



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 2

Neiva, 23 de agosto 2023

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

Camilo Andres Pino Villegas, con C.C. No. 1007674912,

Brigitte Vizcaya Alarcón, con C.C. No. 1003814199,

\_\_\_\_\_, con C.C. No. \_\_\_\_\_,

\_\_\_\_\_, con C.C. No. \_\_\_\_\_,

Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado titulado \_\_\_\_\_

EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD INHIBITORIA DE CORROSIÓN ÁCIDA DEL EXTRACTO  
OBTENIDO DE LA CÁSCARA DE SANDÍA POTENCIALIZADO CON NANOPARTÍCULAS  
PARA USO EN LA INDUSTRIA PETROLERA

presentado y aprobado en el año 2023 como requisito para optar al título de

Ingenieros de Petróleos;

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales "open access" y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

Vigilada Mineducación



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 2

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: Brigitte Vizcaya

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: Camilo Pino

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: \_\_\_\_\_

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: \_\_\_\_\_



TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO:

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Pino Villegas	Camilo Andres
Vizcaya Alarcón	Brigitte

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Valdés Rentería	Carlos Francisco
Marrugo Escobar	Gloria Patricia

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
----------------------------	--------------------------

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Ingeniero de Petroleos

FACULTAD: Ingeniería

PROGRAMA O POSGRADO: Ingeniería de petróleos

CIUDAD: Neiva

AÑO DE PRESENTACIÓN: 2023

NÚMERO DE PÁGINAS: 155

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas  Fotografías  Grabaciones en discos  Ilustraciones en general  Grabados   
Láminas  Litografías  Mapas  Música impresa  Planos  Retratos  Sin ilustraciones  Tablas  
o Cuadros



**SOFTWARE** requerido y/o especializado para la lectura del documento:

**MATERIAL ANEXO:**

**PREMIO O DISTINCIÓN** (*En caso de ser LAUREADAS o Meritoria*): Meritoria

**PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:**

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>	<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. <u>Organico</u>	<u>Organic</u>	6. <u>Extractos</u>	<u>Extracts</u>
2. <u>Inhibidor</u>	<u>Inhibitor</u>	7. <u>Industria petrolera</u>	<u>Oil industry</u>
3. <u>Nanoparticulas</u>	<u>Nanoparticles</u>	8. <u>Efectividad</u>	<u>Efficiency</u>
4. <u>Corrosión</u>	<u>Corrosion</u>	9. <u>Viabilidad</u>	<u>Viability</u>
5. <u>Ambiente</u>	<u>Atmosphere</u>	10. <u>Mecanismos de inhibicion</u>	<u>Inhibition mechanisms</u>

**RESUMEN DEL CONTENIDO:** (Máximo 250 palabras)

Aunque en la actualidad los científicos e ingenieros poseen una mayor cantidad de información y a su vez comprenden con mayor facilidad los procesos corrosivos que se presentan a causa de las actividades de la industria petrolera, este fenómeno sigue representando un desafío enorme para el sector, ya que muchos de los métodos empleados para su tratamiento suelen ser demasiado costosos o nocivos, tanto para el ser humano como para el medio ambiente, lo que pone en riesgo esta actividad, la cual se entiende que es de suma importancia para el desarrollo de la economía y del mundo.

Debido al escenario descrito anteriormente, resulta imperativo el desarrollo de inhibidores de corrosión ambientalmente efectivos, sustentables, de fácil acceso y en lo posible que su origen sea de productos naturales, lo que representa una alternativa de interés en cuanto a conceptos como economía circular y a su vez serían útiles para disminuir la toxicidad ambiental y de salud pública de los procesos inhibidores de corrosión normalmente empleados. Los inhibidores provenientes de extractos de origen orgánico normalmente pueden ser obtenidos a través de procedimientos sencillos, económicos, poco agresivos y con el potencial de reemplazo de los inhibidores convencionales. comprometida en diferentes escenarios industriales y laborales en donde el fenómeno de la corrosión ha estado de por medio.



Adicionalmente, se agrega que el estudio es potencialmente viable, ya que se plantea utilizar un inhibidor proveniente de un producto orgánico que las personas no consumen, como lo es la cáscara de la sandía, por lo que se favorecería la gestión económica de este sector agroindustrial.

Finalmente, es importante agregar que la viabilidad de este proyecto va a depender de la capacidad de acceso a la información técnica y científica, así como a los escenarios de trabajo académico y experimental.

**ABSTRACT:** (Máximo 250 palabras)

Although scientists and engineers currently have a greater amount of information and in turn understand more easily the corrosive processes that occur due to the activities of the oil industry, this phenomenon continues to represent a huge challenge for the sector, since it Many of the methods used for its treatment are usually too expensive or harmful, both for humans and the environment, which puts this activity at risk, which is understood to be of the utmost importance for the development of the economy and of the world.

Due to the scenario described above, it is imperative to develop corrosion inhibitors that are environmentally effective, sustainable, easily accessible and, as far as possible, that their origin is from natural products, which represents an interesting alternative in terms of concepts such as circular economy and its At the same time, they would be useful to reduce the environmental and public health toxicity of the corrosion inhibitor processes normally used. Inhibitors from extracts of organic origin can normally be obtained through simple, inexpensive, non-aggressive procedures, and with the potential to replace conventional inhibitors. engaged in different industrial and labor scenarios where the phenomenon of corrosion has been involved.

Additionally, it is added that the study is potentially viable, since it is proposed to use an inhibitor from an organic product that people do not consume, such as the watermelon rind, which would favor the economic management of this agro-industrial sector. .

Finally, it is important to add that the viability of this project will depend on the ability to access technical and scientific information, as well as the academic and experimental work scenarios.

**APROBACION DE LA TESIS**

Nombre Presidente Jurado:

Vigilada Mineducación



<b>CÓDIGO</b>	<b>AP-BIB-FO-07</b>	<b>VERSIÓN</b>	<b>1</b>	<b>VIGENCIA</b>	<b>2014</b>	<b>PÁGINA</b>	<b>4 de 4</b>
---------------	---------------------	----------------	----------	-----------------	-------------	---------------	---------------

Firma:

Nombre Jurado: Luz Marina Botero Rojas

Firma:

Nombre Jurado: Jairo Antonio Sepulveda Gaona



**EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD INHIBITORIA DE CORROSIÓN  
ÁCIDA DEL EXTRACTO OBTENIDO DE LA CÁSCARA DE SANDÍA  
POTENCIALIZADO CON NANOPARTÍCULAS PARA USO EN LA  
INDUSTRIA PETROLERA**

**CAMILO ANDRÉS PINO VILLEGAS  
BRIGITTE VIZCAYA ALARCÓN**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA – SEDE NEIVA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
NEIVA**

EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD INHIBITORIA DE CORROSIÓN ÁCIDA  
DEL EXTRACTO OBTENIDO DE LA CÁSCARA DE SANDÍA  
POTENCIALIZADO CON NANOPARTÍCULAS PARA USO EN LA INDUSTRIA  
PETROLERA

Trabajo de grado como requisito para optar por el  
Título de Ingeniero de Petróleos

Camilo Andrés Pino Villegas

Brigitte Vizcaya Alarcón

Director

Carlos Francisco Valdés Rentería, Dr. en Ing.

Codirector

Gloria Patricia Marrugo Escobar, MSc. en Ing.

Universidad Surcolombiana – Sede Neiva

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería de Petróleos

Neiva

2023



**Nota de Aceptación**

---

---

---

---

---

Evaluador:

Neiva, Huila, Fecha De Sustentación, 2023 (Día De Mes De Año).

---

**Dr. en Ing., Carlos Francisco Valdés Rentería**

Director

---

**MSc. en Ing., Gloria Patricia Marrugo Escobar**

Codirector

---

**MSc. en ing., Jairo Antonio Sepúlveda Gaona**

Jurado

---

**PhD(c). Luz Marina Botero Rojas**

Jurado

Neiva, 2023

## **Dedicatoria**

### ***Brigitte Vizcaya Alarcón dedica este trabajo a:***

*Primeramente, dedico este trabajo a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mi familia, por haberme dado la oportunidad de formarme en esta prestigiosa universidad y haber sido mi apoyo durante todo este tiempo. A mi abuela paterna: María Nelly Cedeño Reyes por apoyarme en todo siempre, a mi tía Nancy Vizcaya, finalmente dedico este logro a mi asesor Sergio López.*

### ***Camilo Andrés Pino Villegas dedica este trabajo a:***

*A mi maravillosa familia, por estar siempre presente en cada momento importante de mi vida. Por su apoyo incondicional para seguir cumpliendo mis metas, por los ánimos durante mis años de formación profesional, los amo.*

## **Agradecimientos**

Expresamos nuestra más sincera gratitud a todas y cada una de aquellas personas que hicieron parte de este proceso de trabajo académico. A la Universidad Surcolombiana, a la Facultad de Ingeniería y de manera puntual a cada uno de los profesores que integran el programa de pregrado académico de Ingeniería de Petróleos. A nuestro tutor y director de tesis, el docente: Dr. Carlos Francisco Valdés Rentería, a nuestra codirectora MSc. Gloria Patricia Marrugo Escobar, sin su ayuda y su enorme compromiso, no hubiera sido posible llevar a feliz término este proyecto.

Agradecemos al laboratorio de aguas, de la Universidad Surcolombiana, en especial a Patricia Flórez Dulcey, encargada del laboratorio en ese periodo de tiempo, quien nos facilitó los implementos y el espacio para la realización de este proyecto.

Agradecemos a Farid Bernardo Cortés, grupo Michael Polanyi, de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, Facultad de Minas, quien nos donó una muestra de nanopartículas: Carbón Quantum Dots, sin todas estas ayudas y alianzas estratégicas y altruistas, hoy esta investigación no estaría terminada.

¡Infinitas gracias!

## Tabla de contenidos

*pág.*

Dedicatoria .....	IV
Agradecimientos .....	V
Tabla de contenidos .....	VI
Lista de Tablas .....	IX
Lista de Figuras .....	XI
Lista de Anexos .....	XIII
Introducción.....	1
Capítulo uno .....	5
Horizonte investigativo .....	5
1.1 Justificación.....	5
1.2 Objetivos.....	7
1.2.1 Objetivo General.....	7
1.2.2 Objetivos Específicos .....	7
Capítulo dos.....	8
Estado del arte .....	8
2.1 Tipología de corrosión.....	10
2.1.1 Corrosión generalizada: .....	11
2.1.2 Corrosión localizada: .....	12
2.1.3 Corrosión por picadura (Pitting corrosión):.....	12
2.1.4 Corrosión por grietas (Crevice corrosion): .....	13
2.1.5 Corrosión bajo depósito: .....	13
2.1.6 Corrosión galvánica: .....	14
2.1.7 Corrosión por cavitación: .....	14
2.1.8 Corrosión intergranular: .....	15
2.1.9 Corrosión bajo tensión: .....	15
2.1.10 Corrosión microbiológica: .....	16
2.2 Inhibidores y sus tipologías: .....	18
2.2.1 Clasificación de los inhibidores según su acción polarizante:.....	19
□ <i>Inhibidores anódicos:</i> .....	20

□ <i>Inhibidores catódicos:</i> .....	20
□ <i>Inhibidores Mixtos</i> .....	20
2.2.2 Clasificación de los inhibidores Según la composición química:.....	20
□ <i>Inorgánicos:</i> .....	20
□ <i>Inhibidores orgánicos</i> .....	21
2.2.3 Clasificación que tiene en cuenta el mecanismo de acción: .....	21
□ <i>Secuestradores:</i> .....	21
□ <i>Agentes reactivos:</i> .....	21
□ <i>Inhibidores fase vapor:</i> .....	22
□ <i>Formadores de películas:</i> .....	22
2.3.3 Clasificación de inhibidores según la solubilidad: .....	23
□ <i>Inhibidores de Base Aceite/Solvente:</i> .....	23
□ <i>Inhibidores de Corrosión de Base Agua:</i> .....	23
□ <i>Inhibidores de Corrosión Biodegradables</i> .....	23
2.3 Los aceros inoxidables y su importancia como material más recurrente en el sector petrolero.....	29
2.4.1 <i>Tipología de Aceros Inoxidables.</i> .....	31
□ <i>Acero inoxidable martensíticos:</i> .....	32
□ <i>Acero inoxidable ferrítico:</i> .....	32
□ <i>Acero inoxidable austenítico:</i> .....	32
2.5 Generalidades y composición de la sandía.....	36
2.6 Nanotecnología en la industria petrolera.....	37
2.6.1 Tipos de nanopartículas. ....	40
□ <i>Liposomas:</i> .....	41
□ <i>Dendrímero</i> .....	41
□ <i>Nanopartícula de oro:</i> .....	41
□ <i>Nanopartícula Quantum Dots:</i> .....	42
2.7 Hallazgos más relevantes de la sección.....	45
Capítulo 3 .....	47
Metodología .....	47
3.1 Tipología de investigación.....	47
3.2 Enfoque investigativo.....	48
3.3 Técnicas de recolección y análisis de la investigación.....	48
3.4 Pruebas de pérdida de masa.....	49
3.5 La evaluación del espectro UV-Vis.....	49

3.6	Muestras y preparaciones .....	50
3.6.1	Sandía.....	50
3.6.2	Caracterización del extracto.....	53
□	Prueba 1. Densidad.....	53
□	Prueba 2. UV - Visible.....	53
3.6.3	Muestras de Acero Inoxidable 304 y Aluminio.....	54
3.6.4	Ácido Clorhídrico HCl.....	56
3.6.5	Inhibidor convencional .....	57
3.6.6	Nanopartículas Carbón Quantum Dots (Puntos cuánticos de carbono):.....	57
3.7	Caracterización de las Carbon Quantum Dots.....	59
3.8	Procedimiento experimental.....	60
3.8.1	Prueba de pérdida de masa.....	62
3.8.2	Prueba de espectroscopia ultravioleta-visible (UV-Vis).....	64
3.8.3	Inspección visual con ayuda de un microscopio .....	65
Capítulo 4	.....	67
Resultados, análisis y discusión	.....	67
4.3	Velocidad de corrosión.....	70
4.4	Eficiencia de inhibición.....	75
4.5	Prueba de espectroscopia UV-VISIBLE.....	77
4.6	Fotografías con microscopio digital: .....	85
4.7	Análisis financiero.....	89
4.7.1	Análisis de inversión (CAPEX).....	90
4.7.2	Análisis de Costos de Operación (OPEX).....	92
4.7.3	Análisis de Ingresos .....	94
4.7.4	Evaluación Financiera.....	97
4.7.5	Valor Presente Neto (VPN) .....	97
4.7.6	Flujos de Caja .....	98
Conclusiones y recomendaciones	.....	100
Referencias bibliográficas	.....	104

## Lista de Tablas

	<b>Pág.</b>
<i>Tabla 1. Propiedades generales de los aceros inoxidables.</i>	33
<i>Tabla 2. Composición química del Acero inoxidable 304.</i>	54
<i>Tabla 3. Composición química del aluminio.</i>	55
<i>Tabla 4. Caracterización de las CQDs.</i>	59
<i>Tabla 5. Valores de Aceptación para el Acero, en MPY según la NACE.</i>	63
<i>Tabla 6. Resumen de las pruebas para determinar la densidad del extracto con picnómetro.</i>	67
<i>Tabla 8. Resultados fotográficos del Lote 1, antes de la prueba y después de la prueba de corrosión.</i>	85
<i>Tabla 9. Resultados fotográficos del Lote 2, efecto de las nanopartículas 2000 ppm.</i>	86
<i>Tabla 10. Resultados fotográficos del Lote 3, efecto nanopartículas 200 ppm.</i>	87
<i>Tabla 11. Acondicionamiento de las facilidades para la inyección del inhibidor.</i>	90
<i>Tabla 12. Costo de los insumos para 1 litro de inhibidor.</i>	91
<i>Tabla 13. Costo del inhibidor.</i>	92
<i>Tabla 14. Costo de tratamiento del inhibidor orgánico y agua.</i>	92
<i>Tabla 15. Capex total del proyecto.</i>	92
<i>Tabla 16. Determinación del valor de las regalías.</i>	94
<i>Tabla 17. Valor presente neto para los diferentes escenarios.</i>	99
<i>Tabla 18. Resultados pérdida de masa de acero inoxidable 304.</i>	118
<i>Tabla 19. Resultados pérdida de masa de aluminio.</i>	119
<i>Tabla 20. Resultados de velocidad de corrosión en el acero inoxidable 304 de las 3 pruebas (Lote).</i>	120
<i>Tabla 21. Resultados de velocidad de corrosión en el aluminio de las 3 pruebas (Lote).</i>	120
<i>Tabla 22. Resultados de velocidad de corrosión de acero inoxidable 304 y aluminio, sumergidos en HCl, HCl-200ppm CQDs y HCl-2000ppm CQDs.</i>	121
<i>Tabla 23. Resultados de velocidad de corrosión de acero inoxidable 304 y aluminio, sumergidos en inh. convencional, inh. convencional-200ppm CQDs y inh. convencional-2000ppm CQDs.</i>	121
<i>Tabla 24. Resultados de velocidad de corrosión de acero inoxidable 304 y aluminio, sumergidos en inh. Orgánico, inh. Orgánico-200ppm CQDs y inh. Orgánico-2000ppm CQDs.</i>	122
<i>Tabla 25. Resultados de eficiencia de inhibición en acero inoxidable 304.</i>	122
<i>Tabla 26. Resultados de eficiencia de inhibición en aluminio.</i>	122
<i>Tabla 27. Resultados muestra de Aluminio expuesto a HCl, Inhibidor convencional Corrtreat 7395 e Inhibidor Orgánico.</i>	143
<i>Tabla 28. Resultados muestra de acero inoxidable 304 expuesto a HCl, Inhibidor convencional Corrtreat 7395 e Inhibidor Orgánico.</i>	144



<i>Tabla 29. Resultados muestra de Aluminio expuesto a HCl con una concentración de 2000 ppm de nanopartícula, Inhibidor convencional Corrtreat 7395 e Inhibidor Orgánico con una concentración de 2000 ppm de nanopartícula. ....</i>	<i>145</i>
<i>Tabla 30. Resultados muestra de Acero inoxidable 304 expuesto a HCl con una concentración de 2000 ppm de nanopartícula, Inhibidor convencional Corrtreat 7395 e Inhibidor Orgánico con una concentración de 2000 ppm de nanopartícula. ....</i>	<i>146</i>
<i>Tabla 31. Resultados muestra de Aluminio expuesto a HCl con una concentración de 200 ppm de nanopartícula, Inhibidor convencional Corrtreat 7395 e Inhibidor Orgánico con una concentración de 200 ppm de nanopartícula. ....</i>	<i>147</i>
<i>Tabla 32. Resultados muestra de Acero inoxidable 304 expuesto a HCl con una concentración de 200 ppm de nanopartícula, Inhibidor convencional Corrtreat 7395 e Inhibidor Orgánico con una concentración de 200 ppm de nanopartícula. ....</i>	<i>148</i>
<i>Tabla 33. Costos de operación del campo. ....</i>	<i>149</i>
<i>Tabla 34. Producción Neta de Crudo. ....</i>	<i>150</i>
<i>Tabla 35. Ingresos escenario pesimista. ....</i>	<i>151</i>
<i>Tabla 36. Ingresos escenario moderado. ....</i>	<i>152</i>
<i>Tabla 37. Ingresos escenario optimista. ....</i>	<i>153</i>
<i>Tabla 38. Flujo de caja escenario pesimista. ....</i>	<i>154</i>
<i>Tabla 39. Flujo de caja escenario central. ....</i>	<i>155</i>
<i>Tabla 40. Flujo de caja escenario optimista. ....</i>	<i>156</i>

## Lista de Figuras

	<i>pág.</i>
<i>Figura 1. Erogaciones en concepto de corrosión en la industria del petróleo y el gas en EUA (USD/año) .....</i>	<i>2</i>
<i>Figura 2. Tipología de corrosión.....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 3. Tipología de corrosión generalizada.....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 4. Tipología de corrosión localizada .....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 5. Tipología de corrosión por picadura.....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 6. Tipología de corrosión por grietas .....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 7. Tipología de corrosión por bajo depósito.....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 8. Tipología de corrosión galvánica. ....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 9. Tipología de corrosión por cavitación.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 10. Tipología de corrosión intergranular. ....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 11. Tipología de corrosión por baja tensión.....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 12. Tipología de corrosión microbiológica. ....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 13. Tipología de Inhibidores.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 14. Inhibidor fase vapor, proceso de inhibición. ....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 15. Acero inoxidable, con su recubrimiento de óxido de cobre.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 16. Tipos de aceros inoxidables.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 17. Válvula de acero inoxidable, tubería de acero inoxidable e intercambiador de calor. ....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 18. Tipos de nanopartículas y sus dimensiones. ....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 19. Proceso de emisión de luz tras la excitación electrónica en un QD.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 20. Fluorescencia de las QDs de diferentes tamaños.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 21. Espectrofotómetro UV- Vis y su celda de 10 mm.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 22. Composición de la sandía. ....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 23. Cascaras de sandia seleccionadas.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 24. Preparación del extracto. ....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 25. Espectro UV-VIS del extracto de la cascara de sandia. ....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 26. Láminas de acero inoxidable 304 y aluminio. ....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 27. Ácido clorhídrico 1M.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 28. Inhibidor convencional CORRTREAT 7395.....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 29. Carbon Quantum Dots.....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 30. Carbon Quantum Dots mayor y menor concentración.....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 31. Montaje de laboratorio.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 32. Resumen metodológico .....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 33. Pérdida de masa de las 3 pruebas (Lote) en acero inoxidable 304 y aluminio... </i>	<i>68</i>
<i>Figura 34. Velocidad de corrosión de las 3 pruebas (Lote) en acero inoxidable 304 y aluminio. ....</i>	<i>71</i>

<i>Figura 35. Velocidad de corrosión de acero inoxidable 304 y aluminio, sumergidos en HCl, HCl-200ppm CQDs y HCl-2000ppm CQDs. ....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 36. Velocidad de corrosión de acero inoxidable 304 y aluminio, sumergidos en inh. convencional, inh. convencional-200ppm CQDs y inh. convencional-2000ppm CQDs. ....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 37. Velocidad de corrosión de acero inoxidable 304 y aluminio, sumergidos en inh. Orgánico, inh. Orgánico-200ppm CQDs y inh. Orgánico-2000ppm CQDs. ....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 38. Eficiencia de inhibición para de las 3 pruebas (Lote) en acero inoxidable 304 y aluminio.....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 39. Espectro UV-VIS HCl evaluado en presencia y ausencia de nanopartículas (CQDs), antes y después de la prueba (A). Ensayos con Acero Inox 304, (B). Ensayos con aluminio.....</i>	<i>78</i>
<i>Figura 40. Espectro UV-VIS HCl, Inhibidor convencional, evaluado con adición de nanopartículas y sin nanopartículas antes y después de la prueba.....</i>	<i>80</i>
<i>Figura 41. Espectro UV-VIS HCl e Inhibidor orgánico evaluado con adición de nanopartículas y sin nanopartículas antes y después de la prueba.....</i>	<i>81</i>
<i>Figura 42. Espectro UV-VIS Lote 1.....</i>	<i>82</i>
<i>Figura 43. Espectro UV-VIS Lote 2.....</i>	<i>83</i>
<i>Figura 44. Espectro UV-VIS Lote 3.....</i>	<i>84</i>
<i>Figura 45. Costos de operación del campo con un Lifting Cost de 20 USD/Bbl. ....</i>	<i>93</i>
<i>Figura 46. Producción bruta y neta de crudo para el modelo conceptual.....</i>	<i>95</i>
<i>Figura 47. Ingresos vs Egresos para el modelo conceptual según los diferentes escenarios de precio de venta. ....</i>	<i>96</i>
<i>Figura 48. Ingresos por inyección de agua vs inyección de inhibidor con un precio de venta moderado de 80 USD/Bbl. ....</i>	<i>99</i>

## Lista de Anexos

	<i>Pág.</i>
<i>Anexo 1. Tablas prueba de pérdida de masa. ....</i>	<i>118</i>
<i>Anexo 2. Ficha técnica del inhibidor Corrtreat 7395.....</i>	<i>124</i>
<i>Anexo 3. Norma ASTM G 31-72 99. ....</i>	<i>135</i>
<i>Anexo 4. Fotografías del montaje de cajas Petri de las láminas en solución en el laboratorio antes y después de la prueba.....</i>	<i>143</i>
<i>Anexo 5. Tablas evaluación financiera.....</i>	<i>149</i>

*“Convertid un árbol en leña y arderá para vosotros,  
pero no producirá flores ni frutos para vuestros hijos”*

*Rabindranath Tagore*

## Introducción

*“El mundo es un lugar peligroso, no a causa de los que hacen el mal,  
sino por aquellos que no hacen nada para evitarlo”*

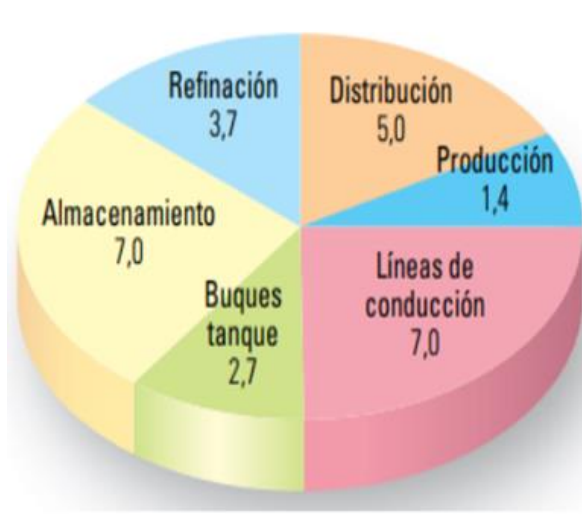
*Albert Einstein (1955).*

La producción de petróleo es una actividad de gran importancia para la economía mundial y de manera específica para la colombiana, una muestra de ello es que del periodo 2010 al 2017 aportó el 9% del Producto Interno Bruto (PIB) del país; además, de 2007 a 2017, los ingresos petroleros en promedio representaron el 12% de los ingresos corrientes de la nación (Guarín, 2020). Para asegurar la estabilidad del proceso la industria se enfrenta a diario a diversos retos técnicos, tecnológicos, ecológicos y económicos, entre los cuales, la corrosión resalta como uno de los problemas más comunes y significativos. Este problema está intrínsecamente relacionado con las condiciones severas del reservorio ecológico en el panorama mundial y con las diferentes sustancias corrosivas como ácidos y bases que se usan durante el proceso de explotación (Guarín, 2020).

Los costos asociados al fenómeno de corrosión son enormes. En un informe emitido por la National Association of Corrosion Engineers (NACE) para las grandes potencias del mundo como Estados Unidos, Japón, China y Canadá, los costos que ocasiona el deterioro de las superficies de los equipos, asociados a el proceso corrosivo, corresponden alrededor del 2 a 4 % del PIB de cada uno de estos países (Sastri, 2011); de acuerdo con la Administración Federal de Autopistas de EUA, en el año 2015 el costo directo anual estimado de la corrosión

para los Estados Unidos fue de USD 276 mil millones en español, lo que representa alrededor del 3.1% del producto interno bruto de este país (Koch et al., 2016).

Ahora bien, el control de la corrosión representa una fuente significativa de gastos para la industria del petróleo y el gas. En un estudio realizado en 1995 por la British Petroleum (BP) sobre sus operaciones en el Mar del Norte (Kermani y Harrop, 1996), la empresa estimó que los costos de control y prevención de la corrosión rondaban el 8% de los gastos del capital total para sus proyectos (ver Fig. 1). Asimismo, en la plataforma continental del Reino Unido, entre el 25 % y 30 % de los costos operativos de BP fueron destinados a el control y manejo de la corrosión. Los costos relacionados a la pérdida de producción, el reemplazo de los equipos corroídos y la contaminación ocasionada por la corrosión contribuían a los gastos generales. Además, la compañía pudo determinar que la corrosión tenía un costo directo significativo asociado con los problemas de salud, seguridad y medio ambiente (Asrar et al., 2016).



*Figura 1. Erogaciones en concepto de corrosión en la industria del petróleo y el gas en EUA (USD/año)*

*Fuente: Tomado de Asrar et al., 2016.*

Los científicos estiman que entre 25% y 30% de los costos de la corrosión podrían evitarse si se implementaran estrategias adecuadas para el manejo y la prevención de la corrosión (Chilingar et al., 2008). Una de las medidas de control para ello, es el uso de inhibidores, los cuales al agregarse estratégicamente en las concentraciones adecuadas disminuyen considerablemente la velocidad en la que se desarrolla el proceso corrosivo, formando una capa protectora entre el metal y el medio. Sin embargo, la mayoría de los compuestos usados para este fin (por ejemplo: sulfito de sodio, dióxido de azufre, bisulfito de sodio, bisulfito de amonio, las aminas, los aldehídos, los carboxilatos de cinc, la morfolina, las amidas, imidazolininas, las sales de amonio cuaternario, entre otros) (Asrar et al., 2016), resultan demasiado tóxicos y dañinos para el medio ambiente, el yacimiento o la infraestructura en superficie, como para el ser humano, causando algunos síntomas como dolor de garganta, falta de aire, tos, congestión, irritación en los ojos y en las mucosas, picazón y dermatitis, entre otros (Calabrian, 2015).

Por lo anterior y teniendo en cuenta la delicadeza, envergadura y complejidad de la problemática en mención, esta investigación tiene como objeto evaluar el efecto inhibitorio del extracto de origen orgánico de la corteza de la sandía como alternativa de mitigación de la corrosión ácida y su potencialización a través de la mezcla con nanopartículas.

La capacidad inhibidora en la corrosión ácida del extracto obtenido de la cascara de sandia fue evaluado por ser un residuo de un producto disponible en la región de Huila, de amplio consumo, sin estrategia de disposición y potencialmente aprovechable como materia prima para esta aplicación, Adicionalmente, este extracto puede ser potenciado con nanopartículas y comparar su eficiencia respecto a los inhibidores empleados tradicionalmente en la industria, para lo cual se propuso a realizar un trabajo estructurado en fases, que



posibilitará cuatro aspectos específicos, siendo estos: 1. Identificar las metodologías de inhibición y mitigación de la corrosión ácida en metales característicos de la industria del petróleo. 2. Establecer la línea base de la corrosión ácida sobre metales y del efecto inhibitorio y/o mitigador normalmente obtenido en la industria del petróleo a través de un inhibidor convencional. 3. Analizar el efecto del fluido inhibidor de origen orgánico y sus mezclas con nanopartículas Carbón Quantum Dots (CQDs) sobre la inhibición de la corrosión ácida que sufren metales característicos de la industria del petróleo. y 4. Determinar mediante prospectiva el potencial de factibilidad técnico – económico que tendrá el uso de extractos de origen orgánico en sinergia con nanopartículas como agente inhibidor y/o mitigador de la corrosión ácida característica de la industria del petróleo.

En ese orden de ideas, la investigación se efectuó como un estudio de tipo cuantitativo con enfoque hermenéutico - interpretativo, haciendo uso de técnicas de recolección y análisis de la información tales como: la revisión bibliográfica documental, la observación directa aplicada a la recolección de muestras físicas de acero inoxidable 304 y de aluminio, así como a la muestra de nanopartículas y del inhibidor convencional, sumado al proceso efectuado con las cáscaras de patilla.

En este orden de ideas, el estudio expone de manera organizada y pormenorizada los resultados de este proceso investigativo, del cual se concluye de manera general que el extracto de la cascara de sandia sí tiene la capacidad de generar resultados satisfactorios en el proceso de protección del metal, así como del medio ambiente; sin embargo, la adición de nanopartículas hace que su efecto inhibitorio sea mucho mejor disminuyendo la velocidad de corrosión de cada uno.

## Capítulo uno

### Horizonte investigativo

*“La Tierra proporciona lo suficiente para satisfacer las necesidades de cada ser humano, pero no la de su codicia”*

*Mahatma Gandhi.*

En el presente capítulo se exponen de forma detallada los elementos que integran del horizonte investigativo del estudio, estando dentro de ellos la justificación, los objetivos generales y los objetivos específicos.

#### 1.1 Justificación

Aunque en la actualidad los científicos e ingenieros poseen una mayor cantidad de información y a su vez comprenden con mayor facilidad los procesos corrosivos que se presentan a causa de las actividades de la industria petrolera, este fenómeno sigue representando un desafío enorme para el sector, ya que muchos de los métodos empleados para su tratamiento suelen ser demasiado costosos o nocivos, tanto para el ser humano como para el medio ambiente, lo que pone en riesgo esta actividad, la cual se entiende que es de suma importancia para el desarrollo de la economía y del mundo.

Debido al escenario descrito anteriormente, resulta imperativo el desarrollo de inhibidores de corrosión ambientalmente efectivos, sustentables, de fácil acceso y en lo posible que su origen sea de productos naturales, lo que representa una alternativa de interés en cuanto a conceptos como economía circular y a su vez serían útiles para disminuir la toxicidad ambiental y de salud pública de los procesos inhibidores de corrosión normalmente empleados. Los inhibidores provenientes de extractos de origen orgánico normalmente pueden ser

obtenidos a través de procedimientos sencillos, económicos, poco agresivos y con el potencial de reemplazo de los inhibidores convencionales.

En esta investigación se busca la obtención y caracterización de un inhibidor de corrosión ácida a partir de un extracto de origen orgánico, potencializado con nanopartículas Carbón Quantum Dots; y su evaluación experimental a escala laboratorio en metales comúnmente utilizados en la industria del petróleo, todo esto con el fin de aportar en los constantes esfuerzos medioambientales de la industria.

Esta investigación surge a partir del interés de aplicar una nueva metodología para la realización de un inhibidor capaz de controlar la corrosión ácida, posibilitando con ello evaluar el poder inhibitorio de un extracto orgánico potencializado con nanopartículas; resultando pertinente y altamente significativo en el proceso de gestión y cuidado de los recursos ambientales, así como de la salud de las personas, la cual se ha visto comprometida en diferentes escenarios industriales y laborales en donde el fenómeno de la corrosión ha estado de por medio.

Adicionalmente, se agrega que el estudio es potencialmente viable, ya que se plantea utilizar un inhibidor proveniente de un producto orgánico que las personas no consumen, como lo es la cáscara de la sandía, por lo que se favorecería la gestión económica de este sector agroindustrial.

Finalmente, es importante agregar que la viabilidad de este proyecto va a depender de la capacidad de acceso a la información técnica y científica, así como a los escenarios de trabajo académico y experimental.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo General**

Evaluar el efecto inhibitorio del extracto de origen orgánico de la corteza de la sandía como alternativa de mitigación de la corrosión ácida y su potencialización a través de la mezcla con nanopartículas.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Identificar metodologías de inhibición y mitigación de la corrosión ácida en metales característicos de la industria del petróleo.
- Establecer la línea base de la corrosión ácida sobre metales y del efecto inhibitorio y/o mitigador normalmente obtenido en la industria del petróleo a través de un inhibidor convencional.
- Analizar el efecto del fluido inhibidor de origen orgánico y sus mezclas con nanopartículas Carbón Quantum Dots sobre la inhibición de la corrosión ácida que sufren metales característicos de la industria del petróleo.
- Determinar mediante prospectiva el potencial de factibilidad técnico – económico que tendrá el uso de extractos de origen orgánico en sinergia con nanopartículas como agente inhibidor y/o mitigador de la corrosión ácida característica de la industria del petróleo.

## **Capítulo dos**

### **Estado del arte**

La corrosión se puede definir como la degradación de un material a causa de la acción del ambiente en que está inmerso. Esta degradación se debe al resultado de las interacciones del material y el ambiente bajo condiciones de exposición determinada y es un fenómeno que afecta sobre todo a los metales y sus aleaciones (Alter et al., 2004).

Los problemas asociados a este fenómeno han estado presentes durante mucho tiempo dentro del sistema productivo, afectando las eficiencias en los resultados obtenidos por las empresas, ya que este fenómeno es capaz de degradar cualquier material. Se ha encargado de deteriorar de forma crónica puentes, derribar aeronaves, arruinar plantas químicas y destruir todo el material metálico a su paso (Koch et al., 2016).

En ese orden de ideas la corrosión constituye un gran desafío para las industrias y gobiernos en el mundo, que con el transcurso de los años representa pérdidas millonarias. En un estudio realizado por la Asociación Nacional de Ingenieros de Corrosión (NACE internacional) el cual denominaron IMPACT (Koch et al., 2016), se dio a conocer que el costo estimado de la corrosión a nivel mundial es de: USD 2,5 billones de dólares en español, lo que equivale al 3.4 % del PIB mundial del 2013, costos que podrían estar relacionados a el reemplazo de equipos y estructuras, pérdidas de sobrecostos de producción e insumos, apoyo técnico, disminución del proceso productivo, riesgos en salud, equipos de reposición y mantenimiento, pérdidas por parada de producción, costos por monitoreo e inspección, entre muchos otros.

En Colombia uno de los principales ejes de la economía es la producción petrolera que representa el 40% de las exportaciones nacionales y el 4.8% del producto interno bruto (PIB) (Gómez, 2021). Gracias a la diversidad climática que existe en el territorio nacional, se favorecen muchos factores ambientales como la temperatura, la radiación solar, el viento y el grado de contaminación del medio, lo que facilita el desarrollo de la corrosión atmosférica y la corrosión por erosión que suelen ser las más comunes y representativas (Velilla et al., 2009).

En la industria del petróleo, la corrosión es un problema y una de las principales causas de fallas en las instalaciones de producción la cual representa un millonario costo ya que puede desencadenar en una serie de problemas que ponen en riesgo a los trabajadores de la compañía como al medio ambiente; según lo explica Gómez (Gómez, 2021) en estudios realizados por la NACE mencionan que más del 25% de las fallas ocurren debido a este fenómeno y puede representar entre el 3 y 4% del producto interno bruto (PIB).

Aunque existen pocos estudios donde se haya evaluado las repercusiones de la corrosión en Colombia, el impacto que esta ha tenido sobre la industria petrolera se ha podido evidenciar en los costos indirectos asociados a daños en la infraestructura y/o multas del sector.

Sumado a lo anterior, se conoce que entre el periodo 2008 y 2011, la empresa Ecopetrol derramó accidentalmente más de 15.000 barriles de crudo, lo cual ocurrieron entre otras razones, debido a la corrosión existente entre las líneas de flujo, obligando posteriormente a la petrolera a invertir 600 millones de dólares en la recuperación y sustitución de algunos tramos de los 9.000 kilómetros de oleoductos y poliductos, todo esto causando, como es obvio enormes daños ambientales, algunos de carácter irreversible (González, 2011).

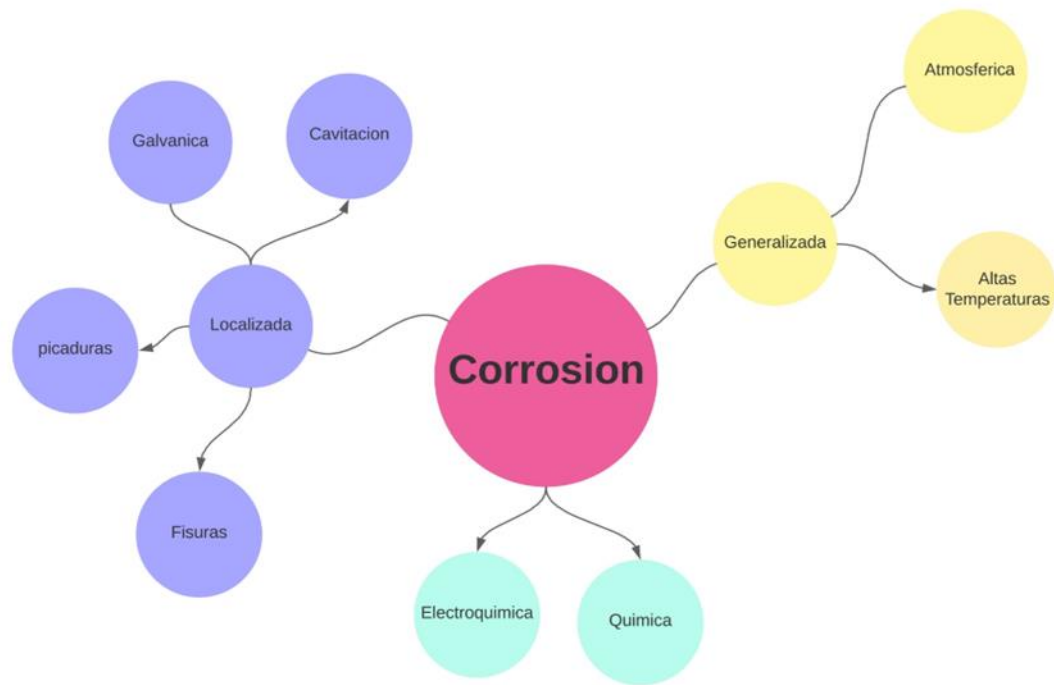
En el año 2020 la ANLA (Autoridad Nacional de Licencias Ambientales) anunció la imposición de una multa por \$5.000.155.000 de pesos colombianos (COP) por el afloramiento

de crudo en inmediaciones del pozo La Lizama 158, ocurrido en el año 2018. El reporte técnico entregado por Ecopetrol estableció que el factor crítico que ocasionó este incidente fue la corrosión en el revestimiento del pozo de producción, el cual se hallaba en estado de abandono, generando este nefasto derrame de crudo (Cristancho, 2019).

Ahora bien, para realizar el adecuado proceso de perforación, producción, manejo y transporte de hidrocarburos es imperativo tener en cuenta algunos aspectos primordiales y de enorme significancia, desde el punto de vista de la corrosión y su control oportuno. Los materiales utilizados en estas operaciones se deben someter a condiciones especiales de temperatura, presión, fluidos con diferentes características, velocidades de fluidos diversas, variaciones en los patrones de flujo, cambio en los valores de los parámetros operacionales asociados a las etapas de producción y transporte del crudo o gas natural; sólo teniendo en cuenta estos aspectos es posible diseñar y seleccionar los materiales más adecuados para el control o mitigación de la corrosión en cada etapa de extracción, producción y manejo de hidrocarburos (González, 2011).

