



**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y
URBANISMO**
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA**

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

**EFFECTO ANTICORROSIVO DE LA GOMA DE
SAPINDUS SAPONARIA CON DIFERENTES
ADICIONES DE YODURO DE POTASIO EN EL
SISTEMA ACERO 1.25CR-0.5MO /HCL 1M, A 25 °C,
45 °C Y 65 °C.**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE BACHILLER EN
INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

Autores

Cspedes Ruiz Geancarlos Alexander

ORCID : <https://orcid.org/0000-0002-8116-2006>

Fuentes Guevara Alfredo Mariano

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-7156-9452>

Asesor

Mtro. Vives Garnique Juan Carlos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0988-9881>

Línea de investigación

**Tecnología e Innovación en el Desarrollo de la Construcción y la
Industria en un Contexto de Sostenibilidad**

Sublínea de investigación

**Innovación y Tecnificación en Ciencia de los Materiales, Diseño e
Infraestructura**

Pimentel - Perú

2024

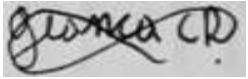

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Quienes suscriben la **DECLARACIÓN JURADA**, somos **egresados** del Programa de Estudios de **Ingeniería Mecánica Eléctrica** de la Universidad Señor de Sipán S.A.C, declaramos bajo juramento que somos autores del trabajo titulado:

EFFECTO ANTICORROSIVO DE LA GOMA DE SAPINDUS SAPONARIA CON DIFERENTES ADICIONES DE YODURO DE POTASIO EN EL SISTEMA ACERO 1.25CR-0.5MO /HCL 1M, A 25 °C, 45 °C Y 65 °C

El texto de mi trabajo de investigación responde y respeta lo indicado en el Código de Ética del Comité Institucional de Ética en Investigación de la Universidad Señor de Sipán (CIEI USS) conforme a los principios y lineamientos detallados en dicho documento, en relación a las citas y referencias bibliográficas, respetando al derecho de propiedad intelectual, por lo cual informo que la investigación cumple con ser inédito, original y autentico.

En virtud de lo antes mencionado, firman:

<p>CESPEDES RUIZ GEANCARLOS ALEXANDER</p>	<p>DNI: 74581651</p>	
<p>FUENTES GUEVARA ALFREDO MARIANO</p>	<p>DNI: 74255766</p>	

Pimentel, 24 de setiembre de 2024

Dedicatoria

Dedicamos este trabajo de investigación con profunda gratitud y cariño. A Dios, fuente de fortaleza y guía, agradezco por iluminar mi camino y concederme sabiduría en cada paso de esta travesía académica. A nuestros amados padres les dedicamos este logro con todo nuestro corazón. Su amor incondicional, apoyo constante y sacrificios invaluable han sido el motor que impulsan nuestros sueños. A nuestros respetados profesores y tutor, les agradecemos sinceramente por su sabiduría compartida, paciencia infinita y por desafiarnos a alcanzar nuevas alturas intelectuales. A nuestros queridos amigos y seres queridos, su aliento, comprensión y alegría han sido el faro que ha iluminado los días más desafiantes. Cada uno de ustedes ha dejado una huella indeleble en este viaje, y este trabajo lleva su influencia y apoyo en cada palabra escrita. Con gratitud sincera, este logro es también suyo. A todos aquellos que de una forma u otra han contribuido a este logro, mi más profundo agradecimiento.

Cespedes Ruiz Geancarlos Alexander Y Fuentes Guevara Alfredo Mariano

Agradecimientos

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mi mamá, Gladys, por su constante apoyo y amor incondicional a lo largo de este proceso. Su sabiduría, paciencia y aliento han sido fundamentales para la realización de este trabajo. Gracias por ser mi inspiración y por creer en mí en todo momento.

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mi papá, Cleber, por su constante apoyo y dedicación a lo largo de este proceso. Desde el principio, su orientación, paciencia y aliento han sido esenciales para la realización de este trabajo. Su esfuerzo y compromiso para proporcionarme las herramientas y oportunidades necesarias para mi educación han sido una fuente constante de motivación.

Cespedes Ruiz Geancarlos

A mis padres Mariano Fuentes Guevara y Dora Lucila Guevara Segura, por su amor incondicional y apoyo moral. Quienes han sido mis pilares para seguir adelante. También expreso mi gratitud a mi hermano Fernando Fuentes Guevara, a mi hermana Patricia Fuentes Guevara y a mi tío Rude Guevara Segura, quienes supieron brindarme su tiempo para escucharme y apoyarme, quienes supieron estar cuando más los necesitaba.

Agradezco también a mis amigos y compañeros de estudios, por su compañía, colaboración y por compartir conmigo momentos memorables que han aligerado este exigente camino académico.

Fuentes Guevara Alfredo Mariano

Índice de contenido

Dedicatoria	3
Agradecimientos	4
Resumen.....	8
Abstract	9
I. INTRODUCCIÓN	10
1.1. Realidad problemática.....	10
1.2. Formulación del problema	16
1.3. Hipótesis	16
1.4. Objetivos	16
1.4.1. Objetivo General	16
1.4.2. Objetivos específicos	16
1.5. Teorías relacionadas al tema	17
1.5.1. Corrosión	17
1.5.2. Acero 1.25Cr-0.5Mo	18
1.5.3. Sapindus Saponaria	18
1.5.4. Efecto de la concentración	18
1.5.5. Efecto de la temperatura y los parámetros de activación.....	19
1.5.6. Parámetros de adsorción	20
II. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	22
III. RESULTADOS	24
IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	37
V. Referencias	38

VI. ANEXOS	41
6.1. Ensayos EFM	41
6.2. Ensayos EIS	44

Índice de figuras

Figura 2.1. Circuito eléctrico equivalente.....	23
Figura 3.1. Resultados de los espectros de intermodulación para el acero 1.25Cr-0.25Mo en el sistema HCl 1 M – GSS + KI. 26	
Figura 3.2. Gráficos de impedancia para el acero 1.25Cr-0.25Mo en el sistema HCl 1 M – GSS + KI.....	31
Figura 3.3. Resultados del ajuste basados en los ensayos EFM con los diferentes modelos de adsorción.	33
Figura 3.4. Gráficos de adsorción isoterma Langmuir para el acero 1.25Cr-0.25Mo en el sistema HCl 1 M – GSS + KI., según técnica EIS.....	34
Figura 3.5. Gráficos de activación de Arrhenius para el acero 1.25Cr-0.25Mo en el sistema [HCl 1 M - OFI – KI], según técnica empleada.	36

Índice de tablas

Tabla 3.1. Datos electroquímicos obtenidos desde los gráficos de intermodulación para el acero 1.25Cr-0.25Mo en HCl 1 M – GSS + KI.....	26
Tabla 3.2. Resultados de los ensayos de impedancia electroquímica durante el proceso corrosivo del acero 1.25Cr-0.25Mo en HCl 1 M – GSS + KI.....	29
Tabla 3.3. Parámetros de adsorción para el acero 1.25Cr-0.25Mo en el sistema HCl 1 M – GSS + KI., según técnica EFM y EIS.	34
Tabla 3.4. Parámetros de cinéticos para el acero 1.25Cr-0.25Mo en el sistema [HCl 1 M - OFI – KI], según técnica empleada.	36

Resumen

Esta investigación se enfocó en el estudio sinérgico entre los iones yoduro y la goma de *Sapindus saponaria* (GSS), en la capacidad anticorrosiva del acero 1.25Cr-0.5Mo en ácido clorhídrico 1 M a diferentes temperaturas en las tuberías de sobrecalentadores y recalentadores, así como en colectores y tuberías de alta temperatura de las centrales termoeléctricas. Los efectos de la temperatura y la concentración de KI sobre el efecto de inhibición de la corrosión de los polisacáridos se analizarán mediante métodos de modulación de frecuencia electroquímica (EFM) y espectroscopia de impedancia electroquímica (EIS). El mecanismo de inhibición del polisacárido sobre el acero 1.25Cr- 0.5Mo se evaluará mediante isotermas y cálculos termodinámicos de adsorción y activación.

Palabras clave— inhibidor, corrosión, adsorción, ácido.

Abstract

This research focused on the synergistic study between iodide ions and Sapindus saponaria gum (GSS), on the anticorrosive capacity of 1.25Cr-0.5Mo steel in 1 M hydrochloric acid at different temperatures in superheater and reheater pipes, as well as in collectors and high temperature pipes of thermoelectric power plants. The effect of temperature and potassium iodide concentrations on the corrosion inhibitory effect of the polysaccharide will be analyzed using an electrochemical approach with electrochemical frequency modulation (EFM) and electrochemical impedance spectroscopy (EIS) techniques. The adsorption mechanism of the polysaccharide on 1.25Cr- 0.5Mo steel will be evaluated by means of adsorption and activation isotherms and thermodynamic calculations.

Keywords- inhibitor, corrosion, adsorption, acid.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática.

El acero 1.25Cr-0.5Mo ha sido efectivamente empleado en aplicaciones de centrales eléctricas que requieren una resistencia razonable a las altas temperaturas y a la oxidación. Las aplicaciones más comunes son en tuberías de sobrecalentadores y recalentadores, así como en colectores y tuberías de alta temperatura. Lukman et al. [1] indica que uno de los problemas medioambientales más frecuentes en el mundo es la corrosión generada por las incrustaciones de agua dura, las incrustaciones de soldadura, los óxidos superficiales, los depósitos proteínicos, de sal y de óxido pesado se eliminan rutinariamente de la superficie del acero mediante limpieza y decapado con ácido, que se logra mejor con electrolitos corrosivos, generalmente soluciones ácidas. Uno de los ácidos minerales que se utilizan habitualmente para la limpieza, desincrustación y decapado con ácido es el ácido clorhídrico. La corrosión, que es el principal efecto secundario de la limpieza y desincrustación con ácido en el acero dulce, se puede reducir utilizando inhibidores de corrosión como aditivos en las soluciones de limpieza y desincrustación. Dounia et al. [2] el hierro y el acero se oxidan, el cobre se ennegrece y el zinc se blanquea. Todas ellas son diversas manifestaciones de la oxidación que hacen que el metal no pueda cumplir su función. En consecuencia, los daños que la corrosión causa a la economía mundial son importantes. En efecto, el coste del mantenimiento es caro y a veces ineficaz, con graves consecuencias en varios ámbitos y más concretamente en el sector industrial: inmovilización de la producción, accidentes (muerte o invalidez de personas), contaminación (deterioro de la salud), inestabilidad (malas condiciones de funcionamiento que dan lugar a productos nocivos) y, por último, en la economía popular (destrucción de productos cuya durabilidad se ve afectada por el deterioro). Alireza et al. [3] para la protección contra la corrosión, se han utilizado varios enfoques. La selección de materiales, los métodos electroquímicos, la deposición de recubrimientos y la aplicación de sustancias que previenen corrosión. El uso de estas sustancias es uno de los enfoques más económicos y convenientes para implementar. Estas sustancias que previenen

la corrosión son los inhibidores que, cuando se añaden en concentraciones de tamaño reducido en un ambiente corrosivo, pueden reducir la tasa de degradación del metal. La solución ácida se ha utilizado en aplicaciones industriales como la desincrustación ácida industrial, la limpieza ácida, el decapado ácido y la eliminación de cascarilla de laminación de superficies metálicas. Ikenna et al. [4] el yoduro de potasio (KI) es un aditivo importante que ayuda a mejorar la efectividad de las sustancias anticorrosivas orgánicas. Los iones de yoduro funcionan como puentes que mejoran la adsorción de inhibidores de corrosión, especialmente, aquellos que son catiónicos en solución.

Shujun et al. [5] creó un inhibidor de corrosión de las hojas de *Magnolia grandiflora*, con el objetivo de *prolongar* la vida útil del acero Q235 en la industria de los metales, mediante métodos electroquímicos, topografía de superficie y cálculos teóricos. En este artículo, se utilizan varios métodos experimentales para estudiar la actividad inhibidora de la corrosión del extracto de hoja de *Magnolia grandiflora* (MG) en acero Q235 en medio HCl 1 M. En respuesta al experimento electroquímico se muestra que MG es un inhibidor de corrosión de tipo mixto y su rendimiento de inhibición de corrosión de 500 mg/L MGLE puede superar el 85% a 298 K. Además, estos resultados muestran que MGLE puede mantener un alto rendimiento anticorrosión en un cierto rango de temperatura (298 K, 303 K, 308 K y 313 K). Los resultados de la prueba de topografía de superficie (SEM y AFM) muestran que MG tiene un gran efecto de inhibición de corrosión para acero Q235 en medio de HCl 1 M. El comportamiento de adsorción de MGLE en la interfaz acero Q235/solución concuerda con la adsorción de una sola capa de Langmuir. El valor de ΔG_{ads}^0 es $-27,7$ kJ/mol, lo que muestra que la adherencia de MGLE en entorno del acero Q235 tiene adsorción tanto física como química. Los cálculos químicos cuánticos (QC) y la simulación de dinámica molecular verifican firmemente que el MG puede controlar la corrosión del acero Q235 en un medio de 1 M HCl. Concluyendo que la eficiencia anticorrosión de MG supera el 85%, los resultados de las pruebas SEM y AFM muestran que MG exhibe una buena naturaleza anticorrosiva y que la adsorción de MGLE en la interfaz Fe/solución pertenece al modelo Langmuir. Shan et

