

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA
UNIDAD DE INVESTIGACION DE LA FACULTAD DE
INGENIERIA QUIMICA



JUN 2018



INFORME FINAL DEL PROYECTO DE INVESTIGACION
“SÍNTESIS ELECTROQUÍMICA DE PERÓXIDO
DE HIDRÓGENO EN UNA CELDA CON
MEMBRANA DE INTERCAMBIO CATIONICO”

AUTOR: ING. MSc. CESAR GUTIERREZ CUBA

PROFESOR COLABORADOR: ING. MSc. ALEX WILLY PILCO NUÑEZ

ALUMNO APOYO: FALCÓN VICTORIO, HASSAN OMAR

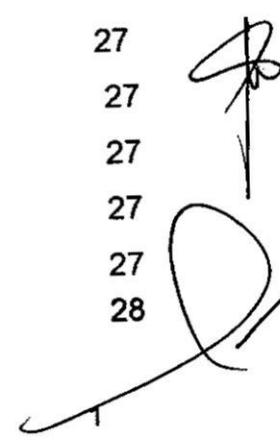
PERIODO DE EJECUCION: Del 01 de Abril del 2017 al 31 de Marzo del
2018

Resolución de aprobación N° 369-2017-R

Callao, 2018

I. INDICE

	Pag.
I. INDICE	1
II. RESUMEN Y ABSTRACT	6
III. INTRODUCCIÓN	8
3.1 Exposición del problema de investigación	8
3.1.1 Objetivos de la investigación	9
3.2 Importancia y Justificación de la investigación	10
3.2.1 Enunciado de la Hipótesis	10
IV. MARCO TEÓRICO	11
4.1 Antecedentes del problema de investigación	11
4.2 Bases teóricas	13
4.2.1 Peróxido de Hidrógeno	13
4.2.2 Producción Convencional	14
4.2.3 Reacciones de reducción de oxígeno	15
4.2.4 Electrogenación de peróxido de hidrógeno	17
4.2.5 Cátodos	19
4.2.6 Catalizador	19
4.2.7 Anodos	21
4.2.8 Transferencia de masa y aereación	21
4.2.9 Electrolito	22
4.2.10 Separación	23
4.3 Definiciones de la Terminología	24
V. MATERIALES Y METODOS	27
5.1 Materiales Equipos	27
5.1.1 Materiales	27
5.1.2 Equipos	27
5.2 Población y Muestra	27
5.2.1 Población	27
5.2.2 Muestra	27
5.3 Instrumento de recolección de datos	28

A handwritten signature in black ink is located on the right side of the page, overlapping the page numbers 27 and 28. The signature is stylized and appears to be a cursive name. Below the signature, there is a large, loopy scribble that extends across the bottom right corner of the page.

5.4 Las Técnicas de Análisis	34
VI. RESULTADOS	35
VII. DISCUSIÓN	46
VIII. REFERENCIALES	48
IX. APENDICE	50
X. ANEXOS	62

A handwritten signature or set of initials in black ink, located in the bottom right corner of the page. The signature is stylized and appears to consist of several loops and a long horizontal stroke.

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 6.1: Concentración de H_2O_2 en mg/l vs tiempo de reacción condiciones de operación 1) y 0,05 A	36
Tabla 6.2: Concentración de H_2O_2 en mg/l vs tiempo de reacción condiciones de operación 1) y 0,1 A	37
Tabla 6.3: Concentración de H_2O_2 en mg/l vs tiempo de reacción condiciones de operación 1) y 0,15 A	38
Tabla 6.4: Concentración de H_2O_2 en mg/l vs tiempo de reacción condiciones de operación 1) y 0,2 A	40
Tabla 6.5: Concentración de H_2O_2 en mg/l vs tiempo de reacción condiciones de operación 2) y 0,2 A	42
Tabla 6.6: Concentración de H_2O_2 en mg/l vs tiempo de reacción condiciones de operación 2) y 0,3 A	43
Tabla 6.7: Concentración de H_2O_2 en mg/l vs tiempo de reacción condiciones de operación 2) y 0,4 A	45



INDICE DE FIGURAS

	Pag.
Figura 4.1: Síntesis de peróxido de hidrogeno proceso antraquinona	15
Figura 4.2 : Referenciales termodinámicos de electrodo de las reducciones electrónicas de O ₂	16
Figura 4.3: Sistemas electroquímicos típicos para producción de H ₂ O ₂	18
Figura 5.1: Preparación de los separadores de las cámaras anódica y catódica del reactor electroquímico	28
Figura 5.2: Membrana de intercambio catiónica nafion 117	29
Figura 5.3: Preparación de las cámaras anódica y catódica	29
Figura 5.4: Electrodo de carbono: carbon felt y carbón difussion	30
Figura 5.5: Electrodo de titanio recubierto de platino	30
Figura 5.6: Reactor electroquímico	31
Figura 5.7: Reactor electroquímico en funcionamiento con aireación en el compartimento catódico	32

INDICE DE GRAFICAS

	Pag.
Grafica 6.1: Concentración de H_2O_2 en mg/l vs tiempo de reacción condiciones de operación 1) y 0,05 A	36
Grafica 6.2: Concentración de H_2O_2 en mg/l vs tiempo de reacción condiciones de operación 1) y 0,1 A	37
Grafica 6.3: Concentración de H_2O_2 en mg/l vs tiempo de reacción condiciones de operación 1) y 0,15 A	38
Grafica 6.4: Concentración de H_2O_2 en mg/l vs tiempo de reacción condiciones de operación 1) y 0,2 A	41
Grafica 6.5: Concentración de H_2O_2 en mg/l vs tiempo de reacción condiciones de operación 2) y 0,2 A	42
Grafica 6.6: Concentración de H_2O_2 en mg/l vs tiempo de reacción condiciones de operación 2) y 0,3 A	44
Grafica 6.7: Concentración de H_2O_2 en mg/l vs tiempo de reacción condiciones de operación 2) y 0,3 A	45



II. RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo realizar la generación de peróxido de hidrógeno en un reactor electroquímico.

Se realizaron pruebas bajo las siguientes condiciones:

1) Ánodo: Electrodo de titanio recubierto de Platino

Cámara anódica: Conteniendo 500 ml de solución 0,01 M NaClO_3

Cátodo: Electrodo de tela de carbono

Cámara catódica: Conteniendo 500 ml de solución 0,04 M de Na_2SO_4 y 0,05 M de NaHSO_4

Amperaje: 0,05 A; 0,1 A, 0,15 A y 0,2 A

Aireación: 300 ml aire/min

Velocidad de agitación de compartimentos: 800 rpm

Se obtuvieron concentraciones de Peróxido de 5 mg/L a 0,05 A, 7 mg/L a 0,1 A, 15 mg/L a 0,15 A y 4 mg/L a 0,2 A.

2) Ánodo: Electrodo de tela de carbono.

Cámara anódica: Conteniendo 500 ml de solución 0,01 M NaClO_3

Cátodo: Electrodo de tela de carbono

Cámara catódica: Conteniendo 500 ml de solución 0,04 M de Na_2SO_4 y 0,05 M de NaHSO_4

Amperaje: 0,2 A; 0,3 A y 0,4 A

Aireación: 300 ml aire/min

Velocidad de agitación de compartimentos: 800 rpm

Se obtuvieron concentraciones de Peróxido de 12 mg/L a 0,2 A, 14 mg/L a 0,3 A y 10 mg/L a 0,4 A.

Los resultados no son satisfactorios para tratamiento de aguas residuales si se comparan con otros estudios donde se ha obtenido concentraciones mayores como por ejemplo: 60 mg/L en el trabajo de Petrucci (Petrucci et al, 2016) a 1 hora de operación y 250 mg/L después de 5 horas; 1000 mg/L en el trabajo de Pozzo (Pozzo et al, 2005); 450 mg/L a 1 hora de operación en el trabajo de García-Rodríguez (García Rodríguez et al, 2016); 250 mg/L en 1 hora y 275 mg/L en dos horas en el trabajo de Haijian Lou (Haijian Lou et al, 2015).

Palabras clave: Electrolito. Anodo. Catodo. Celda Electroquímica

ABSTRACT

The objective of this research was to generate hydrogen peroxide in an electrochemical reactor.

Tests were carried out under the following conditions:

1) Anode: Platinum coated titanium electrode

Anodic chamber: Containing 500 ml of 0.01 M NaClO₃ solution

Cathode: Carbon cloth electrode

Cathodic chamber: Containing 500 ml of 0.04 M Na₂SO₄ solution and 0.05 M NaHSO₄

Amperage: 0.05 A; 0.1 A, 0.15 A and 0.2 A

Aeration: 300 ml air / min

Compartment stirring speed: 800 rpm

Peroxide concentrations were obtained from 5 mg / L to 0.05 A, 7 mg / L to 0.1 A, 15 mg / L to 0.15 A and 4 mg / L to 0.2 A.

2) Anode: carbon cloth electrode.

Anodic chamber: Containing 500 ml of 0.01 M NaClO₃ solution

Cathode: Carbon cloth electrode

Cathodic chamber: Containing 500 ml of 0.04 M Na₂SO₄ solution and 0.05 M NaHSO₄

Amperage: 0.2 A; 0.3 A and 0.4 A

Aeration: 300 ml air / min

Compartment stirring speed: 800 rpm

Peroxide concentrations of 12 mg / L at 0.2 A, 14 mg / L at 0.3 A and 10 mg / L at 0.4 A were obtained.

The results are not satisfactory for wastewater treatment when compared to other studies where higher concentrations have been obtained, such as: 60 mg / L in Petrucci's work (Petrucci et al, 2016) at 1 hour of operation and 250 mg / L after 5 hours; 1000 mg / L in Pozzo's work (Pozzo et al, 2005); 450 mg / L at 1 hour of operation in García-Rodríguez's work (García Rodríguez et al, 2016); 250 mg / L in 1 hour and 275 mg / L in two hours in the work of Haijian Lou (Haijian Lou et al, 2015).

Keywords: Electrolyte. Anode. Cathode. Electrochemical cell

III. INTRODUCCIÓN

3.1 Exposición del problema de Investigación

Peróxido de hidrógeno (H_2O_2), es un agente oxidante versátil y es ampliamente usado en muchas industrias, particularmente en la industria química y en el sector medioambiental en el tratamiento de aguas residuales.

El H_2O_2 , juega un rol importante en métodos de tratamiento medioambientalmente amigables. El H_2O_2 es producido a escala industrial empleando la oxidación de Antraquinona. El proceso requiere el uso de cantidades grandes de hidrógeno (H_2), la separación de fases orgánica y acuosa de la mezcla de reacción y la concentración de la solución acuosa requiere mucha energía. Dadas estas limitaciones del proceso, técnicas alternativas para la síntesis de H_2O_2 han atraído la atención y entre estos métodos se tienen la aplicación de celdas de combustible, síntesis directa desde H_2 y oxígeno (O_2) empleando una variedad de catalizadores y procesos electroquímicos.

Los métodos de síntesis electroquímica (electrosíntesis) tienen la ventaja del uso de catalizadores inmovilizados en la estructura del electrodo y emplean materiales carbonosos baratos que tienen alta performance catalítica para la producción de H_2O_2 . La producción in situ de H_2O_2 viene a ser de gran interés, ya que se puede promover eficientemente reacciones de oxidación y reduce considerablemente los costos asociados con el almacenamiento y transporte. En este contexto, la síntesis electroquímica representa una alternativa atractiva para la producción in situ de H_2O_2 vía la reacción de reducción de oxígeno (RRO).

3.2 Importancia y Justificación de la investigación

El presente trabajo de investigación es importante porque dará un aporte en el entendimiento del proceso de producción de H_2O_2 empleando un reactor electroquímico.

El presente trabajo se justifica por la necesidad de obtener H_2O_2 in situ en los procesos de tratamiento de aguas residuales, como por ejemplo en procesos foto Fenton, ya que actualmente este es una limitación del método de tratamiento por los costos altos de este reactivo.

3.2.1 Enunciado de la Hipótesis

Hipótesis General

La generación de H_2O_2 en una celda con membrana de intercambio catiónico tiene una concentración adecuada para el tratamiento de aguas residuales.

Hipótesis Específicas

1. Una configuración de compartimentos anódico y catódico separadas por una membrana de intercambio catiónica será la configuración adecuada.
2. Las condiciones adecuadas que determinan la mayor producción de H_2O_2 son una corriente de 0,2 A, un pH de 3 y un flujo de aire de 200 mL/min.