## **2.1 Tipología de corrosión**

Este fenómeno se puede presentar de muchas formas y los estudios especializados en el tema afirman que es importante conocerlas a profundidad para poder identificarlas y controlarlas a tiempo, algunas de las más habituales son:



*Figura 2. Tipología de corrosión  
Fuente: Elaboración propia.*

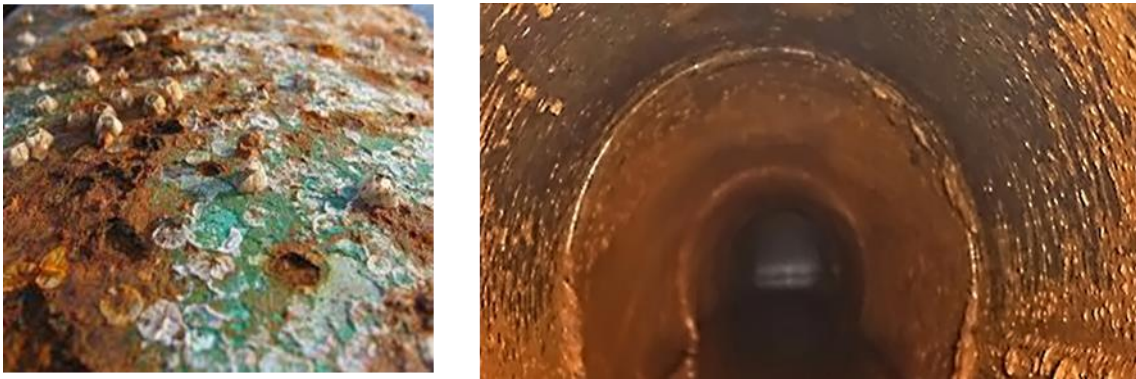
**2.1.1 Corrosión generalizada:** Este tipo de daño se presenta de manera uniforme, atacando toda la superficie por igual. El metal se oxida y pierde una fina capa superficial, cuyo espesor dependerá de la velocidad y duración con la que se evidencie el ataque (Vázquez, 2018), tal como se aprecia en la Figura 3.



*Figura 3. Tipología de corrosión generalizada  
Fuente: Tomado de Palacios y Vega, 2004.*



**2.1.2 Corrosión localizada:** En lugar de producirse en un área generalizada, esta actúa sobre zonas específicas y es más peligrosa que otros tipos de corrosión debido a que es impredecible y puede propagarse rápidamente. Además, puede dar origen a corrosión por picaduras, corrosión por grietas o fisuras y corrosión bajo depósito (Asrar et al., 2016), como se puede observar en la Figura 4.



*Figura 4. Tipología de corrosión localizada  
Fuente: Tomado de Paredes, 2022.*

**2.1.3 Corrosión por picadura (Pitting corrosión):** Se presenta como una pérdida localizada del material y puede desencadenar en profundos y delgados agujeros. El contacto eléctrico entre metales distintos o entre celdas de concentración, causa una diferencia de potencial que acelera la velocidad en que se propaga el deterioro del material. Las picaduras son particularmente problemáticas, ya que la pérdida local de metal puede perforar a través de tuberías y conductos (Nava, 2019); (ver en Figura 5).



*Figura 5. Tipología de corrosión por picadura  
Fuente: Tomado de Amarine, 2020.*

**2.1.4 Corrosión por grietas (Crevice corrosion):** Ocurre alrededor de espacios o aberturas formadas por el contacto entre metales o entre un metal y un no metal (Nava, 2019), como se evidencia en la Figura 6.



*Figura 6. Tipología de corrosión por grietas  
Fuente: Tomado de Palacios y Vega, 2004.*

**2.1.5 Corrosión bajo depósito:** Se produce cuando la arena, las sustancias corrosivas o los sólidos porosos se adhieren a las superficies metálicas. La zona debajo del depósito es resistente a los inhibidores y se puede corroer rápidamente; sin embargo, esta podría controlarse limpiando las superficies internas de las tuberías (Asrar et al., 2016), (ver Figura 7).



*Figura 7. Tipología de corrosión por bajo depósito  
Fuente: Tomado de Gonzáles, 2016.*

**2.1.6 Corrosión galvánica:** Aparece cuando dos metales distintos se ponen en contacto eléctrico y la unión queda inmersa en un medio conductor de iones (por ejemplo: agua). También puede ocurrir cuando dos piezas del mismo material en diferente estado se ponen en contacto tal como se expone en la Figura 8 (Vázquez, 2018).



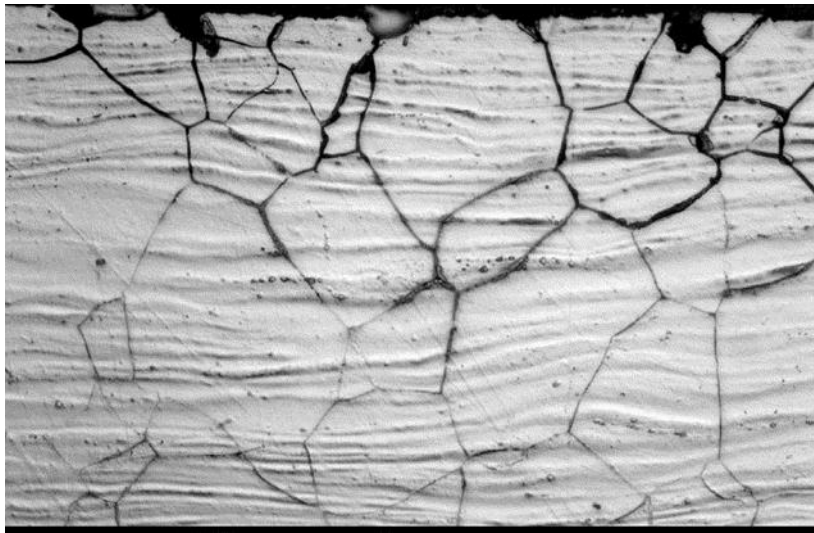
*Figura 8. Tipología de corrosión galvánica.  
Fuente: Tomado de Line – X, 2018.*

**2.1.7 Corrosión por cavitación:** Con el tiempo, la cavitación puede ocasionar la formación de picaduras profundas en áreas de flujo turbulento, esto se produce por la implosión de burbujas que se forman cuando la presión cambia rápidamente en los líquidos de circulación, un ejemplo de ello se expone en el collage presente en la Figura 9 (Asrar et al., 2016).



*Figura 9. Tipología de corrosión por cavitación  
Fuente: Tomado de Instituto Asteco, 2021.*

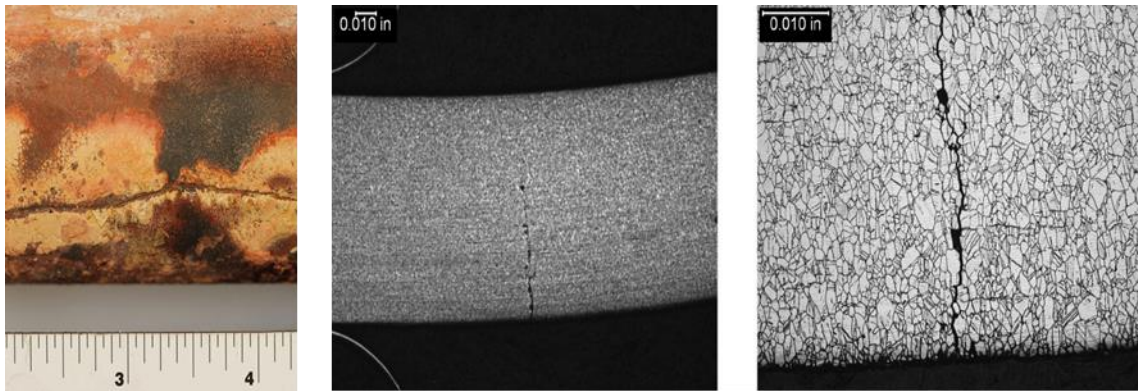
**2.1.8 Corrosión intergranular:** Es un tipo de ataque selectivo localizado en los límites de grano, el cual ocurre porque en él existe una mayor concentración de impurezas que en la matriz. Si el ataque no se detiene, pueden llegar a desprenderse granos completos del metal, así como se visualiza en la Figura 10 (Vázquez, 2018).



*Figura 10. Tipología de corrosión intergranular.  
Fuente: Tomado de Sacome, 2017.*

**2.1.9 Corrosión bajo tensión:** Ocurre debido a los efectos combinados de un entorno corrosivo y un esfuerzo de tensión (cargas externas o tensiones internas). Este tipo de corrosión

termina por provocar una fractura o fisuras ramificadas en el material, así como lo muestra la Figura 11 (Vázquez, 2018).



*Figura 11. Tipología de corrosión por baja tensión  
Fuente: Tomado de Structural Integrity, 2023.*

**2.1.10 Corrosión microbiológica:** Es una forma de corrosión en la que actúan microorganismos que pueden iniciar, promover o acelerar este fenómeno, los tipos más comunes de bacterias son las sulfato reductoras que son las encargadas de generar el  $H_2S$ , formando a su paso la generación de la corrosión ácida o agria como se observa en la Figura 12 (Vázquez, 2018).



*Figura 12. Tipología de corrosión microbiológica.  
Fuente: Tomado de Merus, 2022.*

En la industria petrolera los tipos de corrosión más comunes se deben a la exposición al dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ , corrosión dulce), al ácido sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ , corrosión ácida) y al oxígeno ( $\text{O}_2$ ). El  $\text{H}_2\text{S}$ , es un gas inflamable y tóxico, que es más pesado que el aire y su presencia se debe a la producción de gas dulce de altas profundidades y a su uso en técnicas de recuperación que utilizan la inyección de gases (Nava, 2019). Con el tiempo los metales que se ven sometidos a este ácido sufren cambios en sus propiedades mecánicas, por ejemplo: resistencia al esfuerzo, el límite elástico, entre otras. Esto lleva a la reducción del grosor y finalmente a la rotura o pérdida total del material que puede afectar cualquier parte del sistema de producción petrolera (Asrar et al., 2016).

Según Nava (2019) se conoce que durante la reacción química de la corrosión por presencia de  $\text{H}_2\text{S}$ , el sulfuro de hierro que se produce se incrusta a la superficie del acero en forma de polvo negro. Bajo ciertas condiciones de presión y temperatura, el  $\text{H}_2\text{S}$  reacciona con el agua lo que genera la disociación de los átomos de hidrógeno. Cuando el hidrógeno está separado a nivel atómico, este se introduce y se difunde en el acero a través del espesor del cuerpo del tubo. Si no se detiene; el hidrógeno atómico puede comenzar a acumularse, lo que ocasiona un aumento de la presión en los espacios intragranulares del acero, generando pequeñas fisuras que se empiezan a propagar, uniéndose entre sí, dando lugar a fisuras escalonadas y finalmente la separación del acero por planos.

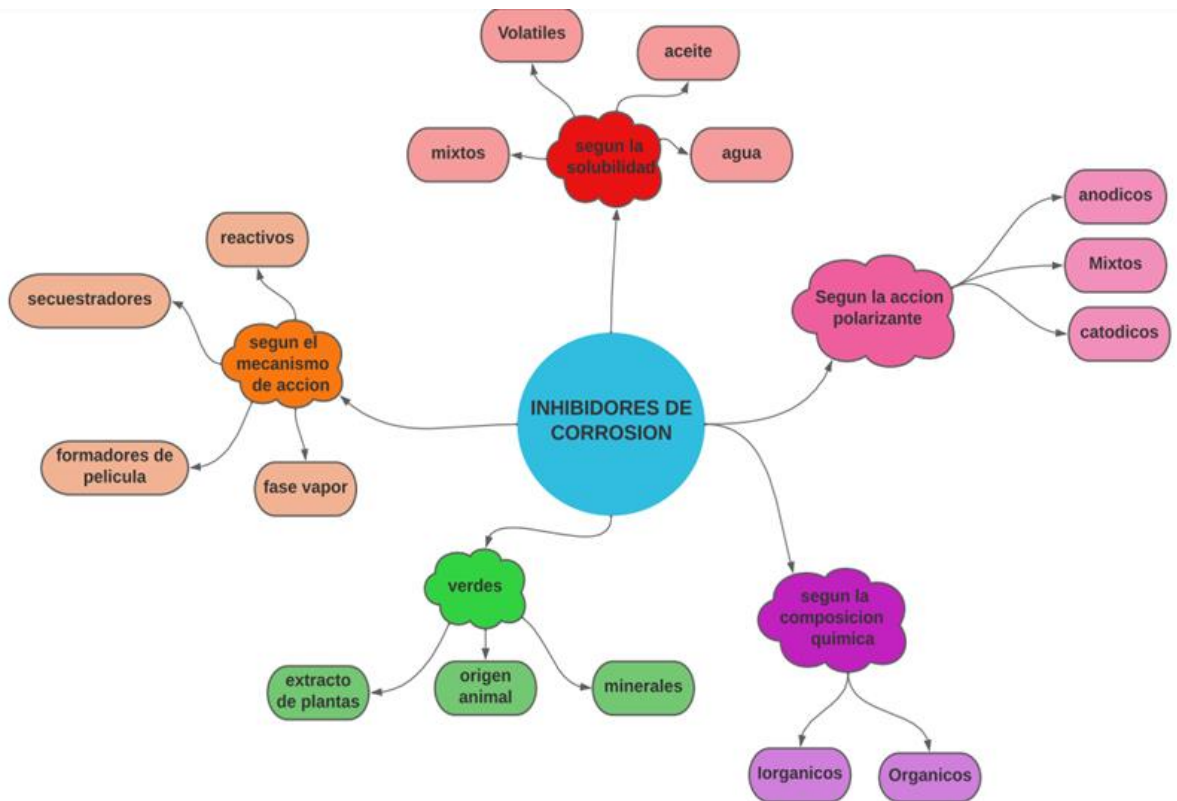
La tasa de corrosión por  $\text{H}_2\text{S}$  depende principalmente de 4 factores: la concentración de  $\text{H}_2\text{S}$ , el pH del medio y la condición de temperatura y presión del ambiente (Nava, 2019). Debido a los escenarios anteriormente descritos, se ha hecho necesario desarrollar diferentes métodos para combatir la corrosión, entre los que se pueden encontrar: utilizar aleaciones

resistentes a la corrosión (CRAs), elementos para su detección, inhibidores, recubrimientos y otros.

## **2.2 Inhibidores y sus tipologías:**

Los inhibidores son sustancias que contribuyen a la disminución o prevención de las interacciones entre el metal y el medio, siempre y cuando se agreguen de la manera correcta. Estas sustancias retardan el proceso de corrosión e incrementan el comportamiento de la polarización anódica y/o catódica, reducen el movimiento o difusión de los iones hacia la superficie metálica y acrecientan la resistencia eléctrica de la superficie (Sastri, 2011).

Los inhibidores de corrosión son eficaces sólo para un material metálico en particular en un entorno determinado. Los cambios menores en la composición de la solución o de aleación pueden alterar significativamente la eficacia de la inhibición (Finšgar y Jackson, 2014). A pesar de esto el uso de inhibidores es un método muy popular gracias a que es uno de los más rentables y prácticos. Su adecuado uso puede reducir significativamente los costos en el desarrollo de un proyecto en comparación con la implementación de aleaciones de alto grado. La eficiencia del inhibidor depende del uso del material o de las aleaciones y estos pueden alargar la vida útil de las tuberías, previniendo fallas y escapes. A continuación, se presenta la clasificación de inhibidores según diversos criterios, los cuales son expuestos en la Figura 13.



*Figura 13. Tipología de Inhibidores.  
Fuente: Elaboración propia.*

Los inhibidores de corrosión están diseñados para minimizar la pérdida de metal, que puede reducir la vida útil de los intercambiadores de calor, la tubería de agua recirculante y el equipo de enfriamiento de proceso (Asrar et al., 2016). corresponden a cinco categorías principales: según su solubilidad, según su acción polarizante, según el mecanismo de acción, según la composición química y los verdes.

### **2.2.1 Clasificación de los inhibidores según su acción polarizante:**

Los inhibidores según su acción polarizante se dividen en tres tipos, los cuales se exponen a continuación.



- ***Inhibidores anódicos:*** actúan formando un compuesto insoluble de óxido, que es resistente a la corrosión por medio de un efecto pasivo, evitando la reacción anódica y favoreciendo la reacción catódica. Algunos de los más comunes son; hidróxido sódico, carbonato, borato de sodio, benzoato de sodio, cromatos, nitritos, silicatos, molibdatos, etc. (Alvarado, 2006).

- ***Inhibidores catódicos:*** Actúan formando una capa que disminuye la corriente de corrosión, aumentando el potencial de hidrógeno que restringe el acceso de oxígeno a la superficie del metal. Se utilizan polifosfatos, fosfonatos, iones como; zinc, calcio, magnesio (Álvarez, 2016).

- ***Inhibidores Mixtos:*** estos inhibidores tienen la capacidad de reducir la velocidad de reacción de oxidante en el ánodo y a su vez retardar la reacción de reducción de hidrógeno en el cátodo (Álvarez, 2016).

### **2.2.2 Clasificación de los inhibidores Según la composición química:**

Los inhibidores que se clasifican según su composición química se dividen en dos tipos mencionados a continuación.

- ***Inorgánicos:*** Se encuentran los pasivantes que cambian el potencial de corrosión ya que son agentes oxidantes, como iones de cromato, nitrito y no oxidantes como fosfato y molibdato, especies como  $\text{CrO}_4^-$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $(\text{PO}_3)_X$  (Ramírez y Xiques, 2007). Los precipitantes depositan una película adherente parcialmente continua sobre el metal, protegiéndolo por aislamiento del entorno corrosivo, entre los que se encuentran el  $\text{CaCO}_3$ , polifosfatos y polisilicatos (Álvarez, 2016).

- ***Inhibidores orgánicos:*** esta clase de inhibidores forman capas por adsorción en toda la superficie, son fuertemente polares, no actúan en una zona anódica o catódica, por esto el potencial no varía, pero se sigue cumpliendo con la disminución de la velocidad de corrosión. Se caracteriza por tener dos secciones con propiedades diferentes, al final de la cadena es un grupo apolar soluble en aceite (Hidrofóbica) y en la cabeza polar (hidrofílica), conteniendo átomos de N, O, S, etc. Este grupo es muy amplio, entre ellos se encuentran; coloides, aminas, amidas, hidrazina, aldehídos, tioderivados, polialcoholes, amino-alcoholes, benzoatos, silicatos y imidazolinas (Ramírez y Xiques, 2007).

### 2.2.3 Clasificación que tiene en cuenta el mecanismo de acción:

Los inhibidores que tienen en cuenta el mecanismo de acción se dividen en cuatro, mencionados a continuación.

- ***Secuestradores:*** Los inhibidores secuestradores de oxígeno se usan comúnmente en situaciones donde el oxígeno se presenta como una amenaza corrosiva. Estos agentes no sólo reducen la corrosión oxidante, sino que además controlan el crecimiento de los microbios que requieren oxígeno para prosperar. Un ejemplo de ellos es el sulfito de sodio. También existen los secuestradores de ácido sulfhídrico que tienen como función disminuir la concentración de H<sub>2</sub>S presente en la corriente de flujo. Algunos ejemplos son las aminas y los aldehídos (Vargas, 2020).

- ***Agentes reactivos:*** Los inhibidores reactivos operan formando películas insolubles que se adhieren a la superficie de los metales, mediante la reacción de los cationes y los aniones catódicos. Algunos ejemplos son el carbonato de magnesio y los óxidos de hierro (Vargas, 2020).

- **Inhibidores fase vapor:** Los inhibidores en fase vapor neutralizan la corrosión por  $\text{CO}_2$  e impiden la formación de ácido carbónico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ), son transportados a través de las líneas de gas húmedo en la fase vapor. Algunos ejemplos son la morfolina y la etilendiamina (Vargas, 2020). Son sustancias químicas vaporizantes que combaten la corrosión mediante la formación de barreras iónicas sobre las superficies metálicas. Estas barreras obstaculizan que la humedad y los agentes corrosivos disueltos en ella, reaccionen con los átomos metálicos e inicien la corrosión. en la Figura 14. Se representa a una pieza metálica (rectangular gris), dentro de un recipiente cerrado. En la parte superior, el rectángulo amarillo con las letras *VCI*, representa a un emisor de vapores protectores. Los puntos amarillos representan al vapor inhibidor y el color azul a la humedad. Dentro del círculo, que representa la magnificación de una lupa, se puede observar cómo los puntos amarillos (con cargas + y -) han formado una barrera de átomos cargados con electricidad (iones) entre la superficie de la pieza metálica y el agua líquida que se ha condensado sobre ella (Petroblogger, 2015).

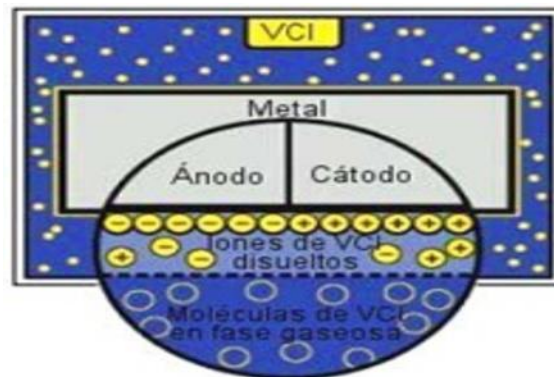


Figura 14. Inhibidor fase vapor, proceso de inhibición.  
Fuente: Tomado de Esva Soutions, 2020.

- **Formadores de películas:** Los inhibidores formadores de películas crean una capa continua entre el metal y los fluidos reactivos, reduciendo el ataque de los elementos corrosivos (agua y petróleo). Son eficientes contra la corrosión por  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{S}$ , pero no tienen

ningún efecto contra la corrosión por O<sub>2</sub> y se encuentran disponibles en distintas formas: solubles en petróleo, solubles en agua y dispersables en agua (Vargas, 2020).

### 2.3.3 Clasificación de inhibidores según la solubilidad:

Los inhibidores también pueden clasificarse según su nivel de solubilidad, en ese orden de ideas a continuación, se exponen las tres tipologías de inhibidores de acuerdo con la categoría de inhibición.

- ***Inhibidores de Base Aceite/Solvente:*** Los inhibidores de corrosión de este tipo se basan en la formación de barreras protectoras para prevenir el contacto del agua con las superficies metálicas. Estos materiales se utilizan directamente del contenedor sin la necesidad de diluirlo o prepararlos para su uso. Se utilizan sin ser diluidos, la película protectora cuya forma puede ser suave, semi dura y transparente, requiere además de un limpiador o solvente para retirarlos. Un ejemplo es la imidazolina o aminas cuaternarias (Petroblogger, 2015).

- ***Inhibidores de Corrosión de Base Agua:*** Los inhibidores de corrosión de base agua funcionan modificando las características de las superficies del metal para disminuir su susceptibilidad a la formación de la oxidación y la corrosión. Los inhibidores de corrosión de base agua generalmente tienen características muy deseables. Las películas químicas formadas son delgadas y son transparentes cuando se secan (Petroblogger, 2015).

- ***Inhibidores de Corrosión Biodegradables:*** Una práctica comúnmente utilizada para el control del deterioro de instalaciones industriales, equipos, maquinarias y estructuras de diversa índole es el uso de inhibidores de corrosión, que al ser añadidos en pequeñas cantidades en un ambiente determinado (líquido o gaseoso) reduce la acción nociva que ejerce el medio sobre el material. Si bien se han estudiado innumerables compuestos que pueden

actuar como inhibidores de corrosión en medios acuosos, la gran mayoría no cumplen con los requisitos que plantean las nuevas normativas de toxicidad y de protección del medio ambiente (Petroblogger, 2015).

Según lo expuesto anteriormente, se evidencia que estos inhibidores químicos son muy costosos y nimiamente amigables con el medio ambiente, lo que ha llevado a que en la actualidad la mejor alternativa sea el desarrollo de inhibidores orgánicos, ya que estos se obtienen a partir de extractos naturales, que son abundantes en la tierra y más amigables con el medio ambiente, además de que a través de variedad de estudios se ha podido demostrar su eficiencia.

Según Nahlé et al., (2010), se ha logrado determinar que el extracto de las hojas de Neem para combatir la Corrosión del acero al carbono en solución de HCl 1M mediante pruebas electroquímicas y de pérdida de masa a temperaturas entre 303 y 343 K, es altamente eficaz, alcanzando resultados positivos de alrededor del 87% a temperatura ambiente y del 80% a 303K, el porcentaje de inhibición disminuyó con el aumento de la temperatura.

A pesar de que se demostró su eficiencia, es necesario evaluar su aplicabilidad en la industria a gran escala, debido a su limitación en el rango de temperaturas que está muy por debajo de los valores característicos de yacimientos petroleros profundos y de algunas facilidades de superficie. Adicionalmente, es importante precisar que los autores en mención no describen cuál es el principio activo responsable de la inhibición, ni el mecanismo cinético a través del cual ocurre la misma.

Asimismo, Mehdipour et al., (2015), estudiaron la acción de inhibición de la hoja del Aloe Vera, en una solución de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1M mediante técnicas electroquímicas, microscopía electrónica de barrido y de ruido electrónico. Logrando demostrar que a medida que

aumentaba la concentración de aloe vera, el efecto inhibitor se hacía más eficaz; además se pudo clasificar dicho inhibidor como de tipo mixto, es decir, el inhibidor se puede unir a la enzima al mismo tiempo que el sustrato. Pese a ello, aunque el proyecto contaba con tecnologías modernas, no se realizaron pruebas en diferentes medios ácidos, a diferentes concentraciones y temperaturas, o sobre diferentes superficies para observar qué factores afectan su comportamiento.

Posteriormente, Chacón (2016), demostró la eficiencia de compuestos presentes en la cáscara de manzana Red Delicious (*Pyrus malus* Ledeb) los que fueron obtenidos mediante el método de extracción Soxhlet. Los ensayos de inhibición fueron realizados en un medio ácido ( $\text{H}_2\text{SO}_4$  1M) sometido a temperaturas entre 25 y 50 °C en condiciones estáticas. La cuantificación se desarrolló realizando pruebas gravimétricas y electroquímicas, para el acero al carbono 1018, se obtuvo como resultado que el extracto metanólico obtenido por el método Soxhlet a partir de la cáscara de manzana, actúa como inhibidor del tipo catódico y respecto a las Curvas de Polarización Potenciodinámicas, con 500  $\mu\text{L}$  de extracto en 100 mL de solución ácida, y a 25 °C, se presenta la mayor eficiencia de inhibición. No obstante, en esta investigación optaron por emplear un método de extracción que puede resultar extremadamente lento y poco práctico para el escalado; además, se necesita de una gran cantidad de disolvente, factores importantes a considerar si, se desea desarrollar un inhibidor con este extracto a gran escala, dado que los costos operativos pueden llegar a ser muy elevados.

De otro lado se llevó a cabo una investigación efectuada por Chamorro (2016), quien estudió la eficiencia inhibitoria del aceite de la semilla de chía en el acero al carbono SAE 1018 en solución de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1M, mediante técnicas electroquímicas como polarización

potenciodinámica y espectroscopia de impedancia electroquímica (EIS) concentraciones de inhibidor en el rango de 10 a 500 ppm. Paralelamente se utilizó la técnica de pérdida de masa y microscopía electrónica de barrido (SEM) para caracterizar la superficie del acero expuesto al medio ácido en presencia y ausencia del inhibidor. Los resultados obtenidos por las técnicas empleadas confirmaron una baja eficiencia de inhibición a la corrosión del aceite de chía en el rango de 55-87%. En esta investigación se utilizó el método de extracción soxhlet con hexano como disolvente, para extraer el aceite de las semillas de chía, y como se mencionó anteriormente, este es un método que utiliza una gran cantidad de disolvente, siendo lento y poco práctico. Adicionalmente se ha demostrado que la semilla de chía tiene un alto valor agregado dentro de la canasta familiar, por lo que el uso de esta para la aplicación aquí tratada resulta costoso.

De forma similar, Bedoya (2017), demostró la eficiencia del aguacate de variedad papelillo, de la familia Persea Americana Mill, en un medio corrosivo NaCl al 3.5%. La investigación logró valorar la inhibición a través de técnicas de curvas de polarización Tafel y de espectroscopia de impedancia electroquímica (EIS), donde luego de doce meses de pruebas en el laboratorio de plasma de la Universidad Nacional de Colombia, se logró comprobar una eficiencia en cuanto a la velocidad de corrosión del 17,97% y en cuanto a la resistencia del 32,92% en el acero A36 que se usa en construcción. Sin embargo, la principal debilidad para implementar este tipo de productos o compuestos obtenidos de ellos como inhibidor, es que se emplea un fruto de gran valor dentro de la canasta alimenticia. Ante esta dificultad y la no identificación del principio activo (taninos), junto con su distribución dentro de los constituyentes del fruto, no se evaluó el aprovechamiento de los residuos de este fruto como fuente del extracto inhibidor.

Posteriormente, Guzmán (2018), evaluó la eficiencia de una amida grasa sintetizada a partir del aceite del bagazo del café, en el acero X-70 mediante técnicas electroquímicas en salmuera saturada con CO<sub>2</sub> a 60 °C, donde se identificó que es un inhibidor de tipo catódico con una eficiencia superior al 95% a concentraciones mayores de 10 ppm, siendo 25 ppm la concentración óptima de inhibición. Adicionalmente, se señala que el inhibidor se puede evaluar en rangos diferentes de temperatura y en diversas concentraciones y soluciones ácidas para identificar qué factores pueden comprometer su eficiencia verificando si es viable su desarrollo en condiciones similares a las de los yacimientos petrolíferos.

Dentro del panorama investigativo, también es importante traer a colación un estudio elaborado por Vergara et al., (2018), en el que se demostró el efecto inhibitorio de los extractos etanólico y acuoso de las hojas de *Annona muricata* L. Las condiciones de extracción se establecieron a partir del contenido de sólidos solubles totales y el efecto inhibitorio de la corrosión obtenido a partir de la resistencia a la polarización,  $R_p$  ( $\Omega \cdot \text{cm}^2$ ), del acero 1008 en una solución de HCl 1M, en ausencia y presencia del extracto inhibidor. Los extractos con mayor efecto inhibitorio de corrosión fueron caracterizados por tamizaje fitoquímico, cuantificación de fenoles totales, alcaloides, flavonoides y actividad antioxidante (DPPH). La investigación logró concluir que el mayor efecto inhibitorio de la corrosión para el acero, en solución ácida HCl 1M, se alcanzó con el extracto etanólico obtenido a 21°C y el extracto acuoso obtenido a 50°C. No obstante, hubiese sido interesante observar el comportamiento de este inhibidor verde en otros materiales, elaborando una Tabla comparativa para identificar en qué industria y en qué condiciones se podría aprovechar su capacidad inhibitoria.

Por su parte, Díaz et al., (2019), elaboraron una investigación en la que se estudiaron los extractos hexánico y metanólico de cúrcuma longa, como inhibidor de la corrosión del



acero 1018 en una solución NaCl al 3% en peso, mediante técnica de espectroscopia de impedancia electroquímica (EIE) a concentraciones de 0, 10, 20, 50 100 ppm al tiempo de inmersión, obteniendo como resultado una eficiencia de inhibición del 93,68% a las 20 ppm para el extracto metanólico, mientras que para el extracto hexánico, se obtuvo una eficiencia de 72,04% a 100 ppm.

Se debe acotar que el equipo de investigación no describió en qué condiciones de temperatura se obtuvieron estos resultados y adicionalmente, esta representa un valor agregado dentro de la canasta familiar, por lo que su uso podría llevar a una mayor demanda, incrementando su valor en el mercado, pero esto a su vez sería beneficioso, para quienes estén incursionando en el cultivo de esta especie, ya que este es un cultivo asiático procedente de la india, el cual es relativamente nuevo en la nación Colombiana.

Más recientemente, Rodríguez et al., (2020), evaluaron el efecto inhibitorio a partir de la cáscara de sandía sobre el acero estructural A36 en medio ácido (HCl 0,5 M) y en medio salino (NaCl 3,5%) a diferentes tiempos de exposición (0, 11 y 24 días), a través de análisis como pérdida de masa del material, métodos electroquímicos y análisis metalúrgico, obteniendo como resultado que, en medio salino durante 24 días de exposición, se alcanza una eficiencia del 94% y para 24 días de exposición en medio ácido una del 77%. Llegados a este punto, a pesar de los buenos resultados, hubiese sido necesario observar el comportamiento de este inhibidor bajo las mismas condiciones, pero en diferentes materiales, con el fin de identificar en cuales se obtiene una mejor eficiencia; sin embargo, esta labor no fue desarrollada por el estudio.

Asimismo, Silva et al., (2021), analizaron los efectos de la adición de Yerba Mate soluble como inhibidor en los procesos de corrosión de aluminio y zinc en una solución de

HCl 0,1 M en ausencia y presencia de inhibidor con 0,064, 0,124 y 0,248 g de Yerba Mate soluble/L de solución a temperaturas de 298k, 308k, 315k y 323K, utilizando baño termostático, ensayos de pérdida de masa, ensayos electroquímicos de polarización potenciodinámica (PP) y espectroscopia de impedancia electroquímica (EIE), obteniendo como resultado que tanto para el aluminio como para el zinc, el rendimiento aumentó con el incremento de la concentración de Yerba Mate y disminuyó con el aumento de la temperatura, lo que se convierte en su mayor limitación y por lo tanto, no se podrá tener en cuenta para ser aplicado en yacimientos petrolíferos profundos. Adicionalmente se aclara que se alcanzaron valores mayores para el aluminio, en comparación con el zinc.

Ante el escenario anterior y la gran variedad de especies de frutos y plantas que tienen potencial de aprovechamiento como materia prima para la obtención de inhibidores de corrosión en metales, es importante realizar una revisión de generalidades y características importantes de algunas especies, así como de elementos como las nanopartículas que por sus propiedades excepcionales (alta relación área superficial a volumen y capacidad de funcionalización), pueden ser empleadas para potencializar aún más los efectos inhibidores de extractos orgánicos.

### **2.3 Los aceros inoxidables y su importancia como material más recurrente en el sector petrolero**

En el sector petrolero ya sea dentro de panorama local, nacional o internacional, el material más empleado en la elaboración de tuberías, oleoductos, manifold, intercambiadores de calor, tanques, separadores y válvulas, entre otros, es el acero, el cual como ya se sabe es un material altamente usado, muy costoso y además está sujeto a fenómenos químicos que lo deterioran con facilidad, como es el caso de la corrosión.

Inicialmente, en el sector petrolero eran frecuentemente usados los tubos de acero al carbón, siendo estos más fáciles de corroer, razón por la cual se utilizaban muchos para reemplazar los deteriorados a causa de la corrosión, además era bastante el gasto económico generado por la dinámica de daño y reposición que estos generaban. Una de las primeras aplicaciones del acero inoxidable fue la de la sustitución de secciones de tubos por una aleación de cromo, conocida actualmente como acero inoxidable tipo 429. Se precisa que solo fue con el devenir histórico, durante los años de la primera guerra mundial en Inglaterra y Alemania que se empezó a gestionar el desarrollo original de los aceros inoxidables, cuyos beneficios afectan al mundo contemporáneo aún hoy en día (Andarcia y Molina, 2013).

Ahora bien, se conoce que, dentro de la tipología de los aceros, el más propenso a la corrosión es el acero al carbón, ya que cuando este queda expuesto a elementos como el oxígeno, la humedad, ácidos o altas temperaturas, se oxida generando lo que se conoce como el óxido de hierro polvoriento en su superficie. Al respecto de esta problemática, se ha identificado que, si no se toman las medidas necesarias para combatirlo de manera temprana, el acero sigue oxidándose hasta llegar al punto de quedar completamente corroído o destruido. otro punto importante a tener cuenta es que el acero inoxidable también se oxida, pero de una manera más lenta y completamente diferente ya que este cumple un proceso en donde al tener cromo en su composición química, lo que hace es crear una capa protectora de óxido de cromo que protege el acero, siendo así como al momento de romperse esta capa, inmediatamente vuelve a formarse otra película, la que surge de la combinación del cromo con el oxígeno, así como se muestra en la Figura 15 (Pino, 2006).

Si se rompe la película pasiva, al entrar en contacto el cromo del acero inoxidable con el oxígeno, se regenera la película.

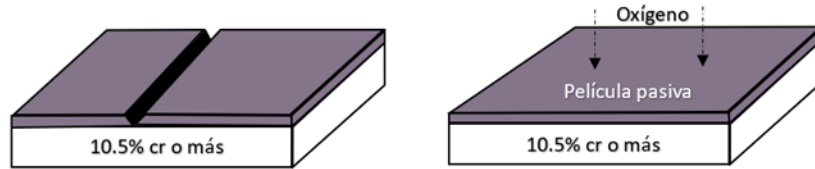


Figura 15. Acero inoxidable, con su recubrimiento de óxido de cobre.  
Fuente: Adaptado de Bonnet, 2007.

## 2.4 Tipología de Aceros Inoxidables.

Los aceros inoxidables son resistentes a la corrosión, pero existen diferentes tipos donde su resistencia a la corrosión es distinta ya que tienen diferente composición química. Los aceros inoxidables se clasifican en tres grupos como se muestra a continuación en la Figura 16.

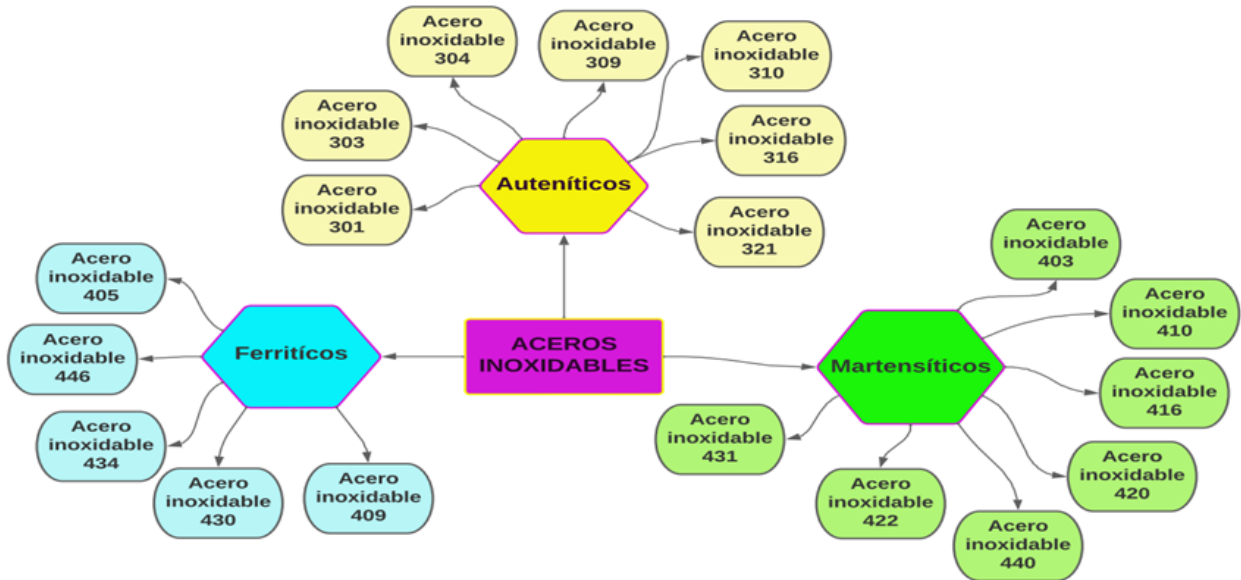


Figura 16. Tipos de aceros inoxidables.  
Fuente: Elaboración propia.

Como se representa en la Figura 16, existen tres grupos o tipos de aceros ferríticos, martensíticos y austeníticos, los cuales serán expuestos a continuación.

- ***Acero inoxidable martensíticos:*** Este acero hace parte de la primera rama de los aceros inoxidables, representan una porción de la serie de los aceros inoxidables 400, los martensíticos, poseen una moderada resistencia a la corrosión, son endurecibles al tratamiento térmico, por ende, son usados a un mayor esfuerzo por su capacidad de tener una alta resistencia mecánica, paralelamente tienen un alto contenido de carbono y alta dureza, lo que ocasiona una soldabilidad muy pobre. Este tipo de acero se fabrica principalmente con cromo, cuyo contenido varía del 11.5% al 18%. Tiene aplicaciones y usos frecuentes en la elaboración de implementos como turbinas, válvulas, tuercas y piezas de válvulas medianamente expuestas a la corrosión (Andarcia y Molina, 2013).
- ***Acero inoxidable ferrítico:*** este acero es una aleación de hierro, carbono y cromo; su contenido de cromo es diecisiete veces el porcentaje de carbono, lo cual es mayor al 12.5%. Este tipo de acero es magnético; sin embargo, no es posible su endurecimiento. (Andarcia y Molina, 2013). Se les conoce con el nombre de ferríticos, ya que en su estructura metalográfica está formada básicamente por ferrita. Este acero pertenece a la serie de aceros inoxidables 400 AISI (American Iron & Steel Institute), mantienen la estructura ferrítica estable desde la temperatura ambiente hasta el punto de fusión, su resistencia a la corrosión es de moderada a buena, lo cual se incrementa con su contenido de cromo y algunas aleaciones de molibdeno (Jain, 1990).
- ***Acero inoxidable austenítico:*** esta tipología de acero le corresponde al menos un 26% de cromo y níquel combinados y cada uno de estos compuestos aportan un porcentaje mínimamente de 8% aproximadamente, el carbono es mínimo correspondiente al

intervalo entre 0.03% - 0.08%. Se conocen por el nombre austeníticos, debido a que su estructura está formada básicamente por austenita a temperatura ambiente. Este tipo de acero no es magnético (Andarcia y Molina, 2013). Este acero constituye la familia con el mayor número de aleaciones disponibles, hace parte de la serie 200 y 300 AISI. Su fama se debe a su excelente formabilidad y tiene una mayor resistencia a la corrosión comparado a los anteriores tipos de acero ya expuestos. El cromo perteneciente a esta aleación proporciona una resistencia a la oxidación en temperaturas aproximadas de 650°C en ambientes diversos. Esta familia se divide en dos categorías:

- Categoría 1: serie 300 AISI. - Aleaciones cromo-níquel.
- Categoría 2: serie 200 AISI. - Aleaciones cromo-manganeso-nitrógeno.

Teniendo en cuenta lo anterior, a continuación, se exponen las propiedades generales de los diferentes aceros inoxidable según su tipología, tal como se expresa en la Tabla 1

*Tabla 1. Propiedades generales de los aceros inoxidables.*

<b>PROPIEDADES GENERALES DE LOS ACEROS INOXIDABLES</b>					
<i>Tipo</i>	<i>Resistencia a la corrosión</i>	<i>Dureza</i>	<i>Magnéticos</i>	<i>Endurecimiento por tratamiento térmico</i>	<i>Soldabilidad</i>
<i>Martensíticos</i>	Baja	Alta	Si	Si	Pobre
<i>Ferríticos</i>	Buena	Media baja	Si	No	Limitada
<i>Austeníticos</i>	Excelente	Alta	No	No	Excelente

*Fuente: Elaboración propia.*

**Nota:** los aceros austeníticos adquieren mayor dureza y cierto magnetismo al ser trabajados en frío.

En la industria petrolera se usa mucho el acero al carbón por su disponibilidad y bajo precio comparado a otros aceros de mayor calidad y rendimiento; sin embargo, este no es el

mejor material que se pueda utilizar para aquellas aplicaciones que requieran resistencia a altas temperaturas y a fenómenos químicos dañinos como la corrosión, los agresivos con exposiciones al azufre, a las sales y los ácidos. En este orden de ideas, se puede decir que el acero inoxidable tiene un desempeño eficiente en estas condiciones mencionadas, alcanzando un alto nivel de resistencia a la corrosión, un largo ciclo de vida ya que tienen características favorables de fabricación, con base en esto se dice que su mantenimiento requerido es mínimo (Martínez, 2018).

