



# UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

COMPARACIÓN DE LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DE ACERO AL  
CARBONO EN LA LIXIVIACIÓN AURÍFERA CON GOLD MAX Y  
CIANURO

CAICEDO ENCARNACION ERIKA VANESSA  
INGENIERA QUÍMICA

PEÑA JARAMILLO EVELYN PAOLA  
INGENIERA QUÍMICA

MACHALA  
2020



# UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

COMPARACIÓN DE LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DE  
ACERO AL CARBONO EN LA LIXIVIACIÓN AURÍFERA CON  
GOLD MAX Y CIANURO

CAICEDO ENCARNACION ERIKA VANESSA  
INGENIERA QUÍMICA

PEÑA JARAMILLO EVELYN PAOLA  
INGENIERA QUÍMICA

MACHALA  
2020



# UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

TRABAJO TITULACIÓN  
TRABAJO EXPERIMENTAL

COMPARACIÓN DE LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DE ACERO AL CARBONO  
EN LA LIXIVIACIÓN AURÍFERA CON GOLD MAX Y CIANURO

CAICEDO ENCARNACION ERIKA VANESSA  
INGENIERA QUÍMICA

PEÑA JARAMILLO EVELYN PAOLA  
INGENIERA QUÍMICA

PESANTEZ FREDIS FRANCO

MACHALA, 08 DE MAYO DE 2020

MACHALA  
2020

# tesis velocidad de corrosión

---

## INFORME DE ORIGINALIDAD

---

3%

INDICE DE SIMILITUD

2%

FUENTES DE  
INTERNET

0%

PUBLICACIONES

2%

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

---

## FUENTES PRIMARIAS

---

1

Submitted to Universidad San Francisco de  
Quito

Trabajo del estudiante

1%

2

Submitted to Escuela Politecnica Nacional

Trabajo del estudiante

<1%

3

[www.lxiviantegoldmax.com](http://www.lxiviantegoldmax.com)

Fuente de Internet

<1%

4

[lacuriosidax.es](http://lacuriosidax.es)

Fuente de Internet

<1%

5

Submitted to Universidad Técnica de Machala

Trabajo del estudiante

<1%

6

[dspace.udla.edu.ec](http://dspace.udla.edu.ec)

Fuente de Internet

<1%

7

[www.bibliodgsca.unam.mx](http://www.bibliodgsca.unam.mx)

Fuente de Internet

<1%

8

[prezi.com](http://prezi.com)

Fuente de Internet

<1%

---

## CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

Las que suscriben, CAICEDO ENCARNACION ERIKA VANESSA y PEÑA JARAMILLO EVELYN PAOLA, en calidad de autoras del siguiente trabajo escrito titulado COMPARACIÓN DE LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DE ACERO AL CARBONO EN LA LIXIVIACIÓN AURÍFERA CON GOLD MAX Y CIANURO, otorgan a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tienen potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

Las autoras declaran que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

Las autoras como garantes de la autoría de la obra y en relación a la misma, declaran que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asumen la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Machala, 08 de mayo de 2020

CAICEDO ENCARNACION ERIKA VANESSA  
0706243409

PEÑA JARAMILLO EVELYN PAOLA  
0705859692

## **DEDICATORIA**

En primer lugar, a Dios por permitirme haber vivido el día a día tan agotado pero indispensables, alumbrar el sendero de mi vida de manera correcta y haberme dado la dicha de llegar cada día más lejos.

A mis padres y mi hermana por ser el pilar más importante en mi vida, apoyarme en todo momento durante este proceso tan satisfactorio y complicado, por compartir conmigo los momentos más tristes y felices que he vivido durante el proceso estudiantil y comprenderme incondicionalmente a pesar de todos los obstáculos que he sobrellevado.

A mi querido Alex por ser una excelente persona y llegar a mi vida para compartir juntos este gran triunfo; ser mi fuente de ayuda, haber estado conmigo en los momentos más indispensables, hacerme superar y darme las fuerzas necesarias para continuar mi rumbo al éxito.

**Erika Vanessa Caicedo Encarnación**

Dedico este trabajo de tesis a mi Dios por ser testigo de mis logros ayudándome a seguir mi camino con seguridad y confianza.

A mis padres Efrén Peña y Nelly Jaramillo, por batallar cada sueño junto conmigo brindándome su paciencia y comprensión de todo el esfuerzo que he realizado durante el aprendizaje universitario.

A mis hermanos quienes me han ofrecido su apoyo y creyeron en mí que lograría culminar mi carrera universitaria.

**Evelyn Paola Peña Jaramillo**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco profundamente a Dios por llenarme de dicha y alegría todos los días de mi vida y permitirme amanecer de manera cotidiana el día a día.

A mis padres Rosa Encarnación y William Caicedo por ser el pilar que me sobreprotege diariamente, esforzándose constantemente con la finalidad de llevarme al camino del éxito.

A mi hermana por formar parte de mi vida, llenarme de orgullo continuamente y espero poder ser un ejemplo a seguir para ella.

A mi abuelita por sus consejos constantes, a mis tíos por ser mi motivación a seguir para alcanzar mis metas y objetivos.

A mi novio por su comprensión, cooperación en cada momento y por ese amor incondicional que he brindado en toda la etapa.

Quiero brindar mis agradecimientos más sinceros a la UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA por ser una gran institución, abrirnos las puertas y llevarnos al sendero del éxito y un agradecimiento inmenso a nuestra querida Facultad de Ciencias Químicas y de la Salud por depositar en grandes conocimientos que cada día he adquirido hasta formarme profesionalmente.

AL Dr. Hugo Romero Bonilla por sus respectivas guías, consejos, enseñanzas que nos brindó en todo el proceso investigativo, por la sincera comprensión que nos aportó en todo este proceso.

Al Dr. Fernando Ortega por ayudarnos en este proceso tan largo de lucha e perseverancia y apoyarnos constantemente hasta alcanzar los resultados que me he propuesto.

**Erika Vanessa Caicedo Encarnación**

Mi sincero agradecimiento a Dios por darme la vida cada día guiándome en un camino lleno de bendiciones y de permitirme de ver cumplido mi sueño.

Gracias a mis padres por su mutuo apoyo incondicional ayudándome emocionalmente como económicamente y estar dispuestos siempre acompañándome en situaciones buenas y malas que se han atravesado durante mi vida.

Agradezco a mis hermanos por darme ánimos que me han brindado durante mi trayectoria universitaria.

A mi familia por su apoyo infinita en todo momento en especial a mi abuelita que siempre creyó en mí y puso toda su confianza en mí diciéndome que todo lo que yo me proponga puedo lograrlo.

A mi asesor, Dr. Hugo Romero por permitirme desarrollar esta investigación y a la vez aprender de usted compartiendo sus conocimientos, ideas y consejos durante este aprendizaje.

Al Dr. Eco. Ind. Fredis Franco Pesantez por su cooperación y apoyo para el avance de esta investigación.

**Evelyn Paola Peña Jaramillo**



## RESUMEN

Con respecto al proceso de análisis de la presente investigación se evaluó los diferentes comportamientos que ocurre en la corrosión con el acero al carbono sumergidas en soluciones Cianuradas y de Gold Max con distintas concentraciones como es el cianuro de 620 y 800 ppm y Gold Max de 500 y 1000 ppm en un periodo de tiempo de 60 días. Lo que nos conllevó a realizar varios análisis que nos permitieron interpretar con mayor claridad los resultados, mediante el cual debe ser comparado con otros autores y así analizar los resultados que sea beneficioso para la empresa. Con respecto al análisis de la determinación de velocidad de corrosión en las probetas se empleó técnicas electroquímicas el cual se utilizó el Potenciostato Parstat MC en el que se aplicó el Potencial circuito abierto, Curvas de polarización de tafel y por Gravimetría (pérdida de peso) los cuales ayudaron a identificar que medio es más corrosivo y cuál es la velocidad de corrosión presente en un determinado tiempo.

Cada una de las muestras fueron analizadas detenidamente contando con la interpretación de las réplicas se obtuvo concordancia en los resultados, todos los análisis durante los 60 días a los que estos estuvieron sometidos a un medio agresivo se pudo determinar que en el circuito abierto las muestras con respecto a la concentración de 1000 ppm y 500 ppm en Gold Max mostraron que sus valores tienden a ser más negativos van desde  $-0,2897 V$  hasta  $-0,3071 V$ , por lo que en el cianuro son más positivos y van desde  $-0,1224 V$  hasta  $-0,1648 V$  respectivamente.

En las curvas de Tafel o polarización se utilizó el Potenciostato Parstat MC se determinó que el cianuro dio densidades de corrosión menores que los del Gold Max; por lo que con las velocidades de corrosión en soluciones cianuradas van desde 53,27 mpulg/año hasta 58,70 mpulg/año y que los valores del gold max van desde 59,53 mpulg/año hasta 80,94 mpulg/año en los que mediante la interpretación podemos definir que el Gold Max con la concentración de 1000 ppm es más corrosivo. En el análisis gravimétrico se obtuvo una pérdida de peso 0,006 g y 0,0105 g con las dos concentraciones de cianuro, dando como resultado en la velocidad de corrosión de 1,825 mpulg/año y 3,195 mpulg/año, en cambio en las concentraciones de gold max se pudo obtener una pérdida de peso 0,0225 g y 0,0355

g, dando como resultado en la velocidad de corrosión de 6,847 mpulg/año y 10,8034 mpulg/año.

Interviniendo significativamente de que en cada uno de los análisis se pudo observar que el Gold Max es un lixiviante altamente corrosivo para los equipos de acero al carbono en el proceso de lixiviación de las industrias mineras por lo que no es conveniente la utilización de este lixiviante debido a la corrosividad que presenta por lo que podría alterar el desgaste de los equipos lixivadores y así disminuir el tiempo de vida útil de los mismo, limitando la economía de la empresas en el proceso de lixiviación de el oro. Por lo que podríamos aclarar que el cianuro es una de las alterntivas más rentables con respecto a la corrosión de los materiales en la industria minera.

