UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

CIICAp

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS BÁSICAS Y APLICADAS (IICBA)

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS (CIICAp)

Reciclamiento de ABS dopado con medicamento caduco como protección contra la corrosión metálica

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE DOCTORA EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

PRESENTA:

MICA. SANDRA VIVEROS AGUIRRE

ASESORES:

DR. JORGE URUCHURTU CHAVARÍN

DRA. ELSA CARMINA MENCHACA CAMPOS

CUERNAVACA, MOR. *MARZO 2020*

RESUMEN

En esta investigación se estudió el comportamiento protector contra la corrosión de un recubrimiento base ABS (Acrilonitrilo butadieno estireno) de desecho de la industria automotriz dopado con un inhibidor extraído de un medicamento caduco (Lansoprazol o 2-([3-metil-4-(2,2,2-trifluoroetoxi)piridin-2-il]metilsulfinil)-1H-benzo[d]imidazol)) sobre acero 1018 en tres diferentes medios, un medio alcalino ($Ca(OH)_2$ pH 12) simulando el pH del concreto, un medio neutro (NaCl 3%) y un medio alcalino con cloruros ($Ca(OH)_2$ + NaCl). En la primera etapa de la investigación se evaluó el Lansoprazol como inhibidor de la corrosión del acero señalado en los tres medios a diferentes concentraciones, 10, 25, 100 y 150 partes por millón, mediante técnicas electroquímicas tales como Curvas de Polarización e Impedancia Electroquímica, así mismo, con los datos de Impedancia se analizó por medio de circuitos equivalentes, obteniendo así la eficiencia el inhibidor, y adicionalmente, se calculó el mecanismo de adsorción que rige el proceso en la superficie del metal.

En segunda etapa, se evaluó el recubrimiento ABS sobre el acero mediante el método de Dip-Coating y se caracterizó electroquímicamente mediante Curvas de Polarización e Impedancia Electroquímica. Tanto como el inhibidor Lansoprazol y recubrimiento ABS, adicionalmente se caracterizaron mediante FTIR para analizar los compuestos individualmente.

En la tercera etapa, una vez que la concentración del inhibidor y ABS fueron seleccionados, se mezclaron los dos compuestos para obtener una solución acuosa permitiendo la aplicación del recubrimiento mediante Dip-Coating a las probetas de acero embebidas en resina epoxica, a las cuales, se analizaron mediante Ruido Electroquímico, Resistencia a la Polarización e Impedancia para evaluar su efecto protector sobre el acero. Adicionalmente el sistema ABS+Lansoprazol se caracterizó mediante FTIR, SEM y AFM.

Posteriormente, se elaboraron probetas de concreto a las cuales se les agregó varillas de refuerzo con un recubrimiento de ABS+Lansoprazol y fueron inmersas en un medio de NaCl al 3%.

Los resultados revelan que el sistema ABS+Lansoprazol en medio con cloruros es el que mejor resistencia y comportamiento obtiene, protegiendo el metal de la corrosión.

ABSTRACT

In this investigation, the protective behavior against corrosion of an ABS (Acrylonitrile butadiene styrene) base coat of automotive industry doped with an inhibitor extracted from an expired drug (Lansoprazole (2-[[[3-methyl-4-(2,2,2-trifluoro-ethoxy)-2-pyridinyl]methyl]sulfinyl]-1H-benzimidazole)) was studied in steel 1018 in three different solutions, alkaline ($Ca(OH)_2$ pH 12), neutral (NaCl 3%) and alkaline with chlorides ($Ca(OH)_2$ + NaCl 3%). The first step was evaluated Lansoprazole as an inhibitor using different concentrations 10, 25, 100 and 150 ppm, using electrochemical techniques such as Polarization Curves and Impedance we can obtain the efficiency and the adsorption mechanism that governs the process on the metal surface. The second stage consisted of the effectiveness of the ABS coating as a good protective coating against corrosion on steel. It was applied using the Dip-Coating technique and evaluated using Polarization Curves and Impedance. Both the Lansoprazole inhibitor and the ABS coating were individually characterized using the FTIR (Fourier Transform Infrared spectroscopy) technique.

Once the concentration of the Lansoprazole inhibitor and ABS coating were selected, the two compounds were mixed to obtain an aqueous solution, the application of the coating was by Dip-Coating technique in steel 1018, which were analyzed by Electrochemical Noise, Polarization Resistance and Electrochemical Impedance to evaluate its protective effect on steel. In addition, the ABS + Lansoprazole system was characterized by FTIR, SEM (Scanning Electron Microscope) and AFM (Atomic force microscopy) The results reveal that the ABS + Lansoprazole system in medium with chlorides is the one that obtains the best resistance and behavior, protecting the metal from corrosion.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS POR DARME LAS FUERZAS PARA LOGRAR ESTA META

A MI FAMILIA POR ESTAR CONMIGO

A MI ESPOSO POR APOYARME SIEMPRE

ÍNDICE

1. Introducción ----------1
   1.1. Justificación ---------- 4
   1.2. Objetivo General ---------- 4
   1.3. Objetivos Específicos ---------- 5
   1.4. Hipótesis ---------- 5

2. Marco Teórico ---------- 6
   2.1. Acero ---------- 7
   2.2. Acero en la construcción y su degradación ---------- 8
   2.3. Corrosión ---------- 9
   2.4. Mecanismo de la corrosión ---------- 9
   2.5. Tipos de Corrosión ---------- 10
      2.5.1. Corrosión generalizada ---------- 11
      2.5.2. Corrosión localizada ---------- 11
      2.5.3. Corrosion galvánica ---------- 12
      2.5.4. Corrosión por erosión ---------- 12
      2.5.5. Corrosión por agrietado ----------12
      2.5.6. Corrosion por picadura ----------12
      2.5.7. Corrosión por ataque selectivo ---------- 13
      2.5.8. Corrosión por exfoliación ---------- 13
   2.6. Control de la corrosión ---------- 13
      2.6.1. Protección catódica ----------14
      2.6.2. Protección anódica ----------14
      2.6.3. Inhibidores ---------- 15
         2.6.3.1. Inhibidores de la corrosión en la clase de antifúngicos-----19
         2.6.3.2. Lansoprazol ---------- 21

2.7. Recubrimientos ---------- 21
2.7.1. Recubrimientos metálicos ---------- 21
2.7.2. Recubrimiento no metálicos ---------- 23
2.7.3. ABS (Acrilonitrilo butadieno estireno) ---------- 25
2.7.4. Recubrimientos con materiales reciclados ----------29
2.8. Evaluación de la corrosión ----------30
2.8.1. Ruido Electroquímico ----------30
2.8.2. Resistencia a la Polarización ----------31
2.8.3. Espectroscopía de Impedancia Electroquímica ----------32
2.8.4. Curvas de Polarización ----------36
2.8.5. Medición de potencial ---------- 38

3. Metodología Experimental ---------- 40
3.1. Preparación de probetas de trabajo ---------- 41
3.2. Preparación del inhibidor Lansoprazol ---------- 41
3.3. Preparación del recubrimiento de ABS ---------- 42
3.4. Preparación y aplicación del recubrimiento ABS dopado con inhibidor Lansoprazol ---------- 42
3.5. Preparación de probetas de concreto ----------43
3.6. Caracterización del inhibidor, recubrimiento y recubrimiento dopado con inhibidor ---------- 44
3.6.1. Impedancia Electroquímica ---------- 44
3.6.2. Ruido Electroquímico ---------- 44
3.6.3. Índice de Localización ----------45
3.6.4. Resistencia a la Polarización ---------- 45
3.6.5. FTIR ----------45
3.6.6. SEM ---------- 45
3.6.7. AFM ---------- 46

4. Resultados
   4.1. Caracterización del Lansoprazol ---------- 48
   4.2. Mecanismo de adsorción ---------- 55
   4.3. Caracterización del recubrimiento de ABS ---------- 58
   4.4. Caracterización del ABS + Lansoprazol ---------- 62
   4.5. Prueba de adhesión ---------- 64
   4.6. Caracterización de ABS con Inhibidor Lansoprazol en solución de $Ca(OH)_2$ pH12 ----------65
   4.7. Caracterización de ABS con Inhibidor Lansoprazol en solución de NaCl al 3% ----------68
   4.8. Caracterización de ABS con Inhibidor Lansoprazol en solución de $Ca(OH)_2$ pH12 + NaCl al 3% ---------- 70
5. Conclusiones. ---------- 72
6. Bibliografía ---------- 73

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Esquema de corrosión electroquímica----------10

Figura 2.2 Diagrama representando el mecanismo de adsorción en una superficie de acero al carbono. ---------- 19

Figura 2.3 Compuestos orgánicos de los supresores de la secreción gástrica (a) Omeprazol, (b) Esomeprazol, (c) Rabeprazol, (d) Pantoprazol, (e) Lansoprazol -20

Figura 2.4 Mapa conceptual de los tipos de polímeros ---------- 24

Figura 2.5 . Formulas químicas de los monómeros del ABS. ---------- 26

Figura 2.6 Gráfica de Nyquist de un comportamiento ideal de superficies metálicas con un recubrimiento ---------- 32

Figura 2.7 Comportamiento ideal de un Diagrama de Bode |Z| vs. Frecuencia para recubrimientos---------- 33

Figura 2.8 Comportamiento ideal de un Diagrama de Bode, Angulo de fase vs frecuencia para recubrimientos ---------- 33

Figura 2.9 Modelo general de un Circuito equivalente para superficies metálicas con recubrimiento---------- 35

Figura 2.10 Formas posibles de una curva de polarización en la zona anódica---37

Figura 2.11 Distribución de los electrodos de trabajo ---------- 38

Figura 3.1 Obtención del Inhibidor Lansoprazol---------- 41

Figura 3.2 Obtención y aplicación del recubrimiento ABS ---------- 42

Figura 3.3 Aplicación del sistema ABS+150 ppm Lansoprazol ---------- 43

Figura 3.4 Geometría de la probeta de concreto utilizada. ----------44

Figura 4.1. Formula del compuesto Lansoprazol (a); Espectro FTIR del Lansoprazol (b).---------- 48

Figura 4.2 a) Curva de polarización; b) Grafica de Nyquist; c) Gráfica de Bode del sistema acero 1018 con inhibidor Lansoprazol en solución de $Ca(OH)_2$. ---------- 49

Figura 4.3. Imagen del circuito utilizado y la simulación en Zview del circuito metal/inhibidor para el sistema Lansoprazol en solución de $Ca(OH)_2$.---------- 51

Figura 4.4 a) Curva de polarización; b) Gráfica de Nyquist; c) Gráfica de Bode del sistema acero 1018 con inhibidor Lansoprazol en solución de NaCl al 3% -------- 52

Figura 4.5 a) Curva de polarización; b) Gráfica de Nyquist; c) Gráfica de Bode del sistema acero 1018 con inhibidor Lansoprazol en solución de $Ca(OH)_2$ + NaCl al 3%.---------- 54

Figura 4.6 a) Resultados experimentales del isoterma de Frumkin para el inhibidor Lansoprazol a 4 concentraciones (10,25,100 y 150 ppm) en solución de $Ca(OH)_2$; b) Resultados experimentales del isoterma de Frumkin para el inhibidor Lansoprazol a 4 concentraciones (10,25,100 y 150 ppm) en solución de NaCl al 3%.---------- 56

Figura 4.7 a) Resultados experimentales del isoterma de Freundlich para el inhibidor Lansoprazol a 4 concentraciones (10,25,100 y 150 ppm) en solución de Ca(OH)2 + NaCl ---------- 57

Figura 4.8 Formula del ABS (a); espectro de FTIR del ABS (b)---------- 58

Figura 4.9 Caracterización SEM del recubrimiento ABS---------- 59

Figura 4.10. Curva de Polarización en solución de $Ca(OH)_2$ pH 12---------- 59

Figura 4.11 Curva de Polarización en solución de NaCl al 3%. ---------- 60

Figura 4.12 Curva de Polarización en solución de Ca (OH)2 pH 12 + NaCl al 3%- 61

Figura 4.13 FTIR del compuesto ABS+Lansoprazol ---------- 62

Figura 4.14 Análisis mediante AFM del compuesto ABS/Lansoprazol; a) Modelo tridimensional a 100 micrómetros; b) Modelo 2D a 100 micrómetros ---------- 63

Figura 4.15 Análisis mediante SEM del recubrimiento ABS/Lansoprazol sobre acero 1018---------- 63

Figura 4.16 Prueba de adhesión en probeta de acero 1018 con recubrimiento de ABS+150ppm de Lansoprazol. ---------- 64

Figura 4.17 a) Gráfica de Ruido Electroquímico; b) Gráfica Potencial; c) Gráfica de Índice de Localización, d) Velocidad de corrosión en solución de $Ca(OH)_2$. -------- 65

Figura 4.18 a) Gráfica de Impedancia Total; y b) Gráfica de Resistencia a la polarización en solución de $Ca(OH)_2$ ---------- 66

Figura 4.19 Circuito Equivalente usado para la simulación de Impedancia del sistema Recubrimiento con inhibidor. ---------- 67

Figura 4.20 a) Gráfica de Ruido Electroquímico; b) Gráfica Potencial; c) Gráfica de Índice de Localización: d) Velocidad de corrosión del sistema ABS+150ppm Lansoprazol en solución de NaCl al 3% ---------- 68

Figura 4.21. a) Gráfica Impedancia Total; b) Gráfica de Resistencia a la Polarización en solución de NaCl al 3% ---------- 69

Figura 4.22. a) Gráfica de Ruido Electroquímico; b) Gráfica Potencial; c) Gráfica de Índice de Localización: d) Velocidad de Corrosión del sistema ABS+150ppm Lansoprazol en solución de $Ca(OH)_2$ pH 12 + NaCl al 3%.---------- 70

Figura 4.23 a) Gráfica Impedancia Total; b) Gráfica de Resistencia a la Polarización en solución de Ca (OH)2 pH 12 NaCl al 3%. ---------- 71

TABLAS

Tabla 2.1. Clasificación de inhibidores---------- 15

Tabla 2.2. Tipos, características y aplicaciones de polímeros más utilizados ------25

Tabla 2.3. Propiedades Mecánicas del ABS ---------- 27

Tabla 2.4. Propiedades cuantitativas del ABS a 23°C---------- 28

Tabla 2.5. Intervalo de Valores para Índice de Localización ---------- 31

Tabla 2.6. Norma ASTM C876. ---------- 39

Tabla 3.1. Dosificación utilizada en la elaboración de probetas de concreto------- 43

Tabla 4.1. Datos obtenidos de la simulación del inhibidor en medio $Ca(OH)_2$----- 51

Tabla 4.2. Datos obtenidos de la simulación del inhibidor en medio NaCl. -------- 53

Tabla 4.3. Datos obtenidos de la simulación del inhibidor en medio Ca(OH)2 + NaCl ---------- 55

Tabla 4.4. Datos extraídos del ajuste de las pruebas con la probeta recubierta con ABS+150 ppm Lansoprazol en medio de $Ca(OH)_2$ ---------- 67

CAPÍTULO 1:

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

Simultáneamente con la evolución y los avances que se han estado dando, ha ido en aumento la contaminación del medio ambiente en donde el humano contamina y deteriora más el entorno en donde vive. Se han creado materiales sintéticos más resistentes que sobrevivirán mucho tiempo antes de que se destruyan o en su caso se desintegren.

A pesar de todos los adelantos en el ámbito científico y de construcción, aún existe el problema del deterioro de las construcciones causado por la corrosión del acero que refuerza las edificaciones, que se origina por la penetración de cloruros y del dióxido de carbono que se produce por la interacción del medio ambiente o en ciertos casos, en el medio marítimo (CEB, 1993).

La corrosión en las estructuras metálicas, como son el deterioro de infraestructuras públicas incluyendo puentes, edificios, sistemas de abastecimiento y desecho de agua, o de productos domésticos como son plomerías, automóviles, cañerías y superficies expuesta, genera una perdida directa de aproximadamente $276 billones de dólares anuales o el 3.1% del Producto Interno Bruto (PIB) solo en los Estados Unidos. Así mismo, aunque se pudiera eliminar la corrosión, hay que considerar a que costo de las medidas de control en el análisis de reducción de costos de la corrosión, es usualmente más económico controlar la corrosión que eliminarla completamente (NACE, 2004).

La corrosión de los metales, ya sea en el área de construcción o cualquier otra área, siempre ha sido un gran problema, y conforme el humano a través de los años, ha buscado la forma de radicarlo, o en la mayoría de los casos prevenirlo, ha usado materiales que al paso del tiempo ha resultado ser peligrosos o tóxicos para el

medio ambiente. Por lo que a lo largo de las investigaciones de las últimas décadas ha buscado formas más orgánicas y resistentes para el control de la corrosión. Se ha encontrado que los compuestos orgánicos son buenos inhibidores, ya que, como los medicamentos, el compuesto activo actúa cuando se requiere (1).

Los supresores de la secreción gástrica han sido los compuestos más estudiados, entre ellos se encuentran los derivados de la familia de los triazoles, especialmente el benzotriazol (2), fluconazol (3), y el Lansoprazol, ya que como se ha observado, los inhibidores orgánicos actúan en la superficie del metal, influenciado por el metal en sí, el medio y por la estructura misma del inhibidor. Así mismo, los recubrimientos siempre han sido importantes para la protección de los metales, por su facilidad de aplicación, costo y buena cobertura. En los últimos años, la población ha aumentado su preocupación por el medio ambiente, y está en la búsqueda de productos y compuestos protectores de la corrosión más ecológicos y amigables con el ambiente y que su fabricación no afecte más a los problemas ambientales con el que se está enfrentando.

JUSTIFICACIÓN

El ABS siendo un polímero de bajo costo muy utilizado en múltiples áreas por sus buenas propiedades mecánicas, por lo genera grandes cantidades de desperdicio, y si éste termopolímero está mezclado con otros componentes, es complicado su reciclaje. Al darle un nuevo uso al desecho, se contribuye al medio ambiente.

La utilización del Lansoprazol extraído de un medicamento caducado ayuda al reciclaje de dicha sustancia, ya que los inhibidores orgánicos son conocidos por contener átomos de nitrógeno, sulfuros y/u oxígeno, y se ha observado que actúan por absorción en la superficie del metal; este fenómeno es influenciado por la carga natural de la superficie del metal, por el tipo de electrolitos agresivos existentes y la estructura química del inhibidor. Los compuestos orgánicos de tipo triazol, son buenos inhibidores para múltiples metales y aleaciones en diferentes medios agresivos.

OBJETIVO GENERAL

Estudiar el comportamiento y eficiencia de un recubrimiento polimérico tipo ABS, dopado con un inhibidor orgánico, Lansoprazol, sobre varillas de acero 1018 embebidas en concreto, en una solución con cloruros.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

*E*studiar la eficiencia del Lansoprazol como un inhibidor orgánico en acero 1018 en solución alcalina con y sin cloruros.

Estudiar el comportamiento de un recubrimiento de ABS sobre acero 1018 en una solución con y sin cloruros.

Estudiar el comportamiento y eficiencia de un recubrimiento de ABS dopado con Lansoprazol en una solución con cloruros.

Estudiar el comportamiento y eficiencia de un recubrimiento de ABS dopado con Lansoprazol embebido den concreto inmerso en un medio con cloruros.

HIPÓTESIS

El uso de compuestos orgánicos de la familia de los triazoles como inhibidores, tales como el benzotriazol, fluconazol, han mostrado buenos resultados en metales, por lo que la unión del Lansoprazol con un polímero resistente a la corrosión como lo es el ABS, mejorará la protección o en su caso, a la disminución de la corrosión en el acero.

CAPÍTULO 2:

MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

ACERO

El acero es una aleación de hierro y carbono más otros elementos en menos proporción tales como el silicio, manganeso, cromo y otros; dependiendo de las propiedades y características que se requieran, se varía el porcentaje del carbono entre un 0.008% y el 2% de su composición.

Siendo el metal más utilizado en la industria, posee ciertas propiedades que lo hacen importante, siendo las más importantes:

- Ductilidad: esto es la capacidad de soporta esfuerzos de tracción (estiramiento) sin llegar a la rotura, permitiendo la elaboración de alambres e hilos de acero.
- Dureza: es la oposición que tiene el acero al ser penetrado por otro material.
- Resistencia: Es la capacidad del acero al resistir esfuerzos de tracción, compresión, torsión y flexión sin deformarse ni romperse.
- Maleabilidad: es la capacidad del acero el soportar la deformación, sin romperse al ser sometido a un esfuerzo de compresión, permitiendo el proceso de laminación para hacer láminas de acero al ser sometidos a esfuerzos de compresión de rodillos.
- Tenacidad: se refiere a que posee buena ductilidad y resistencia al mismo tiempo, soportando fuerzas bruscas sin romperse.

ACERO EN LA CONSTRUCCIÓN Y SU DEGRADACIÓN

Por las propiedades previamente nombradas, el acero es utilizado en la construcción en diferentes perfiles metálicos, ya sea en formas de vigas, pilares o varillas dependiendo de su función específica. Una de las ventajas del acero es que, junto con el concreto, se dilata y se contrae a la misma velocidad que dicho compuesto, por lo que es muy útil en la construcción.

El uso del acero para reforzar la construcción se implantó desde 1855, y desde ese esa fecha, ha ido en aumento la utilización de dicho compuesto, y no solo se utiliza en edificaciones, ya que desde 1960, se generalizó su uso para reforzar autopistas, puentes y plataformas para el mar (Mays, 1992). Junto con el aumento de uso del acero, apareció un problema, que, aunque siempre ha estado presente en la vida del humano, se hizo más evidente, y es la corrosión del acero.

