración de ClO^- se determinará comparando el espectro obtenido con la curva de calibración.

Evaluación del Desempeño del Proceso de Electrólisis

Inicialmente, se prepararán soluciones de electrolito de soporte de KOH (SDE) con distintas concentraciones en peso (10%, 20%, 30%, 40% y 50%). La conductividad de cada solución se evaluará utilizando un conductímetro con electrodos de platino a temperatura ambiente. Las características electrocatalíticas de los electrocatalizadores se analizarán mediante una estación de trabajo electroquímica (CHI660, CH Instruments). Se llevarán a cabo experimentos de voltamperometría de barrido lineal y voltamperometría cíclica en un rango de 0 V a 2,7 V, mientras se mantiene el flujo continuo de gas nitrógeno en el electrolito para eliminar el oxígeno disuelto. Los voltamperogramas de barrido lineal del sistema electrolítico a escala de laboratorio y del sistema ampliado se obtendrán usando un multímetro. Los voltajes entre el ánodo y el cátodo se registrarán para diferentes densidades de corriente: 0 mA/cm², 10 mA/cm², 50 mA/cm², 100 mA/cm², 150 mA/cm², 200 mA/cm² y 250 mA/cm².

Configuración del Sistema Electrolítico de Soporte (SES) a Escala de Laboratorio El sistema electrolítico de soporte (SES) en formato experimental presenta una estructura simétrica, en la que cada extremo incluye una capa catalítica, un electrodo, un compartimento para almacenar el electrolito de soporte (SDE) y un contenedor externo (Observar la figura 1). Ambas secciones están separadas por un diafragma que permite dividir el hidrógeno (H_2) del oxígeno (O_2). Se usarán catalizadores comerciales de malla porosa de MoNi/NF para el ánodo y PtNi para el cátodo, ambos con un espesor cercano a 1 mm.

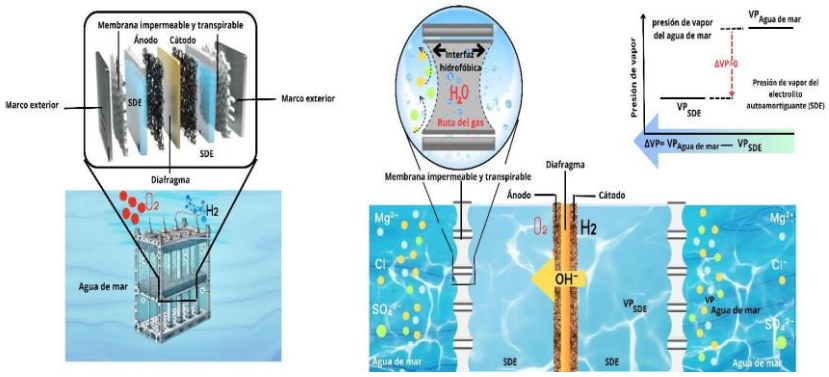


Figura 1. Diagrama ilustrativo de un sistema electrolítico de soporte (SES) estándar y explicación del mecanismo de migración, que se basa en la transformación de las fases líquido-gas-líquido durante el proceso de purificación del agua y la fuerza que impulsa su movimiento.

Evaluación de la durabilidad del proceso de electrólisis

Se llevarán a cabo ensayos de resistencia para la electrólisis de agua de mar utilizando una fuente de alimentación (ITECH, IT6900A) que opera a densidades de corriente

constantes de 250 mA/cm² o 400 mA/cm². Como resultado final, se monitoreará el voltaje aplicado al electrolizador. La eficiencia de formación de oxígeno (RFE) se determinará mediante la cantidad de O_2 generada, medida a través de cromatografía de gases. Durante el experimento, se utilizará una estación de trabajo electroquímica para mantener una producción continua de O_2 bajo diferentes densidades de corriente. Se introducirá un flujo constante de nitrógeno en la cámara del ánodo, conectada al sistema de muestreo de gases de un cromatógrafo de gases (Shimadzu, GC-2014C). Un detector de conductividad térmica se empleará para detectar y cuantificar el volumen de O_2 generado. La RFE se definirá como la relación entre el oxígeno producido en un electrolito amortiguador de KOH y la cantidad de O_2 generada en un electrolizador alcalino estándar con electrolito de KOH.