En las refinерías de petróleo, el acero inoxidable se utiliza principalmente en las aplicaciones expuestas a altas temperaturas y corrosión por ambientes sulfurosos y acuosos. por lo general en las plantas de petróleo y gas el problema es tratar de enfriar el aceite y el gas, por ejemplo, crudo debe enfriarse entre 200° y 90°C hasta 25 °C, antes de ser transportado a los clientes; razón por la que el acero inoxidable es un material idóneo para los intercambiadores de calor y para las demandas de transferencia de calor, así como también para la resistencia a la corrosión a largo plazo (Martínez, 2018).

Otro uso frecuente de este metal se encuentra en las tuberías y válvulas de acero inoxidable austenítico en las secciones de baja temperatura que permiten lograr la tenacidad adecuada (capacidad de absorber energía de deformación sin fracturarse) en condiciones criogénicas, ya que el gas natural licuado es transportado a temperaturas de hasta 164°C bajo cero. El acero inoxidable de este tipo es una aleación de baja expansión con un 36% de níquel, elimina los problemas de estrés térmico en tuberías y mangueras que transportan gas natural licuado. Por otra parte, los pozos profundos de extracción necesitan tuberías que sean realmente resistentes a la corrosión. El acero inoxidable dúplex 2205 puede ser trabajado en

frío y obtener valores de límite elástico de  $9840 \text{ kg/cm}^2$ , tiene alta resistencia a la corrosión y conservan alta tenacidad (Martínez, 2018).

En general, las aleaciones de acero inoxidable con níquel son la opción más segura para el desarrollo de las reservas de petróleo y gas que contienen sulfuro de hidrógeno. En muchos casos, estas instalaciones se encuentran en lugares remotos del mundo y con procesos automatizados, es decir, operan en gran parte sin personal. El acero inoxidable brinda la fiabilidad de su funcionamiento, con una larga vida útil, mínimo mantenimiento y al término de su uso, tiene la alternativa de ser reciclado (Aplica-Inox, 2023).

La habilidad de resistir los ataques de químicos altamente corrosivos es lo que genera la necesidad de los aceros inoxidables en las partes que se requiera cuidar la integridad de las estructuras. Cuando el petróleo crudo entra en una refinería contiene muchas formas de sulfuro, sales, agua, ácidos y nitrógeno orgánicos que se pueden combinar o convertir en muchos compuestos corrosivos. Los compuestos de azufre, ácidos orgánicos, ácido clorhídrico, ácido sulfúrico, óxido de azufre, dióxido de carbono, cianuro, amoníaco, fenol, son los principales elementos corrosivos encontrados en las unidades de refinería (Aplica-Inox, 2023).

Uno de los aceros más utilizados en la industria petrolera durante los últimos 5 años es el acero inoxidable 304, empleado para la elaboración de tubos calentadores y también en la fabricación de intercambiadores de calor, para componentes de bombas y componentes internos de reactores, para cuerpos de válvulas entre otros, como se presenta en la Figura 17 (Martínez, 2018).





*Figura 17. Válvula de acero inoxidable, tubería de acero inoxidable e intercambiador de calor.*

*Fuente: Tomado de Aplica Inox, 2023.*

## **2.5 Generalidades y composición de la sandía**

Se cree que la sandía (*Citrullus Lanatus*) es una planta que tuvo su origen en el continente africano. Luego transitó por Europa, el Cercano Oriente y la India, sólo varios siglos después llegaron a China y al continente americano (Malán, 2020). Posteriormente a través de los procesos migratorios y comerciales de las comunidades humanas esta empezó a producirse a nivel mundial en los cinco continentes, principalmente en China como el país donde más se cultiva y se comercializa esta fruta, seguido de Turquía, Estados Unidos, Irán y República de Corea (Meru & McGregor, 2014).

La sandía pertenece a la familia *Cucurbitáceas*, contiene un elevado aporte de agua (alrededor del 93% de agua y 7% de azúcar por peso), es diurética y actualmente es consumida por millones de personas alrededor del mundo debido a su accesibilidad económica, a su bajo contenido calórico y a sus múltiples beneficios para la salud, además tiene propiedades antioxidantes (Dammak et al., 2019). En su interior se ha reportado la presencia de vitamina C, citrulina, licopeno y altos porcentajes de carotenoides, también es fuente de minerales como

calcio, potasio, hierro y magnesio, además de una variedad de antioxidantes fenólicos y aminoácidos como la arginina (Vergara, 2020).

Existen varias moléculas bioactivas que se pueden obtener en la cáscara de la sandía, una de ellas, la que está en mayor porcentaje es la L-Citrulina, también se identificaron moléculas como vitamina A y betacarotenos (Solano y Coello, 2019).

En la actualidad existen muy pocos estudios que han indagado en las propiedades de esta fruta generando procesos inhibitorios sobre el acero encontrando excelentes resultados, pese a ellos es un campo de investigación poco explorado y sus resultados positivos aún no han sido apropiados por la industria petrolera. Adicionalmente, se indica que el extracto obtenido de la cáscara de sandía contiene en su mayoría citrulina, además de alcaloides, saponinas, flavonoides y polifenoles. La adsorción de estos compuestos a través de heteroátomos (N, O) y anillos aromáticos en la superficie del acero crea una barrera para la transferencia de masa y carga lo que aísla el metal del ataque de los iones corrosivos presentes en la solución (Rodríguez et al., 2020).

## **2.6 Nanotecnología en la industria petrolera**

La nanotecnología es la ciencia que permite trabajar a nivel molecular, átomo por átomo, para crear estructuras con una nueva organización molecular (NSTC, 200). Los nanomateriales (NMs) son objetos con estructuras en el rango de nano escala (1–100 nm) (Ngô y Van der Voorde, 2014).

A escala nanométrica, el comportamiento de la materia no es el mismo que a escala macroscópica. A nivel nanométrico ocurre un cruce entre las leyes de la física clásica y de la mecánica cuántica, los efectos cuánticos dan lugar a cambios drásticos en las propiedades de

los materiales. En la nano escala, fuerzas como la de gravedad e inercia son menos importantes que otras como las de van der Waals (puentes de hidrógeno, dipolos inducidos, iones dipolo, etc.), electrostáticas y magnéticas. Este cambio en comportamiento de los materiales y, en consecuencia, de sus propiedades se traduce en elevada resistencia mecánica, alta conductividad térmica y eléctrica, variación en sus propiedades reológicas, ópticas, magnéticas e inercia química.

El físico Feynman (1965), fue la primera persona en exponer ideas sobre nanociencia durante la reunión anual de la Sociedad Americana de Física en 1959, en su conferencia “Hay muchísimo espacio en el fondo”, al plantear: “La mayoría de las células son diminutas, pero están muy activas, fabrican sustancias, se mueven, se contorsionan y hacen multitud de cosas maravillosas, todo ello a pequeña escala. También almacenan información. se consideró la posibilidad de fabricar un objeto que maniobra a ese nivel”.

En ese orden de ideas, se conoce con el término de nanopartícula al objeto de tres dimensiones externas en el intervalo de 1 a 100 nm aproximadamente (British Standards Institution,). Las nanopartículas son sintetizadas con fines diversos tales como: adsorción de asfáltenos en la prevención de daños de la formación en la recuperación mejorada del petróleo; dado su tamaño pueden penetrar en los poros de la roca e incrementar la eficiencia del desplazamiento del petróleo, así mismo mejoran algunas propiedades físicas del fluido que desplaza el crudo, tales como viscosidad, densidad, conductividad térmica y capacidad calorífica; permiten además el aumento en la velocidad de desplazamiento del crudo en los poros de la roca (Delgado et al., 2015).

Según lo expuesto anteriormente, se evidencia que la nanociencia es una ciencia transversa y relativamente nueva que tiene múltiples aplicaciones nanotecnológicas y una gran

proyección a futuro. Se ha podido demostrar, a través de numerosos estudios, que esta ciencia responde a muchos de los problemas que enfrenta la humanidad en la actualidad. Como muestra de ello, Carreño, et al., (2010), obtuvieron compósitos vía molienda mecánica (MM) de polvos de una aleación de aluminio 2024 reforzada con nanopartículas de plata recubiertas de grafito (NPAgC) mediante un molino horizontal de alta energía (ZOZ CM01 Simoloyer).

Los compósitos se sometieron a una serie de etapas de procesamiento como: compactación, sinterización, extrusión en caliente y finalmente tratados térmicamente por solubilizado y envejecido artificial, la caracterización se llevó mediante ensayos de tensión y microdureza, así como por calorimetría diferencial de barrido (CDB), microscopía electrónica de barrido (MEB) y transmisión (MET). ahora bien, se halló como resultados que la microdureza de los compósitos se incrementa desde el momento que se adiciona (0.5% en peso) NPAgC a la matriz de la aleación de aluminio 2024, esta tendencia ocurre hasta llegar a 2.5% de NPAgC, posteriormente decrece con 3.0% de material reforzante. Gracias al proceso de molienda mecánica lograron obtener una distribución homogénea de las NPAgC en la matriz de la aleación, a través de microscopía electrónica de transmisión (MET), encontraron evidencia de dislocaciones interactuando con las nanopartículas de plata y los precipitados formados por el tratamiento de envejecido, considerándose estos como mecanismos de endurecimiento de la aleación 2024 (Carreño et al, 2010).

De igual manera, Zea (2018) sintetizó y caracterizó una nueva generación de diferentes nano contenedores de sílice mesoporosa, cargados con un inhibidor de corrosión medioambientalmente aceptable y encapsulado mediante la aplicación de un recubrimiento polimérico inteligente. Posteriormente, evaluó su capacidad inhibidora y de liberación controlada del compuesto activo, bajo demanda en función del pH del medio agresivo,

integrados en diferentes recubrimientos tipo sol-gel para evaluar así, su capacidad de protección, obteniendo como resultado que las nanopartículas de núcleo hueco, con una gran cavidad en el centro y una carcasa mesoporosa de sílice, cargadas con fosfomolibdato de sodio como inhibidor de corrosión medioambientalmente aceptable, presentan una liberación inteligente en ausencia de cápsula externa. Esto supone una importante ventaja para su escalado y explotación industrial y podría ser considerada una alternativa interesante a los pigmentos anticorrosivos convencionales, a base de cromatos, para su incorporación en recubrimientos protectores para sustratos de acero al carbono.

Para esta investigación la nanotecnología resulta importante ya que a través de ella se configura una solución al problema de corrosión presente en los metales usados en la industria, como lo son el acero inoxidable 304 y el aluminio, aportando sus propiedades al agregarlos al inhibidor orgánico y de tal forma ser potencializado para así lograr tener una mejor y duradera protección en estos metales y el disminuir la cantidad a agregar en el metal.

### **2.6.1 Tipos de nanopartículas.**

De acuerdo con su proceso de síntesis, las nanopartículas pueden adquirir tamaños diferentes y morfologías diferentes, en la Figura 18 se muestran las tipologías de las nanopartículas.

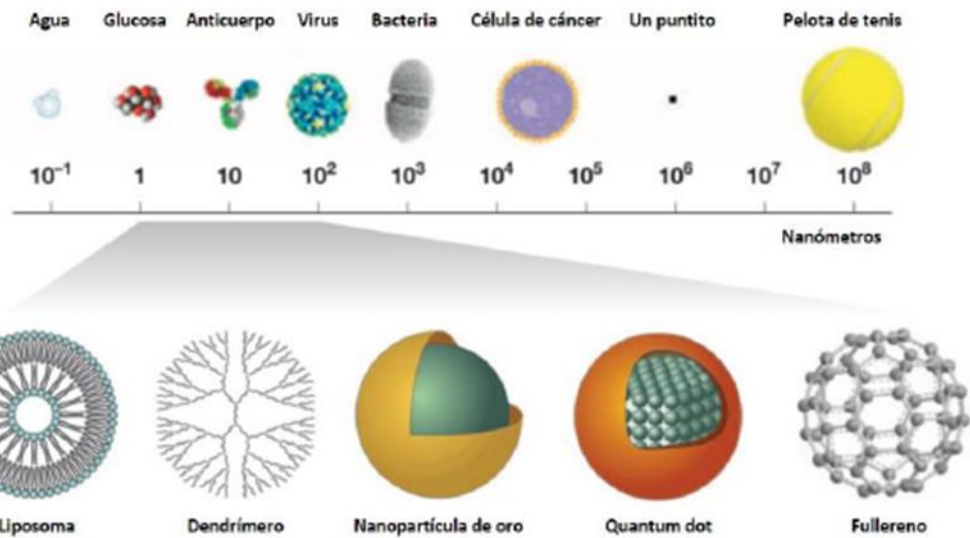


Figura 18. Tipos de nanopartículas y sus dimensiones.  
Fuente: Tomado de Pereira, 2017.

- **Liposomas:** son un tipo de nanopartículas poliméricas, fueron descritas por primera vez por Speiser p. Marty J. y Oppenheimer R. en 1978 donde exponen que son estructuras vesiculares, altamente organizadas, construidas por una pared formada por lamelas o bicapas lipídicas concéntricas que están separadas por un número igual de espacios de contenido acuoso. son aproximadamente iguales al tamaño de una molécula de agua de 0.1 nanómetros (Torres y Seijo, 2010).

- **Dendrímico:** este tipo de nanopartícula se caracteriza por ser un polímero nanométrico con estructura bien definida (forma de árbol), altamente ramificada en su interior y contiene numerosos grupos funcionales en la superficie de ella. Tiene la capacidad de incorporar diferentes grupos funcionales en posiciones específicas con el fin de ofrecer nuevas propiedades y aplicaciones en cada rama. (Alonso y Casado, 2016).

- **Nanopartícula de oro:** esta nanopartícula también es conocida como nanopartículas de metales nobles, poseen excelentes propiedades físicas, químicas y biológicas, intrínsecas a su tamaño nanométrico (Auffan y col. 2009). Pueden ser producida en distintos tamaños a

escala nanométrica y pueden ser funcionalizadas con un amplio abanico de ligandos (anticuerpos, polímeros, sondas de diagnóstico, fármacos, entre otros) (Mateo et al., 2013).

- **Nanopartícula Quantum Dots:** son nanopartículas semiconductoras, normalmente contienen desde 10 hasta 100.000 átomos, con diámetros entre un intervalo de 2 a 10 nanómetros. Por su diminuto tamaño estas nanopartículas sufren efectos cuánticos como es la discretización de sus bandas de energía. Tiene una propiedad que llama la atención que es la capacidad de confinamiento cuántico en las tres dimensiones del espacio, debido a que los electrones están restringidos a moverse en regiones muy pequeñas, menores a 10 nanómetros. El confinamiento cuántico ocurre cuando el diámetro del cristal es menor a su radio de Bohr e influye en las propiedades de las nanopartículas haciendo que sean muy diferentes a las de los materiales macroscópicos (Berdimurodov et al., 2022).

Al ser nanocristales formados por materiales semiconductores poseen una banda de valencia (llena de electrones) y una banda de conducción (banda energética vacía) separadas por una diferencia energética llamada gap (Cigales, 2016).

En la Figura 19 se puede apreciar la emisión de luz tras la excitación electrónica en un quantum Dot.

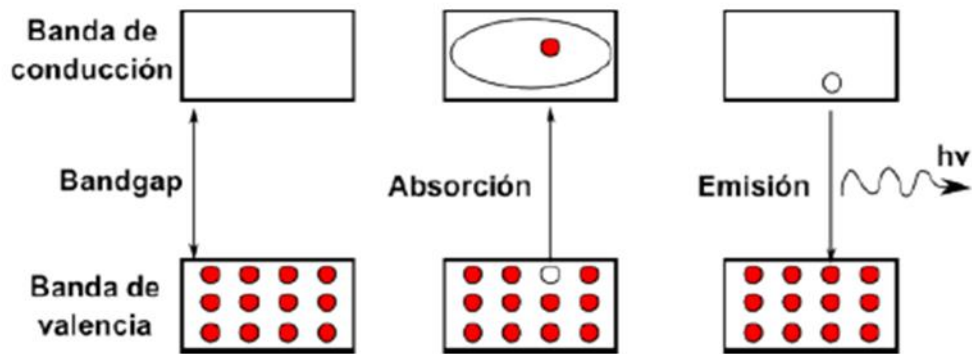
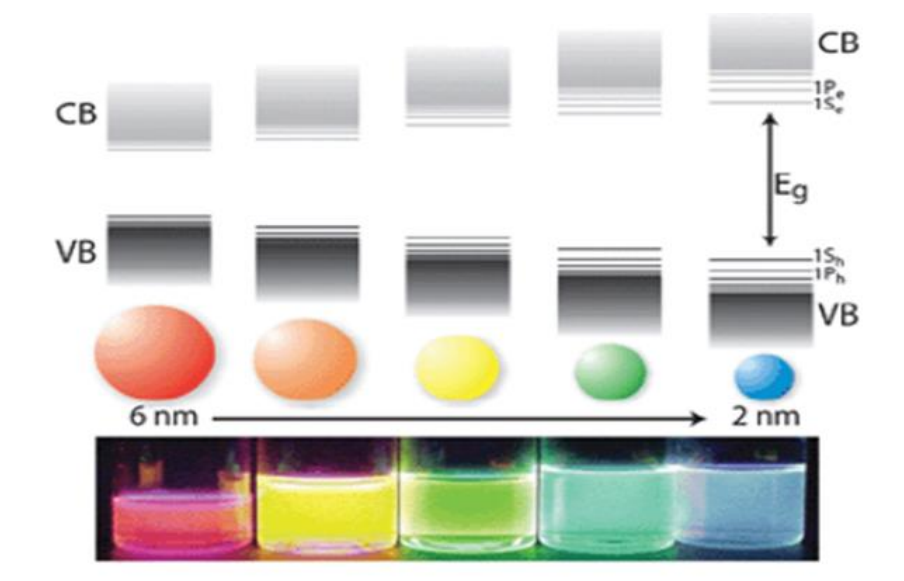


Figura 19. Proceso de emisión de luz tras la excitación electrónica en un QD.

Fuente: Tomado de *Materials for biosensors*, 2007.

El proceso de luminiscencia ocurre cuando los electrones de valencia son excitados con un haz de determinada energía a la banda de conducción dejando huecos en la banda de valencia, como se muestra en la Figura 19. Cuando esta excitación finaliza, se produce una combinación radioactiva entre los electrones y los huecos generados lo que provoca la emisión de fotones con una energía definida que viene determinada por la separación entre ambos niveles energéticos y, por lo tanto, la radiación tiene una longitud de onda característica. Las nanopartículas con mayor tamaño tienen gaps más pequeños, aumentando al disminuir el tamaño. Esta información es muy valiosa ya que gracias a ella se sabe que, al tener esta propiedad de controlar el tamaño de las nanopartículas, se puede controlar a su vez la longitud de onda de emisión (Juarez, 2011).



*Figura 20. Fluorescencia de las QDs de diferentes tamaños.  
Fuente: Tomado de Cigales, 2016.*

Teniendo en cuenta la Figura 20, se ilustran los diferentes tamaños de las nanopartículas donde las que miden 2 nanómetros emiten en azul, de 2,3 nanómetros en verde,



de 3,5 nanómetros en naranja y tamaños de aproximadamente 6 nanómetros en rojo. Este tipo de nanopartículas es de significativo interés por sus propiedades ya mencionadas en el párrafo anterior; sin embargo, muchos investigadores afirman que los QDs poseen un potencial de toxicidad debido a la presencia en el núcleo del nanocrystal de metales pesados como el cadmio (Pombo y Goyanes, 2011).

Teniendo en cuenta lo anterior, con el objetivo de reducir la toxicidad y aumentar la biocompatibilidad, se encontró que las nanopartículas que estaban ganando reconocimiento en los últimos años son las Carbon Quantum Dots. las cuales fueron descubiertas durante procesos de purificación de nanotubos de carbono de una sola capa mediante electroforesis en 2004, son de carácter biocompatible, benigno, abundante y barato. Se destaca que por su contenido de carbono se considera un material con baja solubilidad en agua y débil fluorescencia, presentan propiedades optoelectrónicas. Además, la síntesis de estas nanopartículas ocurre en medios acuosos, normalmente incluye polimerización, descomposición y carbonización de las moléculas. Estas nanopartículas se sintetizan a partir de precursores orgánicos por ejemplo la glucosa y sacarosa (Cigales, 2016).

Las nanopartículas carbón quantum dots tienen aplicaciones favorables en el área de medicina facilitando procesos biológicos, que permiten la bioconjugación y a su vez son útiles para la realización de inmunoensayos, ya que al no ser tóxicas son liberadas de forma selectiva dentro del cuerpo humano para protegerlo de posibles enfermedades dentro del sistema inmunológico (Cigales, 2016).

Por lo anterior, se decidió utilizar las nanopartículas Carbón Quantum Dots con el objetivo de proteger un metal en un medio ácido, evitando la pérdida de este (corrosión) y

determinar su funcionamiento, factibilidad y eficiencia al mezclarse con un inhibidor orgánico.

## **2.7 Hallazgos más relevantes de la sección**

- Los costos asociados al fenómeno de corrosión son enormes. En un informe emitido por la National Association of Corrosion Engineers (NACE) para las grandes potencias del mundo como: Estados Unidos, Japón, China y Canadá, los costos que ocasiona el deterioro de las superficies de los equipos, asociados a el proceso corrosivo, corresponden alrededor del 2 a 4 % del PIB de cada uno de estos países (Sastri, 2011) y de acuerdo con la Administración Federal de Autopistas de EUA, en el año 2015 el costo directo anual estimado de la corrosión para los Estados Unidos fue de USD 276 mil millones en español, lo que representa alrededor del 3.1% del producto interno bruto de este país (Koch et al., 2016).
- Los inhibidores convencionales utilizados frecuentemente en la industria de Hidrocarburos suelen ser costosos y tener gran impacto ambiental, contaminando afluentes ya que tiene una característica que es no biodegradable, y está compuesto mayormente por productos tóxicos que pueden poner en riesgo la salud humana al ser mal utilizados, ocurriendo accidentes u otro tipo de eventos no esperados.
- Los inhibidores orgánicos a comparación de los convencionales son más amigables con el medio ambiente y la salud de las personas, ya que al ser orgánicos su capacidad de descomposición es más rápida que la del convencional, además sus costos de producción son bajos ya que proviene de residuos de agroindustria o cultivos fácilmente industrializables, lo cual es relativamente económico en comparación de otro tipo de inhibidores de diversa procedencia.

- La potencialización de estos inhibidores con nanotecnología. pueden mejorar las propiedades juntando así las propiedades inhibitorias del extracto de patilla y las nanopartículas carbón quantum dots que tienen origen y propiedades orgánicas y su facilidad de interactuar en un medio orgánico, tal como se encontró en este estudio.

## **Capítulo 3**

### **Metodología**

A continuación, se exponen aquellos elementos como la tipología de investigación, el enfoque investigativo, las muestras de estudio, los materiales y las fases del proceso investigativo empleadas para el desarrollo de este trabajo.

#### **3.1 Tipología de investigación**

Para evaluar el efecto inhibitorio del extracto de origen orgánico como alternativa de mitigación de la corrosión ácida y su potencialización a través de la mezcla con nanopartículas Carbon quantum dots (CQDs), se realiza una investigación cuantitativa de tipo experimental. Este extracto se obtiene a partir de los residuos de sandía (cáscaras) y como solvente agua destilada. Como variables de análisis sobre la eficiencia de inhibición se plantean la concentración de las nanopartículas y el tipo de metal.

Este tipo de estudio permite alcanzar un entendimiento integral acorde a los hechos experimentales de carácter real, con un análisis exhaustivo de cada detalle de la información recolectada con el fin de alcanzar los logros investigativos. Al ser un estudio cuantitativo implica análisis estadísticos o numéricos, permitiendo al investigador o al equipo de investigación encontrarse con resultados específicos, reales y medibles; descubriendo nuevos cuestionamientos, identificando la confirmación de hipótesis o el inicio de nuevas ideas (Van Dalen, 2006), a la luz de comprender en su complejidad el fenómeno de estudio.

### **3.2 Enfoque investigativo**

El enfoque investigativo empleado es el experimental el cual pertenece a las investigaciones de tipo cuantitativo. La investigación experimental tiene tres elementos que la caracterizan: 1. control, 2. manipulación y 3. observación. También es conocida bajo el nombre de investigación causal debido a que frecuentemente busca identificar las causas de un fenómeno o de un evento.

En este tipo de estudio se puede manipular las variables para estudiar las relaciones de causa y efecto, generando resultados muy específicos los cuales deben ser monitoreados de manera constante para evitar la aparición de errores o imprecisiones investigativas (Castro, et al., 2023).

### **3.3 Técnicas de recolección y análisis de la investigación**

La Asociación Nacional de Ingenieros de Corrosión (NACE, por sus siglas en inglés: National Association of Corrosion Engineers) ha propuesto diferentes técnicas (físicas y químicas) que permiten el análisis del efecto que tiene el fenómeno de la corrosión, entre las que se encuentran: pérdida de masa, curvas de impedancia, polarización y polarización lineal, que permiten obtener parámetros directamente relacionados con la cinética del proceso.

Para el desarrollo de este proyecto, se realizaron pruebas de pérdida de masa para cada ensayo durante 11 días; además, se realizó la evaluación del espectro UV-Vis para determinar la eficiencia de inhibición del extracto orgánico, el inhibidor convencional, y el HCl en presencia y ausencia de las nanopartículas, todo esto bajo las mismas condiciones experimentales. Una vez terminadas esas pruebas se procedió a realizar una inspección visual

con el microscopio digital USB, para lograr observar la corrosión ocurrida superficialmente en el metal (ver Anexo 3. fotografía del microscopio). Estas técnicas de recolección de la información serán detalladas a continuación.

### **3.4 Pruebas de pérdida de masa**

Las pruebas de corrosión de laboratorio son métodos importantes para entender el comportamiento de los metales y sus aleaciones en diferentes ambientes corrosivos, en estas las muestras son expuestas a un ácido y se realiza el debido análisis del comportamiento. Una prueba de suma importancia en el análisis de corrosión es la prueba de pérdida de masa en los materiales, que consiste en exponer piezas pequeñas de metal a ambientes corrosivos, para determinar la pérdida de masa del material por efecto de la corrosión (Norma ASTM G31).

### **3.5 La evaluación del espectro UV-Vis**

Según Díaz et al., (2006), la espectrofotometría UV-visible es una técnica analítica que permite determinar la concentración de un compuesto en solución. Se basa en que las moléculas absorben las radiaciones electromagnéticas y a su vez que la cantidad de luz absorbida depende de forma lineal de la concentración. Para hacer este tipo de medidas se emplea un espectrofotómetro, en el que se puede seleccionar la longitud de onda de la luz que pasa por una solución y medir la cantidad de luz absorbida por la misma.

Las longitudes de onda de las radiaciones que una molécula puede absorber y la eficiencia con la que se absorben dependen de la estructura atómica y de las condiciones del medio (pH, temperatura, fuerza iónica, constante dieléctrica), por lo que dicha técnica constituye un valioso instrumento para la determinación y caracterización de biomoléculas.

Para el desarrollo de esta técnica en el proyecto, el laboratorio de aguas de la Universidad Surcolombiana cuenta con un espectrofotómetro UV-Vis Cary 60 de la marca Agilent, el cual fue empleado para evaluar las variaciones del medio de corrosión, usando celdas de cuarzo de 10 mm (Figura 21).



*Figura 21. Espectrofotómetro UV- Vis y su celda de 10 mm.  
Fuente: Fotos tomadas en el laboratorio.*

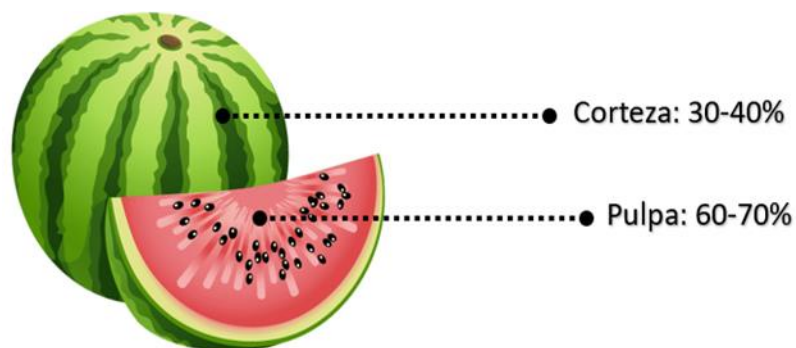
### **3.6 Muestras y preparaciones**

En esta sección se detallan los elementos usados para el desarrollo del proceso investigativo, así como su preparación.

#### **3.6.1 Sandía**

Las muestras de sandía empleadas para el presente estudio provienen de diferentes zonas de la ciudad de Neiva, Huila. Se tomaron 4 sandías de forma aleatoria de tamaño mediano compuestas por 60% pulpa y 40% corteza (ver Figura 22), con un peso que oscilaba entre 1 y 2 kilos. Se seleccionaron aquellas que no tuvieran daños físicos como golpes,

imperfectos o áreas podridas o deterioradas (magulladuras). Los frutos escogidos tenían una coloración homogénea y estaban en estado de madurez.



*Figura 22. Composición de la sandía.*

*Fuente: Tomado de Klipartz, 2023.*

Seguidamente se extrajo la pulpa de las sandías seleccionadas y se tomó solo la corteza de la fruta. En segundo lugar, cada cascara fue lavada con agua destilada y colocadas en una bandeja para su debido escurrimiento como se ilustra en la Figura 23.



*Figura 23. Cascaras de sandia seleccionadas.*

*Fuente: Foto tomada en el laboratorio.*

Luego de separar solo la corteza, lavarlas y dejarlas escurrir, se procedió a ingresar las muestras en una mufla durante 24 horas a 60 °C. Posteriormente se sacaron de la mufla y se determinó el porcentaje de humedad de la corteza, identificando que este oscila entre 80 y 90%



en peso. Por último, se colocaron en un mortero para su trituración gruesa, seguido por, molienda fina a través de un molino de café eléctrico.

El material obtenido se pasó por una serie de tamices con una recolección final del tamaño pasante de malla 180 ASTM serie Tyler, esto con el fin de homogenizar el tamaño de partícula del material pulverizado. Después se pesó el material obtenido de los tamices y se obtuvieron 168.6 gramos de polvo de cáscara de patilla (eficiencia de procesamiento aproximada al 80%). Finalmente se preparó una solución con 1000 mililitros de agua destilada y 100 gramos de polvo de la corteza de sandía, esta solución se filtró para separar la fase líquida hasta obtener 800 mililitros de solución que posteriormente se enrasaría hasta los 1000 mililitros en un balón aforado para usarse como inhibidor. En la Figura 24 se observa el proceso y obtención del inhibidor orgánico de corteza de sandía.



*Figura 24. Preparación del extracto.  
Fuente: Fotos tomadas en el laboratorio.*

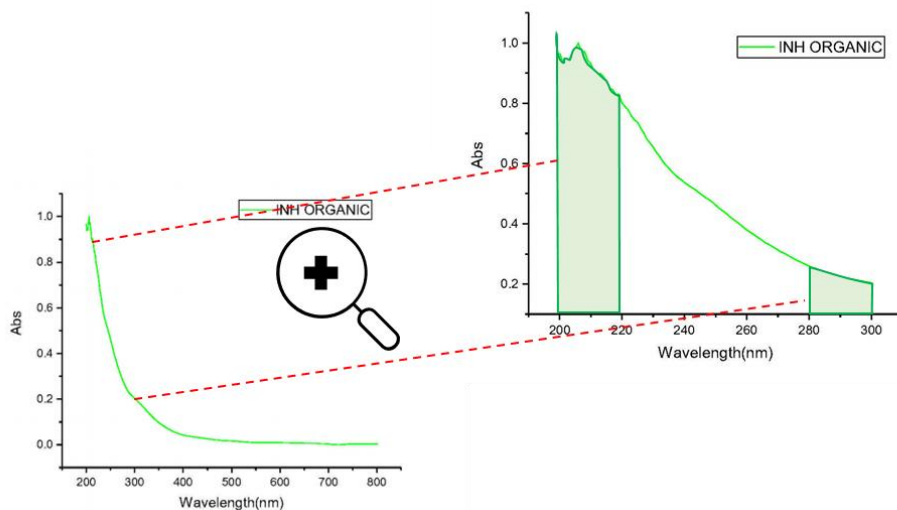
### 3.6.2 Caracterización del extracto

Una vez obtenido el extracto de sandía, se sometió a unas pruebas de laboratorio para su caracterización.

- **Prueba 1. Densidad.**

La densidad del extracto se determinó con un picnómetro y una balanza de alta precisión. El picnómetro fue previamente calibrado y determinado su volumen exacto con agua destilada.

- **Prueba 2. UV - Visible.**



*Figura 25. Espectro UV-VIS del extracto de la cascara de sandia.*

*Fuente: Elaboración propia.*

El análisis UV-Vis de la citrulina es una técnica útil y no destructiva, que, en este caso, nos permite identificar la presencia de la molécula de citrulina (antioxidante) en una muestra desconocida, así como también para cuantificar la participación de la absorbancia de esta en la adsorción del extracto.

Para la realización de esta prueba se tomó una muestra del extracto obtenido y se introdujo en la celda de 10 mm del espectrofotómetro, con el fin de identificar el espectro Uv visible que se presenta en la Figura 25.

El espectro UV-Vis de la citrulina se caracteriza por un pico de absorción intenso en el rango de longitud de onda de 200 a 220 nm, y un hombro débil en el rango de 280 a 300 nm que podría indicar la presencia de un grupo ceto (C=O) presente en su estructura; sin embargo, es importante tener en cuenta que otros grupos funcionales también pueden contribuir a la absorción de la citrulina en el espectro UV-Vis. El pico de absorción a 200 a 220 nm se debe a la presencia de enlaces peptídicos y a la absorción de electrones en los grupos aromáticos presentes en la molécula. Estos picos de absorción pueden utilizarse para cuantificar la cantidad de citrulina en una muestra, utilizando la ley de Lambert-Beer (Johnson et al.,2022).

### 3.6.3 Muestras de Acero Inoxidable 304 y Aluminio

Para el desarrollo de este trabajo se utilizaron láminas grandes de acero inoxidable 304 y de aluminio, ambas con un espesor de 2 mm. Estas fueron cortadas en láminas más pequeñas con dimensiones de 2 cm de largo por 2 cm de ancho. Debido a su alto costo económico y falta de equipos necesarios para realizar la caracterización de los materiales que se utilizaron, se optó por desarrollar un proceso de búsqueda bibliográfica para determinar qué sustancias componen en su mayoría a las láminas que se utilizaron en este ensayo experimental, encontrando que podría tratarse de las siguientes composiciones químicas presentadas en las Tablas 2 y 3, para el acero inoxidable y el aluminio, respectivamente.

*Tabla 2. Composición química del Acero inoxidable 304.*

<b>COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ACERO INOXIDABLE 304</b>	
<b>carbono</b>	0.08 % Max
<b>manganeso</b>	2.00 % Max

<b>fósforo</b>	0.045 % Max
<b>sulfuro</b>	0.030 % Max
<b>silicio</b>	1.00 % Max
<b>cromo</b>	18.00 % - 20.00 % Max
<b>níquel</b>	8.00 % - 10.50 %
<b>molibdeno</b>	-

*Fuente: Tomado de Planes, 2018.*

*Tabla 3. Composición química del aluminio.*

<b>COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ALUMINIO</b>		
<i>Aluminio 1100</i>		
<i>Al</i>	<i>Cu</i>	
99 % Min	0.12 % Min	
99.12		
<i>Aluminio 5052</i>		
<i>Al</i>	<i>Mg</i>	<i>Cu</i>
97.2 % Min	2.5 % Min	0.25 % Min
99.95		
<i>Aluminio 3003</i>		
<i>Al</i>	<i>Mn</i>	<i>Cu</i>
98.6 % Min	1.2 % Min	0.12 % Min
99.92		

*Fuente: Tomado de Teknika4, 2023.*

Posteriormente, se procedió a la preparación de las muestras que consistió en lijar con una lija para agua número 1200; este proceso se realizó con todas las piezas con el fin de emparejar y retirar impurezas, luego se sometieron a un proceso de desengrasado que consistió en sumergir todas las piezas en detergente para ropa durante 40 minutos, una vez transcurrido este tiempo se enjuagaron con agua potable en abundancia, seguido por agua destilada y se colocaron en una bandeja descontaminada donde se escurren hasta secarse. Finalmente, las piezas se limpiaron con alcohol etílico y se secaron en una mufla a 60 °C; cabe aclarar que para este procedimiento se utilizaron guantes de nitrilo descontaminados con el fin de evitar la contaminación por cualquier impureza. Una vez terminado el secado, se pesó cada lámina de manera individual, se guardaron en una bolsa transparente descontaminada con su

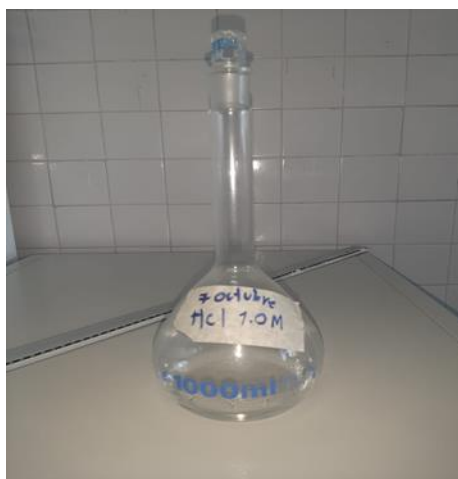
respectivo número y su peso, para evitar su contacto con las impurezas del entorno, en la Figura 26 se pueden observar las láminas utilizadas.



*Figura 26. Láminas de acero inoxidable 304 y aluminio.  
Fuente: Fotos tomadas en el laboratorio.*

### **3.6.4 Ácido Clorhídrico HCl**

Para este trabajo experimental, se utilizó el Ácido Clorhídrico con una concentración en porcentaje de masa, aproximadamente del 37%, comúnmente conocida como PA (para análisis). Fue necesario preparar la solución HCl 1.0 M con el uso de agua destilada. Para ello, se precisa que 30.873 ml de HCl es el volumen necesario para mezclarse con 1 litro de agua destilada y de esta manera tener ácido clorhídrico 1.0 M como se presenta en la Figura 27.



*Figura 27. Ácido clorhídrico 1M.  
Fuente: Foto tomada en el laboratorio.*

### 3.6.5 Inhibidor convencional

Para el desarrollo de esta investigación se utilizó una muestra del inhibidor convencional CORRTREAT 7395 de la empresa Clariant Oil Services. Es un inhibidor convencional utilizado en la industria para combatir la corrosión ácida. En la Figura 28 se puede apreciar la muestra color amarillo ámbar, en la que se destaca su alcalinidad y alta toxicidad (ver Anexo 1, ficha de seguridad del CORRTREAT 7395).



*Figura 28. Inhibidor convencional CORRTREAT 7395.  
Fuente: Foto tomada en el laboratorio.*

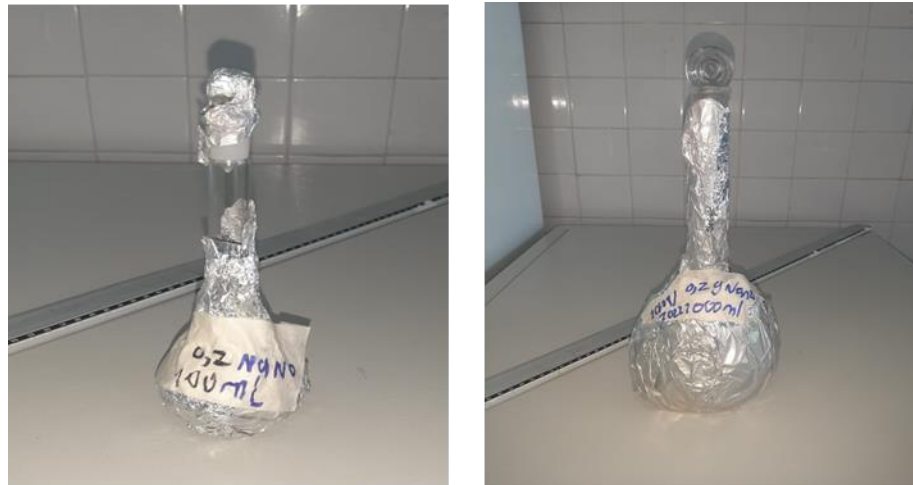
### 3.6.6 Nanopartículas Carbón Quantum Dots (Puntos cuánticos de carbono):

Se utilizaron nanopartículas Carbon Quantum Dots (CQDs), que exhiben fluorescencia de color azul a una longitud de onda de 365 nm (ver Figura 29). Por lo tanto, de acuerdo con la Figura 20, se puede indicar que tienen un tamaño de partícula aproximado de 2nm.



*Figura 29. Carbon Quantum Dots.  
Fuente: Fotos tomadas en el laboratorio.*

Para esta investigación se prepararon dos soluciones con diferentes concentraciones de nanopartículas. Para la primera solución, se tomaron 0.2 g de nanopartículas y se disolvieron en 1000 ml de agua destilada para obtener la menor concentración equivalente a 200 partes por millón de nanopartículas. En la segunda solución se disolvieron 0.2 g de nanopartículas en 100 ml de agua destilada para obtener la mayor concentración equivalente a 2000 partes por millón. Las muestras obtenidas se observan en la Figura 30.



*Figura 30. Carbon Quantum Dots mayor y menor concentración.  
Fuente: Fotos tomadas del laboratorio.*

### 3.7 Caracterización de las Carbon Quantum Dots

La caracterización de las CQDs fue suministrada por y los resultados se presentan en la Tabla

*Tabla 4. Caracterización de las CQDs.*

<b>Propiedad</b>	<b>Valor</b>
Conductividad eléctrica, mS/cm	14.85
SDT sólidos totales disueltos, ppm	7.24
Salinidad, PSU (PSU*1000=ppm)	8.62
Resistividad eléctrica, ohm-cm	67.80
pH	4.23
Densidad en solución, kg/L	1.03

*Fuente: Elaboración propia.*

En general este tipo de nanopartículas son altamente estables y resistentes a la foto degradación, provenir de materiales orgánicos esto les concede una baja toxicidad que las hace ideales para su uso en aplicaciones biomédicas y farmacológicas, y en nuestro caso representa un punto a favor ya que favorece su compatibilidad con el inhibidor orgánico.

Las CQDs presentan propiedades eléctricas únicas, tales como alta conductividad eléctrica y efecto túnel cuántico, en el caso de estas nanopartículas se obtuvo una conductividad eléctrica relativamente alta debido a su tamaño nanométrico y estructura porosa. Se evidencia que no tienen una salinidad significativa, ya que se producen a partir de materiales orgánicos y no contienen iones en su estructura. Sin embargo, la salinidad puede ser un factor para considerar en las aplicaciones que involucran soluciones acuosas.

Su resistividad depende de varios factores, como su tamaño, estructura y composición. Para este caso se tiene una resistividad baja de 67.8 ohm-cm, teniendo en cuenta que presenta alta conductividad eléctrica, este resultado es coherente. El pH de los carbon quantum dots puede variar dependiendo de su síntesis y ambiente de aplicación. Como estas nano partículas



fueron sintetizadas a partir de ácidos orgánicos, se espera que tengan un pH ácido tal y como se reporta en la Tabla 4.