Con la unión concreto/acero se obtiene buena resistencia a la corrosión, ya que el acero de refuerzo se encuentra en un medio alcalino (pH 12.5) que mantiene la pasividad del acero, pero también actúa como una barrera física entre la armadura y los agentes externos, limitando en acceso al agua, oxigeno, cloruros y otras sustancias que toman parte del proceso de corrosión. Para que ocurra la corrosión del acero de refuerzo existen varios detonantes que modifican el estado pasivante del metal al activo, como son:

- El cambio o descenso del pH del concreto por debajo de 9.5.
- La presencia de iones despasivantes que rompen la capa del oxido protector, desencadenando la corrosión.

CORROSIÓN

El proceso de corrosión se define como el deterioro de un material, usualmente un metal, o sus propiedades debido a la reacción con el medio en donde se encuentra (1). Para poder entender el mecanismo de la corrosión, se debe considerar los aspectos electroquímicos que ocurren en el material, como son las reacciones en el cual existe un intercambio de electrones que fluyen de un metal al electrolito conocidas como reacciones de oxidación y reducción.

Para que exista una reacción completa de corrosión, se necesitan cuatro componentes:

**El ánodo*, en donde se producen los electrones.

**El cátodo*, en donde se consumen los electrones producidos por el ánodo.

**Ruta metálica*, el cual conduce los electrones del ánodo al cátodo.

**Electrolito*, el que provee los reactantes para que exista le reacción catódica y permite el flujo de iones.

MECANISMO DE LA CORROSIÓN

La corrosión electroquímica ocurre en la solución, entre el material metálico y los electrolitos debido a los diferentes potenciales en la superficie del metal corroído y a las reacciones oxido-reducción. El ánodo es la parte del metal el cual se oxida y se convierte en ion.

$$M \rightarrow M^{n+} + n\,e$$

El cátodo es en donde se realiza la despolarización, principalmente la reducción de oxigeno y cationes de hidrógeno.

$$O_2 + 4\,H^+ + 4e \rightarrow 2H_2O$$

$$2\,H^+ + 2e \rightarrow H_2\uparrow$$

Un esquema de como ocurre la corrosión electroquímica se presenta a continuación.

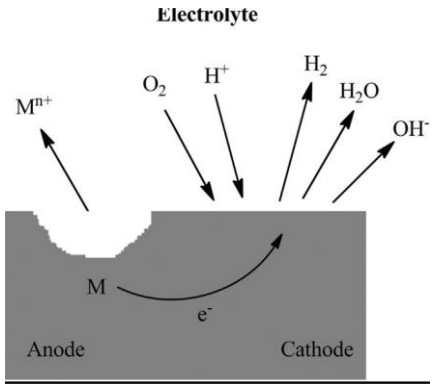
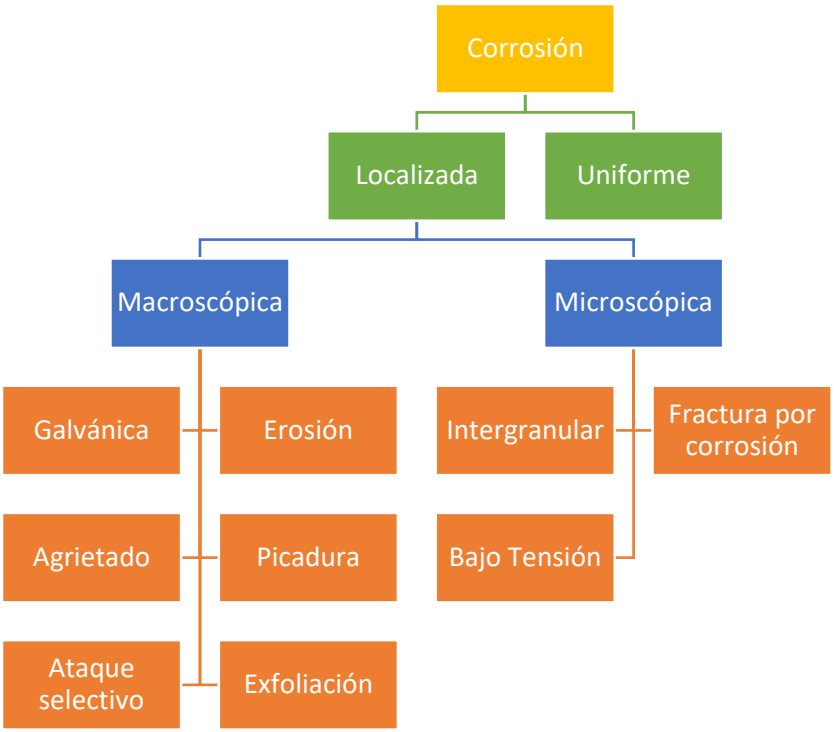


Figura 2.1. Esquema de corrosión electroquímica

TIPOS DE CORROSIÓN

En el siguiente esquema muestra las múltiples formas y clasificación en las que se puede presentar la corrosión:



Generalizada o Uniforme

La corrosión uniforme es el resultado de un ataque corrosivo que se desarrollan uniformemente sobre la superficie o una parte significativa del metal, es la forma más común de la corrosión, por su facilidad de medición las fallas pueden ser evitadas con una inspección regular.

Corrosión Localizada

Este tipo de corrosión se presenta en zonas específicas, por lo que es un gran riesgo debido a su difícil detectabilidad, este tipo de corrosión depende de la naturaleza del metal y las condiciones del medio al que se le somete.

Corrosión Galvánica

La corrosión galvánica ocurre cuando existe una unión de diferentes metales, ya sea física o eléctrica, en la presencia de un electrolito formando una celda electroquímica en donde el material de menor potencial electroquímico es el que se corroe (Revie, 2011). Se debe tomar en cuenta el área de la zona de contacto, ya que entre mayor sea la relación del ánodo respecto al cátodo, el proceso de corrosión ocurre a mayor velocidad (Javaherdashti, 2008).

Corrosión-Erosión

La corrosión por erosión es frecuentemente encontrada en sistemas de transportes de fluidos, ya que la velocidad del ataque de corrosión se acelera con el movimiento relativo de un líquido corrosivo y una superficie metálica. El ataque se produce en áreas de alta velocidad o caudal turbulento. Los ataques de corrosión por erosión se caracterizan por surcos con un patrón direccional.

Corrosión por agrietado

La corrosión por grietas es un tipo de corrosión localizada, principalmente en hendiduras y zonas bajo superficies en donde pueden existir zonas con soluciones estancadas,

Corrosión por picadura

Este tipo de corrosión se presenta en materiales pasivados, ya que, por su geometría, existe una acumulación de agentes oxidantes y el incremento del pH permite el deterioro de la capa pasiva en ciertas zonas, también es conocido como *pitting.*

Corrosión por ataque selectivo

Este tipo de corrosión tiene como principal característica, que solo uno de los elementos que forman la aleación es atacado. Algunas de las características con las que se pueden observar este tipo de corrosión son: Cambio de color de la aleación, se presenta porosidad y en algunas ocasiones se empieza a aparecer picado.

Corrosión por exfoliación

Es frecuente en materiales laminados, ya sea aleaciones de aluminio expuestas a ambientes marinos o industriales. Los ambientes costeros contaminados son los más corrosivos. El ataque tiene lugar a lo largo de bordes de grano alargados en la dirección de laminación con lo que el ataque se localiza en capas paralelas a la superficie. Si se forman productos de corrosión voluminosos se produce el hinchado y rotura de capas.

CONTROL DE LA CORROSIÓN

El problema de la corrosión, aunque no se puede erradicar completamente, existen métodos para la prevención o en su caso controlar este proceso. Se han desarrollado diferentes formas de alterar el entorno del metal, y para esto es necesario modificar o quitar alguno de los cuatro elementos que se requiere para conformar una celda electroquímica. El proceso de corrosión de los metales afecta en múltiples áreas, desde una simple tubería de una casa, las picaduras de un automóvil, la herrumbre de un portón, hasta la erosión de una bomba, pérdidas de material en el acero embebido en concreto, y daños irreparables en equipos industriales. En Estados Unidos, las pérdidas directas debido a la corrosión son de más de $276 billones de dólares anuales, o el 3.1% del Producto interno Bruto (PIB)

(2) y estas incluyen daños del hogar, costos de pérdidas en la industria y deterioros en la infraestructura pública (1).

El poder controlar la corrosión, ayuda a prever la degradación del metal y las consecuencias que esto conlleva. Existen varias formas de controlar esta degradación como son la protección anódica, protección catódica, aunque los métodos más utilizados son los inhibidores y recubrimientos.

PROTECCIÓN CATÓDICA

La corrosión es el resultado de una reacción electroquímica impulsada por la diferencia de potencial entre dos electrodos, conectados mediante un paso electrónico e inmersos en el mismo electrolito. La protección catódica implica reducir esta diferencia de potencial a cero, obteniendo así una cero corriente de corrosión. Esto se logra aplicando corriente hacia el electrodo interno por un electrodo externo y polarizando los sitios catódicos en dirección electronegativa. A medida que los potenciales de los sitios catódicos se polarizan hacia los potenciales de los sitios anódicos, se reduce la corriente de corrosión. Cuando los potenciales de todos los sitios catódicos alcanzan el potencial de los sitios anódicos más activos, se elimina la corrosión de la estructura. La corrosión del metal cesará una vez que la corriente aplicada de protección catódica iguale o exceda la corriente de corrosión (NACE, 2006).

PROTECCIÓN ANÓDICA

La protección anódica es una protección a la corrosión llevada a cabo manteniendo un metal o aleación activo-pasivo en la región pasiva por medio de una corriente anódica externamente aplicada. El poder oxidante de la solución y el potencial de corrosión son equivalentes; entonces es posible lograr pasividad alterando el

potencial del metal usando una fuente de poder externa para aplicar una corriente anódica. Puede ser aplicada solo en metales y aleaciones que posean características activo-pasivas, y puede ser usada solo en ciertos ambientes porque la composición del electrolito tiene una influencia en la pasividad (NACE, 2006).

INHIBIDORES

Cualquier constituyente de una fase cuya presencia no es necesaria, pero ayuda a retardar el proceso de corrosión modificando el estado superficial del metal, se le conoce como inhibidor (3). Los inhibidores constituyen uno de los métodos más económicos y eficaces que se utilizan, por ser sustancias que son añadidas en pequeñas cantidades y ayudan a disminuir la velocidad de corrosión del metal.

Existen diferentes tipos de inhibidores y se pueden clasificar de acuerdo a la siguiente tabla (Tabla 2.1)

Tabla 2.1. Clasificación de inhibidores

Por su composición	***Por su mecanismo***	***Por su aplicación***	***Por el proceso parcial que interfiere***
Aniones inorgánicos	Inhibidores de interfase	Inhibidores de corrosión atmosférica	Inhibidores anódicos
Cationes inorgánicos	Inhibidores de membrana	Inhibidores para soluciones acuosas	Inhibidores catódicos
Moléculas inorgánicas	Inhibidores de capa difusa	Inhibidores de decapado	Inhibidores mixtos
Moléculas orgánicas	Inhibidores pasivantes	Inhibidores para soluciones alcalinas	
	Neutralizadores	Inhibidores para medios no acuosos	
	Captadores de oxigeno		

En la actualidad se conoce que la acción retardadora de un inhibidor sobre la cinética de la corrosión es el resultado de una de las siguientes formas de actuar de un inhibidor:

a) De la adsorción de una delgada película sobre la superficie del material metálico,
b) De la formación de una capa pasivante y delgada que resulta inapreciable,
c) De la formación por conversión superficial de una capa de productos de corrosión apreciables a plena vista,
d) De la modificación de las características del medio ambiente, a través de protectores que lo separan del metal.

Los tipos de inhibidores más comunes son:

Inhibidores pasivantes

Conocidos también como inhibidores anódicos, estos incrementan la polarización anódica reduciendo así la corriente de corrosión y la velocidad de corrosión del anódo. Este tipo de inhibidores debes ser utilizados con cuidado ya que pueden causar un aumento en corrosión localizada si no cubren la totalidad de la superficie anódica. Son útiles para pasivar el acero en cualquier solución acuosa y se emplean en circuitos de refrigeración, así como en aditivos en pintura e instalaciones desalinizadoras.

Inhibidores catódicos

Reducen el ataque polarizando el proceso parcial catódico, porque impiden la recombinación de hidrogeno atómico a molecular como los compuestos de As, Bi y Sb empleados en baños de decapado, bien porque precipitan en las áreas catódicas como los carbonatos de Ca o los hidróxidos de Zn y Mg o porque captan el oxigeno preciso para el proceso catódico en soluciones neutras o alcalinas como la hidrazina o sulfito sódico. Se utilizan en soluciones de decapado (Sb_2O_3, $SbCl_3$) en generadores de vaporen aguas potables y de refrigeración como las sales de Zn o el Ca $(HCO_3)_2$.

Inhibidores de fase vapor

También conocidos como inhibidores de corrosión volátiles, son compuestos transportados en sistemas cerrados al sitio donde ocurre la corrosión mediante volatilización. Compuestos de este tipo inhiben la corrosión haciendo al medio ambiente alcalino o por la formación de películas hidrofóbicas. El mecanismo de inhibición de estos compuestos no está completamente claro, pero parece que la porción orgánica de la molécula provee la volatilidad. Cuando entra en contacto con la superficie metálica, el inhibidor en fase vapor condensa y es hidrolizada por cualquier humedad presente para liberar iones nitrilo, benzoato o bicarbonato. Inhibidores tales como morfolina y etilendiamina se utilizan en generadores de vapor, ciclohaxilamina y diciclohexilamina son empleados en contenedores y depósitos. Aminas volátiles son empleadas para impregnar papeles de embalajes.

Inhibidores inductores de precipitados.

Son compuestos formadores de película que tiene una acción general sobre la superficie del metal, interfiriendo con ambas, la reacción anódica y la catódica. Forman depósitos que provocan polarización catódica, pero, al mismo tiempo, en aguas con concentraciones moderadas en cloruros y sulfatos pueden pasivar el acero en presencia de suficiente concentración de oxígeno, comportándose como inhibidores anódicos. Suelen ser más efectivos en aguas en movimiento que en sistemas estacionarios. Silicatos, fosfatos y polifosfatos empleados bien solos o en combinaciones de inhibidores en sistemas de aguas potables o circuitos de refrigeración

Inhibidores orgánicos

Los inhibidores orgánicos son usados ampliamente en la industria gracias a su efectividad en un amplio rango de temperaturas, su protección en metales, gran solubilidad y baja toxicidad (articulo organic inhibitor). Estos compuestos actúan como inhibidores catódicos y anódicos. Inhibidores de la corrosión catódicos

mueven el potencial de corrosión hacia valores menores e inhiben o retrasan las reacciones que ocurren en el cátodo (reducen el oxígeno y la evolución del hidrógeno). En contraste los inhibidores anódicos reaccionan con el catión metálico para formar un hidróxido insoluble, bloqueando los sitios activos en la superficie del metal y mueve el potencial de corrosión en la dirección de valores más positivos, lo que evita una mayor oxidación (disolución) del meta, reduciendo así la corrosión.

El mecanismo de acción de un inhibidor orgánico se basa en la adsorción de la superficie para formar una película protectora el cual, desplaza el agua de la superficie del metal y lo protege contra el deterioro. Este proceso de adsorción no puede ser solo físico o químico. La adsorción es influenciada por la estructura química del inhibidor orgánico, por la carga de la superficie del metal, la distribución de la carga en la molécula y el tipo de medio agresivo (pH y/o potencial del electrodo). La fisisorción esta basada en le interacción electrostática entre la carga de la superficie del metal y la carga de la molécula del inhibidor. La quimisorción esta conectada con las interacciones del donador-receptor entre pares de electrones libres y d-orbital de baja energía vacante del metal. La eficiencia suele depender de la longitud de la cadena, pero la variación no obedece las mismas leyes, por ejemplo, las aminas primarias aumentan su efectividad con la longitud de la cadena, mientras que los mercaptanos alifáticos primarios y de algunos aldehídos disminuye con el tamaño de la molécula.

Los inhibidores de la corrosión orgánicos eficaces deben contener heteroátomos (nitrógeno, oxigeno, sulfuro y fósforo) con pares de electrones solitarios y el resto con electrones π (anillos aromáticos y múltiples enlaces) que pueden interactuar con el orbital d libre del metal, favoreciendo el proceso de adsorción (6).

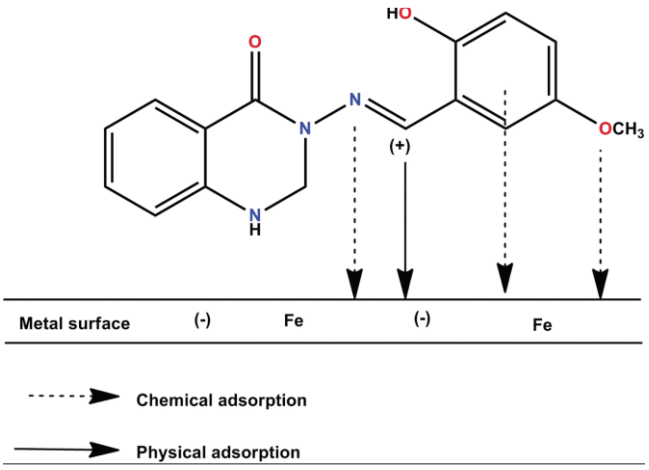


Figura 2.2. Diagrama representando el mecanismo de adsorción en una superficie de acero al carbono.

La energía libre de adsorción estándar ($\Delta G°_{ads}$) nos da información del tipo de adsorción que se presenta en la superficie del metal. Valores de -20kJ/mol está conectada con la interacción electrostática (adsorción física). Valores más negativos, debajo de -40kJ/mol, corresponden a un proceso de quimisorción.

INHIBIDORES DE LA CORROSIÓN EN LA CLASE DE ANTIFÚNGICOS

Las propiedades de protección contra la corrosión de múltiples medicamentos han atraído mucho la atención las ultimas décadas, ya que se ha tenido una inclinación por protectores más ecológicos y se cruza con los objetivos de la investigación farmacéutica, ya que uno de ellos, es desarrollar moléculas con cierta actividad biológica que pueda ser activada cuando se requiera o sea necesaria.

Uno de los compuestos que han sido de mayor estudio han sido los azoles y los supresores de la secreción gástrica, ya que han mostrado eficientes capacidades inhibitorias (7).

El mecanismo de acción de los supresores de la secreción gástrica es su capacidad de inhibir de manera irreversible la enzima trifosfatasa de adenosina de hidrógeno y potasio (H^+, K^+ -ATPasa) de las células parietales de la mucosa gástrica, disminuyendo la secreción ácida al actuar en el último eslabón fisiológico del proceso (8), siendo el Omeprazol, Esomeprazol, Rabeprazol, Pantoprazol y Lansoprazol los fármacos más utilizados.

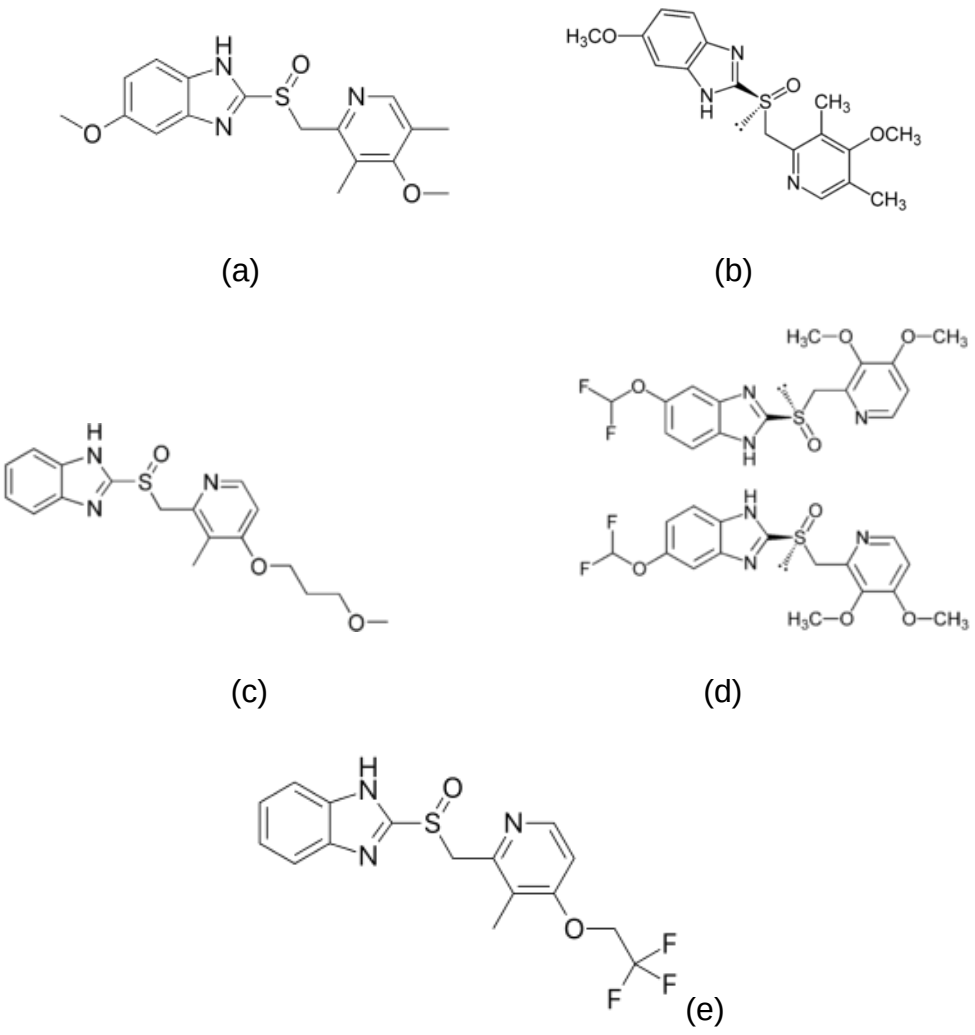


Figura 2.3.: Compuestos orgánicos de los supresores de la secreción gástrica (a) Omeprazol, (b) Esomeprazol, (c) Rabeprazol, (d) Pantoprazol, (e) Lansoprazol.