Método de Electrólisis Directa de Agua de Mar Evitando la Corrosión

Selección y Tratamiento de Materiales No Metálicos

Se seleccionarán rocas porosas de origen superficial que poseen alta conectividad entre sus poros, lo que permitirá la conducción eléctrica cuando estén completamente saturadas de agua salina. Las rocas elegidas, presentarán diferentes niveles de porosidad y permeabilidad y serán sometidas a mediciones para garantizar su idoneidad. Posteriormente, las muestras se sumergirán en una solución de cloruro de sodio (NaCl) con una concentración de 35,000 ppm, replicando la salinidad del agua marina. Este proceso de inmersión durará 48 horas para asegurar que las rocas estén completamente saturadas y listas para su uso como ánodos no metálicos.

Configuración del Sistema de Electrólisis

El sistema de electrólisis se configurará utilizando una celda electroquímica estándar, donde el ánodo se sustituirá por una de las rocas tratadas y saturadas en solución salina, mientras que el cátodo continuará siendo metálico. La fuente de energía utilizada será una fuente de corriente continua ajustable que proporcionará una corriente de 1.0 amperios y un voltaje de 7.4V, parámetros típicos para este tipo de procesos.

Resultados Comparativos con Electrodos Metálicos

Antes de comenzar las pruebas con los electrodos de roca, se realizarán experimentos de referencia utilizando ánodos metálicos convencionales. Se espera, que estos experimentos revelen una rápida degradación de los electrodos debido a la corrosión, visible después de apenas unos minutos de funcionamiento. Mediante un análisis posterior con un microscopio electrónico de barrido, se detectarán depósitos de corrosión en el agua y en la superficie del ánodo, lo que demostrará la necesidad de utilizar materiales no metálicos.

Desempeño de los Electrodos No Metálicos

Las rocas porosas actuarán como electrodos en los experimentos, y se espera que ofrezcan una alternativa efectiva a los electrodos metálicos. Bajo las mismas condiciones de corriente y voltaje, los electrodos de roca no deberían mostrar signos de corrosión ni degradación, lo que representará una ventaja significativa en términos de durabilidad. Los resultados anticipados indicarán que la capacidad de los electrodos no metálicos para arrastrar corriente dependerá de su porosidad; se espera que las muestras con mayor porosidad permitan un mayor flujo de corriente, comparándose favorablemente con los electrodos metálicos, pero sin los problemas de corrosión.

Optimización mediante Electrodos en Paralelo

Para maximizar la eficiencia del sistema, se implementará una configuración en paralelo con varios electrodos de roca. Este enfoque debería reducir la resistencia global del sistema y mejorar el rendimiento al incrementar la cantidad de corriente que se pueda arrastrar, sin aumentar la carga en cada electrodo individual. Este esquema modular se aplicará para hacer que el sistema sea fácil de escalar, lo cual será ideal para aplicaciones a gran escala.

Producción de Hidrógeno

El sistema será probado para evaluar su capacidad de producir hidrógeno. Se implementará una configuración de doble cámara en la que el gas hidrógeno desplazará agua, lo que permitirá medir el volumen generado. Con una corriente de 0.023 amperios y un voltaje de 1.8V, se anticipa que el sistema producirá aproximadamente 85 cc de hidrógeno en un lapso de 10 horas. Los electrodos no metálicos se evaluarán para confirmar que su rendimiento sea comparable al de los metálicos, pero con la ventaja añadida de eliminar los problemas relacionados con la corrosión.