IV.MARCO TEORICO

4.1 Antecedentes del Problema de Investigación

Zhimim Quiang et al, 2002; menciona que el H_2O_2 ha sido electrogenerado por reducción de oxígeno disuelto en soluciones ácidas. Los parámetros operacionales tal como potencial catódico, pureza de oxígeno y flujo de gas, área superficial del cátodo, pH, temperatura y electrolito de soporte han sido sistemáticamente investigados. Los resultados indican que la autodescomposición significativa de H_2O_2 ocurre a pH (>9) y temperatura (>23 °C) altos. Los resultados también indican que las condiciones óptimas para la generación de H_2O_2 son potencial catódico de -0,5 V con referencia a un electrodo saturado de calomel, flujo de oxígeno de $8,2 \times 10^{-2}$ mol/min y pH igual a 2. Bajo las condiciones óptimas, la densidad de corriente promedio y la eficiencia de corriente promedio son $6,4 \text{ A/m}^2$ y 81 % respectivamente. Generación de H_2O_2 es favorecido a bajas temperaturas.

Pozzo et al, 2005; estudia la producción de H_2O_2 a través de la reducción catódica de oxígeno en medio ácido y compara los resultados obtenidos usando un grafito comercial y un electrodo de difusión de gas. Un pH bajo ha sido requerido para permitir la aplicación de la generación de H_2O_2 en un proceso electro-Fenton. La influencia de potencial aplicado y el flujo de gas han sido investigados. El electrodo de difusión de gas provee un flujo efectivo de aire y

demuestra una alta selectividad para producción de H_2O_2 , sin comprometer la regeneración de hierro, entonces hace la aplicación exitosa a un tratamiento catódico semejante al Fenton.

Haijian Luo et al, 2015; estudia un electrodo de difusión de gas mejorado construido sobre negro de carbón y politetrafluoroetileno (PTFE) diseñado para mejorar la productividad de H_2O_2 . Los resultados muestran que la concentración máxima de H_2O_2 es 275,5 mM, que es ocho veces más que los obtenidos con electrodos tradicionales. Los parámetros de operación como densidad de corriente, soporte de electrolito, pH y flujo de aire son optimizados empleando un diseño Box-Behnken (BBD) junto con metodología de superficie de respuesta para evaluar los efectos individuales e interactivos de los tres parámetros independientes principales (pH, densidad de corriente y flujo de aire) en la concentración de H_2O_2 . El análisis de varianza (ANOVA) mostró un alto coeficiente de valor de determinación. Las condiciones óptimas de operación fueron un valor de pH de 4.0, una densidad de corriente de 52 mA/cm^2 y un flujo de aire de 55 ml min^{-1} . La concentración de H_2O_2 prevista en las condiciones óptimas determinadas por el modelo propuesto fue de 309,85 mM, lo que demuestra que la GDE mejorada sin usar metales nobles y otros promotores químicos es un método potencial para la electrosíntesis in situ de H_2O_2 . Los resultados también revelaron que la densidad de corriente, la velocidad del flujo de aire y su efecto de interacción tuvieron un efecto significativo sobre la concentración de H_2O_2 , mientras que los cambios en el pH inicial no

tuvieron efecto aparente. Los experimentos mostraron que la densidad de corriente tiene un efecto directo sobre la reacción de descomposición en el proceso electrolítico.

4.2 Bases Teóricas

4.2.1 Peróxido de Hidrógeno

Peróxido de hidrógeno es un agente oxidante fuerte comercialmente disponible en solución acuosa sobre un amplio rango de concentraciones. Es miscible con el agua en todas las proporciones.

Es importante debido a su aplicación en la industria del papel como agente de blanqueo, en la industria textil como agente de blanqueo y agente oxidante, en la protección medioambiental empleado para la detoxificación y remoción de color de aguas residuales, en la industria farmacéutica y cosmética como desinfectante y agente de blanqueo, como propelente y en la industria química usado para la epoxidación, hidroxilación y otras reacciones de oxidación.

Es un oxidante versátil que es efectivo con alto potencial de oxidación: $E^{\circ}=1,76 \text{ V}$ con referencia a un electrodo de referencia de hidrógeno a $\text{pH}=0$, $E^{\circ}=0,88 \text{ V}$ con referencia a un electrodo de referencia de hidrógeno a $\text{pH}=14$ y agua como único subproducto.

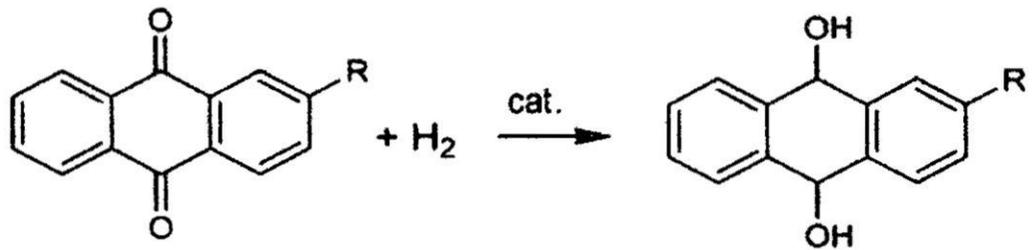
4.2.2 Producción Convencional

El peróxido de hidrógeno se produce convencionalmente a través del proceso de oxidación de la antraquinona, también conocido como el proceso de Riedl-Pfliederer después de sus inventores. El proceso de oxidación de la antraquinona tiene la ventaja de producir concentraciones relativamente altas de peróxido de hidrógeno (30% en

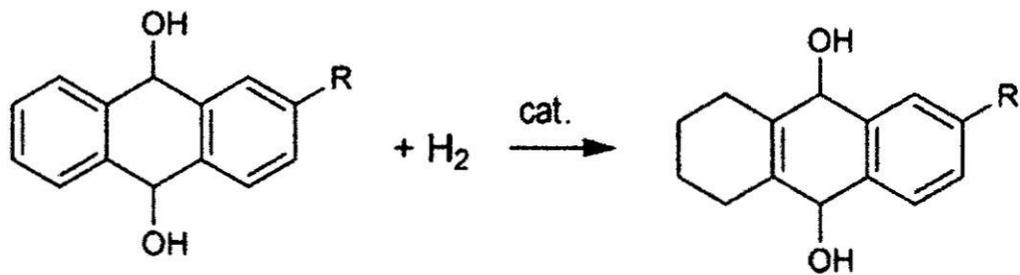
peso antes de la destilación) pero requiere varios pasos, e intensa uso de energía y acceso a gas hidrógeno y solventes no acuosos. Más del 95% del H_2O_2 utilizado industrialmente se produce de esta manera. En la figura 4.1 se muestra las reacciones implicadas en el proceso de Oxidación de Antraquinona.

Figura 4.1. SINTESIS DE PEROXIDO DE HIDROGENO MEDIANTE EL PROCESO DE OXIDACION DE LA ANTRAQUINONA

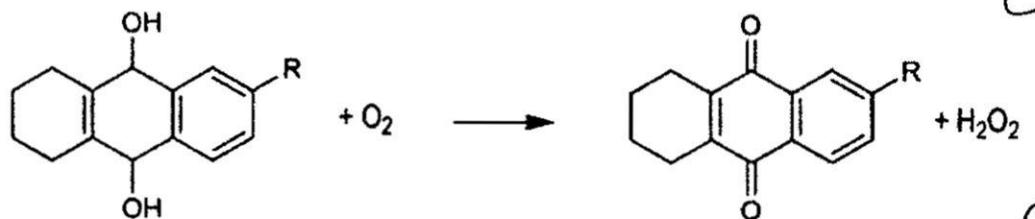
Hidrogenación de la alquiántraquinona



Hidrogenación del anillo



Formación de H₂O₂



Fuente: Campos (2010)

Los componentes (Reid, 2017) esenciales de una celda electroquímica son un ánodo, donde tiene lugar una reacción de oxidación para suministrar electrones, un circuito externo, que puede agregar o eliminar energía del sistema, y un cátodo, donde tiene lugar una reacción de reducción, en este caso el ORR de 2 electrones. La mayoría de los sistemas revisados usan electrolito líquido y un separador para evitar la mezcla de anolito y catolito. Sistemas básicos se muestran en la Figura 4.3.

La velocidad neta de la reacción se puede caracterizar a través de la velocidad aparente de formación de H_2O_2 (en concentración por tiempo, $mg\ L^{-1}\ h^{-1}$ o mediante la densidad de corriente ($mA\ cm^{-2}$), normalizada contra el área superficial del cátodo.

4.2.5. Cátodos

En el corazón de los sistemas de electrogeneración (Reid, 2017) de H_2O_2 se encuentra el cátodo, el electrodo sobre el cual la ORR de 2 electrones produce H_2O_2 . El cátodo tiene dos funciones principales: conducir electrones desde el circuito externo al sitio de electrogeneración y proporcionar el sitio para la electrogeneración, es decir, para catalizar la reacción. La primera función se cumple fácilmente en las celdas electroquímicas ya que el uso de materiales conductivos como el grafito y el metal causa pérdidas insignificantes en comparación con otras limitaciones cinéticas.

Se emplean varios tipos de cátodos: grafito, tela de carbono, fieltro de carbono y varios electrodos de difusión de gases (GDE), que en su mayoría se basan en papel carbón, pero a veces utilizan tela de carbono o malla metálica como soporte. El carbono es una elección ideal del cátodo porque conduce electricidad y exhibe actividad catalítica para la producción de H_2O_2 . Además, las capas de catalizador basadas en carbono se pueden adherir a soportes de carbono para aumentar el área de superficie y proporcionar una mejor cinética.

4.2.6. Catalizador

Como la ORR de 4 electrones es termodinámicamente más favorable para la ORR de 2 electrones, producir H_2O_2 en lugar de agua requiere de un catalizador que proporcione una ventaja a la vía de 2 electrones.

Tanto los catalizadores orgánicos como inorgánicos se han aplicado como catalizadores sólidos para la catálisis heterogénea de la ORR de 2 electrones. La literatura de los campos de ingeniería química tiende a examinar los catalizadores de óxidos metálicos y metálicos, mientras que la literatura de ingeniería ambiental tiene un fuerte enfoque en los catalizadores a base de grafito, que surgen de la investigación en torno al desarrollo de células de electrólisis económica.

La mayoría de los catalizadores (Reid, 2017) utilizados emplean material basado en carbono: negro de carbón, grafito, nanopartículas de carbono, partículas de fibra de carbono producidas por vapor y tela de carbono. Se ha demostrado que estos electrodos de carbono superan a los pocos metálicos utilizados y demuestran que los catalizadores libres de metales, que son menos costosos, funcionan de forma competitiva, lo que justifica el gran enfoque en ellos.

Estructuralmente, todos los materiales basados en carbono presentes comparten similitudes en su característica común de enlaces de carbono sp^2 , que existe en placas planas con subunidades hexagonales que se unen a 120° entre sí. Una hoja perfecta es el grafeno. El grafito se compone de muchas capas de grafeno en una orientación imperfecta. El grafito pirolítico es estructuralmente distinto del grafito normal debido a la naturaleza turboestrática y desalineada de sus láminas de grafeno, mientras que el carbono vidrioso es otro material turboestrático que también tiene una estructura casi cristalina, lo que hace que se escinda como el cristal. Las nanopartículas de carbono utilizan las mismas láminas sp^2 que los materiales grafiticos,

pero se pueden presentarlos en formas tridimensionales, como tubos (nanotubos) y poliedros; aunque son tridimensionales, no usan enlaces híbridos sp^3 como lo hace un diamante. Las fibras de carbono (por sí mismas, tejidas en tela) están compuestas por las mismas subunidades que el grafito, pero orientadas en capas circulares en un filamento en lugar de capas paralelas en una hoja plana. El fieltro de carbono es una red anisotrópica de fibras de carbono, dispuesta en forma amorfa. El negro de humo, producido mediante la combustión de un sustrato de hidrocarburo, es un polvo fino con partículas que consisten en pequeñas pilas de capas de grafito aglomeradas en orientaciones aleatorias; al aumentar el tamaño de la capa, los conglomerados se orientan de forma más ordenada y se asemejan al grafito.

Las vías de reacción son específicas de los catalizadores y se ha propuesto una plétora en la literatura que cubre la catálisis de ORR de 2 electrones. Los intermedios y las vías utilizadas dependen de la estructura química del catalizador, así como de su morfología a escala nanométrica.