al. [6] realizó una investigación hojas de kapok y yoduro, con el objetivo de mejorar los efectos de protección de los inhibidores de corrosión verdes al mismo nivel que los inhibidores de corrosión tóxicos marcados, utilizó el método de extracto de alcohol para obtener el extracto de hojas de kapok (KLE). El KLE y los aditivos de yoduro sinérgicos se adoptaron en primer lugar como sustancias anticorrosivas efectivas en acero al carbono Q235 en solución de 0,5 mol/LH₂SO₄. Las pruebas electroquímicas (potencial de circuito abierto (OCP), potencial de carga cero (PZC), espectros de impedancia electroquímica (EIS), curvas de polarización potenciodinámica (PDP) y métodos de pérdida de peso se utilizaron para estudiar el comportamiento de inhibición de la corrosión. Se realizaron microscopía electrónica de barrido, microscopía 3D, espectroscopia infrarroja de transferencia de Fourier, espectro ultravioleta, espectroscopia fotoelectrónica de rayos X para analizar la microestructura y las composiciones de los productos. Además, se discutieron el tipo y mecanismo de adsorción y los parámetros cinéticos en el proceso de adsorción. Los resultados indicaron que los inhibidores KLE exhiben un comportamiento de inhibición anódica y catódica mixta y una eficiencia de inhibición sobresaliente del 95%. Concluyendo que alcanza más del 90% de eficiencia de inhibición después de 72 h de inmersión a largo plazo en solución sulfúrica. La adherencia de la zona exterior del acero al carbono obedece al modelo de isoterma de adsorción de Langmuir que implica fisisorción, y la eficiencia de inhibición disminuye con una temperatura elevada. Xiong Sun [7] realizó un estudio extracto de hoja de metasequoia glyptostroboides como inhibidor de corrosión ecológico para acero Q235, con el objetivo investigar el rendimiento de inhibición de corrosión de extractos de hojas obtenidos de árboles Metasequoia glyptostroboides en acero Q235 en medios de HCl 1 M, utilizando los métodos el análisis de pérdida de peso, la espectroscopia FTIR y UV-Vis y las micrografías SEM, obteniendo resultados el análisis de pérdida de peso mostró una concentración óptima de extracto de 500 ppm que alcanzó una inhibición del 83,62 %. Los escaneos potenciodinámicos revelaron un control predominantemente anódico con corrientes de corrosión que se redujeron de 432 a 92 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ junto con resistencias de polarización mejoradas de 19,7 a 132 Ω/cm^2 que confirman los depósitos de película protectora de la

superficie. La espectroscopia FTIR y UV-Vis indica que los flavonoides quelantes ayudan a la inhibición a través de la formación de complejos de hierro. Las micrográficas SEM mostraron una morfología de sustrato más suave en comparación con las superficies agrietadas sin modificar, mientras que la metrología de fuerza atómica redujo la rugosidad de 853 nm a 352 nm. Los picos de nitrógeno EDX incrementales y las escaladas del ángulo de contacto de 36° a 72° complementan aún más los fenómenos de adsorción molecular. La notable retención del rendimiento incluso a temperaturas superiores al 50% a 338 K y las interpretaciones mecanicistas detalladas verifican de manera concluyente la candidatura de *Metasequoia* como fuente natural abundante de formulaciones anticorrosivas sostenibles en contextos de uso industrial. La investigación concluyó que el extracto de hojas redujo significativamente la tasa de corrosión del acero Q235, con una concentración óptima de 500 ppm logrando una impresionante eficiencia de inhibición del 83,62%. Las pruebas electroquímicas respaldaron aún más estos hallazgos, mostrando un aumento sustancial en la resistencia de transferencia de carga de 19,7 Ω/cm^2 en la muestra en blanco a 132 Ω/cm^2 con el extracto de 500 ppm, lo que indica una formación de película protectora robusta en la superficie del acero. Haoquan et al. [8] estudió la mezcla sinérgica de extracto de tallos de *Eupatorium Adenophora Spreng/KI* como inhibidor eficaz de la corrosión del acero en H_2SO_4 , con el objetivo de Se examinar el efecto de inhibición sinérgica del extracto de tallos de *Eupatorium Adenophora Spreng* (EASSE) con KI sobre la corrosión del acero laminado en frío (CRS) en un medio de 0,50 MH_2SO_4 , utilizando los métodos mediciones gravimétricas y electroquímicas y caracterizaciones de superficie. Obteniendo resultados indican que la máxima efectividad de inhibición de EASSE/KI alcanza el 93,3% y un valor de coeficiente de sinergia (s) mayor que 1. Además, la isoterma de Langmuir es adecuada para la adsorción de EASSE, KI y su complejo en la superficie de CRS. EASSE, KI individuales y su mezcla sinérgica son todos inhibidores de tipo mixto por "mecanismo de cobertura geométrica". Nyquist demuestra predominantemente un bucle capacitivo dispersivo, y la mezcla EASSE/KI disminuye sinérgicamente la capacitancia de doble capa mientras aumenta la resistencia de transferencia de carga de la interfaz acero/solución. Las mediciones de SEM, AFM y de

humectabilidad confirman que la combinación de EASSE/KI suprime sinérgicamente la corrosión de la superficie de CRS, y la superficie de CRS inhibida sinérgicamente parece tener casi ninguna corrosión con un mayor ángulo de contacto. Según XPS, los compuestos activos que contienen átomos polares de N y O en EASSE se pueden incorporar con KI para adsorberse en la superficie de CRS. Dos tipos de flavonoides y fenilpropanoides en EASSE contribuyen principalmente al efecto inhibitor sinérgico con KI. Concluyendo que el complejo sinérgico de EASSE/KI es un nuevo inhibidor eficiente para el acero en $0,50 \text{ M H}_2\text{SO}_4$, la presencia de KI promueve la adsorción de EASSE y produce sinergismo, EASSE/KI retarda drásticamente las reacciones catódicas y anódicas en comparación con EASSE o KI, la superficie CRS inhibida sinérgicamente presenta poca corrosión con un mayor ángulo de contacto y los flavonoides y fenilpropanoides podrían ser los principales componentes eficaces en EASSE. Mohammadreza et al. [9] realizó un estudio del extracto de hojas de *Falcaria vulgaris* como inhibidor de corrosión ecológico para acero dulce en medios de ácido clorhídrico, con el objetivo de demostrar que la aplicación del extracto de hojas de *Falcaria Vulgaris* (FV) para mitigar la corrosión del acero dulce (MS) en un ambiente de HCl 1 M es efectiva. Los métodos que se emplearon son mediciones electroquímicas, estudio de superficie, espectroscopia de impedancia electroquímica, polarización. Los resultados de los estudios de polarización y EIS indicaron que a una concentración optimizada de FV (800 ppm), el inhibidor demostró una notable resistencia a la polarización de $988,1 \Omega \text{ cm}^2$ y una eficiencia de inhibición del 91,3 % después de 6 h de inmersión. Además, hubo una reducción sustancial en la densidad de la corriente de corrosión en un 92,2 % en comparación con la muestra en blanco. Los análisis de datos de cobertura de superficie y eficiencia de inhibición revelaron que el inhibidor se adsorbió horizontalmente sobre la superficie del metal, siguiendo la isoterma de adsorción de Frumkin. Además, los análisis SEM y AFM mostraron una superficie metálica más lisa con menos productos de corrosión. Mobin et al. [10] Creó un inhibidor de corrosión de L-valina (Val) para la corrosión del acero dulce en solución de HCl al 5%, con el objetivo de estudiar el efecto de la adición de diferentes aditivos (sales, tanto inorgánicas (yoduro de potasio, KI) como orgánicas (benzoato de sodio, SB) y surfactante no

iónico a base de azúcar (N-decil-N'-glucosiletildiamina, SS)). Utilizando los métodos medición de polarización potenciodinámica, medición de espectroscopia de impedancia electroquímica, espectroscopia de infrarrojos por transformada de Fourier y estudios de espectroscopia de energía dispersiva con microscopía electrónica de barrido (SEM) y explorando el efecto de la temperatura (es decir, 30, 40, 50 y 60 °C). Obteniendo los resultados que el L-valina actúa como un excelente inhibidor de la corrosión leve en solución de HCl al 5%. El índice de corrosión aumenta con el aumento de la concentración del inhibidor, alcanzando un valor óptimo a 300 ppm, la temperatura y el período de exposición tienen efectos bastante pronunciados en el rendimiento del inhibidor. La IE de Val y Val + aditivos aumenta con el aumento de la temperatura de 30 °C a 60 °C. Sin embargo, los aumentos en el período de exposición dentro de los primeros tres días dan como resultado aumentos de la IE, pero luego disminuye, la adición de KI, SB y SS aumenta sinérgicamente la IE de Val a las cuatro temperaturas estudiadas, siendo el efecto de SS más pronunciado que el de otros aditivos. El efecto inhibidor de los aditivos en HCl al 5 % se presenta en el siguiente orden: Val + SS > Val + SB > Val + KI > Val + KI, la adsorción de Val sobre la superficie MS, que sigue la isoterma de adsorción de Langmuir, inhibe el proceso de corrosión. La adsorción de Val y Val + aditivos es de tipo mixto, EIS confirma la formación de una capa protectora aislante sobre la superficie del MS en presencia de mezclas de Val y Val + aditivos y los experimentos SEM muestran que la MS inhibida tiene una mejor morfología de superficie que la MS no inhibida. Concluyendo los efectos de los aditivos sobre la acción anticorrosiva de la L-valina (Val) en acero dulce, el yoduro de potasio, el benzoato de sodio y un surfactante no iónico aumentaron la acción de Val, Val solo y Val con mezclas de aditivos actuaron como inhibidores de tipo mixto y los estudios SEM y FTIR confirmaron la adherencia de los inhibidores en el entorno del acero dulce.

Esta investigación propone el estudio efecto anticorrosivo de la goma de sapindus saponaria (GSS), en la capacidad anticorrosiva del acero 1.25Cr-0.5Mo en ácido clorhídrico 1 M a diferentes temperaturas. El objetivo principal de este estudio es el mejoramiento de la

capacidad inhibidora de la corrosión del polisacárido obtenido de la planta Sapindus saponaria que son fácilmente accesible y segura para los humanos, mediante adiciones de yoduro de potasio. El efecto de la temperatura y las concentraciones del yoduro de potasio sobre el efecto inhibidor de la corrosión del polisacárido se analizará mediante un enfoque electroquímico con las técnicas de modulación de frecuencia electroquímica (EFM) y espectroscopia de impedancia electroquímica (EIS).

1.2. Formulación del problema

¿En qué medida el efecto anticorrosivo de la goma de sapindus saponaria mejora la eficiencia inhibidora con diferentes adiciones de yoduro de potasio en el sistema acero 1.25Cr-0.5Mo /HCl 1M, a temperaturas de 25 °C, 45 °C y 65 °C?.

1.3. Hipótesis

Cuando se estabiliza con KI, la goma de la planta Sapindus saponaria inhibe la corrosión del acero 1.25Cr-0.5Mo. Una vez adsorbida, la goma forma una capa protectora que aísla el acero del medio corrosivo de HCl 1M. El recubrimiento producido conserva su función inhibidora de la corrosión y no se degrada con la temperatura.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Determinar el efecto anticorrosivo de la goma de Sapindus saponaria con diferentes adiciones de yoduro de potasio en el sistema acero 1.25Cr-0.5Mo /HCl 1M, a 25 °C, 45 °C y 65 °C.

1.4.2. Objetivos específicos

- Analizar el efecto anticorrosivo de Sapindus saponaria utilizando las técnicas de modulación de frecuencia electroquímica y espectroscopia de impedancia electroquímica a las temperaturas de 25 °C, 45 °C y 65 °C.

- Encontrar las condiciones óptimas de inhibición de la corrosión del acero 1.25Cr-0.5Mo en HCl 1 M y el tipo de isoterma que se ajusta a la absorción.
- Calcular el efecto anticorrosivo de la goma de Sapindus saponaria con diferentes adiciones de ioduro de potasio en el sistema acero 1.25Cr-0.5Mo /HCl 1|M, a 25 °C, 45 °C y 65 °C usando las ecuaciones de Arrhenius.

1.5. Teorías relacionadas al tema

1.5.1. Corrosión

Fernández D. et al. [11] se puede definir como la transformación permanente de un material debido a su interacción con el entorno, que suele (pero no siempre) asociada con un deterioro de las propiedades de un material. Este concepto abarca las respuestas de una gran variedad de materiales. No obstante, la mayoría de los estudios sobre corrosión se enfocan en aceros. La degradación de estos puede manifestarse de diversas formas, y es crucial comprenderlas porque la mejor manera de prevenir la corrosión depende del tipo de corrosión. Dependiendo del mecanismo de corrosión, pueden ser dos tipos:

- a) La corrosión química (oxidación directa o corrosión seca) implica la oxidación de metales a altas temperaturas en un ambiente gaseoso, creando una capa de productos altamente reactivos en la superficie del metal. Es un tipo de corrosión que se produce en ausencia de un electrolito en el que los electrones e iones se mueven mediante una capa compuesta por los productos generados por la reacción y es importante cuando los materiales metálicos operan a altas temperaturas. Los daños causados por este tipo de corrosión son generales.
- b) La corrosión electroquímica (o corrosión húmeda) ocurre debido a celdas electroquímicas en las que el metal se disuelve en la región anódica, donde se oxida. En contraste con la corrosión directa, la corrosión húmeda se produce cuando existe una temperatura moderada y cuando hay electrolito, dado que este es un líquido. En este contexto, la corrosión se presenta en la región anódica del metal porque la región

catódica está protegida ya que aquí es donde tiene lugar la reacción de reducción. Como se trata de un circuito electroquímico, los electrones se mueven en el metal desde el ánodo al cátodo. Debido a la circulación de iones, el circuito se cierra con el electrolito.

1.5.2. Acero 1.25Cr-0.5Mo

Fernández F. et al. [12] este acero se usa comúnmente para aplicaciones de alta temperatura. Es un acero muy resistente al calor, ya que contiene cromo (Cr) y molibdeno (Mo), que son utilizados para crear resistencia y durabilidad para los recipientes a presión al sintetizar productos químicos a altas temperaturas, crear entornos de alta presión y generar electricidad, etc.