Detalles Computacionales

Para abordar la mejora del rendimiento en los sistemas de producción y almacenamiento de hidrógeno verde, se llevará a cabo un estudio computacional detallado que incluirá simulaciones de dinámica molecular y cálculos de teoría del funcional de la densidad (DFT), junto con la optimización de procesos. La metodología se desarrollará en las siguientes fases:

Definición del Sistema y Selección de Materiales. Se seleccionarán los materiales y compuestos relevantes para el estudio, incluyendo catalizadores metálicos (como Ni, Co y Mo) y materiales para el almacenamiento de hidrógeno, como hidruros metálicos y estructuras porosas. Se definirán las configuraciones estructurales de los catalizadores,

tales como superficies cristalinas y nanopartículas, así como los parámetros operativos para la producción y almacenamiento de hidrógeno.

Simulaciones de Dinámica Molecular (MD). Se llevarán a cabo simulaciones de dinámica molecular utilizando software especializado (como LAMMPS o GROMACS) para investigar las interacciones entre moléculas de hidrógeno y agua con las superficies catalíticas seleccionadas. Se evaluará la estabilidad estructural, los sitios de adsorción preferidos y los modos de difusión de especies clave como H_2, H* y H_2O bajo diversas condiciones de temperatura y presión. Se explorarán las trayectorias de reacción y la cinética de los eventos de adsorción y desorción, así como los procesos de disociación de H_2O.

Cálculos de Teoría del Funcional de la Densidad (DFT). Se realizarán cálculos de DFT para obtener información detallada sobre las propiedades electrónicas y energéticas de los materiales catalíticos, utilizando el software Gaussian 16. Se optimizarán las geometrías de los sitios activos en las superficies catalíticas y se calcularán las energías de activación para la disociación de H_2O y la adsorción de H*. Se evaluará el impacto del dopaje de elementos en la estabilidad estructural y en la redistribución de la carga electrónica, así como en la modificación de los niveles de energía para mejorar la actividad catalítica en la reacción de evolución de hidrógeno (HER).

Optimización de Procesos. Se emplearán algoritmos de optimización, como métodos genéticos o de mínimos cuadrados, para identificar las combinaciones óptimas de materiales y condiciones operativas que maximicen el rendimiento catalítico y minimicen el costo. Se desarrollarán modelos cinéticos para la HER basados en los parámetros obtenidos de las simulaciones MD y DFT, evaluando el rendimiento del catalizador bajo diferentes condiciones experimentales. Se simulará el comportamiento a escala del sistema de producción de hidrógeno verde utilizando modelos de fluidos computacionales (CFD) para estudiar el flujo de reactivos, la transferencia de masa y calor, y la distribución de productos en los sistemas de producción y almacenamiento.

Análisis Comparativo y Validación. Los resultados teóricos se compararán con datos experimentales disponibles en la literatura o de experimentos paralelos para validar las predicciones y ajustar los modelos. Esta fase guiará el diseño de nuevos experimentos de síntesis de catalizadores y pruebas de rendimiento, además de proporcionar una base teórica sólida para el desarrollo experimental.

Los resultados obtenidos se visualizarán mediante gráficos de densidad de estados, mapas de energía de adsorción, trayectorias de reacción y otros datos relevantes. Se elaborará un informe detallado que discutirá los mecanismos subyacentes, la eficiencia de los catalizadores diseñados y las posibles mejoras para futuros estudios experimentales y teóricos.

ACTIVIDADES DEL PROYECTO

1. **Recopilación e Integración de Información Técnica y de Mercado:** Recopilar e integrar información técnica y de mercado sobre la producción, cuantificación instrumental y almacenamiento químico de hidrógeno verde a partir de diversas fuentes, incluyendo agua de mar, polímeros, biopolímeros y otros compuestos orgánicos. Se debe realizar una revisión completa del estado del arte sobre las técnicas y métodos utilizados a nivel mundial, presentando los datos en informes que incluyan tablas, mapas, esquemas y figuras detalladas que reflejen la información recopilada.

2. **Diseño y Evaluación de Materiales y Sistemas de Almacenamiento.** Se abordará el diseño y evaluación de materiales y sistemas de contención resistentes a la corrosión y degradación provocadas por el hidrógeno y sus compuestos. Esta actividad incluirá la identificación y selección de materiales adecuados, así como el desarrollo de sistemas de contención que mejoren la durabilidad y eficiencia de las tecnologías de almacenamiento químico. Se llevarán a cabo pruebas rigurosas para validar la

capacidad y seguridad de los sistemas desarrollados, asegurando que cumplan con los estándares requeridos para el almacenamiento químico de hidrógeno verde.