Con el tiempo de operación, la función de los cátodos se degradan. Otro modo de degradación es la contaminación que los hacen menos eficientes para la producción de H_2O_2 .

4.2.7. Ánodos

En sistemas (Reid, 2017) enfocados exclusivamente en la producción de H_2O_2 catódica, los ánodos solo sirven como una fuente de electrones y no son de interés; estos son descritos como contraelectrodos de "interferencia mínima". Se usan electrodo de platino para la evolución del O_2 y otros usan otros electrodos inertes como grafito y titanio para el mismo propósito.

4.2.8. Transferencia de masa y aireacion

Las consideraciones de transferencia de masa (Reid, 2017) se refieren a la disolución y difusión de O_2 al sitio de reacción, la eliminación de H_2O_2 de la superficie del cátodo antes de reducirse aún más al agua y el gradiente de pH que se establece entre el líquido a granel y el sitio de reacción electrodo.

A escala micro, el material como el filtro de carbón o el papel carbón proporciona un área de superficie mucho mayor para reaccionar y caminos tortuosos para que los productos de reacción atraviesen. Esto da como resultado un tiempo de residencia más largo en el electrodo y una mayor oportunidad para que el peróxido de hidrógeno acumulado se reduzca a agua. En la nanoescala, las interacciones hidrofílicas e hidrofóbicas intermoleculares, las interacciones del campo eléctrico, la solvatación y otras dinámicas de microfluidos rigen la fuerza de las interacciones entre las moléculas y las superficies y, por lo tanto, el tiempo de residencia en el electrodo.

A escala macro, la mezcla y la difusión son los principales mecanismos de transferencia de masa. La mayoría de los estudios revisados lo hacen en reactores discontinuos, que se deben agitar o recircular para lograr la mezcla. Se suministra oxígeno disuelto por burbujeo con aire o gas purificado.

4.2.9. Electrolito

Los electrolitos de soporte (Reid, 2017) en las celdas electroquímicas funcionan como portadores de carga y determinan la resistencia de la solución entre los electrodos. La resistencia a la solución se puede superar principalmente mediante dos estrategias: minimizar el espacio entre los electrodos y aumentar la fuerza iónica del electrolito.

Teóricamente, en operación potencioestática, tener una solución más conductiva puede dar como resultado densidades de corriente más

altas y en la operación galvanostática, más conductividad significa que se requiere menos voltaje en toda la celda. Se emplean como electrolitos Na_2SO_4 , K_2SO_4 , NaClO_4 , NaHSO_4 .

Un ion que hay que tener cuidado es el carbonato, que es ubicuo en aguas naturales pero es un eliminador del H_2O_2 , que actúa como oxidante y forma radicales carbonato, $\text{CO}_3^{\cdot -}$.

Un factor adicional que se debe considerar cuando se selecciona el electrolito en sí es la conductividad a través de un separador, si se está utilizando uno.

4.2.10. Separación

Los separadores (Reid, 2017) se usan para dividir una celda de electrólisis en semiceldas aisladas mientras se mantiene la conductividad iónica entre los electrodos. Pueden ser membranas de intercambio iónico (por ejemplo, membrana de intercambio de aniones (AEM), membrana de intercambio de cationes (CEM) o membrana de intercambio de protones (PEM)) que no permiten la mezcla a granel de anolito y catolito o membranas simples de exclusión de tamaño tales como membranas de filtración de agua.

Los PEM como Nafion, que permiten solo la conductancia de protones y no de otros iones, son ampliamente utilizados, pero también son más caros que los CEM y los AEM, lo que representa hasta el 40% del costo del sistema.

En las pruebas en las que se comparan directamente, Nafion mostró un mejor rendimiento, aunque otros investigadores sugieren que los AEM siguen siendo preferibles a los de Nafion, especialmente cuando se consideran los aspectos económicos.

La membrana Nafion 117 se utiliza para separar el compartimiento del ánodo y el cátodo de las pilas de combustible de membrana de intercambio de protones y electrolizadores de agua. El espesor de esta

membrana de intercambio catiónico en particular, Nafion 117 hace que sea adecuados para células de combustible de metanol directo (DMFC). Nafion 117 es de 183 micrómetros de espesor.

Membranas Nafion® 117 son películas no reforzados a base de copolímero de ácido perfluorosulfónico / PTFE químicamente estabilizada en el ácido forma (H^+). Las propiedades físicas son las mismas para las membranas estabilizadas químicamente, que presentan liberación de iones fluoruro sustancialmente menor en comparación con el polímero no estabilizado - un signo de mejorar la durabilidad química. Las membranas Nafion PFSA se utilizan ampliamente como Membranas de Intercambio de Protones (PEM) en pilas de combustible y electrolizadores de agua. La membrana actúa como un separador y electrólito sólido en una variedad de células electroquímicas que requieren de la membrana para transportar selectivamente cationes través de la unión celular. El polímero es químicamente resistente y duradero.

4.3 Definiciones de la terminología

Electrolito: Un electrolito es una sustancia que produce una solución eléctricamente conductora cuando se disuelve en un solvente polar, como el agua. El electrolito disuelto se separa en cationes y aniones, que se dispersan uniformemente a través del solvente. Eléctricamente, tal solución es neutral. Si se aplica un potencial eléctrico a dicha solución, los cationes de la solución se dirigen al electrodo que tiene una gran cantidad de electrones, mientras que los aniones se dirigen al electrodo que tiene un déficit de electrones. El movimiento de aniones y cationes en direcciones opuestas dentro de la solución equivale a una corriente. Actúan como electrolitos sales, ácidos y bases solubles.

Electrodo: Un electrodo es un conductor eléctrico utilizado para hacer contacto con una parte no metálica de un circuito (por ejemplo, un semiconductor, un electrolito, un vacío o aire). Un electrodo en una celda electroquímica se conoce como un ánodo o un cátodo.

Ánodo: El ánodo se define como el electrodo al que los electrones salen de la celda y donde ocurre la oxidación (indicada por un símbolo menos, "-").

En las celdas electrolíticas, el ánodo está cargado positivamente.

Cátodo: El cátodo se define como el electrodo al que entran los electrones y se produce la reducción de las sustancias (indicado por un símbolo más, "+").

En las celdas electrolíticas, el cátodo está cargado negativamente. Los electrones son empujados hacia el cátodo por la fuente de energía externa.

Catálisis: Es el proceso por el cual se aumenta la velocidad de una reacción química, debido a la participación de una sustancia llamada **catalizador**. Una característica importante es que la masa de catalizador no se modifica durante la reacción química, lo que lo diferencia de un reactivo, cuya masa va disminuyendo a lo largo de la reacción.

Celda Electroquímica: Una celda electrolítica es una celda electroquímica que sufre una reacción redox cuando se aplica energía eléctrica. Con mayor frecuencia se utiliza para descomponer los compuestos químicos, en un proceso llamado electrólisis.

Los componentes esenciales de una celda electroquímica son un ánodo, donde tiene lugar una reacción de oxidación para suministrar

electrones, un circuito externo, que puede agregar o eliminar energía del sistema, y un cátodo, donde tiene lugar una reacción de reducción.

Membrana de Intercambio Iónico: La membrana de intercambio iónico consta de una estructura porosa (generalmente, cadenas de polímeros entrelazadas) que contiene cargas fijas, neutralizadas con cargas opuestas móviles. La función de las cargas fijas es repeler iones de carga similar mientras que la membrana permanece permeable a iones de carga opuesta.

Las membranas de intercambio iónico se dividen en membranas aniónicas y catiónicas las cuales contienen grupos fijos cargados positivos y negativos, respectivamente.

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized initial 'P' followed by a vertical line and a small flourish at the top.

V. MATERIALES Y METODOS

5.1 Materiales Equipos

5.1.1 Materiales

- Vasos de precipitado, 250 ml
- Frascos Erlenmeyer de 250 ml
- Bureta de 50 ml

5.1.2 Equipos

- Fuente de poder Prasek. Rango de Aplicación: 0-5 Amperios y 0-30 voltios
- Reactor Electroquímico
- Agitadores Magnéticos
- Rotámetro. 0-3 L/min para aire y O₂.

5.2 Población y Muestra

5.2.1 Población

Es la solución electrolítica (500 ml) contenida en la cámara catódica.

5.2.2 Muestra

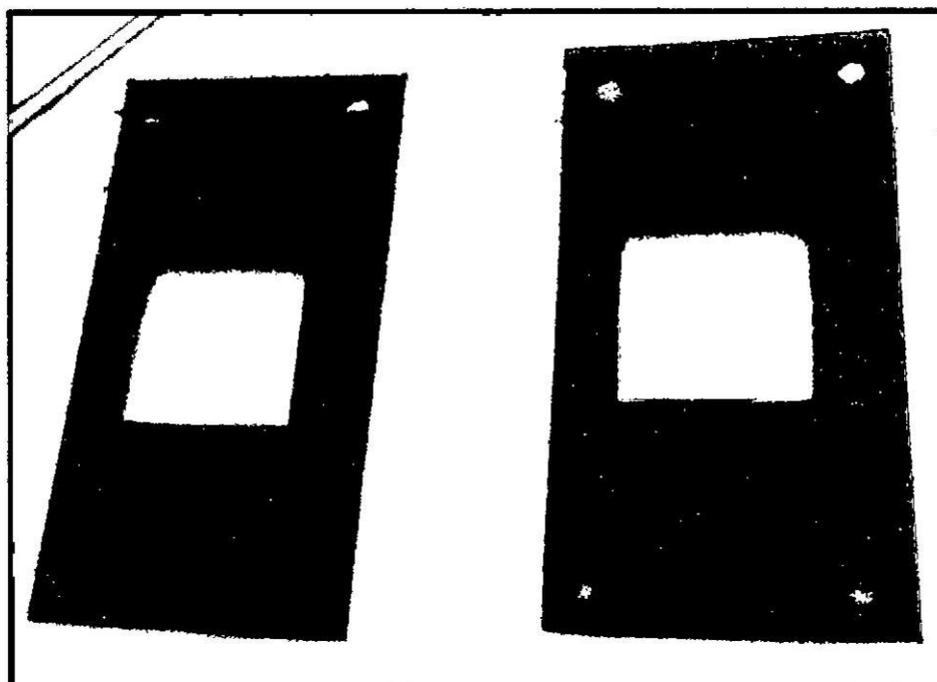
Volumen de 0,5 ml extraída de la cámara catódica para análisis de contenido de H₂O₂ por valoración con KMnO₄ 0,1 N.

5.3 Instrumento de recolección de datos

Para la electrogeneración de peróxido de hidrógeno un reactor electroquímico fue construido de acrílico y consta de dos compartimientos que están separados uno de otro por una membrana de intercambio catiónica Nafion 117.

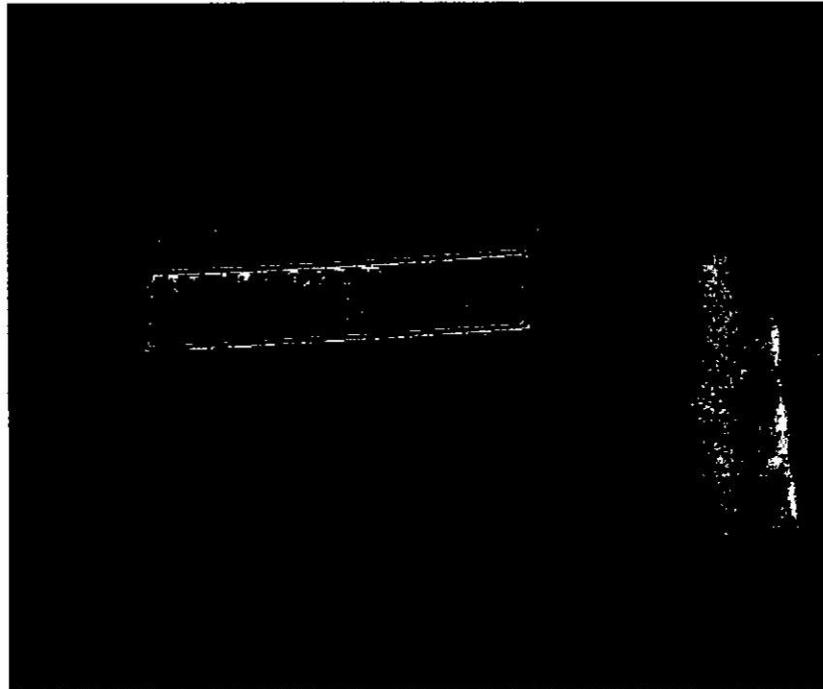
Se incluyen fotos del proceso de construcción del reactor así como los electrodos de grafito que fueron adquiridos del proveedor FuelCellStore de Estados Unidos y ánodo de Platino recubierto de Titanio que fue adquirido del proveedor Guangzhou Precise Heater Co. Ltd. de China.