Lansoprazol

El Lansoprazol se usa en el tratamiento de úlceras gástricas y duodenales (pépticas), esofagitis por reflujo, síndrome de Zollinger-Ellison y otras afecciones gastrointestinales en las que la reducción del ácido gástrico es beneficiosa (9). El Lansoprazol, un profármaco, se administra como gránulos con recubrimiento entérico para mejorar su estabilidad en el ácido gástrico. Después de la administración oral, la absorción del Lansoprazol ocurre en el duodeno, y aunque puede retrasarse con los alimentos, la biodisponibilidad general no se ve afectada.

RECUBRIMIENTOS

Un recubrimiento se define principalmente como un compuesto químico que ha sido desarrollado y aplicado para proteger, cubrir o en su caso decorar alguna superficie, así mismo, aíslan las regiones anódicas y catódicas, impidiendo la difusión del oxigeno o vapor de agua que inicia la corrosión.

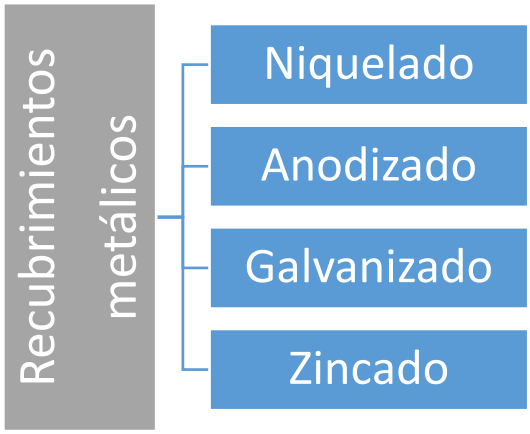
Existen diferentes tipos de recubrimientos, los más utilizados son:

- *Metálicos*
- *No metálicos*

Recubrimientos metálicos

La aplicación de un recubrimiento metálico tiene por finalidad proteger de la corrosión a otro metal más barato. Por ello, lo más eficaz es elegir como protector a otro situado en la serie de fuerzas electromotrices por encima del cual se quiere proteger. En el caso del hierro, son el aluminio, zinc y el cadmio los que mejor lo protegen. Se dice que estos casos, el metal que forma el recubrimiento se sacrifica en beneficio del hierro y tiene poca importancia que quede sin recubrimientos

pequeñas zonas: poros, rayas, bordes de chapas finas. Puede ocurrir, sin embargo, que, por exigencias de dureza, de resistencia al desgaste mecánico, de aspecto decorativo, se prefiera un metal o aleación que aún estando por debajo del hierro en la serie de fuerzas electromotrices presente, por su tendencia a la pasivación, mayor resistencia a la corrosión.



Niquelado: Recubrimiento metálico de níquel, mediante un baño electrolítico, para aumentar la resistencia a la oxidación y a la corrosión y mejorar su aspecto. Los componentes que se utilizan para el niquelado son: sulfato de níquel, cloruro de níquel, ácido bórico y humectante.

Anodizado: Se le conoce como anodizado a la capa de protección artificial que se genera sobre el aluminio mediante un óxido protector de aluminio, conocido como alúmina. Esta capa se consigue por medio de procedimientos electroquímicos, de manera que se consigue una mayor resistencia y durabilidad del aluminio.

Galvanizado: Es La función del galvanizado es proteger la superficie del metal sobre el cual se realiza el proceso. El galvanizado más común consiste en depositar una capa de zinc (Zn) sobre hierro (Fe); ya que, al ser el zinc más oxidable, menos noble, que el hierro y generar un óxido estable, protege al hierro de la oxidación al exponerse al oxígeno del aire. Se usa de modo general en tuberías para la conducción de agua cuya temperatura no sobrepase los 60 °C ya que entonces se

invierte la polaridad del zinc respecto del acero del tubo y este se corroe en vez de estar protegido por el zinc.

Zincado: Este tipo de capa protectora se adhiere electrolíticamente a la pieza, y pasará a formar parte de la pieza, por lo que se podrá doblar, plegar y modificar la pieza sin perder la capa protectora. Este proceso se lleva a cabo a temperatura ambiente y es más económico, teniendo un acabado de aspecto fino y brillante.

Recubrimientos no metálicos

En los recubrimientos no metálicos se encuentran las pinturas y barnices, que por ser un método económico es muy ocupado, principalmente el minio, que es una pintura que en su composición química tiene oxido de plomo. También se encuentran los esmaltes y cerámicos que tienen la ventaja de resistir temperaturas elevadas y al desgaste por rozamiento.

En los recubrimientos no metálicos más utilizados también se encuentran los polímeros.

Polímeros

Los polímeros se producen por la unión de cientos de moléculas pequeñas denominadas monómeros que forman enormes cadenas de las formas más diversas. Algunas parecen fideos, otras tienen ramificaciones. Sin embargo, la mayor parte de los polímeros que usamos en nuestra vida diaria son materiales sintéticos con propiedades y aplicaciones variadas. Lo que distingue a los polímeros de los materiales constituidos por moléculas de tamaño normal son sus propiedades mecánicas. En general, los polímeros tienen una excelente resistencia mecánica debido a que las grandes cadenas poliméricas se atraen. Las fuerzas de atracción intermoleculares dependen de la composición química del polímero y pueden ser de varias clases [10] como son:

- Dependiendo de su origen, los polímeros pueden ser: naturales o sintéticos
- Según su mecanismo de polimerización: por condensación o adición

- Según sus aplicaciones: elastómeros, plásticos, fibras, recubrimientos y adhesivos

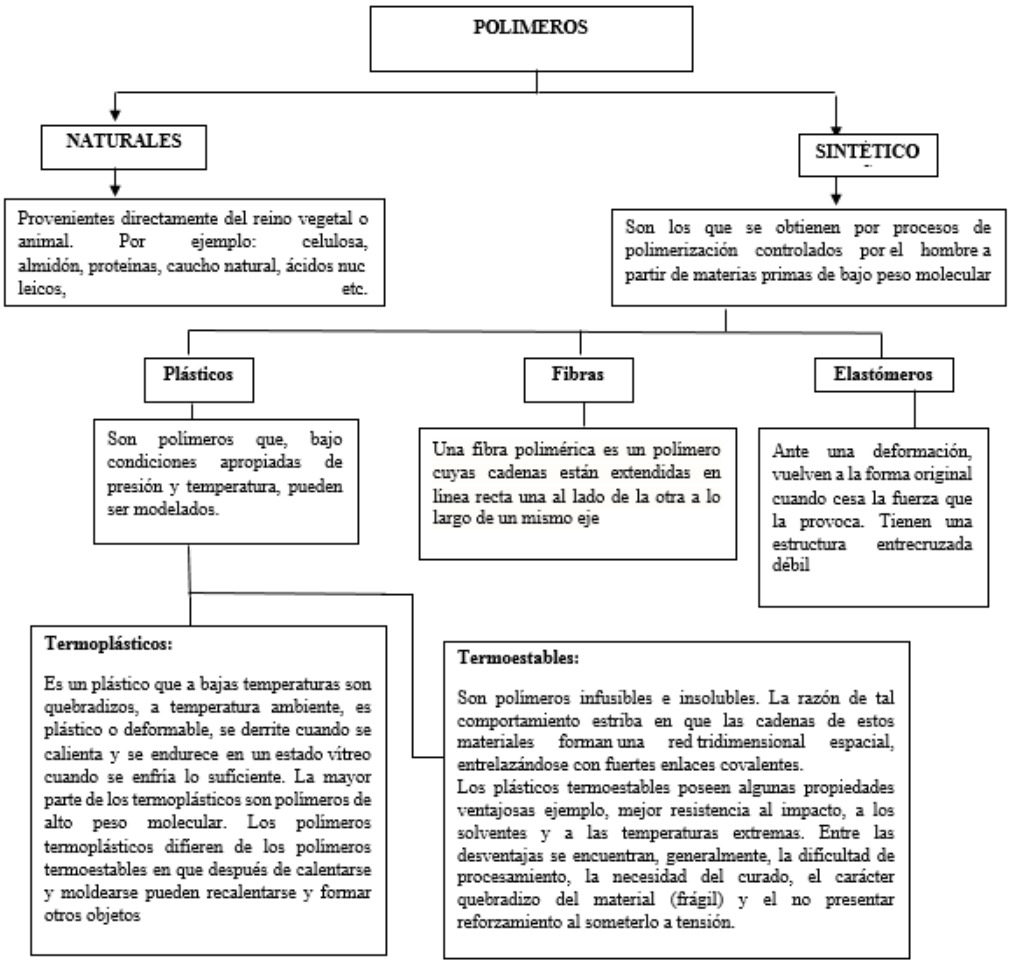


Figura 2.4. Mapa conceptual de los tipos de polímeros.

Entre los polímeros más usados en la industria, se encuentran los Termoplásticos, ya que una de sus características que lo define es que se pueden calentar desde el estado sólido al estado líquido y al enfriarse, adoptan de nuevo el estado sólido sin sufrir degradación alguna. Otras de sus características que poseen, se encuentra una menor rigidez, en algunos casos su módulo de elasticidad es dos veces más bajo que los cerámicos y los metales y su resistencia a la tensión es más baja. A

continuación, se presenta una tabla mostrando los materiales poliméricos, sus características y aplicaciones (Tabla 2.2).

Tabla 2.2. Tipos, características y aplicaciones de polímeros más utilizados.

Tipo de material Polimérico	Características de las principales aplicaciones	Aplicaciones típicas como recubrimientos
Acrilonitrilo – butadieno-estireno (ABS)	Gran resistencia y tenacidad, resistente a la distorsión térmica, buenas propiedades eléctricas, inflamable y soluble en disolventes orgánicos	Recubrimiento de interiores de frigoríficos
Fluorocarbonos (PTFE o TFE)	Químicamente inertes en la mayoría de los ambientes, excelentes propiedades eléctricas, bajo coeficiente de fricción, se puede utilizar hasta los 260 grados centígrados, nula o despreciable, fluencia a temperatura ambiente	Aislamientos anticorrosivos, Recubrimientos antiadherentes
Nylon	buena resistencia mecánica y a la abrasión y a la tenacidad; bajo coeficiente de fricción, absorbentes de agua y de otros líquidos	Recubrimiento de alambres y cables
Vinilos	Materiales para aplicaciones generales y económicas, ordinariamente rígidos, pero con plastificantes se vuelve susceptible a la distorsión térmica	Recubrimiento de suelos, tuberías, recubrimientos aislantes de hilos eléctricos
Epoxis	Excelente combinación de propiedades mecánicas y de resistencia a la corrosión, dimensionalmente estables, buena adherencia, relativamente barato	Recubrimientos protectores

Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS)

El Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS) es un polímero amorfo procedente de la emulsión o polimerización en masa de acrilonitrilo y estireno en presencia de polibutadieno. Las propiedades más importantes del ABS son la resistencia a los impactos y su dureza. También se le conoce como plástico de ingeniería o plástico de alta ingeniería de debido a que es un plástico cuya elaboración y procesamiento es más complejo que los plásticos comunes como son el polietileno y polipropileno.

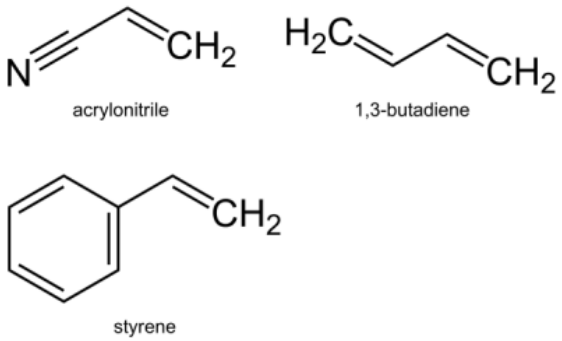


Figura 2.5. Formulas químicas de los monómeros del ABS.

El monómero de estireno otorga al ABS una buena procesabilidad, el acrilonitrilo proporciona rigidez, resistencia química y al calor, mientras el butadieno vuelve al producto más duro y elástico incluso a bajas temperaturas. Los cambios en las proporciones de los componentes del ABS o la adición de aditivos específicos permiten elaborar diferentes grados de propiedades específicas. El ABS tiene una débil resistencia a las inclemencias del tiempo y, por lo tanto, se recomienda aplicarlo solo en interiores. Por lo general, el acrilonitrilo butadieno estireno se puede usar a temperaturas entre los -20 °C y los +80 °C. El ABS es resistente a ácidos acuosos, álcalis, ácidos clorhídricos y fosfóricos concentrados, alcoholes y aceites animales, vegetales y minerales, pero se ve atacado por los ácidos sulfúrico y nítrico concentrados. El acrilonitrilo butadieno estireno (ABS) es soluble en ésteres, centonas, cloruro de etileno y acetona (11).

Por sus grandes características, este polímero es muy utilizado en múltiples áreas, como son juguetes, teléfonos, cascos de seguridad, carcasas de electrodomésticos, revestimientos de refrigeradores, pero principalmente se utiliza en los accesorios para los automóviles, como son los interiores de las puertas, pilares, asientos, tableros de mandos y las carcasas para espejos. Y por estos múltiples usos, se genera mucho desperdicio de este polímero, y por lo complejo de su elaboración, es muy difícil su reciclaje. En las siguientes tablas (tabla* y tabla*) se muestran las propiedades mecánicas y cuantitativas del ABS.

Tabla 2.3: Propiedades Mecánicas del ABS

Resistencia a la abrasión	Alta
Permeabilidad	Todos los grados son considerados impermeables al agua, pero ligeramente permeables al vapor.
Propiedades relativas a la fricción	No los degradan los aceites son recomendables para cojinetes sometidos a cargas y velocidades moderadas
Estabilidad dimensional	Es una de las características más sobresalientes, lo que permite emplearla en partes de tolerancia dimensional cerrada. La baja capacidad de absorción de la resina y su resistencia a los fluidos fríos, contribuyen a su estabilidad dimensional
Pigmentación	La mayoría de estas resinas, están disponibles en colores estándar sobre pedido, se pueden pigmentar, aunque requieren equipo especial.
Facilidad de unión	Se unen fácilmente entre sí y con materiales plásticos de otros grupos mediante cementos y adhesivos
Capacidad de absorción	Baja
Propiedades ambientales	La exposición prolongada al sol produce una capa delgada quebradiza, causando un cambio de color y reduciendo el brillo de la superficie y la resistencia a la flexión. La pigmentación en negro provee mayor resistencia a la intemperie
Resistencia química	Generalmente es buena, aunque depende del grado de la resina, de la concentración química, temperatura y esfuerzos sobre las partes. En general no son afectadas por el agua, sales inorgánicas, álcalis y por muchos ácidos. Son solubles en ésteres, acetona, aldehídos y en algunos hidrocarburos clorados
Formado	Se adaptan bien a las operaciones secundarias de formado. Cuando se calientan, los perfiles extruidos, se pueden doblar y estampar.
Facilidad de maquinado	Sus características son similares a las de los metales no ferrosos, se pueden barrenar, fresar, tornear, aserrar y troquelar

Acabados superficiales	Pueden ser acabados mediante metalizado al vacío y electro plateado
Resistencia a la fatiga	Se presenta para cargas cíclicas o permanentes mayores a 0.7 Kg mm^2
Recocida	Se mantiene 5° C arriba de la Temperatura de distorsión durante 2 a 4 h.

Tabla 2.4: Propiedades cuantitativas del ABS a 23°C.

Propiedades	**Método ASTM**	**Unidad**	**Grados de ABS**			
			Alto impacto	**Impacto medio**	**Bajo Impacto**	**Resistente al calor**
Mecánicas a 23°C						
Resistencia al impacto, prueba Izod	D2546	J / m	375-640	215-375	105-215	105-320
Resistencia a la tensión	D638	Kg. / mm^2	3,3 – 4,2	4,2-4,9	4,2-5,3	4,2-5,3
elongación	D638	%	15-70			
Módulo de tensión	D638		173-214	214-255	214-265	214-265
Dureza	D785	HRC (Rockwell)	88-90	95-105	105-110	105-110
Peso específico	D792		1,02-1,04	1,04-1,05	1,05-1,07	1,04-1,06
Térmicas						
Coeficiente de expansión térmica	D696	X 10^5 cm / cm* °C	9,5 –11,0	7,0-8,8	7,0-8,2	6,5-9,3
Distorsión por calor	D648	°C a 18,4 Kg /cm^2	93-99	96-102	96-104	102-112

Recubrimientos con materiales reciclados

En la actualidad, la sociedad se ha preocupado más por la conservación del ambiente, ya que se ha llegado a un punto en que, si no se hace algo, en varias décadas puede llegar a ser una de las ruinas del ser humano. Siendo algo preocupante ya que es el ser humano mismo quien se ha puesto es esta situación. Se estimó que solo en el 2015, la contaminación que generó los plásticos fue de 6.300 millones de toneladas en el mundo (12) el cual solo el 9% fue reciclado. Muchas de las causas por lo que la gente no recicla, es por ignorancia, pero otra de las razones es, que el polímero tiene propiedades tan específicas, que su reciclaje es o muy complicado o muy costoso. Uno de estos polímeros específicos es el ABS, y para este caso específico los fabricantes solo recomiendan 2 alternativas dependiendo del origen del residuo:

• Si son piezas que fueron moldeadas solas y no contienen algún tipo de sustancia nociva pueden ser mecánicamente recicladas después de usadas.

• Si las piezas contienen substancias peligrosas puede realizarse un reciclado termoquímico o una recuperación de energía por combustión, con el posterior tratamiento de los gases de combustión.

Como anteriormente se dijo, este polímero tiene excelentes propiedades y se puede reciclar como un efectivo recubrimiento para metales, o cualquier otro material. Otro polímero que también se le ha dado un nuevo uso es el PET, actualmente se ha probado como un agregado del concreto para mejorar sus propiedades mecánicas, e igualmente para la protección del acero embebido en el concreto. Así que, el campo de recubrimientos con polímeros reciclados es muy amplio y muy poco investigado, hay muchos materiales que se les puede dar un nuevo uso, y sin un costo mayor.

EVALUACIÓN DE LA CORROSIÓN

Existen varios métodos para evaluación de la corrosión, los más utilizados son las llamadas Técnicas Electroquímicas, entre las cuales, destacan Ruido Electroquímico, Resistencia a la Polarización, Curvas de Polarización e Impedancia Electroquímica.

Ruido Electroquímico

El Ruido Electroquímico es una técnica no destructiva ni intrusiva, capaz de monitorear los cambios básicos en un sistema electroquímicamente activo. Este método consiste en que, al metal desnudo, se obtiene una medida de la velocidad de las reacciones electroquímicas de equilibrio a través de la reacción anódica, como es la disolución de hierro ($2Fe \rightarrow 2Fe^{++} + 4e$) y la reacción catódica asociada, como es la reducción de oxígeno ($2H_2O + O_2 + 4e \rightarrow 4OH^-$). Esto se logra mediante una medición simultánea de las fluctuaciones potenciales causadas por las reacciones electroquímicas espontáneas seguidas de un análisis matemático posterior de los datos de corriente y potencial. El método matemático más simple es calcular la relación de las desviaciones estándar de la señal de ruido. La resistencia al ruido (Rn) se define como la relación entre la desviación estándar de la señal de ruido potencial y la desviación estándar de la señal de ruido actual. Se ha demostrado que el valor de la resistencia al ruido es comparable a la resistencia a la polarización, esta última está directamente relacionada (utilizando la ecuación de Stern-Geary y dadas las pendientes de Tafel) a la corriente de corrosión (10).

Entre las ventajas de este método electroquímico, es que se obtiene información adicional, como es la cinética de la reacción o velocidad de corrosión, así como el Índice de Localización que está dado por la siguiente ecuación:

$$IL = \frac{\sigma_C}{\sqrt{I_C}}$$

Siendo la desviación estándar de la corriente (σ_C) entre la raíz cuadrada de la media de la corriente (I_C). En la actualidad ya existe un parámetro que establece que tipo de corrosión se está llevando a cabo, se es localizada, mixta o uniforme.

Tabla 2.5. Intervalo de Valores para Índice de Localización.

Rango de Valores de I.L.	*Tipo de corrosión*
Entre 0.001 - 0.01	Corrosión Uniforme
Entre 0.01 - 0.1	Corrosión Mixta
Entre 0.1 - 1	Corrosión Localizada

Resistencia a la Polarización Lineal

La Resistencia a la Polarización es una de las técnicas más utilizadas en los últimos 50 años, por su facilidad de empleo y porque no hace falta equipo o instrumentos sofisticados para hacer las pruebas, además de no ser una técnica destructiva ya que consiste en aplicar una pequeña perturbación eléctrica al metal y medir el cambio de potencial que se produce (11). Esta técnica fue desarrollada en 1957 por Stern-Geary (12) y se presenta a continuación:

$$i_{corr} = {}^{B}/_{Rp}$$

$$B = \frac{(b_a b_c)}{[2.303(b_a + b_c)]}$$

Donde b_a y b_c son las pendientes de Tafel anódica y catódica respectivamente, y la constante B sirve para dar una igualdad y representa una relación existente en las pendientes de Tafel.