3. **Investigación e Integración de Innovaciones Tecnológicas:** Se llevará a cabo una investigación exhaustiva para integrar innovaciones tecnológicas en catalizadores y membranas, con el objetivo de mejorar la eficiencia y sostenibilidad del proceso de producción de hidrógeno verde. Esta actividad incluirá la evaluación crítica de las tecnologías emergentes y su adaptación a las condiciones locales de Cartagena. Se realizarán estudios y pruebas para identificar y aplicar las mejores prácticas y tecnologías avanzadas que optimicen el rendimiento del sistema.

4. **Medición del Hidrógeno Producido:** Desarrollar e implementar métodos avanzados para gestionar y mitigar las impurezas presentes en el agua de mar durante el proceso de electrólisis, enfocándose en cloruros y otros iones que pueden envenenar los catalizadores y reducir la eficiencia del proceso. Esta actividad incluirá la investigación y modificación de catalizadores para mejorar su resistencia a las impurezas, así como la optimización de condiciones operativas que minimicen su impacto. Se evaluará la efectividad de los métodos desarrollados a través de pruebas experimentales, con el objetivo de mantener altos niveles de eficiencia en la producción de hidrógeno verde a partir de agua de mar.

5. **Optimización Teórica de Procesos mediante Simulaciones Avanzadas.** Se realizarán simulaciones avanzadas utilizando métodos de mecánica cuántica para optimizar el proceso de producción de hidrógeno verde. Este análisis incluirá estudios detallados de las rutas de reacción y las condiciones operativas, con el objetivo de identificar las configuraciones más eficientes para la producción de hidrógeno. Se evaluará el impacto de diferentes variables sobre la eficiencia del proceso, proporcionando recomendaciones basadas en datos teóricos para mejorar el rendimiento y la viabilidad del sistema de producción.

6. **Evaluación de Catalizadores mediante Cálculos Cuantitativos.** Se llevarán a cabo cálculos teóricos avanzados para evaluar el rendimiento de nuevos catalizadores en la producción de hidrógeno. Estos cálculos incluirán la determinación de energías de activación, barreras de reacción y otros parámetros clave que afectan la eficiencia catalítica. Los resultados permitirán identificar los catalizadores más prometedores y optimizar su formulación y condiciones operativas, basándose en datos cuantitativos precisos.

7. **Elaboración de informes y visualización de resultados.** Desarrollar informes completos que integren la información y resultados del proyecto. Incluir mapas, tablas y figuras que proporcionen una visualización clara y completa de los datos, facilitando la interpretación de los resultados y las conclusiones del estudio.

8. **Redacción y diseño de publicación de artículos científicos.** Redactar y diseñar una publicación que documente los métodos, resultados y conclusiones del proyecto. Destacar la novedad y relevancia de las metodologías desarrolladas y los hallazgos científicos, preparando los artículos para su publicación en revistas especializadas.

9. **Compilación y Presentación de Documentación Final.** Integrar toda la información y los resultados del proyecto en un documento final que incluya conclusiones y recomendaciones basadas en los hallazgos del estudio. Preparar una presentación clara y concisa para compartir los resultados con stakeholders, patrocinadores y la comunidad científica

PRODUCTOS ESPECIFICOS

Las actividades y productos ya han sido abordados anteriormente, pero a continuación se enumerarán de manera específica:

1. **Informe de Metodologías para la Producción y Almacenamiento de Hidrógeno Verde.** Se elaborará un documento que detallará las metodologías avanzadas para la producción, cuantificación y almacenamiento de hidrógeno verde, abarcando técnicas como la electrólisis del

agua de mar en Cartagena, el uso de materia orgánica, biopolímeros y/o polímeros. El manual incluirá protocolos experimentales detallados, diagramas de flujo de procesos, esquemas operativos y tablas comparativas de eficiencia, ofreciendo una guía integral para la implementación y replicación de las técnicas propuestas. **(Actividad 1)**

