

**Análisis de inhibidores de corrosión elaborados con extractos de plantas como alternativa para la mitigación de problemas de corrosión en sistemas de transporte y almacenamiento de crudo y sus derivados**

Pedro Luis Santamaría Galvis

Programa Ingeniería Ambiental

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente

Universidad Nacional Abierta y a Distancia

Director:

María Fernanda Domínguez Amorocho

13 de agosto de 2021

## **Dedicatoria**

A las mujeres más importantes en vida, mi esposa y mi madre quienes en todo el camino siempre han puesto su fe y optimismo en los proyectos que he emprendido en la vida y nunca han negado una palabra de apoyo o un abrazo que reconforta cuando el andar es lento y el camino difícil.

## Resumen

Se realiza la investigación documental sobre las alternativas naturales basadas en extractos de plantas como inhibidores para el control efectivo de problemas de corrosión en aceros dentro de algunas industrias como el sector de producción y transporte de hidrocarburos y sus refinados, dentro de los propósitos de la investigación están: 1) Mencionar los principales impactos generados por la aplicación de inhibidores de corrosión sintéticos debido a sus características químicas 2) Mencionar los impactos ambientales, sociales y económicos que se podrían generar por el uso de inhibidores de corrosión a base de extractos de plantas, 3) abarcar el tema de costos en la economía de las naciones por problemas de corrosión. 4) presentar los impactos ambientales directos e indirectos por la pérdida de contención de productos por culpa de la corrosión; En este estudio se pretende presentar las características químicas especiales de los inhibidores de corrosión comerciales que los hacen potencialmente tóxicos para el medio ambiente y para el ser humano, también presentar los resultados obtenidos en estudios realizados con extractos de plantas como pimienta negra, manzanilla, eucalipto como se exponen en (Valladeros Cisneros, Melgoza Alemán, & Cuevas Arteaga).

### **Abstract**

Documentary research is carried out on natural alternatives based on plant extracts as inhibitors for the effective control of corrosion problems in steels within some industries such as the production and transport sector of hydrocarbons and their refined products. This research includes the following purposes: 1) Mention the main impacts generated by the application of synthetic corrosion inhibitors due to their chemical characteristics 2) Mention the environmental, social, and economic impacts that could be generated by the use of corrosion inhibitors based on plant extracts, 3) cover the issue of costs in the economy of nations due to corrosion problems. 4) present the direct and indirect environmental impacts due to the loss of containment of products due to corrosion; This study aims to present the special chemical characteristics of commercial corrosion inhibitors that make them potentially toxic to the environment and to humans, as well as to present the results obtained in studies carried out with plant extracts such as black pepper, chamomile, eucalyptus. as shown in (Valladeros Cisneros, Melgoza Alemán and Cuevas Arteaga).

## Contenido

Aspectos Generales sobre Corrosión .....	15
Definición de corrosión.....	15
Celda de Corrosión.....	16
Tipos de corrosión mas conocidos .....	18
Corrosión Generalizada.....	19
Corrosión localizada.....	20
Corrosión Galvánica.....	23
Corrosión – erosión .....	25
Corrosión influenciada microbiológicamente (MIC).....	26
Control desde la celda de corrosión .....	27
Limpieza interna de tuberías .....	28
Tratamiento químico .....	30
Inhibidores de corrosión.....	30
Clasificación de inhibidores.....	31
Inhibidores anódicos .....	31
Inhibidores Catódicos.....	32
Sistemas de transporte y almacenamiento de hidrocarburos.....	33
Sistema de recolección.....	33
Cabezal de pozo .....	35
Tubería de transporte.....	35

Manifold o múltiples de recolección .....	36
Separadores .....	37
Gun Barrels .....	38
FWKO .....	38
Tanques de almacenamiento .....	39
Sistemas de transporte.....	39
Oleoductos.....	39
Poliductos.....	41
Manejo de sustancias químicas y vertimientos .....	42
Toxic Substances Control Act (TSCA) Ley de control de sustancias tóxicas. ....	42
Reglamento (CE) n o 1907/2006 del Parlamento Europeo.....	43
Inyección, recorrido y disposición final de inhibidores. ....	44
En sistemas de producción de hidrocarburos .....	44
En líneas generales para facilidades de producción.....	45
En tanques de producción y almacenamiento .....	45
En Oleoductos y poliductos .....	46
Interacción de inhibidores con el ambiente natural.....	46
Técnicas de evaluación de eficiencia para inhibidores de corrosión .....	49
Resistencia a la polarización lineal (LPR) .....	49
Gravimetría ( Cupones de corrosión).....	50
Espectroscopia de impedancia electroquímica.....	50
Inhibidores de corrosión a base de extractos de plantas .....	51

Tagetes erecta (Cempasúchil, flor de muerto, flor de caléndula).....	52
Extracto de cascara de Sandia en medios acidos .....	53
Extracto de fibra de coco en alcohol y acetona en medio acido .....	54
Extractos de Neolamarckia cadamba en medio ácido (Corteza, Hojas) .....	55
Estudio general inhibidores (2014) (L.S, T.O, O.B, A.G, C.I, A.S, C.T, TA).....	56
Jugo de durazno en medio acido (HCL 1M).....	57
Extracto de Dardagan en medio ácido .....	58
Extracto de pulpa de albaricoque en 2-propanol.....	59
Extracto de la corteza de Acacia catechu en medio ácido.....	61
Generalidades de los extractos de plantas como inhibidores de corrosión.....	62
Concentraciones del extracto .....	63
Tiempo de exposición y temperatura .....	69
Beneficios de la implementación futura de inhibidores naturales .....	73
Mitigación de compuestos toxicos en las corrientes de aire .....	75
Manejo del riesgo en derrames accidentales de inhibidores .....	76
Identificación de un producto peligroso (inhibidor de corrosión).....	76
Conclusiones .....	80
Bibliografía .....	82

## Introducción

El control de los fenómenos de corrosión interna por medio de inhibidores de corrosión es una metodología ampliamente conocida en la industria petrolera, de igual forma son conocidos sus efectos negativos sobre el ambiente en especial sobre la vida acuática, una solución efectiva para mitigar los problemas adversos de este sistema de control es el desarrollo de formulaciones novedosas basadas en los extractos obtenidos de las plantas (hojas, tallos, semillas, corteza, raíz) que por medio de sus propiedades naturales antioxidantes generan procesos de inhibición muy efectivos bajo ciertas condiciones; En todo el mundo se han realizado investigaciones teóricas y experimentales para establecer las propiedades de inhibición de algunas plantas y la revisión y comprensión de estos estudios es el propósito de este trabajo en el cual se desarrolla una introducción al fenómeno de corrosión exponiendo inicialmente sus generalidades como conceptos necesarios para la comprensión del tema y los tipos de corrosión más conocidos en la industria tales como corrosión generalizada, corrosión localizada, corrosión influenciada por microorganismos (MIC) por sus siglas en inglés entre otros fenómenos.

La celda de corrosión se maneja como el principio básico del sistema electroquímico en el proceso de corrosión, en el presente trabajo se encuentra expresado de manera general la metodología de limpiezas internas de tuberías en la industria petrolera y el tratamiento químico como mecanismo de control de la corrosión interna, y el uso necesario de estos productos químicos puede ser remplazado por compuestos amigables con el ambiente como lo son los extractos de plantas.

Continuando con una revisión previa de la información se presenta muy brevemente los sistemas de transporte y almacenamiento en la industria petrolera la cual se pretende proteger



con los inhibidores de corrosión, comprender en que consiste nos permite identificar la magnitud de los impactos que se pueden generar si no se aplican los sistemas control de corrosión necesarios tanto en tanques como líneas de transporte (Oleoductos, Poliductos).

La introducción a los estudios de extractos de plantas se presenta en este documento con los resultados más relevante de los estudios adjuntos en este documento resaltando el proceso de extracción utilizado y las técnicas electroquímicas de medición de eficiencia de los así como los procesos gravimétricos realizados en algunos estudios, la información se presenta de manera gráfica en forma de tablas para comprender mejor la capacidad de inhibición que estos productos naturales ofrecen a la industria.

Los resultados de los estudios son evaluados de manera comparativa con los inhibidores de corrosión comerciales y sus efectos nocivos en el ambiente, resaltando las oportunidades de mejora en los procesos de inhibición que ofrecen los extractos de planta tales como la capacidad de resistir los procesos de degradación en altas temperaturas, como también la oportunidad de obtener los compuestos principales de restos vegetales de procesos industriales que generan gran cantidad de subproductos orgánicos que pueden ser aprovechados.

## Planteamiento del problema

En todo tipo de industria en la cual su infraestructura tenga bases metálicas, los problemas de corrosión van a existir y los propietarios siempre están en la búsqueda de cómo proteger sus activos, para esto hay diferentes alternativas dependiendo de algunos factores como el tipo de metal, la industria específica y los agentes químicos y físicos a los que están expuestos los sistemas metálicos; una de estas soluciones es el uso continuo de inhibidores de corrosión que son sustancias las cuales, cuando son adicionadas al medio ambiente decrece la velocidad de ataque debido al mismo” (NACE INTERNATIONAL, 2004) en términos de corrosión dice poco, igualmente en términos ambientales, esta ambigüedad se ve reflejada en la discreción y secreto empresarial ya que la gran mayoría de productos no reflejan en sus nombres o en sus etiquetas la composición o porcentajes de sus componentes más sin embargo son ampliamente conocidos y la mayoría de sus características químicas son altamente tóxicas o agresivas para el medio ambiente y la salud del ser humano; El uso continuo de los inhibidores comerciales generan la acumulación de compuestos tóxicos en sistemas de aguas subterráneas por inyección o superficiales por disposición final de fluidos de producción en fuentes hídricas, contaminación del suelo por derrames de productos químicos, alteraciones en la salud del personal involucrado con el manejo directo de sustancias químicas, estos agravantes directos asociados al producto químico como tal son de igual importancia que aquellos impactos generados por no usar inhibidores en sistemas de almacenamiento y transporte de hidrocarburos y sus derivados, estamos hablando de pérdida de contención de producto en diferentes ecosistemas afectando negativamente sus componentes y generando afectaciones directas en la salud de las poblaciones “entre dichos daños se encuentran, cáncer, malformaciones y abortos espontáneos” (Roa Avendaño , 2020); Los problemas directos asociados al uso continuo de los inhibidores de

corrosión comerciales son de interés no solo industriales, sino también científicos por tal motivo se pueden encontrar diferentes artículos científicos sobre alternativas para el control de corrosión con metodologías físicos y/ o naturales, también se ha abarcado el tema de degradación de los inhibidores por microorganismos, esto demuestra un gran interés por la comunidad académica por descubrir otros caminos más rentables y amigables con el medio ambiente que puedan ser aplicados a industrias que por su características no son muy saludables para la naturaleza.

Los problemas varían tanto por el uso continuo de los inhibidores comerciales como por la falta de ellos, pero si es de obligatorio uso para proteger los sistemas y el ambiente en el cual se encuentran, entonces es vital abarcar temas de estudio sobre la mitigación que los productos naturales podrían generar al entrar a remplazar los inhibidores comerciales ya que se podría evitar la gran parte de los problemas de contaminación por acumulación de compuestos tóxicos.

### **Justificación**

Los inhibidores de corrosión comerciales que actualmente son utilizados para el control de los procesos de corrosión en la industria de almacenamiento y transporte de hidrocarburos y sus derivados son altamente tóxicos, un coctel de productos químicos mezclados esencialmente para evitar pérdidas económicas por cambios de piezas metálicas, perdidas de productos o interrupciones en la producción, generando procesos de contaminación en recursos como el agua y el suelo directamente por la interacción con el ambiente, esto genera un campo de interés particular para la generación de soluciones más amigables con el medio ambiente teniendo en cuenta que la producción de hidrocarburos es un motor económico que actualmente mueve la mayor cantidad de países industrializados o en vía de desarrollo y la óptima funcionalidad de su infraestructura no solo evita pérdidas económicas para sus accionistas si no a su vez disminuye los impactos negativos directos por derrames de producto sobre los ecosistemas.

La investigación de productos naturales que puedan suplir el uso de inhibidores de corrosión comerciales es el objetivo principal de este trabajo, el conocimiento es la base fundamental para la generación de soluciones y si es posible generar mitigación de impactos en una industria que no se detiene, es deber fundamental y compromiso del profesional ambiental y cualquier interesado e involucrado en el proceso utilizar este conocimiento para búsqueda del desarrollo social y económico sostenible; Gran variedad de beneficios se obtienen de generar este tipo de conocimiento, primero el fortalecimiento de las capacidades como profesionales en áreas medioambientales para intervenir en procesos industriales y de manufactura, segundo, generación de evidencia que apoye un movimiento científico para el mejoramiento de procesos industriales enmarcados en la sustentabilidad.

La utilidad metodológica que presenta la investigación fortalece los mecanismos de la búsqueda de sustentabilidad en las áreas industriales incorporando metodologías con menores impactos ambientales y riesgos para la salud humana controlables.

**Objetivo General**

Realizar la investigación bibliográfica sobre extractos naturales que se han utilizado como inhibidores de corrosión natural evaluando su eficiencia según sus resultados.

**Objetivos específicos**

Revisar los trabajos académicos como artículos, tesis de grado, monografías entre otros que evidencien la aplicación de extractos naturales como inhibidores de corrosión en infraestructuras metálicas.

Exponer las diferentes alternativas y los resultados más sobresalientes en la mitigación de las velocidades de corrosión encontradas en cada trabajo académico revisado.

Analizar los beneficios que se obtienen al aplicar metodologías de control como los inhibidores corrosión naturales en el ámbito ambiental y de preservación de los ecosistemas.

Exponer los resultados del análisis realizado de manera comparativa entre lo comercial y lo natural en cuanto a los inhibidores de corrosión.

## Aspectos Generales sobre Corrosión

### Definición de corrosión

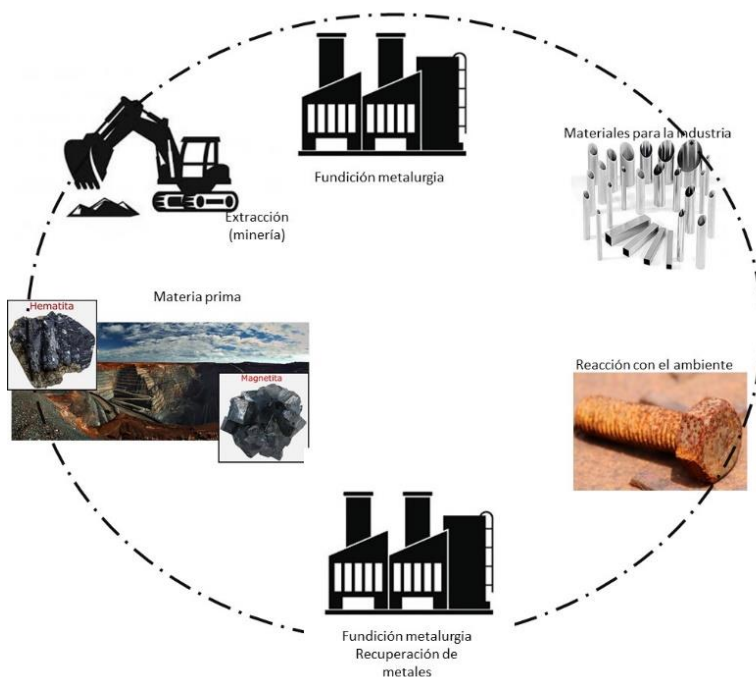
“La corrosión es el deterioro de una sustancia (usualmente un metal) o sus propiedades debido a la reacción con su medio ambiente” (NACE International, 2014); la etimología del término corrosión proviene del latín *corrosum* del verbo *corroer* del latín (*Corrodere*) que significa roer intensivamente, desgastar algo en su conjunto royendo); todos los materiales que el ser humano ha creado por medio de la manipulación de minerales y recursos naturales tienden en algún momento a recuperar su estado natural como por ejemplo los materiales metálicos como el hierro se encuentra en la naturaleza principalmente en forma de óxidos como la hematita, limonita, magnetita entre otros.

Para obtener los metales como la mayoría de las personas conocemos en bloques sólidos o maleables, los minerales se someten a un proceso de fundición y formación, estos procesos implican la inyección de energía al material para obtener las formas y estructuras necesarias para su aprovechamiento. (Pérez & Miguel, 2018), este ciclo se puede observar en la Figura 1.