Con la ecuación de Stern-Geary se puede relacionar la densidad de corriente de corrosión (i_{corr}) o velocidad de corrosión con la resistencia a la polarización.

Espectroscopía de Impedancia Electroquímica

La técnica de Espectroscopía de Impedancia Electroquímica (EIS, por sus siglas en inglés), es un método electroquímico utilizado en estudios de corrosión, el cual se basa en el uso de una señal de corriente alterna (CA) que es aplicada a un electrodo (metal en corrosión) obteniendo una respuesta electroquímica (12).

Este método, que no presenta una perturbación significativa del material al hacer las mediciones, permite observar el comportamiento de la interfaz metal-soluto proporcionando un panorama completo de los fenómenos que ocurren en el proceso de corrosión y así poder calcular la velocidad de corrosión.

Este método se puede representar de dos maneras:

- Diagrama de Nyquist, en donde se grafica el componente imaginario de la impedancia (Z") contra el componente real de la impedancia (Z') para cada frecuencia a la que se aplicó la señal sinusoidal del voltaje obteniendo una semicircunferencia sobre el eje de la resistencia.

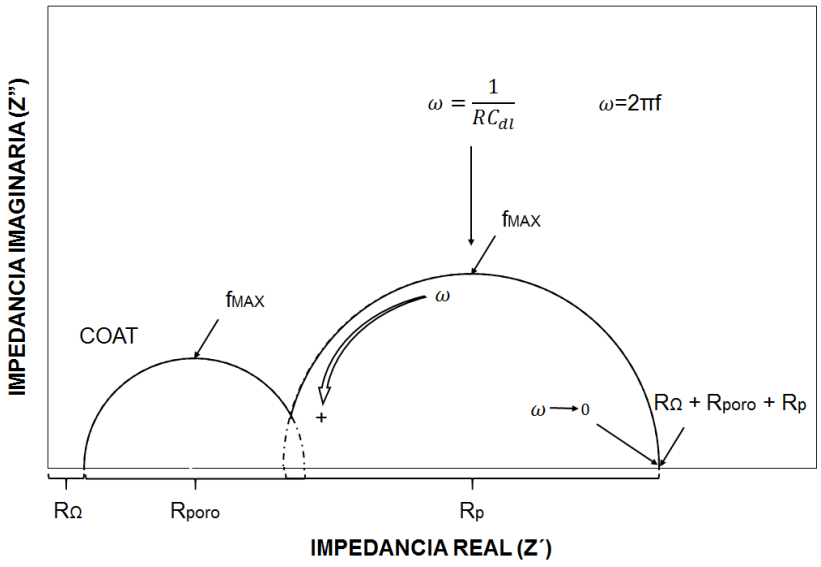


Figura 2.6. Gráfica de Nyquist de un comportamiento ideal de superficies metálicas con un recubrimiento.

- Diagrama de bode, el cual representa la variación de la impedancia real (|Z|) contra la frecuencia graficada en coordenadas log-log (ángulo de fase (ɵ)).

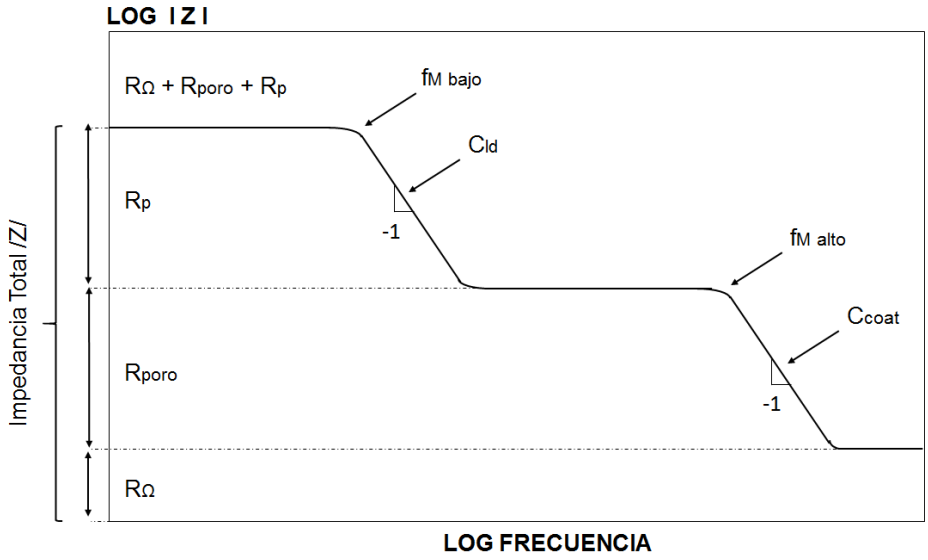


Figura 2. 7. Comportamiento ideal de un Diagrama de Bode |Z| vs. Frecuencia para recubrimientos.

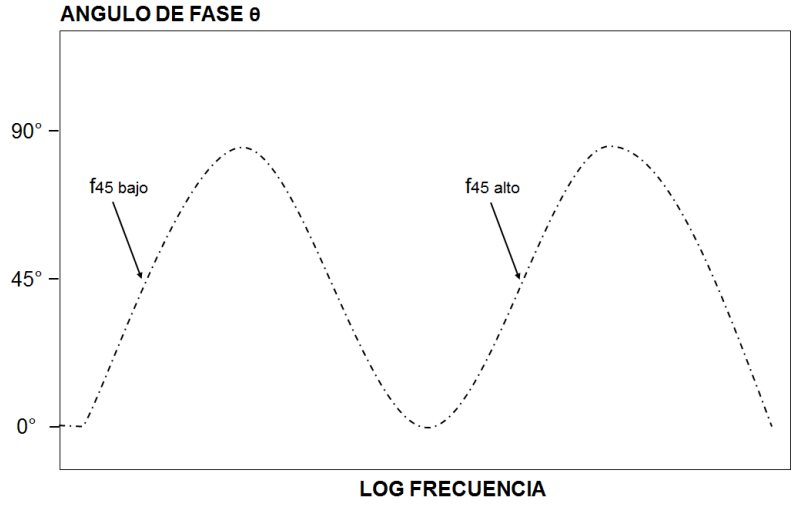
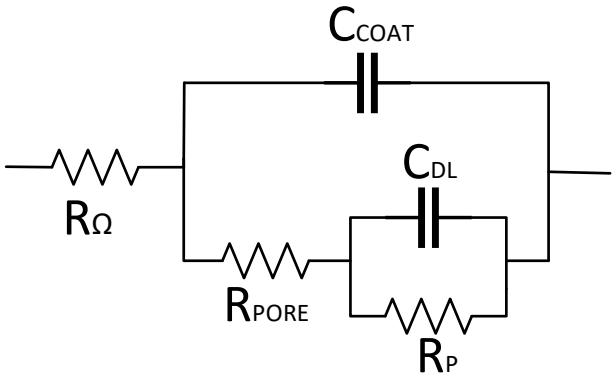


Figura 2.8. Comportamiento ideal de un Diagrama de Bode, Angulo de fase vs frecuencia para recubrimientos.

La EIS es muy útil en la evaluación de recubrimientos no metálicos sobre metales proporcionando información de su comportamiento y poder predecir su posible respuesta a diversos ambientes electroquímicos, así como obtener información acerca de la velocidad de los procesos que ocurren y cual es el que controla el proceso del deterioro, por ejemplo, se puede conocer sobre la difusión de iones del recubrimiento y la formación de los defectos como son los poros.

Los datos obtenidos se interpretan con base en una variedad de modelos de circuitos eléctricos equivalentes. El propio recubrimiento orgánico exhibe una conducta capacitiva (barrera) observada normalmente a un rango de alta frecuencia (10^3 a 10^5 Hz). Si el metal queda expuesto al electrolito a través de defectos o una degradación general de la capa orgánica de protección, la corrosión de los iniciados del metal y la interfaz solución/metal responden como un resistor-capacitor (R-C) en un circuito equivalente. Este circuito R-C se observa normalmente en una región de frecuencia inferior (10^{-3} a 10^1 Hz). El elemento resistivo Rp ha sido mostrado por varios investigadores a ser inversamente proporcional a la corriente de corrosión metálica y considerada como una resistencia a la polarización, normalmente reportada con las unidades ohm.cm^2. La respuesta capacitiva de la fase metal-electrolito se observa en la interface del material, donde las cargas se agrupan dando como resultado la capacitancia a la doble capa (Cdl).(13) En muchos diseños de celdas, la técnica ha permitido la medición de la resistencia de la solución (RΩ) entre el electrodo de referencia y el de trabajo a muy altas frecuencias (14).

Dependiendo el metal, recubrimiento o inhibidor que se esté estudiando, se deriva el uso de un circuito eléctrico equivalente. Para superficies metálicas con recubrimientos expuestos a un medio agresivo es comúnmente utilizar el siguiente circuito (figura *).



R_Ω = resistencia de la solución
C_{COAT} = Capacitancia del recubrimiento
R_{PORE} = Resistencia del poro
C_{DL} = Capacitancia de la doble capa
R_P= Resistencia a la polarización

Figura 2.9. Modelo general de un Circuito equivalente para superficies metálicas con recubrimiento.

Se puede monitorear el estado del recubrimiento usando la resistencia del recubrimiento (que equivale a la suma de las tres resistencias), el proceso de corrosión metálica (Rp), la resistencia del poro (R_{PORE}) o la capacitancia del recubrimiento (C_{COAT}).

La capacitancia del recubrimiento puede ser determinado usando la frecuencia a su punto máximo (f_{max} en Hz) del semicírculo y la diferencia aritmética entre las dos lecturas de las resistencias se obtiene mediante la siguiente ecuación.

$$C_{COAT} = \frac{1}{2\pi f_{max} R_{pore}}$$

Un rango cuantitativo general para un buen revestimiento se observa a valores mayores a 10^8 ohm.cm^2, mientras que los revestimientos pobres se asociaron con mediciones resistivas menores a 10^6 ohm.cm^2. Los buenos recubrimientos muestran cierta variación en el tiempo de la resistencia medida, probablemente se deba a la formación de pequeños poros que luego, de alguna manera, se vuelven a recubrir, por otro lado, los revestimientos pobres tienden a exhibir una disminución continua en la resistencia como era de esperar con el desarrollo de poros más grandes y el aumento de la superficie del metal reactivo.

Curvas de Polarización

Las curvas de polarización muestran la interdependencia entre el potencial de electrodo y la intensidad de corriente (relaciones i vs. E). Las curvas de polarización pueden determinarse aplicando una corriente constante y midiendo el potencial, repitiendo este procedimiento para diversos valores de corriente y midiendo en cada caso el nuevo potencial alcanzado. Otra forma de determinar la relación i-E es aplicando un potencial constante y determinando la forma en que varía la corriente.

Existen varias formas que puede tomar una curva de polarización anódica como se muestra en la figura*. En la zona 1-2 se dice que el metal se disuelve de forma activa. En la zona 2-3 aparece la zona de pasivación, que es cuando en la superficie del metal se forma una película delgada de óxido que protege al metal y hace más difícil su disolución. Si la película es aisladora, al momento de que se aumenta el potencial, el grosor del óxido pasivante irá en aumento, sin que se observe un incremento de la corriente y esto se ve reflejado en la zona 3-4.

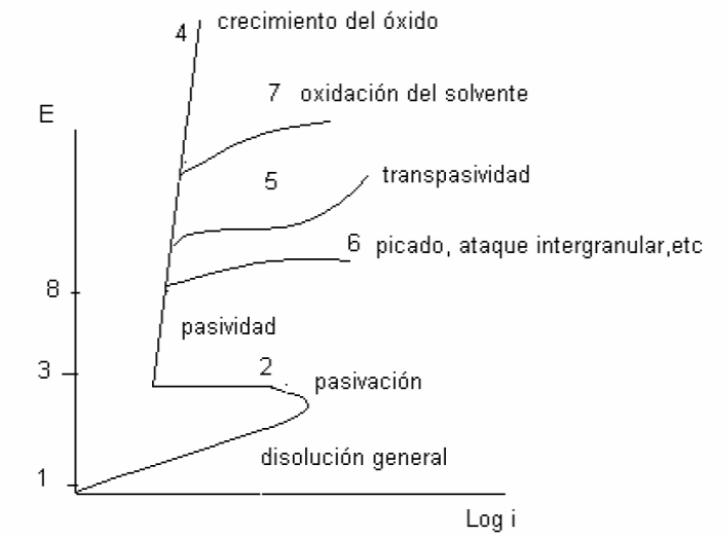


Figura 2.10. Formas posibles de una curva de polarización en la zona anódica.

La curva 5 ocurre cuando la película pasivada está formada por elementos que pueden oxidarse a una valencia mayor y obtener productos solubles, se observa un aumento del corriente acompañado por la disolución del metal. Esto se conoce como transpasividad, y esto lo presentan elementos tales como el cromo o al manganeso. La curva 6 se presenta cuando la película pasivante pierde estabilidad y se produce la corrosión localizada, y esto lo presentan metales como el hierro, cromo, etc. Si el óxido pasivante es buen conductor de electrones una vez alcanzado el potencial de desprendimiento del oxígeno, la solución comenzará a descomponerse y se notará un aumento en la corriente de corrosión, y esto se ve reflejado en la curva 7.

El diagrama de Evans es la representación de las curvas de polarización anódica y catódica. Típicamente se grafica el potencial en el eje vertical y el logaritmo de la corriente es graficado en el eje horizontal.

MEDICION DE POTENCIAL

Las medidas de potencial informan sobre la probabilidad de corrosión de la armadura de una estructura de concreto, pero es esencial que los resultados sean correctamente interpretados.

Y se realizan con ayuda de un electrodo de referencia de calomel y un voltímetro y se mide cada varilla de cada probeta.

Las mediciones ayudan a saber si el comportamiento de la corrosión es más noble o más activo dependiendo de lo positivo que sea su potencial, por ejemplo, un resultado más noble significa que hay un estado pasivo por lo que el riesgo de daño es despreciable (Andrade and Alonso, 1996).

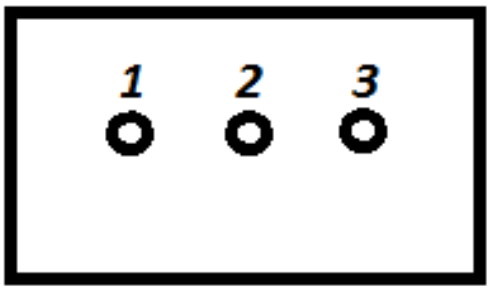


Figura 2.11. Distribución de los electrodos de trabajo.

En cada probeta hay tres electrodos de trabajo tal como lo muestra la figura 3.10 y el arreglo de las mediciones de potenciales de las varillas es como lo muestra la figura 3.11 y se mide cada varilla en cada probeta.

En la tabla 5 aparecen los rangos de potencial que la norma ASTM C876 nos establece para determinar el daño en el acero embebido en el concreto.

Tabla 2.6. Norma ASTM C876.

Potenciales de corrosión Norma ASTM C876	
Potenciales más positivos que -200 mV	Riesgo del 10% de que ocurra corrosión
Si está entre -200 y -350 mV	Se tiene incertidumbre
Si son más negativos que -350 mV	Riesgo del 90% de que ya se esté corroyendo

CAPÍTULO 3:

METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.1. Preparación de probetas de trabajo

Para la elaboración de las probetas de trabajo, se utilizó acero 1018 que es el metal empleado en la construcción. De dicho metal, se cortaron pedazos de 2.5 cm de longitud, que posteriormente se le soldó un cable de cobre y se encapsuló en resina epóxica dejando una superficie expuesta de 9.5 mm de diámetro. Antes de cada experimento, la superficie de la pobeta se preparó, para optimizar la adherencia del recubrimiento y el inhibidor, puliendo el área con lijas de grado 180, 240, 360, 400 y 600, posteriormente se limpia con agua destilada y acetona para eliminar residuo alguno. Este procedimiento se repitió para todas las pruebas de caracterización del inhibidor, del recubrimiento y del recubrimiento dopado con inhibidor.

3.2. Preparación del inhibidor Lansoprazol

La solución del inhibidor es obtenida mediante la disolución de una cápsula de Lansoprazol en 20 ml de Dimetilformamida durante 2 horas, ya que, de acuerdo con la ficha técnica de este medicamento, éste es el compuesto orgánico en el que se disuelve sin perder las propiedades que lo caracterizan. Se corrieron pruebas electroquímicas con concentraciones en partes por millón (ppm) de 10, 25, 100 y 150 y así, obtener la concentración óptima de eficiencia del inhibidor.

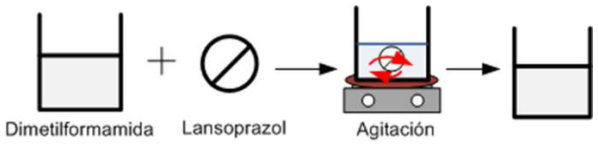


Figura 3.1. Obtención del Inhibidor Lansoprazol

3.3. Preparación del recubrimiento ABS

Para la preparación del recubrimiento, se disolvió 2.55 gr de ABS de desecho, donado para esta investigación de una fábrica automotriz, en 20 ml de acetona, que al igual del Dimetilformamida, disuelve el material sin afectar los componentes del ABS. El método Dip-coating fue el procedimiento que se utilizó para aplicar el recubrimiento a las probetas. Se hicieron dos inmersiones para la correcta aplicación del recubrimiento, la primera con una duración de 1 minuto se deja secar a temperatura ambiente (25° C). Una vez que se secó por completo, la segunda inmersión fue de 15 segundos, para evitar cualquier disolución del primer recubrimiento y solo lograr una cobertura uniforme en la probeta.

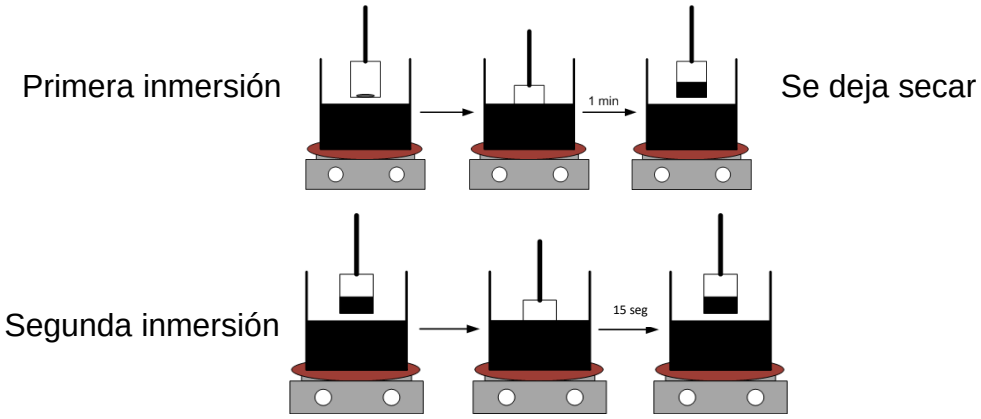


Figura 3.2. Obtención y aplicación del recubrimiento ABS

3.4. Preparación del Recubrimiento ABS dopado con inhibidor Lansoprazol

Basándose en las pruebas de caracterización electroquímica del inhibidor, se determinó que la concentración optima del inhibidor es 150 ppm. Al contar con esta concentración, se continuó con la unión de ambas soluciones. Ambos componentes, el ABS y Lansoprazol, se disolvieron en soluciones orgánicas polares apróticos, esto significa que ambos compuestos al unirse no generarán reacción química alguna,

ya que no tienen enlaces O-H o N-H, por no lo que no dan, ni aceptan protones, la unión es homogénea. Y se mantuvieron en agitación constante durante 15 minutos para lograr una buena unión.

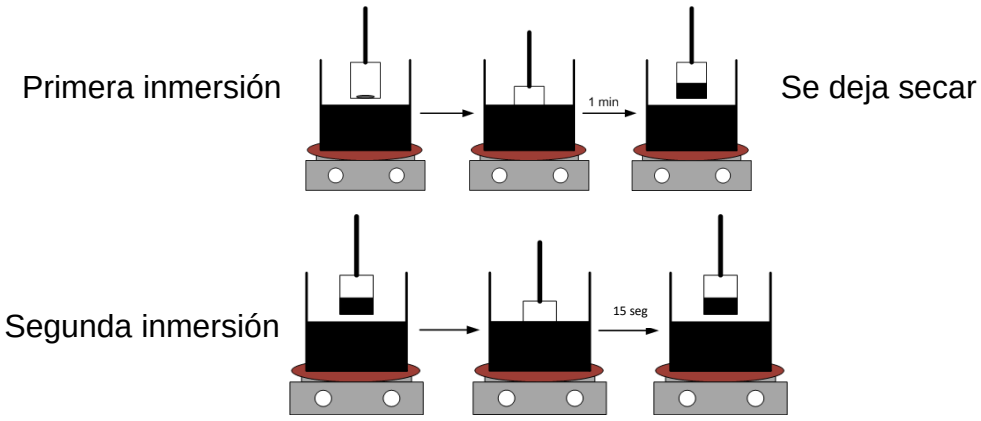


Figura 3.3. Aplicación del sistema ABS+150 ppm Lansoprazol

3.5. Preparación de probetas de concreto

Para las pruebas con concreto se elaboraron con la dosificación presentada en la tabla 3.1 *(BIDECO, 2014)* con un f'c = 200 kg/cm². Y la geometría de las probetas se muestra en la figura 3.4. En estas probetas se les introduce tres varillas de acero de 3/8", a las cuales se les aplicó el recubrimiento de ABS+150 ppm Lansoprazol mediante Dip-Coating.