1.5.3. Sapindus Saponaria

Alencar et al. [13] las especies de Sapindus saponaria han sido estudiadas como fuente de saponinas para aplicaciones cosméticas por sus propiedades tensioactivas, así como para aplicaciones farmacológicas, debido a que estos compuestos, clasificados como triterpenoides, tienen propiedades antiulcerosas y anticancerígenas. También conocido popularmente como “soldado de jabón”, “mono de jabón”, “mono de jabón”, es una especie que se encuentra frecuentemente en los estados del norte, noreste y medio oeste de Brasil. El fruto es utilizado por la gente para elaborar jabones, baños y para prevenir úlceras, heridas y dermatitis.

1.5.4. Efecto de la concentración

La cantidad óptima del inhibidor de corrosión se determina al añadir el inhibidor al entorno corrosivo y evaluar su efectividad para prevenir la corrosión. Cualquier técnica, ya sea gravimétrica o electroquímica, se puede usar para realizar esta evaluación. A medida que aumenta la concentración del inhibidor de corrosión, el efecto de inhibición de la corrosión aumenta gradualmente hasta alcanzar un valor máximo. La eficiencia de la corrosión se reduce ligeramente. Esta concentración se llama concentración óptima del inhibidor. La

presencia de una capa protectora en la superficie indica que la efectividad de la prevención de la corrosión aumenta gradualmente con el aumento de la cantidad de inhibidor de la corrosión. Esto ofrece una mayor cobertura superficial y disminuye la cantidad de sitios activos disponibles para la corrosión. Si la eficacia inhibidora de la molécula investigada permanece casi sin cambios o sólo disminuye ligeramente al aumentar el tiempo de inmersión, se puede considerar como un inhibidor de corrosión eficaz.

1.5.5. Efecto de la temperatura y los parámetros de activación

La temperatura afecta la forma en que el inhibidor se adhiere en el metal para formar una película protectora. La temperatura puede hacer que las fuerzas de adsorción débiles, como la fisorción (atracción electrostática), desaparezcan. El aumento de la temperatura acelera la cinética de las moléculas, dificultando su adsorción física y provocando la desorción de las moléculas del inhibidor, lo que reduce la eficiencia de la inhibición. Sin embargo, si la eficiencia permanece constante o ligeramente aumenta con la temperatura, esto indica que el inhibidor se adsorbe químicamente y forma fuertes enlaces químicos con la superficie del metal. No obstante, el comportamiento del inhibidor puede ser variado; por ejemplo, inicialmente, un aumento de temperatura puede acelerar la corrosión, pero tras alcanzar un cierto umbral, un mayor incremento de la temperatura puede, de hecho, ayudar a disminuir la velocidad de corrosión, dependiendo de las condiciones experimentales.

Como se indica a continuación, las ecuaciones de Arrhenius y del estado de transición pueden calcularse para determinar cómo varía la velocidad de corrosión en función de la temperatura:

$$V_{corr} = A \exp\left(\frac{-E_a}{RT}\right) \quad (1.1)$$

$$V_{corr} = \frac{RT}{Nh} \exp\left(\frac{\Delta S^*}{R}\right) \exp\left(-\frac{\Delta H^*}{RT}\right) \quad (1.2)$$

E_a y A : Energía de activación y factor pre-exponencial de Arrhenius

N y h : Número de Avogadro y constante de Plank

ΔS^* y ΔH^* : La entropía y entalpía de activación, respectivamente.

Al evaluar estas ecuaciones, se derivan los valores de E_a , ΔS^* , ΔH^* . Cuando hay un inhibidor presente, un aumento en E_a indica un incremento en el espesor de la doble capa eléctrica, lo cual dificulta el transporte de carga y eleva la barrera de energía de activación, promoviendo así la corrosión. Este fenómeno se debe a la fisisorción del inhibidor sobre el metal. En contraste, un E_a más bajo en presencia de un inhibidor sugiere una adsorción química. Debido a que las moléculas de agua previamente adsorbidas en la superficie del acero compiten por la adsorción y su eliminación también requiere una cierta cantidad de energía de activación, el tipo de adsorción no puede determinarse únicamente por la tendencia observada en el valor de E_a .

Un valor ΔH^* positivo indica que el metal se disuelve más lentamente y que el inhibidor aumenta la barrera de energía del proceso corrosivo. De igual manera, el aumento en el valor de ΔS^* en presencia de inhibidores puede deberse a una mayor estocasticidad en el movimiento de los reactivos a los complejos activados debido a la adsorción de inhibidores en la superficie del metal. Como resultado, el valor de ΔS^* aumenta como resultado de un aumento en la entropía del solvente.

1.5.6. Parámetros de adsorción

Las isothermas de adsorción son útiles para entender las interacciones entre las moléculas orgánicas y la superficie del metal. La constante de equilibrio de adsorción se determina seleccionando la isoterma de adsorción adecuada y ajustando los valores experimentales del grado de cobertura y la concentración del inhibidor. Algunas de las isothermas de adsorción típicas utilizadas en el estudio de la corrosión del acero incluyen:

1.5.6.1. Isoterma de Langmuir:

$$\frac{C}{\theta} = \frac{1}{K_{ads}} + C \quad (1.3)$$

K_{ads} : Constante de equilibrio de adsorción

C: Concentración de inhibidor

θ : grado de cobertura de la superficie

1.5.6.2. Isoterma de Temkin:

$$\exp(-2a\theta) = K_{ads}C \quad (1.4)$$

a: Parámetro de interacción adsorbente- superficie.

1.5.6.3. Isoterma de Frumkin:

$$KC = \frac{\theta}{1 - \theta} e^{-f\theta} \quad (1.5)$$

f: Parámetro de interacción lateral entre las moléculas adsorbidas del inhibidor. $f > 0$ atracción y $f < 0$ repulsión.

1.5.6.4. Isoterma de Freundlich:

$$\theta = KC^{1/n} \quad (1.6)$$

1.5.6.5. Isoterma de Langmuir - Freundlich:

$$\theta = \frac{(KC)^h}{1 + (KC)^h} \quad (1.7)$$

h: Parámetro de no homogeneidad

1.5.6.6. Isoterma de El-Awady:

$$\log \frac{\theta}{1 - \theta} = \log K_{ads} + y \log C \quad (1.8)$$

1.5.6.7. Isoterma de Flory - Huggins:

$$\frac{\theta}{x(1 - \theta)^x} = k_{ads}C \quad (1.9)$$

II. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

2.1. Procedimiento experimental

Obtención de la goma de la semilla de Sapindus Saponaria

Se realizará una recolección aleatoria de semillas maduras del arbusto Sapindus Saponaria. Tras la adquisición de las semillas intactas y bien conservadas, se empleará un proceso de secado natural por un tiempo de 15 días. Una vez que las semillas pasaron por el proceso de secado, se procederá al retiro manual de las cáscaras. El proceso de extracción implicará la obtención del extracto de la cáscara de la semilla de la planta Sapindus Saponaria (SS). Esto se logrará sometiéndolo con agua bidestilada a una temperatura de 100 °C, manteniendo una proporción agua-semilla de 25:1 (ml/g). El procedimiento de extracción se llevará a cabo durante una hora, manteniendo un estado constante de agitación durante todo el proceso. Después de este procedimiento, la solución contenida en el extracto se separa mediante filtración al vacío. Las semillas que quedan en el papel de filtro se reprocessan durante el primer tratamiento. Para separar la solución filtrada del resto sin filtrar se realizó un proceso de centrifugación durante 10 minutos a una aceleración de giro de 1550 revoluciones por minuto (RPM). La solución centrifugada se evapora en una estufa a 80 °C. El extracto seco de Sapindus saponaria se pulverizó utilizando un molino de anillos para producir un polvo fino de extracto de Sapindus saponaria.

Ensayos electroquímicos

Se realizaron en una celda de vidrio de 150 cm³ de capacidad con tres electrodos. El electrodo de trabajo del acero 1.25Cr-0.5Mo en forma de cilindro. El electrodo de referencia de calomel saturado. El contraelectrodo de varillas de grafito. La celda también fue equipada con un termómetro para medir la temperatura. Los estudios se realizaron en soluciones aireadas de ácido clorhídrico 1 M. Las temperaturas evaluadas fueron de 25°C, 45°C y 65°C con dosis de 0.4 g/L de GSS y cantidades variables de KI.

Los ensayos de espectroscopia de impedancia electroquímica (EIS), se realizaron con señales de CA de 10 mV de amplitud y con pasos de frecuencia que van desde 10,000 Hz a 0.1 Hz. Los resultados de impedancia obtenidos en cada ensayo fueron ajustados a un circuito de Randles modificado con un elemento de fase constante (CPE), mostrado en la Fig. 2.3, utilizando el software EIS 3000 y, con los cuales se obtuvo los parámetros electroquímicos de la técnica.

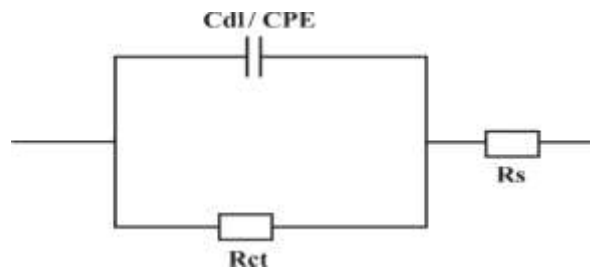


Figura 2.1. Circuito eléctrico equivalente

Para los ensayos de modulación de frecuencia electroquímica (EFM), la frecuencia base se fijó en 1 Hz, y se emplearon las otras dos frecuencias, 2 y 5 Hz. Utilizando el software EFM 140, se obtuvieron los parámetros electroquímicos de la técnica.

Antes de comenzar a realizar las mediciones, el electrodo de trabajo del acero 1.25Cr-0.5Mo se sumergió en las soluciones ácidas por un tiempo de 30 min. Esto aseguró que el electrodo de trabajo esté en una condición estacionaria. En el potenciostato Gamry 3000 es donde se realizaron todos y cada uno de los experimentos electroquímicos.

Todas las mediciones electroquímicas se desarrollaron según el procedimiento estándar ASTM G3-99, empleando el potenciostato Gamry/galvanostato/ZRA (Referencia 3000) efectuado por una computadora personal. Las aplicaciones de Gamry incluyen el software EIS300 para las mediciones EIS y el paquete de software Echem Analyst 6.0 para el ajuste de datos.

III. RESULTADOS

3.1. Efecto de la inhibición de la corrosión de la goma de Sapindus saponaria y yoduro de potasio (GSS + KI)

Técnica de modulación de frecuencia electroquímica (EFM)

Al permitir la adquisición de datos de velocidad de corrosión para un proceso corrosivo sin la necesidad de un conocimiento previo de las constantes de Tafel, la técnica EFM es considerada una prueba eficiente y rápida, asimismo una técnica no destructiva. La validación de la medición del enfoque EFM se estudia internamente y tomamos nota de la importante relevancia de las consideraciones de los factores de causalidad en este contexto. El metal en corrosión se somete a una aplicación simultánea de una pequeña señal de corriente alterna (CA) que se compone de dos ondas sinusoidales que tienen frecuencias distintas. Un espectro de frecuencia es la respuesta e incluye las frecuencias de entrada, así como la suma, la diferencia y los múltiplos de las frecuencias de entrada. La Figura 3.1 ilustra los espectros de intermodulación que se obtuvieron de esta investigación.

Los parámetros de corrosión, incluida la eficiencia de inhibición (η_{EFM}), los factores de causalidad (CF-2, CF-3), la densidad de corriente de corrosión ($\mu\text{A cm}^{-2}$) y las constantes de Tafel, que están representadas por los símbolos β_a y β_c , se obtuvieron cuando 1.25 El acero Cr-0.5M fue sometido a procesos corrosivos en ácido clorhídrico a una concentración de 1 mol por litro, con adiciones de GSS + KI. Estos parámetros se obtuvieron a temperaturas de 25 °C, 45 °C y 65 °C. Los resultados de estos procesos se presentan en la Tabla 3.1. Como se muestra en la Tabla 3.1, los valores del factor de causalidad CF-2 están muy cerca del valor de 2, y el factor de causalidad CF-3 en sí está bastante cerca del valor de 3. Una inferencia de una relación causal entre la señal de perturbación y la señal de respuesta se produce cuando los factores de causalidad obtenidos son prácticamente idénticos a los valores teóricos. Este es el caso cuando se supone que los valores son exactos. Al aumentar la concentración de yoduro de potasio en presencia de 0.4 g/L de GSS, podemos notar una

reducción en la velocidad de corrosión del acero 1.25Cr-0.5Mo en 1 mol por litro de ácido clorhídrico. Esto se demuestra en la Tabla 3.3.