**Palabras claves:** densidad de corrosión, circuito abierto, curvas de polarización, Gold Max.

## ABSTRACT

With respect to the analysis process of the present investigation, the different behaviors that occur in corrosion with carbon steel submerged in Cyanurated and Gold Max solutions with different concentrations such as the Cyanide of 620 and 800 ppm and Gold Max of 500 were evaluated and 1000 ppm over a period of 60 days. What led us to perform several analyzes that allowed us to interpret the results more clearly, through which it must be compared with other authors and thus analyze the results that are most beneficial for companies to determine the corrosion rate in the specimens was used electrochemical techniques which used the Parstat MC Potentiostat in which the Open Circuit Potential, Tafel Polarization Curves and Gravimetry (weight loss) were applied, which helped identify which medium is more corrosive and what the corrosion rate is present in a certain time.

Each of the samples were analyzed carefully counting on the interpretation of the replicas favored us more for the concordance of the results. All the analyzes during the 60 days to which they were subjected could be determined that in the open circuit the samples with respect to the concentration of 1000 ppm and 500 ppm in Gold Max showed that their values tend to be more negative ranging from -0,2897 to -0,3071, so that in cyanide they are more positive and range from -0,1224 to -0,1648 V respectively.

In the Tafel or polarization curves the Potentiostat Parstat MC was used, it was determined that the cyanide gave lower corrosion densities than those of the Gold Max; therefore, with corrosion rates in cyanide solutions ranging from 53,27 mpulg / year to 58,70 mpulg / year and the Gold max values range from 59,53 mpulg / year to 80,94 mpulg / year in that through interpretation we can define that the Gold Max with the concentration of 1000 ppm is more corrosive. In the gravimetric analysis, a weight loss of 0,006 g and 0,0105 g was obtained with the two cyanide concentrations, resulting in the corrosion rate of 1,825 mpulg / year and 3,195 mpulg / year, instead in gold max concentrations a weight loss of 0,0225 g and 0,0355 g could be obtained, resulting in the corrosion rate of 6,847 mpulg / year and 10,8034 mpulg / year.

Significantly intervening that in each of the analyzes it was observed that Gold Max is a highly corrosive leach for carbon steel equipment in the leaching process of the mining industries so it is not convenient to use this leach because to the corrosivity that it presents, so it could alter the wear of the leaching equipment and thus reduce the useful life of the same, limiting the economy of the companies in the process of leaching gold. So we could

clarify that cyanide is one of the most profitable alternatives to the corrosion of materials in the mining industry.

**Keywords:** corrosion density, open circuit, polarization curves, Gold Max.

# ÍNDICE

	Pág.
DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTO.....	III
RESUMEN .....	IV
ABSTRACT .....	VI
ÌNDICE .....	VIII
TABLA DE ILUSTRACIONES .....	XI
ÍNDICE DE TABLAS .....	XII
ÍNDICE DE ANEXOS .....	XIII
INTRODUCCIÓN .....	1
PROBLEMA .....	2
JUSTIFICACIÓN .....	3
OBJETIVOS .....	4
Objetivo general .....	4
Objetivos específicos .....	4
HIPÓTESIS .....	4
Hipótesis nula .....	4
Hipótesis alternativa .....	4
CAPÍTULO I: MARCO REFERENCIAL .....	5
1.1. Minería en el Ecuador .....	5
1.2. Procesos de lixiviación .....	5
1.2.1. <i>Lixiviación con cianuro.</i> .....	6
1.2.2. <i>Lixiviación con Gold Max.</i> .....	7
1.3. Acero .....	7
1.3.1. <i>Clasificación de los aceros</i> .....	8

1.3.1.1. <i>Acero al carbono</i> .....	8
1.3.1.2. <i>Aceros aleados.</i> .....	8
1.3.1.3 <i>Aceros de baja aleación ultrarresistentes.</i> .....	9
1.3.1.4. <i>Aceros inoxidable.</i> .....	9
1.4. Corrosión .....	9
1.4.1. <i>Tipos de corrosión.</i> .....	10
1.4.1.1. <i>Corrosión generalizada</i> .....	10
1.4.1.2. <i>Corrosión localizada.</i> .....	10
1.4.1.3. <i>Corrosión por picadura</i> .....	10
1.4.1.4. <i>Corrosión química.</i> .....	10
1.4.1.5. <i>Corrosión por electroquímica</i> .....	10
1.4.2. <i>Cinética de corrosión</i> .....	10
1.4.3. <i>Técnicas de evaluación de corrosión.</i> .....	11
1.4.3.1. <i>Potencial circuito abierto</i> .....	11
1.4.3.2. <i>Voltametría cíclica.</i> .....	12
1.4.3.3. <i>Curvas de polarización</i> .....	12
1.4.3.4. <i>Polarización potenciodinámica Tafel.</i> .....	13
1.4.3.5. <i>Espectroscopia de impedancia electroquímica.</i> .....	14
1.4.3.6 <i>Método gravimétrico (pérdida de peso).</i> .....	14
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA .....	16
2.1. Materiales y métodos .....	16
2.1.1 <i>Materiales.</i> .....	16
2.1.2. <i>Reactivos.</i> .....	16
2.1.3. <i>Equipos</i> .....	16
2.1.4. <i>Otros materiales</i> .....	17
2.2. Localización de investigación .....	17
2.3. Análisis de las muestras en los diferentes medios .....	17

2.3.1. <i>Preparación de muestras (probetas).</i> .....	17
2.3.2. <i>Medición de conductividad del alambre de cobre.</i> .....	18
2.3.3. <i>Esterilización de la muestra (probetas).</i> .....	18
2.4. Preparación de soluciones .....	18
2.4.1. <i>Gold Max.</i> .....	18
2.4.2 <i>Cianuro</i> .....	18
2.5. Montaje de las probetas en las soluciones. ....	18
2.6. Diseño experimental .....	19
2.6.1. <i>Métodos.</i> .....	19
2.6.2. <i>Desarrollo experimental.</i> .....	19
CAPÍTULO III: RESULTADOS .....	20
3.1 Curvas de potencial circuito abierto .....	20
3.2. Curvas potenciodinámicas Tafel. ....	22
3.2.1. <i>Curvas de polarización del cianuro 620 ppm</i> .....	22
3.2.2. <i>Curvas de polarización del cianuro 800 ppm.</i> .....	22
3.2.3. <i>Curvas de polarización del Gold Max de 1000 ppm.</i> .....	23
3.2.4. <i>Curvas de polarización del Gold Max de 500 ppm.</i> .....	24
3.2.5. <i>Cálculo de velocidad de corrosión</i> .....	24
3.3. Corrosión por gravimetría .....	25
3.3.1. <i>Análisis de hierro en las muestras.</i> .....	25
3.3.2. <i>Análisis pérdida de peso de las probetas.</i> .....	27
3.3.3. <i>Cálculo de velocidad de corrosión</i> .....	28
CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES .....	30
CAPÍTULO V: RECOMENDACIONES .....	31
BIBLIOGRAFÍA .....	32
ANEXOS .....	37

## TABLA DE ILUSTRACIONES

<b>Figura 1.</b> Muestras de acero AH32 en cuatro cargas distintas en agua de mar en un tiempo de inmersión de 1.5h y 24h. ....	12
<b>Figura 2.</b> Voltametría cíclica del policaprolactona en una solución de KCl a una velocidad de 10 mV .....	13
<b>Figura 3.</b> Curvas de polarización en una solución de ácido sulfúrico 2M con y sin dicromato de amonio .....	14
<b>Figura 4.</b> Curvas de polarización con el método Tafel de una aleación Mg en una solución de NaCl.....	14
<b>Figura 5.</b> Comportamiento de las corrientes en diferentes frecuencias.....	15
<b>Figura 6.</b> Aplicación del potencial circuito abierto en las placas de acero al carbono en distintas concentraciones .....	22
<b>Figura 7.</b> Curvas de Polarización con el método tafel al acero al carbono con el cianuro 620 ppm.....	23
<b>Figura 8.</b> Curvas de polarización con el método tafel al acero al carbono en solución de cianuro 800 ppm.....	24
<b>Figura 9.</b> Curvas de Polarización con el método Tafel al acero al carbono en solución de Gold Max 1000 ppm.....	24
<b>Figura 10.</b> Curvas de Polarización por el método tafel en solución de Gold Max 500 ppm. ....	25
<b>Figura 11.</b> Análisis de hierro en las placas metálicas con las diferentes concentraciones en medios cianurados y Gold Max .....	27
<b>Figura 12.</b> Pérdida de peso en las placas metálicas sumergidas en medios cianurados y Gold Max.....	29



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Composición del Gold max .....	7
<b>Tabla 2.</b> Diseño experimental de las concentraciones .....	19
<b>Tabla 3.</b> Condiciones iniciales para las pruebas del Potencial circuito abierto.....	20
<b>Tabla 4.</b> Potenciales de Corrosión a circuito abierto .....	21
<b>Tabla 5.</b> Densidad de Corriente. ....	25
<b>Tabla 6.</b> Análisis del hierro .....	26
<b>Tabla 7.</b> Condiciones iniciales de las probetas .....	27
<b>Tabla 8.</b> Velocidad de corrosión en mpulg/año .....	29

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> _Colocación del alambre de platino en las probetas.....	37
<b>Anexo 2.</b> _Corte y pulido de las probetas. ....	37
<b>Anexo 3.</b> _Área de exposición de 1cm <sup>2</sup> en cada probeta. ....	37
<b>Anexo 4.</b> _ Colocar la masilla epóxica. ....	38
<b>Anexo 5.</b> _Medición de la corriente de cada una de probetas.....	38
<b>Anexo 6.</b> _En un mortero se muele el goldmax y el cianuro.....	38
<b>Anexo 7.</b> _Se pesan las cantidades de Gold Max y el cianuro.....	38
<b>Anexo 8.</b> _ Llevar el agua desionizada aun pH de acuerdo a cada sustancia.....	38
<b>Anexo 9.</b> _ Llevar el agua desionizada aun pH de acuerdo a cada sustancia.....	38
<b>Anexo 10.</b> _Ubicación de las probetas con las diferentes concentraciones.....	38
<b>Anexo 11.</b> _Potenciostato Parstat MC para la medición de circuito abierto y curvas de polarización. ....	38
<b>Anexo 12.</b> _Espectrofotómetro HACH DR/2010 para la determinación de hierro en las placas de acero al carbono. ....	38

## INTRODUCCIÓN

La presente investigación tiene como finalidad dar a conocer los diferentes problemas de corrosión que presentan las grandes industrias mineras, en la actualidad hablar de estos inconvenientes son casi eminentes y sustanciales, todas estas dificultades afectan considerablemente la economía del sector minero ya que estos equipos y materiales que ellos utilizan para los diferentes procesos presentan inestabilidad con respecto a la utilización de los mismos debido a las diferentes sustancias que manipulan para el previo tratamiento que se realiza al oro. Cada uno de los procesos que realizan en las empresas mineras para el tratamiento del mineral es llevado mediante diversas etapas como lo es la flotación, molienda y la lixiviación por medio de la cianuración con la finalidad de interferir en el estudio del mineral.