Tabla 3.1. Dosificación utilizada en la elaboración de probetas de concreto.

Resistencia	*Cemento*	*Arena*	*Grava*	*Agua*
F'C 200 kg/cm²	*400g.*	*744 g.*	*1035 g.*	*350 ml.*

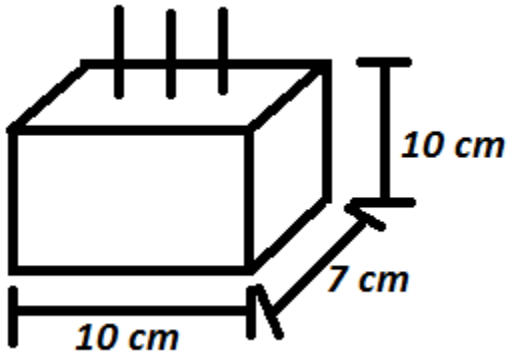


Figura 3.4. Geometría de la probeta de concreto utilizada.

3.6. Caracterización del inhibidor, recubrimiento y recubrimiento dopado con inhibidor

3.6.1 Espectroscopía de Impedancia Electroquímica

Se utilizó un Potenciostato marca Gill AC controlado por una computadora de escritorio, el cual ayuda a recabar los datos de las pruebas, así como la obtención de las gráficas. Los parámetros que se utilizaron para realizar dichas pruebas fue una amplitud sinusoidal de ±20 mV con respecto al potencial de corrosión y un rango de 0.01 a 10,000 Hz, a una temperatura ambiente (25°C).

3.6.2. Ruido Electroquímico

Para esta prueba se utilizó un Potenciostato marca Gill AC, controlado por medio de una computadora de escritorio, con el cual, se obtuvieron mediciones de series de tiempo en graficas en función de Corriente-Tiempo y Voltaje-Tiempo, para conseguir una medición cada segundo y así, recabar 1024 puntos.

3.6.3. Índice de Localización

Mediante la prueba de ruido electroquímico, se puede determinar si la corrosión existente en la muestra es corrosión localizada, mixta o uniforme, con lo que se conoce como el Índice de Localización.

3.6.4. Resistencia a la Polarización Lineal

Para estas pruebas se utilizó un equipo de marca Gill AC, conectada a una computadora de escritorio, en el cual se muestran los datos y graficas obtenidas de la experimentación. En esta prueba se polariza a ± 20 mV, que permite obtener una pendiente que es inversamente proporcional a la corriente de corrosión.

3.6.5. Curvas de Polarización

Para esta prueba se utilizó un Potenciostato marca Gill AC, controlado por medio de una computadora de escritorio, con el cual, se obtuvieron graficas de potencial contra la densidad de corriente, se aplicó un voltaje de ±1000 mV con base en el potencial que en el momento de la prueba tiene la probeta de trabajo.

3.6.6. Espectroscopía de Infrarrojo (FTIR)

La solución fue analizada en un rango de frecuencia de 400-4000 cm^{-1} en modo de transmitancia mediante un espectrofotómetro de marca Bruker conectado a una computadora con software Opus 5.5, esta técnica se empleó para identificar y confirmar los grupos funcionales del Lansoprazol existentes.

3.6.7. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM)

Para este análisis se utilizó un Microscopio Electrónico de Barrido LEO1450VO.

3.6.8. Microscopio Atómico de Fuerzas (AFM)

Para este análisis se utilizó una la longitud de barrido de 100 μm x 100 μm.

CAPÍTULO 4:

RESULTADOS

CAPÍTULO 4: RESULTADOS

Caracterización de Lansoprazol

El Lansoprazol es un medicamento que pertenece a un grupo de fármacos denominados inhibidores de la bomba de protones (IBP) que disminuyen la secreción de ácido del estómago. En la 4.1 se observa el espectro IR del principio activo de Lansoprazol utilizado en las pruebas, en ella se distinguen las bandas anchas y agudas en 3400 cm^{-1} que corresponden a las vibraciones de estiramiento del enlace O-H

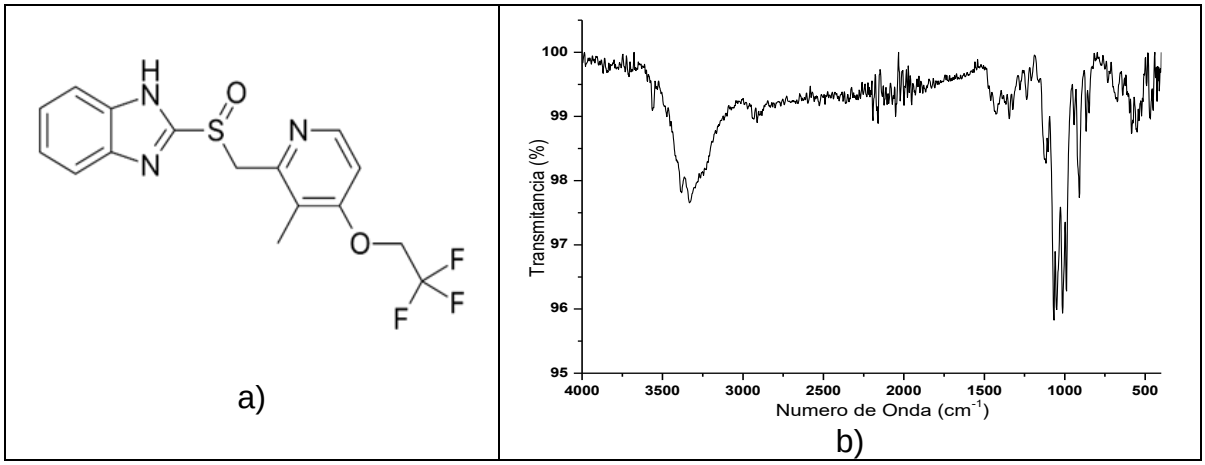


Figura 4.1. Formula del compuesto Lansoprazol (a); Espectro FTIR del Lansoprazol (b).

Una vez caracterizado el material, se evaluaron pruebas electroquímicas para determinar la concentración optima del inhibidor, por lo que se propusieron 10,25,100 y 150 ppm de Lansoprazol en tres soluciones:

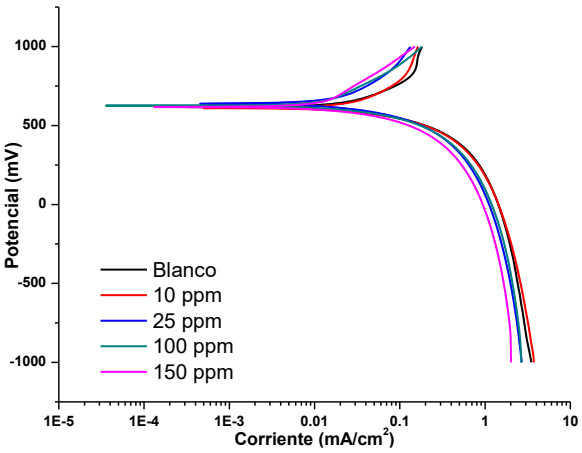
*$Ca(OH)_2$ a pH 12

*NaCl al 3%

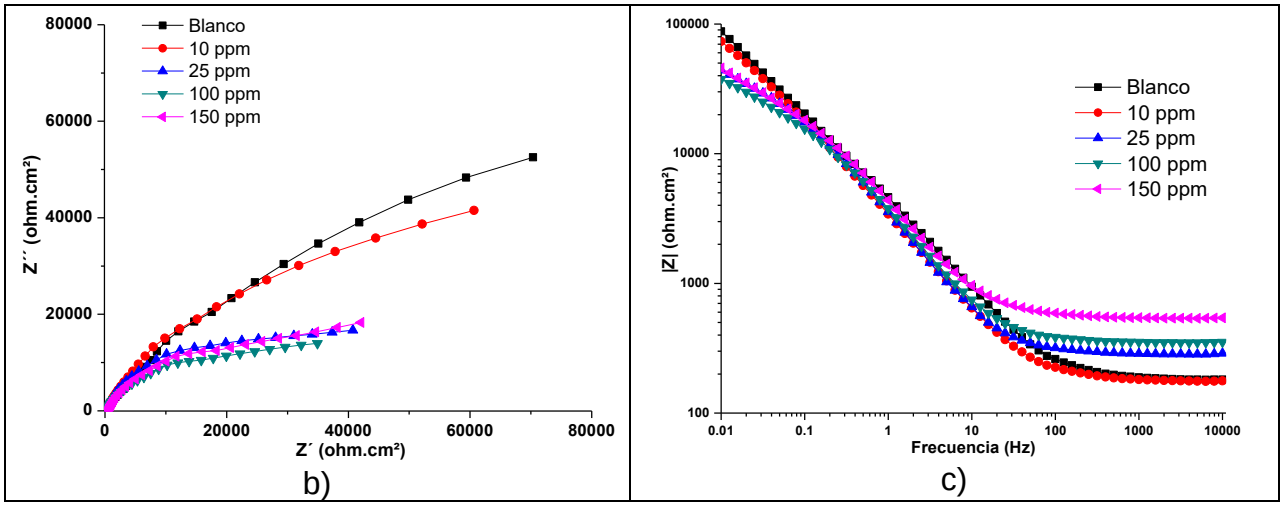
*$Ca(OH)_2$ + NaCl al 3%

Caracterización del inhibidor Lansoprazol en solución $Ca(OH)_2$

En la figura 4.2a se observan las gráficas de curva de polarización en solución de $Ca(OH)_2$, nos muestra que todas las probetas se encuentran en potenciales positivos (650 mV), esto se esperaba en la probeta blanco ya que, el medio es una solución pasivante, pero se confiaba que con el inhibidor, las demás probeta tuvieran mejores resultados, y es lo contrario; al igual, la densidad de corriente se mantiene en 0.02 mA/cm^2 en todas las probetas.



a)



b) c)

Figura 4.2. a) Curva de polarización; b) Grafica de Nyquist; c) Gráfica de Bode del sistema acero 1018 con inhibidor Lansoprazol en solución de $Ca(OH)_2$.

Estos resultados se confirman los con datos de Impedancia, la probeta blanco en la gráfica de Nyquist nos muestra un semicirculo,

ya que se observa que la probeta blanco es la que mejor resistencia obtiene (figura 4.2c).

Por lo que se puede concluir que el Lansoprazol como inhibidor, en medios alcalinos, no se obtienen los resultados esperados.

Para complementar el estudio de las pruebas de impedancia se analizaron los resultados mediante circuitos eléctricos equivalentes, obteniendo así, los valores individuales de Resistencia a la solución (Rs), Resistencia a la transferencia de carga (Rtc), Capacitancia de la doble capa (Cdl), Resistencia del recubrimiento (Rp), capacitancia del recubrimiento (Cr). Con los valores de Rtc de cada probeta se obtiene la eficiencia del inhibidor mediante la siguiente ecuación:

$$\%E = \left(\frac{Rtc_{inh} - Rtc_{bco}}{Rtc_{inh}}\right) * 100 \qquad (1)$$

Siendo Rtc_{inh} la Resistencia a la transferencia de carga de la probeta con inhibidor y Rtc_{bco} la Resistencia a la transferencia de carga de la probeta sin inhibidor.

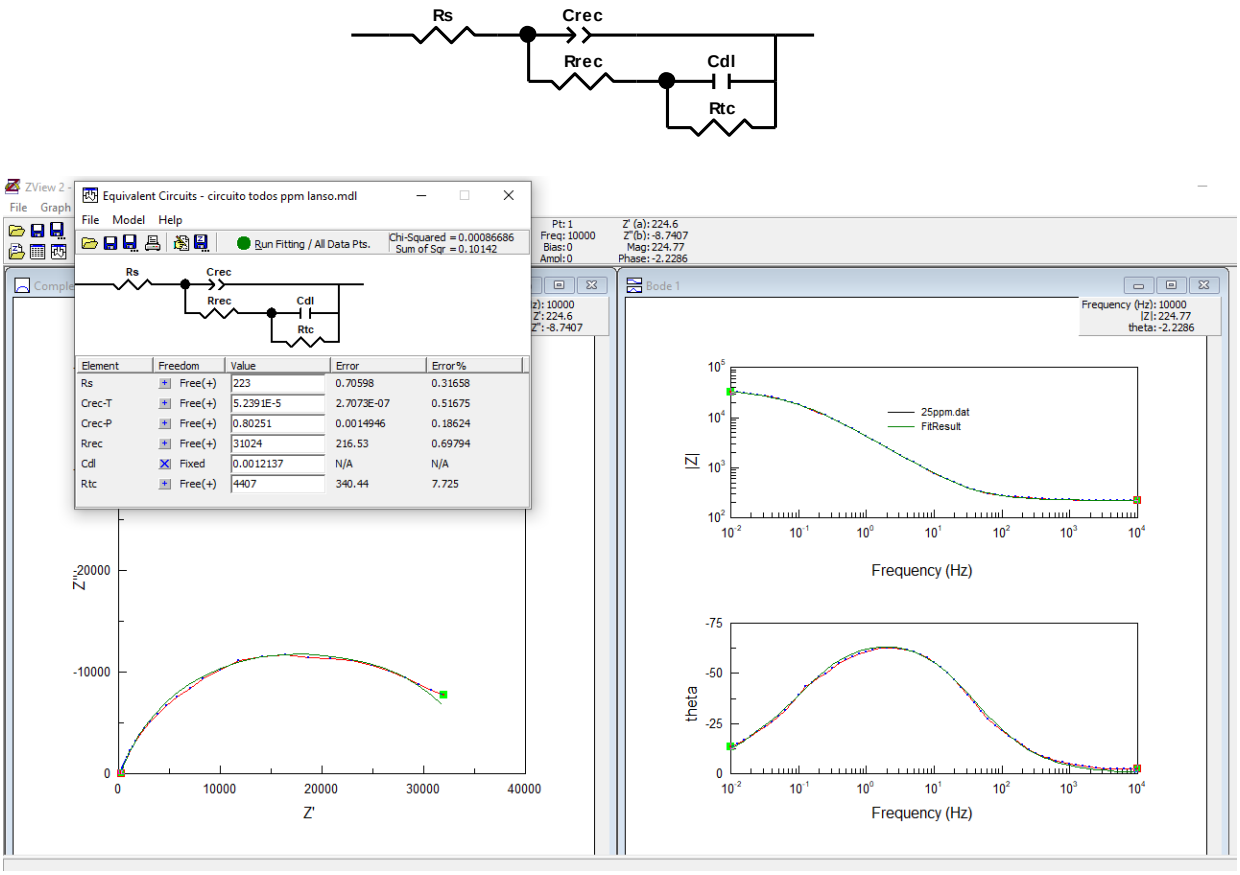


Figura 4.3. Imagen del circuito utilizado y la simulación en Zview del circuito metal/inhibidor para el sistema Lansoprazol en solución de $Ca(OH)_2$.

Con los datos obtenidos de la simulación, se obtienen los resultados para cada valor y se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 4.1. Datos obtenidos de la simulación del inhibidor en medio $Ca(OH)_2$.

Probeta	Rs	Crec	Rp	Cdl	Rtc	%E
Blanco	171	---	---	6.88E-05	132290	100
10 ppm	176	6.99E-05	81505	3.98E-04	19116	----
25 ppm	285	6.01E-05	34122	5.25E-04	14856	----
100 ppm	350	5.43E-05	19407	1.54E-04	24615	----
150 ppm	542	5.24E-05	31551	3.64E-04	19847	----

El cual nos confirma que el inhibidor en este medio, $Ca(OH)_2$ pH 12, no muestra resultados favorecedores.

Caracterización del inhibidor Lansoprazol en solución NaCl al 3%

En la figura 4.4 se aprecian las gráficas de la gráfica de curva de polarización e impedancia del inhibidor en medio NaCl al 3% y se puede observar que los resultados de las probetas mejoran tanto en la curva de polarización como en la impedancia al agregar el inhibidor.

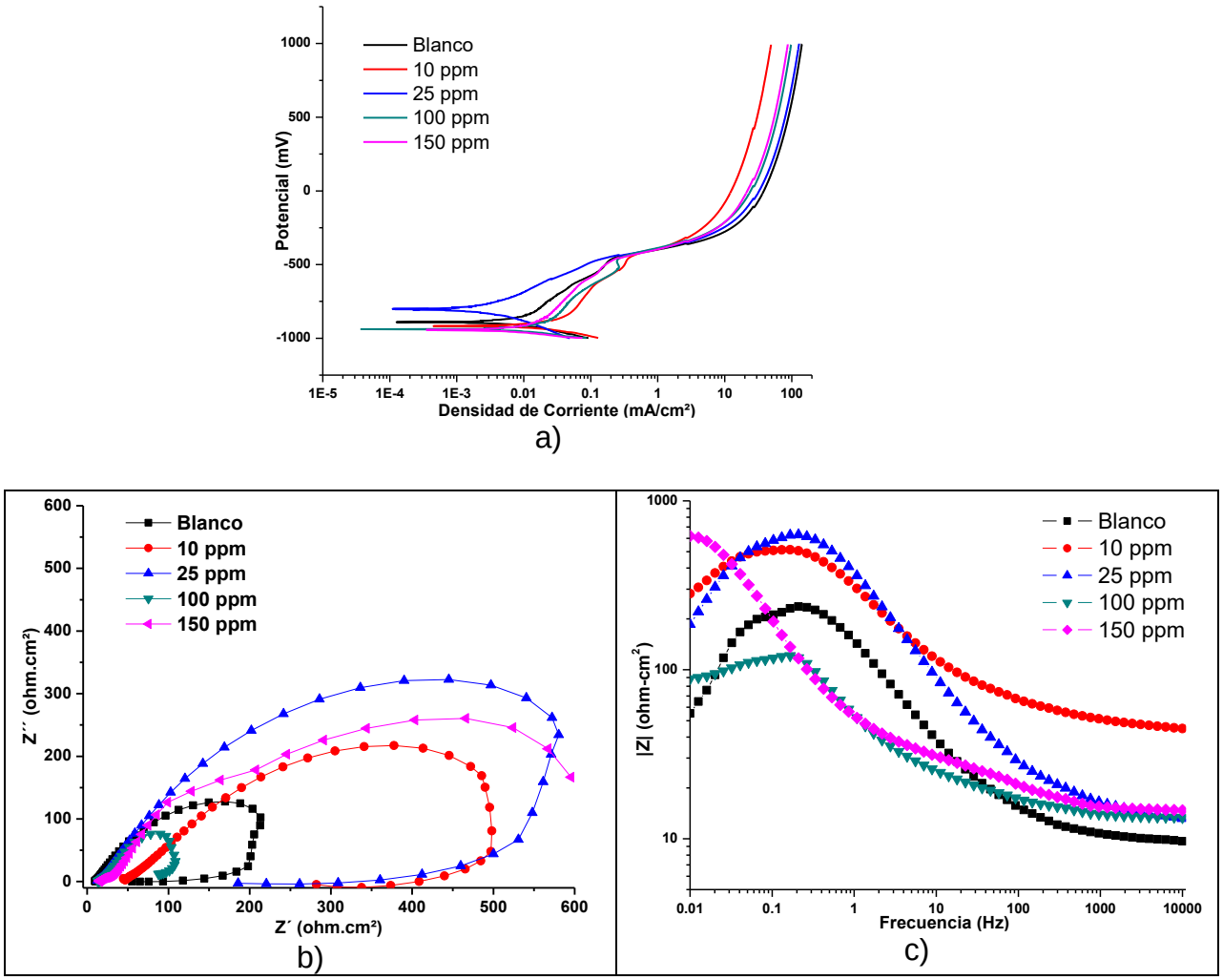


Figura 4.4. a) Curva de polarización; b) Gráfica de Nyquist; c) Gráfica de Bode del sistema acero 1018 con inhibidor Lansoprazol en solución de NaCl al 3%.

En la figura 4.4a se puede ver, que a potenciales más positivos (-600 mV), existe una pasivación en algunas de las probetas con inhibidor, siendo la probeta 150 ppm la que tiene una pasivación la más acentuada, no obstante, después se aprecia que existe una corrosión por picadura. La probeta con 25 ppm de Lansoprazol muestra un potencial ligeramente más positivo que las demás probetas, y se observa una inclinación más pronunciada lo cual indica que existe una disolución del metal más rápida que las demás probetas. Así mismo se percibe que la densidad de corriente disminuye ligeramente en las probetas con inhibidor en comparación de la probeta blanco, el cual indica que el inhibidor disminuye la velocidad de corrosión del metal.

En la prueba de impedancia (figura 4.4c) se aprecia mejor que el inhibidor mejora la resistencia de las probetas, siendo la concentración 150 ppm la que mejor resistencia obtiene (650 ohm/cm^2).