FIGURA 5.1. PREPARACIÓN DE LOS SEPARADORES DE LAS CÁMARAS ANÓDICA Y CATÓDICA DEL REACTOR ELECTROQUIMICO



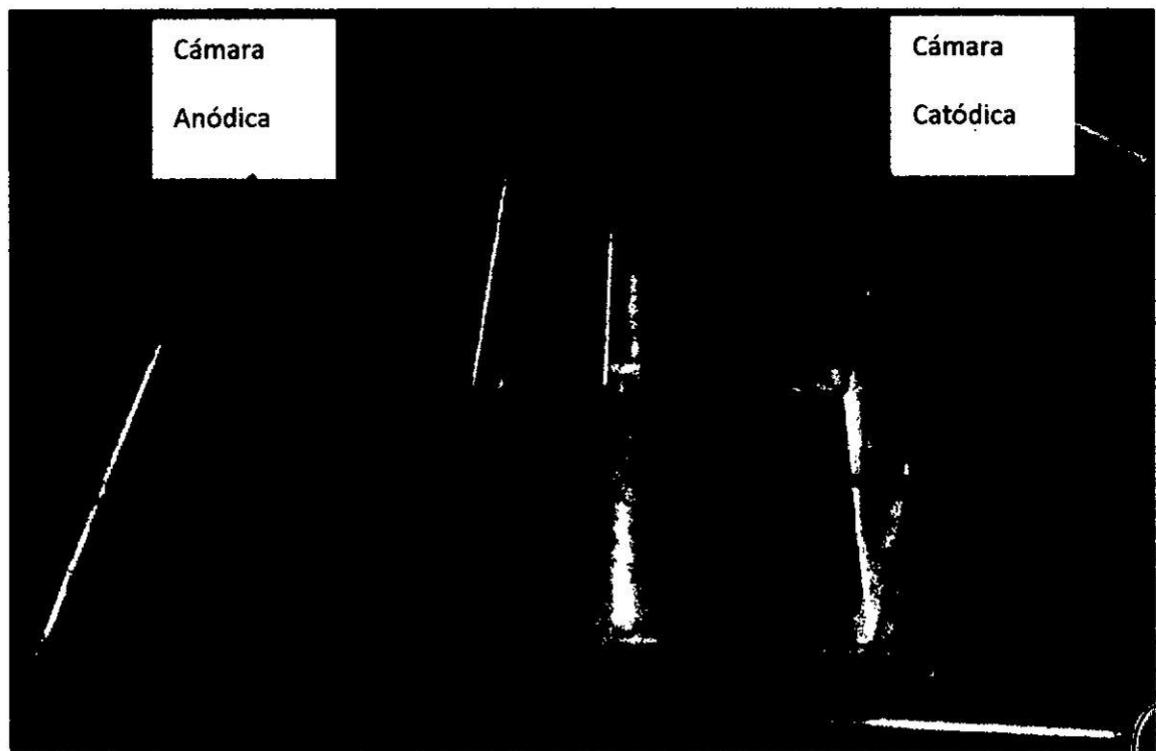
Fuente: Elaboración propia

FIGURA 5.2. MEMBRANA DE INTERCAMBIO CATIÓNICA NAFION 117



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 5.3. PREPARACIÓN DE LAS CÁMARA ANÓDICA Y CATÓDICA



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 5.6. REACTOR ELECTROQUIMICO



Fuente: Elaboración propia

Handwritten signature or initials.

FIGURA 5.7. REACTOR ELECTROQUIMICO EN FUNCIONAMIENTO CON AIREACION EN EL COMPARTIMENTO CATODICO



Fuente: Elaboración propia

Las dimensiones de los compartimentos anódico y catódico fueron de: 8 cm de largo x 8 cm de ancho x 10 cm de alto para cada uno con un volumen de 560 ml para cada compartimento. La ventana activa de separación de compartimentos con la membrana de intercambio Nafion 117 fue de 4cm x 4 cm. Para la parte experimental se trabajó con un volumen de 500 ml de solución electrolítica para cada compartimento.

Todo el proceso de construcción del reactor electroquímico se realizó en los laboratorios de Microbiología y para las pruebas fue instalado en el laboratorio de Investigación de los laboratorios de Química.

Como ánodo se empleó un electrodo de titanio recubierto de Platino de 5 cm x 5 cm.

Como ánodo se empleó electrodo de tela de carbono (Carbon Felt) de 6 cm x 5 cm con un área activa de 5 cm x 5 cm.

Como cátodo se empleó electrodo de tela de carbono (Carbon Felt) de 5 cm x 5 cm.

Condiciones de operación fueron:

3) Ánodo: Electrodo de titanio recubierto de Platino

Cámara anódica: Conteniendo 500 ml de solución 0,01 M NaClO_3

Cátodo: Electrodo de tela de carbono

Cámara catódica: Conteniendo 500 ml de solución 0,04 M de Na_2SO_4 y 0,05 M de NaHSO_4

Amperaje: 0,05 A; 0,1 A, 0,15 A y 0,2 A

Aireación: 300 ml aire/min

Velocidad de agitación de compartimentos: 800 rpm

4) Ánodo: Electrodo de tela de carbono.

Cámara anódica: Conteniendo 500 ml de solución 0,01 M NaClO_3

Cátodo: Electrodo de tela de carbono

Cámara catódica: Conteniendo 500 ml de solución 0,04 M de Na_2SO_4 y 0,05 M de NaHSO_4

Amperaje: 0,2 A; 0,3 A y 0,4 A

Aireación: 300 ml aire/min

Velocidad de agitación de compartimentos: 800 rpm

Antes de su empleo las membranas de carbono fueron almacenadas en acetona por un día, luego fueron secadas en estufa a 80 °C por 4 horas.

Se tomaron muestras (0,5 ml) de la cámara catódica a 15 min, 30 min, 45 min y 60 min para su análisis de contenido de H_2O_2 por valoración con KMnO_4 0,1 N.

5.4 Las Técnicas de Análisis

La determinación de Peróxido de Hidrógeno en solución acuosa se toma de la referencia: Scotts Standard Methods of Chemical Analysis. 5ta Ed. Van Nostrand.

El método es empleado en soluciones libres de otros materiales oxidantes o reductores a excepción del peróxido. Un rango de 1-50 mg puede ser determinado. Para concentraciones mayores se deben hacer diluciones.

El principio del método implica la reacción de Permanganato de potasio con peróxido de hidrógeno mediante la reacción:



La reacción es normalmente lenta para iniciar. La presencia de iones manganeso actúa como catalizador y permite que la titulación se realice sin retardo.

El punto final de la valoración es observado cuando un color rosa persiste con un ligero exceso de permanganato.

Para la parte experimental, tomar 0,5 ml de muestra en un frasco Erlenmeyer de 250 ml. Adicionar 100 ml de agua y 10 ml de solución de H_2SO_4 (1 parte de H_2SO_4 concentrado: 4 partes de H_2O) y una pequeña cantidad de $MnSO_4$ (10-50 mg). Valorar con $KMnO_4$ 0,1 N previamente estandarizado hasta que el punto final es alcanzado.

Para cálculos emplear la fórmula:

$$\%H_2O_2 = \frac{ml \text{ de } KMnO_4 * N_{KMnO_4} * 1,701}{ml \text{ de muestra}}$$

VI. RESULTADOS

6.1 Resultados de Concentración de H₂O₂ (mg/L) vs Tiempo (mín).

6.1.1 Condiciones de operación 1) y 0,05 A

Ánodo: Electrodo de titanio recubierto de Platino

Cámara anódica: Conteniendo 500 ml de solución 0,01 M NaClO₃

Cátodo: Electrodo de tela de carbono

Cámara catódica: Conteniendo 500 ml de solución 0,04 M de Na₂SO₄ y 0,05 M de NaHSO₄

Amperaje: 0,05 A

Aireación: 300 ml aire/min

Velocidad de agitación de compartimentos: 800 rpm

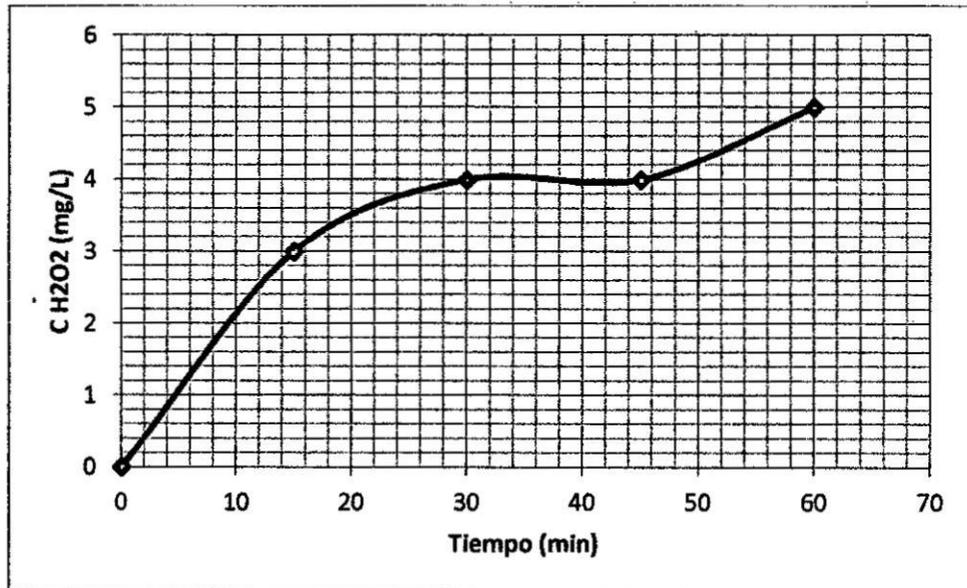
Resultados de pruebas de análisis de H₂O₂ a diferentes tiempos de muestreo se muestran en la tabla 6.1 y en la figura 6.1.

TABLA 6.1. CONCENTRACIÓN DE H₂O₂ EN MG/L VS TIEMPO DE REACCIÓN CONDICIONES DE OPERACIÓN 1) Y 0,05 A

Tiempo (min)	C _{H₂O₂} (mg/L)
0	0
15	3
30	4
45	4
60	5

Fuente: Elaboración Propia

**GRAFICA 6.1. CONCENTRACIÓN DE H₂O₂ EN MG/L VS
TIEMPO DE REACCIÓN CONDICIONES DE OPERACIÓN 1) Y
0,05 A**



Fuente: Elaboración Propia

6.1.2 Condiciones de operación 1) y 0,1 A

Ánodo: Electrodo de titanio recubierto de Platino

Cámara anódica: Conteniendo 500 ml de solución 0,01 M NaClO_3

Cátodo: Electrodo de tela de carbono

Cámara catódica: Conteniendo 500 ml de solución 0,04 M de Na_2SO_4 y 0,05 M de NaHSO_4

Amperaje: 0,1 A

Aireación: 300 ml aire/min

Velocidad de agitación de compartimentos: 800 rpm

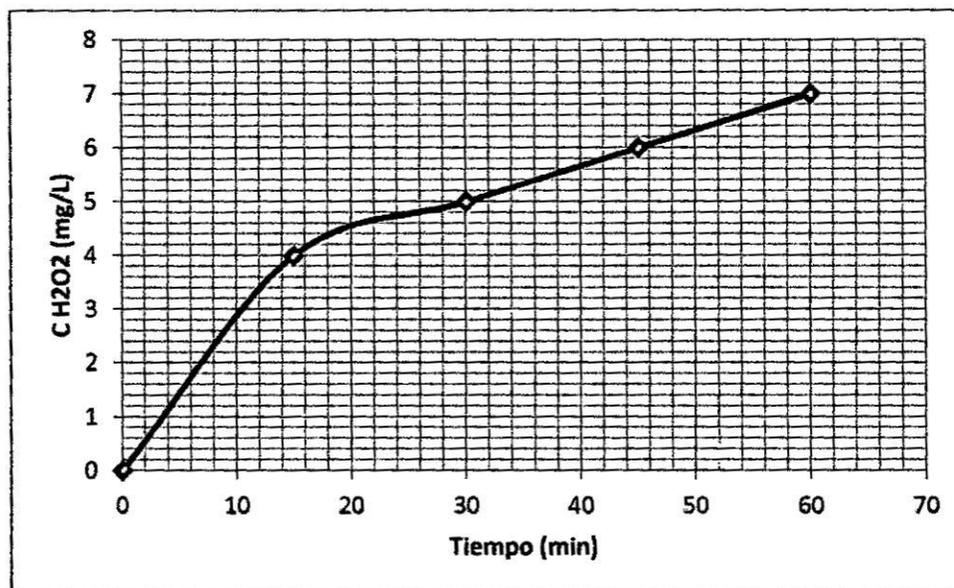
TABLA 6.2. CONCENTRACIÓN DE H_2O_2 EN MG/L VS TIEMPO DE REACCIÓN CONDICIONES DE OPERACIÓN 1) Y 0,1 A