2. **Informe de Diseño y Evaluación de Materiales y Sistemas de Almacenamiento.** Un informe comprensivo que documente el diseño y evaluación de materiales y sistemas de contención resistentes a la corrosión y degradación por hidrógeno. El documento describirá los materiales seleccionados, los procedimientos de desarrollo, y los resultados de las pruebas de validación realizadas para asegurar la durabilidad y eficiencia en el almacenamiento químico de hidrógeno verde**.** Este informe describirá detalladamente el diseño, desarrollo y optimización de los sistemas de almacenamiento de hidrógeno. Incluirá resultados de pruebas de capacidad y seguridad, así como análisis de la optimización de parámetros operativos. Los datos serán respaldados con gráficos, tablas de resultados y recomendaciones para la mejora continua de los sistemas de almacenamiento. **(Actividad 2).**

3. **Informe sobre Innovaciones Tecnológicas Integradas en Catalizadores y Membranas.** Un informe que detalle la investigación realizada y las innovaciones tecnológicas integradas en catalizadores y membranas. Este entregable incluirá un análisis crítico de las tecnologías emergentes, los resultados de las pruebas y estudios llevados a cabo, y la adaptación de estas tecnologías a las condiciones locales de Cartagena, con un enfoque en la mejora de la eficiencia y sostenibilidad del proceso de producción de hidrógeno verde. **(Actividad 3)**
4. **Informe sobre Metodologías para la Medición y Mitigación de Impurezas en Electrólisis de Agua de Mar**. Un informe que describa el desarrollo y la implementación de métodos avanzados para la gestión y mitigación de impurezas en el proceso de electrólisis de agua de mar. Incluirá los resultados de la investigación y modificación de catalizadores, así como la optimización de las condiciones operativas para mantener altos niveles de eficiencia en la producción de hidrógeno verde. **(Actividad 4)**

5. **Informe de Evaluación Cuantitativa de Catalizadores.** Un informe que compile los resultados de los cálculos teóricos avanzados realizados para evaluar el rendimiento de nuevos catalizadores. Este documento incluirá detalles sobre las energías de activación, barreras de reacción y otros parámetros clave, proporcionando una base sólida para la selección y optimización de catalizadores en la producción de hidrógeno verde **(Actividad 5)**

6. **Atlas Integrado de Producción y Almacenamiento de Hidrógeno Verde**. Se desarrollará un atlas detallado que compile toda la información generada a lo largo del proyecto sobre la producción y almacenamiento de hidrógeno verde. Este atlas incluirá un capítulo adicional con conclusiones y recomendaciones basadas en los hallazgos del estudio. Se imprimirá en alta calidad en seis (6) ejemplares, tres (3) en español y tres (3) en inglés y formato digital, ofreciendo una referencia exhaustiva para la implementación y replicación de las metodologías desarrolladas. **(Actividad 6)**

7. **Diseño de Publicación Científica.** Se redactará 1 artículo científico que documenten los métodos, resultados y conclusiones del proyecto. Destacar la novedad y relevancia de las metodologías desarrolladas y los hallazgos científicos, preparando los artículos para su publicación en revistas especializadas.

8. **Pósteres de Resultados sobre Hidrógeno Verde**. Se diseñarán dos (2) pósteres que integren los resultados clave del proyecto sobre la producción y almacenamiento de hidrógeno verde. Los pósteres se presentarán en alta calidad, con un (1) póster en español y un (1) póster en inglés, y versión digital, y mostrarán gráficos, tablas y esquemas que resuman las metodologías desarrolladas, los resultados de las pruebas, y las conclusiones del estudio, destinados a la divulgación en eventos científicos y profesionales relacionados con energía renovable. **(Actividad 9)**

PERSONAL MINIMO

A continuación, la tabla del personal mínimo con sus perfiles que la ANH exige para la ejecución del proyecto:

Ítem	Cargo	Cant.	Profesión	Perfil
1	**Director del proyecto**	1	Profesional Químico en cualquier disciplina en la industria de polímeros y plantas petroquímicas, formación PhD en ingeniería.	Experiencia profesional de Quince (15) años en la industria petroquímicas, formación PhD en ingeniería, demostrar ranking de investigador senior en Minciencias, demostrar producción de por lo menos 1 patentes nacionales o internacionales, demostrar redacción y publicación de al menos 20 artículos científicos, en revistas internacionales Q1 O Q2, demostrar experiencia de más de 5 años en docencia universitarias, demostrar la participación especifica en al menos un (1) proyectos como director, coordinador, gerente de proyectos y/o líder de proyecto petroquímicos.
2	**Químicos**	2	Profesional químico	Experiencia profesional relacionada de un (1) añ en química. Contar con al menos 1 articu científico
3	**Químico**	1	Profesional químico. PhD en química	Experiencia profesional relacionada con más de DIEZ (10) años de experiencia en química analítica, investigación pura y aplicada, docencia universitaria y redacción de artículos científicos.
4	**Simulador**	1	Profesional químico. Doctor en química	Experiencia profesional relacionada de ocho (8) años en estudios computacionales, analítica y publicaciones científicas

Comentado [JR1]: Se debe tener certeza de la disponibilidad en el mercado de este perfil profesional, que no limite la participación de proponentes en la selección.

Comentado [CR2R1]: Se acepta la observación y se ajusta el perfil.

5	**Ingeniero Químico**	1	Profesional en ingeniería química.	Experiencia profesional relacionada de dos (2) años. Experiencia en redacción de artículos científicos
6	**Ingeniero ambiental**	1	Profesional ambiental	Experiencia profesional de más de 15 años en industrial petroquímicas en temas ambientales, de seguridad y de sostenibilidad.
7	**Estudiantes de posgrado en Química**	1	Profesional químico	Experiencia superior a dos años en investigación aplicada, de química computacional y redacción de artículos científicos
8	**Profesional SIG y Asesor en economía de proyectos**	1	Profesional ingeniero, administrador o áreas afines con experiencia en SIG	Experiencia profesional relacionada de cinco (5) años como profesional SIG.
9	**Instrumentista industrial**	1	Profesional instrumentalista áreas afines	Experiencia profesional de más de (15) años como instrumentista industrial

Tabla 1. Tabla de personal mínimo.

Comentado [JR3]: Realizar el ajuste en el formato de cotización Excel.

Comentado [CR4R3]: se acepta, el comentario

LUGAR DE EJECUCION:

Teniendo en cuenta que es un trabajo experimental, se puede desarrollar en el lugar donde el contratista disponga su centro o laboratorio de investigaciones, siempre y cuando las muestras para los estudios correspondan al agua de mar del Distrito Turístico y Cultural de Cartagena de Indias

TIEMPO DE ENTREGA:

El proyecto se realizará en el año 2024 con un plazo estimado de ejecución de 3 meses, con plazo máximo de finalización a diciembre 24 de 2024.

Atentamente,

Nombre del proponente _____

Cédula de ciudadanía o NIT _____

País de origen del proponente _____

Nombre representante legal _____

Cédula de ciudadanía

Firma del proponente o
Representante legal _____

REFERENCIAS

F. Faisal, M. G. Rasul, M. I. Jahirul, and D. Schaller, “Pyrolytic conversion of waste plastics to energy products: A review on yields, properties, and production costs,” *Science of The Total Environment*, vol. 861, p. 160721, Feb. 2023, doi:10.1016/J.SCITOTENV.2022.160721.

S. Nanda and F. Berruti, “Thermochemical conversion of plastic waste to fuels: a review,” *Environ Chem Lett*, vol. 19, no. 1, pp. 123–148, Feb. 2021, doi: 10.1007/S10311-02001094-7/TABLES/2.