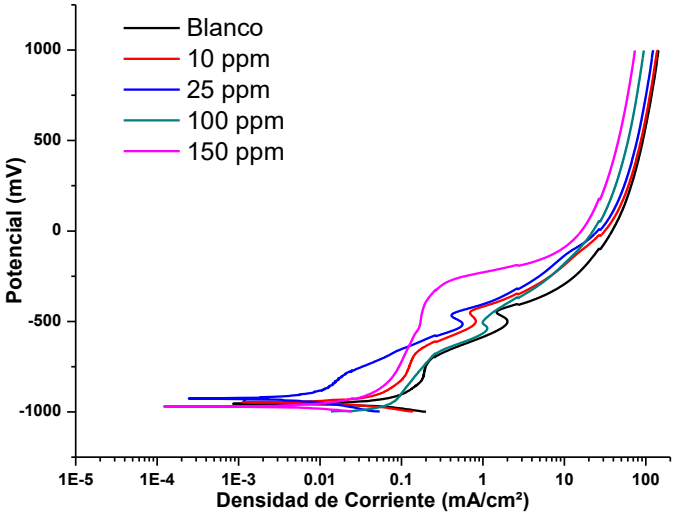
A continuación, se encuentran los datos obtenidos de la simulación.

Tabla 4.2. Datos obtenidos de la simulación del inhibidor en medio NaCl.

Probeta	Rs	Crec	Rp	Cdl	Rtc	%E
Blanco	12	---	---	5.48E-04	171	0
10 ppm	48	3.30E-05	32	5.74E-04	422	59
25 ppm	14	3.69E-05	16	4.07E-04	555	69
100 ppm	14	3.28E-04	11	4.41E-03	105	----
150 ppm	**16**	**1.78E-04**	**15**	**6.53E-03**	**714**	**76**

Los datos de la tabla 4.2, dan como resultado, confirmando los resultados de las gráficas, la probeta 150 ppm de Lansoprazol es la que mejor resultados obtienen con una eficiencia de 76%.

Caracterización del inhibidor Lansoprazol en solución $Ca(OH)_2$ pH 12 + NaCl al 3%



a)

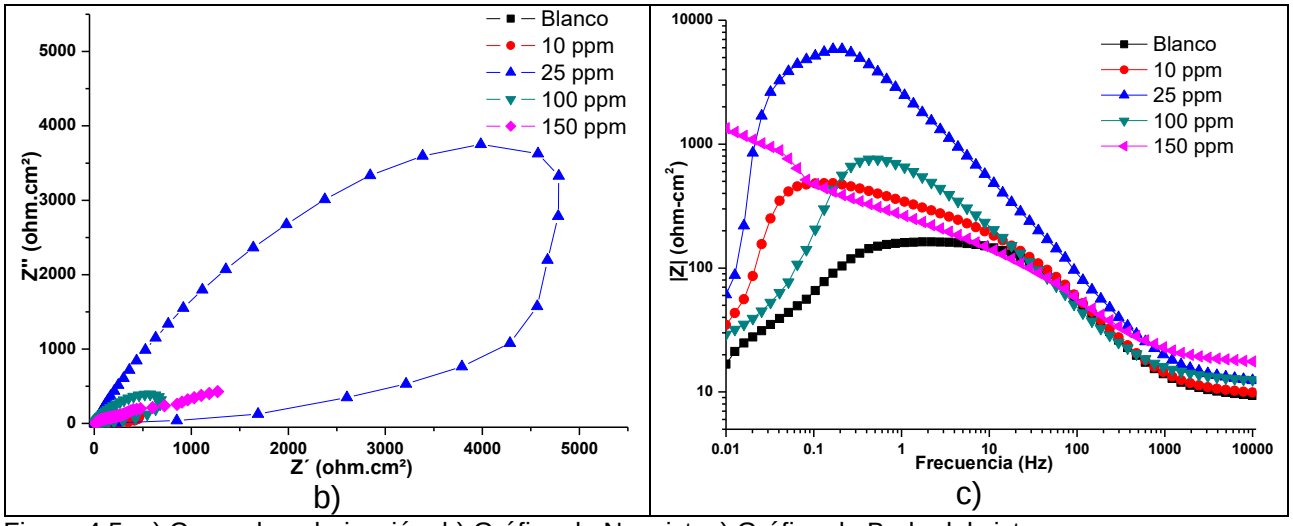


Figura 4.5. a) Curva de polarización; b) Gráfica de Nyquist; c) Gráfica de Bode del sistema acero 1018 con inhibidor Lansoprazol en solución de $Ca(OH)_2$ + NaCl al 3%.

En la figura 4.5, están los resultados de las pruebas en medio $Ca(OH)_2$ + NaCl, en la curva de polarización (4.4a) se observa que los potenciales están en los -900 mV incluido el blanco, y la densidad de corriente se encuentra en los valores de 0.09 mA/cm^2, todas tienen casi el mismo comportamiento, excepto la concentración 150 ppm, ya que ésta, presenta una pasivación en la rama anódica que se mantiene así

hasta llegar a un potencial de -250 mV, y a partir de ahí, se inicia el desgaste y aparece una corrosión por picadura. En las pruebas de impedancia, se obtiene el mismo resultado, la concentración 150 ppm es la que mejor resistencia obtiene a frecuencias bajas, 1500 ohm*cm^2, en comparación con la probeta blanco que obtiene 20 ohm/cm^2. En impedancia, la concentración de 25 ppm muestra valores más altos de resistencia en frecuencias bajas, llegando a los 7000 ohm/cm^2, pero mientras baja la frecuencia, esta también baja, y al final termina en 60 ohm/cm^2.

Tabla 4.3. Datos obtenidos de la simulación del inhibidor en medio $Ca(OH)_2$ + NaCl.

Probeta	Rs	Crec	Rp	Cdl	Rtc	%E
Blanco	9	---	---	8.85E-05	163	0
10 ppm	9	9.83E-05	233	9.55E-04	176	7
25 ppm	10	7.64E-05	598	7.86E-04	4504	76
100 ppm	10	6.58E-04	230	5.69E-04	750	78
150 ppm	**16**	**2.58E-04**	**235**	**2.63E-03**	**1227**	**86**

En la tabla 4.3 se observan los datos de la simulación en medio $Ca(OH)_2$ + NaCl el cual, la probeta que mejor eficiencia muestra es la 150 ppm, con un 86%

Estos valores obtenidos, mediante las pruebas electroquímicas y la simulación confirman los resultados, por lo tanto, se puede concluir que la concentración que funciona mejor es la de 150 ppm de Lansoprazol, y ésta será la concentración utilizada en el siguiente paso de esta investigación.

Mecanismo de adsorción

Los modelos de Isotermas de adsorción son herramientas importantes para describir la interacción de los inhibidores con la superficie del metal que están protegiendo. Se puede determinar con los datos experimentales obtenidos anteriormente, con la eficiencia de inhibición, que representa el porcentaje de superficie metálica cubierta (Θ). Existen teoremas matemáticos que permiten identificar el tipo de interacción que ocurre, siendo estos el teorema de Temkin, Langmuir, Frumkin y Freundlich y sus ecuaciones se describen a continuación:

Temkin	$K_{ad}\ C = \ e^{f\theta}$	(2)
Langmuir	$K_{ad}\ C = \frac{\theta}{1-\theta}$	(3)
Frumkin	$K_{ad}\ C = \left(\frac{\theta}{1-\theta}\right)\ e^{f\theta}$	(4)
Freundlich	$K_{ad}\ \frac{1}{n} C = \ 0$	(5)

Donde K_{ad} es la constante de equilibrio de adsorción, *C* la concentración del inhibidor, f la constante de interacción molecular y θ la cobertura superficial. Junto con los datos obtenidos mediante la experimentación, se efectúa un análisis de regresión lineal y en la figura 4.6 se observa que para la solución $Ca(OH)_2$ y NaCl se ajusta el Teorema propuesto por Frumkin con un factor de correlación de R^2=0.91 y R^2=0.95 respectivamente.

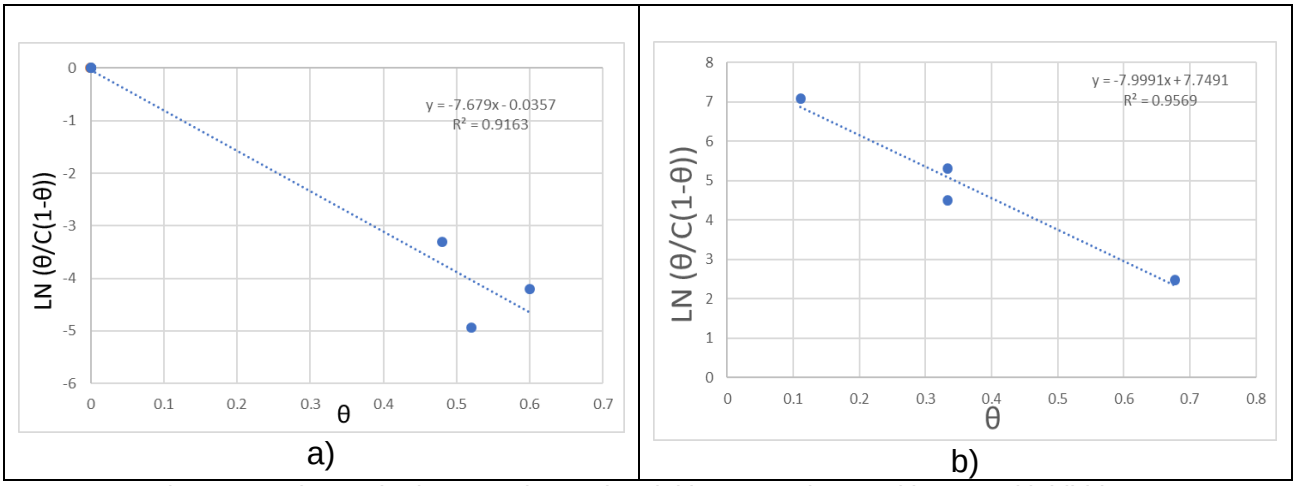


Figura 4.6. a) Resultados experimentales del isoterma de Frumkin para el inhibidor Lansoprazol a 4 concentraciones (10,25,100 y 150 ppm) en solución de $Ca(OH)_2$; b) Resultados experimentales del isoterma de Frumkin para el inhibidor Lansoprazol a 4 concentraciones (10,25,100 y 150 ppm) en solución de NaCl al 3%.

Con la ecuación de la línea recta obtenida del isoterma de Frumkin, se pudo determinar la constante de adsorción K_{ads}, por lo cual se pudo sustituir en la siguiente ecuación:

$$\Delta G_{ads} = -R\ T\ lnK_{ads} \qquad (6)$$

Donde ΔG_{ads} equivale a la energía libre de Gibbs, siendo R la constante de gases y T la temperatura. Donde se obtiene un valor de ΔG_{ads} = -5.15 kJ/mol y -5.05 kJ/mol respectivamente, por lo cual se puede decir que existe un proceso de fisisorción en la superficie del metal.

Basándose en el teorema de Frumkin, se puede deducir que el porcentaje recubierto de la superficie de la probeta de trabajo se debe a que existe un cambio en la doble capa capacitiva el cual, es generada cuando en la misma superficie las moléculas de agua del medio son reemplazadas por las moléculas orgánicas del inhibidor.

Por lo contrario, en la figura 4.7 se observa que el Teorema propuesto por Freundlich es el que refleja mejor el mecanismo de adsorción del sistema Lansoprazol en solución de $Ca(OH)_2$ + NaCl, obteniendo un factor de correlación del R^2= 0.90.

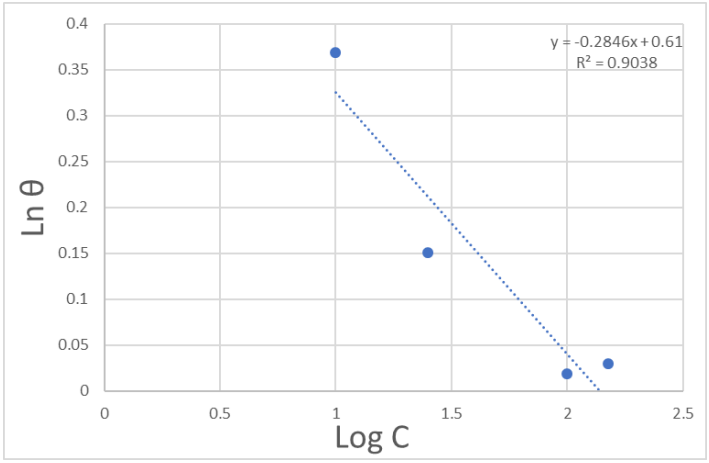


Figura 4.6. a) Resultados experimentales del isoterma de Freundlich para el inhibidor Lansoprazol a 4 concentraciones (10,25,100 y 150 ppm) en solución de $Ca(OH)_2$ + NaCl.

Igualmente se obtiene el valor de K_{ads} y se sustituye en la ecuación 6 obteniendo el valor de ΔG_{ads} = -3.11 kJ/mol, obteniendo así que el proceso de fisisorción es el que impera en la superficie del metal. El isoterma de Freundlich asume que la superficie del adsorbente es energéticamente heterogénea, conformada por grupos de sitios de adsorción de energías características, por lo que se considera que no existen interacciones laterales entre las moléculas adsorbidas y que sólo se adsorbe una monocapa.

Caracterización de recubrimiento de ABS

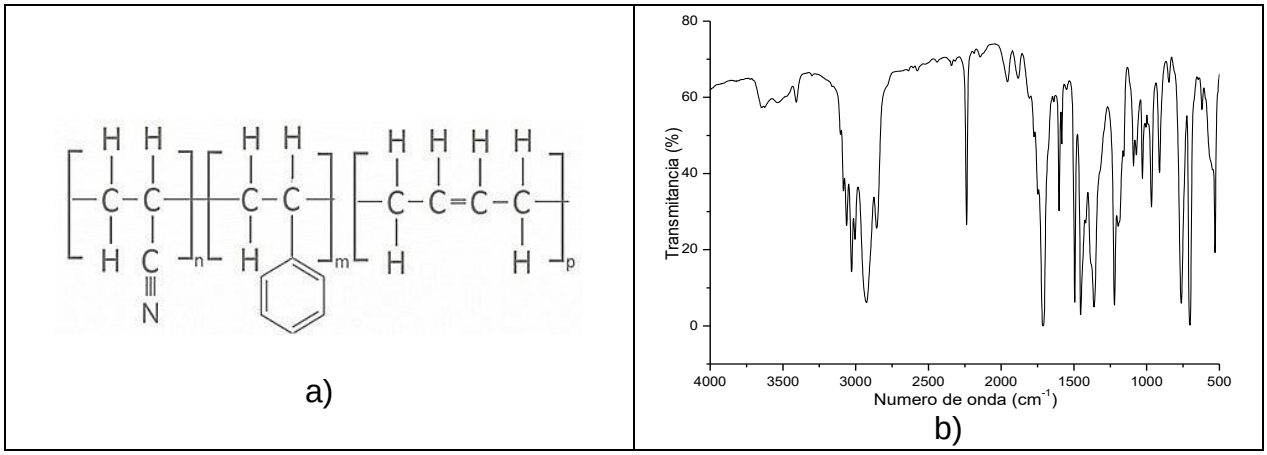


Figura 4.8. Formula del ABS (a); espectro de FTIR del ABS (b).

En la figura 4.8 se observa la caracterización por medio de FTIR del compuesto ABS utilizado y en ella, se pueden identificar los picos característicos de los compuestos que lo conforman, el acrilonitrilo a 2237 cm^{-1}, el estireno a 1602, 1497, 761 y 699 cm^{-1} y el butadieno a 967 cm^{-1} y los picos extras corresponden a adsorciones del acetona, solución en la cual esta diluido para facilitar la aplicación como recubrimiento.

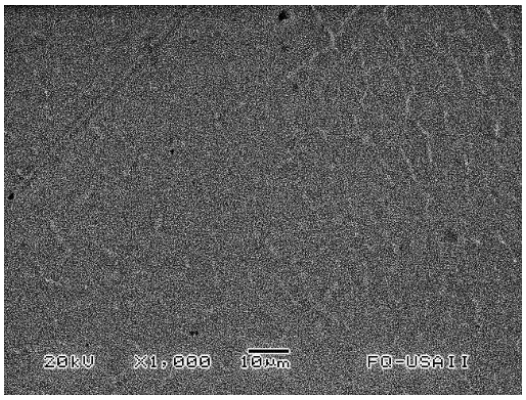


Figura 4.9. Caracterización SEM del recubrimiento ABS.

En la figura 4.9 se observa a superficie del acero con recubrimiento de ABS mediante SEM, y se pueden apreciar rugosidades en la capa polimerica, poco porosa, pero se muestra una capa uniforme.

Se elaboraron Curvas de polarización de un recubrimiento (, esto con la finalidad de confirmar que dicho recubrimiento protege efectivamente al acero de medios agresivos. Se probaron en las tres soluciones previamente enlistadas: Ca $(OH)_2$ pH 12, NaCl al 3%, y Ca $(OH)_2$ pH 12 con NaCl al 3%.

En la figura 4.10 se muestra la gráfica de Curva de Polarización comparando los resultados de una probeta blanco y una probeta con recubrimiento ABS en una solución de $Ca(OH)_2$ pH 12.

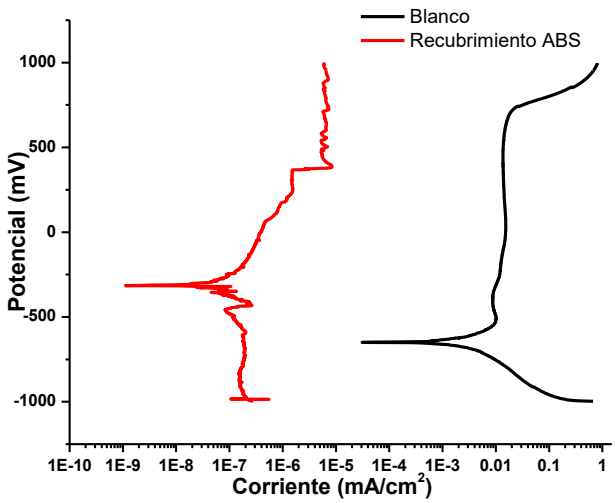


Figura 4.10. Curva de Polarización en solución de Ca $(OH)_2$ pH 12.

Se observa que la probeta en blanco, sin tratamiento ni recubrimiento (línea negra), obtiene valores de densidad de corriente de 1E-3 mA/cm^2, su potencial está en -650 mV, también se aprecia un comportamiento pasivante en la rama anódica, aunque, eso es de esperarse ya que el pH de la solución es un medio pasivante para este metal. Asimismo, se observa un estado transpasivado conforme aumenta el potencial, disminuyendo así la disolución del metal.

La probeta con recubrimiento de ABS (línea roja) tiene una densidad de corriente menor que la probeta blanco, por lo que la velocidad de corrosión disminuye considerablemente, al igual, el potencial se hace más positivo (-300 mV) ayudando a la protección del metal. Así mismo, también se observa que tiene una tendencia a pasivarse, y los picos que se notan son las rupturas del recubrimiento, pero el pH de la solución permite que se forme una capa de oxido protector en la superficie en el metal, manteniendo así la protección del material.

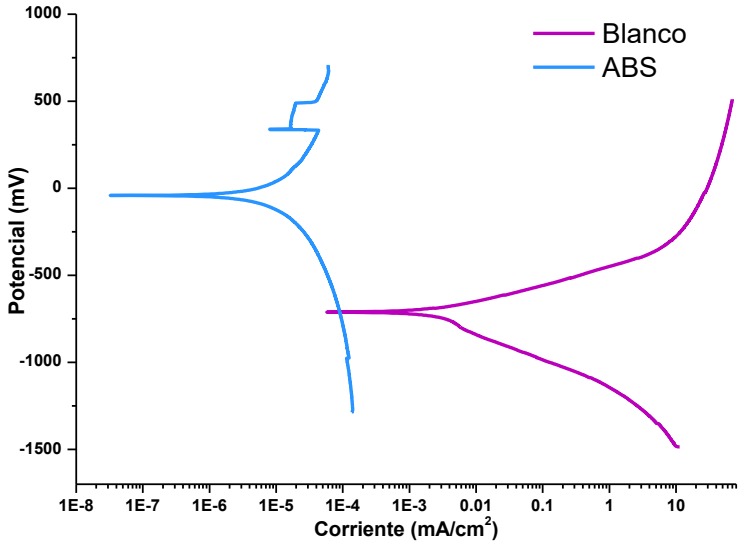


Figura 4.11 Curva de Polarización en solución de NaCl al 3%.

En la figura 4.11_se muestra una comparación de la probeta blanco y la probeta recubierta con ABS mediante una Curva de Polarización en una solución de NaCl al 3%. Se observa que la probeta blanco (línea morada) sin recubrimiento ni

tratamiento previo, alcanza una densidad de corriente de 3E-3 mA/cm^2 y un potencial aproximadamente de -750 mV, en comparación de la probeta con recubrimiento de ABS (línea azul) que muestra una disminución de la densidad de corriente de casi tres décadas, y su potencial se hace más positivo cerca de -50 mV, disminuyendo en gran medida la velocidad de corrosión del metal.

En la figura 4.12 se muestra la gráfica de curva de polarización comparando la probeta blanco con la probeta recubierta en una solución de Ca $(OH)_2$ pH 12 con NaCl 3%.