Este ciclo es iniciado por la acción humana para aprovechar los minerales y poder construir las infraestructuras metálicas colosales que conocemos hoy en día como lo es el puente Golden Gate en Estados Unidos, o la torre Eiffel en París, estas grandes estructuras sufren el deterioro generado por el tiempo y el ambiente generando la necesidad de reemplazar piezas metálicas corrosivas e implementar planes de mantenimiento para minimizar el tiempo de reacción de los aceros en los procesos de corrosión

**Figura 1**

*Ciclos de los Materiales Metálicos.*

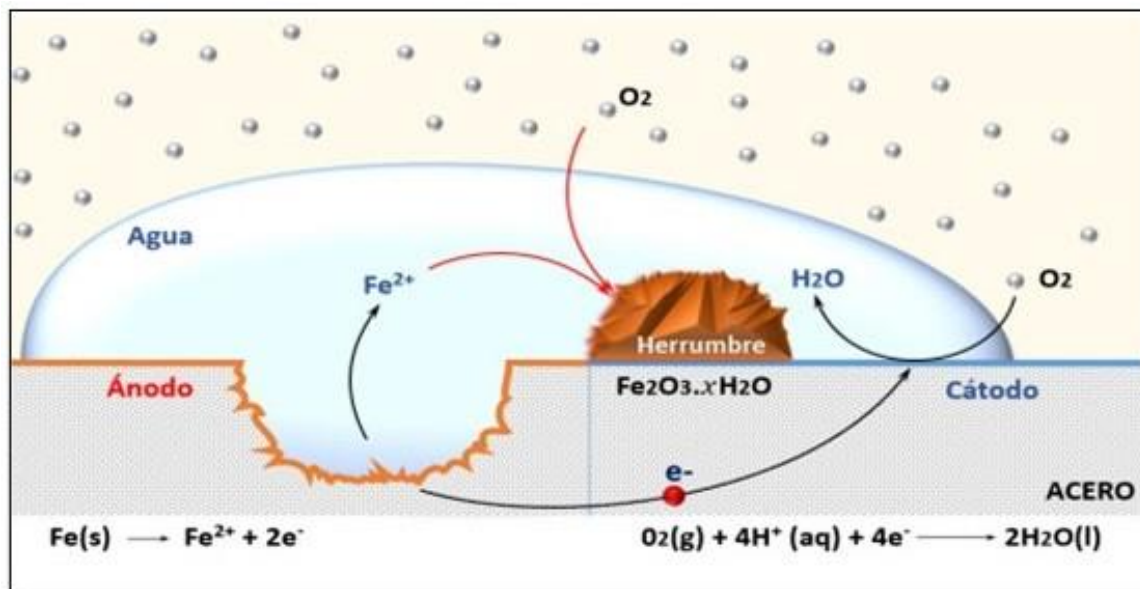


Una vez los materiales metálicos terminan su proceso de fundición puede entrar en contacto con el ambiente por medio del cual se dará inicio a reacciones de reducción-oxidación en presencia de cuatro componentes principales, un ánodo, un cátodo, ruta metálica o conductor y electrolito.

### **Celda de Corrosión**

El ánodo es el lugar dentro de la celda de corrosión en el cual se genera la pérdida de material metálico como se evidencia en la Figura 2, en donde se desprenden electrones según la siguiente ecuación  $Fe \rightarrow Fe^{++} + 2e^{-}$  estos electrones producidos son transportados por la ruta metálica o el conductor hasta el cátodo en donde son consumidos en reacciones de reducción gracias a los reactantes que provee el electrolito presente en la celda de corrosión. (NACE , 2008)



**Figura 2***Celda de Corrosión.*

*Nota.* Figura de la celda de corrosión, reproducida (C.I.C, 2016)

Las reacciones presentes en el proceso de corrosión son de oxidación (1) y reducción (2) teniendo presente que la reacción de oxidación se presenta como la reacción anódica y genera la pérdida del metal y la reacción de reducción que se presenta en la reacción catódica no siempre hace referencia a la reducción del metal si no que depende del medio en el que se encuentra, por ejemplo, si se encuentra en un medio ácido la reacción será (3) o si se encuentra en medio básico (4).

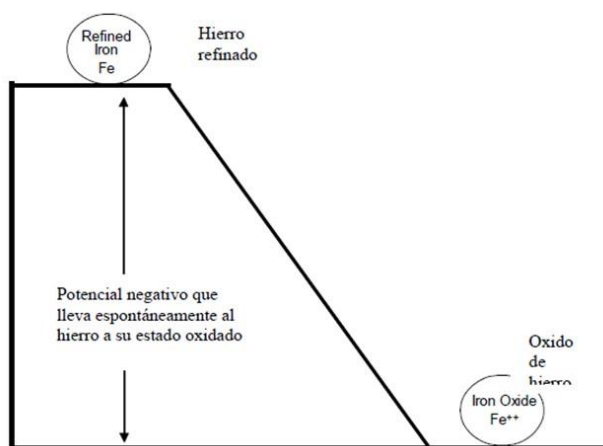




Los materiales metálicos deben ser expuestos a un aumento energético para lograr su proceso de refinación y obtener los productos que se utilizan en la industria, este proceso se ve referenciado en la Figura 3 a continuación

### Figura 3

*Refinado del Material de Hierro.*



### Tipos de corrosión mas conocidos

Los procesos de corrosión que se pueden evidenciar en la vida cotidiana presentan una gran variedad de morfologías y características dependiendo en gran medida del medio agresivo en el que se encuentran inmersos los materiales como también el área en el que se produce el fenómeno ya sea residencial rural o urbano o sectores industriales, estas diferencias en los ambientes nos pueden dar diferentes tipos de corrosión de los cuales se pueden evidenciar algunos ejemplos y sus principales características en la Tabla1.

**Tabla 1***Tipos de Corrosión y sus Generalidades*

Nombre	Características
Corrosión Generalizada	Perdida de material más o menos uniforme
Corrosión Localizada	Se concentra en un área específica, picaduras y fisuras
Corrosión Galvánica	Dos o más metales diferentes uno actúa como ánodo y otro como cátodo
Corrosión-erosión	Velocidad de flujo alta, presencia de sólido
(MIC) Corrosión influenciada microbiológicamente	Presencia de agua y microorganismos.

Notas: Existen muchas más formas y varían según los ambientes corrosivos a los que se encuentre expuesto el metal.

***Corrosión Generalizada.***

Los procesos de corrosión generalizada son los más conocidos por cualquier persona que no sea un experto en temas de corrosión e integridad de sistemas, se pueden observar en cualquier estructura que se encuentre expuesta a un corrosivo o simplemente a condiciones ambientales que permitan iniciar procesos de corrosión.

Algunas de sus características más importantes son:

Durante todo el proceso de corrosión en la celda electroquímica hay un intercambio constante de zonas anódicas y zonas catódicas produciendo en cierta proporción el mismo desgaste sobre el área afectada.

Este proceso, aunque puede ocurrir en zonas específicas de la infraestructura como por ejemplo una sección de tubería aislada el desgaste para esa zona es uniforme.

Al presentar intercambio de la zonas anódicas y catódicas, la rugosidad del material se ve afectado variando respecto al original de la pieza, pero manteniendo una uniformidad en la zona afectada un sistema afectado por procesos de corrosión general se puede observar en la Figura 4.

#### **Figura 4**

##### *Corrosión General*



*Nota.* Se extiende sobre toda la superficie metálica. (P & G Capacitación y consultoria, 2019)

##### ***Corrosión localizada.***

Los procesos de corrosión localizados se encuentran enfocados en un área del sistema atacado y se puede encontrar en forma de agujeros, cavidades o fisuras en la superficie del metal afectado, en este tipo de afectaciones se pueden encontrar picaduras aisladas cuya superficie perimetral o la superficie que la rodea está en perfectas condiciones, como también se pueden encontrar casos de múltiples picaduras muy cercanas unas de otras, las picaduras o defectos pueden ser evidentes a simple vista en algunos de los casos, más sin embargo en algunas ocasiones las picaduras pueden ser muy pequeñas en la sección superficial pero ocultar grandes espacios en el interior de la pieza metálica.

Los procesos de picado se pueden presentar por muchos factores propios del ambiente o medio en contacto con la superficie metálica, también pueden presentar diversas morfologías dependiendo del agente corrosivo que está afectando el sistema o que esta presente en el electrolito, algunos de estos agentes corrosivos son:

Gases disueltos como:  $\text{CO}_2$  Dióxido de carbono,  $\text{H}_2\text{S}$  Sulfuro de hidrogeno, Oxígeno.

Depósitos en condiciones de bajas velocidades de flujo o estanqueidad del fluido en líneas y tanque de almacenamiento.

Ambientes con ácidos fuertes como HCL Ácido clorhídrico.

Los procesos de Picadura presentan una morfología característica muy fácil de identificar en un proceso de inspección visual como se puede observar en la Figura 5.

### **Figura 5**

#### *Corrosión Localizada*



*Nota.* Un proceso de picadura puede ocultarse bajo capas superficiales de óxidos.

Reproducida (NACE , 2008)

Algunas de las características más resaltantes del ataque por corrosión localizada son:

Las picaduras pueden ser estrechas y profundas.

Pueden penetrar rápidamente la superficie metálica, en algunos casos logra perforar el espesor total de la pared metálica.

Como se puede observar en la imagen 5 las picaduras están rodeadas de una superficie no corroída o con un proceso de corrosión leve.

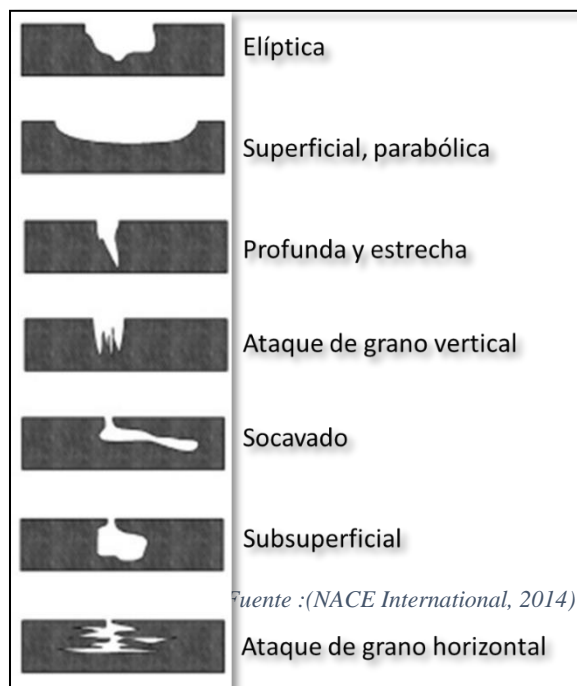
Se pueden generar procesos localizados en áreas de contacto metal- metal o metal-no metal.

Pueden formarse zonas anódicas debajo de productos de corrosión, suciedad o residuos.

El ataque por picadura puede presentar varios aspectos como se presenta en la Figura 6.

## Figura 6

### *Morfologías de Picadura*



Nota. Reproducida (NACE International, 2014)

### ***Corrosión Galvánica***

El proceso de corrosión galvánica se presenta por la conexión eléctrica entre dos metales que presentan diferencias de potencial (diferente material) o dos piezas del mismo material, pero con tiempos de fabricación diferentes, esto suele ocurrir en reparaciones con el remplazo de piezas metálicas y la unión con estructuras que poseen capas pasivantes previas.

Algunas de las características más relevantes del proceso de corrosión galvánica son:

El proceso presenta el esquema de celda de corrosión clásica con los cuatro componentes activos.

El proceso se presenta por la conexión metal-metal.

Es necesaria la conexión eléctrica para intercambio de electrones.

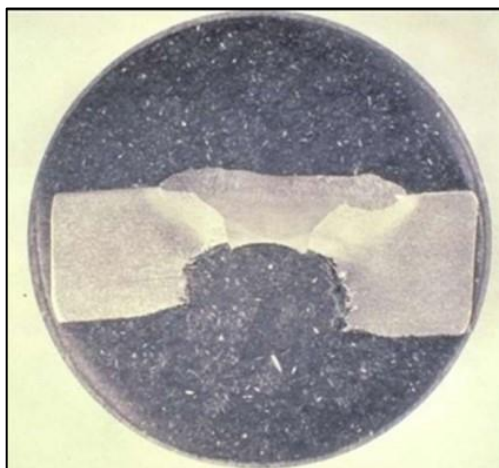
Cuanto mayor sea la diferencia de potencial más acelerado será el proceso de corrosión presente.

Los procesos de corrosión galvánica salen presentarse comúnmente en casos cotidianos por la falta de conocimiento sobre el manejo correcto de materiales como se presenta en la Figura 7. En donde se observa el deterioro en la zona de contacto de la placa metálica con las tuercas y tornillos.

**Figura 7***Corrosión Galvánica*

*Nota.* Reproducida (Patologiasconstrucción.net, s.f.)

Los procesos de corrosión galvánica también se ven presentes en los trabajos de soldadura en el cual se unen dos piezas metálicas utilizando diferentes métodos entre los cuales se encuentra la soldadura por arco el cual es uno de los más comunes en la industria, en este caso se emplea un arco eléctrico para fundir el metal del electrodo generando el metal de aporte y unir las piezas (ITSEMAP, MAPFRE Y CAJAMADRID, 2005), este proceso se puede observar en la Figura 8.

**Figura 8***Corrosión en Soldaduras*

*Nota.* Reproducida (Patologiasconstrucción.net, s.f.)



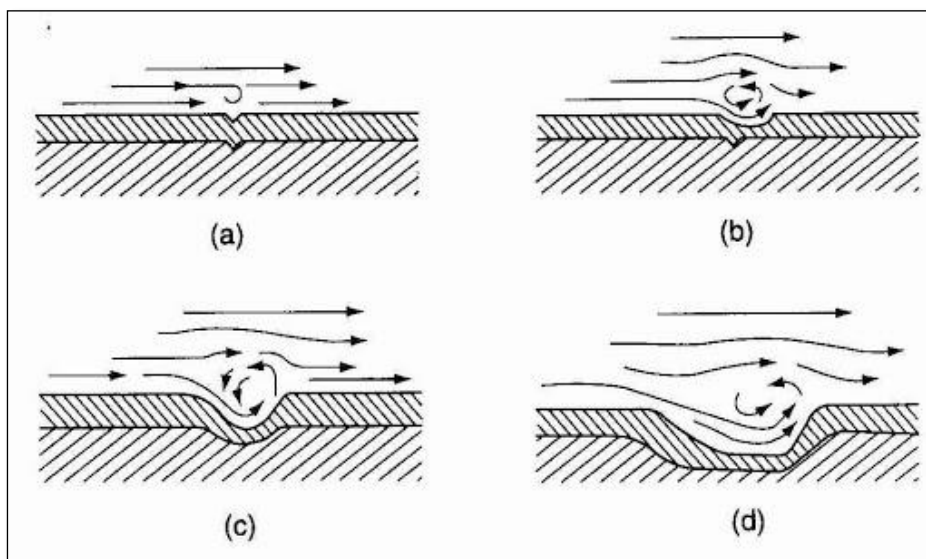
### ***Corrosión – erosión***

El termino erosión del latín (erosio) se define como “desgaste o destrucción producidos en la superficie de un cuerpo por la filtración continua o violenta de otro” (RAE, 2020), según esta definición se comprenden dos cuerpos o sistemas en colisión, dentro de los procesos de corrosión -erosión se relacionan altas velocidades del fluido o de las partículas que viajan en la corriente e impactan con las paredes metálicas generando desprendimiento de la superficie. (Matsumura, 2012)

En corrosión el proceso de erosión se describe como la pérdida abrasiva del material generado por la alta velocidad de las partículas y el choque de estas generando el desprendimiento del material sin acción de procesos de corrosión, en la imagen 9 se puede observar el impacto de las partículas y su acción sobre la superficie, en este caso el daño generado es mecánico.

#### **Figura 9**

*Corrosión -Erosión o Corrosión Asistida por el Flujo*



*Nota.* Reproducida (NACE , 2008)

### ***Corrosión influenciada microbiológicamente (MIC)***

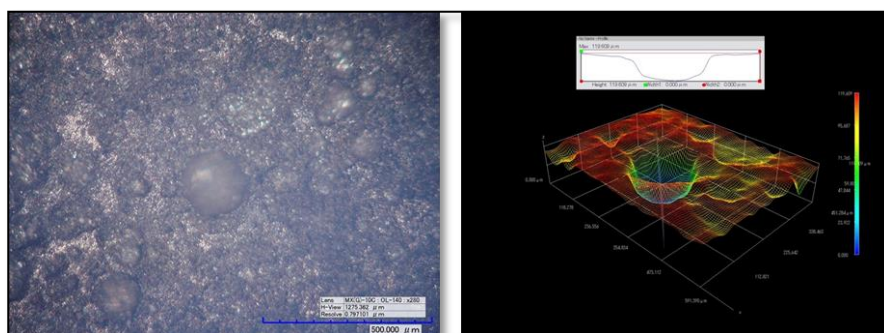
MIC – Corrosión influenciada microbiológicamente, los microorganismos como las bacterias, los hongos, las algas y algunos protozoarios pueden bajo ciertas condiciones propiciar procesos de corrosión debido a sus procesos metabólicos, por ende, este tipo de corrosión se denomina (MIC); las superficies metálicas expuestas a los productos metabólicos pueden reaccionar física o químicamente a los compuestos generados tales como ácidos generados por bacterias productoras de ácido (BPA).