Tiempo (min)	$C_{\text{H}_2\text{O}_2}$ (mg/L)
0	0
15	4
30	5
45	6
60	7

Fuente: Elaboración Propia



GRAFICA 6.2. CONCENTRACIÓN DE H₂O₂ EN MG/L VS TIEMPO DE REACCIÓN CONDICIONES DE OPERACIÓN 1) Y 0,1 A



Fuente: Elaboración Propia

6.1.3 Condiciones de operación 1) y 0,15 A

Ánodo: Electrodo de titanio recubierto de Platino

Cámara anódica: Conteniendo 500 ml de solución 0,01 M NaClO₃

Cátodo: Electrodo de tela de carbono

Cámara catódica: Conteniendo 500 ml de solución 0,04 M de Na₂SO₄ y 0,05 M de NaHSO₄

Amperaje: 0,15 A

Aireación: 300 ml aire/min

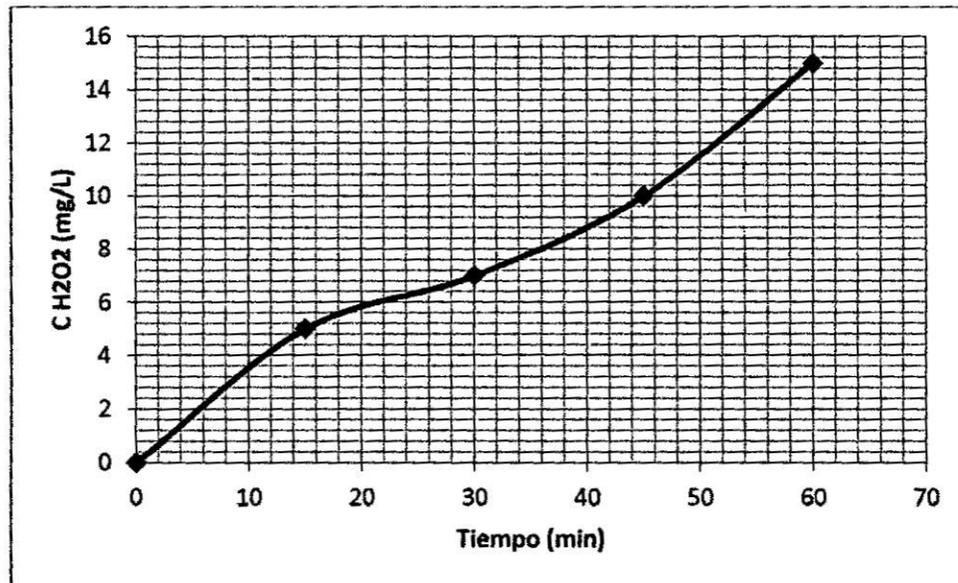
Velocidad de agitación de compartimentos: 800 rpm

TABLA 6.3. CONCENTRACIÓN DE H₂O₂ EN MG/L VS TIEMPO DE REACCIÓN CONDICIONES DE OPERACIÓN 1) Y 0,15 A

Tiempo (min)	C _{H₂O₂} (mg/L)
0	0
15	5
30	7
45	10
60	15

Fuente: Elaboración Propia

GRAFICA 6.3. CONCENTRACIÓN DE H₂O₂ EN MG/L VS TIEMPO DE REACCIÓN CONDICIONES DE OPERACIÓN 1) Y 0,15 A



Fuente: Elaboración Propia

6.1.4 Condiciones de operación 1) y 0,2 A

Ánodo: Electrodo de titanio recubierto de Platino

Cámara anódica: Conteniendo 500 ml de solución 0,01 M NaClO₃

Cátodo: Electrodo de tela de carbono

Cámara catódica: Conteniendo 500 ml de solución 0,04 M de Na₂SO₄ y 0,05 M de NaHSO₄

Amperaje: 0,2 A

Aireación: 300 ml aire/min

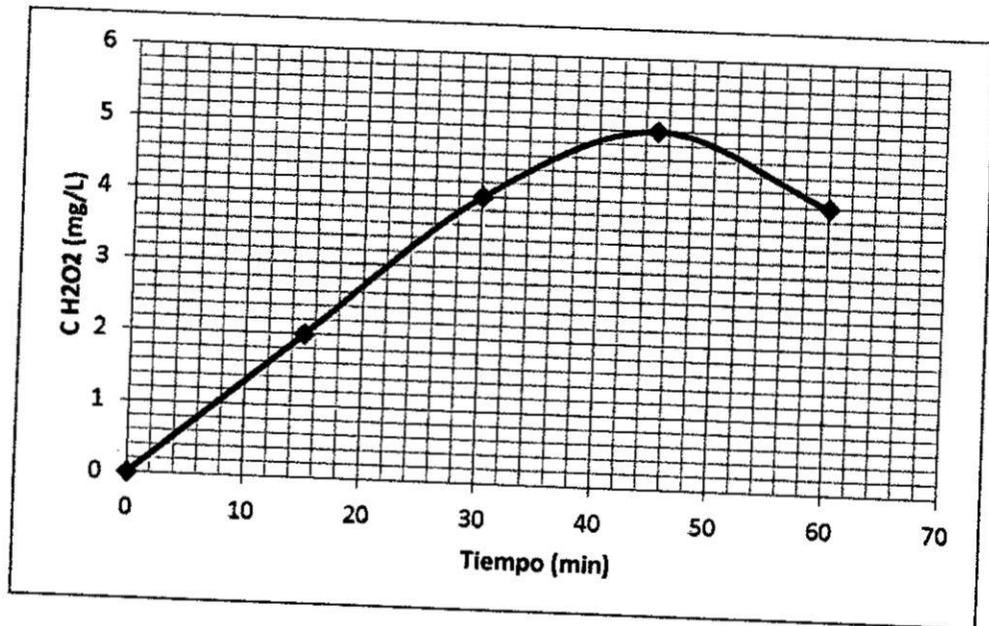
Velocidad de agitación de compartimentos: 800 rpm

TABLA 6.4. CONCENTRACIÓN DE H₂O₂ EN MG/L VS TIEMPO DE REACCIÓN CONDICIONES DE OPERACIÓN 1) Y 0,2 A

Tiempo (min)	C _{H₂O₂} (mg/L)
0	0
15	2
30	4
45	5
60	4

Fuente: Elaboración Propia

GRAFICA 6.4. CONCENTRACIÓN DE H₂O₂ EN MG/L VS TIEMPO DE REACCIÓN CONDICIONES DE OPERACIÓN 1) Y 0,2 A



6.2 Resultados de Concentración de H₂O₂ (mg/L) vs Tiempo (min).

6.2.1 Condiciones de operación 2) y 0,2 A

Ánodo: Electrodo de tela de carbono.

Cámara anódica: Conteniendo 500 ml de solución 0,01 M NaClO₃

Cátodo: Electrodo de tela de carbono

Cámara catódica: Conteniendo 500 ml de solución 0,04 M de Na₂SO₄ y 0,05 M de NaHSO₄

Amperaje: 0,2 A

Aireación: 300 ml aire/min

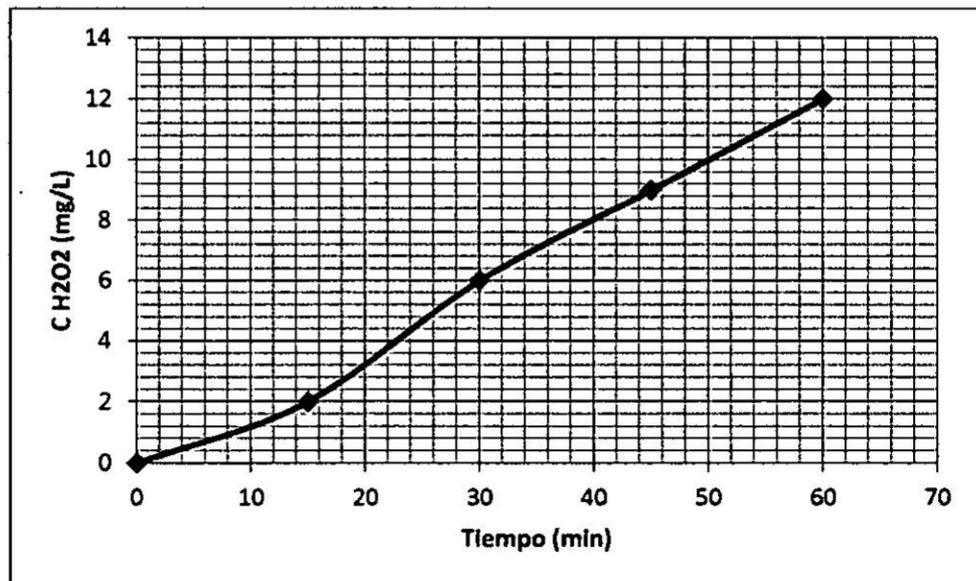
Velocidad de agitación de compartimentos: 800 rpm

TABLA 6.5. CONCENTRACIÓN DE H₂O₂ EN MG/L VS TIEMPO DE REACCIÓN CONDICIONES DE OPERACIÓN 2) Y 0,2 A

Tiempo (min)	C _{H₂O₂} (mg/L)
0	0
15	2
30	6
45	9
60	12

Fuente: Elaboración Propia

GRAFICA 6.5. CONCENTRACIÓN DE H₂O₂ EN MG/L VS TIEMPO DE REACCIÓN CONDICIONES DE OPERACIÓN 2) Y 0,2 A



Fuente: Elaboración Propia

VII. DISCUSION

1. Se ha podido comprobar que empleando como ánodo electrodo de titanio recubierto de platino y como cátodo tela de carbono, se han conseguido concentraciones muy bajas (5 mg/L a 0,05 A, 7 mg/L a 0,1 A, 15 mg/L a 0,15 A y 4 mg/L a 0,2 A) de H₂O₂ generado que no son satisfactorios para tratamiento de aguas residuales si se comparan con otros estudios donde se ha obtenido concentraciones mayores como por ejemplo: 60 mg/L en el trabajo de Petrucci (Petrucci et al, 2016) a 1 hora de operación y 250 mg/L después de 5 horas; 1000 mg/L en el trabajo de Pozzo (Pozzo et al, 2005); 450 mg/L a 1 hora de operación en el trabajo de García-Rodríguez (Garcia Rodriguez et al, 2016); 250 mg/L en 1 hora y 275 mg/L en dos horas en el trabajo de Haijian Lou (Haijian Lou et al, 2015).
2. Se ha podido comprobar que empleando como ánodo electrodo de tela de carbono y como cátodo tela de carbono, se han conseguido concentraciones muy bajas (12 mg/L a 0,2 A, 14 mg/L a 0,3 A y 10 mg/L a 0,3 A) de H₂O₂ generado que también no son satisfactorios para tratamiento de aguas residuales si se comparan con otros estudios donde se ha obtenido concentraciones mayores como por ejemplo: 60 mg/L en el trabajo de Petrucci (Petrucci et al, 2016) a 1 hora de operación y 250 mg/L después de 5 horas; 1000 mg/L en el trabajo de

Pozzo (Pozzo et al,2005); 450 mg/L a 1 hora de operación en el trabajo de García-Rodríguez (Garcia Rodríguez et al, 2016); 250 mg/L en 1 hora y 275 mg/L en dos horas en el trabajo de Haijian Lou (Haijian Lou et al, 2015).