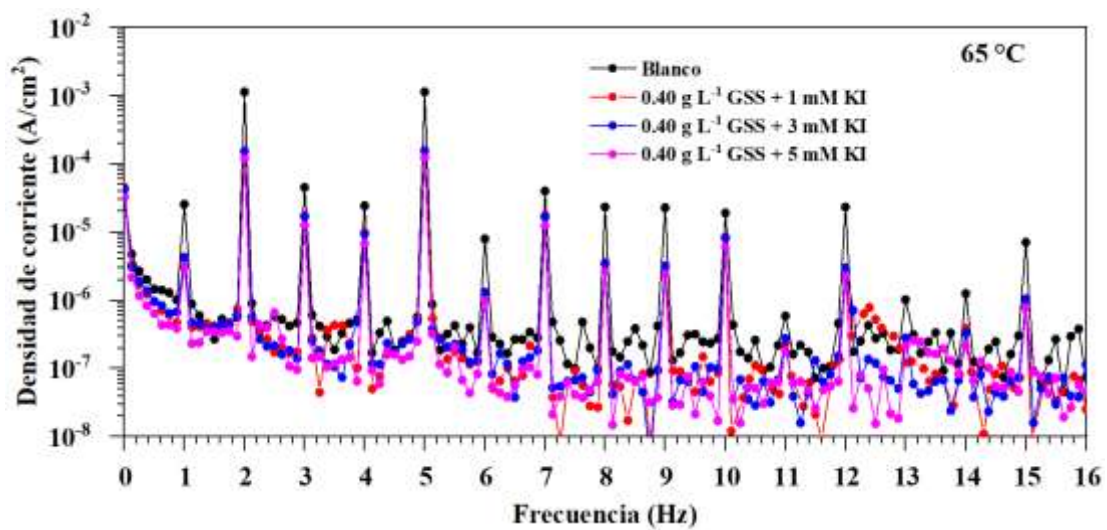
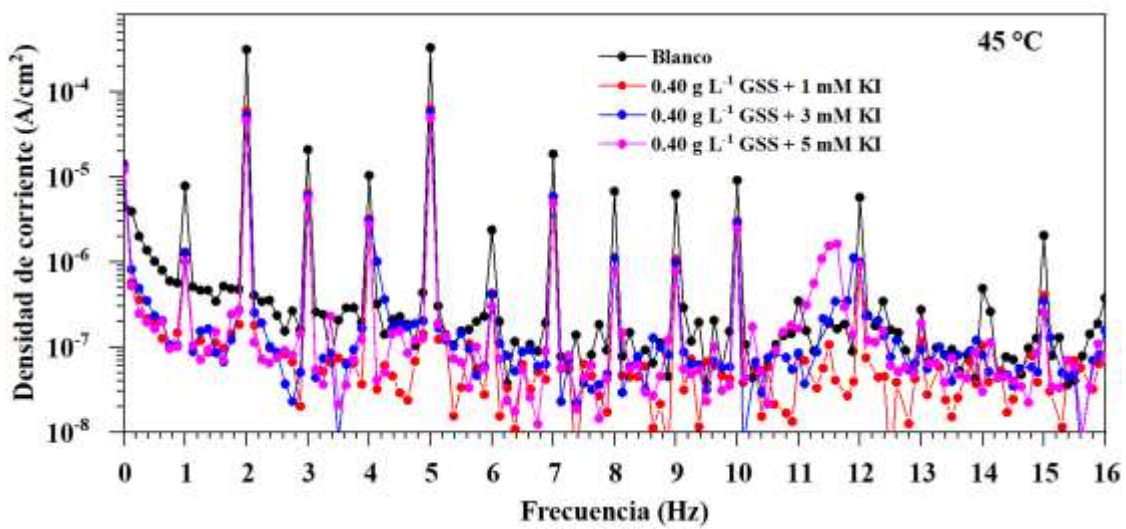
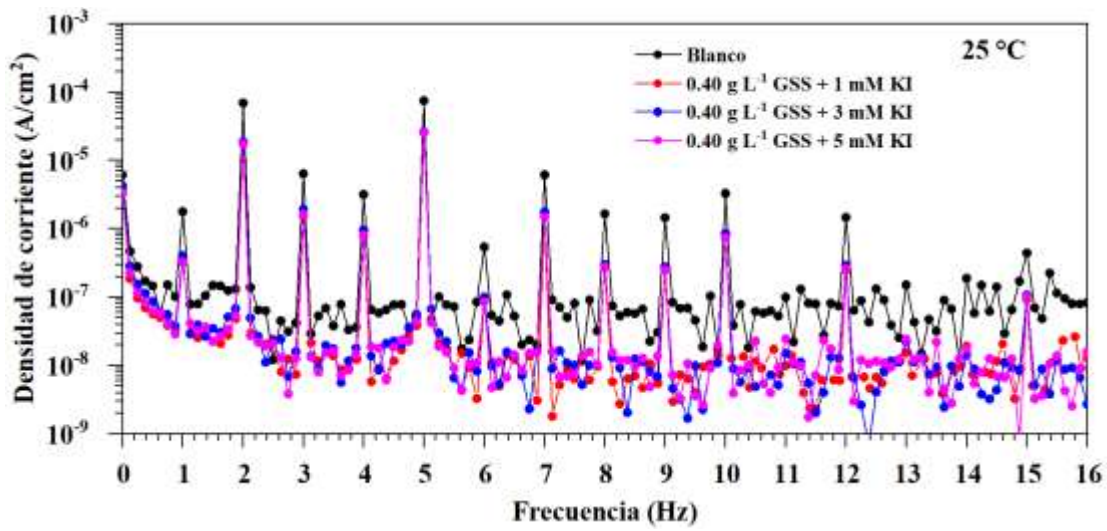


Figura 3.1. Resultados de los espectros de intermodulación para el acero 1.25Cr-0.25Mo en el sistema HCl 1 M – GSS + KI.

Tabla 3.1. Datos electroquímicos obtenidos desde los gráficos de intermodulación para el acero 1.25Cr-0.25Mo en HCl 1 M – GSS + KI.

T (°C)	GSS (g L ⁻¹)	KI (mM)	i_{corr}^{EFM} (mA cm ⁻²)	b_a (mV dec ⁻¹)	b_c (mV dec ⁻¹)	CF-2	CF-3	η_{EFM} (%)
25	Blanco		85.8 ± 7.1	68.7 ± 1.5	107.3 ± 2.8	1.95 ± 0.02	3.19 ± 0.39	
	0.40		39.5 ± 0.2	83.7 ± 0.6	141.1 ± 1.5	2.02 ± 0.03	3.48 ± 0.47	53.9 ± 0.2
	0.40	1.00	37.5 ± 0.5	80.5 ± 2.3	138.2 ± 4.4	2.02 ± 0.02	3.45 ± 0.36	56.2 ± 0.6
	0.40	3.00	37.3 ± 2.0	84.7 ± 2.2	142.6 ± 1.0	2.02 ± 0.02	3.02 ± 0.30	56.5 ± 2.4
	0.40	5.00	36.1 ± 2.5	89.4 ± 1.1	147.1 ± 3.6	1.98 ± 0.02	3.08 ± 0.09	57.9 ± 3.0
45	Blanco		297.4 ± 18.3	71.0 ± 0.9	95.7 ± 2.3	2.01 ± 0.01	3.16 ± 0.14	
	0.40		102.6 ± 7.6	86.8 ± 9.0	111.3 ± 5.4	2.05 ± 0.13	3.14 ± 0.22	65.5 ± 2.6
	0.40	1.00	82.9 ± 3.1	71.0 ± 4.1	138.7 ± 5.2	1.96 ± 0.04	3.25 ± 0.65	72.1 ± 1.1

	0.40	3.00	74.8 ± 2.7	70.5 ± 1.9	141.3 ± 9.7	2.00 ± 0.03	3.20 ± 0.28	74.8 ± 0.9
	0.40	5.00	72.7 ± 1.7	73.6 ± 3.7	134.7 ± 11.2	1.90 ± 0.05	3.02 ± 0.34	75.6 ± 0.6
65	Blanco		1345.1 ± 49.1	74.9 ± 1.6	89.8 ± 1.1	1.99 ± 0.03	3.07 ± 0.07	
	0.40		332.1 ± 8.5	84.3 ± 8.0	105.9 ± 9.6	2.62 ± 0.78	3.14 ± 0.11	75.3 ± 0.6
	0.40	1.00	201.5 ± 4.3	72.5 ± 4.9	122.0 ± 8.2	1.92 ± 0.02	3.01 ± 0.32	85.0 ± 0.3
	0.40	3.00	193.4 ± 1.6	66.5 ± 0.8	123.0 ± 3.6	1.91 ± 0.00	3.00 ± 0.12	85.6 ± 0.1
	0.40	5.00	165.0 ± 1.9	69.3 ± 0.6	123.7 ± 1.4	1.93 ± 0.01	3.09 ± 0.12	87.7 ± 0.1

A modo de ejemplo, cuando la temperatura se fijó en 65 grados Celsius, la densidad de la corrosión corrosiva del metal 1.25Cr-0.5Mo en una solución de ácido clorhídrico de 1 mol por litro fue de 1.345×10^{-3} A.cm⁻². De manera similar, la densidad del mismo sistema fue de 1.65×10^{-4} A.cm⁻² cuando se le agregaron 5 mM de KI además de 0.4 g/l de GSS durante todo el experimento. Esto demuestra que el comportamiento de prevención de la corrosión del yoduro de potasio y el buen impacto de combinar ambos inhibidores, como se muestra en la tabla 3.1.

Técnica de espectroscopia de impedancia electroquímica (EIS)

Se realizó una evaluación para determinar la corrosividad del acero 1.25Cr-0.5Mo en ácido clorhídrico con una concentración de 1 mol por litro. Esta evaluación se realizó mediante

espectroscopia de impedancia electroquímica (EIS) e incluyó inhibidores como GSS y KI. La Figura 3.2 muestra los gráficos de Nyquist obtenidos del análisis de espectroscopía de impedancia electroquímica del proceso corrosivo bajo investigación. El acero 1.25Cr-0.5Mo sumergido en la solución de HCl (blanco) presenta un arco capacitivo a las tres temperaturas ensayadas, lo que indica un comportamiento que se rige por la activación. El tamaño del arco capacitivo se expande según la concentración de KI en la solución de HCl cuando está presente 0.4 g/L de GSS. Tras la introducción de varias dosis de la combinación GSS + KI, los diagramas de Nyquist conservan consistentemente formas comparables. Esto sugiere que el proceso corrosivo permanece sin cambios en presencia de inhibidores y continúa atribuyéndose a la activación. Al comparar la adición individual de GSS, la adición de una mezcla de GSS + KI tiene un impacto inhibitor notable sobre la corrosión de 1.25Cr-0.5Mo. Esto es evidente por el aumento considerable en el diámetro del bucle capacitivo como se muestra en la Figura 3.2. Los parámetros electroquímicos R_s , R_{ct} y C_{dl} se determinaron utilizando el modelo de circuito equivalente que se muestra en la Figura 2.2. Estos valores representan la resistencia de la solución, la resistencia de transferencia de carga y la capacitancia de la doble capa eléctrica, respectivamente. La impedancia de la doble capa eléctrica del CPE (ZCPE) se determina mediante la siguiente ecuación:

$$Z_{CPE} = Y_o^{-1}(jw)^n \quad (3.1)$$

Y_o ,: Magnitud del CPE

j : Unidad imaginaria

w : frecuencia angular.

n : Constante referido a la inhomogeneidad de la superficie; e indica resistencia ($n=0$) o capacitancia ($n=1$)

Los resultados recopilados se presentan en la Tabla 3.2. La eficacia de inhibición (η_{EIS}) de los inhibidores de GSS y GSS+KI se determina de la siguiente manera:

$$\eta_{EIS} = \frac{R_{ct} - R_{ct}^o}{R_{ct}} \times 100 \quad (3.2)$$

R_{ct} : Resistencia a la transferencia de carga en presencia del inhibidor de corrosión.

R_{ct}^0 : Resistencia de transferencia de carga en ausencia del inhibidor de corrosión.

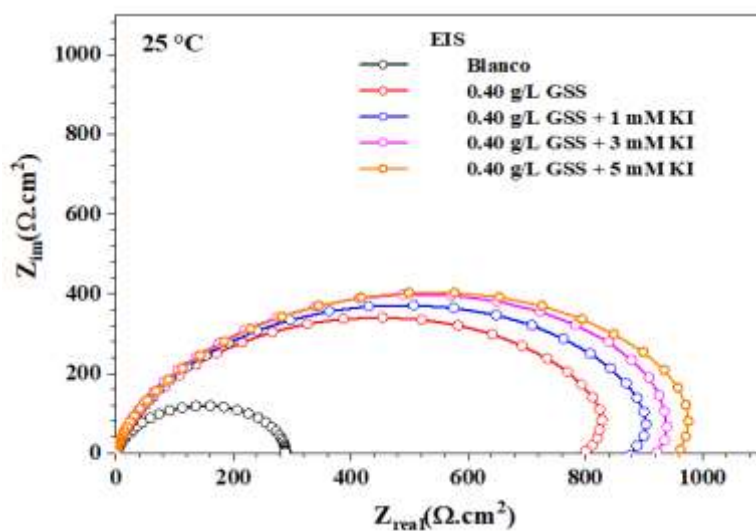
Según los datos de la Tabla 3.2, el valor R_{ct} a 65 °C es $119.7 \pm 2.7 \Omega \text{ cm}^2$ cuando se utiliza una concentración de 0.4 g/L de GSS + 5 mM de KI. Este resultado es mucho mayor que el valor R_{ct} de $63.1 \pm 5.0 \Omega \text{ cm}^2$ cuando se utiliza una concentración de 0.4 g/L de GSS. Por lo tanto, el impacto supresor de GSS + KI ($88.4 \pm 0.3\%$) supera sustancialmente al de GSS ($78.0 \pm 1.8 \%$). Esto resalta la necesidad de incluir iones I^- en la solución corrosiva para mejorar la inhibición de la corrosión.

El valor de capacitancia (C_{dl}) a una temperatura de 25 °C para una concentración de 0.4 gramo por litro de GSS es de 62.9 ± 4.0 microfaradios por centímetro cuadrado, mientras que con una concentración de 0.4 gramo por litro de GSS + 5 milimolar de KI es de 37.0 ± 2.2 microfaradios por centímetro cuadrado. Este cambio puede ser responsable de la disminución en la capacitancia de la interfaz entre el electrodo y el hcl. Debido a la interacción entre las moléculas de GSS y la superficie del acero, las moléculas de H_2O son sustituidas gradualmente por moléculas de GSS en la interfaz entre el acero y la solución. Esto conduce a una reducción de la constante dieléctrica local y a la formación de una capa protectora más gruesa sobre la superficie del acero.