Algunas de las características más importantes de este tipo de corrosión son:

- Se pueden generar biopelículas sobre las superficies metálicas las cuales mantienen un ambiente propicio para la acción de los microorganismos.
- Un ataque generado por bacterias puede romper fácilmente las películas pasivantes generadas por productos de corrosión en procesos de corrosión generalizada lo que implica un proceso acelerado de picadura en la zona expuesta.

### **Figura 10**

*Reconstrucción en 3D por Microscopia de una Picadura Originada por Microorganismos en un tanque de Almacenamiento de Crudo*



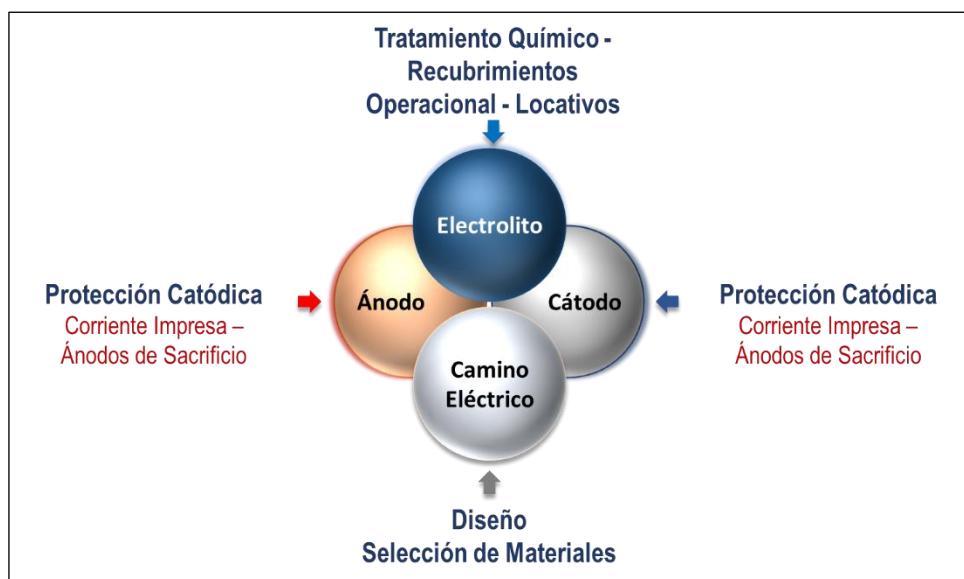
*Nota.* Reproducida (C.I.C, 2016)

## Control desde la celda de corrosión

Para realizar control sobre los procesos de corrosión, es vital entender los componentes que intervienen en la celda de corrosión y como la industria ha diseñado procesos para poder frenar las reacciones en cada uno de estos componentes, para iniciar como se muestra en la Figura 11 cada uno de los cuatro componentes (electrolito, ánodo, cátodo y camino metálico) presenta una forma de mitigación del proceso corrosivo en el cual interviene.

### Figura 11

*Componentes de la Celda de Corrosión*



*Nota.* Cada componente cuenta con procesos de control específicos. Reproducida de (C.I.C, 2016)

Los fenómenos de corrosión presentes en los materiales metálicos pueden ser mitigados desde la planeación y diseño de las instalaciones, tanque y tuberías de transporte y almacenamiento, una vez construidos estos sistemas y puestos en operación, los mantenimientos y limpiezas se convierten en una acción necesaria para el control de la corrosión, estos

mantenimientos programados, preventivos o correctivos incluyen drenajes, limpiezas internas, cambios de recubrimientos, herramientas de limpieza interna de líneas entre otros.

### **Limpieza interna de tuberías**

El uso de herramientas para limpieza interna en las tuberías es una práctica convencional para los operadores de sistemas de transporte de hidrocarburos y sus derivados, esta técnica consiste en enviar por el interior de la tubería una herramienta cilíndrica que se ajuste al diámetro interno del sistema y el cual con ayuda del fluido transportado será movilizado por el interior del tubo arrastrando, desprendiendo y transportando productos de corrosión, sólidos y líquidos no deseados que se pueden acumular en secciones bajas de nivel a lo largo del sistema de tuberías; Para utilizar este tipo de herramientas la tubería debe presentar ciertas condiciones de diseño que permitan el paso de la herramienta, estas condiciones son por ejemplo: volúmenes adecuados para el arrastre de la herramienta, diámetros de la tubería homogéneos durante el recorrido, no debe tener instrumentos intrusivo que puedan detener la herramienta de limpieza; las características de la herramienta pueden variar según los requerimientos de limpieza que se pretende realizar, en la Figura 12 se aprecian algunas de las formas y características que se pueden encontrar en la industria.

**Figura 12***Herramientas de Limpieza Interna (PIGS)*

*Nota.* La forma y componentes de cada herramienta depende del uso específico que se desea dar a la herramienta. Reproducida de V y M ingenieros Ltda.

## **Tratamiento químico**

Para realizar control en ambientes corrosivos, la industria implementa tratamientos químicos sobre las fases acuosas o gaseosas para mitigar problemas específicos, estos tratamientos químicos reciben su nombre general según el problema de corrosión que combate, en la mayoría de los casos el objetivo principal es mitigar problemas de corrosión general y desgaste por acción agresiva del electrolito en contacto con la fase metálica, para estos casos se implementan tratamientos con inhibidores de corrosión; Otro proceso es la corrosión influenciada por microorganismos, este se interviene utilizando Biocidas que degradan la pared celular de los microorganismos y generan la eliminación del riesgo por corrosión.

### **Inhibidores de corrosión**

Los inhibidores de corrosión son soluciones químicas previamente analizadas para brindar protección a los aceros frente a los problemas de corrosión que puedan presentarse por acción del medio en el cual se encuentran inmersos o en contacto directo.

Cada inhibidor creado en el mercado presenta cierto margen de eficiencia para un problema específico de corrosión o para una de sus formas esto quiere decir que un solo producto no funciona para todas las formas de deterioro que hemos visto previamente en este documento y se puede combatir los diferentes problemas en la industria, por esta razón los profesionales del área de tratamiento químico utilizan una serie de combinación de productos que pueda abarcar la mayor cantidad de problemas de corrosión, esto implica en algunas ocasiones uso excesivo de productos contaminantes.

## Clasificación de inhibidores

Los inhibidores de corrosión presentan diversas clasificaciones y se han propuesto diferentes maneras de agruparlos según:

Su naturaleza química.

Según el proceso o semirreacción que retardan.

Según su peligrosidad.

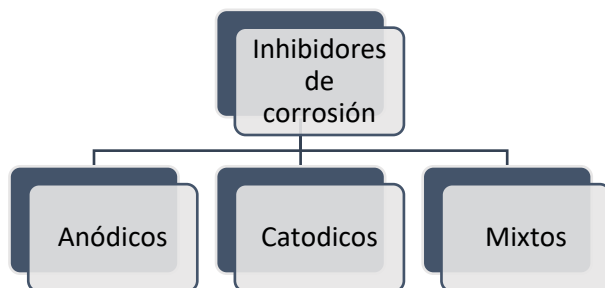
Según la sustancia que realmente inhibe.

Según el carácter iónico del inhibidor.

Para este caso tomaremos la clasificación de productos teniendo en cuenta la reacción electroquímica que bloquean.

### Figura 13

#### *Clasificación de Inhibidores en Fase Líquida*



#### ***Inhibidores anódicos***

Su efecto inhibitor se ve reflejado sobre la reacción anódica generando un proceso de oxidación que a su vez genera una capa pasivante sobre la superficie metálica ofreciendo un proceso de mitigación (Pasivante); los inhibidores más conocidos de este tipo son los cromatos y los nitritos.

### ***Inhibidores Catódicos***

Su efecto inhibidor se ve reflejado sobre las zonas catódicas de la fase metálica, su actividad es variada dependiendo del compuesto activo del inhibidor

En algunos inhibidores catódicos el proceso se da disminuyendo o eliminando el oxígeno del medio, de esta manera se elimina el material que se deposita sobre el cátodo; Como también sucede en los inhibidores anódicos, se precipitan sobre las zonas catódicas películas insolubles de hidróxidos y carbonatos generando una película protectora.



## **Sistemas de transporte y almacenamiento de hidrocarburos**

La producción de petróleo, gas y todos los derivados de los combustibles fósiles dependen de una gigantesca red de producción, transporte, almacenamiento y distribución la cual aglomera una de las infraestructuras más grandes en cualquier país, iniciando desde su extracción en los campos petroleros hasta las estaciones marítimas para el despacho del producto de venta a exportación como también las estaciones de servicio de las compañías de distribución de combustibles como la gasolina y el DIESEL.

En toda la red que comprende la producción y transporte de hidrocarburos se generan corrientes de agua de producción que son eliminadas del sistema para garantizar la calidad de producto final que se desea transportar, almacenar o vender, estas corrientes transportan trazas de diversos contaminantes generados en todo el proceso de producción tales como inhibidores de corrosión y otros tratamientos químicos aplicados para el mejoramiento de fluidos y mantenimiento de la infraestructura.

### **Sistema de recolección**

Los sistemas de recolección de hidrocarburos comprenden todos los equipos y mecanismos necesarios para realizar la extracción del producto del subsuelo a superficie y debido a la complejidad de cada una de estas instalaciones se convierte en una tarea complicada su clasificación por la cantidad de diferencias en las tasa de producción calidad de fluidos, requisitos de venta ubicación entre otras característica, (UTS), para este caso mencionaremos la clasificación según la localización.

Plataformas Off Shore: Son aquellas facilidades que se encuentran sobre el zócalo marino o mar adentro.como se observa en la Figura 14.

Facilidades On Shore: Son las plataformas que tienen su ubicación sobre la superficie continental.

### Figura 14

Sistemas Off Shore, extracción de Hidrocarburos



*Nota.* Reproducida de

[https://oceanexplorer.noaa.gov/explorations/06mexico/background/oil/media/types\\_600.html](https://oceanexplorer.noaa.gov/explorations/06mexico/background/oil/media/types_600.html)

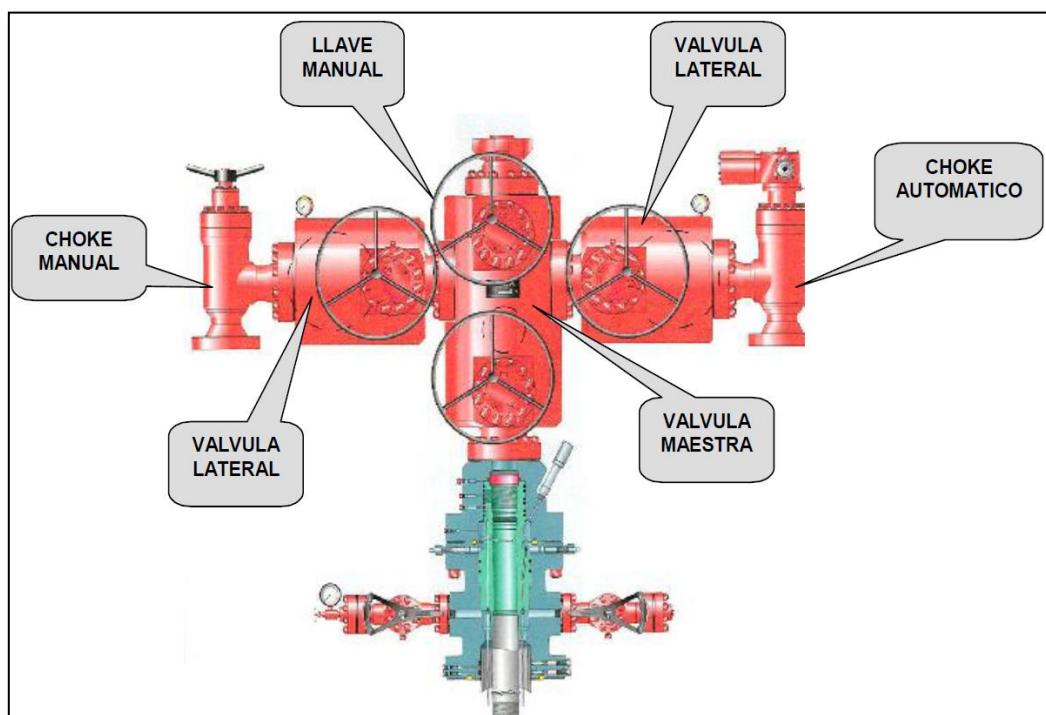
Todos los sistemas están sujetos a la acción de corrosiva de los fluidos extraídos y procesados, unos más que otros según sus características, pero el uso de materiales metálicos en la mayoría de las estructuras los hace proclives al deterioro.

### ***Cabezal de pozo***

El cabezal de pozo y árbol de navidad, Figura 15, consiste en un conjunto de conexiones y sistemas bridados que permiten contener la presión con la que llega a la superficie el fluido en extracción y poder controlar su flujo hacia los sistemas de superficie, también cumple la función de sistema de soporte para la sarta de tubería usada en el pozo de producción.

### **Figura 15**

*Partes del árbol de Navidad, Pozo de extracción petrolera.*



*Nota.* La estructura puede variar según las condiciones del yacimiento. Reproducido de

(Ing. Edgar Vargas)

### ***Tubería de transporte***

En la industria petrolera el común denominador en el transporte es la tubería metálica independientemente de su Schedule, desde la sarta de tubería en perforación hasta cada sistema que compone las facilidades de producción, líneas de transporte de crudo, inyección de agua,

tuberías de gas entre otras cada una de estas líneas debe ser evaluada según su funcionamiento e importancia en la operación para determinar el mejor mecanismo para su protección o mantenimiento.

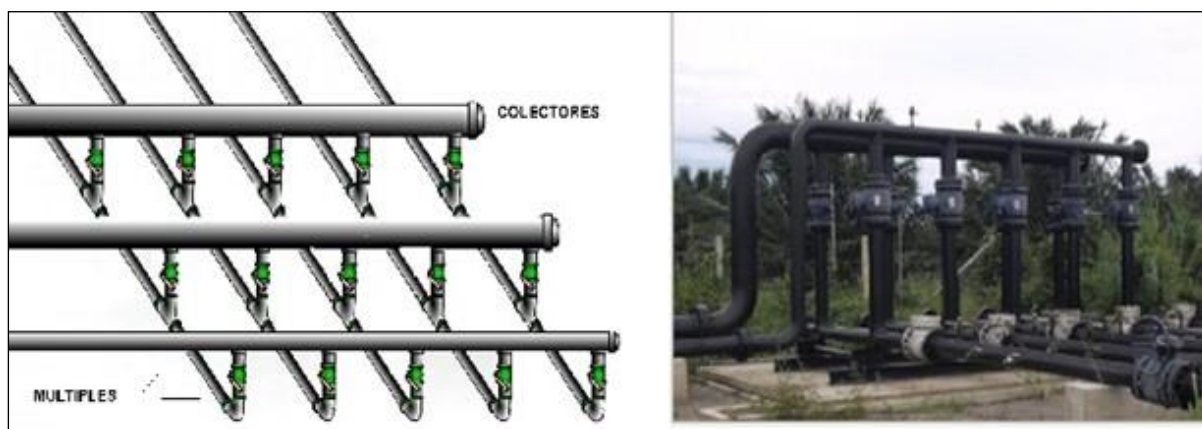
### ***Manifold o múltiples de recolección***

Un manifold o múltiple de recolección figura 16, es la unificación del fluido de diferentes sistemas de recolección (pozos de producción) en una sola línea que es utilizada para ingresar el fluido al sistema de tratamiento o facilidad de producción, en este sistema se direcciona todo el fluido por medio de una línea de producción general de un diámetro mucho mayor a aquellas que ingresan al manifold.