3. Es necesario más investigación para superar las dificultades encontradas y obtener resultados mejores que alcancen niveles de generación de H_2O_2 mayores y comparables a los otros estudios referenciados.

VIII. REFERENCIALES

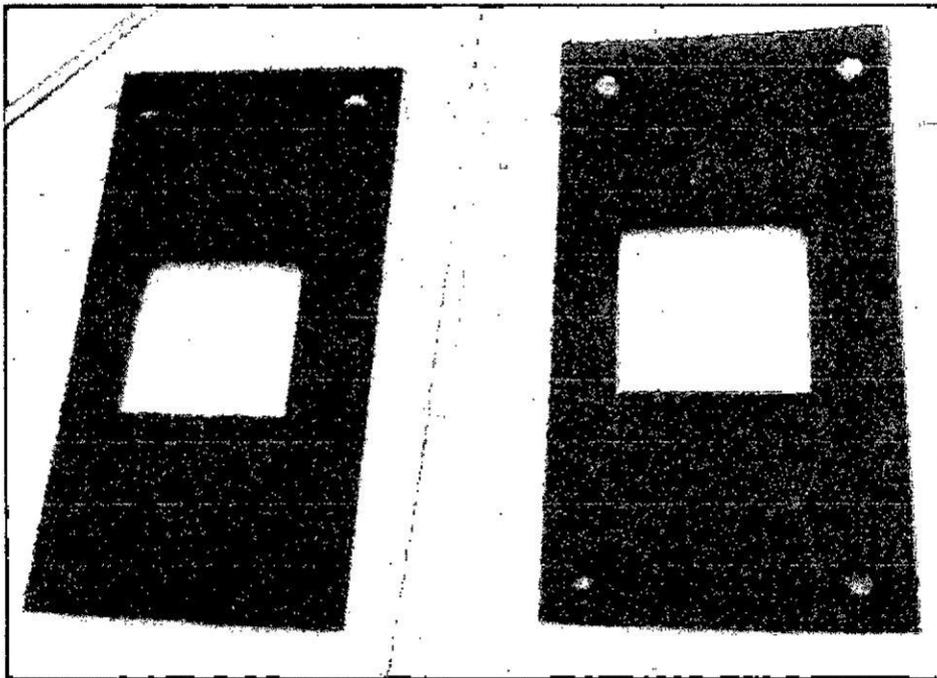
1. Campos. (2010). Investigations into The Electrochemical Synthesis of Hydrogen Peroxide, Universidade de Coimbra.
2. Chaojie Song y Jiujun Zhang. Electrocatalytic Oxygen Reduction reaction. Chapter 2. PEM fuel Cell Electrocatalysts and Catalyst layers. Fundamentals and applications. 2008.
3. García-Rodríguez et al (2016). Electrocatalytic Actiivity of three carbon materials for the in situ production of hydrogen peroxide and its application to the electro-Fenton heterogeneous process. Int. J. Chem. React. Eng. 2016.
4. Haijian Lou et al (2015). Electrochemical degradation of phenol by in situ electr-generated and electro-activated hydrogen peroxide using an improved gas difussion cathode. *Electrochimica Acta* 186 (2015) 486-493.
5. Haijian Luo et al (2015). In situ electrosynthesis of hydrogen peroxide with an improved gas diffusion cathode by rolling carbon black and PTFE. Royal Society of Chemistry, 5, 65227-65235.
6. Oturan et al (2008). Oxidation pathways of malachite Green by Fe³⁺catalyzed electro-Fenton process. Applied catalysis. B Environmental. 82 (2008). 244-254.
7. Petrucci et al (2016). On the ability to electrogenerate hydrogen peroxide and the regenerate ferrous ions of three selected carbon

based cathodes for electro-Fenton processes. *Chemical Engineering Journal* 283. 2016. 750-758.

8. Pozzo et al, 2005. An experimental comparison of a graphite electrode and a gas diffusion electrode for the cathodic production of hydrogen peroxide. *Journal of Applied Electrochemistry*. 35: 413-419.
9. Reid R. (2017). Electrogeneration of hydrogen peroxide for applications in water/wastewater treatment. Thesis for Master in Applied Science in Civil engineering. Waterloo. Ontario, Canada. 2017.
10. Zhimim Quiang et al (2002). Electrochemical generation of hydrogen peroxide from dissolved oxygen in acidic solutions. *Water research*. 36(1): 85-94.