Otra variable interesante para considerar es la densidad, que depende de varios factores, como su tamaño, forma y composición. En general, los CQDs tienen una densidad relativamente baja debido a su pequeño tamaño y estructura porosa, tal y como se observa para estas nano que en disolución tienen una densidad similar a la del agua (1.0296 kg/L). La baja densidad de los carbon quantum dots puede ser ventajosa en aplicaciones en las que se requiere un material liviano, como en la fabricación de materiales compuestos y estructuras ligeras; y para esta aplicación es importante para garantizar que no exista segregación de fases en las soluciones.

### **3.8 Procedimiento experimental**

Para evaluar la eficiencia del extracto *Citrullus Lanatus* (antioxidante en la sandía) en la inhibición de acero inoxidable y aluminio en medio ácido, se realizaron pruebas de pérdida de masa y espectrometría UV-Vis, para ello inicialmente se realizó el siguiente procedimiento.

Primero se realizó el montaje de las cajas Petri para cada una de las muestras de aluminio y acero inoxidable 304. Las pruebas se realizaron en 3 lotes con diferentes combinaciones de HCl, inhibidor convencional, inhibidor orgánico y nanopartículas Carbon Quatum Dots (CQDs). Dichas pruebas, se dividieron en 3 lotes y se realizaron por triplicado.

A su vez dentro de cada lote, se presentan 3 casos:

Para el lote 1, el Caso 1, de HCl puro; se adicionaron 15 ml de HCl sobre cada lamina del metal y fueron cubiertas posteriormente.

Para el Caso 2, se adiciono el 10% de inhibidor convencional, que equivale a 1.5 ml, asegurándose que el metal quedara bien cubierto, 13.5 ml de HCl y finalmente se colocó la tapa en cada una de las cajas Petri.

Para el caso tres, nuevamente se agregó 1.5 ml de inhibidor orgánico y 13.5 ml de ácido clorhídrico.

En el lote dos, se repitieron los 3 Casos del lote 1 con la diferencia de que se agregaron 0.5 ml a 200 ppm CQDs, 13.5 ml de HCl y 1.0 ml de inhibidor orgánico y convencional.

Finalmente, en el lote tres, nuevamente se aplicaron los 3 casos, con una concentración de 2000 ppm de CQDs, 13.5 ml de HCl y 1.0 ml de inhibidor orgánico y convencional.

Los tres casos se realizaron tanto en las láminas de aluminio como en las de acero inoxidable 304.

En la Figura 31 se presenta el montaje que se realizó para las pruebas.



*Figura 31. Montaje de laboratorio.  
Fuente: Fotos tomadas en el laboratorio.*

### 3.8.1 Prueba de pérdida de masa

El método gravimétrico de pérdida de masa permite evaluar la velocidad de corrosión, este procedimiento arroja una velocidad global o promedio de corrosión, haciendo posible determinar un porcentaje de eficiencia del inhibidor analizado. En este análisis, la pieza de metal se denomina testigo corrosimétrico. La norma ASTM G 31- 99 describe el procedimiento a seguir. (ver Anexo 2)

Para evaluar la eficiencia de inhibición del extracto obtenido de la cáscara de sandía y compararlo al mismo tiempo con la eficiencia del inhibidor convencional (CORRTREAT 7395); en ausencia y presencia de nanopartículas CQDs, en solución ácida HCl 1.0 M, se llevó a cabo este método gravimétrico a temperatura ambiente, mediante un periodo de inmersión de 11 días o 264 horas.

El porcentaje de pérdida de masa está dado por la Ecuación 1:

$$\% \Delta W = \frac{(W_{inicial} - W_{final})}{W_{inicial}} * (100) \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

$\Delta W$ , porcentaje de pérdida de masa.

$W_{inicial}$ , masa inicial en gramos de la lámina.

$W_{final}$ , masa final de la lámina en gramos.

Una vez hallado el porcentaje de pérdida de masa, se procede a calcular la velocidad de corrosión de cada lámina por lote.

La velocidad de corrosión  $V_{corr}$ , se calculó a partir de la Ecuación 2:

$$V_{corr} = \frac{k \Delta w}{(A)(t)} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

$V_{corr}$ , velocidad de corrosión en unidades (MPY),

$K$ , constante que otorga las unidades,

$K$  equivale a  $3.45 * 10^6$

$\Delta w$ , diferencia de masa (antes y después del tratamiento en gramos)

$A$ , área de exposición en centímetros cuadrados y,

$t$ , tiempo que dura el ensayo en horas.

La Tabla 5 señala los parámetros de aceptación de MPY del acero.

*Tabla 5. Valores de Aceptación para el Acero, en MPY según la NACE.*

<b>N°</b>	<b>Resistencia</b>	<b>MPY</b>	<b>Mm/y</b>
1	<i>Excepcional</i>	<1	<0.02
2	<i>Excelente</i>	De 1 a 5	De 0.02 a 0.1
3	<i>Bueno</i>	De 6 a 20	De 0.2 a 0.5
4	<i>Aceptable o regular</i>	De 21 a 50	De 0.6 a 1.0
5	<i>Pobre</i>	De 51 a 200	De 1.0 a 5.0
6	<i>Inaceptable o rechazado</i>	>200	>5.0

*Fuente: Adaptado de NACE RP 0775 Preparation, Installation, Analysis, and Interpretation of Corrosion Coupons in Oilfield Operations, 2005.*

Una vez obtenidos los resultados de velocidad de corrosión del acero inoxidable 304 y el aluminio se calculó la eficiencia de inhibición (% n), utilizando la Ecuación 3, la cual

permite comparar el comportamiento del extracto de cáscara de sandía con la eficiencia del inhibidor convencional y del HCl con nanopartículas.

$$\%n = \frac{(V_{blanco} - V_{inh})}{V_{blanco}} (100) \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

$V_{blanco}$ , velocidad de corrosión sin inhibidor.

$V_{inh}$ , velocidad de corrosión con inhibidor.

Los datos de pérdida de masa y velocidad de corrosión, para los diferentes sistemas evaluados en esta tesis, se encuentran en el capítulo de resultados.

### **3.8.2 Prueba de espectroscopia ultravioleta-visible (UV-Vis)**

La espectroscopia ultravioleta-visible es un tipo de espectroscopia de absorción en la que se ilumina una muestra con rayos electromagnéticos de varias longitudes de onda en el rango ultravioleta (UV) y visible (VIS). Según la sustancia, la muestra absorbe parcialmente los rayos de luz ultravioleta o visible. El resto de la luz, es decir, la luz transmitida, se registra como una función de la longitud de onda mediante un detector adecuado. El detector produce entonces el espectro UV-VIS único de la muestra (también conocido como el “espectro de absorción”).

Para este trabajo se analizaron la solución inicial de HCl, el inhibidor orgánico y el inhibidor convencional, siendo estos resultados iniciales, las líneas base de esta experimentación. Al pasar los 11 días se caracterizaron las soluciones resultantes de la prueba de pérdida de masa, para posteriormente analizar el espectro obtenido de cada una de ellas y

compararlas con las líneas de base. De esta forma, se verifica que la variación de los espectros es fruto de la incorporación de sustancias generadas por las láminas debido a la corrosión.

### **3.8.3 Inspección visual con ayuda de un microscopio**

Con la ayuda de un Microscopio digital USB se observaron y fotografiaron los cambios que sufrieron las láminas durante el tiempo que estuvieron sumergidas y fueron atacadas por el ácido, con el fin de determinar qué cambios sufrieron y cómo se afectó su morfología superficial. Es importante mencionar que las láminas antes de ser expuestas a los diferentes medios también fueron fotografiadas (ver Anexo 4).

A manera de complemento se presenta en la Figura 32 un resumen de la metodología empleada para el desarrollo del proyecto.

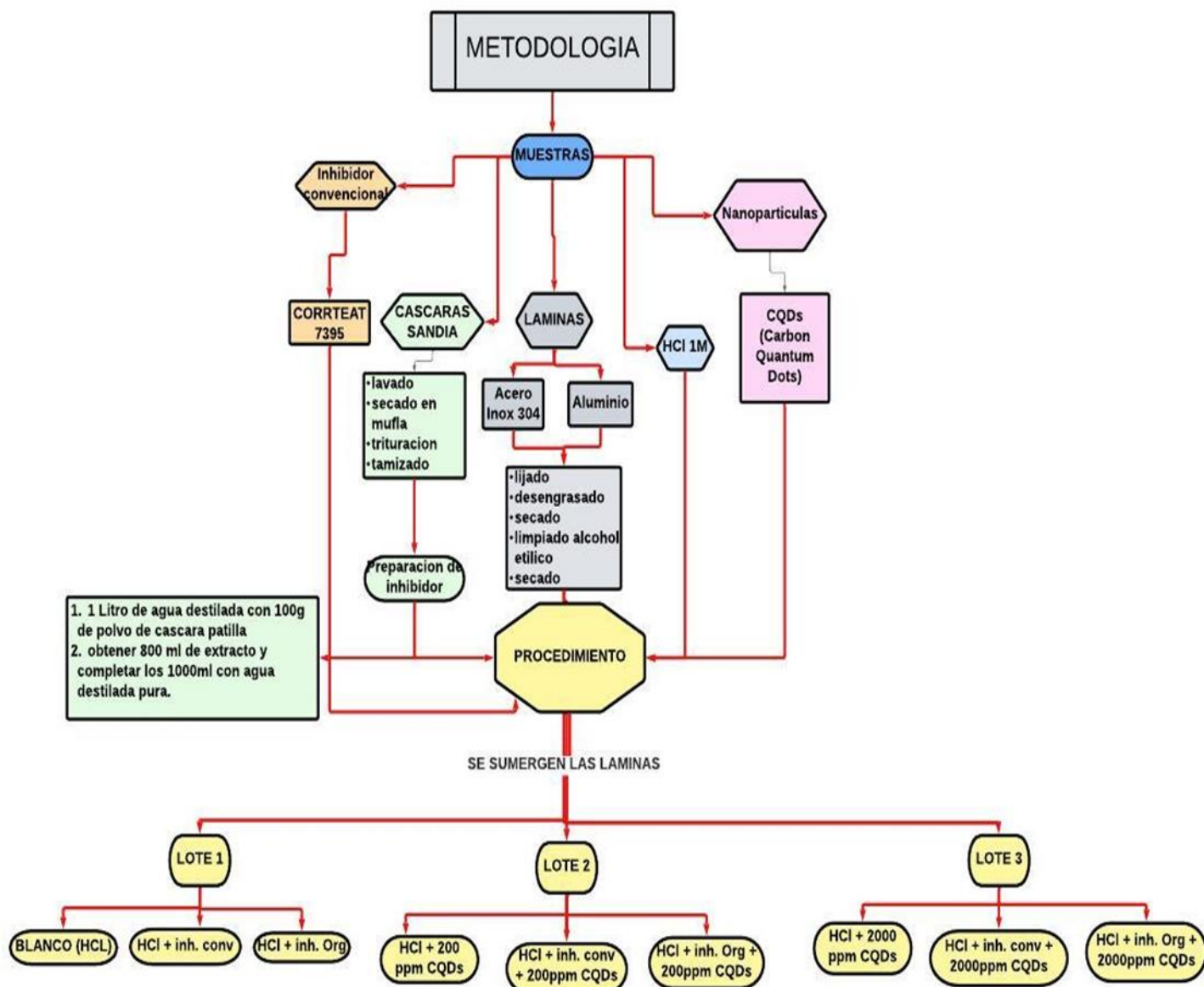


Figura 32. Resumen metodológico  
Fuente: Elaboración propia

## Capítulo 4

### Resultados, análisis y discusión

#### 4.1 Caracterización del extracto

Los resultados de la caracterización del extracto de cascara de sandia, se exhiben a continuación:

*Tabla 6. Resumen de las pruebas para determinar la densidad del extracto con picnómetro.*

<b>Densidad prueba 1</b>	0.97579 g/ml
<b>Densidad prueba 2</b>	0.9779 g/ml
<b>Densidad promedio</b>	0.9768 g/ml

*Fuente: Elaboración propia*

Las Tabla 6, presenta las pruebas realizadas con el picnómetro para determinar la densidad del extracto; obteniendo como resultado una densidad de  $0.9768 \pm 0.001055$  g/ml.

Asimismo, se realizó el cálculo de área total bajo la curva y el área bajo la curva de los intervalos indicadores de la presencia de citrulina, obteniendo como resultado los siguientes valores:

Intervalo de 200 a 800 nm:  $66.94 \text{ nm}^2$

Intervalo de 200 a 220 nm:  $19.05 \text{ nm}^2$

Intervalo de 280 a 300 nm:  $4.73 \text{ nm}^2$

Para hallar el porcentaje de citrulina se realizó la Ecuación 4:

$$\% \text{citrulina} = \frac{\text{area}(200 \text{ a } 220 \text{ nm}) + \text{area}(280 \text{ a } 300 \text{ nm})}{\text{area total bajo la curva}} = 35.52 \% \quad \text{Ecuación 4}$$



Por esta razón, se determinó que la cascara de sandía que fue evaluada en el desarrollo de este proyecto contenía una participación de 35.52% de absorbancia para citrulina, respecto a los demás participantes de la solución que tienen absorbancia en el espectro UV-vis.

#### 4.2 Prueba de pérdida de masa.

Los resultados de pérdida de masa, velocidad de corrosión y eficiencia se presentan a continuación:

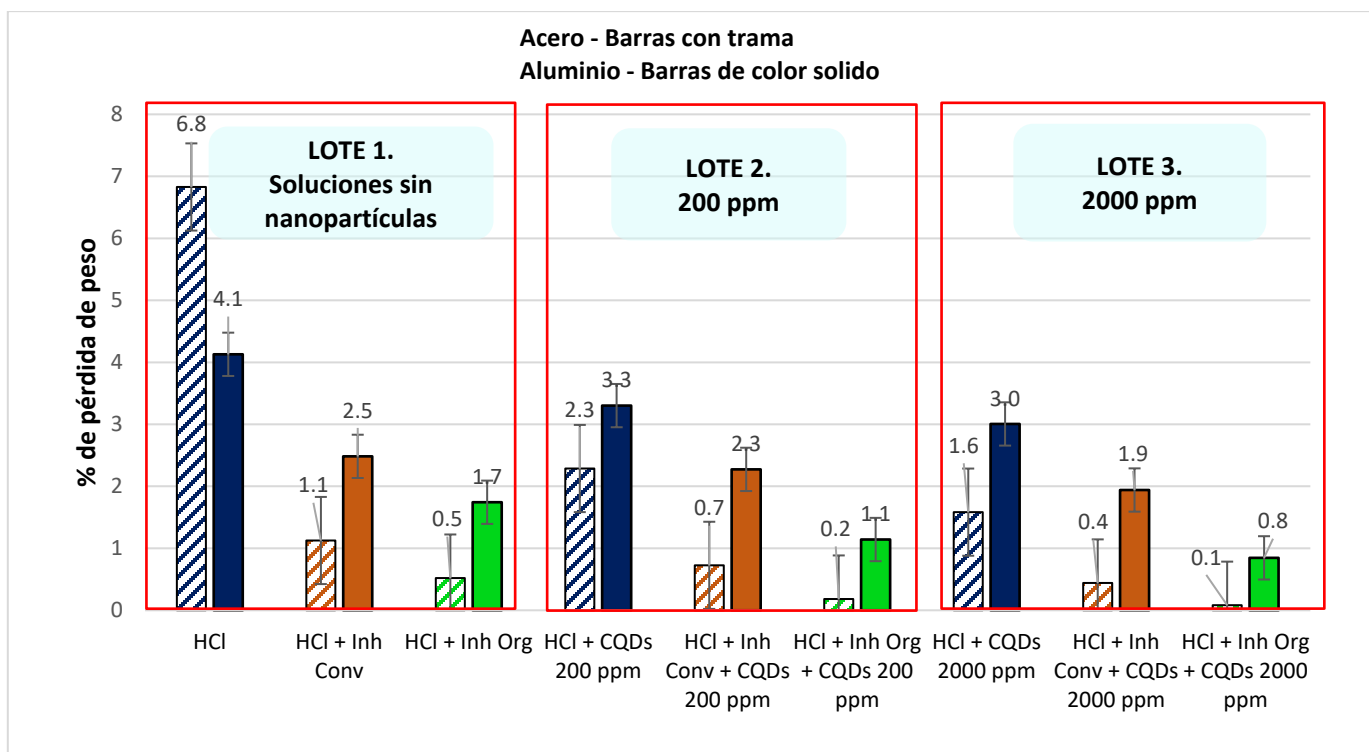


Figura 33. Pérdida de masa de las 3 pruebas (Lote) en acero inoxidable 304 y aluminio.  
Fuente: Elaboración propia.

Las Figura 33 presenta un comparativo del % de pérdida de masa para ambos metales bajo estudio. Se evidencia que aplicando el inhibidor de origen orgánico con adición de 2000

ppm CQDs (Lote 3) se alcanzó el mejor recubrimiento o protección del material, lo que se ve reflejado en una menor pérdida de masa con respecto a los demás lotes.

Adicionalmente, se demostró como el acero inoxidable 304 es mucho más resistente a la corrosión que el aluminio; ya que la caída de la masa en las láminas de acero inoxidable es mucho menor que las registradas para las láminas de aluminio (ver Anexo 1). Este comportamiento era de esperarse dada la composición química y baja porosidad del acero.

Sin embargo, también es importante mencionar que el acero inoxidable 304, al estar en contacto con el HCl puro, puede sufrir una mayor pérdida de masa, debido a que el HCl se descompone en los iones de cloruro y de hidrógeno, los cuales empiezan a reaccionar con el metal formando en la superficie del material una película gris oscura. Aunque se desconoce su composición, su formación se asocia como producto de corrosión al Cloruro de hierro ( $\text{FeCl}_2$ ), causándole daños por picadura.

Respecto al comportamiento del inhibidor convencional, se puede indicar que causa un efecto inhibitorio, formando una capa protectora en la superficie del metal, lo que se ve reflejado al momento de disminuir el % de pérdida de masa en comparación con las láminas de acero que estaban en contacto con el HCl puro.

Sin embargo, el inhibidor orgánico obtenido del extracto de la cáscara de sandía es el que mejor protege el metal, esto es debido a que en todos los casos está relacionado con menor pérdida de masa en las láminas, tal como y se observa en la Figura 37. Dicho comportamiento, se atribuye a su alto contenido de citrulina que actúa sobre la superficie metálica del acero mediante un proceso antioxidante que genera una protección anódica contra la corrosión, formando una película pasiva que aísla el metal del medio ácido, evitando que este pueda ser atacado fácilmente por el ácido. Como se ha mencionado anteriormente en esta investigación

la cascara de sandía contiene alcaloides, saponinas, taninos, flavonoides, polifenoles y un alto contenido de citrulina, que es un antioxidante que consta de heteroátomos de nitrógeno y oxígeno, además de un anillo aromático en su estructura química (Priharti et al., 2021; Odewunmi et al., 2015; Odewunmi et al., 2015).

La adsorción de estos compuestos sobre la superficie del metal permite generar interacciones iónicas que forman una barrera para la transferencia de masa y carga, aislando así el metal del ataque de los iones corrosivos presentes en la solución, permitiéndole actuar como inhibidor de la corrosión (Odewunmi et al., 2015).

Con respecto a las CQDs, que fueron aplicadas en todas las sustancias incluyendo el HCl puro, los resultados arrojaron que las nanopartículas por si solas si realizan un proceso de inhibición (ver Figura 35), que ocurre gracias a que las CQDs poseen diversas propiedades, entre ellas las de antioxidantes, que les permiten crear una protección anódica en la superficie del metal para que este no sea corrido fácilmente. Adicionalmente, obtuvieron una resistencia excepcional a la corrosión, según la clasificación de resistencia conforme a la velocidad de corrosión según la NACE.

Por esta razón se concluye que el inhibidor de tipo orgánico obtenido del extracto de la cáscara de sandía fue el más eficaz respecto a sus competidores y que las CQDs potencializan su efecto.

#### **4.3 Velocidad de corrosión.**

A continuación, se expresan los resultados obtenidos en cuanto a la velocidad de corrosión del acero inoxidable y aluminio, de cada lote.

Los valores obtenidos de la velocidad de corrosión se miden en unidades de mpy (milímetros por año de penetración); en ese orden de ideas se realizaron 3 pruebas divididas por lotes: Lote 1., Lote 2., y Lote 3. Para el Lote 1., se evaluó la velocidad de corrosión de ambos metales en ausencia de nanopartículas; en el lote 2 se evaluó la velocidad de corrosión con la adición de nanopartículas a una concentración de 200 ppm; y finalmente en el lote 3., se evaluó la velocidad de corrosión con la adición de nanopartículas a una concentración de 2000 ppm.

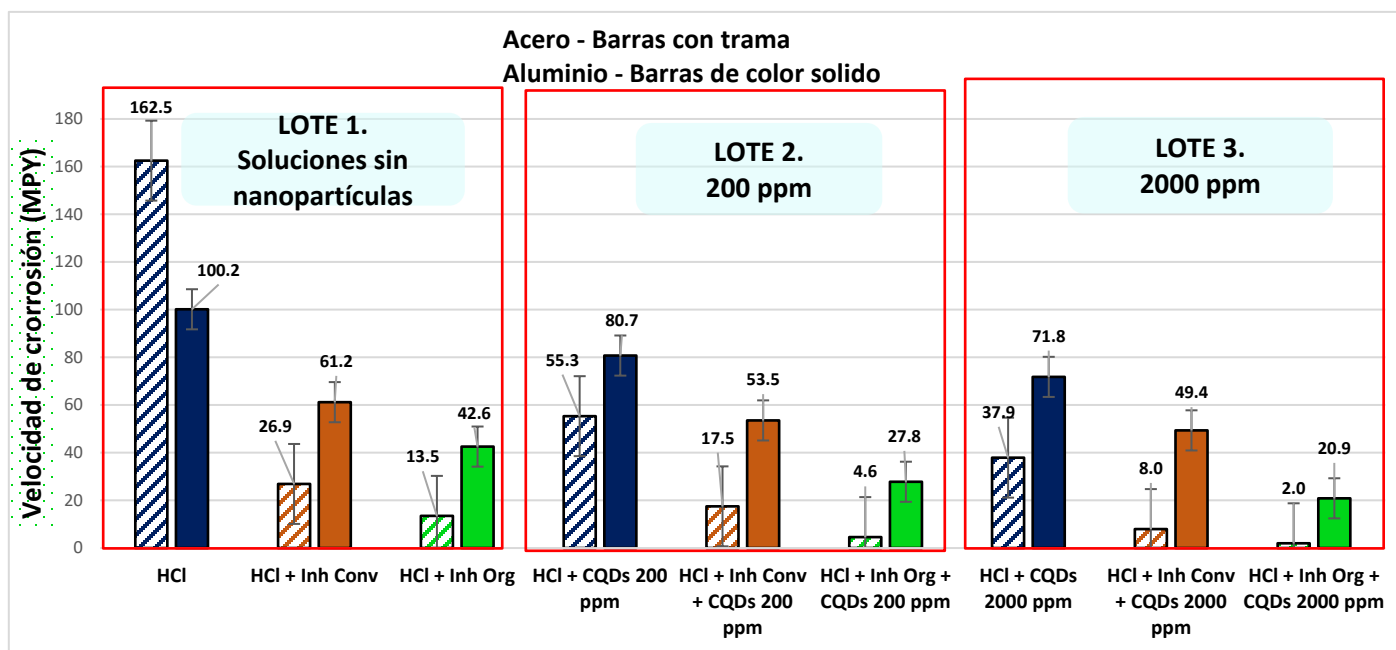


Figura 34. Velocidad de corrosión de las 3 pruebas (Lote) en acero inoxidable 304 y aluminio.  
Fuente: Elaboración propia.

La Figura 34 expone una comparativa de las velocidades máximas de corrosión en mpy para los 3 lotes, representando la información que se halla en el Anexo 1. Se observa que, para ambos casos, el mejor rendimiento se obtuvo luego de aplicar el inhibidor de origen

orgánico en adición de 2000 ppm de CQDs, con una velocidad de 2.0 mpy para el acero inoxidable 304 y 20.9 mpy para el aluminio, lo que radica en la forma en que los constituyentes del inhibidor actúan sobre el tipo de metal.

Adicionalmente, se resalta el efecto de la concentración de las CQDs, ya que al cambiar su dosificación se obtienen mejores resultados, lo que indica que la velocidad de corrosión es función de la concentración de las CQDs.

Con el fin de analizar el comportamiento solo de las CQDs, se procedió a establecer una comparación entre las dos dosificaciones de estas, (ver Figuras 35 a 37).

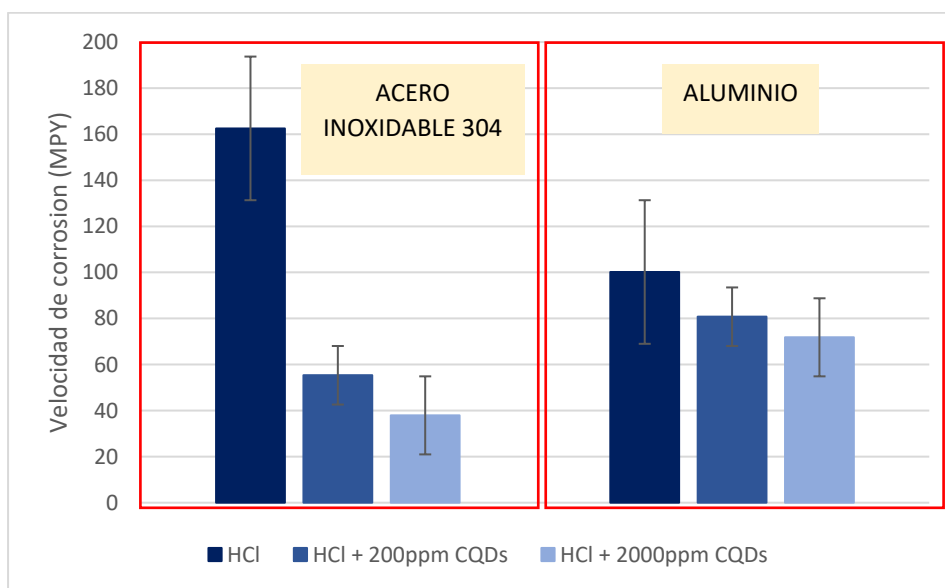


Figura 35. Velocidad de corrosión de acero inoxidable 304 y aluminio, sumergidos en HCl, HCl-200ppm CQDs y HCl-2000ppm CQDs.

Fuente: Elaboración propia.

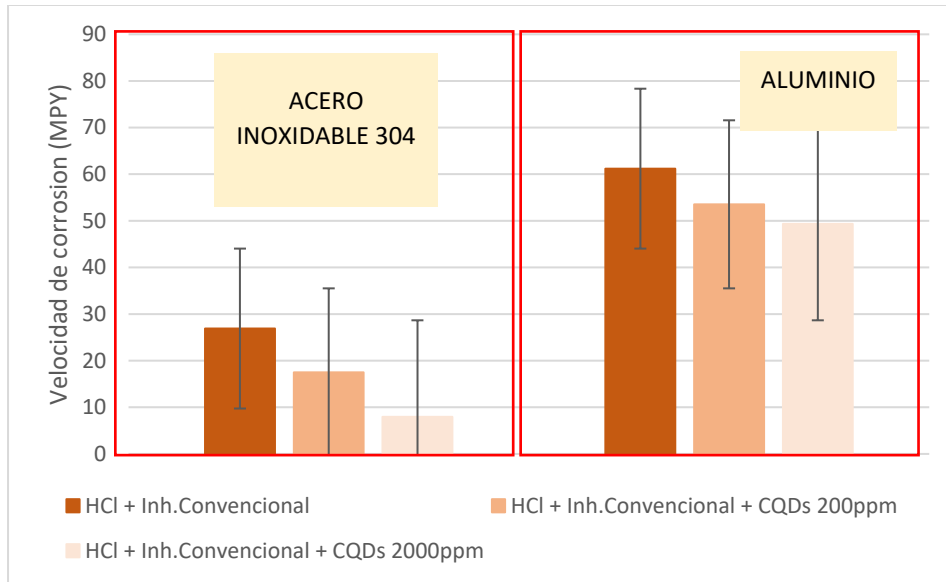


Figura 36. Velocidad de corrosión de acero inoxidable 304 y aluminio, sumergidos en inh. convencional, inh. convencional-200ppm CQDs y inh. convencional-2000ppm CQDs.  
Fuente: Elaboración propia.

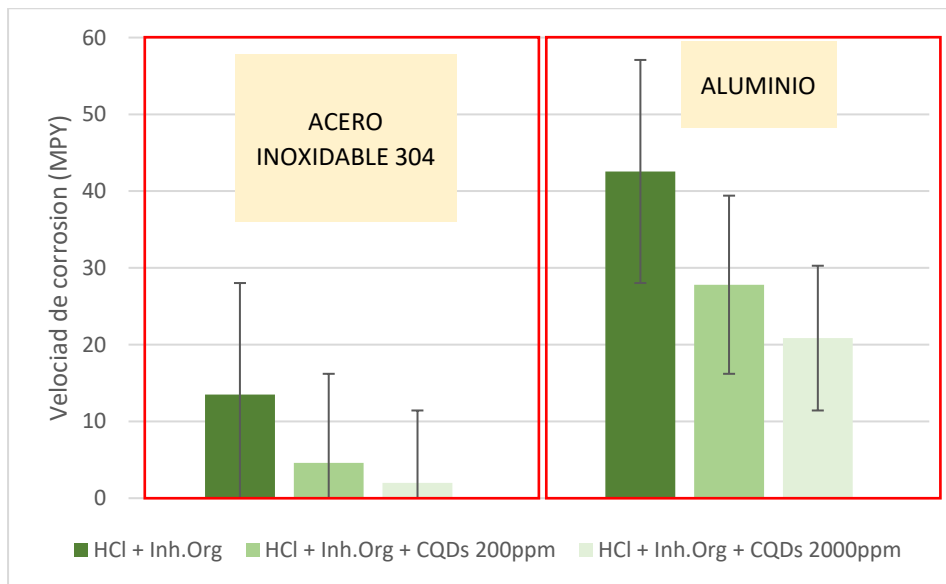


Figura 37. Velocidad de corrosión de acero inoxidable 304 y aluminio, sumergidos en inh. Orgánico, inh. Orgánico-200ppm CQDs y inh. Orgánico-2000ppm CQDs.  
Fuente: Elaboración propia.

Al inspeccionar las Figuras 35, 36 y 37, se observa el efecto de adicionar las CQDs, aunque no se tiene claridad en su mecanismo de acción, se demuestra como estas tienen un efecto inhibitorio en todos los casos de aplicación.

Franco y colaboradores (Franco et al., 2020) mostraron que las CQDs, contienen una amplia gama de grupos funcionales orgánicos, entre los que destacan los oxigenados y nitrogenados. Por lo que su mecanismo de acción resulta ser similar al de la citrulina, que consiste en la formación de una película que aísla la superficie del metal del ambiente corrosivo.

La inspección de los datos obtenidos revela que la velocidad de corrosión es directamente proporcional a él % de pérdida de masa e inversamente proporcional a la eficiencia con la que actúa el inhibidor.

Se puede observar cómo entre mayor sea la velocidad de corrosión, mayor será la cantidad de masa que pierdan las láminas y por consiguiente se verá reflejado en un mayor deterioro del material.

Los especímenes de acero inoxidable 304 y aluminio, obtienen su mejor rendimiento bajo la protección del inhibidor orgánico y a una concentración de 2000 ppm de CQDs, alcanzando valores de 2,0 mpy para el acero inoxidable y 20,9 mpy para el aluminio, lo que indica que a una mayor concentración de extracto y nanopartículas se esperarían obtener una tendencia a disminuir la velocidad en la que se deteriora el material y por consiguiente aumentar su vida útil.

Según el criterio de la norma NACE RP 0775 (ver Tabla 6), en las condiciones de proceso empleadas, se presenta una resistencia pobre de corrosión en el caso que expone el

metal al medio ácido sin ningún inhibidor. Lo anterior se fundamenta en la obtención de las velocidades de corrosión en un rango de 51 a 200 MPY, los resultados obtenidos están dentro de uno de los más altos criterios de velocidad de corrosión, por lo que se cumple unos de los objetivos, que se basa en que el sistema genere el mayor daño posible al material y se logre dar cumplimiento a la teoría de corrosión que establece que el metal se corroe en un medio ácido y finalmente comparar con los resultados de los inhibidores.

Teniendo en cuenta lo anterior, al comparar las velocidades de corrosión del inhibidor convencional y el inhibidor orgánico, siguiendo el criterio de la norma NACE RP 0775, se observa como el inhibidor convencional se encuentra en un rango de 21 a 50 MPY, arrojando una resistencia regular o aceptable. Por otro lado, el inhibidor orgánico, se encuentra en un rango de 6 a 20 MPY, logrando una buena resistencia, atribuible a su contenido de citrulina. Se cree que estos resultados están asociados a la capacidad de donación de los orbitales moleculares del inhibidor a los orbitales moleculares de la superficie del metal, que es un comportamiento típico de un buen inhibidor. Tales interacciones orbitales moleculares fronterizas resultan en una alta adsorción del inhibidor sobre el metal (Saha et al, 2016).

#### **4.4 Eficiencia de inhibición.**

Una vez obtenidos los datos de velocidad de corrosión del acero inoxidable 304 y el aluminio, se determinó la eficiencia de inhibición que tiene cada sustancia. A continuación, se presentan los resultados de la eficiencia de inhibición:



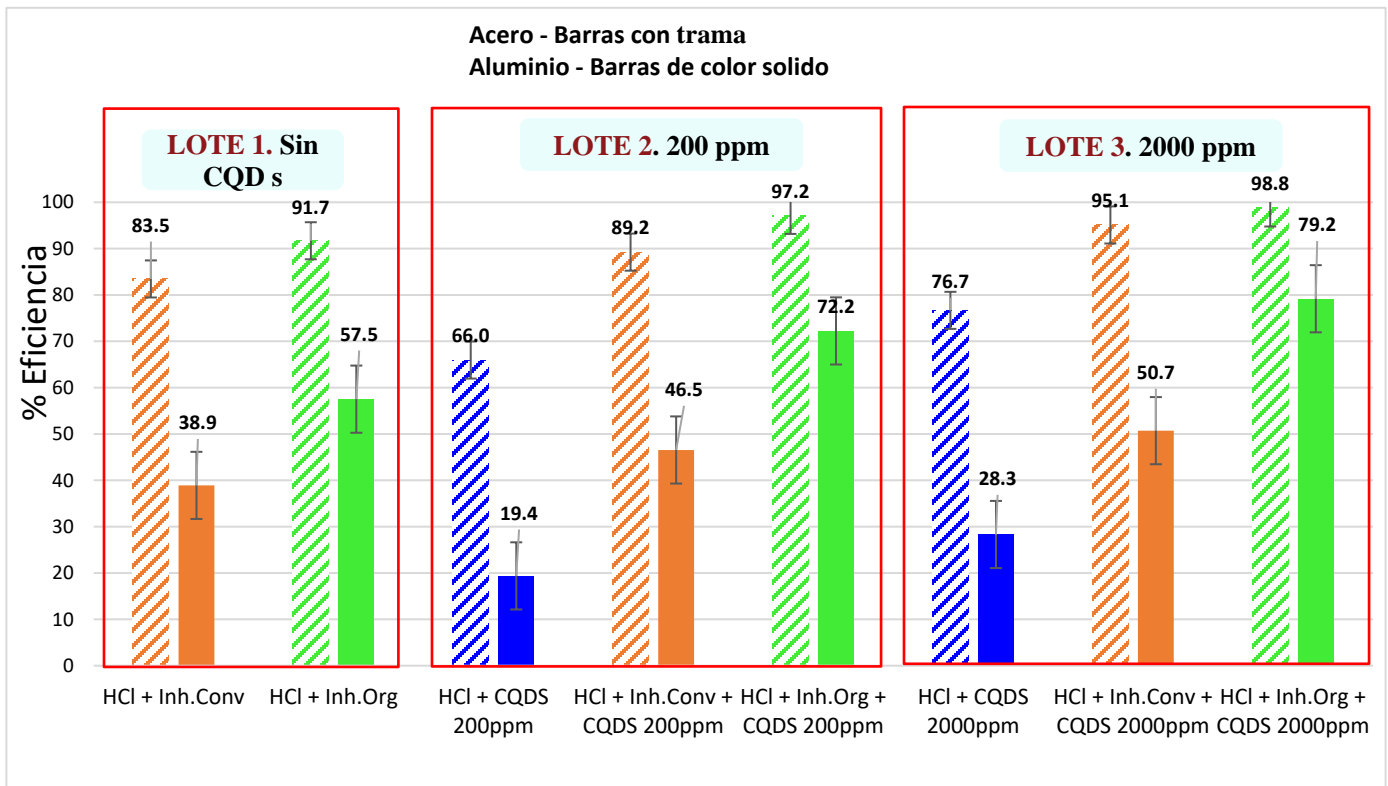


Figura 38. Eficiencia de inhibición para de las 3 pruebas (Lote) en acero inoxidable 304 y aluminio.  
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 38, se pueden observar los resultados de eficiencia de inhibición evaluados en el acero inoxidable 304 y aluminio; información que se encuentra más a detalle en el Anexo 1.

Asimismo, se evidencia como las CQDs podrían funcionar por si solas como un agente inhibidor, ya que al añadir las lograron retardar el ataque del HCl, alcanzando eficiencias de 76,7 % para el acero inoxidable 304 y 28,3 % para el aluminio. Estos resultados fueron obtenidos con la mayor concentración de CQDs, debido a que entre mayor sea la concentración de estas, existirán más partículas dispersas que podrán ser absorbidas

En relación con los resultados de eficiencia de inhibición evaluados en el acero inoxidable 304 y aluminio, se aprecia que el inhibidor orgánico tiene un mejor desempeño que

las demás sustancias evaluadas. Para los dos metales en evaluación se observa que, aunque la barra que refleja la eficiencia de inhibición pareciera permanecer constante, un aumento en la concentración sí mejora el rendimiento lo que provoca una caída en la velocidad de corrosión y esto a su vez se ve reflejado en el % de pérdida de masa.

Los resultados obtenidos también demuestran que la eficiencia de la inhibición es directamente proporcional a la concentración de las nanopartículas, alcanzando valores máximos de 98.8% para el caso del acero inoxidable 304 con una concentración de nanopartículas de 2000 ppm, 97.2% en presencia de nanopartículas a una concentración de 200 ppm y de 91.7% en ausencia de estas. Mientras que el aluminio, alcanza valores máximos de 79.2% en presencia de nanopartículas a una concentración de 2000 ppm, 72.2% a una concentración de nanopartículas de 200 ppm y 57.5% en ausencia de ellas. Este comportamiento es típico de la adsorción del inhibidor y las nanopartículas sobre la superficie del metal, que puede ocurrir mediante procesos de fisisorción y/o quimisorción (Sulaiman et al, 2019).

#### **4.5 Prueba de espectroscopia UV-VISIBLE.**

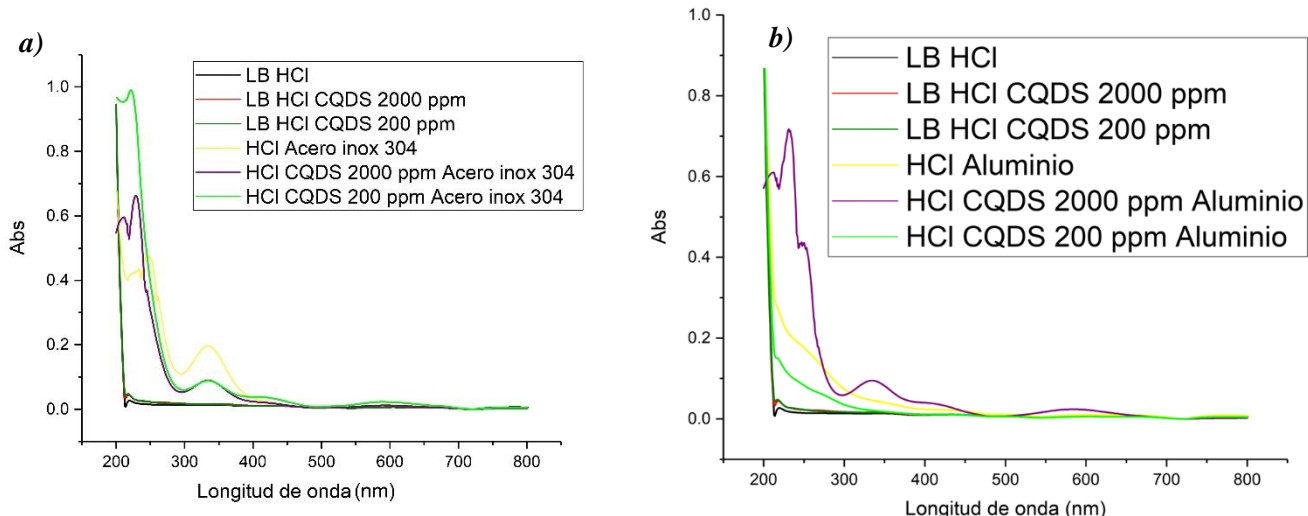


Figura 39. Espectro UV-VIS HCl evaluado en presencia y ausencia de nanopartículas (CQDs), antes y después de la prueba (A). Ensayos con Acero Inox 304, (B). Ensayos con aluminio.  
 Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 39 **a** y **b** se pueden observar los espectros UV-Vis del HCl en diferentes longitudes de onda; las variaciones respecto al espectro del HCl puro (LB HCl) son atribuidas a la incorporación de nuevas especies en la solución donde se encontraba inmerso el material metálico. Estas especies provienen en menor o mayor cantidad de la interacción del líquido con las especies metálicas durante un periodo de inmersión de 11 días. En ambas Figuras se refleja que la presencia de nanopartículas (CQDs), no tienen ningún efecto que interfiera sobre la química del ácido clorhídrico, dado que no se evidencia adsorción en ninguna longitud de onda en la zona UV-Vis; sin embargo, cuando se involucran las especies metálicas si se logra evidenciar un efecto de adsorción, lo que indicaría la presencia de grupos funcionales asociados; provenientes de la interacción metal-ácido. Por lo anterior, se comparan con el efecto que tiene agregar nanopartículas (CQDs), observando que la cota de adsorción es menor al formar los grupos funcionales, lo que sugiere que las CQDs al interactuar con las superficies

metálicas, forman una película protectora que reduce la velocidad de degradación y en consecuencia una menor concentración de grupos funcionales provenientes del proceso corrosivo.

Por otro lado, al comparar el efecto en el acero y aluminio, se aprecia que en el caso del aluminio se obtuvo un menor efecto de absorción al reaccionar con el HCl, sufriendo una menor pérdida de masa en comparación con el acero inoxidable 304, de manera que en el espectro de 200 a 800 nanómetros se absorbieron componentes que reaccionan con el ácido formando más grupos funcionales. Adicionalmente, el aluminio obtuvo una mayor absorción al interactuar con el ácido y 200 ppm de CQDs; registrando una menor pérdida de masa, de 4 a 3.3 g; esto se debe a que el acero tiene una composición distinta a la del aluminio y estos grupos funcionales no tienen absorbanza en la región UV-Vis; por esta razón, en el acero no se ve un gran efecto absorbanza a pesar de que sufrió una mayor pérdida masa. De igual manera ocurre con el espectro UV-Vis del acero con 2000 ppm de CQDs, en el que se evidencia un mayor efecto de absorbanza en el aluminio en comparación con el obtenido para el acero, ya que los componentes del acero que se desprendieron formaron grupos funcionales que no son visibles en la región UV-Vis, por ende, su absorbanza es menor a pesar de que registró una mayor pérdida de masa.