Estos sistemas son puntos estratégicos para realizar la inyección de productos químicos tales como inhibidores de corrosión pues se generan una mezcla homogénea del producto a tratar con el agente químico utilizado. (Aranda Aranda, 2010)

### **Figura 16**

*Manifold de Producción o Múltiple.*



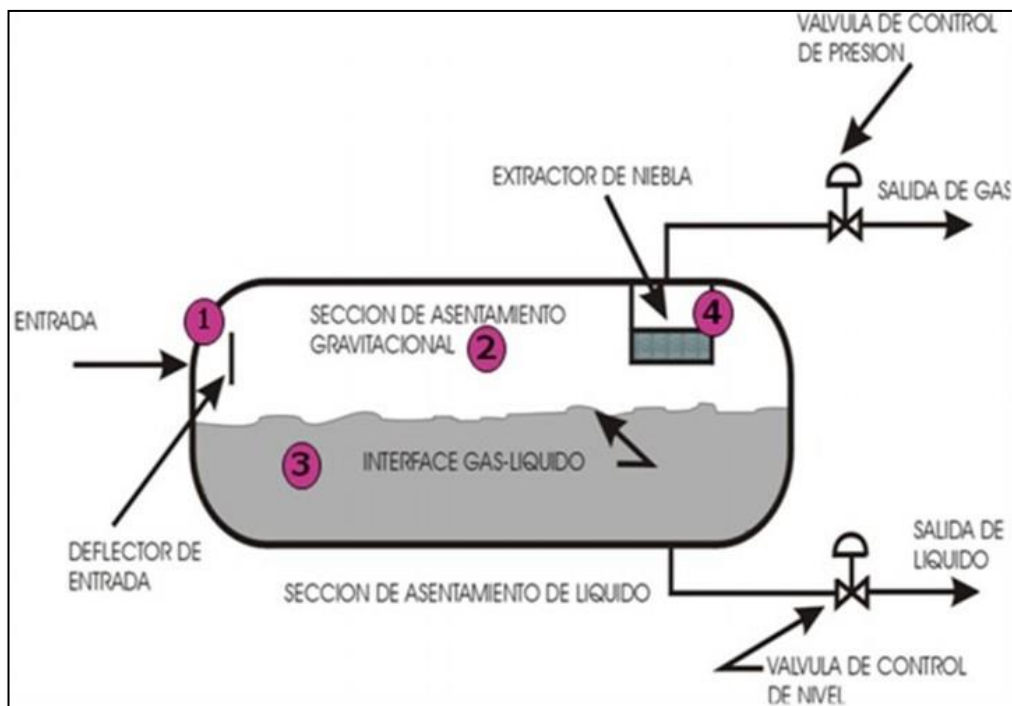
*Nota.* manual facilidades de producción SENA-Ecopetrol

## Separadores

En un separador se lleva a cabo el proceso de separación de la fase GAS-LIQUIDO que proviene de la producción de un pozo petrolero como se puede observar en la Figura 17, esto debido a la necesidad del productor de manejar el producto mayoritario de su venta Aceite o Gas de manera adecuada evitando daños en los diferentes sistemas de tratamiento por contaminación de una fase o de la otra, si por ejemplo a los sistemas de tratamiento de gas debe pasar la menor cantidad de líquido posible para minimizar el gasto en sistemas como deshidratación entre otros y para el tratamiento de aceites es esencial poder evitar que los hidrocarburos más livianos sean transportados en la corriente de gas y posteriormente quemados en las chimeneas o teas del campo o facilidad de producción.

**Figura 17**

*Separador de Producción Horizontal*



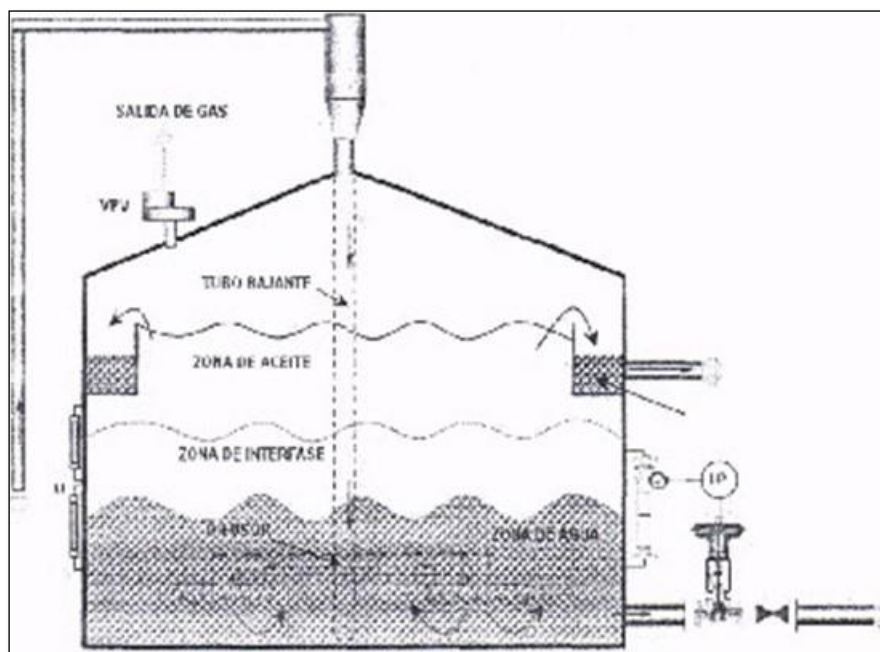
*Nota.* Facilidades de superficie (recolección y tratamiento) (Ervin Aranda Aranda)

### ***Gun Barrels***

Este tipo de tanques son conocidos como tanques de lavado, son en general separadores para el manejo de grandes volúmenes de hidrocarburos los cuales requieren un mayor tiempo de estabilización para lograr la separación de sus fases, su estructura general se puede observar en la Figura 18, en este tipo de tanques se suele incorporar instrumentos mecánicos y de medición para mejorar la separación de las fases, también incluyen las salidas independientes para los flujos separados agua, gas y crudo.

### **Figura 18**

*Estructura General Gum Barrel.*



*Nota.* Reproducida Facilidades de producción (Recolección y tratamiento) Ervin Aranda

### ***FWKO***

Los tanques FWKO (Free Water Knock out) son utilizados para el manejo y separación de grandes cantidades de agua libre en flujo proveniente pozos de producción, su tamaño

depende en gran medida del tiempo de retención deseado y los volúmenes provistos a manejar en la producción del campo al que presta el servicio.

### ***Tanques de almacenamiento***

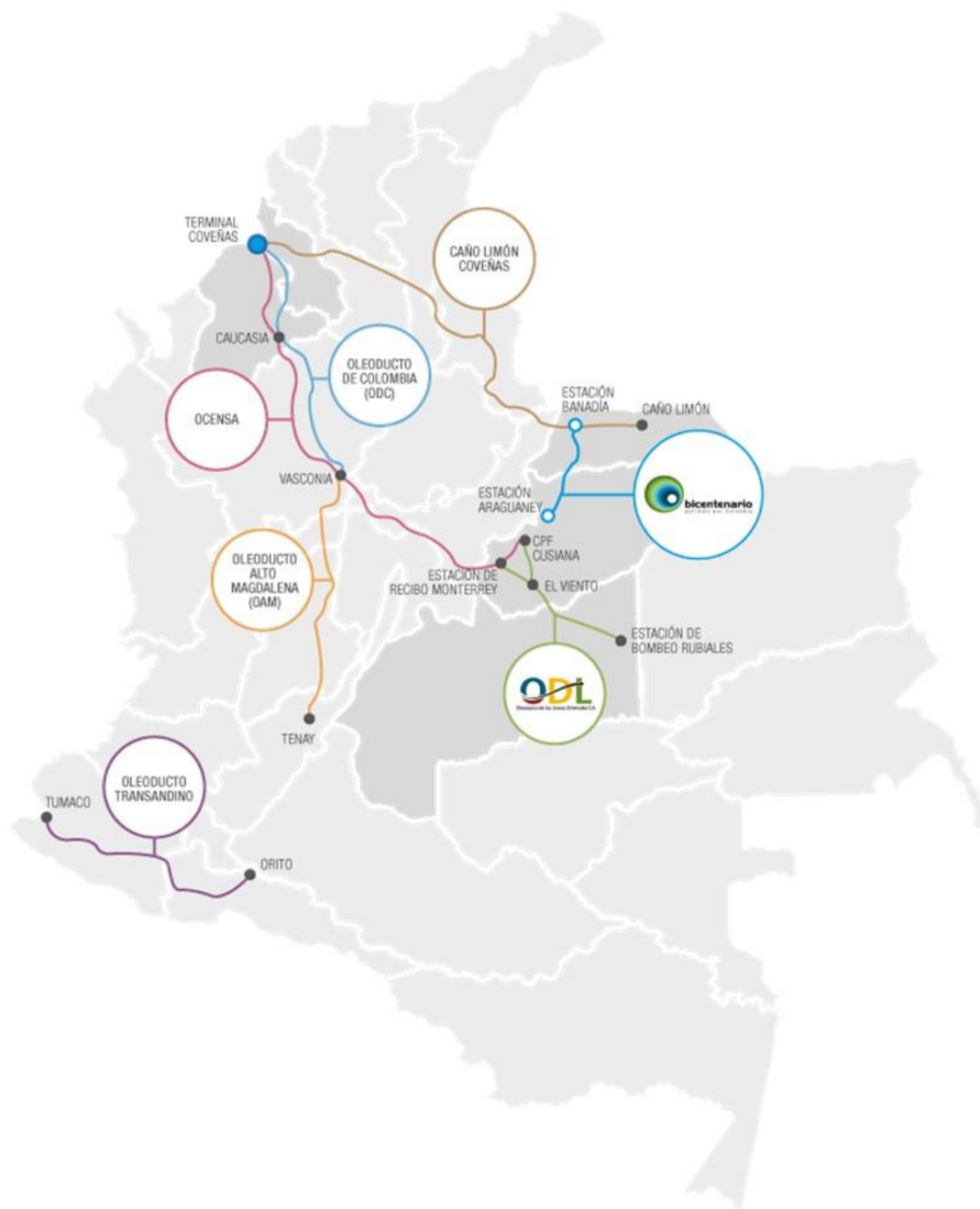
Los tanques de almacenamiento generalmente construidos en acero se diseñan para contener grandes cantidades de producto ya procesado para su transporte mediante oleoductos o poliductos o para su venta final al distribuidor.

### **Sistemas de transporte**

Para el transporte de los productos derivados del petróleo o en si la materia prima el petróleo crudo la industria recurre al sistema de tuberías interconectados conocidos como ductos y su nombre se otorgan según el producto transportado, así por ejemplo el sistema de tuberías que transporta petróleo crudo es llamado oleoducto o el que transporta gas, gasoducto.

### ***Oleoductos***

Los oleoductos son los sistemas de transporte convencionales más utilizados en la industria petrolera, consiste en tuberías generalmente de acero que transportan el petróleo crudo desde los campos de producción hasta las plantas de refinación, petroquímicas entre otras, para este intrincado sistema de transporte no solo es necesario un sistema de tubería, si no que a su vez se requiere un sistema de estaciones a lo largo del trayecto para imprimir energía al fluido y de esta manera pueda recorrer su trayectoria por valles y montañas sin inconvenientes hasta su lugar de destino, en la figura 19 se muestra el recorrido de los principales oleoductos en Colombia.

**Figura 19***Oleoductos de Colombia*

*Nota.* Reproducida de Página principal Bicentenario (BICENTENARIO, 2011)

parte del país trasportando la materia prima desde diferentes regiones hacia refinerías o



## ***Poliductos***

Otro gran sistema de transporte de gran importancia es la red de poliductos por los cuales se transportan los combustibles refinados que se utilizan para la generación de energía y transporte en la mayoría de las actividades industriales y domésticas, esta red transporta los productos desde refinerías hasta las plantas de entrega a distribuidores que son las grandes compañías de distribución de combustible, Figura 19 sistema de poliductos de la red CENIT-Ecopetrol

### **Figura 20**

#### *Red de Poliductos en Colombia*



Nota. Reproducido de CENIT (CENIT, 2021)

## **Manejo de sustancias químicas y vertimientos**

La industria petrolera consume inmensas cantidades de productos químicos para su funcionamiento desde la perforación hasta la distribución final de refinados, todas estas sustancias pueden generar alteraciones en el ambiente y en la salud de los seres humanos, por tal motivo las naciones del mundo centran su atención en regular el uso de algunas sustancias que por sus características son perjudiciales.

### **Toxic Substances Control Act (TSCA) Ley de control de sustancias tóxicas.**

Un ejemplo claro a nivel mundial para el control de sustancias químicas es la ley de control de sustancias tóxicas (TSCA) Toxic Substances Control Act, de la agencia de protección ambiental de los estados unidos en la cual se otorga a la agencia la autoridad para exigir los respectivos informes, registros, pruebas y generar restricciones sobre los productos que fabrica una compañía o utiliza, (EPA, 2020)

Algunas de las características más importantes de esta ley son los poderes y autorizaciones que otorga a la autoridad ambiental, tales como:

- Las compañías deben notificar previamente por directriz de la TSCA ante la EPA la creación o fabricación de nuevas sustancias químicas, incluyendo sus características y los estudios a realizar.
- La autoridad ambiental tiene la autoridad de exigir a los fabricantes o distribuidores las pruebas de los productos con el objetivo de emitir las respectivas regulaciones en caso de ser necesario.
- La autoridad ambiental exige los estudios previos de los productos químicos o mezclas ya existente si se pretende realizar el cambio en su uso, para evitar que bajo conceptos

anteriores se genere una afectación posterior al ambiente a la salud de los seres humanos.

### **Reglamento (CE) n o 1907/2006 del Parlamento Europeo**

La unión europea presenta una historia compleja en su evolución frente al manejo de las sustancias químicas que se fabrican, se importan o exportan hasta llegar a establecer el REACH (Registro, Evaluación, Autorización y Restricción de sustancias y mezclas químicas en el cual se debe garantizar por parte de los países de la unión europea un nivel elevado en la protección de la salud humana y el medio Ambiente.

En el reglamento se realizan las aclaraciones en cuanto a las sustancias puras y las mezclas químicas y en cuanto a los fabricantes o usuarios intermedios. (ISSLA, 2018), los tres ítems relevantes de reglamento como se mencionaron anteriormente se aprecian en la tabla 2.

**Tabla 2**

*Procesos del reglamento REACH y sus características.*

Procesos	Titulo	Características
Registro	II	Fabricación/Importación >= una (1) tonelada / anual
Evaluación	VI	Evaluación de riesgos para la salud y el ambiente de los productos químicos.
Autorización	VII	Se debe solicitar la autorización de uso si la sustancia es altamente preocupante según REACH.
Restricción	VIII	Cuando el riesgo es inaceptable para la salud o el ambiente se restringe o prohíbe el uso de la sustancia.

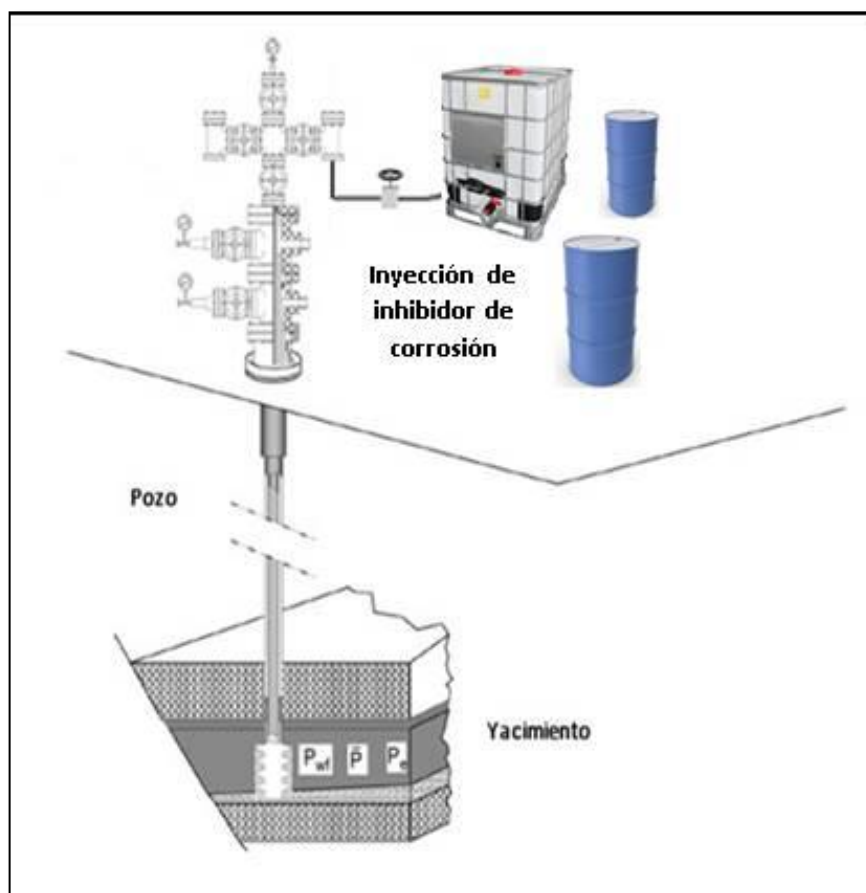
## Inyección, recorrido y disposición final de inhibidores.

### En sistemas de producción de hidrocarburos

La inyección se puede dar desde la formación productora en el subsuelo por medio de capilares en los pozos de producción que transportan el producto químico desde la superficie hasta el fondo de pozo para realizar la inyección del producto antes de las aspas de succión de que realizan el empuje del fluido aceitoso hacia la superficie, en la figura 21 se representa el esquema de inyección en superficie.

### Figura 21

*Inyección en Pozo Productos (inhibidor de Corrosión en Superficie)*



*Nota. Modificada por el auto (Cruz Reyes, 2019)*

### ***En líneas generales para facilidades de producción***

El transporte del producto extraído de las profundidades del subsuelo es conducido por tuberías en su mayoría metálicas pasando por los campos de producción petrolera y otros terrenos antes de llegar a las facilidades de producción para su tratamiento y separación inicial, en estos trayectos generalmente se presentan problemas de corrosión interna principalmente por las características corrosivas del fluido que pueden ser agravadas por condiciones de diseño como ( puntos bajos, sistemas estancados, reducciones o ampliaciones de las tuberías) o por variaciones en las condiciones de operación.