Tabla 3.2. Resultados de los ensayos de impedancia electroquímica durante el proceso corrosivo del acero 1.25Cr-0.25Mo en HCl 1 M – GSS + KI.

T (°C)	GSS (g L ⁻¹)	KI (mM)	R_{ct} ($\Omega \text{ cm}^2$)	R_s ($\Omega \text{ cm}^2$)	C_{dl} ($\mu\text{F cm}^{-2}$)	v_{corr}^{EIS} (mm año ⁻¹)	η_{EIS} (%)
25	Blanco		278.0 ± 32.3	0.15 ± 0.06	127.4 ± 13.7	0.77 ± 0.10	-
	0.40		757.7 ± 32.7	0.32 ± 0.04	62.9 ± 4.0	0.35 ± 0.02	63.3 ± 1.6
	0.40	1.00	845.9 ± 32.5	0.29 ± 0.09	56.9 ± 2.6	0.30 ± 0.01	67.1 ± 1.3
	0.40	3.00	963.7 ± 31.1	0.34 ± 0.04	42.3 ± 6.5	0.28 ± 0.01	71.1 ± 0.9

	0.40	5.00	1049.5 ± 38.6	0.26 ± 0.05	37.0 ± 2.2	0.27 ± 0.01	73.5 ± 1.0
45	Blanco		64.3 ± 5.2	0.29 ± 0.01	179.4 ± 4.2	3.21 ± 0.27	-
	0.40		233.7 ± 14.4	0.13 ± 0.05	88.0 ± 4.5	1.06 ± 0.07	72.4 ± 1.7
	0.40	1.00	246.6 ± 6.4	0.22 ± 0.05	61.4 ± 2.5	0.96 ± 0.02	73.9 ± 0.7
	0.40	3.00	302.3 ± 6.9	0.25 ± 0.03	48.7 ± 3.9	0.78 ± 0.02	78.7 ± 0.5
	0.40	5.00	320.4 ± 31.4	0.24 ± 0.06	42.5 ± 2.2	0.75 ± 0.07	79.7 ± 2.0
65	Blanco		13.8 ± 0.4	0.28 ± 0.00	366.0 ± 3.8	14.88 ± 0.41	-
	0.40		63.1 ± 5.0	0.26 ± 0.01	112.6 ± 3.2	3.77 ± 0.03	78.0 ± 1.8
	0.40	1.00	94.6 ± 6.8	0.22 ± 0.03	79.9 ± 3.7	2.43 ± 0.17	85.3 ± 1.0
	0.40	3.00	101.4 ± 10.1	0.20 ± 0.04	71.7 ± 4.1	2.16 ± 0.20	86.3 ± 0.2
	0.40	5.00	119.7 ± 2.7	0.17 ± 0.00	52.7 ± 0.3	1.87 ± 0.04	88.4 ± 0.3



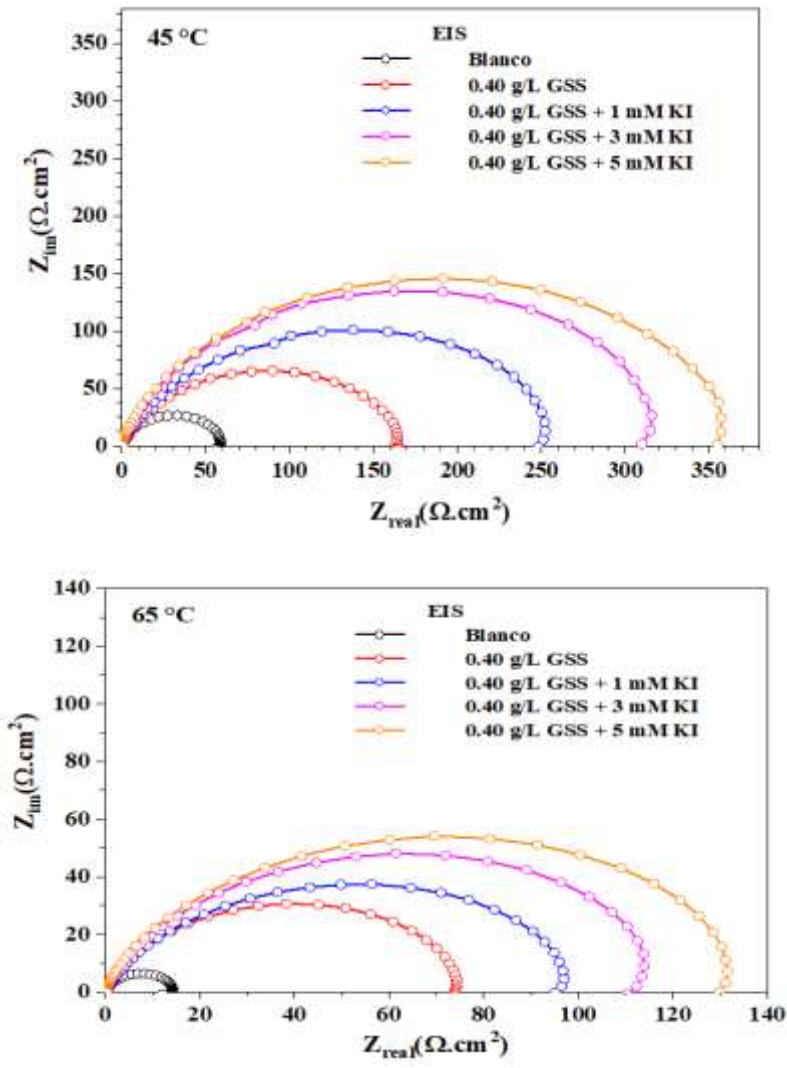


Figura 3.2. Gráficos de impedancia para el acero 1.25Cr-0.25Mo en el sistema HCl 1 M – GSS + KI.

Isotermas de adsorción

Para determinar el "efecto inhibitor" de los inhibidores, que se refiere a su capacidad de adsorberse sobre superficies metálicas, la isoterma de adsorción se utiliza frecuentemente como herramienta de medición. Utilizando las conocidas ecuaciones de adsorción isotérmica, que pueden investigarse en condiciones de equilibrio, es posible establecer una conexión entre el nivel de cobertura de la superficie y la concentración de inhibidor que se alcanza a una temperatura que permanece constante. Las isotermas de Langmuir, Freundlich, Temkin, Frumkin y Flory-Huggins fueron los cinco modelos empíricos de isotermas de adsorción que

se utilizaron en esta investigación para investigar el proceso de adsorción de la combinación GSS + KI. Los resultados del ajuste se muestran en la Figura 3.3. Estos hallazgos se basan en los datos del grado de cobertura frente a la concentración de GSS + KI a temperaturas de 25 °C, 45 °C y 65 °C. Estos resultados se adquirieron utilizando el enfoque de modulación de frecuencia electroquímica con los cinco modelos de adsorción establecidos anteriormente. Cuando se toma en consideración el grado de correlación R^2 , queda claro que el modelo de isoterma de adsorción de Langmuir proporciona la representación más precisa de los datos recopilados mediante el método de modulación de frecuencia electroquímica. De manera similar, los datos experimentales recopilados mediante el enfoque espectroscopia de impedancia electroquímica también se ajustaron al modelo de isoterma de adsorción de Langmuir. La linealidad de los datos presentado en la Figura 3.4 es una ilustración del ajuste de la isoterma de Langmuir. Como resultado, el valor de K_{ads} puede determinarse interceptando las gráficas de C/θ vs C que se muestran en las Figuras 3.3 y 3.4.

Las siguientes ecuaciones se pueden utilizar para estimar los parámetros de adsorción termodinámica, siempre que se conozca el valor de K_{ads} .

$$\Delta G_{ads}^{\circ} = -RT \ln(55.5 K_{ads}) \quad (3.3)$$

$$\ln(K_{ads}) = \left(-\frac{\Delta H_{ads}^{\circ}}{RT} \right) + \text{constante} \quad (3.4)$$

$$\Delta S_{ads}^{\circ} = \left(\frac{\Delta H_{ads}^{\circ} - \Delta G_{ads}^{\circ}}{T} \right) \quad (3.5)$$

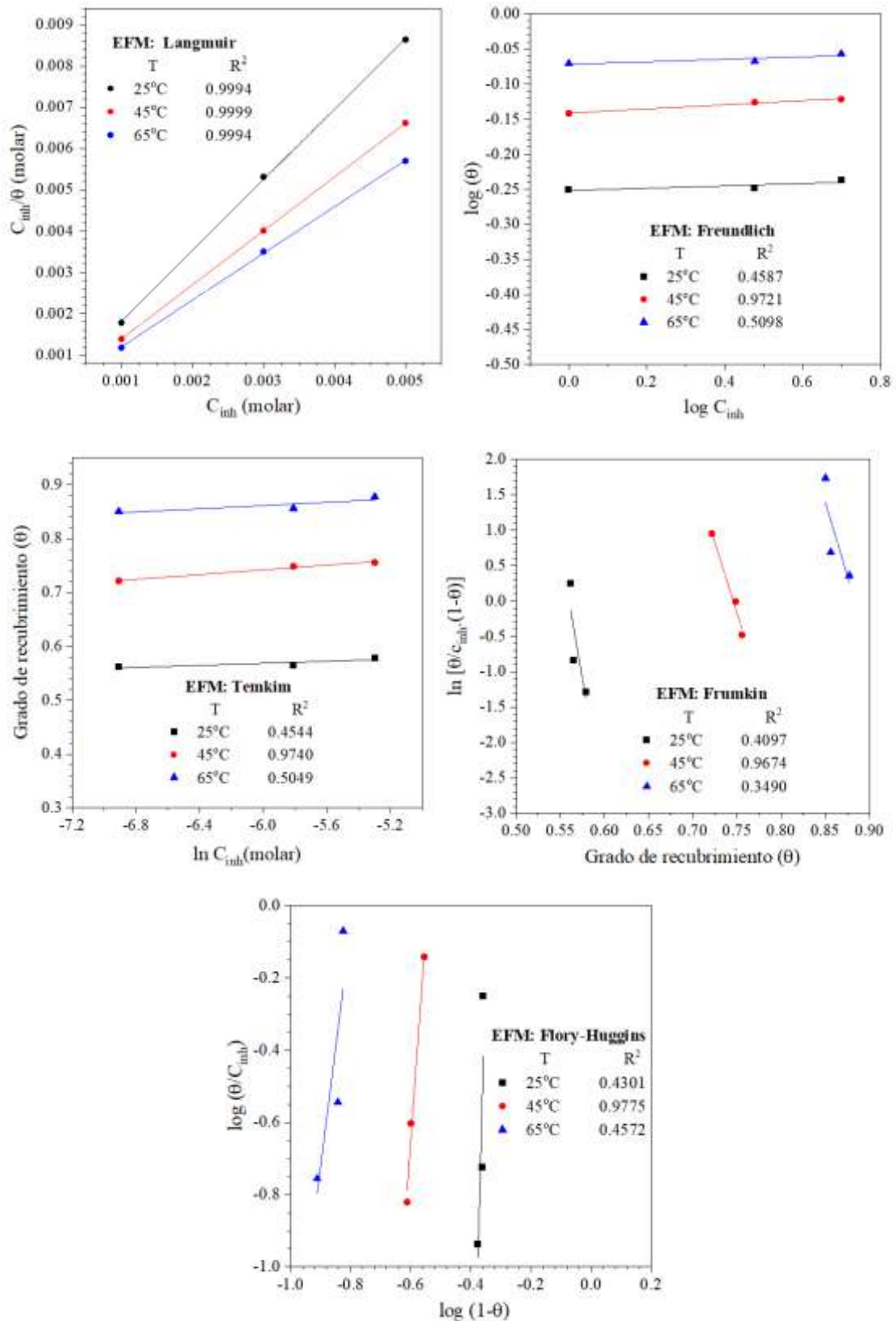


Figura 3.3. Resultados del ajuste basados en los ensayos EFM con los diferentes modelos de adsorción.

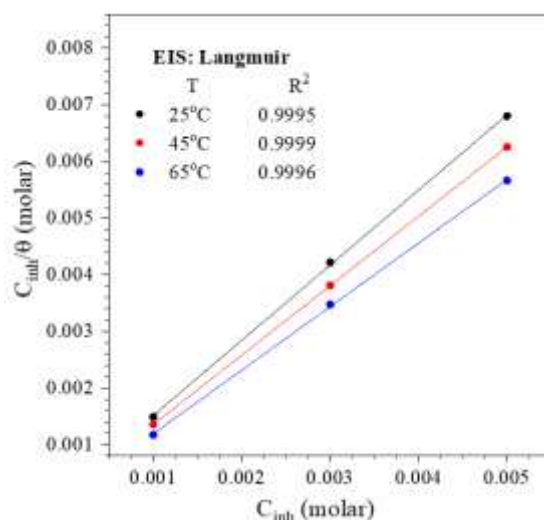


Figura 3.4. Gráficos de adsorción isoterma Langmuir para el acero 1.25Cr-0.25Mo en el sistema HCl 1 M – GSS + KI., según técnica EIS.

Los resultados se muestran en la Tabla 3.3. La estabilidad de la capa adsorbida sobre la superficie del acero y el proceso de adsorción espontánea se confirman mediante el valor negativo de ΔG_{ads}^0 . Los valores de ΔG_{ads}^0 superiores a -40 kJ mol^{-1} suelen estar relacionados con la quimisorción, mientras que los valores de hasta -20 kJ mol^{-1} suelen estar relacionados con la fisorción.

Tabla 3.3. Parámetros de adsorción para el acero 1.25Cr-0.25Mo en el sistema HCl 1 M – GSS + KI., según técnica EFM y EIS.