Básicamente el estudio que se observará se encuentra involucrada en la etapa de lixiviación para la obtención del oro, según las grandes literaturas pre-escritas en la mayoría de los procesos de lixiviación se realiza mediante la cianuración, todos estos principios están ligados a la corrosión electroquímica y a los diferentes mecanismos que son intervenidos por los agentes lixiviantes que analizaremos. El cianuro es uno de los lixiviantes que contamina desmesurablemente el medio ambiente y no solamente eso, sino que intervienen en el cambio intencional de los equipos al igual que otros factores que intervienen en la corrosión.

La problemática a la que nos enfrentamos es el impacto de corrosión que se presenta en los tanques de lixiviación, por agentes lixiviantes en el sector aurífero; originando degradación en el material y así ocasiona pérdidas económicas como: en reemplazar el material, mantenimiento e incluso pérdida del producto por acumulación de óxido en las paredes de los equipos causada por la corrosión, por ese motivo hemos abierto una nueva alternativa como lo es Gold Max un lixivante desconocido para las industrias mineras de nuestro país, lo que podría involucrarse a nuevas investigaciones.

## **PROBLEMA**

Actualmente uno de los principales problemas que presenta la industria minera al momento de la extracción del oro se rige principalmente en la corrosión de los tanques de lixiviación debido a la utilización de sustancias que causan este tipo de problema que afecta sustancialmente a la economía industrial y a diversos impactos ambientales. La corrosión es un problema altamente difícil de manejar, aunque sea un proceso involuntario, hay muchas alternativas que podría disminuir el proceso acelerado del material y también disminuir el tiempo del desgaste de los equipos.

El acero al igual que todas las aleaciones derivadas del mismo son utilizadas para el mismo propósito en los diferentes procesos industriales, tuberías, equipos y procesos que beneficie significativamente a toda la empresa. Aunque la corrosión se encuentra presente en todas las actividades lo más indispensable en estos momentos es recomendable buscar soluciones y alternativas que beneficien a la industria minera.

La presente evaluación pretende ayudar a las industrias mineras a fomentar el tiempo de vida útil de sus equipos y fortalecer sus intereses. Proporcionar un cambio de alternativa para sus análisis y mejorar la obtención del mineral, ya que la corrosión es uno de los aspectos más relevantes en el ámbito económico de este tipo de actividades por este motivo se debe intervenir en el ámbito ambiental y social a los que son expuestos durante toda la etapa industrial.

## JUSTIFICACIÓN

Las grandes industrias mineras realizan un sin número de actividades en todos los medios a los que estos son sometidos con respecto a los diferentes reactivos, sustancias y productos que utilizan para los análisis, más aún porque estos son muy corrosivos para los equipos que se utilizan en todo el procedimiento.

El material que es utilizado para este tipo de equipos en el proceso de lixiviación es el acero al carbono ya que es un material altamente duradero siendo su principal composición el hierro y este al ser manipulado se encuentra expuesto a muchos factores que suelen ser agresivos y así proporcionar el desgaste continuo del material en el que podemos determinar una lucha constante contra todos los factores como lo son el medio ambiente hostil, la humedad y temperatura que actúan sobre estos.

Esta investigación permitirá ser el comienzo de una de las más grandes investigaciones futuras dentro del ámbito minero y a las diversas intervenciones que representa, en donde estarán presentes los problemas de corrosión a los que se someterá. La corrosión es un problema que las grandes empresas han sobrellevado todo este largo periodo; pero el propósito principal es la utilización de un nuevo lixivante que favorezca el proceso de obtención del mineral pero que permita disminuir el tiempo de corrosión del material de acero.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Comparar la velocidad de corrosión del acero al carbono empleado en la lixiviación aurífera mediante la utilización de técnicas electroquímicas con dos lixiviantes Gold Max y Cianuro que sean rentables para la empresa minera.

### **Objetivos específicos**

- Establecer el método de circuito abierto en las probetas en medios cianurados y Gold Max.
- Aplicar curvas de polarización al acero utilizado en la lixiviación aurífera.
- Comparar el desgaste del material de acero al carbono en medios cianurados con el Gold Max.

## **HIPÓTESIS**

### **Hipótesis nula**

Los equipos de acero al carbono no sufren corrosión acelerada durante todo el proceso de lixiviación en la minería.

El medio cianurado es más agresivo que el medio de Gold Max con respecto a los potenciales de corrosión en los análisis electroquímicos.

### **Hipótesis alternativa**

Los equipos de acero al carbono sufren corrosión acelerada durante todo el proceso de lixiviación en la minería.

El medio cianurados es menos agresivo que el medio de Gold Max con respecto a los potenciales de corrosión en los análisis electroquímicos.

## **CAPÍTULO I: MARCO REFERENCIAL**

### **1.1. Minería en el Ecuador**

La minería es el proceso de extraer, explotar y aprovechar minerales encontrados en el subsuelo en manera de yacimientos. Según su origen los minerales se identifican dependiendo de sus propiedades físicas y químicas como el resultado de transformaciones geológicas<sup>1</sup>.

Los minerales puede ser metálicos y no metálicos, en los metálicos se encuentran: los metales preciosos que son el oro, plata y platino, los metales básicos como cobre, plomo, cinc y estaño, los metales siderúrgicos entre ellos son el hierro, cobalto, níquel, vanadio, titanio, y cromo, los metales especiales como son el galio, arsénico, germanio y el litio, los metales nucleares que es el torio, uranio y radio<sup>2</sup>.

En los no metálicos se encuentran los minerales industriales como el azufre, sal, potasio, amianto, talco, fosfatos y feldespato, incluye los materiales de construcción los cuales son las arcillas, arena, caliza y granito, el mármol, también piedras preciosas como gemas o piedras. En el Ecuador existe un gran potencial referente a la minería, en donde se pueden encontrar minas de oro, cobre, plata y minerales no metálicos como arcilla, caliza, caolín, feldespato, sílice, mármol. Las provincias que se dedican en el sector minero son: El Oro, Esmeraldas, Imbabura, Napo, Azuay y Morona Santiago<sup>3</sup>.

Una de los principales ventajas que presenta el Ecuador son las fuentes de empleo que se originan por el sector minero logrando un giro inesperado a la economía de nuestro país, pero a su vez este tipo de actividad presenta inconvenientes provocando problemas sociales y ambientales en nuestro entorno<sup>4</sup>.

### **1.2. Procesos de lixiviación**

Dentro de la minería la lixiviación es un procedimiento físico-químico en donde se extrae variedad de minerales, se trata de separar un mineral de una composición sólida con la ayuda de un lixivante<sup>5</sup>.

En la industria minera una de las intervenciones a las que estas se encuentran relacionadas es la lixiviación de los minerales presentes en este sector, todo este proceso de lixiviación permite la disolución de un mineral que se encuentra en estado sólido con la finalidad de poder extraer el componente principal y así lograr un mejor manejo del mismo<sup>6</sup>. Para la extracción de ciertos minerales como es el oro, plata entre otros se utilizan lixiviantes con sustancias químicas para la disolución de metales contenidos en minerales, comúnmente

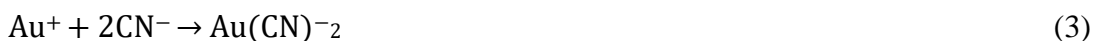
se utilizan lixiviantes como el ácido sulfúrico, mercurio, sales de cianuro, tiourea, el tiosulfato, Gold Max, etc<sup>7</sup>. Sin embargo para los minerales preciosos comúnmente se utilizan métodos cianuración por ser de menor complejidad en las preocupaciones ambientales y aportando un buen rendimiento en la economía<sup>8</sup>.

1.2.1. *Lixiviación con cianuro.* El cianuro es una aleación de carbono y nitrógeno que se encuentra en distintas maneras, dependiendo de su propiedad y estabilidad, la principales formas de cianuro que se encuentran son el cianuro de sodio, cianuro de potasio y cianuro de hidrógeno gaseoso, pero los de mayor grado de toxicidad son el cianuro libre ( $CN^-$ ) y el cianuro de hidrógeno ( $HCN$ ) en concentraciones de 90 a 100 mg/l<sup>7</sup>. Al igual que el cianuro afecta ambientalmente en las empresas mineras, utilizan minerales sulfurados que pueden generar desperdicios tóxicos y perjudiciales para el medio ambiente<sup>9</sup>.

El procedimiento de cianuración es empleado en la extracción de elementos metálicos como el oro y la plata, a partir de disoluciones débiles como el cianuro de sodio o cianuro de potasio utilizadas como disolvente en las partículas de oro metálico<sup>10</sup>. Mediante este proceso se producen reacciones electroquímicas que se basa en la ecuación de Elsner<sup>11</sup>:



Esta ecuación parte de dos reacciones una anódica y otra catódica ambas en medios cianurados:



En el proceso de cianuración se requiere mantener un pH establecido por posibles reacciones desfavorables, el  $pH < 10$  los iones del cianuro se hidrolizan formando gases sumamente tóxicos como el cianuro de hidrógeno  $HCN$  y el  $pH > 12$  existe problemas en la velocidad de cianuración por el cual se debe establecer un pH de 10.5-11.5 óptimo para este proceso<sup>11</sup>.