D. Damodharan, B. Rajesh Kumar, K. Gopal, M. V. De Poures, and B. Sethuramasamyraja,

“Utilization of waste plastic oil in diesel engines: a review,” *Rev Environ Sci Biotechnol*, vol. 18, no. 4, pp. 681–697, Dec. 2019, doi: 10.1007/S11157-019-09516-X/TABLES/5.

M. Padervand, E. Lichtfouse, D. Robert, and C. Wang, “Removal of microplastics from the environment. A review,” *Environmental Chemistry Letters 2020 18:3*, vol. 18, no. 3, pp. 807–828, Mar. 2020, doi: 10.1007/S10311-020-00983-1.

K. Zhang *et al.*, “Microplastic pollution in China’s inland water systems: A review of findings, methods, characteristics, effects, and management,” *Science of The Total Environment*, vol. 630, pp. 1641–1653, Jul. 2018, doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2018.02.300.

A. J. Martín, C. Mondelli, S. D. Jaydev, and J. Pérez-Ramírez, “Catalytic processing of plastic waste on the rise,” *Chem*, vol. 7, no. 6, pp. 1487–1533, Jun. 2021, doi: 10.1016/J.CHEMPR.2020.12.006/ASSET/4ADB4956-6FED-4A19-BBDECD29EF520310/MAIN.ASSETS/GR11.JPG.

S. M. Al-Salem, P. Lettieri, and J. Baeyens, “Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): A review,” *Waste Management*, vol. 29, no. 10, pp. 2625–2643, Oct. 2009, doi: 10.1016/J.WASMAN.2009.06.004.

S. Armenise *et al.*, “Application of computational approach in plastic pyrolysis kinetic modelling: a review,” *Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis 2021 134:2*, vol. 134, no. 2, pp. 591–614, Nov. 2021, doi: 10.1007/S11144-021-02093-7.

J. O.-C. E. Transactions and undefined 2021, “Characterization of pyrolytic oil produced from waste plastic in Quezon City, Philippines using non-catalytic pyrolysis method,” *cetjournal.itJ OlaloChemical Engineering Transactions, 2021•cetjournal.it*, vol. 86, pp. 1495–1500, 2021, doi: 10.3303/CET2186250.

C. Ozdemir, S. Şahinkaya, E. Kalıpcı, M. K. Oden, Ö. Çepelioğullar, and A. E. Pütün, “Aprovechamiento de dos tipos diferentes de residuos plásticos de la vida cotidiana e industrial,” *CiteseerÖ Çepelioğullar , AE PütünRevista de Ciencias Naturales y Aplicadas de la Universidad de Selcuk, 2013 • Citeseer*, Accessed: Sep. 10, 2024. [Online]. Available: https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=93c1625811757148538 3b3149e16fec50827e08c

M. Sudhir, B. Desai, M. Chetan, and K. Galage, “Production and Analysis of Pyrolysis oil from waste plastic in Kolhapur city,” *International Journal of Engineering Research and General Science*, vol. 3, no. 1, Accessed: Sep. 10, 2024. [Online]. Available: www.ijergs.org

S. Bezergianni, A. Dimitriadis, G. C. Faussone, and D. Karonis, “Alternative Diesel from Waste Plastics,” *Energies 2017, Vol. 10, Page 1750*, vol. 10, no. 11, p. 1750, Oct. 2017, doi: 10.3390/EN10111750.

S. D. Anuar Sharuddin, F. Abnisa, W. M. A. Wan Daud, and M. K. Aroua, “A review on pyrolysis of plastic wastes,” *Energy Convers Manag*, vol. 115, pp. 308–326, May 2016, doi: 10.1016/J.ENCONMAN.2016.02.037.

J. G. S. Moo *et al.*, “Plastic derived carbon nanotubes for electrocatalytic oxygen reduction reaction: Effects of plastic feedstock and synthesis temperature,” *Electrochem commun*, vol. 101, pp. 11–18, Apr. 2019, doi: 10.1016/J.ELECOM.2019.02.014.

P. F. Britt *et al.*, “Report of the Basic Energy Sciences Roundtable on Chemical Upcycling of Polymers,” Apr. 2019, doi: 10.2172/1616517.