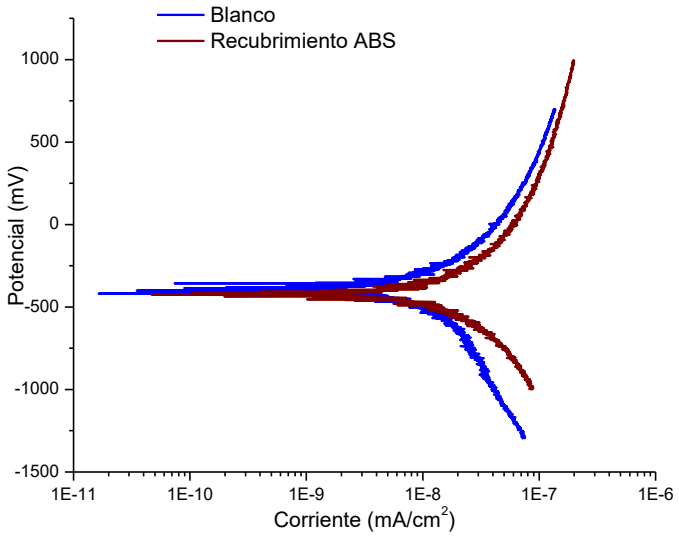


Figura 4.12. Curva de Polarización en solución de Ca $(OH)_2$ pH 12 + NaCl al 3%.

En la figura observa que la Curva de Polarización de la probeta con recubrimiento de ABS no muestra una mejora en comparación con la probeta en blanco, en ambos casos se presenta un potencial aproximado de -400 mV y una densidad de corriente de 4E-9 ohm*cm^2, por lo que se ve en esta solución

Caracterización de ABS con Inhibidor Lansoprazol

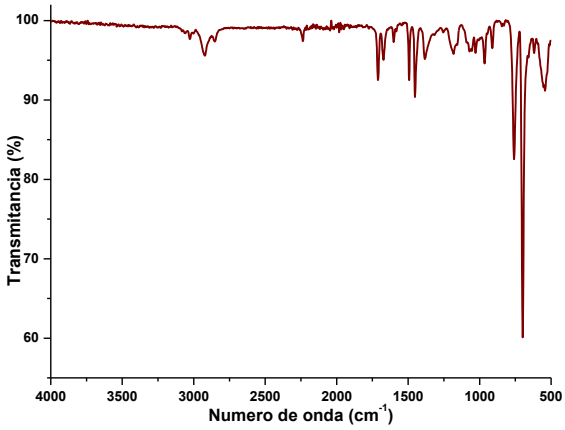
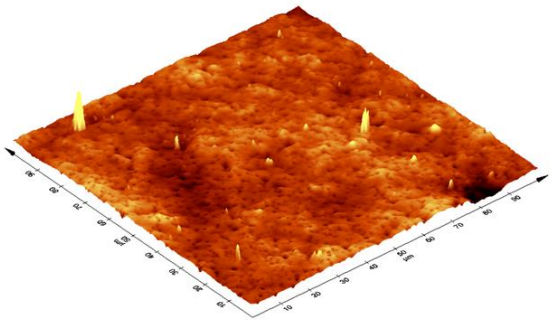


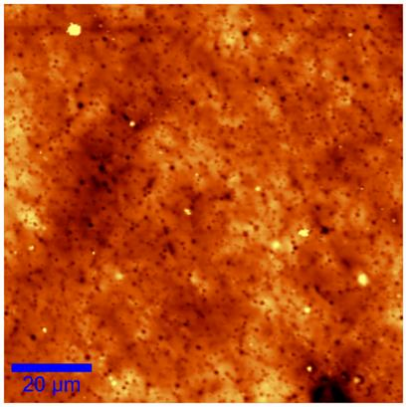
Figura 4.13. FTIR del compuesto ABS/Lansoprazol.

El espectro IR mostrado en la figura 4.13 es el compuesto utilizado en las pruebas electroquímicas, ya que, esta muestra contiene la concentración que obtuvo mejores resultados en la caracterización del inhibidor, 150 ppm de Lansoprazol. En este aparecen en 3020

El análisis mediante Microscopio de fuerza atómica (AFM por sus siglas en inglés) se puede apreciar una imagen de la superficie del recubrimiento (Figura 4.14), en la cual se observa que la superficie del recubrimiento es porosa, y que la distancia entre el pico más alto y el punto más oscuro de la muestra es de



a)



b)

Figura 4.14. Análisis mediante AFM del compuesto ABS/Lansoprazol; a) Modelo tridimensional a 100 micrómetros; b) Modelo 2D a 100 micrómetros

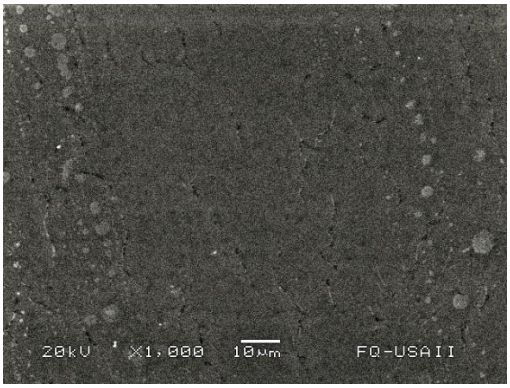


Figura 4.15. Análisis mediante SEM del recubrimiento ABS/Lansoprazol sobre acero 1018

Las pruebas mediante el SEM, nos muestra una superficie porosa, y con

Prueba de Adhesión

La adherencia o adhesión es la tendencia de las partículas a aferrarse a una superficie. La prueba de adherencia en recubrimientos es necesario para asegurar que el recubrimiento se adhiere adecuadamente a los substratos sobre los que se aplican, en este caso el Acero 1018. Esta prueba se elaboró basándose en la norma ASTM D3359 con una probeta de Acero 1018 con recubrimiento de ABS con 150 ppm de Lansoprazol.

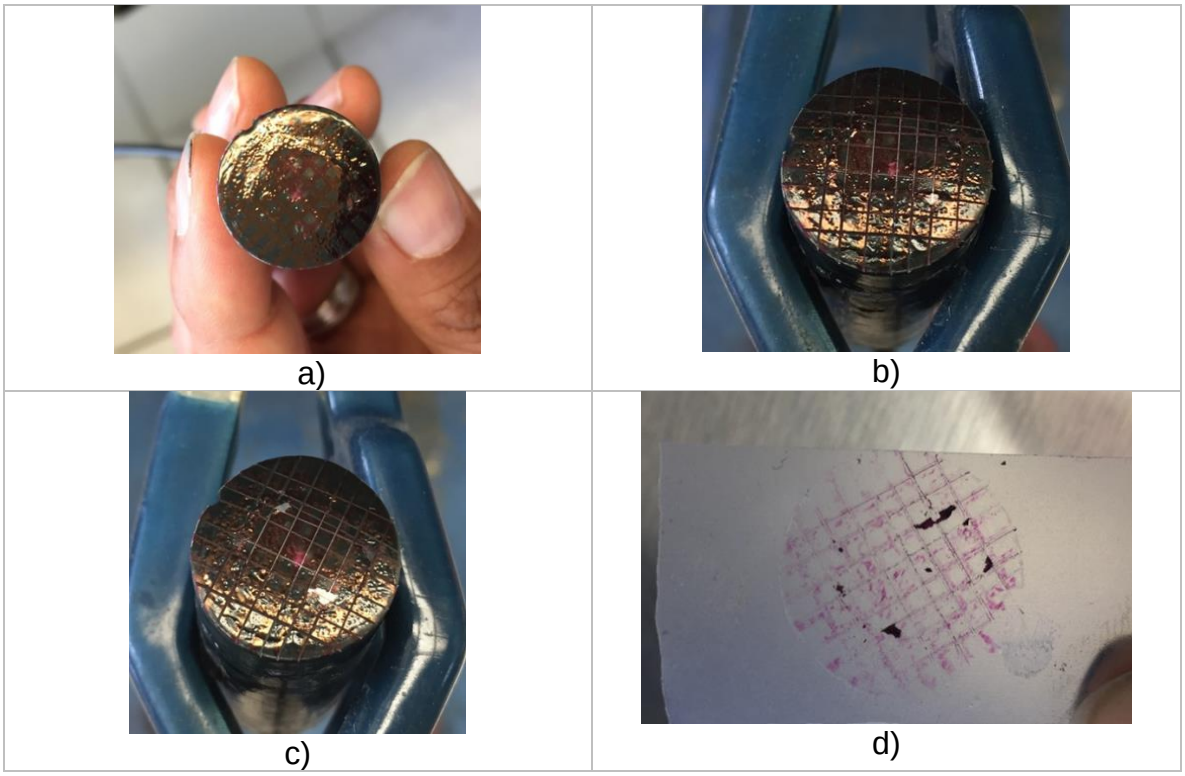


Figura 4.16. Prueba de adhesión en probeta de acero 1018 con recubrimiento de ABS+150ppm de Lansoprazol.

Basándose en la norma, se observa que cuando se realiza la prueba, entra en la clasificación de 3B, el cual indica que en la prueba se removieron entre el 5% y el 15% del recubrimiento, siendo pequeñas escamas a lo largo de los bordes y en las intersecciones de los cortes, por lo que es considerado un recubrimiento con muy buena adherencia.

Las pruebas electroquímicas del compuesto ABS/Lansoprazol se elaboraron en las tres soluciones previamente descritas, por un periodo de 2016 horas, y se evaluaron mediante Ruido Electroquímico, Resistencia a la Polarización e Impedancia.

Caracterización de ABS con Inhibidor Lansoprazol en solución de $Ca(OH)_2$ pH12

En la figura 4.17 se muestra los resultados de las pruebas realizadas en la solución de $Ca(OH)_2$.

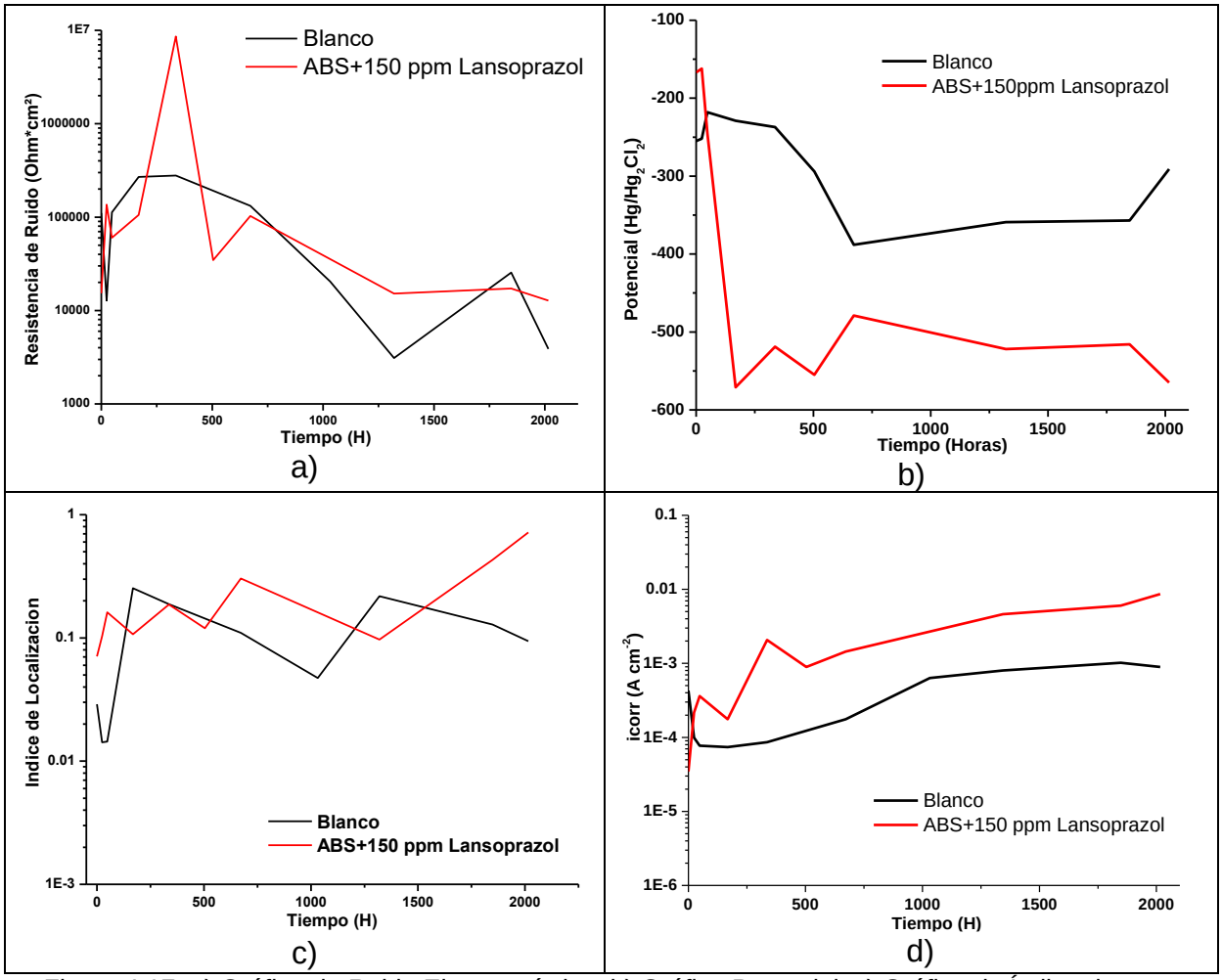


Figura 4.17. a) Gráfica de Ruido Electroquímico; b) Gráfica Potencial; c) Gráfica de Índice de Localización, d) Velocidad de corrosión en solución de $Ca(OH)_2$.

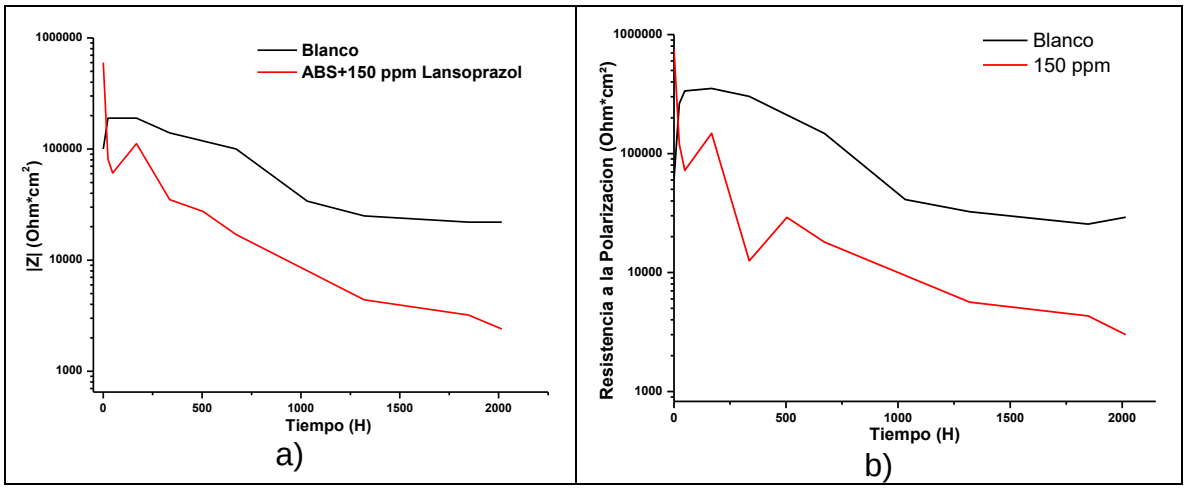


Figura 4.18. a) Gráfica de Impedancia Total; y b) Gráfica de Resistencia a la polarización en solución de $Ca(OH)_2$

Los resultados obtenidos mostrados en las gráficas anteriores (fig. 4.17 y 4.18) no muestran un comportamiento satisfactorio, ya que, por ser un medio alcalino, la probeta blanco se pasiva, y obtiene iguales o mejores resultados que la probeta con recubrimiento ABS con inhibidor. En la gráfica de Ruido electroquímico aparecen los picos característicos que revelan una ruptura en el recubrimiento, cerca de las 300 horas de la prueba existe un gran salto mejorando la resistencia, no se mantiene así y baja la resistencia, obteniendo casi los mismos números que la probeta blanco, esto se debe a que, como es un medio pasivante, el inhibidor no actúa y el gran salto de resistencia se debe a la solución en la que se encuentra.

En la gráfica de potenciales (fig 4.17b) se puede ver que el potencial de la probeta en blanco se mantiene en el rango de incertidumbre mientras que la probeta con recubrimiento se mantiene en la zona más activa durante toda la prueba, existiendo un alto riesgo de corrosión, por lo que se puede confirmar con los datos de a gráfica de índice de localización (fig. 4.17c) ya que revela que en ambas probetas existe la corrosión localizada. Al igual, los resultados de Impedancia Total y Resistencia a la Polarización (fig. 4.18) confirman que la probeta blanco obtiene mejores resistencias en este medio, de nuevo por que es un medio pasivante, y que tanto el recubrimiento como en inhibidor no alcanzan el nivel de protección que alcanza el metal en este medio.

Los datos obtenidos mediante la técnica de Impedancia se pueden interpretar con una variedad de modelos de circuitos eléctricos equivalentes, los cuales nos ayudan a deducir que procesos se está llevando a cabo en el recubrimiento.

La figura 4.19 se muestra el circuito eléctrico equivalente propuesto para los datos extraídos de las pruebas de Impedancia del sistema ABS+150 ppm Lansoprazol en las tres soluciones experimentadas.

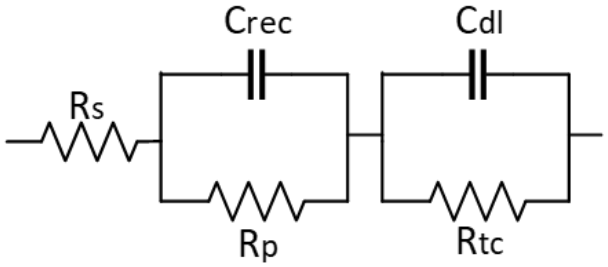


Figura 4.19. Circuito Equivalente usado para la simulación de Impedancia del sistema Recubrimiento con inhibidor.

Donde: R_s= Resistencia de la solución, C_{rec}= Capacitancia del Recubrimiento, R_p= Resistencia a la Polarización, C_{dl}= Capacitancia de la doble capa, R_{tc}= Resistencia a la transferencia de carga. Una vez obtenidos los datos, se sustituye R_{tc} en la ecuación (1) para obtener el porcentaje de eficiencia del sistema, por lo que se obtiene la siguiente tabla:

Tabla 4.4. Datos extraídos del ajuste de las pruebas con la probeta recubierta con ABS+150 ppm Lansoprazol en medio de $Ca(OH)_2$

Horas	R_s	C_{rec}	R_p	C_{dl}	R_{tc}	%E
0	47309	4.57E-08	264460	3.16E-06	171410	100
24	10481	1.86E-06	14746	3.43E-05	133700	0.219998833
504	4733	6.32E-08	12993	6.79E-05	16051	0.879947644
1320	1641	0.00013561	619	0.00054892	4337	0.729798766
2016	946	3.04E-05	205.6	0.0011908	1804	0.58404427

El porcentaje de eficiencia nos confirma que el sistema ABS+150 ppm Lansoprazol en medio de $Ca(OH)_2$ no muestra una buena eficiencia.

Caracterización de ABS con Inhibidor Lansoprazol en solución de NaCl al 3%

En la figura 4.20se muestra los resultados de las pruebas realizadas en la solución de NaCl al 3%.

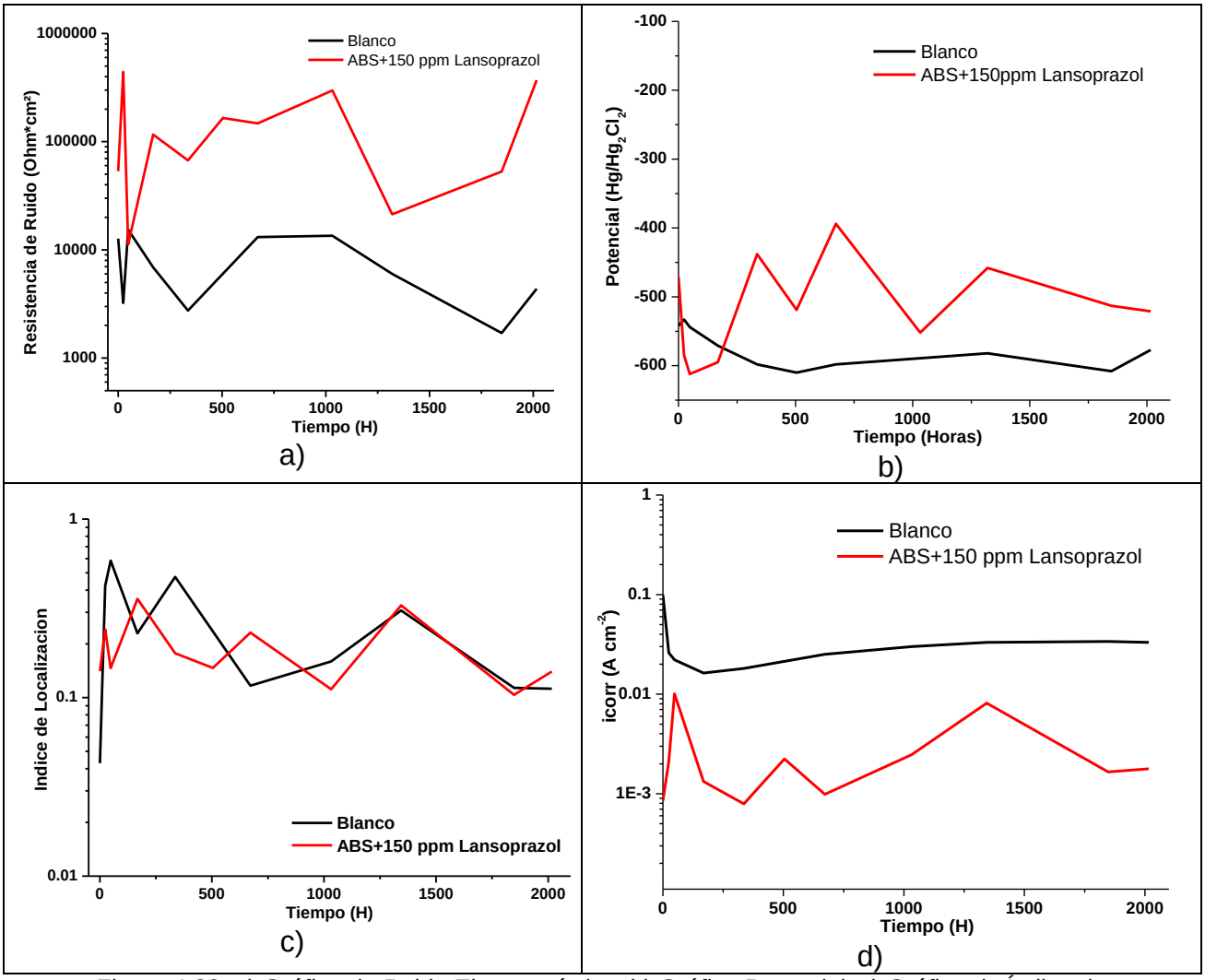


Figura 4.20. a) Gráfica de Ruido Electroquímico; b) Gráfica Potencial; c) Gráfica de Índice de Localización: d) Velocidad de corrosión del sistema ABS+150ppm Lansoprazol en solución de NaCl al 3%.