1.2.2. *Lixiviación con Gold Max.* El Gold Max es un lixiviante ecológico compuesto por óxido de sodio ( $Na_2O$ ), nitrógeno ( $N$ ), amonio ( $NH_4$ ), calcio ( $Ca$ ) y hierro ( $Fe$ ), se lo emplea para recuperación de oro y plata como en sulfuros, minerales oxidados y mixtos<sup>12</sup>.

**Tabla 1.** Composición del Gold max

Componentes	CAS número	Aproximado (%) por peso
Óxido de sodio ( $Na_2O$ ),	1313-59-3	35-50 %
Nitrógeno ( $N$ ),	7727-37-9	12-20 %
Humedad ( $H_2O$ )	7732-18-5	1-4 %
Amonio ( $NH_4$ )	14798-03-9	7-12 %
Hierro ( $Fe$ ),	7439-89-6	1-5 %
Calcio ( $Ca$ )	7440-70-2	1-5 %
Substancia insoluble en agua	.....	3-8 %

**Fuente:** <sup>13</sup>.

El Gold Max es un agente lixiviante con la finalidad de extraer oro dentro del proceso de lixiviación con Gold Max se requiere de un pH de 11-12 se caracteriza por ser muy estable dando resultados eficientes dentro del rubro minero<sup>14</sup>.

El Gol Max gracias a su composición es un mineral que no es altamente tóxico al medio ambiente sino que esto lo hace más indispensables en su utilización, permitiendo conlleva así este lixiviante a las industrias del país vecino<sup>14</sup>.

### 1.3. Acero

El acero es una aleación de hierro y carbono, en algunas ocasiones se puede incluir otros elementos metálicos o no metálicos para mejorar sus propiedades físicas y químicas especialmente en la que puede intervenir dependiendo el tipo de acero al que va ser utilizado de acuerdo a su acabado o recubrimiento<sup>15</sup>.

El acero puede ser utilizado en procesos metalúrgicos y en concreto llegando a ser una herramienta indispensable para las grandes industrias ya que ellas utilizan el acero para muchos beneficios, gracias a su durabilidad<sup>16</sup>.

Los aceros son resistentes aún más los que son elaborados por otras técnicas habituales por lo que todos estos factores intervienen al momento de la utilización de estos tipos de acero<sup>17</sup>.

### 1.3.1. *Clasificación de los aceros*

La clasificación del acero depende de la característica que estos contengan en base a la vida útil, también se asemeja a su composición, propiedades y tratamientos a los que se encuentren sometidos durante todo el proceso al que vaya a ser utilizado<sup>18</sup>. Los aceros se basan en dos clases elementales en aceros al carbono y aleaciones de acero.

1.3.1.1. *Acero al carbono*. El acero al carbono en su composición posee alta cantidad de carbono, están mezclados especialmente de hierro y carbono, los aceros se refieren a aleaciones de hierro aproximadamente 2% de carbono<sup>18</sup>. Depende de la proporción de carbono que contiene, se pueden clasificar en tres tipos: acero bajo en carbono con un 0,2%, acero medio 0,3-0,5% y alto en carbono más de un 0,5% entre más carbono contenga el acero será mayor la resistencia y la dureza, aunque en temperaturas elevadas puede aumentar el deterioro de los equipos<sup>19</sup>.

Sin embargo, los aceros bajo en carbono comúnmente son utilizados debido a su mínimo costo de producción y mayor maleabilidad gracias a su notable dureza este tipo de acero puede ser tratable a altas temperaturas<sup>20</sup>.

1.3.1.2. *Aceros aleados*. Este tipo de aceros se caracteriza por contener elementos de aleación como el cromo que ayuda al endurecimiento y es resistente a la corrosión, el silicio se emplea como endurecedor en el acero, el níquel ayuda a mejorar la resistencia, vanadio mejora la tenacidad del acero, el molibdeno como el tungsteno soporta altas temperaturas y el manganeso mejora la resistencia y dureza del acero<sup>21</sup>.

Las aleaciones de aluminio son muy utilizadas en las industrias por ser de alta resistencia, baja densidad, y ductibilidad<sup>22</sup>. Los aceros aleados son utilizados para fabricar piezas de gran espesor y resistentes son usados en máquinas y motores<sup>23</sup>.

1.3.1.3 *Aceros de baja aleación ultrarresistentes*. Son aquellas aleaciones menores del 5% ya sean con el carbono, fósforo, azufre, silicio y manganeso ayudan a mejorar la resistencia y son más baratos que los aceros aleados<sup>24</sup>.

1.3.1.4. *Aceros inoxidable*. Este tipo de acero tiene níquel, cromo entre otros elementos de aleación, son resistentes a la herrumbre y a la oxidación se caracterizan porque se mantienen brillantes a pesar de la humedad o de ácidos que pueden provocar corrosividad y soportan elevadas temperaturas<sup>25</sup>.

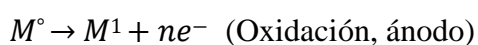
Los aceros inoxidable dúplex están constituidos por ferrita y austenita, posee propiedades como tenacidad y resistencia en presencia de corrosión localizada o generalizada<sup>26</sup>.

#### **1.4. Corrosión**

La corrosión es el deterioro de un material mediante la exposición del medio ambiente dependiendo de ciertos factores: la temperatura, el aire, la humedad o soluciones agresivas<sup>27</sup>. Las estructuras metálicas están expuestas ante la corrosión especialmente a la atmósfera presentando desgaste en el metal debido a esto produce consecuencias como la disminución del espesor de los equipos<sup>28</sup>.

En el proceso de corrosión es importante tres partes fundamentales los electrodos que son el ánodo y el cátodo, el electrolito que es el medio conductor y una conexión eléctrica entre ambos electrodos donde se originan reacciones electroquímicas de oxidación – reducción en una celda electroquímica<sup>29</sup>.

Cuanto el hierro se oxida a iones  $Fe^{2+}$  comienza a formarse hendiduras, estos iones migran hacia la superficie húmeda, los electrones cedidos por el hierro ocasiona la reducción del oxígeno<sup>29</sup>.





Las dos reacciones ocurren de manera simultánea, el ánodo cede electrones por el cual aumenta la oxidación en cambio el cátodo absorben electrones reduciendo la oxidación hasta llegar a su estado base<sup>29</sup>.

1.4.1. *Tipos de corrosión.* Existen varios tipos de corrosión según el tipo del material y en que medios se encuentren:

1.4.1.1. *Corrosión generalizada.* Este tipo de corrosión ocurre en el metal de forma homogénea provocando gran pérdida del material, estos casos se pueden dar en materiales de construcción, metales inoxidables a base de cromo y níquel<sup>30</sup>.

1.4.1.2. *Corrosión localizada.* La corrosión localizada se da en la mayoría de los metales ocasionando desgastes en ciertas zonas del material, la corrosión se puede originar en las imperfecciones del material o en materia acumulada<sup>31</sup>.

1.4.1.3. *Corrosión por picadura.* La corrosión por picaduras se desarrolla en los agujeros y cavidades del material, esta clase de corrosión es muy peligroso es difícil de detectar por lo que se da en zonas discretas del material<sup>32</sup>.

1.4.1.4. *Corrosión química.* Este tipo de corrosión se origina por sustancias no electrolíticas, originándose una capa de oxidación en el metal ocasionando fisuras dando lugar a fugas en las piezas metálicas<sup>33</sup>.

1.4.1.5. *Corrosión por electroquímica.* En la velocidad de corrosión se originan reacciones equilibradas de los metales corroídos, este tipo de corrosión es acelerada donde ocurre un completo deterioro del metal originándose una oxidación y reducción debido al ambiente corrosivo<sup>34</sup>.

1.4.2. *Cinética de corrosión.* En el proceso de corrosión se puede predecir la velocidad de los metales que tienden a corroerse, la cinética de corrosión es la cantidad del metal que se va a corroer por un periodo de tiempo en un sistema equilibrado. La ley de Faraday sirve para estimar la velocidad del deterioro de un metal de cualquier potencial y la densidad de corriente con la siguiente ecuación<sup>35</sup>:

$$V_{corr} = \frac{IPM}{\delta zFA} \quad (6)$$

Donde  $V$  es la velocidad de corrosión g/s,  $I_{corr}$  es la densidad de corriente A,  $PM$  es la masa molecular,  $z$  es el número de electrones de las reacciones que se originan del metal,  $A$  es el área del electrodo  $m^2$ ,  $\delta$  es densidad y  $F=$  constante de Faraday 96500 Coulomb/equivalente<sup>35</sup>. Cuando se expresa  $I/A \frac{A}{m^2}$  es la densidad de corriente, la ecuación queda de la siguiente manera:

$$\frac{V_{corr}}{A} = \frac{I_{corr}PM}{\delta zF} \quad (7)$$

1.4.3. *Técnicas de evaluación de corrosión.* Las técnicas electroquímicas se basan en las reacciones de óxido-reducción que permite la transferencia de electrones por medio de las soluciones, consiste en procesos de corrosión originadas por el deterioro del metal expuesto al ambiente en un medio agresivo<sup>36</sup>.

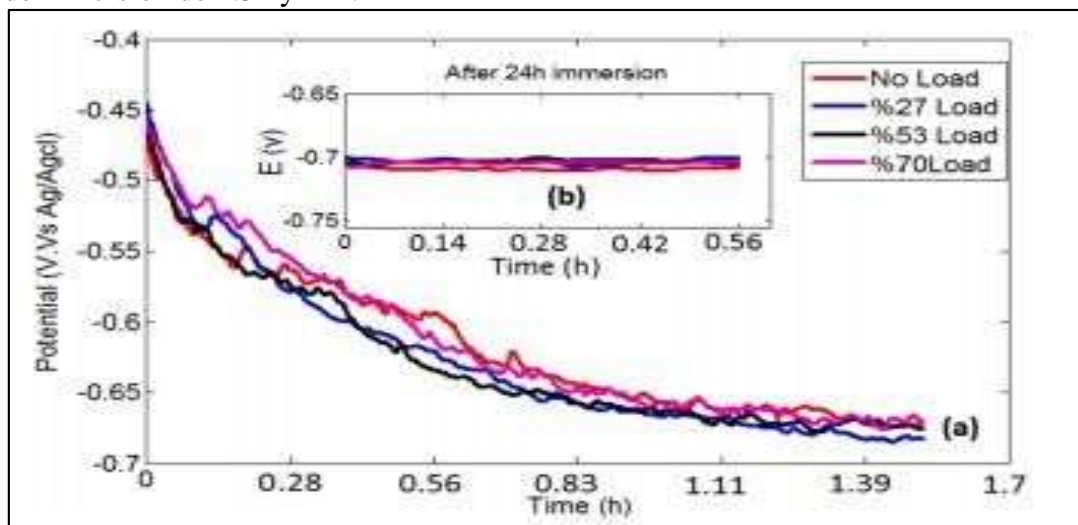
Los métodos de medición del potencial circuito abierto, voltametría cíclica, espectroscopia de impedancia electroquímica, curvas de polarización potenciodinámica, método gravimétrico (pérdida de peso) son técnicas empleadas comúnmente para estudios de velocidad de corrosión, corriente de corrosión y potenciales<sup>37</sup>.