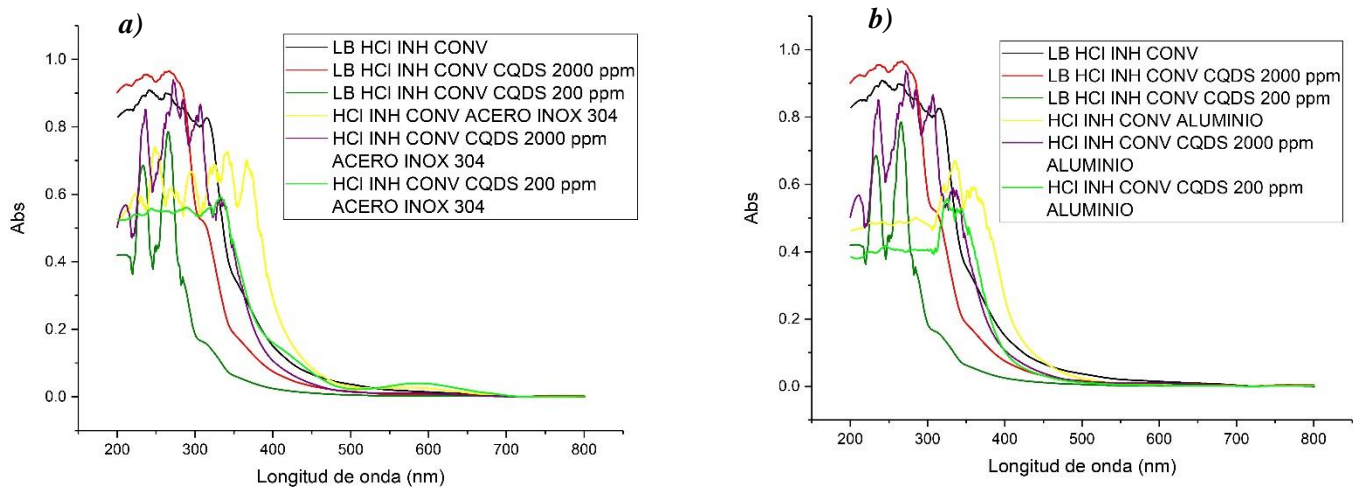


Figura 40. Espectro UV-VIS HCl, Inhibidor convencional, evaluado con adición de nanopartículas y sin nanopartículas antes y después de la prueba.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 40 **a** y **b**, se aprecia el efecto del inhibidor convencional al estar en contacto con el ácido clorhídrico, las especies metálicas, y las nanopartículas. Se observa como el inhibidor convencional en estado puro registró una menor absorbancia en comparación a la obtenida al momento de ser aplicado en las superficies metálicas en el intervalo de 350nm a 400 nm, lo que indica que, al reaccionar con partículas de aluminio o acero inoxidable, la concentración del inhibidor disminuyó debido a su adsorción, en la que se crean nuevos grupos funcionales, lo que a su vez resulta en una mayor pérdida de masa por el desprendimiento de componentes del metal que reaccionó formando dichos grupos funcionales. Al comparar los resultados obtenidos luego de agregar nanopartículas (CQDs) en una longitud de onda de 200 a 800 nanómetros, se determinó que la formación de grupos funcionales asociados al inhibidor disminuye; sin embargo, la adsorción con una concentración de 2000 ppm es menor que con una de 200 ppm. Lo que sugiere que al estar en contacto con CQDs a 2000 ppm su proceso de inhibición es potencializado, de tal forma que su % de pérdida de masa es menor y así se evita el deterioro del material y la formación de nuevos grupos funcionales.

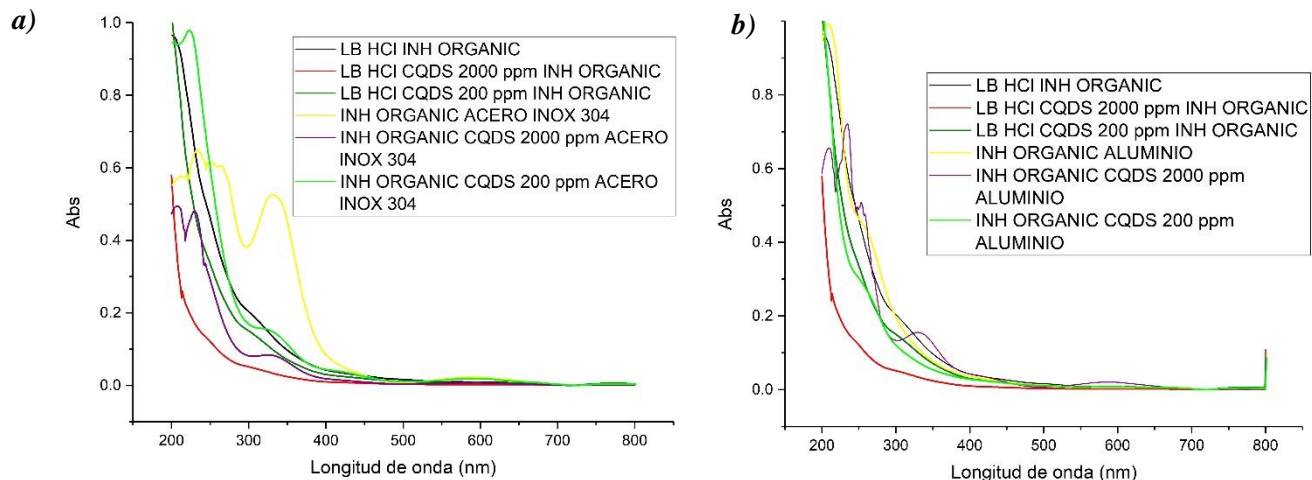


Figura 41. Espectro UV-VIS HCl e Inhibidor orgánico evaluado con adición de nanopartículas y sin nanopartículas antes y después de la prueba.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 41 **a** y **b** se observa el efecto de las nanopartículas (CQDs) al estar en contacto con el ácido clorhídrico y el inhibidor orgánico. Al igual que en los casos anteriores, las nanopartículas actúan como un catalizador cuando son aplicadas por si solas, ya que retardan la velocidad con la que se produce la reacción de corrosión y como un inhibidor cuando se aplican en sinergia con otra sustancia del mismo tipo, mejorando la absorbancia y capacidad de penetración, lo que resulta en una menor cantidad de nuevos grupos funcionales y esto a su vez se refleja en la disminución de la absorción. Por otro lado, al comparar los espectros en ausencia y presencia de CQDs, Se observa como para ambos materiales bajo estudio, se disminuye la absorbancia con la aplicación de las CQDs. Sin embargo, cuando se tiene en cuenta la dosificación de las CQDs, se establece que, con una concentración de 200 ppm, el aluminio sufre una mayor pérdida de masa por la formación de nuevos grupos funcionales.

Por otro lado, el acero presenta un menor % de pérdida de masa al adicionar 2000 ppm de CQDs, aun cuando su espectro UV-Vis exhibió una mayor absorbancia que la del aluminio en las mismas condiciones, es decir, que en este intervalo no fue posible visualizar los grupos funcionales formados en el aluminio haciendo uso del espectro UV-Vis, ya que estos no se evidencian en la Figura; sin embargo, se observa como el aluminio perdió más masa que el acero. En conclusión, al comparar los resultados de estas Figuras es posible identificar que, aunque solo con la aplicación del inhibidor orgánico se obtienen resultados muy favorables, el adicionar las CQDs mejora notablemente su rendimiento.

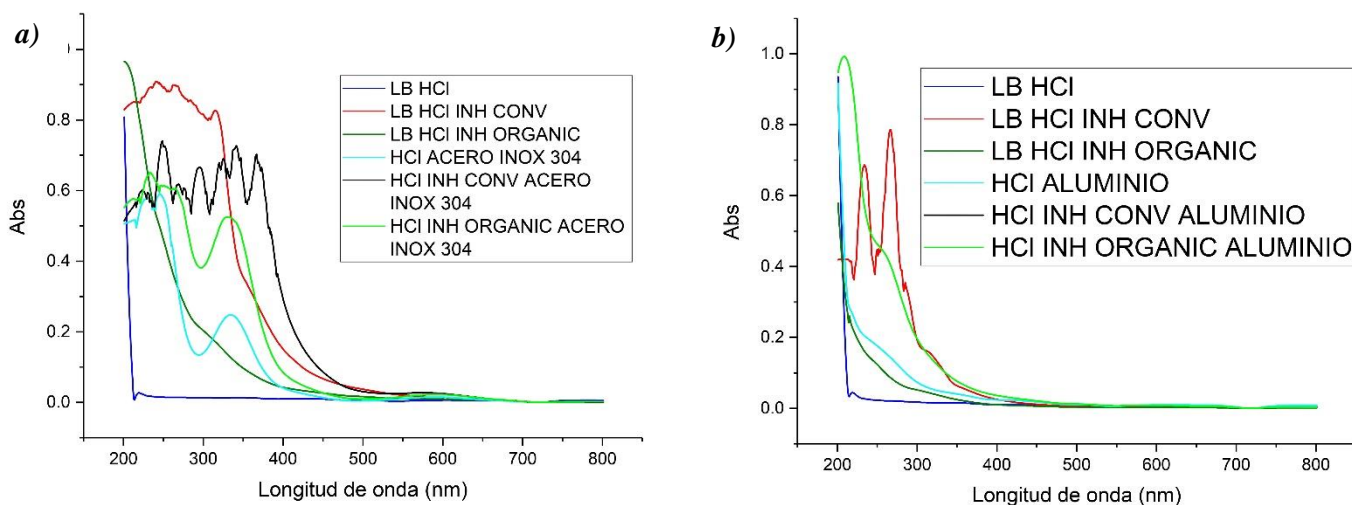


Figura 42. Espectro UV-VIS Lote 1.  
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 42 **a** y **b** se observa el efecto que ocurre en la solución al estar en contacto con los inhibidores y el metal, donde se evidencia la línea base del HCl y el efecto de absorbancia que ocurre al agregar los inhibidores y el metal, inicialmente al agregar solamente el inhibidor convencional, su absorbancia aumenta, lo cual está asociado a que en su composición tiene elementos que al reaccionar con el ácido forman compuestos con gran absorbancia. Por otro lado, el inhibidor orgánico no incrementa significativamente su

absorbancia al estar en contacto con el ácido, esto se debe a su contenido de citrulina que se caracteriza por un pico de absorción intenso en el rango de longitud de onda de 200-220 nm y disminuye notablemente de 240 a 300 nm, lo cual se puede deber a la absorción de electrones en los grupos aromáticos presentes en la molécula (Arenas y López, 2004). En ese orden de ideas se comparó al estar en contacto con los metales una vez transcurridos los 11 días de la prueba, evidenciando que el que obtuvo una mayor absorción fue el grupo que tenía agregado el inhibidor convencional, arrojando un pico más alto de absorbancia en el intervalo de 200 a 400 nm, lo que lleva a discutir la posibilidad de la presencia de grupos funcionales formados con mayor absorbancia. Finalmente observando la absorbancia del HCl se observa que es menor a las dos anteriores, esto quiere decir que los componentes formados por el HCl y el aluminio no son observables en la región UV-Vis, ya que si sufrió una mayor pérdida de masa; sin embargo, su absorbancia fue menor.

a)

b)

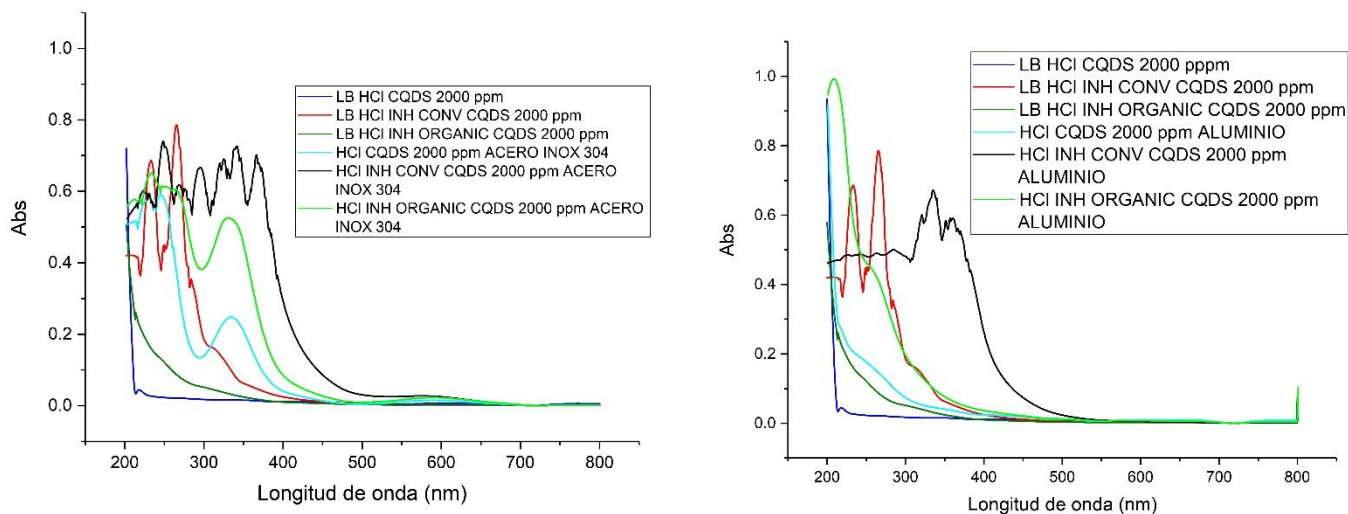


Figura 43. Espectro UV-VIS Lote 2.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 43 **a** y **b** podemos observar gráficamente los espectros de la región UV-Vis del lote 2 donde se evidencia la presencia de 200 ppm de nanopartículas CQDs y su absorbancia. Gráficamente se representa que la absorbancia disminuye con la adición de las



nanopartículas, esto se debe a su mecanismo de acción que actúa inhibiendo la corrosión, sin embargo, al mezclarse con el inhibidor orgánico disminuye mucho más la absorbancia, pero no tiene mayor relevancia. Las nanopartículas actúan de igual manera en el inhibidor orgánico y convencional, las diferencias de absorbancia se deben a que los componentes del inhibidor orgánico son absorbidos de manera más eficiente en el metal en comparación a como lo hace el inhibidor convencional, por ende, al agregar nanopartículas el efecto inhibitorio se ve potencializado.

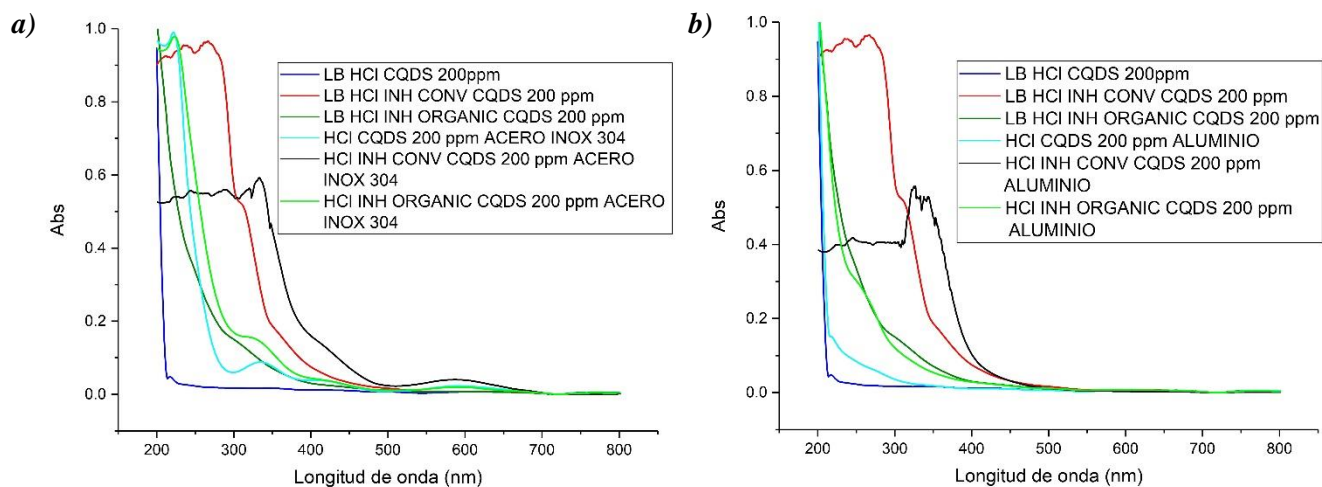



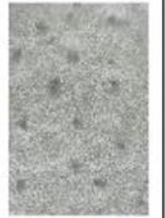

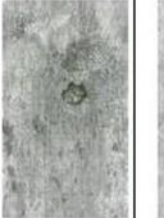

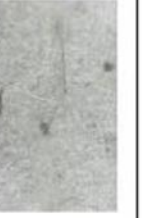

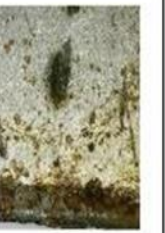

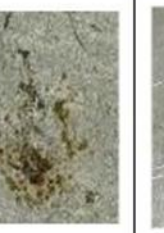


Figura 44. Espectro UV-VIS Lote 3.  
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 44 **a** y **b**. Se observa el espectro uv vis del lote 3, en el que se evaluó la adición de 200 ppm de nanopartículas (CQDs). En él se evidencia la disminución de la absorción al momento de agregar 2000 ppm de CQDs, por lo cual esta concentración de nanopartículas es la más indicada para contrarrestar la corrosión, resultando en una cota de absorción disminuida notablemente, con una longitud de onda entre 300 y 400 nm.

#### 4.6 Fotografías con microscopio digital:

A continuación, en las Tablas 8 a 10, se exponen las fotografías tomadas con ayuda del microscopio digital USB antes y después de la inmersión en la solución ácida durante 11 días. En el Anexo 4, se presentan todas las fotografías de las muestras tratadas y analizadas.

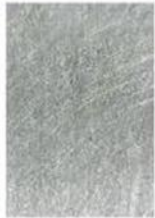











Tabla 7. Resultados fotográficos del Lote 1, antes de la prueba y después de la prueba de corrosión.

ALUMINIO					
HCL		INHIBIDOR CONVENCIONAL		INHIBIDOR ORGÁNICO	
ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS
					
ACERO INOXIDABLE 304					
HCL		INHIBIDOR CONVENCIONAL		INHIBIDOR ORGÁNICO	
ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS
					

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 8 recoge las fotografías del lote 1 del acero inoxidable 304 y el aluminio, antes y después de someterse a la prueba de corrosión donde se observa la alteración que sufrió cada lámina. Se identificó la formación de pequeños agujeros en algunas zonas de la superficie metálica, lo que indicaría corrosión por picadura.

*Tabla 8. Resultados fotográficos del Lote 2, efecto de las nanopartículas 2000 ppm.*

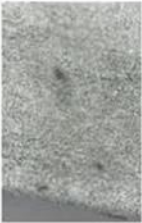







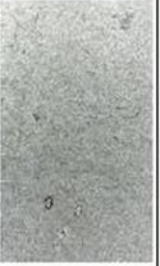



<b>ALUMINIO</b>					
<b>HCL + nanopartícula 2000 PPM</b>		<b>INHIBIDOR CONVENCIONAL</b>		<b>INHIBIDOR ORGÁNICO + nanopartícula 2000 ppm</b>	
<i>ANTES</i>	<i>DESPUÉS</i>	<i>ANTES</i>	<i>DESPUÉS</i>	<i>ANTES</i>	<i>DESPUÉS</i>
					
<b>ACERO INOXIDABLE 304</b>					
<b>HCL + nanopartícula 2000 PPM</b>		<b>INHIBIDOR CONVENCIONAL + nanopartícula 2000 PPM</b>		<b>INHIBIDOR ORGÁNICO + nanopartícula 2000 ppm</b>	
<i>ANTES</i>	<i>DESPUÉS</i>	<i>ANTES</i>	<i>DESPUÉS</i>	<i>ANTES</i>	<i>DESPUÉS</i>
					

*Fuente: Elaboración propia.*

La Tabla 9 recoge las fotografías del lote 2 del acero inoxidable 304 y el aluminio, antes y después de someterse a la prueba de corrosión, en la que se aprecia un menor deterioro

del material en las láminas cubiertas con nanopartículas (CQDs) en una concentración de 2000 ppm, lo que sugiere que la tasa de corrosión tiende a disminuir, conforme se aumenta la concentración de CQDs.

*Tabla 9. Resultados fotográficos del Lote 3, efecto nanopartículas 200 ppm.*

<b>ALUMINIO</b>					
<b>HCL + nanopartícula 200 PPM</b>		<b>INHIBIDOR CONVENCIONAL</b>		<b>INHIBIDOR ORGÁNICO + nanopartícula 200 ppm</b>	
<i>ANTES</i>	<i>DESPUÉS</i>	<i>ANTES</i>	<i>DESPUÉS</i>	<i>ANTES</i>	<i>DESPUÉS</i>
					
<b>ACERO INOXIDABLE 304</b>					
<b>HCL + Nanopartícula 200 ppm</b>		<b>INHIBIDOR CONVENCIONAL</b>		<b>INHIBIDOR ORGÁNICO + Nanopartícula 200 ppm</b>	
<i>ANTES</i>	<i>DESPUÉS</i>	<i>ANTES</i>	<i>DESPUÉS</i>	<i>ANTES</i>	<i>DESPUÉS</i>
					

*Fuente: Elaboración propia*

Finalmente, la Tabla 10 recoge las fotografías del lote 3 del acero inoxidable 304 y el aluminio, antes y después de someterse a la prueba de corrosión, en las que se observa un mayor deterioro en las láminas de acero inoxidable 304 que fueron atacadas por HCl, lo que sugiere que las CQDs no tuvieron el mejor rendimiento en comparación con las demás sustancias evaluadas, sin embargo, esto no quiere decir que no funcionen en la inhibición de la corrosión, por el contrario habría que seguir realizando estudios para identificar bajo qué condiciones se obtendría su mejor rendimiento.

El análisis de las superficies de aluminio y acero inoxidable 304 se realizó después de la exposición en soluciones de HCl 1.0 M en ausencia y presencia de inhibidor convencional CORRTREAT 7395 y Carbón Quantum Dots en concentraciones de 200 y 2000 ppm, durante 264 horas (11 días) a una temperatura ambiente.

Luego de inspeccionar todos los lotes que aparecen en las Tablas 8 a 10 se puede observar una alteración en la morfología de la superficie metálica, cuando se comparan con las láminas que no fueron expuestas a la solución ácida. En la superficie de las láminas de aluminio y acero inoxidable que estuvieron en contacto con la solución de HCl 1.0 M, se revela una rugosidad como resultado de un ataque localizado, que provocó la formación de pequeños hoyos o agujeros en la superficie del material; a esto se le conoce como corrosión por picadura o “pitting” y ocurre cuando la capa de protección natural del metal que es la que está en contacto con el medio corrosivo se daña, por lo que hay zonas más vulnerables, donde finalmente se localiza la oxidación y el posterior debilitamiento del material.

Además, se puede notar que el ataque ocurrió con una mayor intensidad en las láminas de acero inoxidable; un comportamiento inesperado que pudo deberse a una mala ejecución en el proceso de lijado, ya que por lo general el aluminio tiende a ser menos

resistente a la corrosión ácida. Adicionalmente, se redujo visiblemente en las láminas que estaban protegidas con el inhibidor orgánico obtenido del extracto de la cascara de sandía potencializado con las CQDs, lo que se traduce en la formación de una película protectora, que impidió la transferencia de masa y carga en la superficie del metal.

#### **4.7 Análisis financiero.**

En la industria petrolera es común contar con la presencia de ácidos en algunos ambientes o procesos como terminación de pozos, recuperación mejorada o estimulación; lo que ocasiona daños en los equipos y tuberías durante la operación. Por lo tanto, se hace indispensable proteger a la tubería con un inhibidor de corrosión y así evitar daños y problemas futuros del pozo.

Este análisis tiene como objetivo determinar la viabilidad del proyecto que hemos desarrollado, gracias al análisis de una serie de indicadores como son análisis de inversión (capex), análisis de costos de operación (opex), análisis de ingresos, evaluación financiera, valor presente neto (VPN) y flujos de caja. Estos criterios de evaluación nos permiten determinar si los beneficios que se obtienen de la inversión son los esperados y en base a ello definir futuras inversiones. Todo esto va a depender de la eficiencia del inhibidor en comparación con los usados convencionalmente, si en relación costo-beneficio se obtienen mejores resultados que aporten a la economía de la industria petrolera.

El escenario seleccionado para su viabilidad gracias a los resultados obtenidos en el presente trabajo fue con la concentración de 2000 ppm del inhibidor de origen orgánico a base de cascara de sandía.

La evaluación financiera se realizó por el método del Valor Presente Neto (VPN), la tasa de interés de oportunidad (TIO) fue del 17% anual con un periodo de tiempo de 30 años dividido en periodos anuales, y la unidad monetaria que se utilizó fue el dólar estadounidense (USD) (Lozada y Rivera, 2022).

#### 4.7.1 Análisis de inversión (CAPEX)

Para ejecutar el proyecto, es necesario determinar el CAPEX (capital expenditure por sus siglas en inglés) o Gastos de Capital, que se refiere a los gastos de capital o las inversiones que realiza una empresa al adquirir un activo (Vázquez, 2022).

En este caso, al no contar con información para simular su aplicación en campo, tomamos y adaptamos la información en la tesis de Lozada y Rivera (2022), quienes evaluaron la inyección de un surfactante polimérico para incrementar el factor de recobro en procesos de inyección de agua.

Según Lozada y Rivera, 2022, para el desarrollo del proyecto, es necesario instalar una fase de tratamiento del inhibidor y del agua, para lo cual se requiere de un silo de almacenamiento, una unidad de mezcla y dilución del inhibidor y de un tanque de almacenamiento. Adicionalmente también se incluyen los costos asociados a los insumos necesarios para la elaboración del inhibidor, que se muestran en la Tabla 12.

La Tabla 11 presenta los costos requeridos para el acondicionamiento de la inyección del inhibidor.

*Tabla 10. Acondicionamiento de las facilidades para la inyección del inhibidor.*

<b>EQUIPO</b>	<b>USD</b>
Silo de almacenamiento	96.000

Unidad de mezcla y de dilución de químico	165.000
Tanque de almacenamiento	75.000
<b>TOTAL</b>	<b>436.000</b>

*Fuente: Adaptado de Lozada y Rivera (2022).*

*Tabla 11. Costo de los insumos para 1 litro de inhibidor.*

Costos Insumos	Unidades	Cantidad	Valor Unidad (USD)	Cantidad Utilizada	Valor Total (USD)
Cascara de Sandía	Kg	1	0.05	0.1	0.0005
Costo de procesamiento de la cascara de sandía	Kg	1	0.50	0.1	0.05
Agua destilada	L	1	0.63	0.8	0.50
Carbon Quantum Dots (CQDs)	gr	1	1.22	0.2	0.24
<b>Costo Total</b>					<b>0.80</b>

*Fuente: Elaboración propia.*

Para determinar los costos de la Tabla 12, se identificó que la cascara de sandia, al ser un residuo agrícola abundante, disponible y muy poco utilizable, se dedica a la alimentación de animales o es eliminada a través de vertederos o incineración (García et al., 2021).

En ese orden de ideas, al no tener un precio de venta en el mercado, se propuso su costo de procesamiento en base a la metodología desarrollada en este proyecto.

El proceso de inyección del inhibidor se va a realizar en dos baches cada uno en un periodo de un año, donde el volumen poroso total a inyectar es de 1'747.747 Bbl de agua, de los cuales se procede a calcular las Lb necesarias del inhibidor que se deben agregar al volumen de agua, utilizando la Ecuación 5.

$$2000 \text{ ppm} * \frac{8.3454 * 10^{-6} \text{ lb}}{1 \text{ gal}} * \frac{42 \text{ gal}}{1 \text{ Bbl}} * 1747747 \text{ Bbl} = 1225194 \text{ lb} \quad \text{Ecuación 5}$$



Son necesarias 1'225.194 lb del inhibidor en el proyecto, por lo tanto, la Tabla 13 presenta el costo por libra del inhibidor, así como el costo total en el desarrollo del proyecto.

*Tabla 12. Costo del inhibidor.*

FLUIDO	COSTO (USD/Lb)	QUÍMICO (lb)	USD
<i>Inhibidor orgánico a base de cascara de sandía</i>	0.37	1.225.194	<b>\$453.321,81</b>

*Fuente: Adaptado de Lozada y Rivera (2022).*

Con la cantidad de inhibidor presupuestado, se procede a determinar el costo del tratamiento tanto del inhibidor, como del agua a inyectar (ver Tabla 14).

*Tabla 13. Costo de tratamiento del inhibidor orgánico y agua.*

FLUIDO	TRATAMIENTO (USD/Bbl)	VOLUMEN (Bbl)	USD
<i>Agua + inhibidor orgánico</i>	0.31	1.747.747	<b>\$ 539.529</b>

*Fuente: Adaptado de Lozada y Rivera (2022).*

Una vez calculados los costos de inversión, se presenta el CAPEX total del proyecto en dólares (ver Tabla 15).

*Tabla 14. Capex total del proyecto.*

ACONDICIONAMIENTO FACILIDADES DE INYECCIÓN	COSTO INHIBIDOR	COSTO TRATAMIENTO	TOTAL
\$ 436.000	\$453.321,81	\$ 539.529	<b>\$1,428,851</b>

*Fuente: Adaptado de Lozada y Rivera (2022).*

#### **4.7.2 Análisis de Costos de Operación (OPEX)**

Es el gasto que una compañía realiza en bienes de equipo y que resulta en beneficios que garantizan y miden su crecimiento. Esto se da gracias a la adquisición de activos fijos o bien en el aumento del valor de los que ya existen. Se trata de la caja que una organización gestiona para mantener sus activos estables y en buenas condiciones (Conexión Esan, 2018). En la industria, se reflejan en los Field Lifting Costs (en inglés, Costos Directos de Producción de Campo) y abarcan los costos de generar petróleo luego de que la perforación y terminación de los pozos está completa y hasta que se traslada al punto de venta.

Los costos de operación fueron calculados respecto a la producción simulada por año, se aplicó un lifting cost por valor de 20 USD/Bbl, que fue estimado por Lozada y Rivera, 2022., quienes realizaron una evaluación financiera para un campo en un patrón de inyección normal de 5 pozos. Los resultados se evidencian de manera gráfica en la Figura 45 y pueden revisarse a detalle en el Anexo 4.

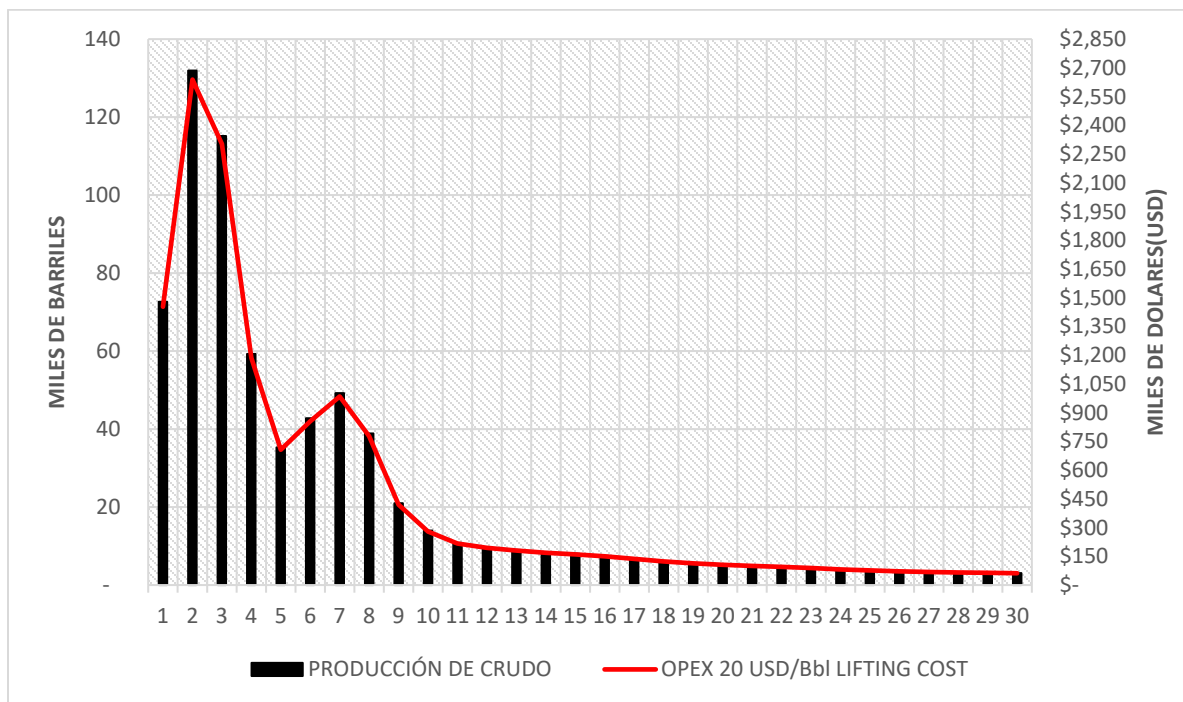


Figura 45. Costos de operación del campo con un Lifting Cost de 20 USD/Bbl.  
Fuente: Adaptado de Lozada y Rivera (2022).

Si se desea aumentar los ingresos de la compañía, es importante asegurarse de extraer la mayor cantidad posible de barriles de crudo y mantener un valor constante de los costos de operación relacionados con la extracción (lifting cost), ya que estos costos están directamente relacionados con la cantidad de barriles extraídos. En otras palabras, a medida que se extraen más barriles de crudo, los costos de operación aumentarán proporcionalmente, por lo que mantener un valor constante para estos costos puede ayudar a maximizar los ingresos.

### 4.7.3 Análisis de Ingresos

En la industria, los ingresos dependen de la producción de petróleo generada por los diferentes pozos, por lo tanto, al mantener la integridad de estos se asegura la producción. Para este caso de estudio, dicha integridad se asegura por medio de la inyección de un inhibidor de origen orgánico a base de cascara de sandía.

Los cálculos se proyectaron según la tesis de Lozada y Rivera, 2022., a treinta años teniendo en cuenta el precio del barril de crudo, regalías, producción asociada y descuentos por transporte y calidad. Para el análisis de ingresos se plantearon tres escenarios de precios del barril de crudo: 60 USD, 80 USD y 100 USD, clasificándolos en pesimista, moderado y optimista respectivamente, donde se les realiza un descuento de 6 USD/Bbl como penalidad por calidad y transporte. Es importante conocer los ingresos netos del proyecto, por ende, se debe tener en cuenta el porcentaje de regalías correspondiente. Según la ley 756 del 2002, Art. 16, el porcentaje de regalías por la explotación de hidrocarburos de propiedad nacional se puede calcular por la Tabla 16 (Lozada y Rivera, 2022).

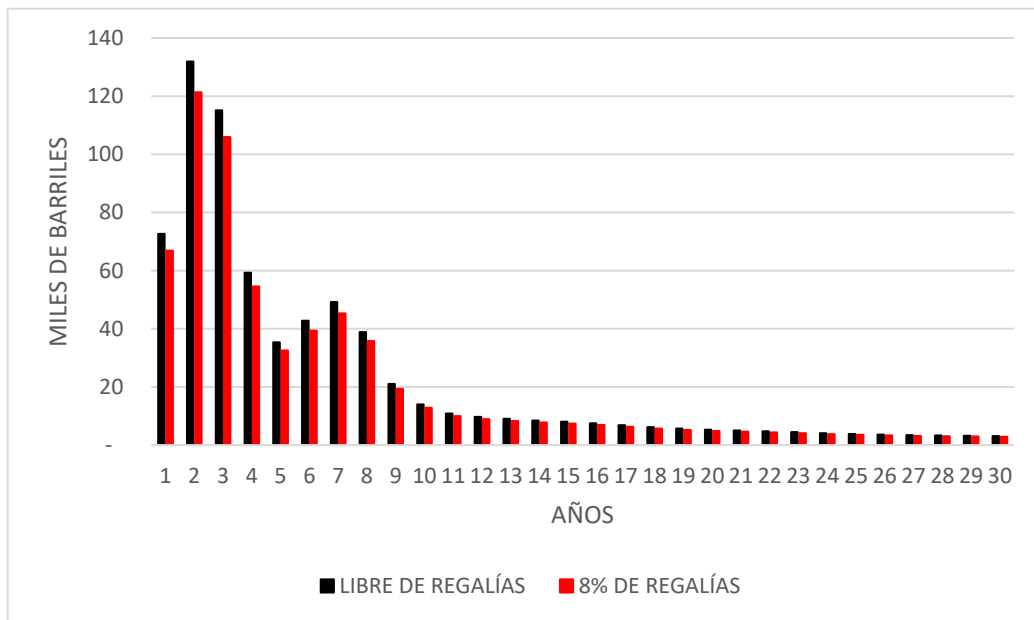
*Tabla 15. Determinación del valor de las regalías.*

Producción Diaria Promedio (Bbl/día)	Porcentaje (%)
--------------------------------------	----------------

Igual o menor 5000	8
Mayor a 125.000 o igual a 400.000	20
Mayor a 600000	25

*Fuente: Adaptado de Lozada y Rivera (2022).*

Teniendo en cuenta que la producción del campo alcanza un máximo de 400 Bbl/día, el porcentaje de regalías que corresponde pagar es del 8%, el cual debe ser restado a la producción bruta para obtener la producción neta (ver Anexo 4). Esta disminución se evidencia de manera gráfica en la Figura 46.



*Figura 46. Producción bruta y neta de crudo para el modelo conceptual.*

*Fuente: Adaptado de Lozada y Rivera (2022).*

Se puede observar que aplicar un proyecto para prevenir y tratar la corrosión mediante la inyección de un inhibidor orgánico en los sistemas de inyección de agua, no solo es una oportunidad para que las compañías operadoras generen crecimiento económico, sino que también hace que sus procesos sean más limpios y amigables con el medio ambiente. Además,

estos proyectos proporcionan importantes ingresos al país, ya que el porcentaje de regalías que el estado recibe aumenta en los primeros años de la operación. Por lo tanto, la industria petrolera y sus nuevos proyectos siguen contribuyendo al desarrollo económico del país, y no deberían ser descartados de la agenda para la transición energética prevista en los próximos años. Finalmente, después de obtener los valores netos de producción disponibles para la venta, se calculan los ingresos netos del proyecto, que varían según los diferentes escenarios propuestos previamente (ver Anexo 4).

La Figura 47 muestra de forma gráfica los diferentes escenarios de ingresos en función del precio de venta en comparación con los costos de capital y los costos de operación.

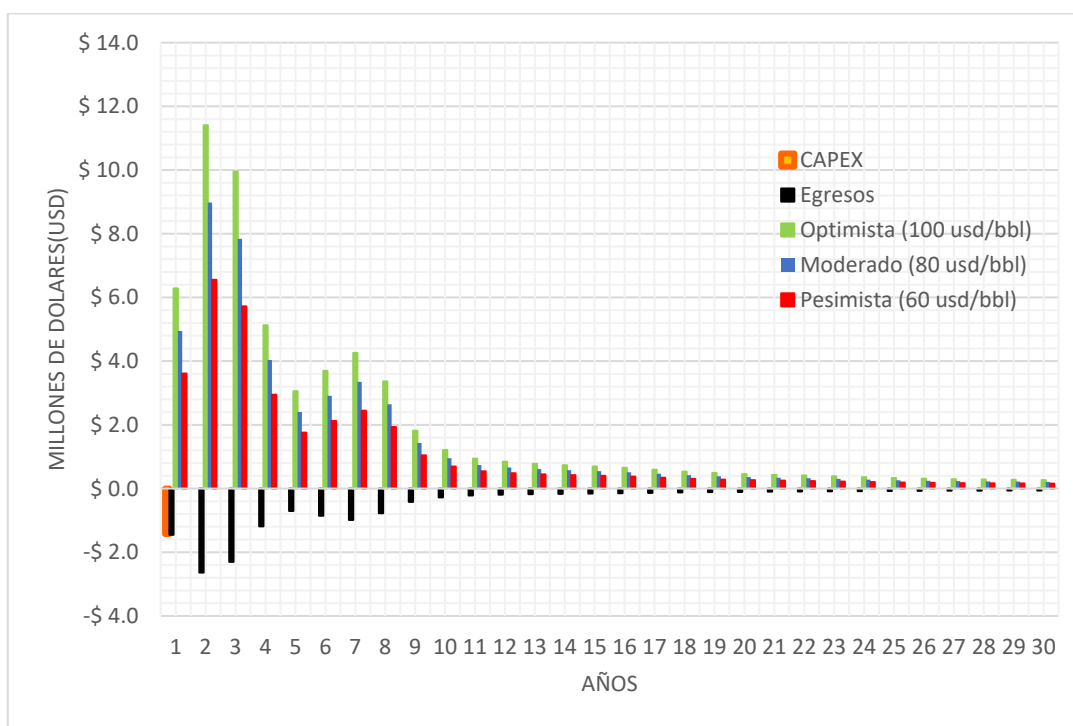


Figura 47. Ingresos vs Egresos para el modelo conceptual según los diferentes escenarios de precio de venta.

Fuente: Adaptado de Lozada y Rivera (2022).

Según lo representado en la Figura 47, en un escenario pesimista en el que se utiliza la inyección de un inhibidor orgánico como método de prevención y tratamiento de la

corrosión, los ingresos no son suficientes para cubrir los costos, lo que genera pérdidas netas. Estas pérdidas varían en función del tiempo de recuperación del capital y los costos operativos de cada período en los diferentes escenarios planteados.

#### **4.7.4 Evaluación Financiera**

Para tomar una decisión respecto la visión financiera sobre la implementación o no del proyecto, se realizó el cálculo del Valor Presente Neto (VPN).

#### **4.7.5 Valor Presente Neto (VPN)**

El Valor Presente Neto (VPN) es un método ampliamente utilizado para evaluar proyectos de inversión a largo plazo, que tiene como objetivo fundamental maximizar la inversión (Mete, 2014). Básicamente, este método permite determinar si una inversión es rentable o no. Si el resultado del VPN es positivo, esto significa que el proyecto generará un incremento en el valor de la empresa igual al valor del VPN. Por otro lado, si el resultado del VPN es negativo, esto indica que el proyecto resultará en pérdidas iguales al valor del VPN. Si el resultado del VPN es cero, esto implica que la empresa no se verá afectada financieramente al ejecutar o no el proyecto. En resumen, el VPN es una herramienta útil para evaluar la rentabilidad de un proyecto de inversión y determinar si es beneficioso para la empresa.