Técnic a	K_{ads} (mol^{-1})			ΔG_{ads}^0 (kJ/mol)			ΔH_{ads}^0 (kJ/mol)	ΔS_{ads}^0 (J/mol)		
	25 °C	45 °C	65 °C	25 °C	45° C	65 °C		25 °C	45°C	65 °C
EFM	9959.	12336.	14826.	-	-	-	8.33	137.8	137.9	137.8
	6	5	0	32. 8	35.5	38. 3		9	1	9

EIS	5404. 5	7738.5	14878. 9	- 31. 2	- 34.3	- 38. 3	11.05	141.9 2	142.5 7	145.9 5
------------	------------	--------	-------------	---------------	-----------	---------------	-------	------------	------------	------------

Los valores de ΔG_{ads}^o obtenidos indican que el efecto inhibitor mediante la adsorción física fue menor, mientras que la adsorción química fue mayor. Esto permite la posibilidad de adsorción en modo mixto. Se puede notar que cuando la temperatura aumenta, el valor de ΔG_{ads}^o disminuye, lo cual sugiere una mejora en el proceso de adsorción debido al aumento de la temperatura. Esto se explica por el mecanismo químico que favorece la adsorción preferencial de la mezcla. La naturaleza endotérmica del proceso de adsorción se destaca por el valor positivo de ΔH_{ads}^o , lo que sugiere además que el mecanismo de quimisorción es más dominante que el físico. Por otro lado, el aumento del desorden causado por la sustitución de la molécula inhibitora por una molécula de agua en la superficie del metal se indica mediante el signo positivo de ΔS_{ads}^o .

Efecto de la temperatura

Según los resultados de los experimentos realizados con la técnica EIS, el proceso corrosivo se regula mediante la transferencia de carga cuando hay inhibitor como cuando no lo hay. Una temperatura más alta provoca un aumento del proceso corrosivo, según este mecanismo. La dependencia de la velocidad de corrosión (C_R) con la temperatura absoluta (T) se demuestra mediante la ecuación de Arrhenius, que dice lo siguiente:

$$C_R = A \exp \left[-\frac{E_a}{RT} \right] \quad (3.6)$$

Como se ve en la Figura 3.5, se utilizó la ecuación de Arrhenius para ajustar los datos de velocidad de corrosión recopilados mediante EIS y EFM para cada temperatura y dosis de inhibitor.

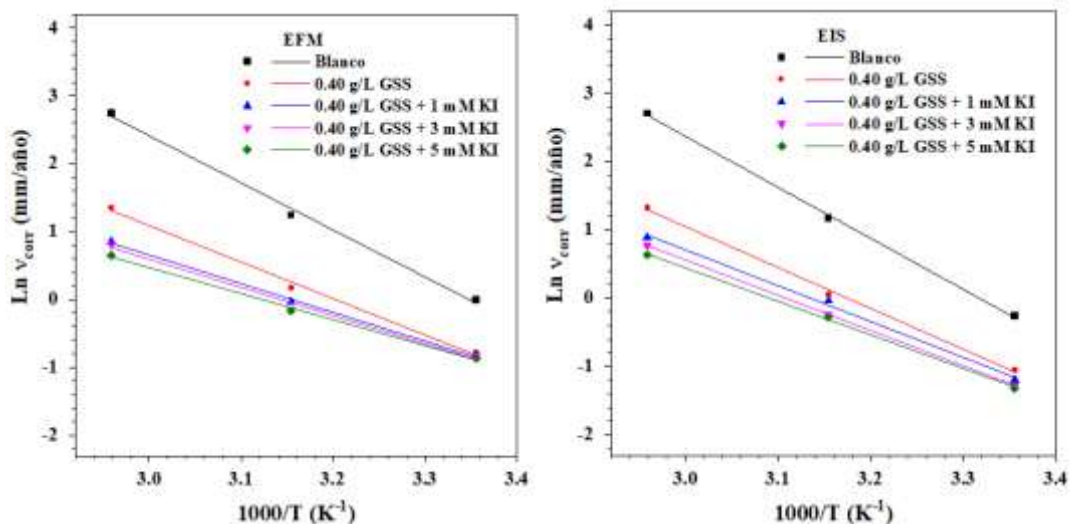


Figura 3.5. Gráficos de activación de Arrhenius para el acero 1.25Cr-0.25Mo en el sistema [HCl 1 M - OFI – KI], según técnica empleada.

La Tabla 3.5 muestra los valores de energía de activación (E_a) que se derivaron de estos cambios al considerar las pendientes de las líneas ($-E_a/R$). Un supuesto mecanismo de adsorción de inhibidores es sugerido por la fluctuación de los valores de E_a . En una solución de ácido clorhídrico con una concentración de 1 mol por litro y $0,4 \text{ g L}^{-1}$ de GSS, la energía de activación, E_a , disminuye a medida que aumenta la dosis de KI. Esto apunta a que el acero 1.25Cr-0.5Mo adsorbe moléculas de GSS e iones I, lo cual es un sello distintivo de los procesos de quimisorción.

Tabla 3.4. Parámetros de cinéticos para el acero 1.25Cr-0.25Mo en el sistema [HCl 1 M - OFI – KI], según técnica empleada.

GSS (g L^{-1})	KI (mM)	Técnica	
		EFM	EIS
		E_a (kJ/mol)	
Blanco		57.63	62.07
0.40		44.58	49.72
0.40	1.0	35.16	43.59
0.40	3.0	34.46	42.92
0.40	5.0	31.83	40.75

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. DISCUSION

Los inhibidores de corrosión derivados de materiales naturales se están volviendo populares entre las empresas modernas debido a su preocupación por el medio ambiente. La eficacia de estos inhibidores respetuosos con el medio ambiente sigue siendo un tema de investigación activa. Por lo que se cree que este trabajo servirá para futuras investigaciones.

4.2. CONCLUSIONES

Este estudio examinó la eficacia de combinar la goma de la planta *Sapindus saponaria* y el yoduro de potasio (GSS + KI) como inhibidores de la corrosión para acero 1.25Cr-0.5Mo en una solución de ácido clorhídrico 1 molar. Las conclusiones extraídas de la investigación electroquímica utilizando las técnicas de modulación de frecuencia electroquímica y espectroscopia de impedancia electroquímica son las siguientes:

- El estudio encontró que la eficacia de inhibición del sistema inhibidor GSS + KI mejoraba a medida que aumentaban tanto la temperatura como la dosis de KI.
- Dentro del sistema GSS + KI, cuando aumenta la concentración de KI, la energía de activación se reduce, lo que proporciona una evidencia de la adsorción química del inhibidor.
- La incorporación de yoduro de potasio (KI) a la solución corrosiva, en combinación con GSS, mejora la efectividad de la inhibición de la corrosión mediante un mecanismo sinérgico.

V. Referencias

- [1] . N. Aniki , L. Olasunkanmi, A. Adekunle, L. Durosinmi, S. Durodola, O. Wahab y E. Ebenso, «Investigating the synergism of some hydrazinecarboxamides and iodide ions as corrosion inhibitor formulations for mild steel in hydrochloric Acid: Experimental and computational studies,» 1 Diciembre 2021. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167732221023254>.
- [2] D. Azzouni, R. Haldhar, R. Salim, E. Ech-chihbi, S. Alaoui Mrani, Z. Rais, M. Azam, S. Cheol Kim y T. Mustafá, «Adsorption treatment residues as novel ecological corrosion inhibitors applied to mild steel in a molar hydrochloric acid medium: Experimental studies and surface characterization,» Junio 2023. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352492823008723>.
- [3] A. Zakeri, E. Bahmani y A. Rouh Aghdam, «Plant extracts as sustainable and green corrosion inhibitors for protection of ferrous metals in corrosive media: A mini review,» Marzo 2022. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667266922000159>.
- [4] I. Onyeachu, I. Bassey Obot y E. Oguzie, «Anticorrosion performance of 1-benzylimidazole and synergistic iodide additives on C1018 carbon steel in 15% HCl solution,» Agosto 2023. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235249282301098X#bib29>.
- [5] S. Chen, S. Chen, B. Zhu, C. Huang y W. Li, «Magnolia grandiflora leaves extract as a novel environmentally friendly inhibitor for Q235 steel corrosion in 1 M HCl: Combining experimental and theoretical researches,» 1 Agosto 2020. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167732220301422>.

- [6] S. Wan, T. Zhang, H. Chen, B. Liao y X. Guo, «Kapok leaves extract and synergistic iodide as novel effective corrosion inhibitors for Q235 carbon steel in H₂SO₄ medium,» Abril 2022. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669022001327>.
- [7] S. Xiong, «Exploring metasequoia glyptostroboides leaf extract as an eco-friendly corrosion inhibitor for Q235 steel,» Febrero 2024. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S145239812400035X>.
- [8] H. Wang, S. Deng, J. Xu, D. Xu, D. Shao, G. Du y X. Li, «Synergistic mixture of Eupatorium Adenophora Spreng stems extract/KI as an efficient inhibitor for the corrosion of steel in H₂SO₄,» 25 Febrero 2024. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1226086X23005944>.
- [9] M. Alimohammadi, M. Ghaderi, A. Ramazani y M. Mahdavian, «Falcaria vulgaris leaves extract as an eco-friendly corrosion inhibitor for mild steel in hydrochloric acid media,» 6 Marzo 2023. [En línea]. Available: <https://www.nature.com/articles/s41598-023-30571-6>.
- [10] M. Mobin, M. Parveen, Huda y R. Aslam, «Effect of different additives, temperature, and immersion time on the inhibition behavior of L-valine for mild steel corrosion in 5% HCl solution,» Febrero 2022. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022369721004881>.
- [11] R. Fernández Domene, R. Sánchez Tovar, J. García Antón y B. Lucas Granados, Corrosión, Valencia: UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA, 2018.
- [12] R. Fernández Fuentes, A. Cruz Crespo, A. Scotti y N. Guedes De Alcántara, «Evaluación del comportamiento del acero 1,25Cr0,5Mo en condiciones de fluencia lenta,» 15 Abril 2021. [En línea]. Available: <https://produccioncientificaluz.org/index.php/tecnica/article/view/35715/37998>.

[13] M. F. Alves de Alencar, R. d. S. Gomes Alves, J. Luiz Cardoso y . M. Jacinto da Silva Moura, «Evaluation of the Sapindus saponaria L extract as an acid medium corrosion inhibitor,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/DyhjvKwpTD9MvPnLp8kdWKJ/?format=pdf&lang=en>.

VI. ANEXOS

Ensayos de corrosión del acero 1.25Cr-0.5Mo en ácido clorhídrico 1 molar, 0.4 g/L de goma de Sapindus saponaria y diferentes adiciones de yoduro de potasio.

6.1. Ensayos EFM

P	T	GSS	Area	Icorr	icorr (b)	Ba	Bc	Vcorr	CF(2)	CF(3)	EI	Datos		
	C	g/l		uA	uA/cm ²	mV	mV	mm/año						
1	25	0.40	3.6900	145.50	39.43	83.72	141.70	0.458	2.046	3.080	53.96	icorr (b)	39.459	0.16
2	25	0.40	3.6900	146.20	39.62	84.52	142.90	0.460	2.030	3.058	53.74	Ba	83.718	0.58
3	25	0.40	3.6200	142.10	39.25	83.15	139.40	0.456	1.988	3.900	54.17	Bc	141.100	1.53
4	25	0.40	3.6200	143.10	39.53	83.48	140.40	0.459	2.005	3.864	53.85	Vcorr	0.458	0.00
												CF(2)	2.017	0.03
												CF(3)	3.476	0.47
												EI	53.930	0.18

P	T	KI	GSS	Area	Icorr	icorr (b)	Ba	Bc	Vcorr	CF(2)	CF(3)	EI	Datos		
	C	mM	g/l		uA	uA/cm ²	mV	mV	mm/año						
1	25	1.00	0.40	3.2764	124.90	38.12	78.48	135.00	0.443	2.007	3.113	55.49	icorr (b)	37.548	0.49
2	25	1.00	0.40	3.2764	123.80	37.79	78.04	133.90	0.439	2.023	3.173	55.88	Ba	80.468	2.56
3	25	1.00	0.40	4.0721	151.50	37.20	82.67	142.20	0.432	2.018	3.826	56.56	Bc	138.200	4.36
4	25	1.00	0.40	4.0721	151.00	37.08	82.68	141.70	0.431	2.044	3.702	56.71	Vcorr	0.436	0.01
													CF(2)	2.023	0.02
													CF(3)	3.454	0.36
													EI	56.161	0.57

P	T	KI	GSS	Area	Icorr	icorr (b)	Ba	Bc	Vcorr	CF(2)	CF(3)	EI	Datos		
	C	mM	g/l		uA	uA/cm ²	mV	mV	mm/año						
1	25	3.00	0.40	4.2842	152.50	35.60	87.46	142.70	0.413	1.994	3.194	58.44	icorr (b)	37.264	2.03
2	25	3.00	0.40	4.2310	149.90	35.43	85.54	142.40	0.411	2.046	3.335	58.64	Ba	84.738	2.24
3	25	3.00	0.40	3.9203	152.10	38.80	82.33	141.50	0.450	2.015	2.677	54.70	Bc	142.650	1.03
4	25	3.00	0.40	3.9203	153.80	39.23	83.62	144.00	0.455	2.016	2.888	54.20	Vcorr	0.433	0.02
													CF(2)	2.018	0.02
													CF(3)	3.024	0.30
													EI	56.493	2.37