Para el desarrollo de estos métodos se utiliza un Potenciostato que sirven para estudios de corrosión, por medio de una celda electroquímica conformada por tres electrodos como el de trabajo, referencia y contra electrodo inmersos a un medio electrolito en una celda de corrosión<sup>38</sup>.

1.4.3.1. *Potencial circuito abierto.* El potencial de circuito abierto conocido como potencial de corrosión ( $E_{corr}$ ) se da en función al tiempo al que se expone<sup>39</sup>, las mediciones de los potenciales corresponde a las variaciones del electrodo de trabajo con

relación al electrodo de referencia, los valores potenciales cambian según el tiempo de exposición del metal en un medio electrolito agresivo<sup>40</sup>.

**Figura 1.** Muestras de acero AH32 en cuatro cargas distintas en agua de mar en un tiempo de inmersión de 1.5h y 24h.

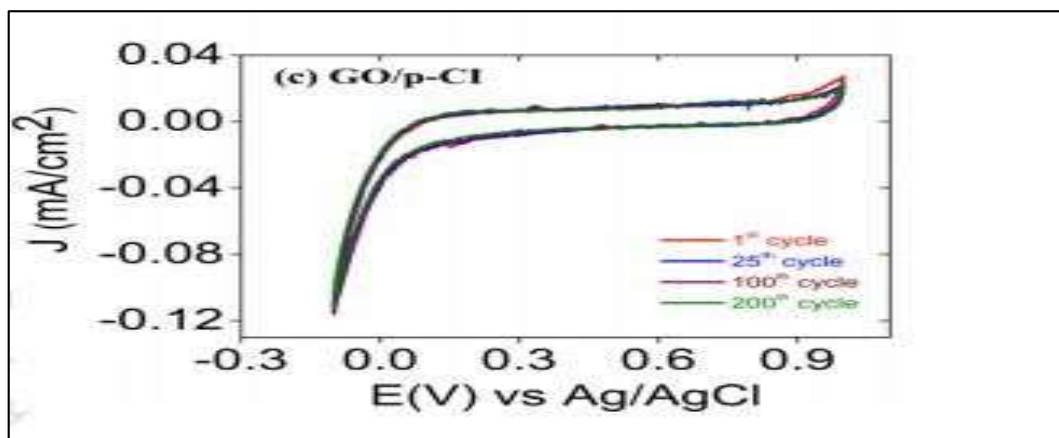


Fuente:<sup>41</sup>.

1.4.3.2. *Voltametría cíclica*. Esta técnica se trata de emplear un potencial lineal puede ser creciente o decreciente con respecto al electrodo de trabajo a una cierta velocidad de barrido, parte de un potencial  $V_1$  hacia el potencial  $V_2$  y se revierte la señal regresando al comienzo formando un ciclo del potencial y se va registrando los valores extremos del barrido, se puede realizar varias veces variando la velocidad de barrido<sup>42</sup>.

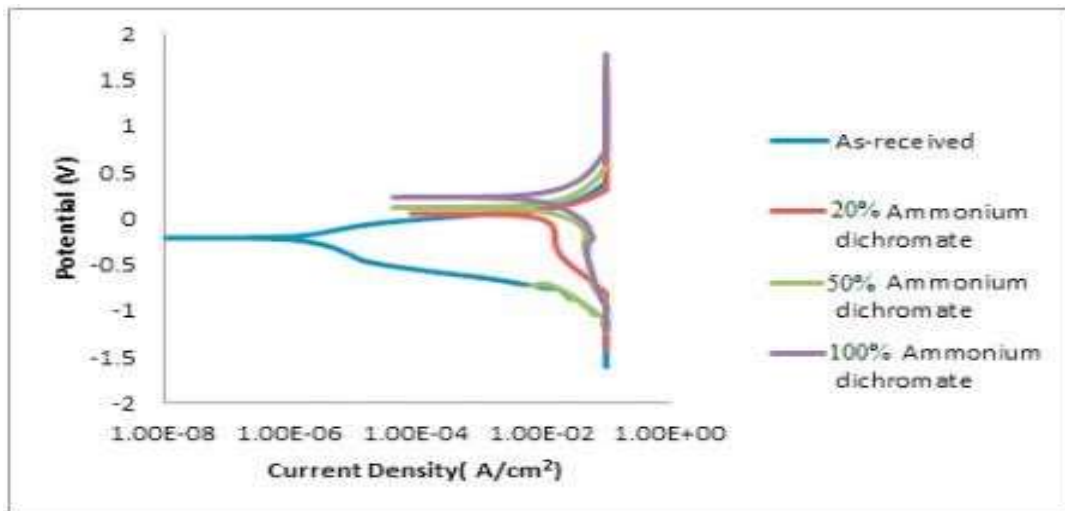
**Figura 2.** Voltametría cíclica del policaprolactona en una solución de KCl a una velocidad de 10 mV.

1.4.3.3. *Curvas de polarización*. En las curvas de polarización, la intensidad (I) se define como densidad de corriente ( $i$ ) en relación al área del electrodo de trabajo en un medio electrolito. Se toma en cuenta los valores potenciales iniciales y finales de las curvas que circula en el sistema, de esta forma se determina la densidad de corriente ( $i_{corr}$ ), la resistencia de corrosión ( $R_p$ ) y el potencial de corrosión ( $E_{corr}$ )<sup>44</sup>.



Fuente:<sup>43</sup>.

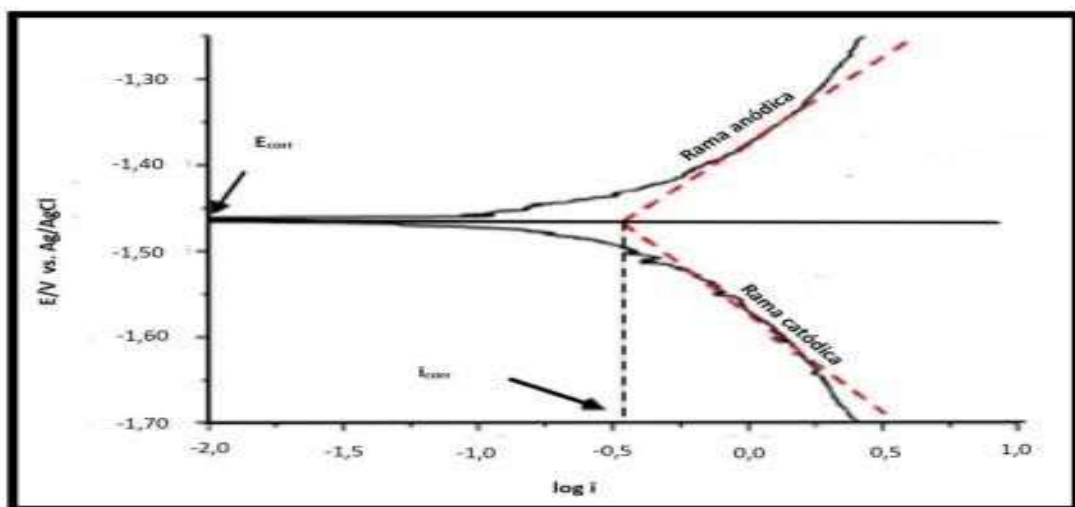
**Figura 3.** Curvas de polarización en una solución de ácido sulfúrico 2M con y sin dicromato de amonio.



Fuente:<sup>45</sup>.

1.4.3.4. *Polarización potenciodinámica Tafel.* Se determina la densidad de corriente de corrosión ( $i_{corr}$ ), el potencial de corrosión ( $E_{corr}$ ) y las pendientes de Tafel ( $\beta_{anódica}$  y  $\beta_{catódica}$ ), en este método se realiza un punto de intersección entre las ramas anódicas y catódicas de este modo se puede obtener los valores de ( $i_{corr}$ ) y ( $E_{corr}$ ) representadas en una gráfica<sup>46</sup>.

**Figura 4.** Curvas de polarización con el método Tafel de una aleación Mg en una solución de NaCl.



Fuente: <sup>46</sup>.