Para la protección de estas líneas frente a los problemas de corrosión, la industria implementa la inyección de tratamientos químicos en caso de ser necesario, se puede realizar desde los pozos de producción directamente, como también en puntos estratégicos de recolección de producto como manifolds de producción o el inicio de troncales de mayor diámetro.

### ***En tanques de producción y almacenamiento***

El almacenamiento de petróleo y sus productos refinados en tanques de acero representa un punto de concentración de material que posee un valor económico elevado para el dueño del activo como también representa un riesgo elevado ante posibles eventos de derrames accidentales que generan un impacto negativo en el área de afectación, por esta razón la industria previene algunos daños ocasionados por corrosión con la aplicación de inhibidores de corrosión y otros productos en los tanques de almacenamiento; La inyección de los productos se puede dar desde las líneas de producción antes de ingresar a los tanques facilitando la homogeneidad de las sustancias para mayor eficiencia o también se puede aplicar directamente en el tanque en su línea de ingreso o desde el techo del mismo siempre y cuando se garantice mediante agitación la distribución del inhibidor.

### ***En Oleoductos y poliductos***

La ruptura de los oleoductos y los poliductos corresponden a los eventos de mayor impacto negativo por contaminación de recursos que se presentan en la industria, la cantidad de producto y las zonas afectadas pueden ser tan abundantes y extensas que difícilmente se puede generar la recuperación del ecosistema afectado y la inversión en los protocolos de recuperación generan una gran necesidad de inversión y pagos de compensaciones, algunos de estos eventos son generados por afectaciones humanas como actos terroristas, otras se presentan durante o después de eventos naturales como temblores o deslizamientos de tierra, y otros eventos son por acción de fenómenos de corrosión.

### **Interacción de inhibidores con el ambiente natural**

Los inhibidores de corrosión al ser compuestos químicos concentrados presentan un riesgo inherente para la salud de los seres humanos y para la estabilidad de los ecosistemas impactando de manera negativa cuando se utilizan de manera irresponsable en la industria petrolera, y aun en los casos de manejo adecuado y control de residuales al final del proceso de producción siempre se generará residuos que requieren manejos especiales.

La mayoría de los compuestos presentes en los inhibidores de corrosión son altamente tóxicos y sus efectos sobre la salud y el ambiente son bien conocidos, más sin embargo las necesidades de la industria y el poco control de sustancias químicas en algunos países permite el uso de estos productos sin control alguno o bajo algunas restricciones pero en el transporte y documentación pero no en el control de impactos de sus compuestos; Tomando como ejemplo un producto comercial se pueden evidenciar en la **tabla 3** sus componentes y porcentajes dentro de la mezcla.

### **Tabla 3**

*Componentes Inhibidor de corrosión comercial*

Compuesto	Porcentaje en mezcla	Numero CAS
Cloruro de alquil (C12-C16) dimetilbencil amonio	25	68424-85-1
Ácido nitrilotrimetilentrifosfonico	5	6419-19-8
Ácido fosfonico	2	13598-36-2
Ácido tioglicolico		68-11-1
Ácidos grasos, aceite de resina, productos de reacción con dietilentriamina	20	61790-69-0
Cloruro de coco alquildimetilbencilamonio	1	61789-71-7
Ciclohexilamina	5	108-91-8
Hidróxido de potasio	5	1310-58-3

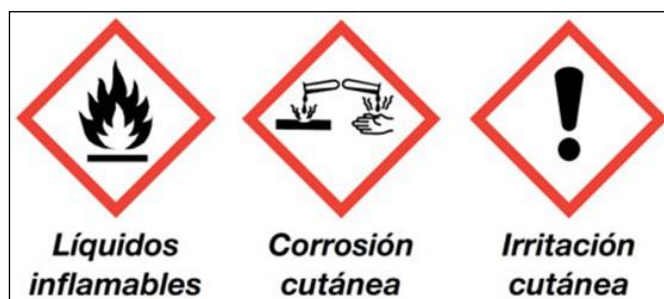
Los compuestos presentes en la mezcla comercial presentan características peligrosas muy notables evidentes en las MSDS o ficha de datos de seguridad, para el caso del Cloruro de alquil (C12-C16) dimetilbencil amonio se expresa claramente que no debe entrar en contacto con las fuentes hídricas debido a su alta toxicidad para las ambientes acuáticos, aun así es el componente mayoritario de este producto, también deben considerarse los subproductos por su descomposición los cuales pueden ser óxidos de carbono, óxidos de nitrógeno (NOx) y gas cloruro.

La interacción de los inhibidores de corrosión con el ambiente y sus efectos sobre la salud humana se puede rastrear desde el manejo de los productos en las bodegas o transporte hacia los

lugares de aplicación, para generar un control adecuado los operarios de estos productos deben conocer claramente los riesgos a los que se encuentran expuestos los cuales se encuentran presentes en las hojas de datos de seguridad que cada fabricante debe suministrar con la información necesaria y los pictogramas adecuados según el sistema globalmente armonizado (SGA) , como por ejemplo los pictogramas que se encuentran en la Figura 22 corresponden a las características del inhibidor de corrosión de la tabla 3 presentada posteriormente y nos indican visualmente algunos de los riesgos a los que estamos expuestos al manejar estas sustancias.

### **Figura 22**

*pictogramas SGA (Inhibidor de Corrosión)*





### **Técnicas de evaluación de eficiencia para inhibidores de corrosión**

La evaluación del potencial protector de los inhibidores de corrosión es comúnmente analizado mediante técnicas electroquímicas tales como: 1) resistencia a la polarización lineal, 2) Pendientes Tafel, 3) Espectroscopia de impedancia electroquímica (EIS), 4) Polarización potenciodinamica, 5) Polarización potenciodinamica cíclica; Las evaluaciones físicas como el uso de cupones de corrosión para determinar la velocidad de corrosión por gravimetría también es comúnmente utilizado por su bajo costo y por la facilidad de replicar ensayos en el laboratorio bajo diferentes condiciones de concentración del inhibidor y la variación de las condiciones ambientales, en este trabajo se explica con brevedad algunas de las técnicas utilizadas en los trabajos investigados sobre el uso de inhibidores de corrosión a base de extractos de plantas.

#### **Resistencia a la polarización lineal (LPR)**

La técnica electroquímica (LPR) resistencia a la polarización lineal es uno de los métodos más usados para determinar la velocidad de corrosión en un sistema estacionario, este método basado en la ecuación de Stern y Geary en la que se establece la relación existente entre el potencial y la densidad de corriente en el sistema como se presenta en la ecuación 5

$$R_p = \frac{B}{i_{corri}} \quad (5)$$

En donde B representa el valor de las pendientes Tafel anódica y catódica del sistema y ( $i_{corr}$ ) la intensidad de corriente.

Algunas de las ventajas de esta técnica se mencionan en (Rodríguez Gómez, pág. 5)

Se trata de una técnica no destructiva que emplea bajas perturbaciones.

Proporciona el valor de la velocidad de corrosión instantánea.

Para la aplicación de la metodología no hace falta personal altamente calificado.

### **Gravimetria ( Cupones de corrosión)**

La metodología de evaluación de cupones de corrosión bajo la norma NACE SP-0775-2018 es una de las más utilizadas teniendo en cuenta su bajo costo y la facilidad de replicar ensayos en el laboratorio bajo condiciones deseadas, esto facilita la experimentación bajo las condiciones a las que se expondrá el inhibidor de corrosión y el material en sistemas de operación real.

Esta técnica permite visualizar las afectaciones generadas en el material por los procesos de corrosión que se presenten, así como también realizar mediciones de picaduras y genera la oportunidad de recuperar material depositado o generado en los procesos de corrosión para su posterior análisis.

Una ventaja de esta técnica es que la variedad de cupones que se fabrican en la industria permite acondicionar los ensayos para determinar fenómenos de corrosión específicos como: Corrosión influenciada por microorganismos, corrosión asociada a procesos de soldadura, corrosión generalizada, fenómenos de incrustación entre otros.

### **Espectroscopia de impedancia electroquímica**

Es un método electroquímico (EIS por sus siglas en inglés) espectroscopia de impedancia electroquímica basado en el uso de corriente alterna (CA) sobre un electrodo metálico sobre el cual se genera el proceso de corrosión, en esta metodología se aplica una señal de potencial (E) sobre el electrodo recibiendo como respuesta una corriente (I). (Mendoza Flores & Durán Romero , 2021)

## Inhibidores de corrosión a base de extractos de plantas

**Figura 25**

*Productos Naturales contra los Fenómenos de Corrosión*



*Nota.* Reproducida de (Agencia informativa CONACYT, 2018)

Los productos químicos que habitualmente se emplean en la mitigación de los problemas de corrosión como los inhibidores son altamente tóxicos y por sus características se considera que afectan no solo la calidad del ambiente si no a su vez la salud de las personas, por esta razón y teniendo en cuenta las medidas que las diferentes naciones han asumido para el control de sustancias químicas peligrosas como la ley de control de sustancias toxicas de la EPA o TSCA por sus siglas en inglés y la directiva de restricción de sustancias peligrosas de la unión europea, se hace necesario el desarrollo de nuevos productos que replacen antiguas metodologías peligrosas y poco conservacionistas y es acá en donde ingresa el amplio campo de investigación de los extractos naturales, aceites y derivados de organismos vegetales como una fuente de gran variedad de agentes químicos naturales que pueden mitigar los problemas de corrosión en sistemas de transporte y almacenamiento del petróleo y sus derivados.

Un inhibidor de corrosión natural comprende el uso de las propiedades extraídas de los organismos vegetales en soluciones como extractos, aceites o pastas para la mitigación de los problemas de corrosión presentes en diferentes ambientes, en este documento se realiza la revisión de algunos trabajos que se llevaron a cabo utilizando extractos de plantas como fuente de inhibición en aceros.

### **Tagetes erecta (Cempasúchil, flor de muerto, flor de caléndula)**

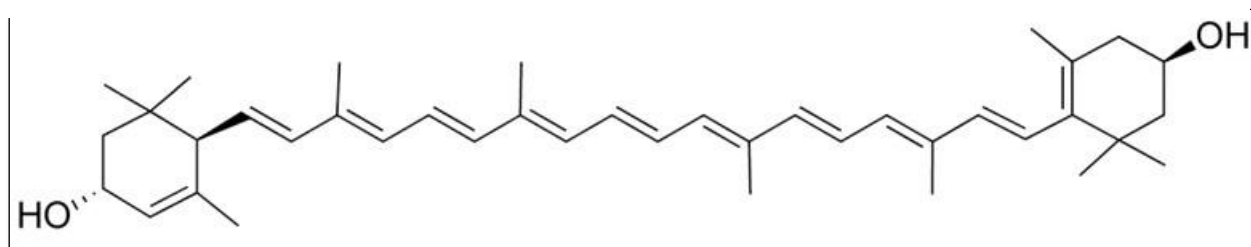
Se evaluó el extracto de la planta tagetes erecta o también conocida como flor de caléndula como inhibidor de corrosión sobre acero dulce inmerso en solución de  $H_2SO_4$  (Ácido sulfúrico) 0.5 M; Para este estudio se utilizaron diferentes metodologías para determinar la eficiencia en laboratorio del extracto estas técnicas son : 1) Gravimetría (Velocidad de corrosión por pérdida de masa de probetas metálicas testigo), 2) Polarización potencio dinámica y 3) espectroscópicas de impedancia electroquímica.

Las pruebas realizadas con el producto inhibidor se llevaron a cabo con una temperatura de reacción de 30 °C a en las siguientes concentraciones (0, 0.1, 0.2, 0.2, 0.5, 1.0) g/L de solución, no se realizaron variaciones en la temperatura. (Mourya, Sitashree, & M, 2014)

Menor porcentaje de eficiencia (60,68) gravimétrico

Mayor porcentaje de eficiencia (96,30) gravimétrico

El agente protector obtenido del extracto de flor de caléndula es la luteína, la cual es un pigmento natural que se encuentra presente en algunas algas, plantas y bacterias y permite la protección del organismo frente a los rayos del sol, su estructura se puede observar en la Figura 24.

**Figura 28***Monómero Carotenoide Luteína***Extracto de cascara de Sandia en medios acidos**

El extracto obtenido de la cascara de la Sandia fue utilizado como producto de prueba para inhibir el fenómeno de corrosión del acero dulce sumergido en medios ácidos ácido clorhídrico (HCL) 1M y ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 0,5M estudiando su eficiencia mediante técnicas electroquímicas como polarización potenciodinamica (PDP) y espectroscopia de impedancia electroquímica (EIS), Para este estudio se utilizaron concentraciones del extracto de (100, 200,1000, 1500 y 2000) ppm a temperatura de 25°C, los resultados de las pruebas electroquímicas se muestran en la tabla 4 en donde se puede evidenciar el incremento en la eficiencia al aumentar la concentración del extracto en la solución de prueba.

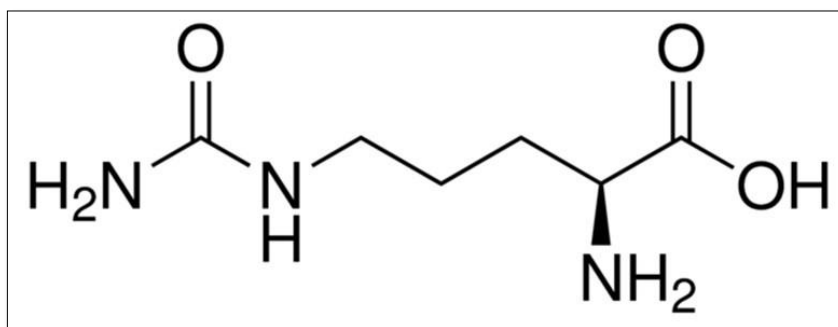
**Tabla 4***Eficiencia del extracto como inhibidor de corrosión*

Resultados (%) Eficiencia extracto de cascara de sandía, Pruebas electroquímicas.					
Concentración Ppm	Polarización potenciodinamica		espectroscopia de impedancia electroquímica		Temperatura °C
	HCL	H2SO4	HCL	H2SO4	
100	25,79	3,52	59,3	24,7	25
200	69,91	60,62	71,11	62,48	25
1000	71,78	72,73	78,48	63,05	25
1500	80,71	75,57	83,35	73,93	25
2000	79,86	79,90	83,35	77,34	25

El compuesto responsable del proceso de inhibición es la Citrulina(figura 25), aminoácido, compuesto orgánico perteneciente a los aminoácidos no proteicos el cual según el estudio realizado por (Nurudeen , Salvador , & Zuhair , 2015) el compuesto contiene heteroátomos y anillos aromáticos los cuales intervienen en el proceso de adsorción característico de los procesos de inhibición en superficies

### Figura 31

*Citrulina C<sub>6</sub>H<sub>13</sub>N<sub>3</sub>O<sub>3</sub>*



Los resultados demuestran que el extracto de cascara de Sandia actúa como un inhibidor de características mixtas funcionando sobre la reacción anódica y sobre la reacción catódica mediante la adsorción física del compuesto mayoritario citrulina.

### Extracto de fibra de coco en alcohol y acetona en medio ácido

Se realizó el estudio de eficiencia como inhibidor de corrosión a los extractos obtenidos del polvo de fibra de coco, estos extractos se realizaron en cuatro solventes diferentes para su análisis (Metanol, Etanol, Acetona, agua) una vez obtenidos los extractos se realizaron pruebas gravimétricas, espectroscopia de impedancia electroquímica, polarización potencio dinámica. (Saviour, Moses, Ubong, Ime, & Aniekemeabasi, 2014)

Durante el desarrollo de la metodología se evidencio el efecto de la temperatura en la eficiencia de inhibición del extracto en alcohol y acetona, este aspecto es uno de los factores más recurrentes en los extractos naturales por su alta degradación ante el aumento de temperatura.

Los resultados para cada extracto en concentración 0.5 g /L se presentan en la tabla 5.

**Tabla 5**

*Eficiencias (%) del extracto en diferentes solventes*

Solvente	Gravimetría (% eficiencia)	Método de polarización (% eficiencia)
Metanol	87,4	66,5
Etanol	79,9	58,9
Acetona	69,8	36,8
Agua	45,1	43,4

Nota: Reproducido de (Saviour, Moses , Ubong, Ime , & Aniekemeabasi , 2014)

En el estudio se evidencia el aumento de la eficiencia del extracto como inhibidor de corrosión para el acero dulce con el aumento en la concentración del extracto en la solución, más sin embargo esta eficiencia disminuyó con el aumento de la temperatura.