P	T	KI	GSS	Area	Icorr	icorr (b)	Ba	Bc	Vcorr	CF(2)	CF(3)	EI	Datos		
	C	mM	g/l		uA	uA/cm ²	mV	mV	mm/año						
1	25	5.00	0.40	4.4083	148.50	33.69	87.93	142.90	0.391	2.011	3.005	60.67	icorr (b)	36.066	2.54
2	25	5.00	0.40	4.4083	150.10	34.05	89.22	145.40	0.395	1.995	3.174	60.25	Ba	89.375	1.07
3	25	5.00	0.40	3.7829	145.20	38.38	90.28	150.60	0.446	1.955	3.154	55.19	Bc	147.075	3.56
4	25	5.00	0.40	3.7829	144.30	38.15	90.07	149.40	0.443	1.979	3.001	55.46	Vcorr	0.419	0.03
													CF(2)	1.985	0.02
													CF(3)	3.084	0.09
													EI	57.891	2.97

P	T	GSS	Area	Icorr	icorr (b)	Ba	Bc	Vcorr	CF(2)	CF(3)	EI	Datos		
	C	g/l		uA	uA/cm ²	mV	mV	mm/año						
1	45	0.40	4.4860	431.70	96.23	95.69	110.50	1.1173	2.144	3.419	67.64	icorr (b)	102.561	7.65
2	45	0.40	4.4860	429.20	95.68	93.27	109.70	1.1108	2.182	2.881	67.83	Ba	86.822	8.97
3	45	0.40	3.9105	429.40	109.81	80.60	118.90	1.2749	1.953	3.133	63.08	Bc	111.275	5.45
4	45	0.40	3.9105	424.40	108.53	77.73	106.00	1.2600	1.936	3.116	63.51	Vcorr	1.191	0.09
												CF(2)	2.054	0.13
												CF(3)	3.137	0.22
												EI	65.512	2.57

P	T	KI	GSS	Area	Icorr	icorr (b)	Ba	Bc	Vcorr	CF(2)	CF(3)	EI	Datos		
	C	mM	g/l		uA	uA/cm ²	mV	mV	mm/año						
1	45	1.00	0.40	3.5697	302.70	84.80	70.48	136.30	0.9845	1.981	2.948	71.49	icorr (b)	82.878	3.14
2	45	1.00	0.40	3.5697	279.20	78.21	65.53	132.70	0.9081	1.907	4.196	73.70	Ba	70.955	4.10
3	45	1.00	0.40	4.5727	387.00	84.63	72.59	141.60	0.9826	1.990	3.144	71.54	Bc	138.700	5.18
4	45	1.00	0.40	4.5727	383.50	83.87	75.22	144.20	0.9737	1.971	2.722	71.80	Vcorr	0.962	0.04
													CF(2)	1.962	0.04
													CF(3)	3.253	0.65
													EI	72.131	1.05

P	T	KI	GSS	Area	Icorr	icorr (b)	Ba	Bc	Vcorr	CF(2)	CF(3)	EI	Datos		
	C	mM	g/l		uA	uA/cm ²	mV	mV	mm/año						
1	45	3.00	0.40	4.3916	331.60	75.51	71.66	148.00	0.8766	2.011	2.942	74.61	icorr (b)	74.820	2.71
2	45	3.00	0.40	4.3916	334.90	76.26	72.12	149.40	0.8854	1.962	3.181	74.36	Ba	70.555	1.89
3	45	3.00	0.40	4.6104	353.60	76.70	70.53	139.70	0.8904	1.994	3.077	74.21	Bc	141.350	9.70
4	45	3.00	0.40	4.6104	326.50	70.82	67.91	128.30	0.8222	2.029	3.601	76.19	Vcorr	0.869	0.03
													CF(2)	1.999	0.03
													CF(3)	3.200	0.28
													EI	74.840	0.91

P	T	KI	GSS	Area	Icorr	icorr (b)	Ba	Bc	Vcorr	CF(2)	CF(3)	EI	Datos		
	C	mM	g/l		uA	uA/cm ²	mV	mV	mm/año						
1	45	5.00	0.40	4.6048	345.50	75.03	70.71	147.00	0.8711	1.949	3.202	74.77	icorr (b)	72.666	1.66
2	45	5.00	0.40	4.6048	327.80	71.19	70.32	141.30	0.8265	1.931	3.289	76.06	Ba	73.653	3.65
3	45	5.00	0.40	4.3400	314.20	72.40	77.33	126.30	0.8405	1.835	3.059	75.66	Bc	134.725	11.16
4	45	5.00	0.40	4.3400	312.70	72.05	76.25	124.30	0.8365	1.890	2.531	75.77	Vcorr	0.844	0.02
													CF(2)	1.901	0.05
													CF(3)	3.020	0.34
													EI	75.565	0.56

P	T	GSS	Area	Icorr	icorr (b)	Ba	Bc	Vcorr	CF(2)	CF(3)	EI	Datos		
	C	g/l		uA	uA/cm ²	mV	mV	mm/año						
1	65	0.40	4.6620	1530.00	328.19	92.54	98.67	3.8102	3.570	3.096	75.60	icorr (b)	332.090	8.49
2	65	0.40	4.6620	1501.00	321.96	89.83	96.68	3.7380	2.934	3.299	76.06	Ba	84.352	7.97
3	65	0.40	3.9442	1338.00	339.23	77.75	114.10	3.9385	1.984	3.120	74.78	Bc	105.938	9.58
4	65	0.40	3.9442	1337.00	338.98	77.29	114.30	3.9355	1.985	3.054	74.80	Vcorr	3.856	0.10
												CF(2)	2.618	0.78
												CF(3)	3.142	0.11
												EI	75.310	0.63

P	T	KI	GSS	Area	Icorr	icorr (b)	Ba	Bc	Vcorr	CF(2)	CF(3)	EI	Datos		
	C	mM	g/l		uA	uA/cm ²	mV	mV	mm/año						
1	65	1.00	0.40	3.5656	705.20	197.78	75.95	114.50	2.2962	1.913	3.316	85.30	icorr (b)	201.449	4.32
2	65	1.00	0.40	3.5656	707.60	198.45	77.17	116.20	2.3040	1.937	3.248	85.25	Ba	72.460	4.86
3	65	1.00	0.40	3.7552	760.10	202.41	67.16	125.50	2.3500	1.923	2.845	84.95	Bc	122.050	8.21
4	65	1.00	0.40	3.7552	777.90	207.15	69.56	132.00	2.4050	1.897	2.648	84.60	Vcorr	2.339	0.05
													CF(2)	1.918	0.02
													CF(3)	3.014	0.32
													EI	85.023	0.32

P	T	KI	GSS	Area	Icorr	icorr (b)	Ba	Bc	Vcorr	CF(2)	CF(3)	EI	Datos		
1	65	3.00	0.40	4.0230	773.80	192.34	66.10	125.40	2.2331	1.912	3.121	85.70	icorr (b)	193.445	1.57
2	65	3.00	0.40	4.0230	779.20	193.69	66.99	126.50	2.2487	1.918	2.855	85.60	Ba	66.533	0.77
3	65	3.00	0.40	3.8231	734.70	192.17	65.69	118.60	2.2311	1.917	3.059	85.71	Bc	123.025	3.62
4	65	3.00	0.40	3.8231	747.70	195.57	67.35	121.60	2.2706	1.911	2.963	85.46	Vcorr	2.246	0.02
													CF(2)	1.914	0.00
													CF(3)	3.000	0.12
													EI	85.618	0.12

P	T	KI	GSS	Area	Icorr	icorr (b)	Ba	Bc	Vcorr	CF(2)	CF(3)	EI	Datos		
	C	mM	g/l		uA	uA/cm ²	mV	mV	mm/año						
1	65	5.00	0.40	4.2913	707.70	164.92	69.29	124.60	1.9147	1.921	3.190	87.74	icorr (b)	165.028	1.94
2	65	5.00	0.40	4.2913	697.50	162.54	69.34	123.30	1.8871	1.947	3.123	87.92	Ba	69.298	0.55
3	65	5.00	0.40	4.2380	701.00	165.41	68.61	121.90	1.9204	1.937	2.910	87.70	Bc	123.675	1.37
4	65	5.00	0.40	4.2380	708.80	167.25	69.95	124.90	1.9418	1.923	3.126	87.57	Vcorr	1.916	0.02
													CF(2)	1.932	0.01
													CF(3)	3.087	0.12
													EI	87.731	0.14

6.2. Ensayos EIS

P	T	GSS	Area	Ret (1)	Rs (1)	Yo	n	C	ba	bc	icorr (1)	Ret (2)	Rs (2)	Cdl	icorr (2)	Vcorr	EI	Datos			
	°C	g/L	cm ²	ohm	ohm	mV		F	V	V	A/cm ²	ohm.cm ²	ohm.cm	uF/cm ²	uA/cm ²	mm/año	%	Promedio			
1	25	0.40	3.690	194.70	0.078	2.81E-4	0.912	2.48914E-4	0.084	0.141	3.17562E-5	718.44	0.289	67.46	31.76	0.369	61.30	Ret (2)	757.710	32.67	
2	25	0.40	3.690	206.00	0.078	2.8E-4	0.913	2.13352E-4	0.084	0.141	3.00142E-5	760.14	0.288	57.82	30.01	0.348	63.43	Rs (2)	0.322	0.04	
3	25	0.40	3.620	208.30	0.098	3.26E-4	0.889	2.28927E-4	0.084	0.141	3.02568E-5	754.05	0.355	63.24	30.26	0.351	63.13	Cdl	62.939	3.95	
4	25	0.40	3.620	220.50	0.098	3.17E-4	0.891	2.28927E-4	0.084	0.141	2.85827E-5	798.21	0.356	63.24	28.58	0.332	65.17	icorr (2)	30.152	1.30	
																		Vcorr	0.350	0.02	
																			EI	63.258	1.58

P	T	KI	GSS	Area	Ret (1)	Rs (1)	Yo	n	C	ba	bc	icorr (1)	Ret (2)	Rs (2)	Cdl	icorr (2)	Vcorr	EI	Datos			
	°C	mM	g/L	cm ²	ohm	ohm	mV		F	V	V	A/cm ²	ohm.cm ²	ohm.cm	uF/cm ²	uA/cm ²	mm/año	%	Promedio			
1	25	1.0	0.40	4.376	191.80	0.048	2.765E-4	0.938	2.4428E-4	0.080	0.138	2.63079E-5	839.39	0.209	55.82	26.31	0.305	66.88	Ret (2)	845.872	32.49	
2	25	1.0	0.40	4.376	202.90	0.048	2.708E-4	0.939	2.46726E-4	0.080	0.138	2.48687E-5	887.97	0.208	56.38	24.87	0.289	68.69	Rs (2)	0.288	0.09	
3	25	1.0	0.40	4.072	198.70	0.091	2.66E-4	0.911	2.2318E-4	0.080	0.138	2.7292E-5	809.13	0.369	54.81	27.29	0.317	65.64	Cdl	56.898	2.55	
4	25	1.0	0.15	4.072	208.00	0.090	2.59E-4	0.912	2.46726E-4	0.080	0.138	2.60718E-5	847.00	0.368	60.59	26.07	0.303	67.18	icorr (2)	26.135	1.00	
																			Vcorr	0.303	0.01	
																				EI	67.098	1.25

P	T	KI	GSS	Area	Ret (1)	Rs (1)	Yo	n	C	ba	bc	icorr (1)	Ret (2)	Rs (2)	Cdl	icorr (2)	Vcorr	EI	Datos			
	°C	mM	g/L	cm ²	ohm	ohm	mV		F	V	V	A/cm ²	ohm.cm ²	ohm.cm	uF/cm ²	uA/cm ²	mm/año	%	Promedio			
1	25	3.0	0.15	4.054	240.50	0.074	2.165E-4	0.925	1.9791E-4	0.085	0.143	2.36738E-5	975.04	0.299	48.82	23.67	0.275	71.49	Ret (2)	963.707	31.13	
2	25	3.0	0.15	4.054	245.50	0.074	2.136E-4	0.926	1.53583E-4	0.085	0.143	2.31917E-5	995.31	0.300	37.88	23.19	0.269	72.07	Rs (2)	0.338	0.04	
3	25	3.0	0.15	4.231	217.80	0.089	2.54E-4	0.905	1.50634E-4	0.085	0.143	2.50488E-5	921.51	0.377	35.60	25.05	0.291	69.83	Cdl	42.269	6.50	
4	25	3.0	0.15	4.231	227.60	0.089	2.485E-4	0.907	1.9791E-4	0.085	0.143	2.39703E-5	962.98	0.377	46.78	23.97	0.278	71.13	icorr (2)	23.971	0.79	
																			Vcorr	0.278	0.01	
																				EI	71.129	0.94

P	T	KI	GSS	Area	Ret (1)	Rs (1)	Yo	n	C	ba	bc	icorr (1)	Ret (2)	Rs (2)	Cdl	icorr (2)	Vcorr	EI	Datos			
	°C	mM	g/L	cm ²	ohm	ohm	mV		F	V	V	A/cm ²	ohm.cm ²	ohm.cm	uF/cm ²	uA/cm ²	mm/año	%	Promedio			
1	25	5.0	0.15	4.408	241.20	0.051	1.894E-4	0.952	1.61048E-4	0.089	0.147	2.27025E-5	1063.28	0.223	36.53	22.70	0.264	73.85	Ret (2)	1049.462	38.56	
2	25	5.0	0.15	4.408	248.10	0.051	1.878E-4	0.952	1.49989E-4	0.089	0.147	2.20711E-5	1093.70	0.223	34.02	22.07	0.256	74.58	Rs (2)	0.256	0.05	
3	25	5.0	0.15	3.689	271.80	0.070	1.61E-4	0.936	1.44242E-4	0.089	0.147	2.40735E-5	1002.72	0.258	39.10	24.07	0.279	72.27	Cdl	56.972	2.24	
4	25	5.0	0.15	3.689	281.40	0.087	1.7E-4	0.924	1.41048E-4	0.089	0.147	2.32523E-5	1038.14	0.321	38.23	23.25	0.270	73.22	icorr (2)	23.025	0.85	
																			Vcorr	0.267	0.01	
																				EI	73.483	0.98