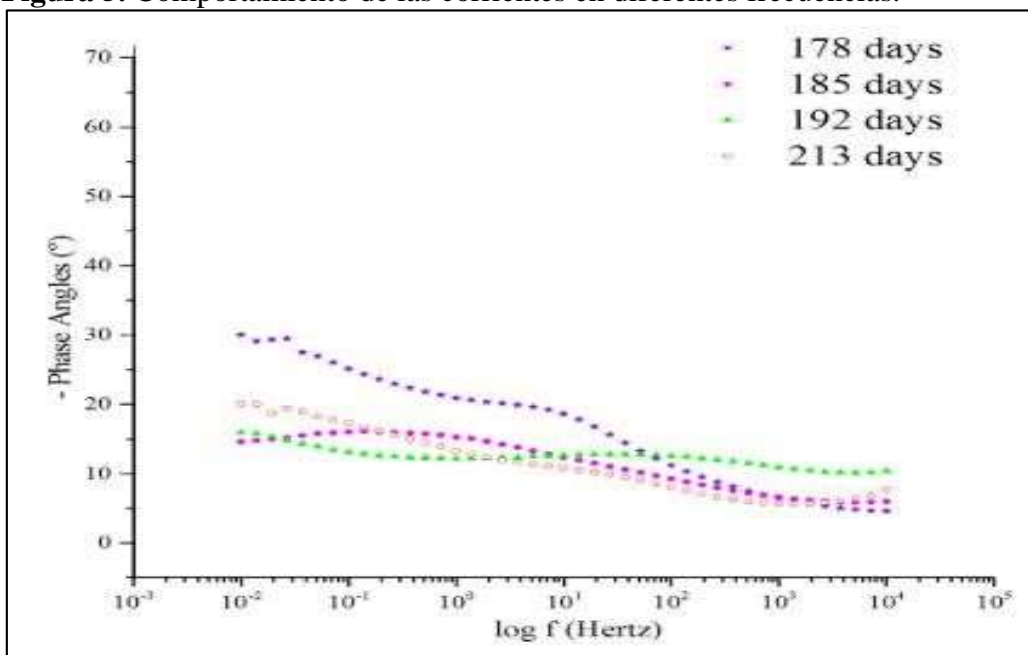
1.4.3.5. *Espectroscopia de impedancia electroquímica.* Este método consiste en una corriente alterna que se le aplica a un electrodo de trabajo y registra una respuesta de



corriente ( $I$ ) a diferentes frecuencias para determinar el comportamiento de sistemas complejos a distintos periodos de tiempo. Para obtener los análisis cualitativos se elabora mediante gráficos de Bode o Nyquist para la resistencia de corrosión va representada la impedancia ( $Z$ ) en logaritmo base 10 en relación a la frecuencia y para procesos de corrosión ángulo de fase ( $\theta$ ) contra la frecuencia ( $f$ ) de logaritmo base  $10^{47}$ .

Una de las ventajas de la técnica de espectroscopia electroquímica que si existe alguna interferencia en las propiedades del metal de igual forma permite medir indirectamente la velocidad de corrosión en baja conductividad y a la vez obtener la resistencia de polarización<sup>46</sup>.

**Figura 5.** Comportamiento de las corrientes en diferentes frecuencias.



Fuente:<sup>48</sup> .

1.4.3.6 *Método gravimétrico (pérdida de peso)*. Este método se utiliza para determinar la pérdida del desgaste del metal que se puede presentar en los equipos, se aplica la siguiente ecuación<sup>49</sup>:

$$V = \frac{\Delta W}{(A)(t)(\delta)} \quad (8)$$

Donde  $V$  es la velocidad de corrosión,  $\Delta W$  es la diferencia de peso (antes – después),  $A$  es el área,  $(\delta)$  es la densidad del acero y  $t$  es el periodo de tiempo de la exposición del material<sup>49</sup>.

## CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

### 2.1. Materiales y métodos

#### 2.1.1 *Materiales.*

- Vasos de precipitación 100, 600 y 1000 mL
- Envases de plástico ámbar 1000 mL
- Envases de vidrio de 1000 mL
- Pipetas graduadas de 5 y 10 mL
- Balones volumétricos de 500 y 1000 mL
- Varillas de vidrio
- Desecador
- Cápsulas de porcelana

#### 2.1.2 *Reactivos.*

- Hidróxido de sodio □ Carbonato de calcio
- Cianuro
- Gold Max
- Agua destilada
- Agua desionizada
- Alcohol industrial
- Hierro(patrón)

#### 2.1.3 *Equipos*

- Potenciostato Parstat MC.
- Balanza analítica RADWAG®
- Estufa
- Celda electroquímica
- Electrodo (platino y Ag/AgCl)
- Potenciómetro BOECO Germany BT-675
- Espectrofotómetro HACH DR/2010

#### 2.1.4 *Otros materiales*

- Plancha de acero al carbono
- Picetas

- Espátula
- Soporte de madera
- Alambre de cobre
- Alambre de platino
- Multímetro
- Tiritas de pH
- Hilo de nylon
- Cinta de papel
- Guantes térmicos
- Mascarillas
- Guantes de vinil
- Masilla epóxica
- Papel de lija
- Papel aluminio

## **2.2. Localización de investigación**

El presente estudio se elaboró en la Universidad Técnica de Machala, en el laboratorio de Investigaciones Área Electroquímica de la Facultad de Ciencias Químicas y de la Salud desde noviembre 2019 - febrero del 2020.

## **2.3. Análisis de las muestras en los diferentes medios**

*2.3.1. Preparación de muestras (probetas).* Se utilizó una plancha de acero al carbono con un espesor de 0.6 cm, a la que se procedió a realizar cortes de 2.0 x 2.0 cm obteniendo un total de 40 probetas que nos servirán para determinar ensayos electroquímicos, análisis de hierro y gravimetría. Los especímenes cortados previamente son pulidos o lijados hasta dar un acabado sin ralladuras. Posteriormente insertamos a cada probeta el alambre de cobre con una dimensión de 20 cm en donde se recubre con masilla epóxica todo el contorno de las muestras dejando a su vez una pequeña área de 1  $cm^2$  que nos servirá para los análisis respectivos.

*2.3.2. Medición de conductividad del alambre de cobre.* A cada una de las probetas se les realizó el análisis de conductividad con un multímetro que nos permitirá verificar el paso de corriente entre el alambre de cobre y el acero al carbono.

2.3.3. *Esterilización de la muestra (probetas)*. A las probetas se les agregó 3 gotas de alcohol industrial dejándolas reposar por 1 minuto y luego son llevadas a la estufa con una temperatura de 60 °C en un tiempo de 10 minutos.

## **2.4. Preparación de soluciones**

2.4.1. *Gold Max*. Para la preparación de Gold Max realizamos dos concentraciones en la de 500 ppm se pesó 1,0400 g y para 1000 ppm se pesó 2,0832 g de muestra inicial ambas concentraciones fueron preparadas en volúmenes de 2 L. En primer lugar, se llevó la muestra de Gold Max a una estufa a 200 °C por dos horas con la finalidad de reducir la humedad presente en la sustancia. Luego se llevó al agua desionizada a un medio alcalino agregándole cal para regular el pH de 11-12, después se agregó la sustancia en el medio alcalino y finalmente se procedió a envasar la solución en un frasco ámbar para su posterior uso.

2.4.2 *Cianuro*. Para la elaboración del cianuro se hicieron dos concentraciones en la 620 ppm se pesó 1,2916 g y para 800 ppm se pesó 1,6668 g de muestra inicial el cual se preparó para ambas concentraciones volúmenes de 2 L. La muestra de cianuro se llevó a la estufa a 200 °C por dos horas, con el objetivo de disminuir la humedad presente en la muestra. Se agregó hidróxido de sodio al agua desionizada para regular un pH de 10-11, seguidamente se adicionó la muestra en la presente solución y por último se procedió a envasar en un frasco de vidrio para su uso respectivo.

## **2.5. Montaje de las probetas en las soluciones.**

Se usaron 24 probetas para el montaje experimental, lo cual se utilizó un soporte de madera para colocar los vasos de precipitación de 100 mL utilizados para sumergir las probetas, 12 probetas fueron sumergidas en las soluciones de Gold Max con las concentraciones de 500 ppm y 1000 ppm y las 12 probetas restantes fueron sumergidas en soluciones de Cianuro con las concentraciones de 620 ppm y 800 ppm con volúmenes de 100 mL en un periodo de tiempo de 2 meses.

## 2.6. Diseño experimental

2.6.1. *Métodos.* En este experimento se hicieron cuatro soluciones: dos en medios cianurados de 620 ppm, 800 ppm y dos de Gold Max con concentraciones de 500 ppm, 1000 ppm.

**Tabla 2.** Diseño experimental de las concentraciones

Experimento	Concentraciones	Temperatura ambiente	pH
Gold Max (G1)	500 ppm	25 °C	11-12
Gold Max (G2)	1000 ppm	25 °C	11-12
Cianuro (C1)	620 ppm	25 °C	10-11
Cianuro (C2)	800 ppm	25 °C	10-11

**Fuente:** Elaboración propia

2.6.2. *Desarrollo experimental.* Este trabajo investigativo consistió en utilizar el Potenciostato Parstat MC en el que nos permitirá realizar ensayos electroquímicos de las muestras ya antes mencionadas en donde utilizaremos la probeta como electrodo de trabajo, el electrodo de platino como contra electrodo y el electrodo de plata soportado con cloruro de plata como referencia. Las técnicas que se emplearan para la determinación de velocidad de corrosión son: gravimetría, curvas de potencial circuito abierto y curvas de polarización por el método tafel.

## CAPÍTULO III: RESULTADOS

### 3.1 Curvas de potencial circuito abierto

Mediante la realización de esta técnica se puede conocer la velocidad de corrosión que se origina mediante el comportamiento del metal sometidos en soluciones de cianuro y de Gold Max, por medio de gráficos se muestran los diferentes potenciales en función al tiempo.

**Tabla 3.** Condiciones iniciales para las pruebas del Potencial circuito abierto.

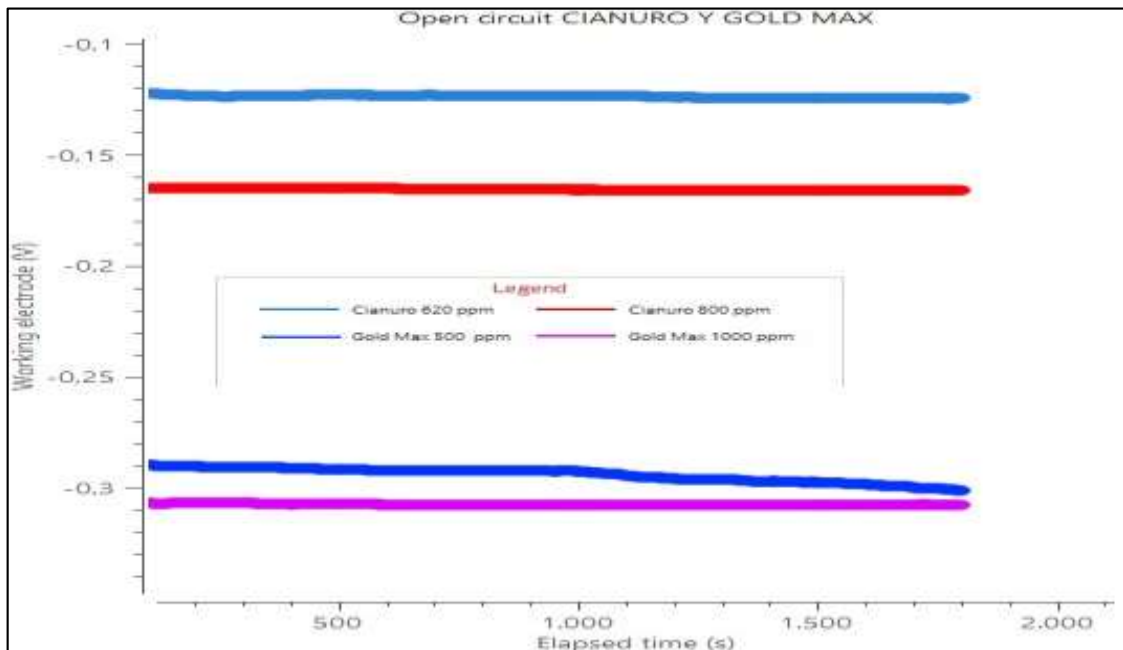
<b>Solución</b>	<b>Concentración</b>	<b>Tiempo (s)</b>	<b>Área de Trabajo</b>
Cianuro	620 ppm	1800 s	1 cm <sup>2</sup>
Cianuro	800 ppm	1800 s	1 cm <sup>2</sup>
Gold Max	1000 ppm	1800 s	1 cm <sup>2</sup>
Gold Max	500 ppm	1800 s	1 cm <sup>2</sup>