### **Extractos de Neolamarckia cadamba en medio ácido (Corteza, Hojas)**

Las hojas del árbol Neolamarckia cadamba conocido como Laran o Kadam se utilizaron como extracto natural para inhibición de la corrosión en medio ácido (HCL 1M) en el estudio realizado por (Pandian , Ahmad , A fi dah , Hasnah, & Khalijah , 2013) nombrado “Neolamarckia cadamba alkaloids as eco-friendly corrosion inhibitors for mild steel in 1 M HCl media”, en el cual se utilizó acero dulce se determinó la eficiencia del extracto en diferentes concentraciones que se encuentran en la tabla 6, estos resultados se obtuvieron utilizando la técnica de espectroscopia de impedancia electroquímica (EIS).

**Tabla 6***Resultados de eficiencia*

Inhibidor	Concentración em ppm	(%) eficiencia	Temperatura
Extracto de corteza	1	64	30°C
	2	76	
	3	79	
	4	81	
	5	82	
Extracto de hojas	1	67	30°C
	2	77	
	3	81	
	4	83	
	5	84	

Nota: Reproducida de (Pandian , Ahmad , A fi dah , Hasnah, & Khalijah , 2013)

Para el estudio se realizó la prueba experimental con el alcaloide puro 3b-isodihydrocadambine el cual es obtenido de los extractos de la planta, los resultados obtenidos no difieren en comparación con los obtenidos de los extractos directos de la corteza y las hojas; Una ventaja considerable es la baja concentración del extracto en comparación con otros estudios que requieren concentraciones superiores a 100 ppm para iniciar el proceso de inhibición.

**Estudio general inhibidores (2014) (L.S, T.O, O.B, A.G, C.I, A.S, C.T, TA)**

En Este estudio se presentan los resultados obtenidos de ocho (8) extractos de las plantas “L. shawii (L.S.), T. oliverianum (T.O.), O.baccatus (O.B.), A. garcinii (A.G.), C. italica (C.I.), A. sieberi (A.S.), C. tinctorius (C.T.) and T. auriculatum (T.A.)” (M.S. , y otros, 2014) en alcohol como inhibidores de corrosión amigables con el medio ambiente, para obtener los resultados de eficiencia se utilizaron técnicas electroquímicas como las pendientes Tafel y el método de espectroscopia de impedancia electroquímica (EIS) los resultados se presentan en la tabla 7.

**Tabla 7***Resultados de eficiencia (extractos en alcohol)*



Planta	Tafel	(EIS)
(L.S) <i>L. shawii</i>	85,4	76,1
(T.O) <i>T. oliverianum</i>	73,6	76,1
(O. B) <i>O. baccatus</i>	84,7	84,4
(A.G) <i>A. garcinii</i>	72,5	73,6
(C.I) <i>C. italica</i>	62,0	25,4
(A.S) <i>A. sieberi</i>	90,9	71,8
(C.T) <i>C. tinctorius</i>	89,1	61,8
(T.A) <i>T. auriculatum</i>	91,0	71,6

Todos los extractos se sometieron a prueba en una concentración de 100 ppm a 30 °C de temperatura, En el estudio se puede evidenciar que todos los extractos generan protección sobre la superficie metálica del acero dulce mediante un efecto mixto sobre las reacciones anódicas y catódicas; en el estudio se presenta la composición química de los extractos obtenidos identificando los compuestos que pueden estar generando directamente o sinergia con otros el proceso antioxidante en la reacción de corrosión; No se presenta la variación con la temperatura lo cual es uno de los puntos a fortalecer en los extractos naturales debido a su proceso de degradación a altas temperaturas.

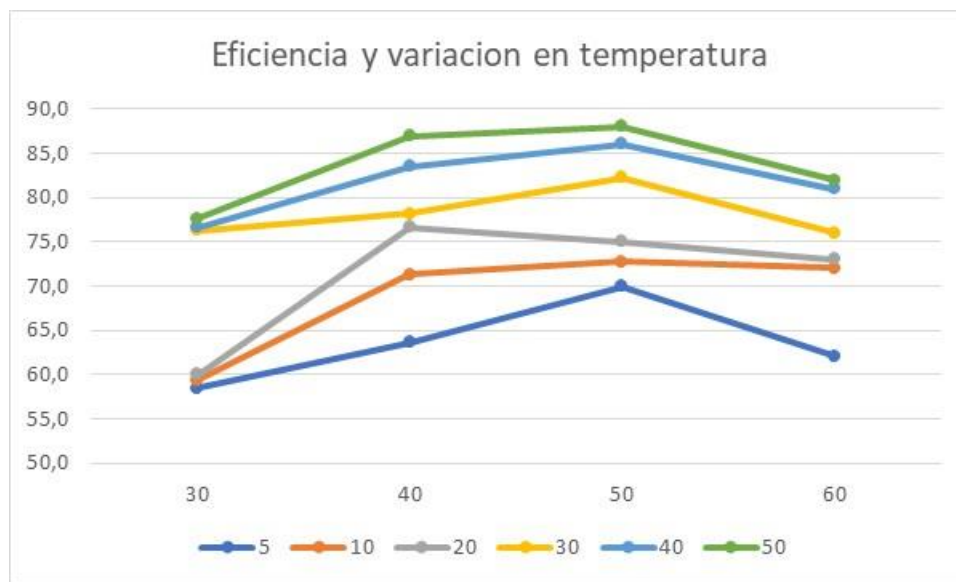
### **Jugo de durazno en medio ácido (HCL 1M)**

En el estudio se analizó el jugo de durazno como una alternativa natural para combatir los fenómenos de corrosión en el acero dulce, para este estudio se evaluó el efecto corrosivo de un medio ácido (HCL 1M) y diferentes concentraciones del jugo previamente filtrado, también se incluye la variación de la temperatura en el análisis para determinar su efecto sobre el inhibidor teniendo como referencia que los extractos naturales tienden a degradarse con mayor facilidad en altas temperaturas; Se encuentra en el estudio una discordancia en los valores obtenidos físicamente mediante cupones de corrosión y técnicas electroquímicas, pues se evidencia un aumento en la eficiencia al aumentar la temperatura en las piezas de acero al carbón expuestas,

sin embargo en las técnicas electroquímicas las variaciones son poco significativas y se presenta leve reducción en la eficiencia a mayor temperatura como se evidencia en la gráfica tabla 7.

### Figura 34

*Variación de la Eficiencia frente a los cambios de Temperatura*



### Extracto de Dardagan en medio ácido

El extracto de la fruta de Dardagan se utilizó como solución inhibidora en medio ácido para proteger el acero dulce de problemas de corrosión, en el estudio se demostró la eficiencia del extracto en diferentes concentraciones, obteniendo un mayor porcentaje de protección en concentraciones superiores a 1000 ppm, estos resultados se obtuvieron mediante la aplicación de técnicas electroquímicas en el estudio de eficiencia,

Estudios realizados:

Polarización potenciodinámica (PDP)

Espectroscopia de impedancia electroquímica (EIS)

Resistencia a la polarización lineal (LPR)

**Tabla 8***Eficiencia del extracto en diferentes concentraciones*

Concentración (ppm)	Resultado de eficiencia		
	%Eficiencia (PDP)	%Eficiencia (EIS)	%Eficiencia (LPR)
100	55,5	19,6	4,4
500	50,5	65,0	54,7
1000	82,2	83,9	78,2
2000	85,2	86,4	83,5
3000	92,1	93,0	92,2

La eficiencia del extracto como inhibidor del proceso corrosivo se evidencia en los resultados obtenidos, debido a sus compuestos orgánicos que generan una película protectora sobre la superficie metálica, pero esta película depende directamente de la concentración del extracto en la solución. (Sedik, y otros, 2020)

#### **Extracto de pulpa de albaricoque en 2-propanol**

Se estudió el efecto inhibitorio de la pulpa de albaricoque en solución salina 0,5 M NaCl para proteger el acero dulce de fenómenos de corrosión, en este estudio se menciona no solo la necesidad de buscar soluciones amigables con el medio ambiente sino también la necesidad de aprovechar los desechos orgánicos de la producción agrícola mundial, pues los compuestos orgánicos presentes en muchas plantas no solo se encuentran en sus semillas u hojas sino que pueden estar presentes en toda parte de la planta convirtiendo los desechos en materia prima para productos de extracción de compuestos sintetizados naturalmente como se pretende en este estudio con la extracción de la pulpa de albaricoque.

El extracto fue preparado con la pulpa secada con prensa fría y triturada para obtener un polvo seco una vez obtenido el polvo se procedió a realizar la extracción en sistema soxhlet de recirculación de solvente por seis (6) horas, después de la extracción se evaporo el solvente para obtener el extracto puro, la solución madre se prepara con 1 gramo de extracto y 100 ml de 2-propanol.

Para los estudios más recientes como el que se realizó en este caso se logra obtener la composición química del extracto evaluado e identificar una gran variedad de compuestos orgánicos que pueden estar interviniendo en el proceso de inhibición, algunos de estos compuestos se mencionan en la tabla 9 con sus respectivos porcentajes de proporción en el extracto.

**Tabla 9**

*Compuestos presentes en el extracto de albaricoque*

Nombre de compuesto	% de composición
(2E)-3,7-Dimethyl-2,6-octadien-1-ol (geraniol)	8,54
3,7,11-Trimethyl-1,6,10-dodecatrien-3-ol (nerolidol)	8,54
Dihydro-5-octyl-2(3H)-furanone	7,65
Dihydro-5-octyl-2(3H)-furanone	6,1
(9Z)-octadec-9-enoic acid	6,1
octadecanoic acid (stearic acid)	6,02

*Nota.* los compuestos se identificaron mediante GC-MS (Cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas)

Por medio de esta técnica se puede comprobar que un extracto orgánico puede contener gran variedad de compuestos de los cuales solo uno de ellos cumpliría la función antioxidante o una sinergia entre varios compuestos incrementa la capacidad antioxidante del extracto.

**Tabla 10**

*Eficiencia del extracto como inhibidor de corrosión.*

Concentración del inhibidor ppm	Eficiencia del inhibidor (%)	Cobertura de superficie (%)
50	25,8	0,258
100	58,9	0,589
150	68,9	0,689
200	72,5	0,725
250	74,2	0,742
300	78,9	0,789
400	80,1	0,801
500	94,6	0,946

*Nota.* La tabla se obtiene del artículo expuesto en este documento (Vorobyova & Skiba, 2020)

#### **Extracto de la corteza de Acacia catechu en medio ácido.**

Se evaluó la capacidad del extracto de corteza de Acacia catechu como inhibidor de corrosión del acero dulce en medio ácido como alternativa amigable con el ambiente teniendo en cuenta los riesgos implícitos que conlleva el uso de inhibidores comerciales costosos y altamente tóxicos en la industria, para determinar su eficiencia se utilizaron dos técnicas electroquímicas:

Polarización potenciodinámica (PDP)

Espectroscopia de impedancia electroquímica (EIS)

Adicional se realizó la medición de la eficiencia por medio de la inmersión de cupones de corrosión en medio ácido 0,5 M (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) los resultados de estas técnicas se evidencian en la tabla

11, como en estudios anteriores se puede evidenciar el incremento en la eficiencia al aumentar la concentración del inhibidor, debido al sistema de adsorción que genera una capa protectora sobre la superficie metálica, al disponer de mayor cantidad de producto la capa será más fuerte y estable.

**Tabla 11**

*Resultados de Eficiencia del Inhibidor*

Concentración del inhibidor ppm	Eficiencia del inhibidor Cupones (%)	Eficiencia del inhibidor (PDP) (%)	Eficiencia del inhibidor (EIS)
100	68,06	67,3	68,42
200	74,41	71,79	72,41
300	80,1	75,56	74,27
400	86,12	82,28	80,48
500	88,79	91,14	92,7
600	91,13	93,85	93,12

La información sobre los sistemas de adsorción del extracto se encuentra en el documento utilizado como base de este estudio (Haldhar, Prasad, & Bhardwaj, 2020)

**Generalidades de los extractos de plantas como inhibidores de corrosión**

Los inhibidores de corrosión naturales o amigables con el medio ambiente han surgido como una alternativa económica y segura para el control de corrosión en diferentes ambientes, y aunque su fase es experimental, el interés aumenta con los resultados de los nuevos estudios y las metodologías de extracción de los componentes que realizan el proceso antioxidante; Hay algunas características que comparten la mayoría de posibles inhibidores basados en extractos de plantas (Semillas, hojas, corteza, raíz) por las cuales generan esta demanda en investigaciones y a su vez también representan una barrera para dar grandes pasos hacia la producción y comercialización.

### *Concentraciones del extracto*

En los estudios realizados se puede encontrar una relación en la concentración del inhibidor y la eficiencia de este sobre las reacciones de corrosión anódicas y catódicas, para obtener eficiencias superiores al 70% en la parte experimental es necesario utilizar concentraciones superiores a 100 ppm del extracto analizado y en algunos casos concentraciones hasta los 3000 ppm lo cual representa el 3% del total de la solución de trabajo, estas concentraciones tan elevadas implican para la industria de hidrocarburos volúmenes supremamente altos teniendo como referencia la producción diaria de un solo pozo petrolero o el agua tratada a diario en una facilidad de producción, las concentraciones y los porcentajes de eficiencia de algunos de los estudios realizados se encuentra en la tabla 12.

**Tabla 12**

*Resultados de eficiencia estudios de inhibidores naturales.*

Planta Nombre científico	concentración del inhibidor (ppm)	% eficiencia Polarización potenciodinamica			% eficiencia gravimetría			% eficiencia espectroscopia de impedancia electroquímica		
		HCL	H2SO4	NaCL	HCL	H2SO4	NaCL	HCL	H2SO4	NaCL
Tagetes erecta	100		65,17			60,68			80,00	
	200		80,64			87,00			85,00	
	300	-	90,22	-	-	92,30	-	-	89,41	-
	500		93,79			94,54			98,06	
	1000		98,19			96,30			98,07	
watermelon	100	25,79	3,52					59,30	24,7	
	200	69,91	60,62					71,11	62,48	
	1000	71,78	72,73	-	-	-	-	78,48	63,05	-
	1500	80,71	75,57					83,35	73,93	
	2000	79,86	79,90					83,35	77,34	

Planta Nombre científico	concentración del inhibidor (ppm)	% eficiencia Polarización potenciodinamica			% eficiencia gravimetría			% eficiencia espectroscopia de impedancia electroquímica		
		HCL	H2SO4	NaCL	HCL	H2SO4	NaCL	HCL	H2SO4	NaCL
coconut coir	100	-	3,7	-	-	-	-	-	54,6	-
	500	-	36,8	-	-	-	-	-	75,4	-
Neolamarckia cadamba	1							64		
	2							76		
	3	-	-	-	-	-	-	79	-	-
	4							81		
	5							82		
Lycium shawii	100	76,1	-	-	-	-	-	85,4	-	-
Teucrium olivianum	100	76,1	-	-	-	-	-	73,6	-	-
Ochradenus baccatus	100	84,4	-	-	-	-	-	84,7	-	-



Planta Nombre científico	concentración del inhibidor (ppm)	% eficiencia Polarización potenciodinamica			% eficiencia gravimetría			% eficiencia espectroscopia de impedancia electroquímica		
		HCL	H2SO4	NaCL	HCL	H2SO4	NaCL	HCL	H2SO4	NaCL
Anvillea garcinii	100	73,6	-	-	-	-	-	72,5	-	-
Cassia italica	100	25,4	-	-	-	-	-	62,0	-	-
Artemisia sieberi	100	71,8	-	-	-	-	-	90,9	-	-
Carthamus tinctorius	100	61,8	-	-	-	-	-	89,1	-	-
Tripleurospermum auriculatum	100	71,6	-	-	-	-	-	91,0	-	-

Planta	concentración del inhibidor (ppm)	% eficiencia Polarización potenciodinamica			% eficiencia gravimetría			% eficiencia espectroscopia de impedancia de electroquímica		
		HCL	H2SO4	NaCL	HCL	H2SO4	NaCL	HCL	H2SO4	NaCL
Peach	5	54								
	10	60								
	20	68								
	30	74	-	-	-	-	-	-	-	-
	40	77								
	50	78								
Dardagan Fruit	1000	55,5						4,4		
	500	50,5						54,7		
	1000	82,2	-	-	-	-	-	78,2	-	-
	2000	85,2						83,5		
	3000	92,1						92,2		
APRICOT	50						25,8			
	100						58,9			
	150						68,9			
	200						72,5			
	250	-	-	-	-	-	74,2	-	-	-
	300						78,9			
	400						80,1			
	500						94,6			
Acacia catechu	100		67,30			68,06			68,42	
	200		71,79			74,41			72,41	
	300		75,56			80,10			74,27	
	400	-	82,28	-	-	86,12	-	-	80,48	-
	500		91,14			88,79			92,70	
	600		93,85			91,13			93,12	
almond	10	29,66			41,0			22,33		
	50	59,77			78,2			56,09		
	100	72,95	-	-	91,4	-	-	65,82	-	-
	200	80,51			94,6			84,65		
	300	86,95			96,4			86,68		

Planta Nombre científico	concentración del inhibidor (ppm)	% eficiencia Polarización potenciodinamica			% eficiencia gravimetría			% eficiencia espectroscopia de impedancia electroquímica		
		HCL	H2SO4	NaCL	HCL	H2SO4	NaCL	HCL	H2SO4	NaCL
Garcinia indica	-	77,27			93,14			75,16		
		80,12	-	-	93,60			77,41	-	-
		84,11			93,92			79,16		
		89,4			93,94			87,42		
Annona Muricata L	-	73,7			78,8					
		88,4			86,1					
		88,9	-	-	88,5	-	-	-	-	-
		89,5			89,2					
		91,8			91,4					
Tunbergia fragrans	100	57,5					18,71			
	200	69,8					25,15			
	300	75,56	-	-	-	-	42,3	-	-	
	400	78,43					45,26			
	500	81,1					75,29			
Lavandula mairei	50	69,9			68,9		76,6			
	100	80,3			79,9		83,0			
	200	84,6	-	-	82,3	-	88,1	-	-	
	400	89,9			88,9		91,6			
Ficus racemoso	500						0			
	1000						0			
	1500	-	-	-	-	-	93,11	-	-	
	2000						88,86			



Planta Nombre científico	concentración del inhibidor (ppm)	% eficiencia Polarización potenciodinamica			% eficiencia gravimetría			% eficiencia espectroscopia de impedancia electroquímica		
		HCL	H2SO4	NaCL	HCL	H2SO4	NaCL	HCL	H2SO4	NaCL
Citrus reticulata	100	72,6			84,6			71,7		
	200	80,8			89,7			87,8		
	500	85,2			92,1			90,1		
	1000	88,5			95,3			91,2		

*Nota.* la elaboración de esta tabla se realizó con los resultados de los estudios presentes en este documento como línea base.