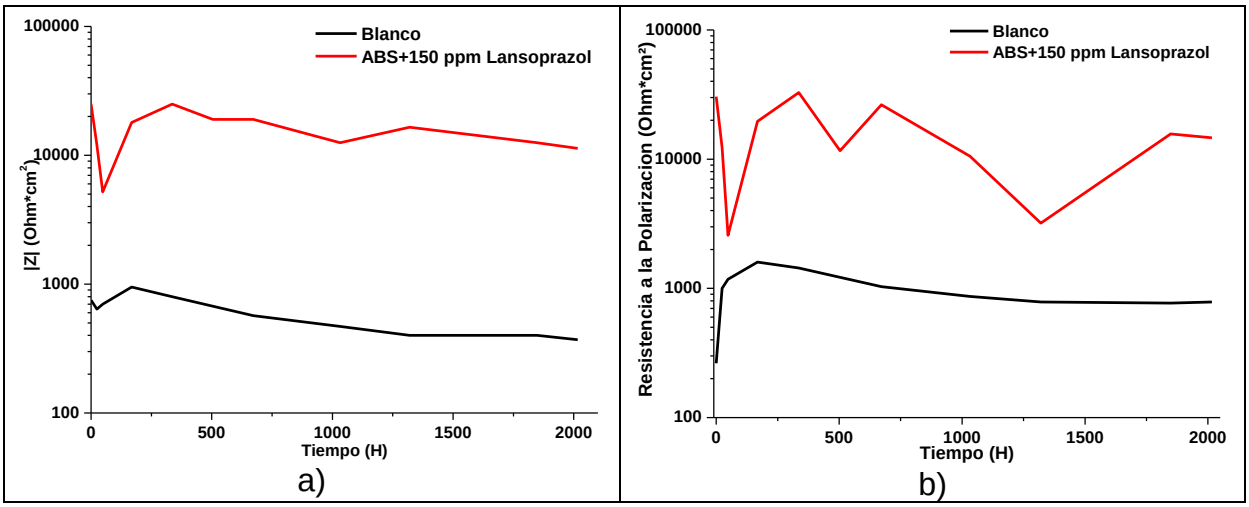


Figura 4.21. a) Gráfica Impedancia Total; b) Gráfica de Resistencia a la Polarización en solución de NaCl al 3%.

La prueba de Ruido electroquímico nos muestra que el sistema recubrimiento ABS + 150ppm Lansoprazol obtiene mejores resultados que la probeta blanco en esta solución, en la gráfica aparecen picos característicos con una ruptura del recubrimiento, pero en este caso se observa que la resistencia aumenta a pesar del defecto, significando que en cuanto ocurre la rotura, el inhibidor se activa protegiendo el espacio expuesto, ayudando al metal a formar una capa protectora, permitiendo conservar su resistencia, y manteniendo un rango de 100,000 ohm*cm^2 durante toda la prueba. La gráfica de potencial indica que ambas muestras se encuentran en la zona más activa significando un 90% de probabilidad de corrosión y se mantienen así el tiempo del análisis, mientras que la gráfica de índice de Localización nos indica que, en ambas muestras, existe una corrosión localizada.

El comportamiento de las probetas es consistente con las gráficas de Impedancia y Resistencia a la Polarización, siendo la probeta con recubrimiento la que mejores resistencias obtiene. En la prueba de Resistencia a la polarización, se observa una variación de la resistencia a las 1300 horas, pero como anteriormente se comentó, el inhibidor empieza a actuar y ayuda a proteger al metal del medio en el que se encuentra, siendo en este caso un medio con cloruros.

Caracterización de ABS con Inhibidor Lansoprazol en solución de $Ca(OH)_2$ pH12 + NaCl al 3%

En la figura 4.22 y 4.23 se muestran los resultados de las pruebas realizadas en la solución de $Ca(OH)_2$ pH12 + NaCl al 3%.

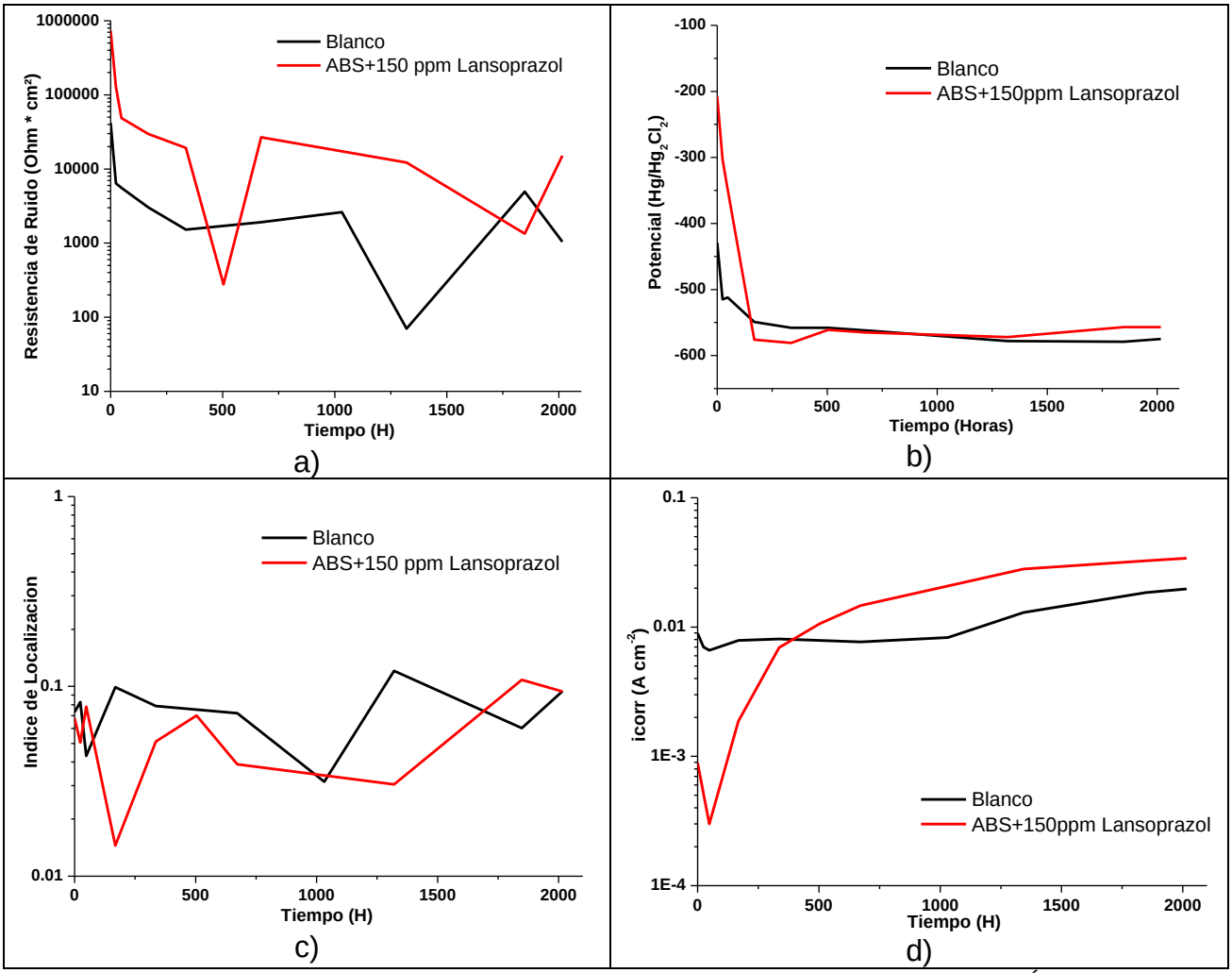


Figura 4.22. a) Gráfica de Ruido Electroquímico; b) Gráfica Potencial; c) Gráfica de Índice de Localización: d) Velocidad de Corrosión del sistema ABS+150ppm Lansoprazol en solución de $Ca(OH)_2$ pH 12 + NaCl al 3%.

.

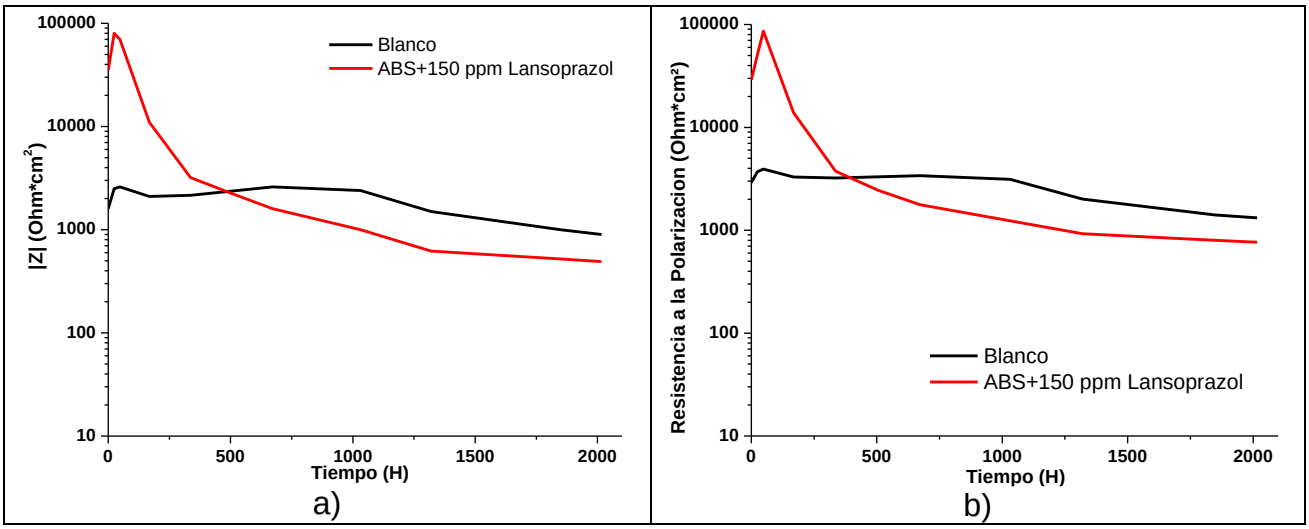


Figura 4.23. a) Gráfica Impedancia Total; b) Gráfica de Resistencia a la Polarización en solución de Ca $(OH)_2$ pH 12 NaCl al 3%.

La prueba de Ruido Electroquímico indica que, en el momento en que existe un ruptura en la muestra recubierta, el inhibidor actúa sobre el metal formando una capa protectora, (fig 4.22a) como se observó en las muestras probadas en solución de NaCl, y posteriormente regresa a valores previos, esto se distingue en la hora 500 y 1800, aunque, la probeta en blanco tiene un comportamiento similar, esto se debe al medio pasivante en el que se encuentra, aunque su resistencia baja considerablemente debido a los cloruros añadidos a la solución, manteniendo un rango de resistencia de ±1,000 ohm*cm^2 durante el tiempo que continuó la prueba, mientras que la probeta recubierta se mantuvo entre los 10,000 ohm*cm^2.

El potencial se ambas probetas desde casi el inicio de la prueba se mantuvieron entre los -700 mV por lo que el riesgo de corrosión es muy alto, aunque, el índice de localización nos marca que la corrosión existente es corrosión mixta en ambas probetas.

Las pruebas de Impedancia y Resistencia a la Polarización revelan que, aunque la probeta con recubrimiento inicia con una alta resistencia, cerca de 100,000 ohm*cm^2, poco antes de las 500 horas su valor desciende considerablemente y obtiene valores más bajos que la probeta blanca, y al final de la prueba la probeta blanco obtiene mejores resultados.

CAPÍTULO 5:

CONCLUSIONES

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES

- Las pruebas preliminares del Lansoprazol como inhibidor revelan que no obtienen buenos resultados ni buena eficiencia en medios alcalinos ni en medios alcalinos con cloruros.

- Las Pruebas del ABS sobre el acero como recubrimiento revelan que mejora considerablemente la resistencia del metal a ser corroído, y su densidad de corriente junto con el potencial es mucho menor que el acero sin ninguna protección.

- Las pruebas del sistema ABS+150ppm Lansoprazol obtiene excelentes resultados en el medio NaCl 3%, buena resistencia y buena durabilidad, se aprecia en las gráficas de Ruido Electroquímico el momento en que el inhibidor actúa cuando existe un rompimiento del recubrimiento.

- En medios alcalinos y alcalinos con cloruros, este recubrimiento no tiene eficiencia, ya que el medio alcalino influye en la superficie del metal y no permite que el inhibidor actúe y proteja al metal.

- Las pruebas de las varillas embebidas en concreto confirman los resultados preliminares, el recubrimiento ABS+150 ppm Lansoprazol no funciona para el concreto.

BIBLIOGRAFÍA

- Agrawal, N., Campbell, D., Safdi, M., Lukasik, N., Huang, B., Haber, M., 2000. Superiority of lansoprazole vs. ranitidine in healing non steroidal anti-inflammatory drug-associated gastric ulcers: results of a double-blind, randomized, multicenter study. NSAID-Associated Gastric Ulcer Study Group. Archives of Internal Medicine, 160(10), 1455–1461.

- B. D. Mert, M.E. Mert, G. Kardas, B.Yazıcı. Experimental and theoretical investigation of 3-amino-1,2,4-triazole-5-thiol as a corrosion inhibitor for carbon steel in HCl medium. Corrosion Science 53 (2011) 4265–4272.

- C. Monticelli, A. Frignani, G. Trabanelli. Corrosion inhibition of steel in chloride-containing alkaline solutions. Journal of Applied Electrochemistry 32: 527–535, 2002.

- Corrosion cost and preventative strategies in the United States, September 2001, Report FHWA-RD-01-156

- D.M. Bastidas, M. Criado, V.M. La Iglesia, S. Fajardo, A. La Iglesia, J.M. Bastidas. Comparative study of three sodium phosphates as corrosion inhibitors for steel reinforcements. Cement & Concrete Composites 43 (2013) 31–38.

- D. Thirumoolan, T. Siva, K. Vetrivel, S. Sathiyanarayanan, K. Anver Bashaa. Corrosion resistant performance of hydrophobic poly(N-vinylimidazole-co-ethyl methacrylate) coating on mild steel. Progress in Organic Coatings 89 (2015) 181–191.

- Desechos plásticos https://www.bbc.com/mundo/noticias-42304901.

- E.Ituen, O.Akaranta and A. James. Evaluation of Performance of Corrosion Inhibitors Using Adsorption Isotherm Models: An Overview. Chemical Science International Journal. 18(1): 1-34, 2017; Article no.CSIJ.28976

- Gökhan Gece. Drugs: A review of promising novel corrosion inhibitors. Corrosion Science 53 (2011) 3873–3898.

- J.A. González Guzmán. Protección frente a la corrosión metálica con recubrimientos poliméricos: estudio electroquímico y microelectroquímico. Curso 2009/10 , Ciencias y tecnologías/47 I.S.B.N.: 978-84-15287-03-2

- I.A. Adejoroa, F.K. Ojo, S.K. Obafemi. Corrosion inhibition potentials of ampicillin for mild steel inhydrochloric acid solution. Journal of Taibah University for Science 9 (2015) 196–202.

- James M. Gaidis. Chemistry of corrosion inhibitors. Cement & Concrete Composites 26 (2004) 181–189.

- Javaherdashti R. (2008). Microbiologically Influenced Corrosion - An Engineering Insight. Springer London. DOI:10.1007/978-1-84800-074-2.

- Jewel R. Lansoprazole. Elsevier 2007. University of Southampton School of Medicine, Southampton, UK.

- J.N Murray and H.P. Hack. Long-term testing of epoxy-coated steel in ASTM seawater using electrochemical impedance spectroscopy. National association of corrosion engineers. 1991.

- J.R. Laguna-Camacho, C.A.Márquez-Vera, A.A.Patiño-Valdez, G.Juarez-Morales. I. Hernández-Romero, R.E.Contreras-Bermúdez, M.Ortega-Avilés, M.A.Pantoja-Castro. A study of the erosive wear damage on a recycled polymer coating. Wear332-333(2015)836–843.

- Harvey J. Flitt, D. Paul Schweinsberg. Evaluation of corrosion rate from polarisation curves not exhibiting a Tafel region. Corrosion Science 47 (2005) 3034–3052.

- http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn20.html

- https://www.resinex.es/

- M.V. Diamanti, A. Brenna, F. Bolzoni, M. Berra, T. Pastore, M. Ormellese. Effect of polymer modified cementitious coatings on water and chloride permeability in concrete. Construction and Building Materials 49 (2013) 720–728.

- M. El Azhar, B. Mernari, M. Traisnel, F.Bentiss, M.Lagrenée. Corrosion Inhibition of mild steel by the new class of inhibitors [2,5-bis(n-pyridyl)-1,3,4-thiadiazoles] in acid media. Corrosion Science 43 (2001) 2229-2238.

- M. Ormellese, L. Lazzari, S. Goidanich, G. Fumagalli, A. Brenna. A study of organic substances as inhibitors for chloride-induced corrosion in concrete. Corrosion Science 51 (2009) 2959–2968.

- N.Vaszilcsina, V.Ordodib, A.Borzaa. Corrosion inhibitors from expired drugs. International Journal of Pharmaceutics 431 (2012) 241– 244.

- Oguzie EE, Li Y, Wang SG, Wang F. Understanding corrosion inhibition mechanisms, Experimental and theoretical approach. RSC Advances. 2011;1(5):866.

- Revie R. W. (2011). Uhlig's Corrosion Handbook. Wiley & Sons, Inc: USA.

- R. Selvaraj, M. Selvaraj, S.V.K. Iyer. Studies on the evaluation of the performance of organic coatings used for the prevention of corrosion of steel rebars in concrete structures. Progress in Organic Coatings 64 (2009) 454–459

- Robinson M, Horn J. Clinical Pharmacology of Protom Pump Inhibitors. What the Practising Physician needs to know. Drugs. 2003; 63:2739-54.

- S. Tamil Selvi, V. Raman, N. Rajendran. Corrosion inhibition of mild steel by benzotriazole derivatives in acidic medium. Journal of Applied Electrochemistry 33: 1175–1182, 2003.

- Sina S. Jamali, Douglas J. Mills. A critical review of electrochemical noise measurement as a tool for evaluation of organic coatings.

- X. Liu, J. Xiong, Y. Lv, Y. Zuo. Study on corrosion electrochemical behavior of several different coating systems by EIS. Progress in Organic Coatings 64 (2009) 497–503

Cuernavaca, Morelos, a 10 de diciembre de 2019.

DR. ROSENBERG JAVIER ROMERO DOMÍNGUEZ
COORDINADOR DEL POSGRADO EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
P R E S E N T E

Atendiendo a la solicitud para emitir DICTAMEN sobre la revisión de la TESIS titulada **"RECICLAMIENTO DE ABS DOPADO CON MEDICAMENTO CADUCO COMO PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN METÁLICA"** que presenta la alumna **SANDRA VIVEROS AGUIRRE,** para obtener el título de **DOCTORADO EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS.**

Nos permitimos informarle que nuestro voto es:

NOMBRE	DICTAMEN	FIRMA
DR. JOSÉ GONZALO GONZÁLEZ RODRÍGUEZ	Aprobatorio	
DR. ARTURO MOLINA OCAMPO	Aprobatorio	
DR. MIGUEL ÁNGEL HERNÁNDEZ GALLEGOS	Aprobada	
DRA. ESTELA SARMIENTO BUSTOS	Aprobado	
DRA. MIRIAM FLORES DOMÍNGUEZ (UVM)	Aprobada	
DR. JORGE URUCHURTU CHAVARÍN	Aprobado	
DRA. ELSA CARMINA MENCHACA CAMPOS	Aprobado	

PLAZO PARA LA REVISIÓN 20 DÍAS HÁBILES (A PARTIR DE LA FECHA DE RECEPCIÓN DEL DOCUMENTO)

NOTA. POR CUESTION DE REGLAMENTACIÓN LE SOLICITAMOS NO EXCEDER EL PLAZO SEÑALADO, DE LO CONTRARIO LE AGRADECEMOS SU ATENCIÓN Y NUESTRA INVITACIÓN SERÁ CANCELADA.