**Fuente:** Elaboración propia

Mediante la utilización del Potenciostato Parstat MC que permite medir el potencial de circuito abierto en un determinado tiempo por lo que utilizamos aproximadamente 30 minutos en cada una de las probetas se realizó por triplicado.

Las probetas de acero al carbono sumergidos en las diferentes concentraciones como 620 y 800 ppm cianurados, 500 y 1000 ppm Gold Max que nos direccionan a distintos comportamientos y todos los resultados que se obtuvieron nos permiten dar explicación de las velocidades de corrosión en los diferentes medios acuosos. Cada una de las corrientes representa las variaciones de los potenciales con respecto a las concentraciones planteadas inicialmente.

**Figura 6.** Aplicación del potencial circuito abierto en las placas de acero al carbono en distintas concentraciones.



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 4.** Potenciales de Corrosión a circuito abierto

Solución	Concentración	Potencial de corrosión (V)
Cianuro	620 ppm	-0,1224
Cianuro	800 ppm	-0,1648
Gold Max	1000 ppm	-0,2897
Gold Max	500 ppm	-0,3071

**Fuente:** Elaboración propia

Con respecto a las concentraciones que se han trabajado con el cianuro del 620 ppm y 800 ppm obtuvimos potenciales más positivos de -0,1224 V y -0,1648 V; con respecto al de 500 ppm y 1000 ppm de Gold Max sus valores son más negativos de -0,2897 V y 0,3071 V como se puede observar en la figura 6. Según la autora <sup>50</sup> de la investigación en corrosión de acero al carbono en soluciones cianuradas con concentraciones de 620 y 800 ppm especifica que sus potenciales obtenidos fueron de -0,26 y -0,28 V siendo énfasis que en ese estudio su comportamiento es menos corrosivo. Aunque la variabilidad que



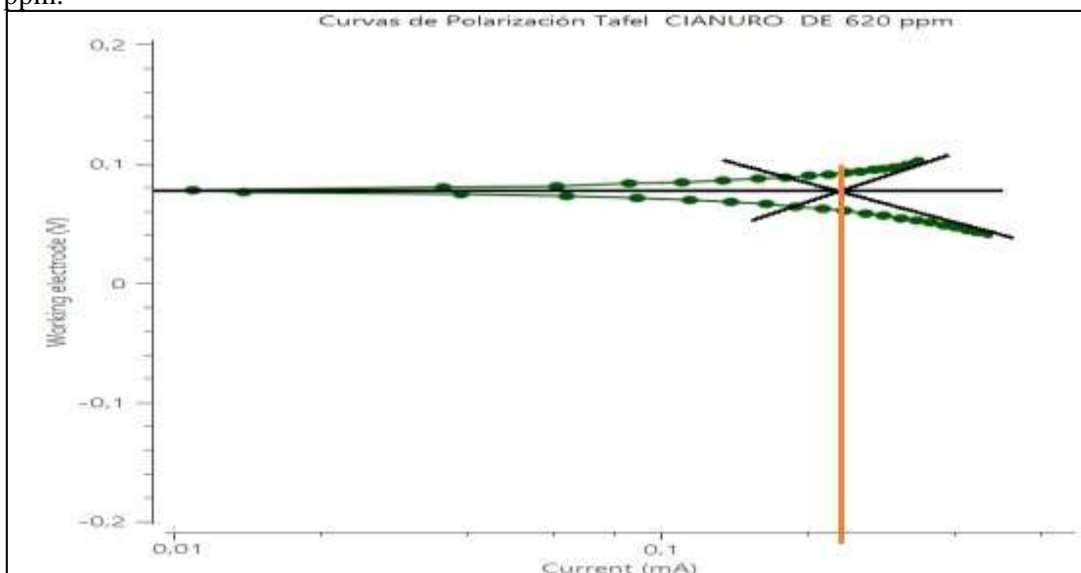
existe en los potenciales entre ambos estudios depende de donde se adquirió el metal e interferencias de otras aleaciones.

Con respecto a las concentraciones del Cianuro y Gold Max que se utilizó todos estos medios presentaron diferentes variaciones que permitieron comprender que las soluciones cianuradas son puntos que más se acercan a los valores positivos dando a entender que son valores que más tienden a ser estables y que los puntos de Gold Max son los alejados por los que su comportamiento es inestable.

### 3.2. Curvas potenciodinámicas Tafel.

3.2.1. *Curvas de polarización del cianuro 620 ppm.* Las curvas de polarización con respecto al cianuro de 620 ppm dieron un potencial 0,07760 V y dentro de sus resultados en la pendiente que se ha intersectado podemos determinar que la densidad de la corriente de corrosión es de 0,1167mA.

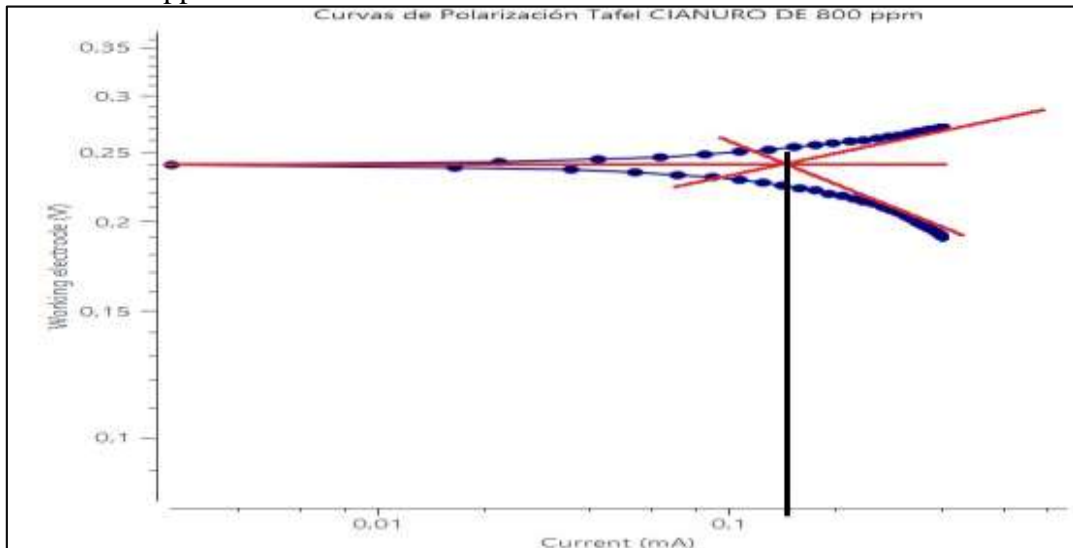
**Figura 7.** Curvas de Polarización con el método Tafel al acero al carbono con el cianuro 620 ppm.



**Fuente:** Elaboración propia

3.2.2. *Curvas de polarización del cianuro 800 ppm.* El valor que se le puede apreciar en las curvas de polarización con la concentración de 800 ppm en el cianuro dio un potencial de 0,2400 V, obteniendo como resultado en la pendiente de intersección que la densidad de corriente es de 0,1286 mA.

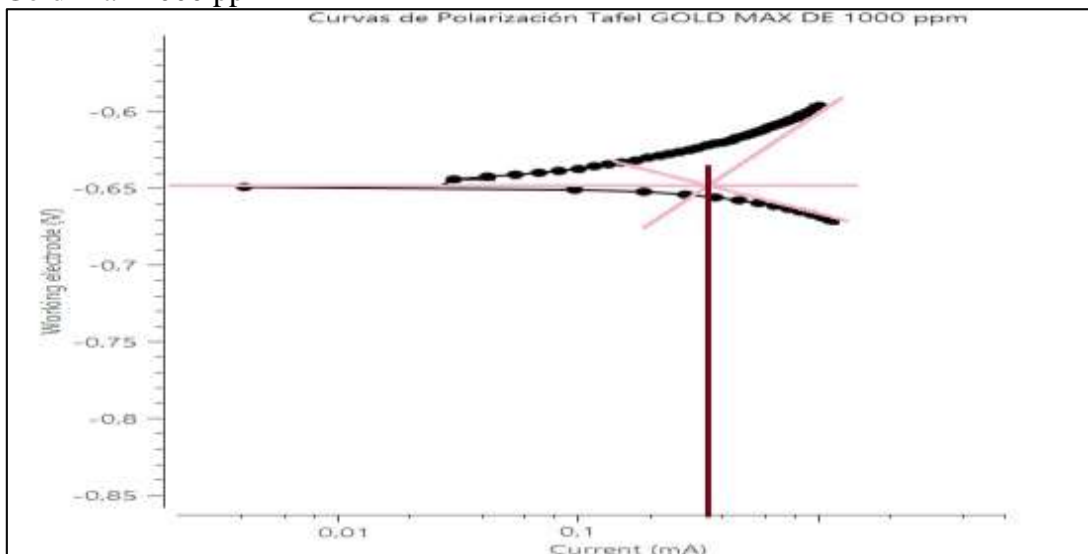
**Figura 8.** Curvas de polarización con el método Tafel al acero al carbono en solución de cianuro 800 ppm.