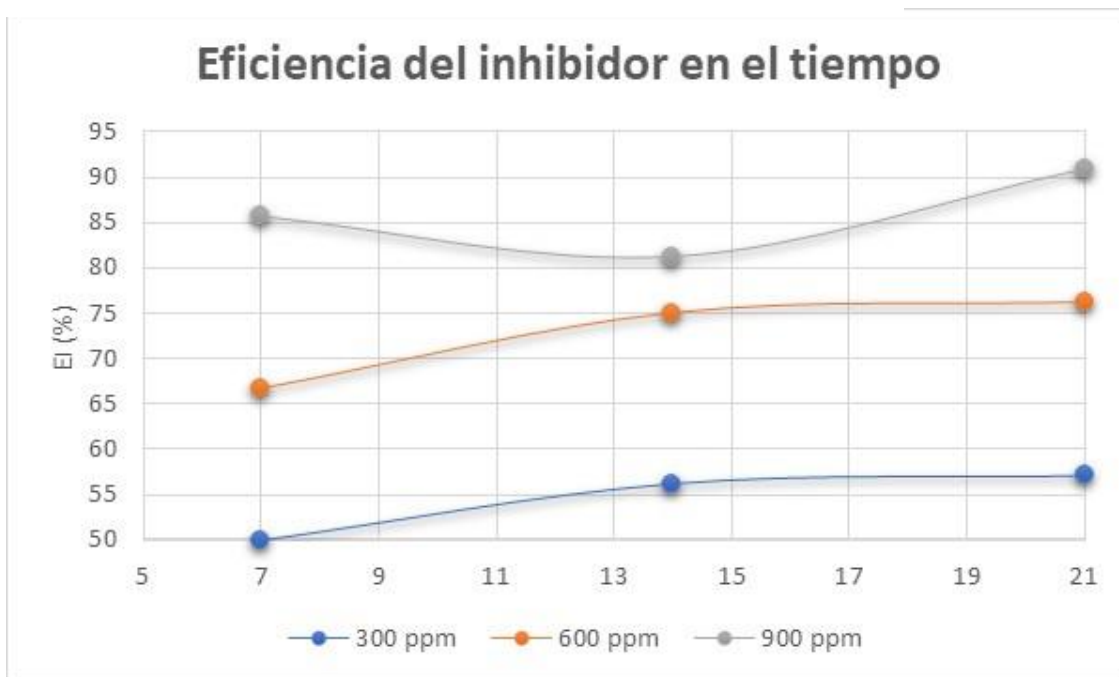
### ***Tiempo de exposición y temperatura***

Otros factores que impactan en la eficiencia de los inhibidores naturales es el tiempo de exposición o contacto con la superficie metálica y la temperatura del sistema; el tiempo de exposición genera mayor oportunidad para la formación de la película protectora que se genera por la adsorción de los compuestos orgánicos sobre la superficie y la temperatura degrada los compuestos orgánicos disponibles del extracto para ilustrar este factor se presentan los resultados del estudio realizado con hojas de Gandu (Frijol de palo o frijol chicharo) (Anadebe, Onukwuli , Omotioma , & Okafor, 2019) en el cual se pueden evidenciar tres tiempo de contacto 7, 14 y 21 horas respectivamente y tres temperaturas de trabajo 300, 312 y 324 °K tabla 11, estos resultados se obtuvieron por medio de exposición de cupones de corrosión en medio ácido.

La eficiencia del inhibidor aumenta con el tiempo de exposición como se observa en el grafico 2 para todas las concentraciones la mayor eficiencia se encuentra una vez transcurridas 21 horas del ensayo, aunque esto un parámetro que genera un buen beneficio, también convierte al tiempo en un factor negativo pues los extractos en solución son utilizados en la mayor brevedad para evitar la degradación de los compuestos orgánicos, así pues el almacenamiento de este tipo de producto preparados se convierte en otro campo de estudio(estabilidad).

**Figura 37**

*Relación de la eficiencia del inhibidor con relación al tiempo de Contacto*

**Tabla 13**

*Variaciones de eficiencia por acción de la temperatura en diferentes tiempos de exposición*

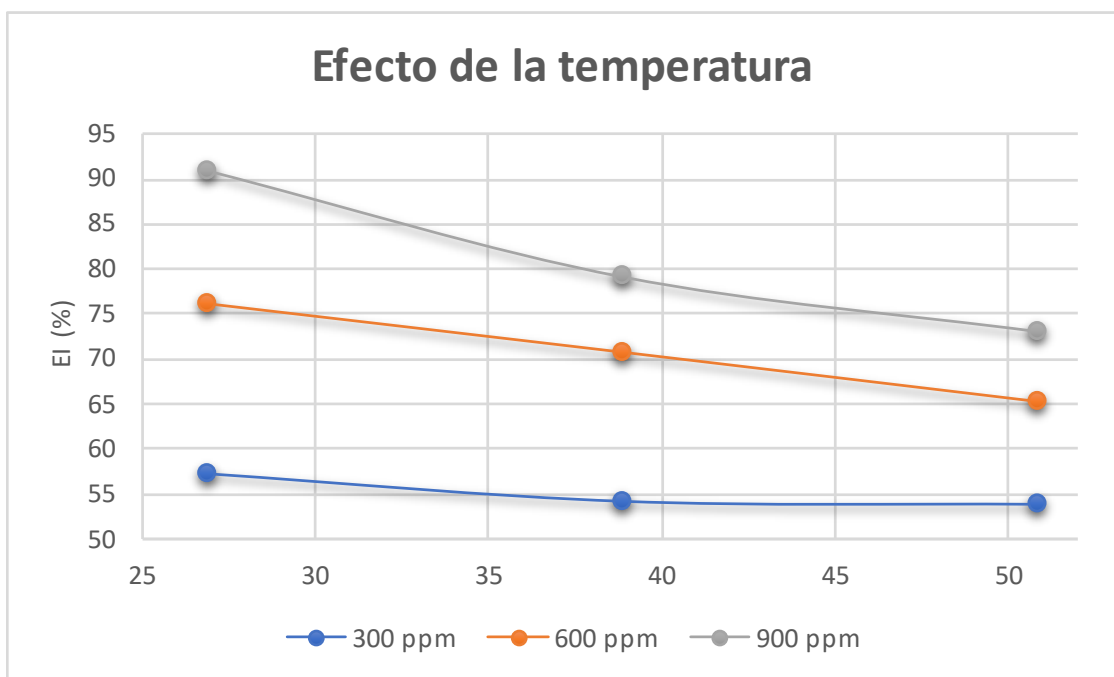
Tiempo (hr)	Temp. °C	Conc. (ppm)	Pérdida de peso (gr)	CR (mm/y)	IE (%)
21	27	0	0,21	0,500	
		300	0,09	0,214	57,14
		600	0,05	0,119	76,19
		900	0,02	0,049	91
	39	0	0,24	0,571	
		300	0,11	0,262	54,17
		600	0,07	0,167	70,83
		900	0,05	0,119	79,17
	51	0	0,26	0,619	
		300	0,12	0,286	53,85
		600	0,09	0,214	65,38
		900	0,07	0,167	73,08
14	27	0	0,16	0,571	
		300	0,07	0,250	56,25

Tiempo (hr)	Temp. °C	Conc. (ppm)	Pérdida de peso (gr)	CR (mm/y)	IE (%)
		600	0,04	0,143	75
		900	0,03	0,107	81,25
	39	0	0,18	0,643	
		300	0,09	0,321	50
		600	0,06	0,214	66
		900	0,04	0,143	77,78
	51	0	0,19	0,679	
		300	0,1	0,357	47,37
		600	0,08	0,286	57,89
		900	0,06	0,214	68,42
7	27	0	0,12	0,857	
		300	0,06	0,429	50
		600	0,04	0,286	66,67
		900	0,03	0,071	85,71
	39	0	0,13	0,929	
		300	0,07	0,500	46,15
		600	0,05	0,357	61,54
		900	0,06	0,143	71,43
	51	0	0,15	1,071	
		300	0,09	0,643	40
		600	0,06	0,429	60
		900	0,05	0,357	66,67

La temperatura al aumentar disminuye la eficiencia del inhibidor, este comportamiento es regular en los estudios realizados con otros inhibidores de corrosión a base de extractos de plantas, el componente orgánico aumenta su proceso de degradación debido al aumento de temperatura interrumpiendo la eficiencia del inhibidor sin importar la concentración de este en la solución como se puede evidenciar en la figura 28.

**Figura 40**

*Efecto de la Temperatura en el Porcentaje de la Eficiencia*





### **Beneficios de la implementación futura de inhibidores naturales**

El desarrollo industrial en la actualidad está impulsado por la energía que se obtiene de diferentes fuentes a nivel mundial como lo son energía nuclear, hidroeléctrica, biomasa y en el top número uno y dos el carbón y el petróleo respectivamente en el caso específico del petróleo su infraestructura de producción, transporte y almacenamiento tiene bases metálicas las cuales son susceptibles a problemas de corrosión y estos problemas representan una inversión en mantenimiento y reparación sumamente altos, adicional se contemplan los impactos ambientales negativos por el consumo de materiales y los vertimientos ocasionados por los incidentes en pozo de producción, líneas de transporte y tanques de almacenamiento de toda la cadena de producción y suministro; muchos de los problemas ocasionados por la corrosión son minimizados al hacer uso constante de inhibidores de corrosión naturales, pero al utilizar estos productos también se genera un impacto negativo sobre la salud del ser humano y el ambiente, entonces desde hace muchos años se plantea la solución de suplir la necesidad de inhibidores de corrosión por productos amigables con el ambiente como los inhibidores elaborados con extractos de plantas los cuales presentan una gran variedad de beneficios entre los cuales se pueden destacar:

Eliminación de nitritos, nitratos, cromatos, metales pesados, sulfatos y sulfitos en la producción de inhibidores de corrosión industriales, estos compuestos son el motivo esencial en la iniciativa científica por realizar un cambio en los productos de protección contra la corrosión como por ejemplo el cromo se convirtió en uno de los elementos más utilizados para generar la fijación de películas pasivantes sobre superficies metálicas, el cromo en estado hexavalente es toxico para la salud humana según la agencia internacional para la investigación del cáncer (IARC) el cromo (VI) es cancerígeno para el ser humano y en este aspecto los inhibidores de corrosión naturales llevan la ventaja al

presentar características inocuos para el medio ambiente y para la salud de los seres humanos,

Aprovechamiento de los residuos agroindustriales; Uno de los objetivos primordiales de la elaboración de los inhibidores de corrosión naturales es poder obtener beneficios de las toneladas de desechos agroindustriales que se producen en el mundo, como se menciona en el artículo “ Apricot pomace extract as a natural corrosión inhibitor of mild Steel corrosión in 0.5 M NaCL solution: a combined experimental and theoretical approach” (Vorobyova & Skiba, 2020) cerca del 20% de la cosecha se convierte en desecho después del procesamiento y los compuestos presentes en los inhibidores estudiados en muchas ocasiones no solo se encuentran en el fruto, la flor o la corteza de la planta si no que es parte de todo el organismo por lo cual se puede generar el aprovechamiento de este materia sin necesidad de hacer procesamiento previo de selección.

Rentabilidad en la adquisición de productos; en la industria petrolera la aplicación de un inhibidor está sujeto al costo-beneficio que resulta después del estudio de impactos, si se considera más económico cambiar piezas metálicas periódicamente el uso de inhibidores queda relegado a un segundo plano, más sin embargo los estudios ambientales en muchos casos no van sujetos en estos planes de rentabilidad solo se tiene en cuenta el aplicar o no aplicar un inhibidor debido a su alto costo, por ejemplo en el tratamiento acido de pozos la aplicación de tratamiento anticorrosivo para evitar que estos ácidos ocasionen daños en el sistema de tuberías es de vital importancia y al manejar temperaturas y presiones elevadas la variedad de productos que pueden aplicarse disminuye aumentando el valor de los disponibles en el mercado.

Prevención de la contaminación en ambientes acuáticos; Un inhibidor extraído de partes de una planta no contiene propiedades nocivas para el ambiente o el ser humano, salvo en

algunos casos muy específicos, por esta razón al aplicar este tipo de productos en sistemas de producción y transporte de hidrocarburos y refinados se previene desde su desarrollo el vertimiento de metales pesados y otros agentes contaminantes que están incluidos en la preparación de inhibidores comerciales sintéticos.

Prevención y control de riesgos para la salud en trabajadores y operadores de tratamientos químicos, Los protocolos de seguridad en el trabajo actualmente son más rigurosos y la prevención de accidentes y enfermedades laborales se afrontan con programas y entrenamiento del personal, sin embargo la mejor manera de minimizar un riesgo es hacer control en la fuente y con la intervención de tratamientos anticorrosivos basados en compuestos naturales se logra eliminar el componente tóxico y agresivo de los compuestos sintéticos que están presentes en los inhibidores de corrosión comerciales.

### **Mitigación de compuestos tóxicos en las corrientes de aire**

Los productos químicos utilizados en la industria petrolera para la mitigación de los problemas de corrosión por lo general son transportados por las corrientes que se quieren intervenir ya sea un sistema de agua, uno de producción multifásico o un a línea de gas, estos productos reaccionan con el agente corrosivo hasta transformarse en otros compuestos o se precipitan formando capas protectoras, cuando estos procesos se dan por terminados, residuales del producto químico sin reaccionar o precipitar acompañan la corriente hasta llegar a un sumidero en la naturaleza que reciba el contaminante.

La atmósfera es uno de los mayores receptores de contaminantes de la industria petrolera, en la explotación del oro negro se extraen corrientes de gas con un valor comercial poco rentable para la industria, este gas es utilizado en procesos internos de las propias plantas de producción o quemado en las chimeneas del campo petrolero, los principales contaminantes en las emisiones de gases de la industria son: CFCs, Óxidos de nitrógeno, Dióxido de azufre, Monóxido de

carbono, CO<sub>2</sub>, metano, etano, butano, propano entre otros, adicional se liberan las trazas de todos los productos químicos utilizados en los procesos de extracción en refinación entre ellos los inhibidores de corrosión.

La implementación de inhibidores de corrosión basado en extractos de plantas es un aporte pequeño en la reducción de trazas de compuestos químicos en las corrientes de gas, dado que la composición mayoritaria de contaminantes proviene del yacimiento, los impactos se registran en la mitigación de fallas por corrosión y la liberación accidental y no controlada de corrientes de gas a la atmosfera.

### **Manejo del riesgo en derrames accidentales de inhibidores**

Un derrame accidental es uno de los eventos más comunes en cualquier industria que maneje algún tipo de producto sea peligroso o no, este tipo de eventos implica la activación de planes de contingencia y el gasto de recursos para realizar procesos de mitigación en las áreas afectadas y el personal involucrado.

Para el manejo del riesgo químico con inhibidores de corrosión comerciales se deben tener presentes todos los controles y barreras que se requieren para la manipulación, transporte y almacenamiento de sustancias peligrosas todo debidamente enmarcado en el sistema globalmente armonizado SGA.