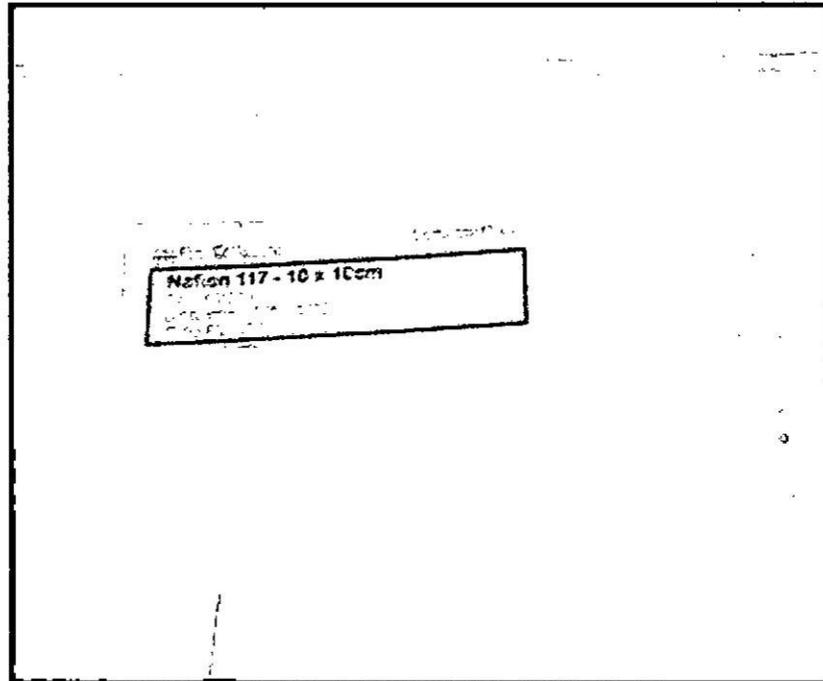
IX. APENDICE

FIGURA 5.1. PREPARACIÓN DE LOS SEPARADORES DE LAS CÁMARAS ANÓDICA Y CATÓDICA DEL REACTOR ELECTROQUIMICO



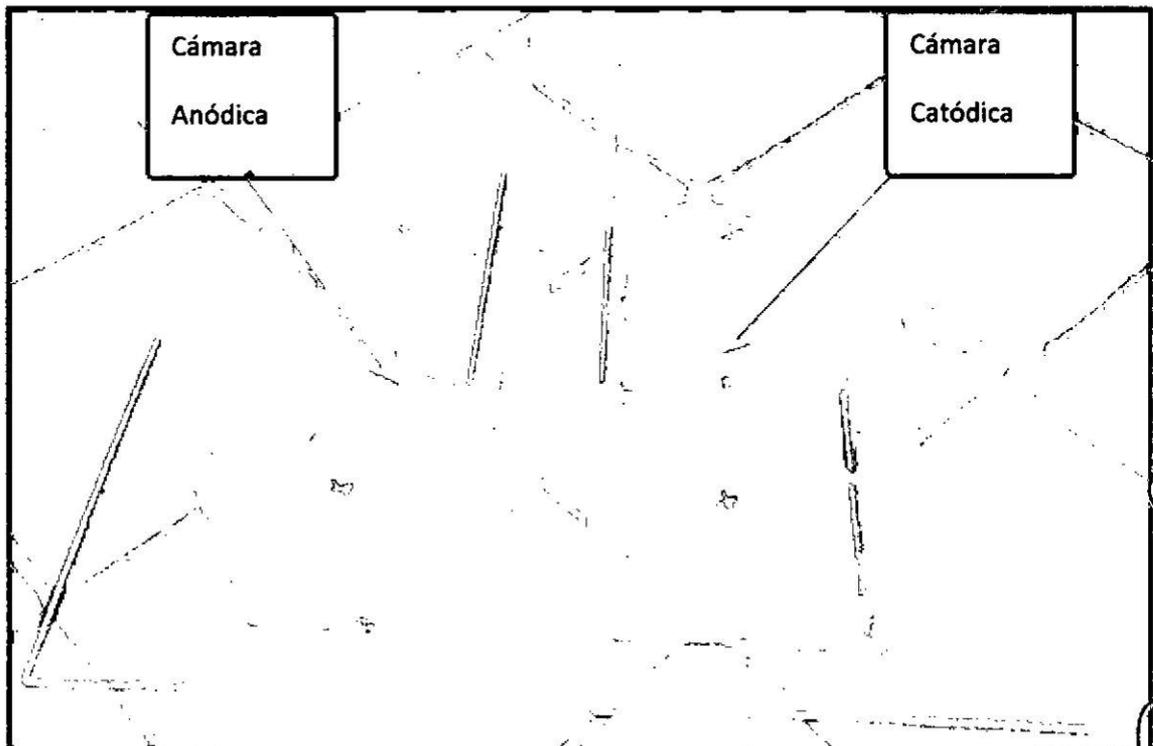
Fuente: Elaboración propia

FIGURA 5.2. MEMBRANA DE INTERCAMBIO CATIONICA NAFION 117



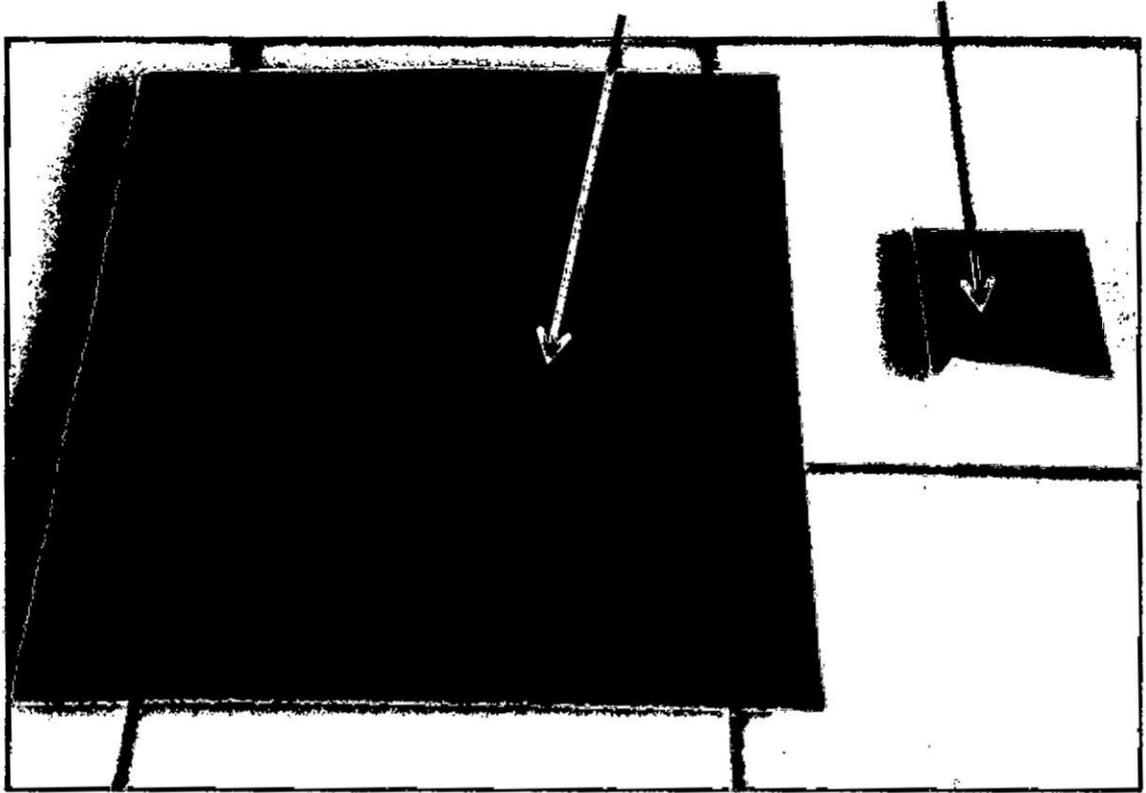
Fuente: Elaboración propia

FIGURA 5.3. PREPARACIÓN DE LAS CÁMARA ANÓDICA Y CATÓDICA



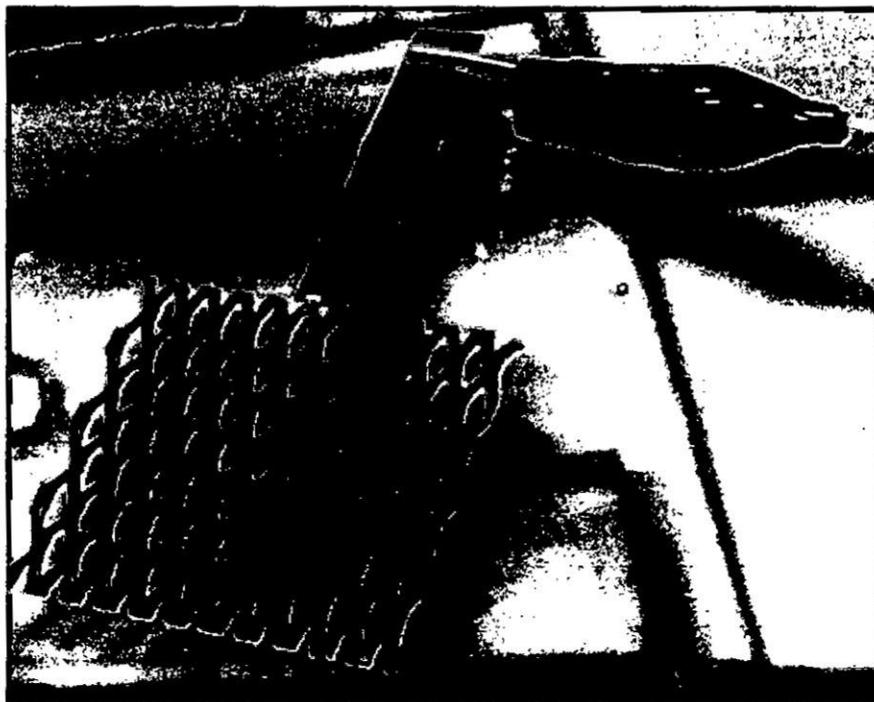
Fuente: Elaboración propia

FIGURA 5.4. ELECTRODOS DE CARBONO: CARBON FELT Y CARBÓN DIFUSION



Fuente: Elaboración propia

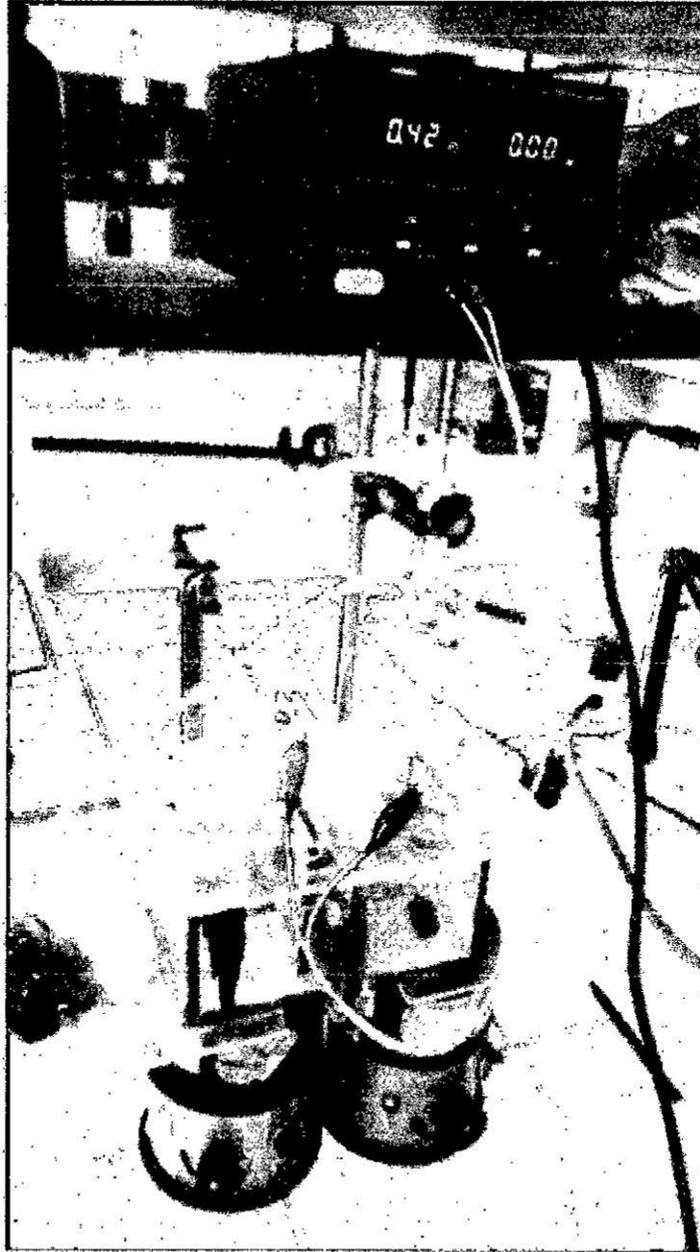
FIGURA 5.5. ELECTRODO DE TITANIO RECUBIERTO DE PLATINO



Fuente: Elaboración propia

A handwritten signature in black ink, consisting of a stylized, cursive script.

FIGURA 5.6. REACTOR ELECTROQUIMICO



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 5.7. REACTOR ELECTROQUIMICO EN FUNCIONAMIENTO CON AIREACION EN EL COMPARTIMENTO CATODICO



Fuente: Elaboración propia

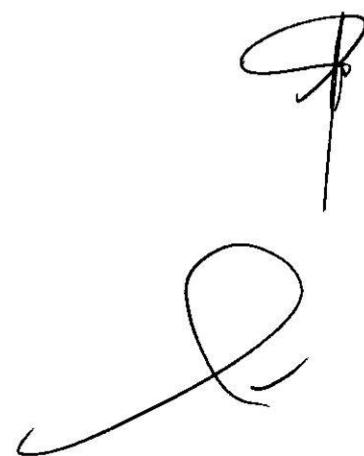
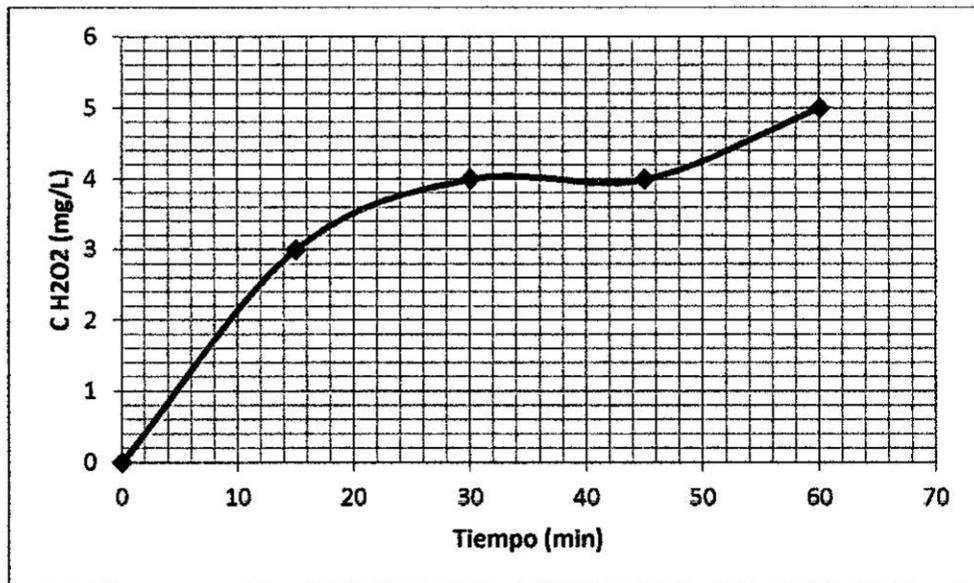