P	T	GSS	Area	Ret (1)	Ra (1)	Yo	n	C	ba	bc	icorr (1)	Ret (2)	Ra (2)	Cdl	icorr (2)	Vcorr	EI	Datos				
	°C	g/L	cm ²	ohm	ohm	mV		F	V	V	A/cm ²	ohm.cm ²	ohm.cm	uF/cm ²	uA/cm ²	mm/año	%	Promedio				
1	45	0.15	4.095	59.80	0.000	6.187E-4	0.867	3.73109E-4	0.087	0.111	8.6477E-5	244.88	0.000	91.11	86.48	1.004	73.73	Ret (2)	233.664	14.42		
2	45	0.15	4.095	60.37	0.000	6.266E-4	0.867	3.79161E-4	0.087	0.111	8.56605E-5	247.22	0.000	92.59	85.66	0.995	73.98	Rs (2)	0.131	0.05		
3	45	0.15	4.011	54.70	0.065	5.13E-4	0.894	3.35824E-4	0.087	0.111	9.65316E-5	219.37	0.262	83.74	96.53	1.121	70.67	Cdl	87.972	4.53		
4	45	0.15	4.011	55.65	0.065	5.18E-4	0.893	3.38673E-4	0.087	0.111	9.48838E-5	223.18	0.260	84.45	94.88	1.102	71.17	icorr (2)	90.888	5.62		
																			Vcorr	1.055	0.07	
																				EI	72.387	1.71

P	T	KI	GSS	Area	Ret (1)	Ra (1)	Yo	n	C	ba	bc	icorr (1)	Ret (2)	Ra (2)	Cdl	icorr (2)	Vcorr	EI	Datos			
	°C	mM	g/L	cm ²	ohm	ohm	mV		F	V	V	A/cm ²	ohm.cm ²	ohm.cm	uF/cm ²	uA/cm ²	mm/año	%	Promedio			
1	45	1.0	0.40	3.570	67.24	0.050	3.138E-4	0.934	2.23824E-4	0.071	0.139	8.49182E-5	240.03	0.178	62.70	84.92	0.986	73.20	Ret (2)	246.592	6.42	
2	45	1.0	0.40	3.570	68.07	0.049	3.13E-4	0.935	2.25968E-4	0.071	0.139	8.38828E-5	242.99	0.176	63.30	83.88	0.974	73.52	Rs (2)	0.222	0.05	
3	45	1.0	0.40	3.973	62.64	0.065	3.29E-4	0.906	2.29643E-4	0.071	0.139	8.19073E-5	248.85	0.257	57.81	81.91	0.951	74.15	Cdl	61.435	2.48	
4	45	1.0	0.40	4.299	59.20	0.065	3.34E-4	0.907	2.66242E-4	0.071	0.139	8.00887E-5	254.50	0.277	61.93	80.09	0.930	74.72	icorr (2)	82.699	2.14	
																			Vcorr	0.960	0.02	
																				EI	73.897	0.68

P	T	KI	GSS	Area	Ret (1)	Rs (1)	Yo	n	C	ba	bc	icorr (1)	Ret (2)	Rs (2)	Cdl	icorr (2)	Vcorr	EI	Datos		
°C	mM	g/L	cm ²	ohm	ohm	mV			F	V	V	A/cm ²	ohm.cm ²	ohm.cm	uF/cm ²	uA/cm ²	mm ² /ahc		Promedio		
1	45	3.0	0.40	4.357	70.39	0.063	3.741E-4	0.924	1.97785E-4	0.071	0.141	6.66376E-5	306.65	0.275	45.40	66.64	0.774	79.02	Ret (2)	302.351	6.91
2	45	3.0	0.40	4.357	67.98	0.063	3.756E-4	0.924	1.99118E-4	0.071	0.141	6.9E-5	296.15	0.273	45.71	69.00	0.801	78.28	Rs (2)	0.249	0.03
3	45	3.0	0.40	3.634	85.26	0.062	2.44E-4	0.919	1.94408E-4	0.071	0.141	6.59607E-5	309.80	0.226	53.50	65.96	0.766	79.23	Cdl	48.689	3.87
4	45	3.0	0.40	3.634	81.68	0.061	2.56E-4	0.918	1.82208E-4	0.071	0.141	6.58518E-5	296.79	0.223	50.15	68.85	0.799	78.32	icorr (2)	67.613	1.54
																			Vcorr	0.785	0.02
																			EI	78.713	0.49

P	T	KI	GSS	Area	Ret (1)	Rs (1)	Yo	n	C	ba	bc	icorr (1)	Ret (2)	Rs (2)	Cdl	icorr (2)	Vcorr	EI	Datos		
°C	mM	g/L	cm ²	ohm	ohm	mV			F	V	V	A/cm ²	ohm.cm ²	ohm.cm	uF/cm ²	uA/cm ²	mm ² /ahc		Promedio		
1	45	5.0	0.40	4.605	64.85	0.064	2.56E-4	0.921	1.82125E-4	0.074	0.135	6.92424E-5	298.62	0.295	39.55	69.24	0.804	78.46	Ret (2)	320.373	31.45
2	45	5.0	0.40	4.605	62.74	0.064	2.64E-4	0.920	1.99321E-4	0.074	0.135	7.15711E-5	288.91	0.292	43.29	71.57	0.831	77.73	Rs (2)	0.241	0.06
3	45	5.0	0.40	3.995	88.52	0.048	7.83E-4	0.914	1.68486E-4	0.074	0.135	5.84702E-5	353.64	0.192	42.17	58.47	0.679	81.81	Cdl	42.461	2.23
4	45	5.0	0.40	3.995	86.05	0.047	7.58E-4	0.919	1.77321E-4	0.074	0.135	6.07569E-5	340.33	0.184	44.83	60.76	0.705	81.10	icorr (2)	65.010	6.37
																			Vcorr	0.755	0.07
																			EI	79.772	1.98

P	T	GSS	Area	Ret (1)	Rs (1)	Yo	n	C	ba	bc	icorr (1)	Ret (2)	Rs (2)	Cdl	icorr (2)	Vcorr	EI	Datos			
°C	g/L	cm ²	ohm	ohm	mV			F	V	V	A/cm ²	ohm.cm ²	ohm.cm	uF/cm ²	uA/cm ²	mm ² /ahc		Promedio			
1	65	0.40	4.662	14.52	0.054	0.00124	0.829	5.41447E-4	0.084	0.106	3.0123E-4	67.69	0.254	116.14	301.23	3.497	79.55	Ret (2)	62.143	5.00	
2	65	0.40	4.662	14.39	0.053	0.00106	0.859	5.33477E-4	0.084	0.106	3.03951E-4	67.09	0.247	114.43	303.95	3.529	79.37	Rs (2)	0.255	0.01	
3	65	0.40	3.944	14.63	0.066	6.91E-4	0.881	4.32729E-4	0.084	0.106	3.53374E-4	57.70	0.261	109.71	353.37	4.103	76.01	Cdl	112.552	3.23	
4	65	0.40	3.944	15.24	0.065	6.91E-4	0.881	4.33564E-4	0.084	0.106	3.59229E-4	60.11	0.257	109.92	339.23	3.938	76.97	icorr (2)	324.446	25.91	
																			Vcorr	3.767	0.30
																			EI	77.975	1.76

P	T	KI	GSS	Area	Ret (1)	Rs (1)	Yo	n	C	ba	bc	icorr (1)	Ret (2)	Rs (2)	Cdl	icorr (2)	Vcorr	EI	Datos		
°C	mM	g/L	cm ²	ohm	ohm	mV			F	V	V	A/cm ²	ohm.cm ²	ohm.cm	uF/cm ²	uA/cm ²	mm ² /ahc		Promedio		
1	65	1.0	0.40	3.566	25.430	0.068	5.559E-4	0.887	3.02472E-4	0.072	0.122	2.17731E-4	90.67	0.244	84.83	217.73	2.528	84.73	Ret (2)	94.643	6.79
2	65	1.0	0.40	3.566	28.790	0.069	5.492E-4	0.885	2.7229E-4	0.072	0.122	1.92321E-4	102.65	0.246	76.37	192.32	2.233	86.52	Rs (2)	0.216	0.03
3	65	1.0	0.40	3.755	23.330	0.048	3.88E-4	0.922	2.922E-4	0.072	0.122	2.25347E-4	87.61	0.182	77.83	225.35	2.616	84.20	Cdl	79.889	3.72
4	65	1.0	0.40	3.755	26.000	0.051	6.29E-4	0.860	3.02472E-4	0.072	0.122	2.02206E-4	97.64	0.192	80.55	202.21	2.348	85.82	icorr (2)	209.401	14.91
																			Vcorr	2.431	0.17
																			EI	85.318	1.05

P	T	KI	GSS	Area	Ret (1)	Rs (1)	Yo	n	C	ba	bc	icorr (1)	Ret (2)	Rs (2)	Cdl	icorr (2)	Vcorr	EI	Datos		
°C	mM	g/L	cm ²	ohm	ohm	mV			F	V	V	A/cm ²	ohm.cm ²	ohm.cm	uF/cm ²	uA/cm ²	mm ² /ahc		Promedio		
1	65	3.0	0.15	4.023	23.10	0.043	6.484E-4	0.866	2.98472E-4	0.067	0.123	2.01759E-4	92.93	0.173	74.19	201.76	2.342	85.11	Ret (2)	101.374	10.10
2	65	3.0	0.15	4.023	28.78	0.044	4.028E-4	0.921	2.87162E-4	0.067	0.123	1.6194E-4	115.78	0.176	71.38	161.94	1.880	88.04	Rs (2)	0.204	0.04
3	65	3.0	0.15	4.445	21.65	0.056	4.606E-4	0.907	2.93752E-4	0.067	0.123	1.94834E-4	96.23	0.250	66.09	194.83	2.262	85.62	Cdl	71.692	4.06
4	65	3.0	0.15	3.823	26.30	0.057	4.426E-4	0.908	2.87162E-4	0.067	0.123	1.86476E-4	100.55	0.219	75.11	186.48	2.165	86.23	icorr (2)	186.252	17.37
																			Vcorr	2.162	0.20
																			EI	86.250	1.28

P	T	KI	GSS	Area	Ret (1)	Rs (1)	Yo	n	C	ba	bc	icorr (1)	Ret (2)	Rs (2)	Cdl	icorr (2)	Vcorr	EI	Datos		
°C	mM	g/L	cm ²	ohm	ohm	mV			F	V	V	A/cm ²	ohm.cm ²	ohm.cm	uF/cm ²	uA/cm ²	mm ² /ahc		Promedio		
1	65	5.0	0.15	4.437	27.62	0.037	3.07E-4	0.945	2.32577E-4	0.069	0.124	1.57362E-4	122.55	0.165	52.42	157.36	1.827	88.70	Ret (2)	119.675	2.71
2	65	5.0	0.15	4.437	26.89	0.037	3.01E-4	0.947	2.34862E-4	0.069	0.124	1.61634E-4	119.31	0.164	52.93	161.63	1.877	88.40	Rs (2)	0.166	0.00
3	65	5.0	0.15	4.438	26.40	0.038	3.17E-4	0.941	2.33677E-4	0.069	0.124	1.64597E-4	117.16	0.169	52.65	164.60	1.911	88.19	Cdl	52.668	0.26
4	65	5.0	0.15	4.438	27.73	0.038	3.13E-4	0.942	2.25615E-4	0.069	0.124	1.56702E-4	123.07	0.167	50.84	156.70	1.819	88.75	icorr (2)	161.197	3.64
																			Vcorr	1.872	0.04
																			EI	88.430	0.26

NOMBRE DEL TRABAJO

EFECTO ANTICORROSIVO DE LA GOMA DE SAPINDUS SAPONARIA CON DIFERENTES ADICIONES DE YODURO DE POTASIO

AUTOR

GEANCARLOS ALEXANDER y ALFREDO CESPEDES RUIZ y FUENTES GUEVARA

RECUENTO DE PALABRAS

7183 Words

RECUENTO DE CARACTERES

36608 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

29 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

587.2KB

FECHA DE ENTREGA

Sep 24, 2024 5:42 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Sep 24, 2024 5:42 AM GMT-5

● **18% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 16% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 6% Base de datos de trabajos entregados
- 3% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 8 palabras)
- Material citado



**ACTA DE CONTROL DE REVISIÓN DE
SIMILITUD DE LA INVESTIGACIÓN**

Código:	F3.PP2-PR.02
Versión:	02
Fecha:	18/04/2024
Hoja:	1 de 1

Yo, **Silvia Yvone Gastiaború Morales**, Coordinadora de Investigación del Programa de Estudios de Ingeniería Mecánica Eléctrica, he realizado el control de originalidad de la investigación, el mismo que está dentro de los porcentajes establecidos para el nivel de Pregrado, según la Directiva de similitud vigente en USS; además certifico que la versión que hace entrega es la versión final de la Trabajo de Investigación titulado: **EFFECTO ANTICORROSIVO DE LA GOMA DE SAPINDUS SAPONARIA CON DIFERENTES ADICIONES DE YODURO DE POTASIO EN EL SISTEMA ACERO 1.25CR-0.5MO /HCL 1M, A 25 °C, 45 °C Y 65 °C.** elaborado por el (los) Bachiller(es):

CESPEDES RUIZ GEANCARLOS ALEXANDER

FUENTES GUEVARA ALFREDO MARIANO

Se deja constancia que la investigación antes indicada tiene un índice de similitud del **18%**, verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el software de similitud TURNITIN.

Por lo que se concluye que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio y cumple con lo establecido en la Directiva sobre índice de similitud de los productos académicos y de investigación vigente.

Pimentel, 24 de setiembre de 2024

Dra. Gastiaború Morales Silvia Yvone

Coordinador de Investigación

DNI N° 16481433