### ***Identificación de un producto peligroso (inhibidor de corrosión)***

Un compuesto de un inhibidor de corrosión es el ácido tioglicólico el cual es un compuesto tóxico y corrosivo clasificado en las clases de peligro para la salud en el SGA de la siguiente manera:

Tox. ag. 3 Toxicidad aguda (Oral o Cutánea o inhalación) categoría de peligro 3

Corr. cut. 1B corrosión o irritación cutánea categoría 1B

**Figura 43***Clases de Peligro para la salud SGA*

CLASES DE PELIGRO PARA LA SALUD	CATEGORÍAS DE PELIGRO						
Toxicidad aguda (oral o cutánea o inhalación)	1		2		3	4	5
Corrosión o irritación cutánea	1A	1B	1C	2		3	
Lesiones oculares graves o irritación ocular	1			2			
				2A	2B		
Sensibilización respiratoria o cutánea	1						
	1A	1B					
Mutagenicidad en células germinales	1			2			
	1A	1B					

Este producto está acompañado por dos pictogramas

**Indicaciones de peligro**

H331 Tóxico en caso de inhalación.

H311 Tóxico en contacto con la piel.

H301 Tóxico en caso de ingestión.

H314 Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves.

**Consejos de prudencia**

P260 No respirar el polvo/el humo/el gas/la niebla/los vapores/el aerosol.

P261 Evitar respirar el polvo, el humo, el gas, la niebla, los vapores o el aerosol.

P264 Lavarse...concienzudamente tras la manipulación.

P270 No comer, beber ni fumar durante su utilización.

P271 Utilizar únicamente en exteriores o en un lugar bien ventilado.

P501 Eliminar el contenido/el recipiente según Directive 94/62/CE o 2008/98/CE.

Estos peligros y consejos de prudencia que se encuentran en la ficha de datos de seguridad del producto se relacionan al compuesto como tal ácido tioglicólico al 80%, pero en el inhibidor de corrosión se encuentra en una mezcla con otros productos que también deben ser previamente analizados según los criterios del SGA, de esta manera un operador o una persona que tenga contacto con este producto debe tener conocimientos en el manejo de productos y como preservar la salud al momento de realizar la manipulación.

Lo presentado anteriormente es solo una vista general de los conocimientos y criterios que deben tener en cuenta para el manejo del riesgo al realizar la manipulación de inhibidores de corrosión, lo cual en la industria se maneja de una manera muy básica por parte del operador final del producto químico generando problemas de salud a largo plazo o accidentes con repercusiones inmediatas.

Al realizar la aplicación de inhibidores de corrosión a base de extractos de plantas se mitiga desde la fuente los problemas asociados a la toxicidad de los inhibidores, para algunos casos específicos, se trabajaría según los estudios realizados y presentados en este trabajo con diluyentes como alcohol y acetona para el manejo de los extractos o en base agua lo que minimiza los controles y las barreras que se deben manejar en el transporte y la manipulación de este tipo de productos.

En un derrame accidental, las características de peligrosidad de los inhibidores de corrosión comerciales implican la implementación de planes de intervención cuando el producto

derramado es de un volumen considerable se deben considerar la remisión mecánica del suelo afectado, la poda del área afectada, la incineración de los materiales contaminados, la atención de primeros auxilios de las personas involucradas, las mediciones de residual en fuentes de agua si se generó infiltración o escorrentía, todos estos protocolos podrían ser eliminados al implementar técnicas amigables con el ambiente como lo son los inhibidores de corrosión naturales.

El futuro para los inhibidores de corrosión naturales es prometedor, el campo de aplicación es variado, en cuanto a la industria petrolera se requiere avanzar en el mejoramiento de estos productos en resistencia a la temperatura y estabilidad para evitar la degradación, sin embargo es evidente que el interés de muchos investigadores esta puesto en encontrar una manera más efectiva y saludable para problemas cotidianos que generen impactos positivos en la industria y en el bienestar del ser humano y su entorno.

## Conclusiones

Los extractos de plantas se han estudiado ya hace décadas para encontrar formas alternas de mitigar los procesos de corrosión, en estos estudios se presenta el manejo y la aplicación de las plantas en diversas formas de aplicaciones como se menciona en (Valladares Cisneros, Melgoza Alemán, & Cuevas Arteaga), en forma de polvos, aceites esenciales, infusiones acuosas y extractos orgánicos, para el estudio se realizó la investigación exhaustiva en los procesos de extracción, estos extractos contienen altas concentraciones de compuestos orgánicos que se han identificado como agentes antioxidantes y presentan la ventaja competitiva frente los productos sintéticos de utilizar concentraciones muy bajas para obtener un control sobre los procesos de corrosión que garantice la vida útil de los sistemas metálicos.

Aunque se han realizado numerosos estudios y se ha encontrado una gran variedad de compuestos orgánicos que generan procesos de inhibición eficientes, estos proyectos de investigación están relegados a investigaciones de laboratorio con recursos limitados y pocas oportunidades de aplicación en campo, por tal motivo no se han realizado avances más profundos en el mejoramiento de falencias que se han identificado a lo largo de los años en cuanto a resistencia de temperaturas y las concentraciones óptimas para el manejo de productos en campo o estabilidad frente a otros productos químicos que puedan entrar en contacto como por ejemplo derivados del petróleo y agentes químicos que mejoran su calidad y su transporte por oleoductos o poliductos.

Como se mencionó anteriormente, la mayoría de los estudios revelan un gran rendimiento y eficiencia en las pruebas de laboratorio, sin embargo la aplicación en campo no se ha generado, para el caso de la industria petrolera, no se encuentra información que respalde un proceso de



intervención de los tratamientos químicos utilizando extractos de plantas como base del tratamiento, en gran medida esto se debe a las falencias en los rangos de temperatura que pueden manejar los extractos naturales y a la limitación en la profundidad y alcance de los estudios ya que en la mayoría de artículos encontrados el alcance no va más allá de establecer si el extracto funciona bajo condiciones controladas de laboratorio y de manera directa sobre un metal en inmersión total.

Los resultados presentados en la mayoría de los estudios demuestran una gran eficiencia en los procesos de corrosión general ocasionados por la agresividad del medio, en la mayoría de los casos el medio agresivo es ácido clorhídrico o sulfúrico en concentración 1M (molar), en ningún caso se encuentra el efecto de los inhibidores en otros procesos de corrosión como el influenciado por microorganismos (MIC) o el ataque por gases disueltos que suelen ser procesos bastante agresivos.

Los grandes beneficios que se presentaron en el numeral 8 del trabajo representan un afecto directo de la aplicación de los inhibidores basados en extractos de plantas como disminución en el consumo de productos químicos nocivos en la industria petrolera, la mitigación de liberación accidental de compuestos tóxicos al ambiente genera procesos de reducción de compuestos bioacumulables en ambientes acuáticos y reducción del riesgo para los trabajadores involucrados en los tratamientos químicos.

## Bibliografía

- Agencia informativa CONACYT. (18 de 09 de 2018). *Manzana, aguacate y mamey contra la corrosión*. Obtenido de CienciaMX:  
<http://www.cienciamx.com/index.php/tecnologia/materiales/23619-manzana-aguacate-mamey-corrosion>
- Anadebe, V. C., Onukwuli , O. D., Omotioma , M., & Okafor, N. A. (2019). Experimental, theoretical modeling and optimization of inhibition efficiency of pigeon pea leaf extract as anti-corrosion agent of mild steel in acid environment . *Materials Chemistry and Physics*, 120-132.
- Aranda Aranda, E. (Mayo de 2010). *Facilidades de superficie*. Barrancabermeja, Santander, Colombia.
- BICENTENARIO . (diciembre de 2011). *El Oleoducto*. Obtenido de ¿Qué es un oleoducto?:  
<https://www.bicentenario.com.co/index.php/quienes-somos-2/el-oleoducto>
- C.I.C. (Septiembre de 2016). *Corrosión interna en transporte de gas y crudo monitoreo y control*. Santa Cruz, Bolivia . Obtenido de Módulo IV.
- CENIT. (7 de marzo de 2021). *Transporte y logística de hidrocarburos* . Obtenido de Red de distribución : <https://cenit-transporte.com/glp/>
- Cruz Reyes , J. I. (2019). *EPMEX*. Obtenido de Sistema integral de producción:  
<https://epmex.org/news/2019/08/19/sistema-integral-de-produccion-sip/>
- Davis, J. (2000). *Corrosion : Understanding the Basics*. ASM International.
- EPA. (9 de Septiembre de 2020). *Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos* . Obtenido de Resumen de la ley de control de sustancias Tóxicas. :  
<https://www.epa.gov/laws-regulations/summary-toxic-substances-control-act>

GEOLOGIAWEB. (10 de 2020). *Hematita: Propiedades, características y usos*. Obtenido de Geología, Ciencias de la tierra, sus ramas y aplicaciones:

<https://geologiaweb.com/minerales/hematita/>

Haldhar, R., Prasad, D., & Bhardwaj, N. (2020). Experimental and Theoretical Evaluation of Acacia catechu Extract as a Natural, Economical and Efective Corrosion Inhibitor for Mild Steel in an Acidic Environment. *Journal of Bio- and Tribo-Corrosion*.

Hart, E. (2016). *Corrosion inhibitors: Principles Mechanisms and applications*. New York : Nova.

ISSLA. (16 de diciembre de 2018). Introducción a los Reglamentos REACH y CLP. *Jornada organizada organizada por El Instituto Aragonés de Seguridad y Salud Laboral con la colaboración de Mutua FREMAP*.

doi:<https://www.youtube.com/watch?v=S3rCpzCbNSg>

ITSEMAP, MAPFRE Y CAJAMADRID. (2005). *Soldadura*. (C. EMPRESAS, Ed.) Recuperado el 15 de 10 de 2020, de

<https://www.fundacionmapfre.org/documentacion/publico/i18n/consulta/registro.cmd?id=26778>

M.S. , A.-O., A.M. , A.-M., M., K., A.A. , M., S.A. , A.-M., & H.Z. , A. (2014). Corrosion inhibitory action of some plant extracts on the corrosion of mild steel in acidic media. *Arabian Journal of Chemistry*, 340-346.

Matsumura, M. (2012). *Erosion-corrosion : An Introduction to Flow Induced Macro-cell Corrosion*. Bentham Science Publishers.

Mendoza Flores, J., & Durán Romero , R. (2021). *Espectroscopía de impedancia electroquímica en corrosión* . Obtenido de NOTAS : <http://depa.fquim.unam.mx/labcorr/libro/Manual-EIS-IMP-UNAM.PDF>

MINIAMBIENTE. (01 de 01 de 2017). SGA. Obtenido de Guía de clasificación de peligros

basada en los criterios del Sistema globalmente armonizado de clasificación y etiquetado de productos químicos SGA:

[https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/sustancias\\_qu%C3%ADmicas\\_y\\_residuos\\_peligrosos/A5\\_-\\_Guia\\_de\\_clasificacion\\_de\\_peligros\\_segun\\_SGA\\_2017.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/sustancias_qu%C3%ADmicas_y_residuos_peligrosos/A5_-_Guia_de_clasificacion_de_peligros_segun_SGA_2017.pdf)

Mourya, P., Sitashree, B., & M, S. M. (2014). Corrosion inhibition of mild steel in acidic solution by *Tagetes erecta* (Marigold flower) extract as a green inhibitor). *Corrosion Science*. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1016/j.corsci.2014.04.036>

NACE . (Julio de 2008). Corrosión interior de ductos . NACE International .

NACE International. (July de 2014). *Internal corrosion for pipelines advanced*.

Nurudeen , O. A., Salvador , U., & Zuhair , G. (January de 2015). Utilization of watermelon rind extract as a green corrosion inhibitor for mild steel in acidic media. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry 21*. doi:10.1016 / j.jiec.2014.02.030

P & G Capacitación y consultoría. (8 de Junio de 2019). *Curso corrosión y protección catódica* . Obtenido de Gestión de mantenimiento: <http://www.pgcapacitacion.com/producto/curso-corrosion-y-proteccion-catodica/>

Pandian , R. B., Ahmad , Q. K., A fi dah , R. A., Hasnah, O., & Khalijah , A. (2013).

Neolamarckia cadamba alkaloids as eco-friendly corrosion inhibitors for mild steel in 1 M HCl media. *Corrosion Science*, 292-301.

Patologiasconstrucción.net. (s.f.). *Corrosión Galvánica*. Obtenido de Web de información y formación de profecionales y estudiantes:

<https://www.patologiasconstruccion.net/2016/03/corrosion-galvanica/>

- Pérez, R., & Miguel, J. (19 de 04 de 2018). *Fundamentos de los Procesos de Fundición de Metales*. Obtenido de Universidad Politecnica de Valencia :  
<http://hdl.handle.net/10251/100604>
- RAE. (2020). *Erosión* . Obtenido de Diccionario de la lengua española .
- Rodríguez Gómez, F. J. (s.f.). *Técnicas electroquímicas de corriente directa para la medición de la velocidad de corrosión*. Recuperado el 23 de 03 de 2021, de Resistencia a la polarización: <http://depa.fquim.unam.mx/labcorr/libro/LPR.PDF>
- Saviour, U. A., Moses , S. M., Ubong, E. M., Ime , O. B., & Aniekemeabasi , I. U. (2014). Inhibition of mild steel corrosion in H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solution by coconut coir dust extract obtained from different solvent systems and synergistic effect of iodide ions: Ethanol and acetone extracts. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2, 1048-1060.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.jece.2014.03.024>
- Sedik, A., Lerari, D., Salci, A., Athmani, S., Bachari, K., Gesibesler, i. H., & Solmaz, R. (2020). Dardagan Fruit extract as eco-friendly corrosion inhibitor for mild steel in 1 M HCl: Electrochemical and surface morphological studies. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 189-200.
- UTS. (s.f.). Tipo de facilidades. En U.T.S, *Manual en facilidades de superficie* (pág. 3). Bucaramanga .
- Valladares Cisneros, M. G., Melgoza Alemán, R. M., & Cuevas Arteaga, C. (s.f.). Ciencia y Tecnología. *Inhibidores naturales en el control de la corrosión de materiales metálicos*, 37-41.
- Vorobyova, V., & Skiba, M. (2020). APRICOT POMACE EXTRACT AS A NATURAL CORROSION INHIBITOR OF MILD STEEL CORROSION IN 0.5 M NaCl

SOLUTION:A COMBINED EXPERIMENTAL AND THEORETICAL APPROACH.

*Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, 210-222.

Yaro, A. S., Khadom, , A., & Ibraheem, , H. (2011). Peach juice as an anti-corrosion inhibitor of mild steel. *Bradford*, 116-124.

## Lista de figuras

<b>Figura 1</b> Ciclos de los Materiales Metálicos .....	16
<b>Figura 2</b> Celda de Corrosión.....	17
<b>Figura 3</b> Refinado del Material de Hierro. ....	18
<b>Figura 4</b> Corrosión General.....	20
<b>Figura 5</b> Corrosión Localizada .....	21
<b>Figura 6</b> Morfologías de Picadura .....	22
<b>Figura 7</b> Corrosión Galvánica .....	24
<b>Figura 8</b> Corrosión en Soldaduras.....	24
<b>Figura 9</b> Corrosión -Erosión o Corrosión Asistida por el Flujo .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>Figura 10</b> Reconstrucción en 3D por Microscopia de una Picadura Originada por Microorganismos en un tanque de Almacenamiento de Crudo .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>Figura 11</b> Componentes de la Celda de Corrosión .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>Figura 12</b> Herramientas de Limpieza Interna (PIGS) .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>Figura 13</b> Clasificación de Inhibidores en Fase Líquida .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>Figura 14</b> Sistemas Off Shore, extracción de Hidrocarburos .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>Figura 15</b> Partes del árbol de Navidad, Pozo de extracción petrolera.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>Figura 16</b> Manifold de Producción o Múltiple. ....	36
<b>Figura 17</b> Separador de Producción Horizontal.....	37
<b>Figura 18</b> Estructura General Gum Barrel. ....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>Figura 19</b> Oleoductos de Colombia.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>Figura 20</b> Red de Poliductos en Colombia .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>Figura 21</b> Inyección en Pozo Productos (inhibidor de Corrosión en Superficie) .....	44
<b>Figura 22</b> pictogramas SGA (Inhibidor de Corrosión) .....	48
<b>Figura 23</b> Productos Naturales contra los Fenómenos de Corrosión .....	51

<b>Figura 24</b> Monómero Carotenoide Luteína .....	53
<b>Figura 25</b> Citrulina $C_6H_{13}N_3O_3$ .....	54
<b>Figura 26</b> Variación de la Eficiencia frente a los cambios de Temperatura.....	58
<b>Figura 27</b> Relación de la eficiencia del inhibidor con relación al tiempo de Contacto con la Superficie Metálica.....	70
<b>Figura 28</b> Efecto de la Temperatura en el Porcentaje de la Eficiencia.....	72
<b>Figura 29</b> Clases de Peligro para la salud SGA.....	77