TABLA 6.1. CONCENTRACIÓN DE H₂O₂ EN MG/L VS TIEMPO DE REACCIÓN CONDICIONES DE OPERACIÓN 1) Y 0,05 A

Tiempo (min)	C _{H₂O₂} (mg/L)
0	0
15	3
30	4
45	4
60	5

Fuente: Elaboración Propia

GRAFICA 6.1. CONCENTRACIÓN DE H₂O₂ EN MG/L VS TIEMPO DE REACCIÓN CONDICIONES DE OPERACIÓN 1) Y 0,05 A



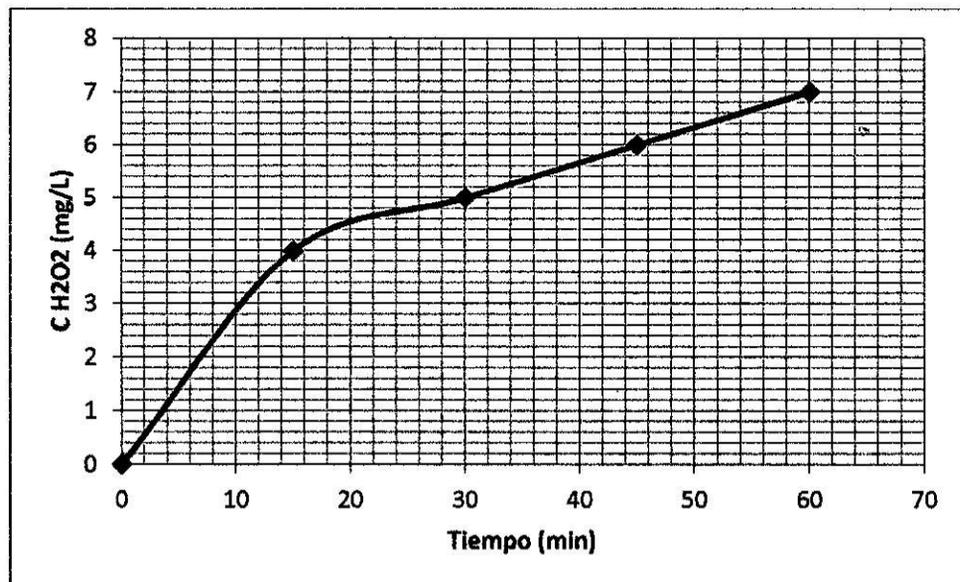
Fuente: Elaboración Propia

TABLA 6.2. CONCENTRACIÓN DE H₂O₂ EN MG/L VS TIEMPO DE REACCIÓN CONDICIONES DE OPERACIÓN 1) Y 0,1 A

Tiempo (min)	C _{H₂O₂} (mg/L)
0	0
15	4
30	5
45	6
60	7

Fuente: Elaboración Propia

GRAFICA 6.2. CONCENTRACIÓN DE H₂O₂ EN MG/L VS TIEMPO DE REACCIÓN CONDICIONES DE OPERACIÓN 1) Y 0,1 A



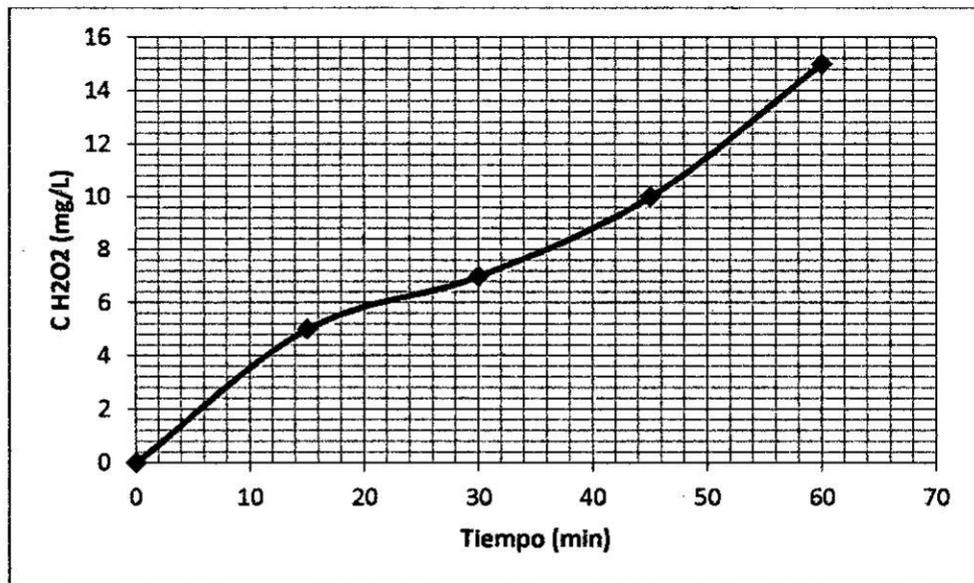
Fuente: Elaboración Propia

TABLA 6.3. CONCENTRACIÓN DE H₂O₂ EN MG/L VS TIEMPO DE REACCIÓN CONDICIONES DE OPERACIÓN 1) Y 0,15 A

Tiempo (min)	C _{H₂O₂} (mg/L)
0	0
15	5
30	7
45	10
60	15

Fuente: Elaboración Propia

GRAFICA 6.3. CONCENTRACIÓN DE H₂O₂ EN MG/L VS TIEMPO DE REACCIÓN CONDICIONES DE OPERACIÓN 1) Y 0,15 A



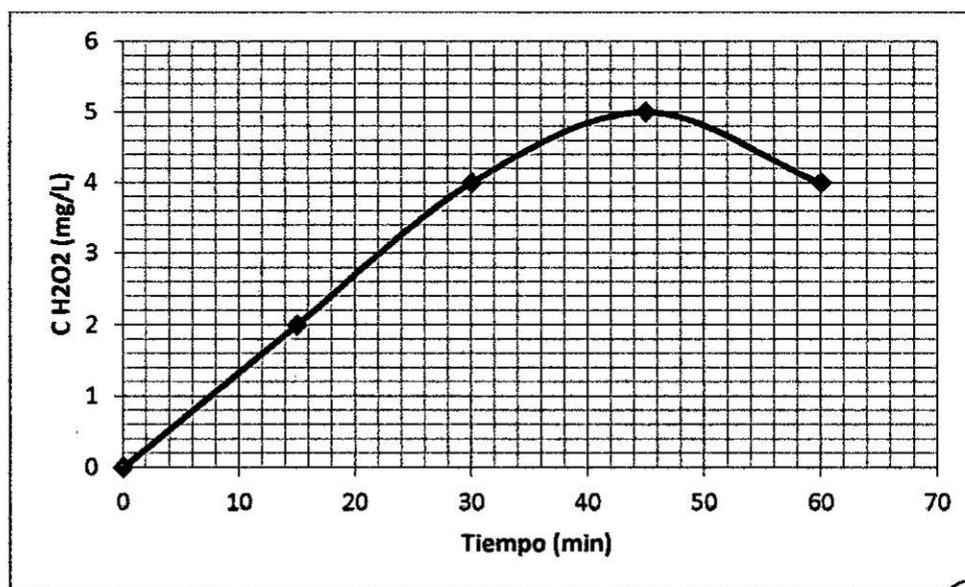
Fuente: Elaboración Propia

TABLA 6.4. CONCENTRACIÓN DE H₂O₂ EN MG/L VS TIEMPO DE REACCIÓN CONDICIONES DE OPERACIÓN 1) Y 0,2 A

Tiempo (min)	C _{H₂O₂} (mg/L)
0	0
15	2
30	4
45	5
60	4

Fuente: Elaboración Propia

GRAFICA 6.4. CONCENTRACIÓN DE H₂O₂ EN MG/L VS TIEMPO DE REACCIÓN CONDICIONES DE OPERACIÓN 1) Y 0,2 A



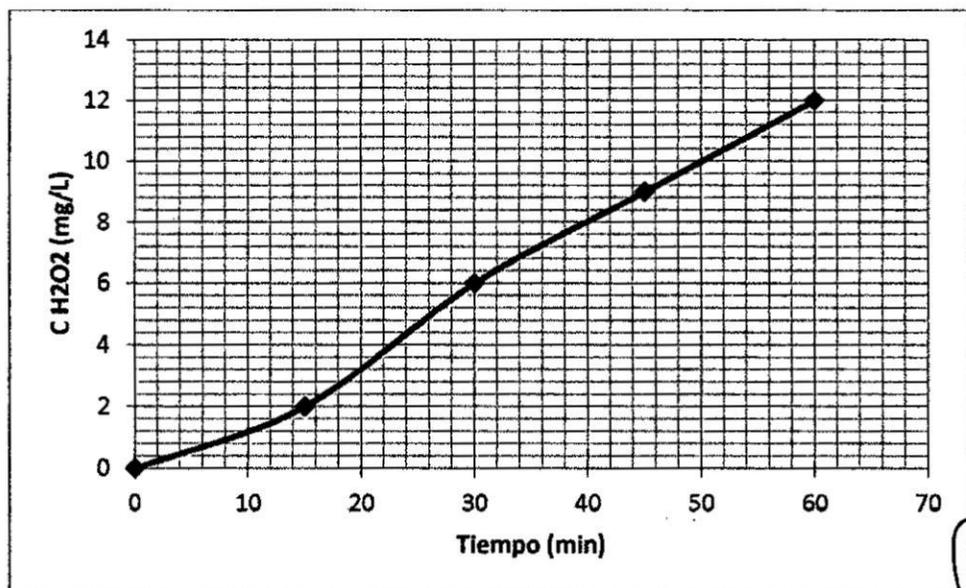
Fuente: Elaboración Propia

TABLA 6.5. CONCENTRACIÓN DE H₂O₂ EN MG/L VS TIEMPO DE REACCIÓN CONDICIONES DE OPERACIÓN 2) Y 0,2 A

Tiempo (min)	C _{H₂O₂} (mg/L)
0	0
15	2
30	6
45	9
60	12

Fuente: Elaboración Propia

GRAFICA 6.5. CONCENTRACIÓN DE H₂O₂ EN MG/L VS TIEMPO DE REACCIÓN CONDICIONES DE OPERACIÓN 2) Y 0,2 A



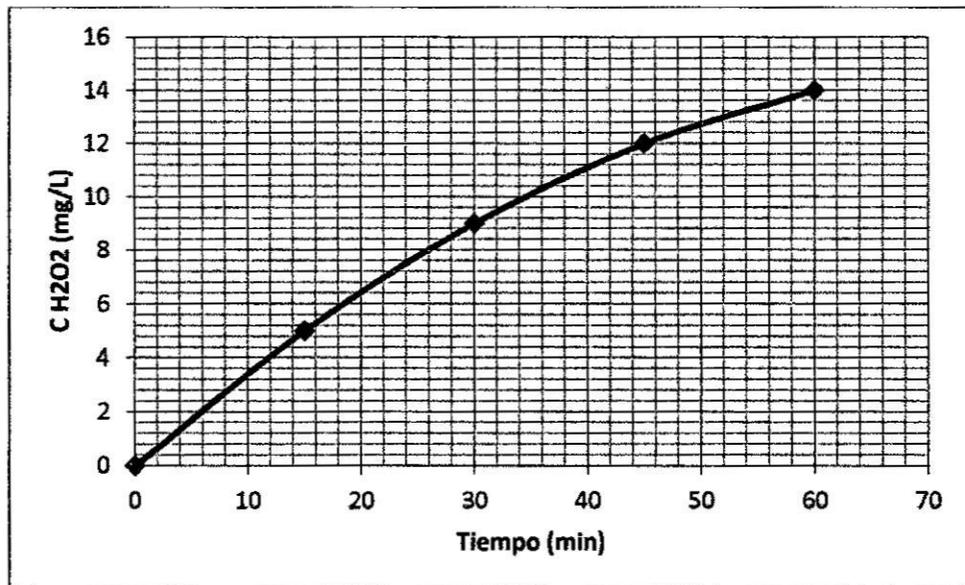
Fuente: Elaboración Propia

TABLA 6.6. CONCENTRACIÓN DE H₂O₂ EN MG/L VS TIEMPO DE REACCIÓN CONDICIONES DE OPERACIÓN 2) Y 0,3 A

Tiempo (min)	C _{H₂O₂} (mg/L)
0	0
15	5
30	9
45	12
60	14

Fuente: Elaboración Propia

GRAFICA 6.6. CONCENTRACIÓN DE H₂O₂ EN MG/L VS TIEMPO DE REACCIÓN CONDICIONES DE OPERACIÓN 2) Y 0,3 A



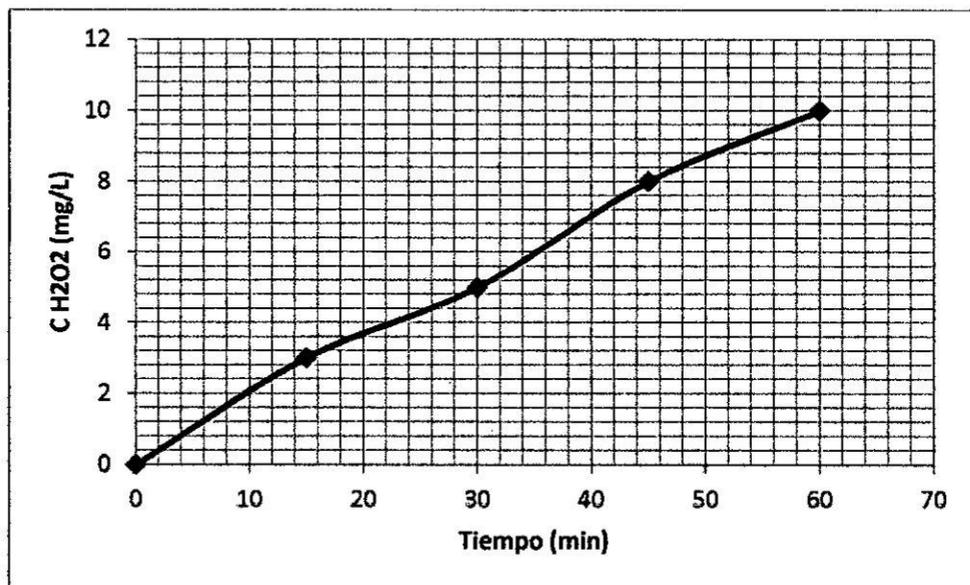
Fuente: Elaboración Propia

TABLA 6.7. CONCENTRACIÓN DE H₂O₂ EN MG/L VS TIEMPO DE REACCIÓN CONDICIONES DE OPERACIÓN 2) Y 0,4 A

Tiempo (min)	C _{H₂O₂} (mg/L)
0	0
15	3
30	5
45	8
60	10

Fuente: Elaboración Propia

GRAFICA 6.7. CONCENTRACIÓN DE H₂O₂ EN MG/L VS TIEMPO DE REACCIÓN CONDICIONES DE OPERACIÓN 2) Y 0,4 A



Fuente: Elaboración Propia

X. ANEXO

MATRIZ DE CONSISTENCIA

TITULO PROYECTO: "SÍNTESIS ELECTROQUÍMICA DE PERÓXIDO DE HIDRÓGENO EN UNA CELDA CON MEMBRANA DE INTERCAMBIO CATIONICO"

PROBLEMA PRINCIPAL	OBJETIVO PRINCIPAL	HIPOTESIS PRINCIPAL	VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	METODO
¿Cómo será la síntesis de peróxido de hidrógeno en una celda con membrana de intercambio iónico?	Generar H ₂ O ₂ en una celda con membrana de intercambio catiónico.	La generación de H ₂ O ₂ en una celda con membrana de intercambio catiónico tiene una concentración adecuada para el tratamiento de aguas residuales.	Concentración de H ₂ O ₂ en una celda con membrana de intercambio catiónico	Concentración	mg/L	Titulométrico
PROBLEMAS ESPECIFICOS	OBJETIVOS ESPECIFICOS	HIPOTESIS ESPECIFICAS	VARIABLES INDEPENDIENTES	DIMENSIONES	INDICADORES	METODO
¿Cómo será la configuración del reactor para la síntesis electroquímica de H ₂ O ₂ ?	Determinar la configuración del reactor electroquímico para la síntesis de H ₂ O ₂ .	Una configuración de compartimentos anódico y catódico separadas por una membrana de intercambio catiónica será la configuración adecuada.	Reactor electroquímico con compartimentos anódico y catódico separadas por una membrana de intercambio catiónica.	Reactor electroquímico		
¿Cuáles serán las condiciones adecuadas para la generación de H ₂ O ₂ ?	Determinar las condiciones adecuadas para la generación de H ₂ O ₂ .	Las condiciones adecuadas que determinan la mayor producción de H ₂ O ₂ son una intensidad de corriente de 0,2A, un pH de 3 y un flujo de oxígeno de 200 mL/min.	pH Intensidad de corriente Flujo volumétrico de oxígeno	Medida concentración de iones Hidronio. Medida de cantidad de corriente Medida de volumen por unidad de tiempo	-log[H ⁺] A mL/min	Potenciómetro Multímetro Rotámetro