Según (Mete, 2014), para calcular el valor presente neto hay que visualizar todos los flujos de caja hasta el momento actual y descontarles el tipo de interés determinado. De esta forma, cada entrada y salida de efectivo se restará del valor actual y se sumará, tal como lo establece la ecuación 6, donde  $n$  representa el número de periodos, y la tasa de descuento equivale a la tasa de interés mínima que el inversor está dispuesto a ganar para invertir en un

proyecto. Para el caso en estudio se estableció una tasa de interés de oportunidad (TIO) del 17% (Hilarión & Montiel, 2018).

$$VPN = \sum \frac{\text{flujo de efectivo neto durante un solo periodo}}{(1+\text{Tasa de descuento})^n} - \text{Inversion inicial} \quad \text{Ecuación 6}$$

#### 4.7.6 Flujos de Caja

Los informes presentan los resultados de los tres escenarios planteados en el Anexo 4, donde se observan los ingresos y egresos netos del proyecto para un período determinado. La Figura 48, que representa el escenario moderado con un precio de venta de 80 USD por barril, permite comparar los ingresos generados por el proyecto operado por inyección de agua con los resultados obtenidos mediante la inyección de inhibidor orgánico a través de períodos de 5 años. Es interesante destacar que la diferencia en los ingresos puede explicarse por la reducción del Sor, que permitió extraer una mayor cantidad de crudo y, por lo tanto, aumentar la venta de petróleo. A partir del tercer período, los ingresos generados por la inyección de agua superan ligeramente a los obtenidos por la inyección de inhibidor orgánico, pero esto se debe a que la extracción de crudo se completó mucho más rápido con la inyección de inhibidor orgánico, mientras que obtener los mismos ingresos solo con la inyección de agua requeriría duplicar la duración del proyecto.

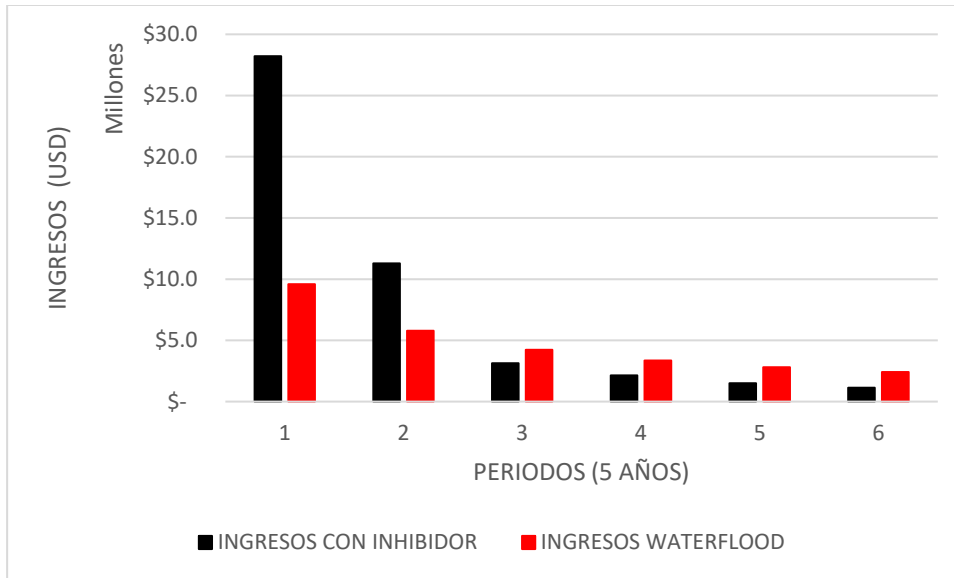


Figura 48. Ingresos por inyección de agua vs inyección de inhibidor con un precio de venta moderado de 80 USD/Bbl.  
Fuente: Adaptado de Lozada y Rivera (2022).

Una vez obtenidas las ganancias, se procede a calcular el valor presente neto con la Ecuación 6 para cada escenario de venta. Los resultados se presentan en la Tabla 17.

Tabla 16. Valor presente neto para los diferentes escenarios.

ESCENARIO	VPN (USD)
Pesimista (60 USD/Bbl)	\$ 10.671.557,54
Moderado (80 USD/Bbl)	\$ 20.558.159,07
Optimista (100 USD/Bbl)	\$ 30.444.760,59

Fuente: Adaptado de Lozada y Rivera (2022).

En conclusión, los resultados obtenidos indican que el proyecto es viable económicamente a partir de un escenario moderado de 80 USD/Bbl, ya que se logró aumentar el valor de la empresa. Es importante destacar que este tipo de proyecto genera la mayoría de los ingresos en su primera etapa, por lo que es fundamental elegir adecuadamente el momento de la venta y planificar la inversión de manera efectiva para lograr el mayor rendimiento financiero posible.



## Conclusiones y recomendaciones

- El inhibidor propuesto a base de cascara de sandia demostró su eficiencia en la protección de los metales contra la corrosión, Adicionalmente, se logró evidenciar su compatibilidad con las CQDs, ya que al añadirlas en su composición su efecto se vio mejorado.
- La citrulina como principio activo del inhibidor orgánico, obtuvo buenos resultados debido a la compatibilidad con las nano partículas CQDs ya que al ser orgánicas contienen una gama alta de grupos funcionales orgánicos entre los que se destacan los oxigenados y nitrogenados. Su mecanismo de acción es crear una película que aísla la superficie del metal.
- La aplicación de un inhibidor requiere evaluar e identificar los impactos ambientales y de seguridad asociadas con su uso. Algunos inhibidores pueden contener compuestos tóxicos y tener impactos ambientales negativos. Se deben seguir las pautas y regulaciones apropiadas para minimizar cualquier impacto adverso y garantizar un manejo seguro de los inhibidores.
- La nanopartícula CQDs tienen un efecto inhibitorio leve a la corrosión sobre el metal sin la adición del inhibidor.
- El extracto de sandia tubo una alta eficiencia, se puede reconocer el potencial que los extractos de origen orgánico tienen en comparación con los inhibidores utilizados convencionalmente, sin afectar la seguridad alimenticia que otros productos pueden tener

en el país. Además, es un inhibidor amigable con el ambiente y que se puede obtener a bajo costo gracias al aprovechamiento de un residuo al que no se le brinda un uso adecuado. En cuanto a su viabilidad económica se logró determinar que su elaboración no representaría costos elevados, al tratarse del aprovechamiento de un residuo, sin embargo, su desarrollo a gran escala va a depender de los estudios que se realicen a futuro, en los que se evalué su comportamiento bajo diferentes condiciones de temperatura, presión, etc. Que permitan tener un acercamiento más cercano a las condiciones que se presentan en un yacimiento.

- Se logró identificar metodologías de inhibición y mitigación de la corrosión ácida en metales característicos de la industria del petróleo como los son el acero inoxidable y aluminio; existe una gran variedad de inhibidores, que se clasifican según su acción polarizante, composición química, mecanismo de acción, etc. La selección del tipo de inhibidor depende de múltiples factores, como el tipo de metal, la concentración, el medio ácido y las condiciones ambientales específicas; para ello es importante evaluar la efectividad y compatibilidad de los inhibidores con el metal y el entorno antes de su implementación a gran escala, mediante pruebas específicas.
- En segunda medida, se realizaron pruebas de laboratorio, en las que se evaluó el rendimiento del inhibidor convencional usado en la industria petrolera, logrando demostrar su eficiencia en la protección de los metales contra la corrosión. Adicionalmente, se logró evidenciar su compatibilidad con las CQDs, ya que al añadirlas en su composición su efecto se vio mejorado.

- Al utilizar un inhibidor es necesario y sumamente importante identificar y aplicar las consideraciones medioambientales y de seguridad asociadas con su uso. Algunos inhibidores pueden contener compuestos tóxicos y tener impactos ambientales negativos. Se deben seguir las pautas y regulaciones apropiadas para minimizar cualquier impacto adverso y garantizar un manejo seguro de los inhibidores.
- Debido a la alta eficiencia obtenida con el extracto de cascara de sandia, se puede reconocer el potencial que los extractos de origen orgánico tienen en comparación con los inhibidores utilizados convencionalmente, sin afectar la seguridad alimenticia que otros productos pueden tener en el país. Además, es un inhibidor amigable con el ambiente y que se puede obtener a bajo costo gracias al aprovechamiento de un residuo al que no se le brinda un uso adecuado.
- En cuanto a su viabilidad económica se logró determinar que su elaboración no representaría costos elevados, al tratarse del aprovechamiento de un residuo, sin embargo, su desarrollo a gran escala va a depender de los estudios que se realicen a futuro, en los que se evalúe su comportamiento bajo diferentes condiciones de temperatura, presión, etc. Que permitan tener un acercamiento más cercano a las condiciones que se presentan en un yacimiento.

- El análisis del estudio de pérdida de masa permitió establecer que el extracto de la cáscara de sandía actúa con mayor eficiencia en el acero inoxidable 304 que, en el aluminio, obteniendo un porcentaje de inhibición de hasta el 98.8%, gracias a una mayor interacción del acero inoxidable con los principios activos de la citrulina.
- Se puede concluir experimentalmente que el inhibidor de extracto de cáscara de sandía proporciona una protección anódica contra la corrosión, mediante una película pasiva que aísla el metal del medio.
- En general las eficiencias de inhibición aumentaron con la concentración de nanopartículas Carbón Quantum Dots en el medio corrosivo. Este comportamiento se atribuye al aumento de la superficie recubierta, debido al incremento del número de moléculas de extracto absorbidas en la superficie metálica.
- Se logró demostrar que el inhibidor de origen orgánico tiene un mejor rendimiento en la inhibición de la corrosión, sin embargo, se recomienda continuar con su evaluación bajo diferentes condiciones, que permitan demostrar si este es mejor que el inhibidor convencional CORRTEAT 7395, que ha sido probado durante mucho tiempo en diversos ambientes, arrojando buenos resultados.
- Es necesario hacer un análisis más a fondo sobre la composición química del inhibidor a base de cascara de sandia, con el fin de identificar con más claridad su mecanismo de acción. Adicionalmente se recomienda evaluar su comportamiento bajo diferentes condiciones de temperatura para establecer en qué condiciones es más eficaz.

- Luego de los resultados obtenidos con la aplicación de las CQDs, se recomienda seguir en su estudio, con el fin de evaluar su estabilidad y compatibilidad en otros metales o sustancias; que permitan proponer nuevas alternativas contra la corrosión.

### **Referencias bibliográficas**

Alonso, B., y Casado, C. (2016). Dendrímeros: macromoléculas versátiles con interés interdisciplinar. Universidad Autónoma de Madrid, España.  
[https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/677729/EM\\_54\\_3.pdf?sequence=1](https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/677729/EM_54_3.pdf?sequence=1)

Andarcia, O., y Molina, Z. (2013). Estudio de los aceros empleados para el transporte de gas por tuberías. Universidad de Oriente Núcleo Monagas.  
[https://www.usfx.bo/nueva/vicerrectorado/citas/TECNOLOGICAS\\_20/Ingenieria%20de%20Petroleo%20y%20Gas/71.pdf](https://www.usfx.bo/nueva/vicerrectorado/citas/TECNOLOGICAS_20/Ingenieria%20de%20Petroleo%20y%20Gas/71.pdf)

Alter, L., Mestres, F., y Laco, J. (2004). Corrosión y protección. Univ. Politèc. de Catalunya. Spain.

Alvarado, J. (2006). Selección Electroquímica de Compuestos Orgánicos como Inhibidores de Corrosión en Medio Ácido. Instituto de ciencias básicas de ingeniería. pág. 19

Álvarez, E. (2016). Adsorción y control de la corrosión con el uso de líquidos iónicos en acero api 5l x60 en solución de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Universidad autónoma de Puebla. México. pág. 15 y 16

Amarine. (2020). What is pitting mechanism and prevention. Amarine Blog. <https://amarineblog.com/2020/11/02/what-is-pitting-mechanism-and-prevention>

Arenas, I., y López, J. L. (2004). Espectrofotometría de absorción. Universidad Nacional Autónoma de México. <https://www.studocu.com/latam/document/universidad-de-carabobo/bioquimica/espectrometria-de-absorcion/7415719>

Asrar, N., MacKay, B., Birketveit, Ø., Jackson, J. E., Jenkins, A., Melot, D., Scheie, J., y Vittonato, J. (2016). La corrosión: La lucha más extensa. Oilfield Review, 16.

Aplica Inox. (2023). Acero inoxidable en la industria del petróleo. Instituto Mexicano del Inoxidable (IMINOX). <http://iminox.org.mx/aplicainox/industria-petroleo/#inoxidables-austeniticos>

Auffan M., Rose J., Bottero, J., Lowry, G., Jolivet, J., Wiesner, M. (2009). Towards a definition of inorganic nanoparticles from an environmental, health and safety perspective. Nat Nanotechnol. [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_nlinks&ref=165126&pid=S1851-3743201300020000500003&lng=es](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=165126&pid=S1851-3743201300020000500003&lng=es)

Bedoya, J. A. P. (2017). El Aguacate como Inhibidor Natural de Corrosión.

- Berdimurodov, E. Verma, D., Kholikov, A., Akbarov, K., & Guo, L. (2022). The recent development of carbon dots as powerful Green Corrosion Inhibitors: A Prospective Review. *Journal of Molecular Liquids*.  
<https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.118124>
- Bonnet. (2007). Clasificación de los aceros inoxidable. Bonnet suministros y maquinarias. <https://www.bonnet.es/clasificacionacerinox.pdf>
- Castro, J., Gomez, L., Camargo, E., (2023). La Investigación aplicada y el desarrollo experimental en el fortalecimiento de las competencias de la sociedad en el siglo XXI. *Revista digital Tecnura volumen 27. Número 75. ISSN 0123-921X*
- Carreño Gallardo, C., Estrada Guel, I., Neri, M. A., Romero Romo, M., López Meléndez, C., & Martínez Sánchez, R. (2010). Reforzamiento de la aleación de aluminio 2024 mediante la dispersión de nanopartículas de plata (pp. 1–8). Viña del mar, Chile: 2 al 5 de noviembre.
- Calabrian. (2015). Hoja de datos de seguridad solución de sulfito de sodio.
- Chacón, V. L. G. (2016). Eficiencia de un inhibidor verde extraído de cáscara de manzana mediante el sistema soxhlet en la corrosión del acero 1018 en medio ácido. Centro de investigación en materiales avanzados.  
<https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/463/1/Tesis%20Virginia%20Lidia%20G%C3%B3mez%20Chac%C3%B3n.pdf>
- Chamorro, G. (2016). Uso del aceite de semilla de chía como inhibidor de la corrosión verde. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. México.

- Chilingar, G., Mourhatch, R., y Al-Qahtani, A. (2008). The Fundamentals of Corrosion and Scaling for Petroleum & Environmental Engineers. Elsevier Science. <http://www.totalboox.com/book/id-3143670633624999612>
- Cigales, J. (2016). síntesis y caracterización de nanopartículas de carbono luminiscentes: Carbón Quantum Dots (CQDs). Universidad de Oviedo.
- Conexión Esan. (2018). Capex: su importancia para las proyecciones financieras. <https://www.esan.edu.pe/conexion-esan/capex-su-importancia-para-las-proyecciones-financieras>.
- Cristancho, D. R. S. (2019). En el departamento de Santander, Colombia.
- Dammak, M., Salem, Y., Belaid, A., Mansour, H., Hammami, S., Le Cerf, D., y Majdoub, H. (2019). Partial characterization and antitumor activity of a polysaccharide isolated from watermelon rinds. International Journal of Biological Macromolecules, 136, 632-641. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.06.110>
- Delgado Linares, J., Bullón, J. y Salager, J. (2015). Aplicaciones de las micro y nanotecnologías en la exploración y producción de petróleo y gas, in nanopartículas: fundamentos y aplicaciones. 1st edn. Mérida, Venezuela: Cristóbal Lárez Velásquez, Floralba López González, Sonia Koteich Kathib.
- Díaz, G., Chavarín, J., y Cisneros, G. (2019). Curcuma longa como inhibidor verde de la corrosión del acero en solución salina. ciemat.



- Díaz, N., Ruíz, J., Reyes, F., Cejudo, G., Novo, J., Peinado, P., Meléndez, F., Fiñana, I. (2006). Espectrofotetría: Espectros de absorción y cuantificación colorimétrica de biomoléculas. Universidad de Córdoba. Argentina.
- Domínguez, L. (2020). Actividad biológica in vitro de la cáscara de aguacate criollo (persea americana var. drymifolia) y su efecto en la cognición en ratón app/ps1 mediante pruebas conductuales. tesis de maestría. Universidad Veracruzana. México.
- Durán R., Villegas, M., Nieves, I. (2017). Caracterización y extracción de citrulina de la corteza de la sandía (Citrullus lanatus “thunb”) consumida en Valledupar. Cesar. <https://revistas.unicordoba.edu.co/index.php/temasagrarios/article/view/916/1393#:~:text=La%20sand%C3%ADa%20est%C3%A1%20compuesta%20por,para%20el%20desarrollo%20de%20algunas.>
- Esva Solutions. (2020). Inhibidores de corrosión en fase de vapor vpCl en la industria electrónica. <https://esvasolutions.com/inhibidores-de-corrosion-en-fase-de-vapor-vpci-en-la-industria-electronica/>
- Finšgar, M., y Jackson, J. (2014). Application of corrosion inhibitors for steels in acidic media for the oil and gas industry. A review. Corrosion Science, 86, 17-41. [https://doi.org/10.1016/j.corsci.2014.04.044.](https://doi.org/10.1016/j.corsci.2014.04.044)
- Franco, C. A., Candela, C. H., Gallego, J., Marin, J., Patiño, E., Molano, M., Villamil, F., Bernal, K. M., Lopera, S. H., Franco, C. A., Cortés, F. B. (2020). Easy and Rapid Synthesis of Carbon Quantum Dots from Mortiño (Vaccinium Meridionale

Swartz) Extract for Use as Green Tracers in the Oil and Gas Industry: Lab-to-Field Trial Development in Colombia. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.0c01194>.

García, D., Zegarra, R., Cordova, J., Pilco, S., Jave, J., Ruiz, A. (2021). Caracterización morfológica por microscopía electrónica de barrido de nanocelulosas de cáscara de sandía (*Citrullus lanatus*). *Escuela de Ingeniería Agroindustrial*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8085145>

Gómez, D. (2021). Aplicación de un análisis de brechas para la implementación de un sistema de gestión de corrosión en una planta de hidrocarburos. 62.

González, J. (2016). Factores que propician la corrosión. *Universidad tecnología de Jalisco*. [https://miutj2.files.wordpress.com/2016/01/exp2\\_profesor\\_1-2\\_factores-de-corrosion.pdf](https://miutj2.files.wordpress.com/2016/01/exp2_profesor_1-2_factores-de-corrosion.pdf)

González R., (2011, junio 8). Ecopetrol afronta derrames con 600 millones de dólares. *Portafolio.co*. <https://www.portafolio.co/negocios/empresas/ecopetrol-afronta-derrames-600-millones-dolares-150848>

Guarín, L. (2020). impactos ambientales de la producción petrolera en Colombia y su relación con la innovación tecnológica en los últimos quince años.

Guzmán, N. (2018). Evaluación de Inhibidores de la Corrosión Derivados del Bagazo de Café para el Acero X-70 en Salmuera con CO<sub>2</sub>. *Universidad Nacional Autónoma Del Estado De Morelos*.

- Hilarión, L., y Montiel, J. (2019). Evaluación de un modelo analítico para la inyección de polímeros como método de recobro mejorado en un área piloto del campo castilla. Universidad de América. Bogotá.
- Instituto Asteco. (2021). Cavitación: uno de los fenómenos de desgaste. <https://institutoasteco.com/asteco/cavitacion-uno-de-los-fenomenos-de-desgaste/>
- Jain, K. (1990). Machine Desing. Editorial Khana. India
- Juarez, B. (2011). Nanopartículas semiconductoras coloidales y aplicaciones. Anales de química.
- Johnson, J.B., Ohri, B., Walsh, K.B., Naiker, M. (2022). A Simple Isocratic HPLC–UV Method for the Simultaneous Determination of Citrulline and Arginine in Australian Cucurbits and Other Fruits. Springer Link. <https://doi.org/10.1007/s12161-021-02110-4>
- Sulaiman, K. O., Abdulmujeeb T. O., Faye, O., Damola T. S. (2019). Understanding the corrosion inhibition of mild steel by selected green compounds using chemical quantum based assessments and molecular dynamics simulations. Journal of Molecular Liquids. Volume 279. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167732218345288?via%3Dihub>
- Kermani, M., y Harrop, D. (1996). The Impact of Corrosion on the Oil and Gas Industry. SPE Production & Facilities. <https://doi.org/10.2118/29784-PA>

- Klipartz. (2023). Fruta de sandía, sandía pintada grande, rebanada de ilustración de sandía, comida, melón, calabaza png Descarga gratis. <https://www.klipartz.com/es/sticker-png-tawjb/download>
- Koch, G., Varney, J., Thompson, N., Moghissi, O., Gould, M., y Player, J. (2016). NACE INTERNATIONAL IMPACT International Measures of Prevention, Application, and Economics of Corrosion Technologies Study (p. 216).
- Line – X. (2018). Qué es la corrosión galvánica y cómo prevenirla. Line – X Protective Coatings. <https://www.linex.mx/que-es-la-corrosion-galvanica-como-prevenirla/>
- Lozada, N., Rivera, D. (2022). Evaluación de un surfactante polimérico para incrementar el factor de recobro en procesos de inyección de agua mediante simulación numérica. Universidad Surcolombiana.
- Martínez. (2018). Abatimiento del potencial electroquímico de corrosión de acero inoxidable austenítico bajo condiciones de reactor bwr aplicando depósitos de ZrO<sub>2</sub> y de nanopartículas de plata. Universidad Autónoma del Estado de México. <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/95221/tesis%20isidoro.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Marty J, Oppenheimer R, Speiser P. (1978) Nanoparticles a new colloidal drug delivery system. Pharm Acta Helv [https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_nlinks&ref=343651&pid=S1137-6627200800010000100003&lng=es](https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=343651&pid=S1137-6627200800010000100003&lng=es)

- Mateo, Diego; Morales, Paloma; Ávalos, Alicia; Haza, Ana I. (2013). Nanopartículas de oro: aplicaciones y citotoxicidad in vitro. Universidad Complutense de Madrid. España. [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1851-37432013000200005](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-37432013000200005)
- Malán, C., (2020). Efecto de la fertilización orgánica, como sustituto parcial de la fertilización sintética, en el cultivo de sandía (*Citrullus lanatus* t.), Simón Bolívar - GUAYAS. Universidad Agraria del Ecuador.
- Mehdipour, M., Ramezanzadeh, B., y Arman, S. (2015). Electrochemical noise investigation of Aloe plant extract as green inhibitor on the corrosion of stainless steel in 1 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2014.02.041>
- Meru, G., y McGregor, C. (2014). Quantitative Trait Loci and Candidate Genes Associated with Fatty Acid Content of Watermelon Seed. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. <https://doi.org/10.21273/JASHS.139.4.433>
- Merus. (2022). Corrosión inducida microbiológicamente-CIM. Merus GmbH. [https://www.merus.es/cim\\_corrosion-inducida-microbiologicamente/](https://www.merus.es/cim_corrosion-inducida-microbiologicamente/)
- Mete, M. (2014). Valor actual neto y tasa de retorno: su utilidad como herramientas para el análisis y evaluación de proyectos de inversión. Universidad de La Salle. Bolivia.

- Nahlé, A., Abu-Abdoun, I., Abdel-Rahman, I., y Al-Khayat, M. (2010). UAE Neem Extract as a Corrosion Inhibitor for Carbon Steel in HCl Solution. *International Journal of Corrosion*. <https://doi.org/10.1155/2010/460154>
- Nava, M. Á. H. (2019). *Corrosión en tuberías de revestimiento*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- NSTC (2000) *National Nanotechnology Initiative: Leading to the Next Industrial Revolution" A Report by the Interagency Working Group on Nanoscience, Engineering and Technology Committee on Technology*. National Science and Technology Council, Washington, DC.
- Ngô, C., y Van de Voorde, M. (2014). *Nanotechnology in a Nutshell*. <https://doi.org/10.2991/978-94-6239-012-6>
- Octal. (2022). *Tubería de acero inoxidable 304 y 316*. Proveedor Responsable de Productos de Petróleo y Gas. <https://www.octalacero.com/tuberia-de-acero-inoxidable-304-316>
- Odewunmi, N.A., Umoren, S. A., Gasem, Z.M. (2015). Utilization of watermelon rind extract as a green corrosion inhibitor for mild steel in acidic media. *Journal of industrial and engineering chemistry*. Volume 21. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1226086X14001154?via%3Dihub>.
- Odewunmi, N.A., Umoren, S. A., Gasem, Z.M. (2015). Watermelon waste products as green corrosion inhibitors for mild steel in HCl solution, *Journal of Environmental*

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213343714002292?via%3Dihub>

Palacios, F., y Vega, J. (2004). Análisis de los efectos de la corrosión en los aceros inoxidables. Universidad tecnológica de Bolívar. Cartagena de Indias.

Paredes, D. (2022). Corrosión por picadura o “pitting”. NCH LATAM.  
<https://www.la.nch.com/corrosioacuten-por-picadura-o-ldquotpittingrdquo>

Pereira, D. (2017). Sistemas de nanopartículas híbridas para veiculação de DNA. Universidad de Lisboa.

Petroblogger. (2015). Inhibidores en la Industria petrolera. Petroblogger.com.  
<http://www.ingenieriadepetroleo.com/inhibidores-en-la-industria-petrolera/>

Priharti, S. T., Nizar, U. K., Sundari, R., Etika, S. B., Oktavia, B., Putra, A., Anggraini, R. (2021). Watermelon peel extract as green corrosion inhibitor for st-37 carbon Steel in seawater. Universidad Mercu Buana. Jakarta. Indonesia.  
<https://publikasi.mercubuana.ac.id/index.php/jjimeam>

Pino, F. (2006). Curso de gasotecnia, unidad IV. Universidad de Oriente Núcleo de Monagas.

Planes. (2018). Inox 304 vs Inox 316: las diferencias entre los dos tipos de acero.  
<https://ferrosplanes.com/inox-304-vs-inox-316-diferencias/>

- Pombo, B., y Goyanes, V. (2011) puntos cuánticos: nueva aportación de la nanotecnología en investigación y medicina. *Revista complutense de ciencias veterinarias*.
- Ramirez, L., Xiques, J. (2007). Evaluación del desempeño de un nuevo inhibidor de corrosión en líneas de flujo multifásico en los campos petroleros de Colombia. Universidad Industrial de Santander, Colombia.
- Rodríguez, J., Rodríguez, E., Suárez, L., Velasco, K., Ramos, C., y Malagón, E. (2020). Eficiencia de un inhibidor verde extraído de la cáscara de la sandía en la corrosión del acero estructural A36 evaluado en medios ácido y salino. *Revista ION*, 33(1), Art. 1. <https://doi.org/10.18273/revion.v33n1-2020003>
- Sacome. (2017). ¿Cómo evitar la corrosión intergranular?. <https://www.sacome.com/evitar-corrosion-intergranular/>
- Saha, S.K., Dutta, A., Ghosh, P., Sukul, D., Banerjee, P. (2016). Novel Schiff-base molecules as efficient corrosion inhibitors for mild steel surface in 1 M HCl medium: experimental and theoretical approach, *Phys. Chem. Chem. Phys.* <https://doi.org/10.1039/C6CP01993E>
- Sanginés, L. (2008). Aguacates en alimentación humana y animal. una reseña corta.
- Sastri, V. (2011). *Green corrosion inhibitors: Theory and practice*. Wiley.
- Silva, P. B., Pozzi, G., Ares, A. E., & Mendez, C. M. (2021). yerba mate como inhibidor en la corrosión de aluminio y zinc. Universidad Nacional de la Plata, Argentina.



- Smith, C. (1966). Archeological evidence for selection in avocado. *Economic Botany*.  
<https://doi.org/10.1007/BF02904012>
- Solano, D., y Coello, M. (2019). Elaboración y Análisis proximal de la harina de sandía en 2 variedades diferentes (*Citrullus lanatus*, Charleston Gray y Crimson Sweet). Universidad De Guayaquil. Ecuador.  
<http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/45437/1/BCIEQ-T-0467%20Solano%20Gonz%c3%a1lez%20Diego%20David%3b%20Coello%20Mor%c3%a1n%20Josu%c3%a9%20David.pdf>
- Structural Integrity. (2023). Stress Corrosion Cracking. Structural Integrity Associates, Inc. <https://si-materialslab.com/product/stress-corrosion-cracking/>
- Teles, M. (2019). La exposición a las nanopartículas de oro modula la expresión de genes inmunes innatos y antioxidantes en la Dorada. Universidad Autónoma de Barcelona
- Teknika4. (2023). Aluminio aeronáutico. <https://www.teknika4.com/es/aluminio-aeronautico>
- Torres, D. y Seijo, B. (2010). Nanosistemas lipídicos. Universidad de Santiago de Compostela. <https://core.ac.uk/download/pdf/230316735.pdf>
- Vargas, E. (2020). Efecto de la corrosión por CO<sub>2</sub> en tuberías de transporte de crudo de un campo petrolero colombiano. Universidad pedagógica y tecnológica de Colombia. <https://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0026156.pdf>

Vázquez, M. (2018). La corrosión. El peor de los villanos cuando dominan los metales (1a edición). Editorial de la Universidad Nacional de Mar del Plata. Argentina.

Vázquez, M. (2022). Capex y Opex: ¿cuál estrategia te conviene en TI?. Cluster Industrial.  
<https://www.clusterindustrial.com.mx/noticia/5407/capex-y-opex-cual-estrategia-te-conviene-en-ti#:~:text=CapEx%20o%20Capital%20Expenditure%20se,empresa%20al%20adquirir%20un%20activo.&text=OpEx%20conocido%20como%20Operational%20Expenditure,o%20negocio%20en%20s%C3%AD%2C%20funcionen.>

Van Dalen, D. B. (2006). La investigación descriptiva. Manual de técnica de la investigación educativa. Obtenido de [https://metodologiainter.weebly.com/uploads/1/9/2/6/19268119/la\\_investigacin\\_descriptiva.pdf](https://metodologiainter.weebly.com/uploads/1/9/2/6/19268119/la_investigacin_descriptiva.pdf)

Velilla, E., Villada, F., y Echeverría, F. (2009). Modelos de pérdida de masa de acero por corrosión atmosférica en Colombia usando inteligencia computacional. 9.

Vergara, L., (2020). Estudio Monográfico Sobre El Uso Y Aplicaciones Del Aceite Y La Semilla De Sandía (Citrullus Lanatus). Universidad De Córdoba. Argentina.

Vergara, K., Morales, C., Castro, O., Pizarro, P., y Díaz, J. (2018). Obtención de extractos de hojas de *annona muricata* L. (Guanábana) inducidos por su efecto inhibidor de la corrosión. Revista de la sociedad química del Perú, 84(1), 14.  
<https://doi.org/10.37761/rsqp.v84i1.173>

Williams, L. (1977). The avocados, a Synopsis of the genus *Persea*, subg. *Persea*. Economic Botany. <https://doi.org/10.1007/BF02866883>

Zea, C. (2018). Recubrimientos anticorrosivos inteligentes y medioambientales aceptables basados en nanopartículas de sílice. Universidad Complutense de Madrid.

## Anexos

### Anexo 1. Tablas prueba de pérdida de masa.

Tabla 17. Resultados pérdida de masa de acero inoxidable 304.

<b>ACERO INOXIDABLE 304</b>						
<b>LOTE.</b>	<b>SUSTANCIA DE INMERSIÓN</b>	<b>NÚMERO DE LAMINA</b>	<b>MASA INICIAL</b>	<b>MASA FINAL</b>	<b>% DE PERDIDA DE MASA</b>	<b>PROMEDIO DE % DE PERDIDA DE MASA</b>
<b>Lote 1. inmersión HCl</b>	<b>HCl</b>	44	6.0049	5.6061	6.64	6.83
		34	5.6087	5.2152	7.02	
	<b>Inh. Conv</b>	45	5.7281	5.6571	1.24	1.13
		38	5.9387	5.8786	1.01	
	<b>Inh. Orgánico</b>	36	6.1608	6.1285	0.52	0.52
		39	6.4958	6.4623	0.52	
<b>lote 2. inmersión en HCl 1.0 M +200 PPM CQDs</b>	<b>HCl</b>	20	6.0677	5.9331	2.22	2.29
		21	5.7352	5.6001	2.36	
	<b>Inh. Conv</b>	23	5.9757	5.93981	0.60	0.73
		24	5.8842	5.8396	0.76	
		25	5.7963	5.7489	0.82	
	<b>Inh. Orgánico</b>	27	6.2181	6.2071	0.18	0.18
		28	6.1008	6.0894	0.19	

Lote 3. inmersión en HCl 1.0 M + 2000 PPM de CQDs	HCl	11	5.8441	5.7564	1.50	1.58
		12	5.8288	5.7317	1.67	
	Inh. Conv	14	4.4448	4.4234	0.48	0.44
		15	4.3446	4.3272	0.40	
	Inh. Orgánico	17	6.0146	6.01	0.08	0.08
		18	5.8141	5.8092	0.08	
19		5.9177	5.9126	0.09		

Fuente: elaboración propia

Tabla 18. Resultados pérdida de masa de aluminio.

ALUMINIO						
LOTE.	SUSTANCIA DE INMERSIÓN	NÚMERO DE LAMINA	MASA INICIAL	MASA FINAL	% DE PERDIDA DE MASA	PROMEDIO DE % DE PERDIDA DE MASA
Lote 1. inmersión HCl	HCl	41	2.0706	1.9756	4.59	4.13
		40	2.318	2.2294	3.82	
		37	2.1951	2.1078	3.98	
	Inh. Conv	42	2.1934	2.1354	2.64	2.48
		39	2.2202	2.1726	2.14	
		36	2.2511	2.1912	2.66	
	Inh. Orgánico	43	2.165	2.1272	1.75	1.74
		38	2.2132	2.1765	1.66	
		35	2.2248	2.1842	1.82	
lote 2. inmersión en HCl 1.0 M +200 PPM CQDs	HCl	20	1.991	1.9149	3.82	3.30
		21	2.3212	2.2516	3.00	
		22	2.3567	2.284	3.08	
	Inh. Conv	23	2.0007	1.9533	2.37	2.27
		24	2.2065	2.1563	2.28	
		25	2.1704	2.1232	2.17	
	Inh. Orgánico	26	2.0597	2.0337	1.26	1.14
		27	2.328	2.303	1.07	
		28	2.2222	2.198	1.09	
Lote 3. inmersión en HCl 1.0 M + 2000 PPM de CQDs	HCl	11	2.2173	2.149	3.08	3.01
		12	2.2874	2.223	2.82	
		13	1.9704	1.9089	3.12	
	Inh. Conv	14	2.2252	2.1759	2.22	1.94
		15	2.4256	2.38	1.88	
		16	2.2377	2.1991	1.72	
	Inh. Orgánico	17	2.2834	2.2645	0.83	0.85
		18	2.2122	2.1935	0.85	
		19	2.1751	2.1563	0.86	

Fuente: elaboración propia.

Tabla 19. Resultados de velocidad de corrosión en el acero inoxidable 304 de las 3 pruebas (Lote).

<b>Lote 1. ACERO INOXIDABLE 304</b>		
Etiqueta	Velocidad Max promedio MPY	Desviación
HCl	162.5	0.0
HCl + Inh.Conv	26.9	1.4
HCl + Inh.Org	13.5	0.2
<b>Lote 2. ACERO INOXIDABLE 304</b>		
Etiqueta	Velocidad Max promedio MPY	Desviación
HCl + 200ppm nano	55.3	0.1
HCl + Inh.Conv + 200ppm CQDs	17.5	1.1
HCl + Inh.Org +200 ppm CQDs	4.6	0.1
<b>Lote 3. ACERO INOXIDABLE 304</b>		
Etiqueta	Velocidad Max promedio MPY	Desviación
HCl + 2000ppm nano	37.9	1.2
HCl + Inh.Conv + 2000ppm CQDs	8.0	0.5
HCl + Inh.Org+ 2000 CQDs	2.0	0.0

Fuente: elaboración propia.

Tabla 20. Resultados de velocidad de corrosión en el aluminio de las 3 pruebas (Lote).

<b>Lote 1. ALUMINIO</b>		
Etiqueta	Velocidad Max promedio MPY	Desviación
HCl	100.2	41.8
HCl + Inh.Conv	61.2	107.9
HCl + Inh.Org	42.6	9.9
<b>Lote 2. ALUMINIO</b>		
Etiqueta	Velocidad Max promedio MPY	Desviación
HCl + 200ppm CQDs	80.7	26.0
HCl + Inh.Conv+ 200ppm CQDs	53.5	6.9
HCl + Inh.Org + 200ppm CQDs	27.8	2.0
<b>Lote 3. ALUMINIO</b>		
Etiqueta	Velocidad Max promedio MPY	Desviación
HCl + 2000ppm CQDs	71.8	2.6

HCl + Inh.Conv + 2000ppm CQDs	49.4	4.4
HCl + Inh.Org + 2000ppm CQDs	20.9	0.1

Fuente: elaboración propia.

Tabla 21. Resultados de velocidad de corrosión de acero inoxidable 304 y aluminio, sumergidos en HCl, HCl-200ppm CQDs y HCl-2000ppm CQDs.

INMERSION EN HCl				
METAL	ACERO INOXIDABLE 304		ALUMINIO	
Etiqueta	Velocidad máx. promedio MPY	Desviación	Velocidad máx. promedio MPY	Desviación
HCl	162,5	0,0	100,2	41,8
HCl + 200 ppm CQDs	55,3	0,1	80,7	26,0
HCl + 2000 ppm CQDs	37,9	1,2	71,8	2,6

Fuente: elaboración propia.

Tabla 22. Resultados de velocidad de corrosión de acero inoxidable 304 y aluminio, sumergidos en inh. convencional, inh. convencional-200ppm CQDs y inh. convencional-2000ppm CQDs.

INMERSION EN HCl				
METAL	ACERO INOXIDABLE 304		ALUMINIO	
Etiqueta	Velocidad máx. promedio MPY	Desviación	Velocidad máx. promedio MPY	Desviación
Inhibidor convencional	26,9	1,4	61,2	107,9
Inh. conv + 200 ppm CQDs	17,5	1,1	53,5	6,9
Inh. conv + 2000 ppm CQDs	8,0	0,5	49,4	4,4

Fuente: elaboración propia.

Tabla 23. Resultados de velocidad de corrosión de acero inoxidable 304 y aluminio, sumergidos en inh. Orgánico, inh. Orgánico-200ppm CQDs y inh. Orgánico-2000ppm CQDs.

<b>INMERSION EN HCl</b>				
<b>METAL</b>	<b>ACERO INOXIDABLE 304</b>		<b>ALUMINIO</b>	
<b>Etiqueta</b>	<b>Velocidad máx. promedio MPY</b>	<b>Desviación</b>	<b>Velocidad máx. promedio MPY</b>	<b>Desviación</b>
<b>HCl + Inh. Orgánico</b>	13,5	0,2	42,6	9,9
<b>HCl + Inh. Orgánico+ 200 ppm CQDs</b>	4,6	0,1	27,8	2,0
<b>HCl + Inh. Orgánico+2000 ppm CQDs</b>	2,0	0,0	20,9	0,1

Fuente: elaboración propia.

Tabla 24. Resultados de eficiencia de inhibición en acero inoxidable 304.

<b>Lote 1. ACERO INOXIDABLE 304</b>		
<b>Etiqueta</b>	<b>Eficiencia %</b>	<b>Desviación</b>
<b>HCl</b>	0,0	0,0
<b>HCl + Inh. Conv</b>	83,5	1,4
<b>HCl + Inh. Org</b>	91,7	0,2
<b>Lote 2. ACERO INOXIDABLE 304</b>		
<b>Etiqueta</b>	<b>Eficiencia %</b>	<b>Desviación</b>
<b>HCl + 200 ppm CQDs</b>	66,0	0,1
<b>HCl + Inh. Conv + 200 ppm CQDs</b>	89,2	1,1
<b>HCl + Inh. Org + 200 ppm CQDs</b>	97,2	0,1
<b>Lote 3. ACERO INOXIDABLE 304</b>		
<b>Etiqueta</b>	<b>Eficiencia %</b>	<b>Desviación</b>
<b>HCl + 2000 ppm CQDs</b>	76,7	1,2
<b>HCl + Inh. Conv 2000 ppm CQDs</b>	95,1	0,5
<b>HCl + Inh. Org + 2000 ppm CQDs</b>	98,8	0,0

Fuente: elaboración propia.

Tabla 25. Resultados de eficiencia de inhibición en aluminio.

<b>LOTE 1. ALUMINIO</b>		
<b>Etiqueta</b>	<b>Eficiencia %</b>	<b>Desviación</b>
<b>HCl</b>	0,0	0,0
<b>HCl + Inh. Conv</b>	38,9	5,6

<b>HCl + Inh. Org</b>	57,5	1,6
<b>LOTE 2. ALUMINIO</b>		
<b>Etiqueta</b>	<b>Eficiencia %</b>	<b>Desviación</b>
<b>HCl + 200 ppm CQDs</b>	19,4	2,4
<b>HCl + Inh. Conv + 200 ppm CQDs</b>	46,5	1,4
<b>HCl + Inh. Org + 200 ppm CQDs</b>	72,2	0,7
<b>LOTE 3. ALUMINIO</b>		
<b>Etiqueta</b>	<b>Eficiencia %</b>	<b>Desviación</b>
<b>HCl + 2000 ppm CQDs</b>	28,3	2,6
<b>HCl + Inh. Conv 2000 ppm CQDs</b>	50,7	4,4
<b>HCl + Inh. Org + 2000 ppm CQDs</b>	79,2	0,1

*Fuente: elaboración propia.*



*Anexo 2. Ficha técnica del inhibidor Corrtreat 7395.*

**FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD**

Hoja de datos de seguridad en conformidad con la Norma Colombiana NTC 4435

**CORRTREAT 7395**

**CLARIANT** 

Página 1(13)

Código del material: 000000397402

Última revisión: 20.10.2017

Versión: 1 - 0 / CO

Fecha de impresión: 27.04.2018

**1. IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO Y DE LA COMPAÑÍA**

**Nombre comercial:**

CORRTREAT 7395

**Número del material:** 239053

**Naturaleza química:** Inhibidor de Corrosión en base acuosa

**Identificación de la sociedad o empresa:**

Clariant Colombia S.A.  
Autopista Medellín Km.2,5 - Via Parcelas Km. 1  
Vereda Siberia, Cota, Cundinamarca  
Teléfono : +57 (1) 877 3300

**Información sobre la sustancia/mezcla**

BU Oil & Mining Services  
Product Stewardship  
e-mail: SDS.LATAM@clariant.com

**Teléfono de emergencia:** +57 1 877 3300 (24 h)

**2. IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS**

**Clasificación SGA**

Toxicidad aguda (Oral) : Categoría 4

Corrosión o irritación cutáneas : Sub-categoría 1A

Lesiones o irritación ocular graves : Categoría 1

Toxicidad acuática aguda : Categoría 1

Toxicidad acuática crónica : Categoría 1

**Elementos de etiquetado GHS**

Pictogramas de peligro :



Palabra de advertencia : Peligro

Indicaciones de peligro : H302 Nocivo en caso de ingestión.  
H314 Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves.  
H410 Muy tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos.

# FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Hoja de datos de seguridad en conformidad con la Norma Colombiana NTC 4435

**CORRTREAT 7395**



Página 2(13)

Código del material: 000000397402

Última revisión: 20.10.2017

Versión: 1 - 0 / CO

Fecha de impresión: 27.04.2018

## Consejos de prudencia

### Prevenición:

P264 Lavarse la piel concienzudamente tras la manipulación.  
P270 No comer, beber ni fumar durante su utilización.  
P273 Evitar su liberación al medio ambiente.  
P280 Llevar guantes/ prendas/ gafas/ máscara de protección.

### Intervención:

P301 + P312 + P330 EN CASO DE INGESTIÓN: Llamar a un CENTRO DE TOXICOLOGÍA/médico si la persona se encuentra mal. Enjuagar la boca.  
P301 + P330 + P331 EN CASO DE INGESTIÓN: Enjuagar la boca. NO provocar el vómito.  
P303 + P361 + P353 EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL (o el pelo): Quitar inmediatamente toda la ropa contaminada. Enjuagar la piel con agua.  
P304 + P340 + P310 EN CASO DE INHALACIÓN: Transportar a la persona al aire libre y mantenerla en una posición que le facilite la respiración. Llamar inmediatamente a un CENTRO DE TOXICOLOGÍA/médico.  
P305 + P351 + P338 + P310 EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Enjuagar con agua cuidadosamente durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto cuando estén presentes y pueda hacerse con facilidad. Proseguir con el lavado. Llamar inmediatamente a un CENTRO DE TOXICOLOGÍA/médico.  
P363 Lavar las prendas contaminadas antes de volver a usarlas.  
P391 Recoger el vertido.

### Almacenamiento:

P405 Guardar bajo llave.

### Eliminación:

P501 Eliminar el contenido/ el recipiente en una planta de eliminación de residuos autorizada.

## Otros peligros que no dan lugar a la clasificación

Corrosivo

Riesgo de lesiones oculares graves.

Nocivo por ingestión.

Tóxico para los organismos acuáticos, puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático.

## 3. COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES

Nombre de la sustancia : Inhibidor de Corrosión en base acuosa

### Componentes peligrosos

Nombre químico	No. CAS	Concentración (% w/w)
----------------	---------	-----------------------

## FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Hoja de datos de seguridad en conformidad con la Norma Colombiana NTC 4435

**CORRTREAT 7395**

**CLARIANT**

Página 3(13)

Código del material: 000000397402

Última revisión: 20.10.2017

Versión: 1 - 0 / CO

Fecha de impresión: 27.04.2018

Cloruro de alquil (C12-C16) dimetilbencil amonio	68424-85-1	>= 30 - < 50
Ácidos grasos, aceite de resina, productos de reacción con polietileno poliaminas	68910-93-0	>= 10 - < 20
Etanol	64-17-5	>= 1 - < 10

### 4. PRIMEROS AUXILIOS

- Recomendaciones generales : Quitarse inmediatamente las prendas contaminadas.
- Si es inhalado : Si se ha inhalado, transportarlo al aire fresco.  
Consultar a un médico.
- En caso de contacto con la piel : En caso de un contacto, lavar inmediatamente la piel con jabón y agua en abundancia.  
Consultar inmediatamente un médico.
- En caso de contacto con los ojos : En caso de contacto con los ojos, lávenlos inmediata y abundantemente con agua y acúdase a un médico.
- Por ingestión : En caso de ingestión, acuda inmediatamente al médico y muéstrela la etiqueta o el envase.  
Enjuague la boca con agua.
- Principales síntomas y efectos, agudos y retardados : Ninguna conocida.
- Notas para el médico : Tratar sintomáticamente.

### 5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

#### Características inflamables

- Punto de inflamación : > 100 °C  
Método: ASTM D 93
- Temperatura de ignición : No aplicable para Líquidos con un Punto de Inflamación > 70 °C
- Límite superior de explosividad : No aplicable para Líquidos con un Punto de Inflamación > 70 °C
- Límites inferior de explosividad : No aplicable para Líquidos con un Punto de Inflamación > 70 °C
- Medios de extinción apropiados : Espuma  
Polvo seco  
Dióxido de carbono (CO2)  
Niebla de agua
- Métodos específicos de : Enfriar los bidones y las partes metálicas con agua

## FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Hoja de datos de seguridad en conformidad con la Norma Colombiana NTC 4435

**CORRTREAT 7395**

**CLARIANT**

Página 4(13)

Código del material: 000000397402

Última revisión: 20.10.2017

Versión: 1 - 0 / CO

Fecha de impresión: 27.04.2018

- extinción : pulverizada.  
No permita que las aguas de extinción entren en el alcantarillado o en los cursos de agua.
- Equipo de protección especial para el personal de lucha contra incendios : Equipo autónomo de respiración

### 6. MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL

- Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia : Colóquese contra el viento/manténgase a distancia de la fuente.  
Llevar equipo de protección. Impedir que se acerquen personas no protegidas.
- Precauciones relativas al medio ambiente : No tirar los residuos por el desagüe.
- Métodos y material de contención y de limpieza : Recoger con un producto absorbente inerte (por ejemplo, arena, diatomita, fijador de ácidos, fijador universal, serrín).

### 7. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

- Indicaciones para la protección contra incendio y explosión : Tener en cuenta las normas generales de protección preventiva contra incendios en instalaciones industriales.
- Consejos para una manipulación segura : Manipúlese y ábrase el recipiente con prudencia.
- Medidas técnicas/Precauciones : Mantener los envases herméticamente cerrados en un lugar fresco y bien ventilado.  
Manipúlese y ábrase el recipiente con prudencia.
- Materias que deben evitarse : No almacenar conjuntamente con ácidos.

### 8. CONTROLES DE EXPOSICIÓN/ PROTECCIÓN INDIVIDUAL

#### Componentes con valores límite ambientales de exposición profesional.

Componentes	No. CAS	Tipo de valor (Forma de exposición)	Parámetros de control / Concentración permisible	Base
Etolol	64-17-5	STEL	1.000 ppm	ACGIH

#### Protección personal

- Protección respiratoria : Necesaria en caso de ventilación (extracción de aire) insuficiente o exposición prolongada.

## FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Hoja de datos de seguridad en conformidad con la Norma Colombiana NTC 4435

**CORRTREAT 7395**

**CLARIANT**

Página 5(13)

Código del material: 000000397402

Última revisión: 20.10.2017

Versión: 1 - 0 / CO

Fecha de impresión: 27.04.2018

	Mascarilla
	Filtro A (gases orgánicos y vapores) conforme a DIN EN 141
Protección de las manos	
Observaciones	: Guantes desechables de PVC Guantes de goma
Protección de los ojos	: Gafas protectoras con cubiertas laterales
Protección de la piel y del cuerpo	: Úsese indumentaria protectora adecuada. Delantal de PVC Botas de PVC - según sean las operaciones, considerar el uso de botas de PVC con puntera reforzada en acero.
Medidas de higiene	: No comer, beber ni fumar durante su utilización. Lávense las manos antes de los descansos y después de terminar la jornada laboral. Observar las medidas de precaución habituales en la manipulación de productos químicos.

### 9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Aspecto	: Líquido
Color	: Amarillo a Ámbar
Olor	: característico
pH	: 10,5 (25 °C) Método: ASTM E 70
Punto de ebullición	: > 100 °C Método: Directrices de ensayo 103 del OECD
Punto de inflamación	: > 100 °C Método: ASTM D 93
Límite superior de explosividad / Límites de inflamabilidad superior	: No aplicable para Líquidos con un Punto de Inflamación > 70 °C
Límites inferior de explosividad / Límites de inflamabilidad inferior	: No aplicable para Líquidos con un Punto de Inflamación > 70 °C
Presión de vapor	: 3 kPa Método: Literatura La presión de vapor responde a la del agua.
Densidad	: aprox. 0,97 g/cm <sup>3</sup> (20 °C) Método: Directrices de ensayo 109 del OECD

## FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Hoja de datos de seguridad en conformidad con la Norma Colombiana NTC 4435

**CORRTREAT 7395**

**CLARIANT**

Página 6(13)

Código del material: 000000397402

Última revisión: 20.10.2017

Versión: 1 - 0 / CO

Fecha de impresión: 27.04.2018

Solubilidad(es)	
Solubilidad en agua	: > 1.000 g/l soluble (25 °C) Método: Directrices de ensayo 105 del OECD
Coefficiente de reparto n-octanol/agua	: Esta propiedad no es aplicable a mezclas.
Temperatura de auto-inflamación	: No aplicable para Líquidos con un Punto de Inflamación > 70 °C
Temperatura de descomposición	: No determinado
Viscosidad	
Viscosidad, dinámica	: aprox. 85 mPa.s (20 °C) Método: ASTM D 2196

### 10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Posibilidad de reacciones peligrosas	: Reacción con ácidos.
--------------------------------------	------------------------

### 11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

#### Toxicidad aguda

##### Producto:

Toxicidad oral aguda	: DL50(Rata): 1.176 mg/kg Método: Método de cálculo
Toxicidad aguda por inhalación	: Observaciones: No hay datos disponibles. No se encontraron datos sobre toxicidad aguda por inhalación en la literatura especializada.
Toxicidad cutánea aguda	: Observaciones: No hay datos disponibles. No se encontraron datos sobre toxicidad dérmica aguda en la literatura especializada.

##### Componentes:

##### Cloruro de alquil (C12-C16) dimetilbencil amonio:

Toxicidad oral aguda	: DL50 (Rata): 330 mg/kg
----------------------	--------------------------

##### Etolol:

Toxicidad oral aguda	: DL50 (Rata): 10.470 mg/kg Método: Directrices de ensayo 401 del OECD
Toxicidad aguda por inhalación	: CL50: 30.000 mg/l

## FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Hoja de datos de seguridad en conformidad con la Norma Colombiana NTC 4435

**CORRTREAT 7395**

**CLARIANT**

Página 7(13)

Código del material: 000000397402

Última revisión: 20.10.2017

Versión: 1 - 0 / CO

Fecha de impresión: 27.04.2018

Toxicidad cutánea aguda : DL50 (Conejo): > 2.000 mg/kg  
Método: Directrices de ensayo 402 del OECD

### Corrosión o irritación cutáneas

#### Producto:

Especies: Conejo  
Método: Valoración a partir de los componentes  
Resultado: Corrosivo

#### Componentes:

##### Etanol:

Resultado: No irrita la piel

### Lesiones o irritación ocular graves

#### Producto:

Especies: ojo del conejo  
Método: Valoración a partir de los componentes  
Resultado: Riesgo de lesiones oculares graves.

#### Componentes:

##### Etanol:

Especies: ojo del conejo  
Método: Directrices de ensayo 405 del OECD  
Resultado: Grave irritación de los ojos  
BPL: No hay información disponible.

### Sensibilización respiratoria o cutánea

#### Producto:

Observaciones: No se dispone de datos. No se encontraron datos sobre sensibilización en la literatura especializada.

#### Componentes:

##### Etanol:

Resultado: El producto no es sensibilizante.

### Mutagenicidad en células germinales

#### Componentes:

##### Etanol:

Genotoxicidad in vitro : Observaciones: sin datos disponibles

Mutagenicidad en células germinales - Valoración : En base a la evaluación de los resultados de varios ensayos puede considerarse a la sustancia como no mutagénica.

## FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Hoja de datos de seguridad en conformidad con la  
Norma Colombiana NTC 4435

**CORRTREAT 7395**

**CLARIANT** 

Página 8(13)

Código del material: 000000397402

Última revisión: 20.10.2017

Versión: 1 - 0 / CO

Fecha de impresión: 27.04.2018

### Carcinogenicidad

#### Componentes:

##### **Etanol:**

Carcinogenicidad - Valoración : No clasificable como agente carcinógeno para el humano.

### Toxicidad para la reproducción

#### Componentes:

##### **Etanol:**

Efectos en la fertilidad : Observaciones: A la vista de los datos disponibles, no se cumplen los criterios de clasificación.

Efectos en el desarrollo fetal : Observaciones: A la vista de los datos disponibles, no se cumplen los criterios de clasificación.

Toxicidad para la reproducción - Valoración : No cabe esperar toxicidad reproductiva.  
No se esperan efectos teratogénicos.

### Toxicidad específica en determinados órganos (stot) - exposición única

#### Componentes:

##### **Etanol:**

Valoración: La sustancia o mezcla no se clasifica como tóxica específica de órganos diana, exposición única.

### Toxicidad específica en determinados órganos (stot) - exposiciones repetidas

#### Componentes:

##### **Etanol:**

Observaciones: sin datos disponibles

### Toxicidad por dosis repetidas

#### Componentes:

##### **Etanol:**

Observaciones: Esta información no está disponible.

### Toxicidad por aspiración

#### Componentes:

##### **Etanol:**

Ninguna clasificación de toxicidad por aspiración



# FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Hoja de datos de seguridad en conformidad con la Norma Colombiana NTC 4435

**CORRTREAT 7395**

**CLARIANT**

Página 9(13)

Código del material: 000000397402

Última revisión: 20.10.2017

Versión: 1 - 0 / CO

Fecha de impresión: 27.04.2018

## 12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA

### Ecotoxicidad

#### Producto:

Toxicidad para los peces : CL50 (Danio rerio (pez zebra)): 1 - 10 mg/l  
Tiempo de exposición: 96 h  
Método: calculado

Toxicidad para las algas : (Skeletonema costatum): 1,2 mg/l  
Tiempo de exposición: 72 h  
Método: calculado  
Observaciones: Basándose en los componentes.

Toxicidad para los microorganismos : CE50 (lodos activados): 1,61 mg/l  
Método: calculado  
Observaciones: Basándose en los componentes.

#### Componentes:

##### **Cloruro de alquil (C12-C16) dimetilbencil amonio:**

Factor-M (Toxicidad acuática aguda) : 10

Factor-M (Toxicidad acuática crónica) : 1

##### **Etanol:**

Toxicidad para los peces : CL50 (Pimephales promelas (Piscardo de cabeza gorda)): 15.300 mg/l  
Tiempo de exposición: 96 h  
Tipo de Prueba: Ensayo dinámico  
Método: EPA

CL50 (Oncorhynchus mykiss (Trucha irisada)): 11.200 mg/l  
Tiempo de exposición: 24 h  
Tipo de Prueba: Ensayo dinámico  
Método: EPA

Toxicidad para las dafnias y otros invertebrados acuáticos : CE50 (Artemia salina): 858 mg/l  
Tiempo de exposición: 24 h  
Método: OECD TG 202  
Observaciones: agua salada

CE50 (Daphnia magna (Pulga de mar grande)): > 10.000 mg/l  
Tiempo de exposición: 48 h  
Método: OECD TG 202

CL50 (Ceriodaphnia dubia (pulga de agua)): 5.012 mg/l  
Tiempo de exposición: 48 h  
Tipo de Prueba: Ensayo estático

## FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Hoja de datos de seguridad en conformidad con la Norma Colombiana NTC 4435

**CORRTREAT 7395**

**CLARIANT**

Página 10(13)

Código del material: 000000397402

Última revisión: 20.10.2017

Versión: 1 - 0 / CO

Fecha de impresión: 27.04.2018

Método: OECD TG 202

Toxicidad para las algas : CE50 (Chlorella vulgaris (alga en agua dulce)): 275 mg/l  
Tiempo de exposición: 72 h  
Tipo de Prueba: Ensayo estático  
Método: OECD TG 201

EC10 (Chlorella vulgaris (alga en agua dulce)): 11,5 mg/l  
Tiempo de exposición: 72 h  
Tipo de Prueba: Ensayo estático  
Método: OECD TG 201

Toxicidad para los microorganismos : CE50 (Paramecium caudatum): 5.800 mg/l  
Tiempo de exposición: 4 h  
Tipo de Prueba: Ensayo estático

Toxicidad para los peces (Toxicidad crónica) : Observaciones: sin datos disponibles

Toxicidad para las dafnias y otros invertebrados acuáticos (Toxicidad crónica) : Observaciones: sin datos disponibles

Toxicidad para los organismos del suelo : Observaciones: No aplicable

Toxicidad para las plantas : Observaciones: No aplicable

Toxicidad del sedimento : Observaciones: No aplicable

Toxicidad para los organismos terrestres : Observaciones: No aplicable

### Persistencia y degradabilidad

#### Producto:

Biodegradabilidad : Resultado: No es fácilmente biodegradable.  
Método: Valoración a partir de los componentes

#### Componentes:

##### Etanol:

Biodegradabilidad : aeróbico  
Resultado: Fácilmente biodegradable.  
Biodegradación: 84 %  
Tiempo de exposición: 20 d

### Potencial de bioacumulación

#### Componentes:

##### Etanol:

## FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Hoja de datos de seguridad en conformidad con la Norma Colombiana NTC 4435

**CORRTREAT 7395**

**CLARIANT**

Página 13(13)

Código del material: 000000397402

Última revisión: 20.10.2017

Versión: 1 - 0 / CO

Fecha de impresión: 27.04.2018

Armonizado; GLP - Buena práctica de laboratorio; IARC - Agencia Internacional para la investigación del cáncer; IATA - Asociación Internacional de Transporte Aéreo; IBC - Código internacional para la construcción y equipamiento de Embarcaciones que transportan químicos peligros a granel; IC50 - Concentración inhibitoria máxima media; ICAO - Organización Internacional de Aviación Civil; IECSC - Inventario de Sustancias Químicas en China; IMDG - Código Marítimo Internacional de Mercancías Peligrosas; IMO - Organización Marítima Internacional; ISHL - Ley de Seguridad e Higiene Industrial (Japón); ISO - Organización Internacional para la Normalización; KECI - Inventario de Químicos Existentes de Corea; LC50 - Concentración letal para 50% de una población de prueba; LD50 - Dosis letal para 50% de una población de prueba (Dosis letal mediana); MARPOL - Convenio Internacional para prevenir la Contaminación en el mar por los buques; n.o.s. - N.E.P.: No especificado en otra parte; Nch - Norma chilena; NO(A)EC - Concentración de efecto (adverso) no observable; NO(A)EL - Nivel de efecto (adverso) no observable; NOELR - Tasa de carga de efecto no observable; NOM - Norma Oficial Mexicana; NTP - Programa Toxicológico Nacional; NZIoC - Inventario de Químicos de Nueva Zelanda; OECD - Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico; OPPTS - Oficina para la Seguridad Química y Prevención de Contaminación; PBT - Sustancia persistente, bioacumulativa y tóxica; PICCS - Inventario Filipino de Químicos y Sustancias Químicas; (Q)SAR - Relación estructura-actividad (cuantitativa); REACH - Reglamento (EC) No 1907/2006 del Parlamento y Consejo Europeos con respecto al registro, evaluación autorización y restricción de químicos; SADT - Temperatura de descomposición autoacelerada; SDS - Ficha de datos de seguridad; TCSI - Inventario de Sustancias Químicas de Taiwán; TDG - Transporte de mercancías peligrosas; TSCA - Ley para el Control de Sustancias Tóxicas (Estados Unidos); UN - Naciones Unidas; UNRTDG - Recomendaciones para el Transporte de Mercancías Peligrosas de las Naciones Unidas; vPvB - Muy persistente y muy bioacumulativo; WHMIS - Sistema de Información de Materiales Peligrosos en el Sitio de Trabajo

ACGIH : Valores límite (TLV) de la ACGIH, USA

ACGIH / STEL : Límite de exposición a corto plazo

Esta información corresponde al estado actual de nuestros conocimientos, y pretende ser una descripción general de nuestros productos y sus posibles aplicaciones. Clariant no ofrece ninguna garantía, expresa o implícita, en cuanto a la exactitud de la información, idoneidad, suficiencia o exención de erratas, y no asume ninguna responsabilidad en relación con cualquier uso de esta información. Cualquier usuario de este producto, es responsable de determinar su idoneidad para su aplicación en particular. Lo incluido en esta información no representa renuncia alguna a cualquiera de los términos y condiciones generales de venta de Clariant, a menos que se acuerde lo contrario por escrito. Deben respetarse los derechos de propiedad intelectual o industrial existentes. Debido a las posibles modificaciones en nuestros productos y a la aplicación de las Leyes y Reglamentos Nacionales e Internacionales, el estatus normativo de nuestros productos puede cambiar sin previo aviso. Las Fichas de Datos de Seguridad, proporcionan información sobre las medidas de seguridad que deberán ser observadas durante la manipulación o almacenamiento de productos de Clariant. Estas se encuentran disponibles a petición del interesado, y serán proporcionadas en conformidad con la ley aplicable. Es obligación del usuario, obtener y consultar la información en la Ficha de Datos de Seguridad antes de manipular cualquiera de estos productos. Para cualquier información adicional, póngase en contacto con Clariant.

CO / ES

## Anexo 3. Norma ASTM G 31-72 99.



Designation: G 31 – 72 (Reapproved 1999)

### Standard Practice for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation G 31; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

#### 1. Scope

1.1 This practice<sup>2</sup> describes accepted procedures for and factors that influence laboratory immersion corrosion tests, particularly mass loss tests. These factors include specimen preparation, apparatus, test conditions, methods of cleaning specimens, evaluation of results, and calculation and reporting of corrosion rates. This practice also emphasizes the importance of recording all pertinent data and provides a checklist for reporting test data. Other ASTM procedures for laboratory corrosion tests are tabulated in the Appendix.

**NOTE 1—Warning:** In many cases the corrosion product on the reactive metals titanium and zirconium is a hard and tightly bonded oxide that defies removal by chemical or ordinary mechanical means. In many such cases, corrosion rates are established by mass gain rather than mass loss.

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The values given in parentheses are for information only.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

#### 2. Referenced Documents

##### 2.1 ASTM Standards:

- A 262 Practices for Detecting Susceptibility to Intergranular Attack in Austenitic Stainless Steels<sup>3</sup>
- E 8 Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials<sup>4</sup>
- G 1 Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens<sup>5</sup>
- G 4 Guide for Conducting Corrosion Coupon Tests in Field Applications<sup>5</sup>
- G 16 Guide for Applying Statistics to Analysis of Corrosion Data<sup>5</sup>
- G 46 Guide for Examination and Evaluation of Pitting Corrosion<sup>5</sup>

<sup>1</sup> This practice is under the jurisdiction of ASTM Committee G-1 on Corrosion of Metals and is the direct responsibility of Subcommittee G01.05 on Laboratory Corrosion Tests.

Current edition approved May 30, 1972. Published July 1972.

<sup>2</sup> This practice is based upon NACE Standard TM-01-09, "Test Method—Laboratory Corrosion Testing of Metals for the Process Industries," with modifications to relate more directly to Practices G 1 and G 31 and Guide G 4.

<sup>3</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 01.03.

<sup>4</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.01.

<sup>5</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.02.

#### 3. Significance and Use

3.1 Corrosion testing by its very nature precludes complete standardization. This practice, rather than a standardized procedure, is presented as a guide so that some of the pitfalls of such testing may be avoided.

3.2 Experience has shown that all metals and alloys do not respond alike to the many factors that affect corrosion and that "accelerated" corrosion tests give indicative results only, or may even be entirely misleading. It is impractical to propose an inflexible standard laboratory corrosion testing procedure for general use, except for material qualification tests where standardization is obviously required.

3.3 In designing any corrosion test, consideration must be given to the various factors discussed in this practice, because these factors have been found to affect greatly the results obtained.

#### 4. Interferences

4.1 The methods and procedures described herein represent the best current practices for conducting laboratory corrosion tests as developed by corrosion specialists in the process industries. For proper interpretation of the results obtained, the specific influence of certain variables must be considered. These include:

4.1.1 Metal specimens immersed in a specific hot liquid may not corrode at the same rate or in the same manner as in equipment where the metal acts as a heat transfer medium in heating or cooling the liquid. If the influence of heat transfer effects is specifically of interest, specialized procedures (in which the corrosion specimen serves as a heat transfer agent) must be employed (1).<sup>6</sup>

4.1.2 In laboratory tests, the velocity of the environment relative to the specimens will normally be determined by convection currents or the effects induced by aeration or boiling or both. If the specific effects of high velocity are to be studied, special techniques must be employed to transfer the environment through tubular specimens or to move it rapidly past the plane face of a corrosion coupon (2). Alternatively, the coupon may be rotated through the environment, although it is then difficult to evaluate the velocity quantitatively because of the stirring effects incurred.

4.1.3 The behavior of certain metals and alloys may be

<sup>6</sup> The boldface numbers in parentheses refer to the list of references at the end of this practice.

profoundly influenced by the presence of dissolved oxygen. If this is a factor to be considered in a specific test, the solution should be completely aerated or deaerated in accordance with 8.7.

4.1.4 In some cases, the rate of corrosion may be governed by other minor constituents in the solution, in which case they will have to be continually or intermittently replenished by changing the solution in the test.

4.1.5 Corrosion products may have undesirable effects on a chemical product. The amount of possible contamination can be estimated from the loss in mass of the specimen, with proper application of the expected relationships among (1) the area of corroding surface, (2) the mass of the chemical product handled, and (3) the duration of contact of a unit of mass of the chemical product with the corroding surface.

4.1.6 Corrosion products from the coupon may influence the corrosion rate of the metal itself or of different metals exposed at the same time. For example, the accumulation of cupric ions in the testing of copper alloys in intermediate strengths of sulfuric acid will accelerate the corrosion of copper alloys, as compared to the rates that would be obtained if the corrosion products were continually removed. Cupric ions may also exhibit a passivating effect upon stainless steel coupons exposed at the same time. In practice, only alloys of the same general type should be exposed in the testing apparatus.

4.1.7 Coupon corrosion testing is predominantly designed to investigate general corrosion. There are a number of other special types of phenomena of which one must be aware in the design and interpretation of corrosion tests.

4.1.7.1 Galvanic corrosion may be investigated by special devices which couple one coupon to another in electrical contact. The behavior of the specimens in this galvanic couple are compared with that of insulated specimens exposed on the same holder and the galvanic effects noted. It should be observed, however, that galvanic corrosion can be greatly affected by the area ratios of the respective metals, the distance between the metals and the resistivity of the electrolyte. The coupling of corrosion coupons then yields only qualitative results, as a particular coupon reflects only the relationship between these two metals at the particular area ratio involved.

4.1.7.2 Crevice corrosion or concentration cell corrosion may occur where the metal surface is partially blocked from the corroding liquid as under a spacer or supporting hook. It is necessary to evaluate this localized corrosion separately from the overall mass loss.

4.1.7.3 Selective corrosion at the grain boundaries (for example, intergranular corrosion of sensitized austenitic stainless steels) will not be readily observable in mass loss measurements unless the attack is severe enough to cause grain dropping, and often requires microscopic examination of the coupons after exposure.

4.1.7.4 Dealloying or "parting" corrosion is a condition in which one constituent is selectively removed from an alloy, as in the dezincification of brass or the graphitization of cast iron. Close attention and a more sophisticated evaluation than a simple mass loss measurement are required to detect this phenomenon.

4.1.7.5 Certain metals and alloys are subject to a highly

localized type of attack called pitting corrosion. This cannot be evaluated by mass loss alone. The reporting of nonuniform corrosion is discussed below. It should be appreciated that pitting is a statistical phenomenon and that the incidence of pitting may be directly related to the area of metal exposed. For example, a small coupon is not as prone to exhibit pitting as a large one and it is possible to miss the phenomenon altogether in the corrosion testing of certain alloys, such as the AISI Type 300 series stainless steels in chloride contaminated environments.

4.1.7.6 All metals and alloys are subject to stress-corrosion cracking under some circumstances. This cracking occurs under conditions of applied or residual tensile stress, and it may or may not be visible to the unaided eye or upon casual inspection. A metallographic examination may confirm the presence of stress-corrosion cracking. It is imperative to note that this usually occurs with no significant loss in mass of the test coupon, although certain refractory metals are an exception to these observations. Generally, if cracking is observed on the coupon, it can be taken as positive indication of susceptibility, whereas failure to effect this phenomenon simply means that it did not occur under the duration and specific conditions of the test. Separate and special techniques are employed for the specific evaluation of the susceptibility of metals and alloys to stress corrosion cracking (see Ref. (3)).

## 5. Apparatus

5.1 A versatile and convenient apparatus should be used, consisting of a kettle or flask of suitable size (usually 500 to 5000 mL), a reflux condenser with atmospheric seal, a sparger for controlling atmosphere or aeration, a thermowell and temperature-regulating device, a heating device (mantle, hot plate, or bath), and a specimen support system. If agitation is required, the apparatus can be modified to accept a suitable stirring mechanism, such as a magnetic stirrer. A typical resin flask setup for this type test is shown in Fig. 1.

5.2 The suggested components can be modified, simplified, or made more sophisticated to fit the needs of a particular investigation. The suggested apparatus is basic and the apparatus is limited only by the judgment and ingenuity of the investigator.

5.2.1 A glass reaction kettle can be used where the configuration and size of the specimen will permit entry through the narrow kettle neck (for example, 45/50 ground-glass joint). For solutions corrosive to glass, suitable metallic or plastic kettles may be employed.

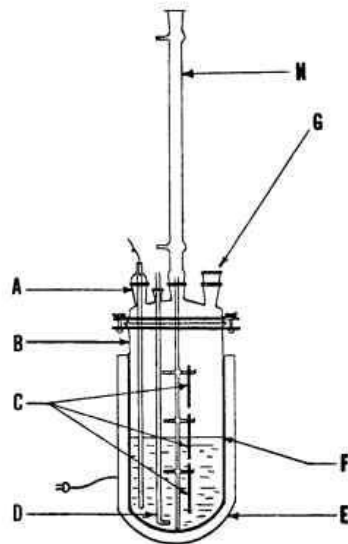
5.2.2 In some cases a wide-mouth jar with a suitable closure is sufficient when simple immersion tests at ambient temperatures are to be investigated.

5.2.3 Open-beaker tests should not be used because of evaporation and contamination.

5.2.4 In more complex tests, provisions might be needed for continuous flow or replenishment of the corrosive liquid, while simultaneously maintaining a controlled atmosphere.

## 6. Sampling

6.1 The bulk sampling of products is outside the scope of this practice.



NOTE 1—The flask can be used as a versatile and convenient apparatus to conduct simple immersion tests. Configuration of top to flask is such that more sophisticated apparatus can be added as required by the specific test being conducted. A = thermowell, B = resin flask, C = specimens hung on supporting device, D = air inlet, E = heating mantle, F = liquid interface, G = opening in flask for additional apparatus that may be required, and H = reflux condenser.

FIG. 1 Typical Resin Flask

## 7. Test Specimen

7.1 In laboratory tests, uniform corrosion rates of duplicate specimens are usually within  $\pm 10\%$  under the same test conditions. Occasional exceptions, in which a large difference is observed, can occur under conditions of borderline passivity of metals or alloys that depend on a passive film for their resistance to corrosion. Therefore, at least duplicate specimens should normally be exposed in each test.

7.2 If the effects of corrosion are to be determined by changes in mechanical properties, untested duplicate specimens should be preserved in a noncorrosive environment at the same temperature as the test environment for comparison with the corroded specimens. The mechanical property commonly used for comparison is the tensile strength. Measurement of percent elongation is a useful index of embrittlement. The procedures for determining these values are shown in detail in Test Methods E 8.

7.3 The size and shape of specimens will vary with the purpose of the test, nature of the materials, and apparatus used. A large surface-to-mass ratio and a small ratio of edge area to total area are desirable. These ratios can be achieved through the use of square or circular specimens of minimum thickness. Masking may also be used to achieve the desired area ratios but may cause crevice corrosion problems. Circular specimens should preferably be cut from sheet and not bar stock, to minimize the exposed end grain. Special coupons (for example,

sections of welded tubing) may be employed for specific purposes.

7.3.1 A circular specimen of about 38-mm (1.5-in.) diameter is a convenient shape for laboratory corrosion tests. With a thickness of approximately 3 mm (0.125-in.) and an 8-mm ( $\frac{5}{16}$ -in.) or 11-mm ( $\frac{7}{16}$ -in.) diameter hole for mounting, these specimens will readily pass through a 45/50 ground-glass joint of a distillation kettle. The total surface area of a circular specimen is given by the following equation:

$$A = \pi(D^2 - d^2) + \pi D + \pi d \quad (1)$$

where:

$t$  = thickness,  
 $D$  = diameter of the specimen, and  
 $d$  = diameter of the mounting hole.

7.3.1.1 If the hole is completely covered by the mounting support, the last term ( $\pi d$ ) in the equation is omitted.

7.3.2 Strip coupons 50 by 25 by 1.6 or 3 mm (2 by 1 by  $\frac{1}{16}$  or  $\frac{1}{8}$  in.) may be preferred as corrosion specimens, particularly if interface or liquid line effects are to be studied by the laboratory tests (see Fig. 1), but the evaluation of such specific effects are beyond the scope of this practice.

7.3.3 All specimens should be measured carefully to permit accurate calculation of the exposed areas. A geometric area calculation accurate to  $\pm 1\%$  is usually adequate.

7.4 More uniform results may be expected if a substantial layer of metal is removed from the specimens to eliminate variations in condition of the original metallic surface. This can be done by chemical treatment (pickling), electrolytic removal, or by grinding with a coarse abrasive paper or cloth such as No. 50, using care not to work harden the surface (see section 5.7). At least 0.0025 mm (0.0001 in.) or 0.0155 to 0.0233 mg/mm<sup>2</sup> (10 to 15 mg/in.<sup>2</sup>) should be removed. (If clad alloy specimens are to be used, special attention must be given to ensure that excessive metal is not removed.) After final preparation of the specimen surface, the specimens should be stored in a desiccator until exposure, if they are not used immediately. In special cases (for example, for aluminum and certain copper alloys), a minimum of 24 h storage in a desiccator is recommended. The choice of a specific treatment must be considered on the basis of the alloy to be tested and the reasons for testing. A commercial surface may sometimes yield the most significant results. Too much surface preparation may remove segregated elements, surface contamination, etc., and therefore not be representative.

7.5 Exposure of sheared edges should be avoided unless the purpose of the test is to study effects of the shearing operation. It may be desirable to test a surface representative of the material and metallurgical conditions used in practice.

7.6 The specimen can be stamped with an appropriate identifying mark. If metallic contamination of the stamped area may influence the corrosion behavior, chemical cleaning must be employed to remove any traces of foreign particles from the surface of the coupon (for example, by immersion of stainless steel coupons in dilute nitric acid following stamping with steel dies).

7.6.1 The stamp, besides identifying the specimen, introduces stresses and cold work in the specimen that could be

responsible for localized corrosion or stress-corrosion cracking, or both.

7.6.2 Stress-corrosion cracking at the identifying mark is a positive indication of susceptibility to such corrosion. However, the absence of cracking should not be interpreted as indicating resistance (see 4.1.7.6).

7.7 Final surface treatment of the specimens should include finishing with No. 120 abrasive paper or cloth or the equivalent, unless the surface is to be used in the mill finished condition. This resurfacing may cause some surface work hardening, to an extent which will be determined by the vigor of the surfacing operation, but is not ordinarily significant. The surface finish to be encountered in service may be more appropriate for some testing.

7.7.1 Coupons of different alloy compositions should never be ground on the same cloth.

7.7.2 Wet grinding should be used on alloys which work harden quickly, such as the austenitic stainless steels.

7.8 The specimens should be finally degreased by scrubbing with bleach-free scouring powder, followed by thorough rinsing in water and in a suitable solvent (such as acetone, methanol, or a mixture of 50 % methanol and 50 % ether), and air dried. For relatively soft metals (such as aluminum, magnesium, and copper), scrubbing with abrasive powder is not always needed and can mar the surface of the specimen. Proper ultrasonic procedures are an acceptable alternate. The use of towels for drying may introduce an error through contamination of the specimens with grease or lint.

7.9 The dried specimens should be weighed on an analytical balance to an accuracy of at least  $\pm 0.5$  mg. If cleaning deposits (for example, scouring powder) remain or lack of complete dryness is suspected, then recleaning and drying is performed until a constant mass is attained.

7.10 The method of specimen preparation should be described when reporting test results, to facilitate interpretation of data by other persons.

7.11 The use of welded specimens is sometimes desirable, because some welds may be cathodic or anodic to the parent metal and may affect the corrosion rate.

7.11.1 The heat-affected zone is also of importance but should be studied separately, because welds on coupons do not faithfully reproduce heat input or size effects of full-size weldments.

7.11.2 Corrosion of a welded coupon is best reported by description and thickness measurements rather than a millimetre per year (mils per year) rate, because the attack is normally localized and not representative of the entire surface.

7.11.3 A complete discussion of corrosion testing of welded coupons or the effect of heat treatment on the corrosion resistance of a metal is not within the scope of this practice.

## 8. Test Conditions

8.1 Selection of the conditions for a laboratory corrosion test will be determined by the purpose of the test.

8.1.1 If the test is to be a guide for the selection of a material for a particular purpose, the limits of the controlling factors in service must be determined. These factors include oxygen concentration, temperature, rate of flow, pH value, composition, and other important characteristics of the solution.

8.2 An effort should be made to duplicate all pertinent service conditions in the corrosion test.

8.3 It is important that test conditions be controlled throughout the test in order to ensure reproducible results.

8.4 The spread in corrosion rate values for duplicate specimens in a given test probably should not exceed  $\pm 10$  % of the average when the attack is uniform.

### 8.5 Composition of Solution:

8.5.1 Test solutions should be prepared accurately from chemicals conforming to the Specifications of the Committee on Analytical Reagents of the American Chemical Society<sup>7</sup> and distilled water, except in those cases where naturally occurring solutions or those taken directly from some plant process are used.

8.5.2 The composition of the test solutions should be controlled to the fullest extent possible and should be described as completely and as accurately as possible when the results are reported.

8.5.2.1 Minor constituents should not be overlooked because they often affect corrosion rates.

8.5.2.2 Chemical content should be reported as percentage by weight of the solutions. Molarity and normality are also helpful in defining the concentration of chemicals in some test solutions.

8.5.3 If problems are suspected, the composition of the test solutions should be checked by analysis at the end of the test to determine the extent of change in composition, such as might result from evaporation or depletion.

8.5.4 Evaporation losses may be controlled by a constant level device or by frequent addition of appropriate solution to maintain the original volume within  $\pm 1$  %. Preferably, the use of a reflux condenser ordinarily precludes the necessity of adding to the original kettle charge.

8.5.5 In some cases, composition of the test solution may change as a result of catalytic decomposition or by reaction with the test coupons. These changes should be determined if possible. Where required, the exhausted constituents should be added or a fresh solution provided during the course of the test.

8.5.6 When possible, only one type of metal should be exposed in a given test (see 4.1.6).

### 8.6 Temperature of Solution:

8.6.1 Temperature of the corroding solution should be controlled within  $\pm 1^\circ\text{C}$  ( $\pm 1.8^\circ\text{F}$ ) and must be stated in the report of test results.

8.6.2 If no specific temperature, such as boiling point, is required or if a temperature range is to be investigated, the selected temperatures used in the test, and their respective duration, must be reported.

8.6.3 For tests at ambient temperature, the tests should be conducted at the highest temperature anticipated for stagnant storage in summer months. This temperature may be as high as from 40 to 45°C (104 to 113°F) in some areas. The variation in

<sup>7</sup> *Reagent Chemicals, American Chemical Society Specifications, American Chemical Society, Washington, DC. For suggestions on the testing of reagents not listed by the American Chemical Society, see *Analyst Standards for Laboratory Chemicals*, BDH Ltd., Poole, Dorset, U.K., and the *United States Pharmacopeia and National Formulary*, U.S. Pharmacopeial Convention, Inc. (USPC), Rockville, MD.*

temperature should be reported also (for example,  $40 \pm 2^\circ\text{C}$ ).

8.7 *Aeration of Solution:*

8.7.1 Unless specified, the solution should not be aerated. Most tests related to process equipment should be run with the natural atmosphere inherent in the process, such as the vapors of the boiling liquid.

8.7.2 If aeration is employed, the specimen should not be located in the direct air stream from the sparger. Extraneous effects can be encountered if the air stream impinges on the specimens.

8.7.3 If exclusion of dissolved oxygen is necessary, specific techniques are required, such as prior heating of the solution and sparging with an inert gas (usually nitrogen). A liquid atmospheric seal is required on the test vessel to prevent further contamination.

8.7.4 If oxygen saturation of the test solution is desired, this can best be achieved by sparging with oxygen. For other degrees of aeration, the solution should be sparged with air or synthetic mixtures of air or oxygen with an inert gas. Oxygen saturation is a function of the partial pressure of oxygen in the gas.

8.8 *Solution Velocity:*

8.8.1 The effect of velocity is not usually determined in normal laboratory tests, although specific tests have been designed for this purpose.

8.8.2 Tests at the boiling point should be conducted with the minimum possible heat input, and boiling chips should be used to avoid excessive turbulence and bubble impingement.

8.8.3 In tests below the boiling point, thermal convection generally is the only source of liquid velocity.

8.8.4 In test solutions with high viscosity, supplemental controlled stirring with a magnetic stirrer is recommended.

8.9 *Volume of Test Solution:*

8.9.1 The volume of the test solution should be large enough to avoid any appreciable change in its corrosivity during the test, either through exhaustion of corrosive constituents or by accumulation of corrosion products that might affect further corrosion.

8.9.2 Two examples of a minimum "solution volume-to-specimen area" ratio are  $0.20 \text{ mL/mm}^2$  ( $125 \text{ mL/in.}^2$ ) of specimen surface (Practice A 262), and  $0.40 \text{ mL/mm}^2$  ( $250 \text{ mL/in.}^2$ ).

8.9.3 When the test objective is to determine the effect of a metal or alloy on the characteristics of the test solution (for example, to determine the effects of metals on dyes), it is desirable to reproduce the ratio of solution volume to exposed metal surface that exists in practice. The actual time of contact of the metal with the solution must also be taken into account. Any necessary distortion of the test conditions must be considered when interpreting the results.

8.10 *Method of Supporting Specimens:*

8.10.1 The supporting device and container should not be affected by or cause contamination of the test solution.

8.10.2 The method of supporting specimens will vary with the apparatus used for conducting the test, but should be designed to insulate the specimens from each other physically and electrically and to insulate the specimens from any metallic container or supporting device used within the apparatus.

8.10.3 Shape and form of the specimen support should assure free contact of the specimen with the corroding solution, the liquid line, or the vapor phase as shown in Fig. 1. If clad alloys are exposed, special procedures will be required to ensure that only the cladding is exposed, unless the purpose is to test the ability of the cladding to protect cut edges in the test solution.

8.10.4 Some common supports are glass or ceramic rods, glass saddles, glass hooks, fluorocarbon plastic strings, and various insulated or coated metallic supports.

8.11 *Duration of Test:*

8.11.1 Although duration of any test will be determined by the nature and purpose of the test, an excellent procedure for evaluating the effect of time on corrosion of the metal and also on the corrosiveness of the environment in laboratory tests has been presented by Wachter and Treseder (4). This technique is called the "planned interval test," and the procedure and evaluation of results are given in Table 1. Other procedures that require the removal of solid corrosion products between exposure periods will not measure accurately the normal

TABLE 1 Planned Interval Corrosion Test  
(Reprinted by permission from Chemical Engineering Progress, June 1947)

Identical specimens all placed in the same corrosive fluid. Imposed conditions of the test kept constant for entire time  $t + 1$ . Letters,  $A_1, A_2, A_{n-1}, B$ , represent corrosion damage experienced by each test specimen.  $A_2$  is calculated by subtracting  $A_1$  from  $A_{n-1}$ .

Occurrences During Corrosion Test		Criteria
Liquid corrosiveness	unchanged	$A_1 = B$
	decreased	$B < A_1$
	increased	$A_1 < B$
Metal corrosibility	unchanged	$A_2 = B$
	decreased	$A_2 < B$
	increased	$B < A_2$

Combinations of Situations			Criteria
Liquid corrosiveness	Metal corrosibility		
1. unchanged	unchanged		$A_1 = A_2 = B$
2. unchanged	decreased		$A_2 < A_1 = B$
3. unchanged	increased		$A_1 = B < A_2$
4. decreased	unchanged		$A_2 = B < A_1$
5. decreased	decreased		$A_2 < B < A_1$
6. decreased	increased		$A_1 > B < A_2$
7. increased	unchanged		$A_1 < A_2 = B$
8. increased	decreased		$A_1 < B > A_2$
9. increased	increased		$A_1 < B < A_2$

Example: Conditions: Duplicate strips of low-carbon steel, each 19 by 78 mm (¾ by 3 in.), immersed in 200 mL of 10%  $\text{AlCl}_3$ -90%  $\text{SnCl}_2$  mixture through which dried HCl gas was slowly bubbled at atmospheric pressure. Temperature  $90^\circ\text{C}$ .

	Interval, days	Mass Loss, mg	Penetration, mm (mils)	Apparent Corrosion Rate, mm/y (mpy)
$A_1$	0-1	1080	.043 (1.69)	15.7 (620)
$A_1$	0-3	1430	.057 (2.24)	8.9 (270)
$A_{n-1}$	0-4	1480	.058 (2.29)	5.3 (210)
B	3-4	70	.003 (0.11)	1.0 (40)
$A_2$	calc. 3-4	30	.001 (0.05)	0.5 (18)

Example:  $A_2 < B < A_1$   
 $.001 < .003 < .043$  (0.05 < 0.11 < 1.69)  
Therefore, liquid markedly decreased in corrosiveness during test, and formation of partially protective scale on the steel was indicated.



changes of corrosion with time.

8.11.2 Materials that experience severe corrosion generally do not ordinarily need lengthy tests to obtain accurate corrosion rates. However, there are cases where this assumption is not valid. For example, lead exposed to sulfuric acid corrodes at an extremely high rate at first, while building a protective film; then the rates decrease considerably so that further corrosion is negligible. The phenomenon of forming a protective film is observed with many corrosion-resistant materials. Therefore, short tests on such materials would indicate a high corrosion rate and be completely misleading.

8.11.3 Short-time tests also can give misleading results on alloys that form passive films, such as stainless steels. With borderline conditions, a prolonged test may be needed to permit breakdown of the passive film and subsequent more rapid attack. Consequently, tests run for long periods are considerably more realistic than those conducted for short durations. This statement must be qualified by stating that corrosion should not proceed to the point where the original specimen size or the exposed area is drastically reduced or where the metal is perforated.

8.11.4 If anticipated corrosion rates are moderate or low, the following equation gives the suggested test duration:

$$\text{Hours} = 3000/(\text{corrosion rate in mpy}) \quad (2)$$

where mpy = mils per year (see 11.2.1 and Note 2 for conversion to other units).

8.11.4.1 *Example*—Where the corrosion rate is 0.25 mm/y (10 mpy), the test should run for at least 200 h.

8.11.4.2 This method of estimating test duration is useful only as an aid in deciding, after a test has been made, whether or not it is desirable to repeat the test for a longer period. The most common testing periods are 48 to 168 h (2 to 7 days).

8.11.5 In some cases, it may be necessary to know the degree of contamination caused by the products of corrosion. This can be accomplished by analysis of the solution after corrosion has occurred. The corrosion rate can be calculated from the concentration of the matrix metal found in the solution and it can be compared to that determined from the mass loss of the specimens. However, some of the corrosion products usually adhere to the specimen as a scale and the corrosion rate calculated from the metal content in the solution is not always correct.

8.12 The design of corrosion testing programs is further discussed in Guide G 16.

## 9. Methods of Cleaning Specimens after Test

9.1 Before specimens are cleaned, their appearance should be observed and recorded. Location of deposits, variations in types of deposits, or variations in corrosion products are extremely important in evaluating localized corrosion, such as pitting and concentration cell attack.

9.2 Cleaning specimens after the test is a vital step in the corrosion test procedure and if not done properly, can cause misleading results.

9.2.1 Generally, the cleaning procedure should remove all corrosion products from specimens with a minimum removal of sound metal.

9.2.2 Set rules cannot be applied to specimen cleaning,

because procedures will vary, depending on the type of metal being cleaned and on the degree of adherence of corrosion products.

9.3 Cleaning methods can be divided into three general categories: mechanical, chemical, and electrolytic.

9.3.1 Mechanical cleaning includes scrubbing, scraping, brushing, mechanical shocking, and ultrasonic procedures. Scrubbing with a bristle brush and mild abrasive is the most popular of these methods. The others are used principally as a supplement to remove heavily encrusted corrosion products before scrubbing. Care should be used to avoid the removal of sound metal.

9.3.2 Chemical cleaning implies the removal of material from the surface of the specimen by dissolution in an appropriate chemical solution. Solvents such as acetone, carbon tetrachloride, and alcohol are used to remove oil, grease, or resin and are usually applied prior to other methods of cleaning. Chemicals are chosen for application to a specific material. Methods for chemical cleaning after testing of specific metals and alloys are described in Practice G 1.

9.3.3 Electrolytic cleaning should be preceded by scrubbing to remove loosely adhering corrosion products. A method of electrolytic cleaning is described in Practice G 1.

9.3.3.1 Precautions must be taken to ensure good electrical contact with the specimen, to avoid contamination of the solution with easily reducible metal ions, and to ensure that inhibitor decomposition has not occurred.

9.4 Whatever treatment is used to clean specimens after a corrosion test, its effect in removing metal should be determined and the mass loss should be corrected accordingly. A "blank" specimen should be weighed before and after exposure to the cleaning procedure to establish this mass loss (see also Practice G 1). Careful observation is needed to ensure that pitting does not occur during cleaning.

9.4.1 Following removal of all scale, the specimen should be treated as discussed in 5.8.

9.4.2 The description of the cleaning method should be included with the data reported.

## 10. Interpretation of Results

10.1 After corroded specimens have been cleaned, they should be reweighed with an accuracy corresponding to that of the original weighing. The mass loss during the test period can be used as the principal measure of corrosion.

10.2 After the specimens have been reweighed, they should be examined carefully for the presence of any pits. If there are any pits, the average and maximum depths of pits are determined with a pit gage or a calibrated microscope which can be focused first on the edges and then on the bottoms of the pits. The degree of lateral spreading of pits may also be noted.

10.2.1 Pit depths should be reported in millimeters or thousandths of an inch for the test period and not interpolated or extrapolated to millimeters per year, thousandths of an inch per year, or any other arbitrary period because rarely, if ever, is the rate of initiation or propagation of pits uniform.

10.2.2 The size, shape, and distribution of pits should be noted. A distinction should be made between those occurring underneath the supporting devices (concentration cells) and those on the surfaces that were freely exposed to the test

solution (see Guide G 46).

10.3 If the material being tested is suspected of being subject to dealloying forms of corrosion such as dezincification or to intergranular attack, a cross section of the specimen should be microscopically examined for evidence of such attack.

10.4 The specimen may be subjected to simple bending tests to determine whether any embrittlement attack has occurred.

10.5 It may be desirable to make quantitative mechanical tests, comparing the exposed specimens with uncorroded specimens reserved for the purpose, as described in 7.2.

11. Calculating Corrosion Rates

11.1 Calculating corrosion rates requires several pieces of information and several assumptions:

11.1.1 The use of corrosion rates implies that all mass loss has been due to general corrosion and not to localized corrosion, such as pitting or intergranular corrosion of sensitized areas on welded coupons. Localized corrosion is reported separately.

11.1.2 The use of corrosion rates also implies that the material has not been internally attacked as by dezincification or intergranular corrosion.

11.1.3 Internal attack can be expressed as a corrosion rate if desired. However, the calculations must not be based on mass loss (except in qualification tests such as Practices A 262), which is usually small but on microsections which show depth of attack.

11.2 Assuming that localized or internal corrosion is not present or is recorded separately in the report, the average corrosion rate can be calculated by the following equation:

$$\text{Corrosion rate} = (K \times W)/(A \times T \times D) \tag{3}$$

where:

- K* = a constant (see below)
- T* = time of exposure in hours to the nearest 0.01 h.
- A* = area in cm<sup>2</sup> to the nearest 0.01 cm<sup>2</sup>.
- W* = mass loss in g, to nearest 1 mg (corrected for any loss during cleaning (see 9.4)), and
- D* = density in g/cm<sup>3</sup>, (see Appendix X1 of Practice G 1).

11.2.1 Many different units are used to express corrosion rates. Using the above units for *T*, *A*, *W*, and *D*, the corrosion rate can be calculated in a variety of units with the following appropriate value of *K*:

Corrosion Rate Units Desired	Constant (K) in Corrosion Rate Equation
mils per year (mpy)	$3.45 \times 10^6$
inches per year (ipy)	$3.45 \times 10^5$
inches per month (ipm)	$2.87 \times 10^2$
millimetres per year (mm/y)	$8.78 \times 10^4$
micrometres per year (µm/y)	$8.78 \times 10^7$
micrometres per second (µm/s)	$2.78 \times 10^6$
grams per square metre per hour (g/m <sup>2</sup> ·h)	$1.00 \times 10^4 \times D^4$
milligrams per square decimetre per day (mg/d)	$2.40 \times 10^6 \times D^4$

$$\text{micrograms per square metre per second (µg/m}^2\text{·s)} = 2.78 \times 10^6 \times D^4$$

\* Density is not needed to calculate the corrosion rate in these units. The density in the constant *K* cancels out the density in the corrosion rate equation.

NOTE 2—If desired, these constants may also be used to convert corrosion rates from one set of units to another. To convert a corrosion rate in units *X* to a rate of units *Y*, multiply by *K<sub>Y</sub>/K<sub>X</sub>*, for example:

$$15 \text{ mpy} = 15 \times [(2.78 \times 10^6)/(3.45 \times 10^6)] \text{ µm/s} = 12.1 \text{ µm/s} \tag{4}$$

12. Report

12.1 The importance of reporting all data as completely as possible cannot be overemphasized.

12.2 Expansion of the testing program in the future or correlating the results with tests of other investigators will be possible only if all pertinent information is properly recorded.

12.3 The following checklist is a recommended guide for reporting all important information and data:

- 12.3.1 Corrosive media and concentration (any changes during test).
- 12.3.2 Volume of test solution.
- 12.3.3 Temperature (maximum, minimum, average).
- 12.3.4 Aeration (describe conditions or technique).
- 12.3.5 Agitation (describe conditions or technique).
- 12.3.6 Type of apparatus used for test.
- 12.3.7 Duration of each test.
- 12.3.8 Chemical composition or trade name of metals tested.
- 12.3.9 Form and metallurgical conditions of specimens.
- 12.3.10 Exact size, shape, and area of specimens.
- 12.3.11 Treatment used to prepare specimens for test.
- 12.3.12 Number of specimens of each material tested, and whether specimens were tested separately or which specimens tested in the same container.
- 12.3.13 Method used to clean specimens after exposure and the extent of any error expected by this treatment.
- 12.3.14 Initial and final masses and actual mass losses for each specimen.
- 12.3.15 Evaluation of attack if other than general, such as crevice corrosion under support rod, pit depth and distribution, and results of microscopical examination or bend tests.
- 12.3.16 Corrosion rates for each specimen.

12.4 Minor occurrences or deviations from the proposed test program often can have significant effects and should be reported if known.

12.5 Statistics can be a valuable tool for analyzing the results from test programs designed to generate adequate data. Excellent references for the use of statistics in corrosion studies include Ref. (5-7) and in Guide G 16.

13. Keywords

13.1 accelerated; immersion; laboratory; mass loss; metals; pitting

REFERENCES

- (1) Fisher, A. O., and Whitney, Jr., F. L., "Laboratory Methods for Determining Corrosion Rates Under Heat Flux Conditions," *Corrosion*, Vol 15, No. 5, May 1959, p. 257t.
- (2) U.S. Patent 3,228,236, 1969.
- (3) "Stress Corrosion Test Environments and Test Durations," *Symposium on Stress Corrosion Testing, ASTM STP 425*, ASTM, 1967.
- (4) Wachter, A., and Treseder, R. S., "Corrosion Testing Evaluation of Metals for Process Equipment," *Chemical Engineering Progress*, Vol 43, June 1947, pp. 315-326.
- (5) Mickle, H. S., Sherwood, T. K., and Reed, C. E. editors, *Applied Mathematics in Chemical Engineering* 2nd Edition, McGraw-Hill Book Co., New York, NY 1957.
- (6) Youden, W. J., *Experimentation and Measurement*, National Science Teachers Assn., Washington, DC, 1962.
- (7) Booth, F. F., and Tucker, G. E. G., "Statistical Distribution of Endurance in Electrochemical Stress-Corrosion Tests," *Corrosion*, Vol 21, No. 5, May 1965, pp. 173-177.
- (8) Champion, F. A., *Corrosion Testing Procedures*, 2nd Edition, John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, 1965.






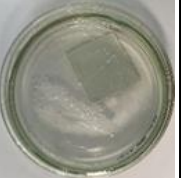
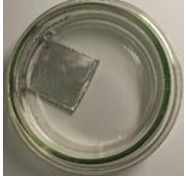


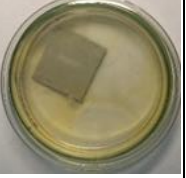





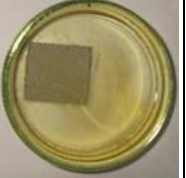


The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428.

This standard is copyrighted by ASTM, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9685 (phone), 610-832-9655 (fax), or [service@astm.org](mailto:service@astm.org) (e-mail), or through the ASTM website (<http://www.astm.org>).

**Anexo 4. Fotografías del montaje de cajas Petri de las láminas en solución en el laboratorio antes y después de la prueba.**

*Tabla 26. Resultados muestra de Aluminio expuesto a HCl, Inhibidor convencional Corrtreat 7395 e Inhibidor Orgánico.*

<b>LOTE 1. ALUMINIO</b>					
<b>HCl</b>		<b>INHIBIDOR CONVENCIONAL CORRTREAT 7395</b>		<b>INHIBIDOR ORGÁNICO</b>	
<i>Dia 1</i>	<i>Dia 11</i>	<i>Dia 1</i>	<i>Dia 11</i>	<i>Dia 1</i>	<i>Dia 11</i>
					
					
					

*Fuente: Elaboración propia*

En las imágenes de la Tabla 27, se puede observar que aparentemente las láminas no se vieron afectadas, sin embargo, el aluminio reacciona con el ácido formando moléculas de hidrógeno que se manifiestan como pequeñas burbujas sobre la superficie del metal.

Adicionalmente, en las láminas a las que se les aplicó el inhibidor convencional, se observa como una de ellas tomo un color lechoso, esto podría indicar pérdida del material en la solución debido a que fue atacada con mayor veracidad.

Tabla 27. Resultados muestra de acero inoxidable 304 expuesto a HCl, Inhibidor convencional Corrtreat 7395 e Inhibidor Orgánico.










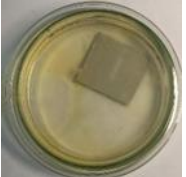


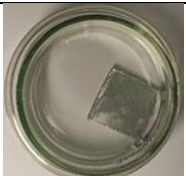




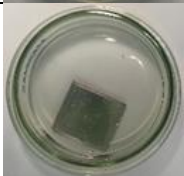
<b>LOTE 1. ACERO INOXIDABLE 304</b>					
<i>HCl</i>		<i>INHIBIDOR CONVENCIONAL CORRTREAT 7395</i>		<i>INHIBIDOR ORGÁNICO</i>	
<i>Dia 1</i>	<i>Dia 11</i>	<i>Dia 1</i>	<i>Dia 11</i>	<i>Dia 1</i>	<i>Dia 11</i>
					
					
					

Fuente: Elaboración propia

En la compilación de imágenes expuestas en la Tabla 28, se puede observar a simple vista, que el acero sufrió una afectación en algunas de las láminas bajo estudio, notándose un cambio en su coloración, además de la formación de una película de color negro, de la que se desconoce su composición, la cual se pudo formar por una pérdida de su capa protectora al intentar contrarrestar el ataque ácido y que también pudo estar influenciada a un mal proceso de lijado, lo que a su vez desencadenó interacciones químicas entre la superficie del metal y el medio ácido que llevaron a la pérdida del material. El color azul puede estar asociado a la formación de cloruro de aluminio.

Es importante mencionar que los casos especiales en los que el acero cambio su coloración a negro y el líquido se tornó azul, no fueron tomados en cuenta, ya que sus datos no eran consecuentes con los demás y el análisis debe realizarse bajo las mismas condiciones.



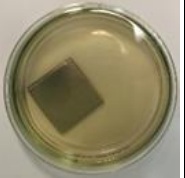

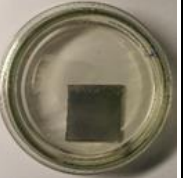
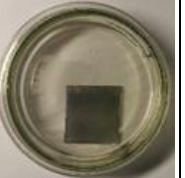


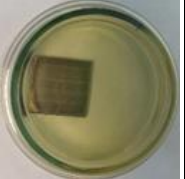


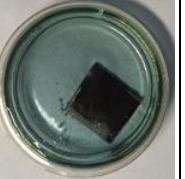


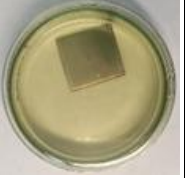
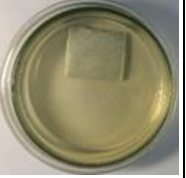
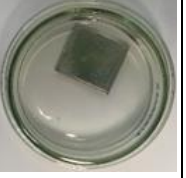
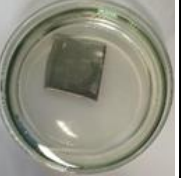
*Tabla 28. Resultados muestra de Aluminio expuesto a HCl con una concentración de 2000 ppm de nanopartícula, Inhibidor convencional Corrtreat 7395 e Inhibidor Orgánico con una concentración de 2000 ppm de nanopartícula.*

<b>LOTE 2. ALUMINIO</b>					
<i>HCl + Nanopartícula CQDs (0.2g en 1000 ml agua destilada)</i>		<i>INHIBIDOR CONVENCIONAL CORRTREAT 7395</i>		<i>INHIBIDOR ORGÁNICO + Nanopartícula CQDs (0.2g en 1000 ml agua destilada)</i>	
<i>Dia 1</i>	<i>Dia 11</i>	<i>Dia 1</i>	<i>Dia 11</i>	<i>Dia 1</i>	<i>Dia 11</i>
					
					
					

*Fuente: Elaboración propia*

Al igual que en el caso anterior en las imágenes de la Tabla 29, no se observan cambios representativos sobre la superficie de las láminas o en la coloración de la sustancia de inmersión, sin embargo, se destaca la formación de pequeñas burbujas sobre la superficie del metal como en los casos anteriores.




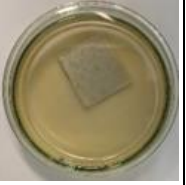

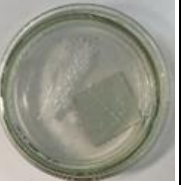



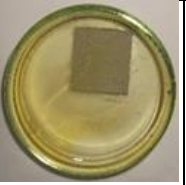
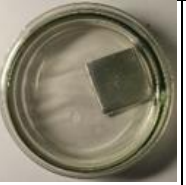

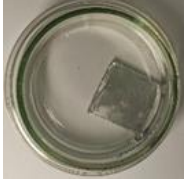


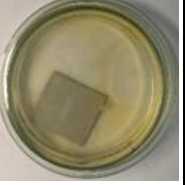


Tabla 29. Resultados muestra de Acero inoxidable 304 expuesto a HCl con una concentración de 2000 ppm de nanopartícula, Inhibidor convencional Corrtreat 7395 e Inhibidor Orgánico con una concentración de 2000 ppm de nanopartícula.

<b>LOTE 2. ACERO INOXIDABLE 304</b>					
<i>HCl + Nanopartícula CQDs (0.2g en 1000 ml agua destilada)</i>		<i>INHIBIDOR CONVENCIONAL CORRTREAT 7395</i>		<i>INHIBIDOR ORGÁNICO + Nanopartícula CQDs (0.2g en 1000 ml agua destilada)</i>	
<i>Dia 1</i>	<i>Dia 11</i>	<i>Dia 1</i>	<i>Dia 11</i>	<i>Dia 1</i>	<i>Dia 11</i>
					
					
					

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 30, se puede apreciar nuevamente la formación de una película de color negro y un cambio de coloración en algunas de las láminas evaluadas. De lo anterior, se hace énfasis en el lote inmerso en inhibidor orgánico y CQDs, pues este comportamiento es inesperado y se asocia a un mal rendimiento de este.

Tabla 30. Resultados muestra de Aluminio expuesto a HCl con una concentración de 200 ppm de nanopartícula, Inhibidor convencional Corrtreat 7395 e Inhibidor Orgánico con una concentración de 200 ppm de nanopartícula.

<b>LOTE 3. ALUMINIO</b>					
<i>HCl + Nanopartícula CQDs (0.2g en 100 ml agua destilada)</i>		<i>INHIBIDOR CONVENCIONAL CORRTREAT 7395</i>		<i>INHIBIDOR ORGÁNICO + Nanopartícula CQDs (0.2g en 100 ml agua destilada)</i>	
<i>Dia 1</i>	<i>Dia 11</i>	<i>Dia 1</i>	<i>Dia 11</i>	<i>Dia 1</i>	<i>Dia 11</i>
					
					
					

Fuente: Elaboración propia

En las imágenes expuestas en la Tabla 31, no se observa ningún cambio en el material bajo estudio, lo que sugiere un rendimiento favorable para las 3 soluciones evaluadas, sin embargo, requiere revisión de las demás pruebas para determinar cuál de las 3 fue más eficaz a la hora de combatir la corrosión.



Tabla 31. Resultados muestra de Acero inoxidable 304 expuesto a HCl con una concentración de 200 ppm de nanopartícula, Inhibidor convencional Corrtreat 7395 e Inhibidor Orgánico con una concentración de 200 ppm de nanopartícula.

<b>LOTE 3. ACERO INOXIDABLE 304</b>					
<i>HCl + Nanopartícula CQDs (0.2g en 100 ml agua destilada)</i>		<i>INHIBIDOR CONVENCIONAL CORRTREAT 7395</i>		<i>INHIBIDOR ORGÁNICO + Nanopartícula CQDs (0.2g en 100 ml agua destilada)</i>	
<i>Dia 1</i>	<i>Dia 11</i>	<i>Dia 1</i>	<i>Dia 11</i>	<i>Dia 1</i>	<i>Dia 11</i>
					
					
					

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, en la Tabla 32, se puede notar nuevamente la formación de una película de color negro y un cambio en la tonalidad de la sustancia de inmersión en algunas de las láminas evaluadas. Para determinar el efecto que esta tiene sobre las mismas, es necesario inspeccionar los datos arrojados en las demás pruebas. Adicionalmente en las láminas protegidas por el inhibidor orgánico en combinación con las CQDs, no se observó ningún cambio, lo que podría indicar que estas fueron protegidas por su acción inhibitoria.

## Anexo 5. Tablas evaluación financiera

Tabla 32. Costos de operación del campo.

<b>PERIODO (ANUAL)</b>	<b>PRODUCCIÓN (BBL)</b>	<b>LIFTING COST (USD/BBL)</b>	<b>USD</b>
1	72.663	20	\$1.453.260
2	131.933	20	\$2.638.660
3	115.140	20	\$2.302.800
4	59.290	20	\$1.185.800
5	35.330	20	\$706.600
6	42.760	20	\$855.200
7	49.220	20	\$984.400
8	38.880	20	\$777.600
9	21.000	20	\$420.000
10	13.960	20	\$279.200
11	10.830	20	\$216.600
12	9.710	20	\$194.200
13	9.000	20	\$180.000
14	8.440	20	\$168.800
15	8.010	20	\$160.200
16	7.510	20	\$150.200
17	6.840	20	\$136.800
18	6.160	20	\$123.200
19	5.650	20	\$113.000
20	5.280	20	\$105.600
21	5.000	20	\$100.000
22	4.740	20	\$94.800
23	4.440	20	\$88.800
24	4.090	20	\$81.800
25	3.810	20	\$76.200
26	3.580	20	\$71.600
27	3.430	20	\$68.600
28	3.300	20	\$66.000
29	3.200	20	\$64.000
30	3.080	20	\$61.600

Fuente: *Adaptado de Lozada y Rivera (2022).*

*Tabla 33. Producción Neta de Crudo.*

<b>PERIODO (ANUAL)</b>	<b>PRODUCCIÓN (Bbl)</b>	<b>REGALÍAS (8%)</b>	<b>PRODUCCIÓN NETA (BBL)</b>
<b>1</b>	72.663	5813	66.850
<b>2</b>	131.933	10555	121.378
<b>3</b>	115.140	9211	105.929
<b>4</b>	59.290	4743	54.547
<b>5</b>	35.330	2826	32.504
<b>6</b>	42.760	3421	39.339
<b>7</b>	49.220	3938	45.282
<b>8</b>	38.880	3110	35.770
<b>9</b>	21.000	1680	19.320
<b>10</b>	13.960	1117	12.843
<b>11</b>	10.830	866	9.964
<b>12</b>	9.710	777	8.933
<b>13</b>	9.000	720	8.280
<b>14</b>	8.440	675	7.765
<b>15</b>	8.010	641	7.369
<b>16</b>	7.510	601	6.909
<b>17</b>	6.840	547	6.293
<b>18</b>	6.160	493	5.667
<b>19</b>	5.650	452	5.198
<b>20</b>	5.280	422	4.858
<b>21</b>	5.000	400	4.600
<b>22</b>	4.740	379	4.361
<b>23</b>	4.440	355	4.085
<b>24</b>	4.090	327	3.763
<b>25</b>	3.810	305	3.505
<b>26</b>	3.580	286	3.294
<b>27</b>	3.430	274	3.156
<b>28</b>	3.300	264	3.036
<b>29</b>	3.200	256	2.944
<b>30</b>	3.080	246	2.834

Fuente: *Adaptado de Lozada y Rivera (2022).*

Tabla 34. Ingresos escenario pesimista.

<b>PERIODO (ANUAL)</b>	<b>PRODUCCIÓN NETA (BBL)</b>	<b>PRECIO DE VENTA (USD/BBL)</b>	<b>DESCUENTO POR TRANSPORTE Y CALIDAD</b>	<b>INGRESOS (USD)</b>
<b>1</b>	66850	\$ 60	\$ 6	\$ 3,609,898
<b>2</b>	121378	\$ 60	\$ 6	\$ 6,554,431
<b>3</b>	105929	\$ 60	\$ 6	\$ 5,720,155
<b>4</b>	54547	\$ 60	\$ 6	\$ 2,945,527
<b>5</b>	32504	\$ 60	\$ 6	\$ 1,755,194
<b>6</b>	39339	\$ 60	\$ 6	\$ 2,124,317
<b>7</b>	45282	\$ 60	\$ 6	\$ 2,445,250
<b>8</b>	35770	\$ 60	\$ 6	\$ 1,931,558
<b>9</b>	19320	\$ 60	\$ 6	\$ 1,043,280
<b>10</b>	12843	\$ 60	\$ 6	\$ 693,533
<b>11</b>	9964	\$ 60	\$ 6	\$ 538,034
<b>12</b>	8933	\$ 60	\$ 6	\$ 482,393
<b>13</b>	8280	\$ 60	\$ 6	\$ 447,120
<b>14</b>	7765	\$ 60	\$ 6	\$ 419,299
<b>15</b>	7369	\$ 60	\$ 6	\$ 397,937
<b>16</b>	6909	\$ 60	\$ 6	\$ 373,097
<b>17</b>	6293	\$ 60	\$ 6	\$ 339,811
<b>18</b>	5667	\$ 60	\$ 6	\$ 306,029
<b>19</b>	5198	\$ 60	\$ 6	\$ 280,692
<b>20</b>	4858	\$ 60	\$ 6	\$ 262,310
<b>21</b>	4600	\$ 60	\$ 6	\$ 248,400
<b>22</b>	4361	\$ 60	\$ 6	\$ 235,483
<b>23</b>	4085	\$ 60	\$ 6	\$ 220,579
<b>24</b>	3763	\$ 60	\$ 6	\$ 203,191
<b>25</b>	3505	\$ 60	\$ 6	\$ 189,281
<b>26</b>	3294	\$ 60	\$ 6	\$ 177,854
<b>27</b>	3156	\$ 60	\$ 6	\$ 170,402
<b>28</b>	3036	\$ 60	\$ 6	\$ 163,944
<b>29</b>	2944	\$ 60	\$ 6	\$ 158,976
<b>30</b>	2834	\$ 60	\$ 6	\$ 153,014

Fuente: Adaptado de Lozada y Rivera (2022).

Tabla 35. Ingresos escenario moderado.

<b>PERIODO (ANUAL)</b>	<b>PRODUCCIÓN NETA (BBL)</b>	<b>PRECIO DE VENTA (USD/BBL)</b>	<b>DESCUENTO POR TRANSPORTE Y CALIDAD</b>	<b>INGRESOS NETOS (USD)</b>
1	66850	\$ 80	\$ 6	\$ 4,946,897
2	121378	\$ 80	\$ 6	\$ 8,981,999
3	105929	\$ 80	\$ 6	\$ 7,838,731
4	54547	\$ 80	\$ 6	\$ 4,036,463
5	32504	\$ 80	\$ 6	\$ 2,405,266
6	39339	\$ 80	\$ 6	\$ 2,911,101
7	45282	\$ 80	\$ 6	\$ 3,350,898
8	35770	\$ 80	\$ 6	\$ 2,646,950
9	19320	\$ 80	\$ 6	\$ 1,429,680
10	12843	\$ 80	\$ 6	\$ 950,397
11	9964	\$ 80	\$ 6	\$ 737,306
12	8933	\$ 80	\$ 6	\$ 661,057
13	8280	\$ 80	\$ 6	\$ 612,720
14	7765	\$ 80	\$ 6	\$ 574,595
15	7369	\$ 80	\$ 6	\$ 545,321
16	6909	\$ 80	\$ 6	\$ 511,281
17	6293	\$ 80	\$ 6	\$ 465,667
18	5667	\$ 80	\$ 6	\$ 419,373
19	5198	\$ 80	\$ 6	\$ 384,652
20	4858	\$ 80	\$ 6	\$ 359,462
21	4600	\$ 80	\$ 6	\$ 340,400
22	4361	\$ 80	\$ 6	\$ 322,699
23	4085	\$ 80	\$ 6	\$ 302,275
24	3763	\$ 80	\$ 6	\$ 278,447
25	3505	\$ 80	\$ 6	\$ 259,385
26	3294	\$ 80	\$ 6	\$ 243,726
27	3156	\$ 80	\$ 6	\$ 233,514
28	3036	\$ 80	\$ 6	\$ 224,664
29	2944	\$ 80	\$ 6	\$ 217,856
30	2834	\$ 80	\$ 6	\$ 209,686

Fuente: Adaptado de Lozada y Rivera (2022).

Tabla 36. Ingresos escenario optimista.

<b>PERIODO (ANUAL)</b>	<b>PRODUCCIÓN NETA (BBL)</b>	<b>PRECIO DE VENTA (USD/BBL)</b>	<b>DESCUENTO POR TRANSPORTE Y CALIDAD</b>	<b>INGRESOS NETOS (USD)</b>
<b>1</b>	66849.96	100	\$ 6	\$ 6,283,896
<b>2</b>	121378	\$ 100	\$ 6	\$ 11,409,566
<b>3</b>	105929	\$ 100	\$ 6	\$ 9,957,307
<b>4</b>	54547	\$ 100	\$ 6	\$ 5,127,399
<b>5</b>	32504	\$ 100	\$ 6	\$ 3,055,338
<b>6</b>	39339	\$ 100	\$ 6	\$ 3,697,885
<b>7</b>	45282	\$ 100	\$ 6	\$ 4,256,546
<b>8</b>	35770	\$ 100	\$ 6	\$ 3,362,342
<b>9</b>	19320	\$ 100	\$ 6	\$ 1,816,080
<b>10</b>	12843	\$ 100	\$ 6	\$ 1,207,261
<b>11</b>	9964	\$ 100	\$ 6	\$ 936,578
<b>12</b>	8933	\$ 100	\$ 6	\$ 839,721
<b>13</b>	8280	\$ 100	\$ 6	\$ 778,320
<b>14</b>	7765	\$ 100	\$ 6	\$ 729,891
<b>15</b>	7369	\$ 100	\$ 6	\$ 692,705
<b>16</b>	6909	\$ 100	\$ 6	\$ 649,465
<b>17</b>	6293	\$ 100	\$ 6	\$ 591,523
<b>18</b>	5667	\$ 100	\$ 6	\$ 532,717
<b>19</b>	5198	\$ 100	\$ 6	\$ 488,612
<b>20</b>	4858	\$ 100	\$ 6	\$ 456,614
<b>21</b>	4600	\$ 100	\$ 6	\$ 432,400
<b>22</b>	4361	\$ 100	\$ 6	\$ 409,915
<b>23</b>	4085	\$ 100	\$ 6	\$ 383,971
<b>24</b>	3763	\$ 100	\$ 6	\$ 353,703
<b>25</b>	3505	\$ 100	\$ 6	\$ 329,489
<b>26</b>	3294	\$ 100	\$ 6	\$ 309,598
<b>27</b>	3156	\$ 100	\$ 6	\$ 296,626
<b>28</b>	3036	\$ 100	\$ 6	\$ 285,384
<b>29</b>	2944	\$ 100	\$ 6	\$ 276,736
<b>30</b>	2834	\$ 100	\$ 6	\$ 266,358

Fuente: Adaptado de Lozada y Rivera (2022).

Tabla 37. Flujo de caja escenario pesimista.

<b>AÑO</b>	<b>INVERSION</b>	<b>EGRESO</b>	<b>INGRESO</b>	<b>GANANCIA</b>
<b>2000</b>	\$ 1,428,851			
<b>2001</b>		\$ 1,453,260	\$ 3,609,898	\$ 2,156,638
<b>2002</b>		\$ 2,638,660	\$ 6,554,431	\$ 3,915,771
<b>2003</b>		\$ 2,302,800	\$ 5,720,155	\$ 3,417,355
<b>2004</b>		\$ 1,185,800	\$ 2,945,527	\$ 1,759,727
<b>2005</b>		\$ 706,600	\$ 1,755,194	\$ 1,048,594
<b>2006</b>		\$ 855,200	\$ 2,124,317	\$ 1,269,117
<b>2007</b>		\$ 984,400	\$ 2,445,250	\$ 1,460,850
<b>2008</b>		\$ 777,600	\$ 1,931,558	\$ 1,153,958
<b>2009</b>		\$ 420,000	\$ 1,043,280	\$ 623,280
<b>2010</b>		\$ 279,200	\$ 693,533	\$ 414,333
<b>2011</b>		\$ 216,600	\$ 538,034	\$ 321,434
<b>2012</b>		\$ 194,200	\$ 482,393	\$ 288,193
<b>2013</b>		\$ 180,000	\$ 447,120	\$ 267,120
<b>2014</b>		\$ 168,800	\$ 419,299	\$ 250,499
<b>2015</b>		\$ 160,200	\$ 397,937	\$ 237,737
<b>2016</b>		\$ 150,200	\$ 373,097	\$ 222,897
<b>2017</b>		\$ 136,800	\$ 339,811	\$ 203,011
<b>2018</b>		\$ 123,200	\$ 306,029	\$ 182,829
<b>2019</b>		\$ 113,000	\$ 280,692	\$ 167,692
<b>2020</b>		\$ 105,600	\$ 262,310	\$ 156,710
<b>2021</b>		\$ 100,000	\$ 248,400	\$ 148,400
<b>2022</b>		\$ 94,800	\$ 235,483	\$ 140,683
<b>2023</b>		\$ 88,800	\$ 220,579	\$ 131,779
<b>2024</b>		\$ 81,800	\$ 203,191	\$ 121,391
<b>2025</b>		\$ 76,200	\$ 189,281	\$ 113,081
<b>2026</b>		\$ 71,600	\$ 177,854	\$ 106,254
<b>2027</b>		\$ 68,600	\$ 170,402	\$ 101,802
<b>2028</b>		\$ 66,000	\$ 163,944	\$ 97,944
<b>2029</b>		\$ 64,000	\$ 158,976	\$ 94,976
<b>2030</b>		\$ 61,600	\$ 153,014	\$ 91,414

Fuente: *Adaptado de Lozada y Rivera (2022).*

Tabla 38. Flujo de caja escenario central.

<b>AÑO</b>	<b>INVERSIÓN</b>	<b>EGRESO</b>	<b>INGRESO</b>	<b>GANANCIAS</b>
	<b>N</b>			<b>A</b>
<b>2000</b>	\$ 1,428,851			
<b>2001</b>		\$ 1,453,260	\$ 4,946,897	\$ 3,493,637
<b>2002</b>		\$ 2,638,660	\$ 8,981,999	\$ 6,343,339
<b>2003</b>		\$ 2,302,800	\$ 7,838,731	\$ 5,535,931
<b>2004</b>		\$ 1,185,800	\$ 4,036,463	\$ 2,850,663
<b>2005</b>		\$ 706,600	\$ 2,405,266	\$ 1,698,666
<b>2006</b>		\$ 855,200	\$ 2,911,101	\$ 2,055,901
<b>2007</b>		\$ 984,400	\$ 3,350,898	\$ 2,366,498
<b>2008</b>		\$ 777,600	\$ 2,646,950	\$ 1,869,350
<b>2009</b>		\$ 420,000	\$ 1,429,680	\$ 1,009,680
<b>2010</b>		\$ 279,200	\$ 950,397	\$ 671,197
<b>2011</b>		\$ 216,600	\$ 737,306	\$ 520,706
<b>2012</b>		\$ 194,200	\$ 661,057	\$ 466,857
<b>2013</b>		\$ 180,000	\$ 612,720	\$ 432,720
<b>2014</b>		\$ 168,800	\$ 574,595	\$ 405,795
<b>2015</b>		\$ 160,200	\$ 545,321	\$ 385,121
<b>2016</b>		\$ 150,200	\$ 511,281	\$ 361,081
<b>2017</b>		\$ 136,800	\$ 465,667	\$ 328,867
<b>2018</b>		\$ 123,200	\$ 419,373	\$ 296,173
<b>2019</b>		\$ 113,000	\$ 384,652	\$ 271,652
<b>2020</b>		\$ 105,600	\$ 359,462	\$ 253,862
<b>2021</b>		\$ 100,000	\$ 340,400	\$ 240,400
<b>2022</b>		\$ 94,800	\$ 322,699	\$ 227,899
<b>2023</b>		\$ 88,800	\$ 302,275	\$ 213,475
<b>2024</b>		\$ 81,800	\$ 278,447	\$ 196,647
<b>2025</b>		\$ 76,200	\$ 259,385	\$ 183,185
<b>2026</b>		\$ 71,600	\$ 243,726	\$ 172,126
<b>2027</b>		\$ 68,600	\$ 233,514	\$ 164,914
<b>2028</b>		\$ 66,000	\$ 224,664	\$ 158,664
<b>2029</b>		\$ 64,000	\$ 217,856	\$ 153,856
<b>2030</b>		\$ 61,600	\$ 209,686	\$ 148,086

Fuente: Adaptado de Lozada y Rivera (2022).



Tabla 39. Flujo de caja escenario optimista.

<b>AÑO</b>	<b>INVERSION</b>	<b>EGRESO</b>	<b>INGRESO</b>	<b>GANANCIA</b>
<b>2000</b>	\$ 1,428,851			
<b>2001</b>		\$ 1,453,260	\$ 6,283,896	\$ 4,830,636
<b>2002</b>		\$ 2,638,660	\$11,409,566	\$ 8,770,906
<b>2003</b>		\$ 2,302,800	\$ 9,957,307	\$ 7,654,507
<b>2004</b>		\$ 1,185,800	\$ 5,127,399	\$ 3,941,599
<b>2005</b>		\$ 706,600	\$ 3,055,338	\$ 2,348,738
<b>2006</b>		\$ 855,200	\$ 3,697,885	\$ 2,842,685
<b>2007</b>		\$ 984,400	\$ 4,256,546	\$ 3,272,146
<b>2008</b>		\$ 777,600	\$ 3,362,342	\$ 2,584,742
<b>2009</b>		\$ 420,000	\$ 1,816,080	\$ 1,396,080
<b>2010</b>		\$ 279,200	\$ 1,207,261	\$ 928,061
<b>2011</b>		\$ 216,600	\$ 936,578	\$ 719,978
<b>2012</b>		\$ 194,200	\$ 839,721	\$ 645,521
<b>2013</b>		\$ 180,000	\$ 778,320	\$ 598,320
<b>2014</b>		\$ 168,800	\$ 729,891	\$ 561,091
<b>2015</b>		\$ 160,200	\$ 692,705	\$ 532,505
<b>2016</b>		\$ 150,200	\$ 649,465	\$ 499,265
<b>2017</b>		\$ 136,800	\$ 591,523	\$ 454,723
<b>2018</b>		\$ 123,200	\$ 532,717	\$ 409,517
<b>2019</b>		\$ 113,000	\$ 488,612	\$ 375,612
<b>2020</b>		\$ 105,600	\$ 456,614	\$ 351,014
<b>2021</b>		\$ 100,000	\$ 432,400	\$ 332,400
<b>2022</b>		\$ 94,800	\$ 409,915	\$ 315,115
<b>2023</b>		\$ 88,800	\$ 383,971	\$ 295,171
<b>2024</b>		\$ 81,800	\$ 353,703	\$ 271,903
<b>2025</b>		\$ 76,200	\$ 329,489	\$ 253,289
<b>2026</b>		\$ 71,600	\$ 309,598	\$ 237,998
<b>2027</b>		\$ 68,600	\$ 296,626	\$ 228,026
<b>2028</b>		\$ 66,000	\$ 285,384	\$ 219,384
<b>2029</b>		\$ 64,000	\$ 276,736	\$ 212,736
<b>2030</b>		\$ 61,600	\$ 266,358	\$ 204,758

Fuente: *Adaptado de Lozada y Rivera (2022).*