**Fuente:** Elaboración propia

3.2.3. *Curvas de polarización del Gold Max de 1000 ppm.* El valor que se le puede apreciar a las curvas de polarización con la concentración de 1000 ppm en el Gold Max dio un valor de  $-0,6493$  V, obteniendo como resultado en la pendiente de intersección que la densidad de corriente es de  $0,177333$  mA.

**Figura 9.** Curvas de Polarización con el método Tafel al acero al carbono en solución de Gold Max 1000 ppm

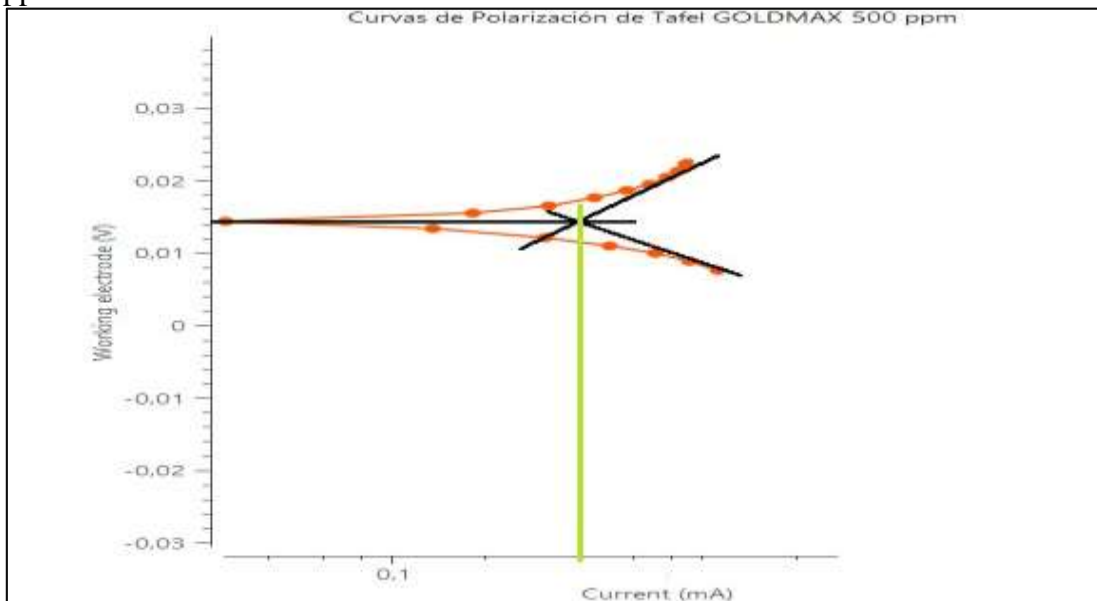


**Fuente:** Elaboración propia

3.2.4. *Curvas de polarización del Gold Max de 500 ppm.* El valor que se le puede apreciar a las curvas de polarización con la concentración de 500 ppm en el Gold Max dio un valor

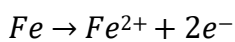
de potencial de 0,014300 V, obteniendo como resultado en la pendiente de intersección que la densidad de corriente es de 0,13043 mA.

**Figura 10.** Curvas de Polarización por el método Tafel en solución de Gold Max 500 ppm.



**Fuente:** Elaboración propia

3.2.5. *Cálculo de velocidad de corrosión.* A partir de la ecuación 7, se determina la velocidad de corrosión a partir de la densidad de corriente expresando de la siguiente manera:



$$\frac{V_{corr}}{A} = \frac{I_{corr} m}{\delta z F} = \frac{1.167 \cdot 10^{-4} A \cdot 55,85 g}{7,87 \frac{g}{cm^3} \cdot 2 \cdot 96500 A \cdot s} \cdot 1 cm^2 = 4,2910 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{cm}{s} \cdot \frac{1 pulg}{2,54 cm} \cdot$$

$$\frac{1000 mpulg}{1 pulg} = 1,6893 \cdot 10^{-6} \frac{mpulg}{s} \cdot \frac{3600 s}{1 h} \cdot \frac{24 h}{1 día} \cdot \frac{365 días}{1 año} = 53,27 \frac{mpulg}{año}$$

En la siguiente tabla muestra las densidades de corrosión de las probetas sometidas en diferentes soluciones:

**Tabla 5.** Densidad de corriente.

Concentraciones	Potencial	$i_{corr} \left( \frac{mA}{cm^2} \right)$	$V_{corr} \left( \frac{mpulg}{año} \right)$
620ppm	0,077600 V	0,1167	53,27
800ppm	0,024000 V	0,1286	58,70
500ppm	0,014300 V	0,1304	59,53
1000ppm	-0,64000 V	0,1773	80,94

**Fuente:** Elaboración propia

Los valores obtenidos de las densidades de corriente se obtuvieron a partir de las intersecciones tangentes anódicas y catódicas representadas en las gráficas anteriores, en las soluciones de Gold Max se obtuvieron densidades mayores por el cual mayor será la velocidad de corrosión en el metal. En las velocidades de corrosión de acuerdo a las concentraciones del cianuro de 620 y 800 ppm dan un resultados de 53,27 y 58,70  $\frac{mpulg}{año}$ ; y con respecto a las concentraciones de Gold Max del 500 y 1000 ppm se obtuvieron 59,53 y 80,94  $\frac{mpulg}{año}$  respectivamente. Por lo que podemos interpretar que el lixiviante Gold

Max tiene una velocidad de corrosión más alta que el cianuro. Según las autora <sup>50</sup> en relación a las diferentes concentraciones del medio cianurado se obtuvo velocidades de corrosión de 109,52 y 109,88  $\frac{mpulg}{año}$ , en el podemos enfatizar que al relacionar ambos estudios se deduce que el cianuro es de menor velocidad de corrosión. Ya que el análisis presenta velocidades de corrosión superiores al de nuestro estudio por lo que podemos hacer referencia que la investigación antes mencionada utilizó probetas de una plancha de acero ya utilizada de una empresa minera.

### 3.3. Corrosión por gravimetría

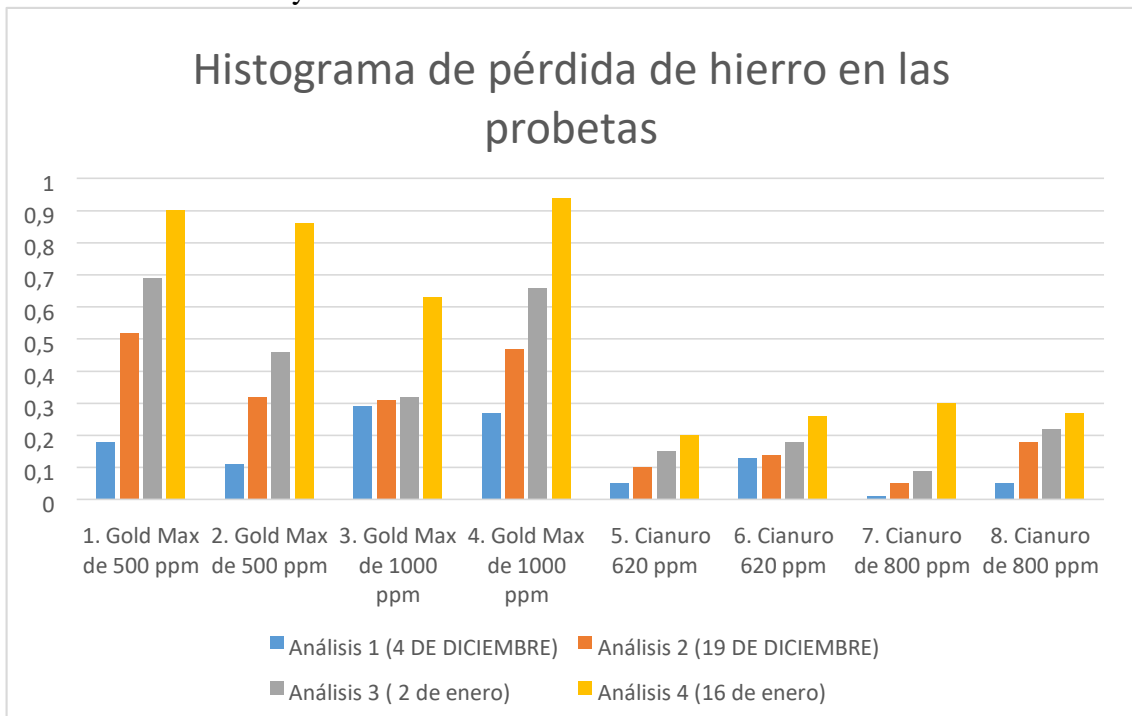
3.3.1. *Análisis de hierro en las muestras.* El análisis de hierro en las muestras en un lapso de 60 días nos permitió determinar lo siguiente:

**Tabla 6.** Análisis del hierro

Muestras	análisis 1 (4 de diciembre)	análisis 2 (19 de diciembre)	análisis 3 (2 de enero)	análisis 4 (16 de enero)
1. Gold Max de 500 ppm	0,18	0,52	0,69	0,90
2. Gold Max de 500 ppm	0,11	0,32	0,46	0,86
3. Gold Max de 1000 ppm	0,29	0,31	0,32	0,63
4. Gold Max de 1000 ppm	0,27	0,47	0,66	0,94
5. Cianuro 620 ppm	0,05	0,10	0,15	0,20
6. Cianuro 620 ppm	0,13	0,14	0,18	0,26
7. Cianuro de 800 ppm	0,01	0,05	0,09	0,30
8. Cianuro de 800 ppm	0,05	0,18	0,22	0,27

**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 11.** Análisis de hierro en las placas metálicas con las diferentes concentraciones en medios cianurados y Gold Max.



**Fuente:** Elaboración propia

Claramente en la figura 11, se puede observar que aquellas placas de acero al carbono que se encontraron sumergidas en Gold Max de 1000 ppm muestran niveles más altos con un valor de 0,94 mg/L de hierro; y los del cianuro tiene un nivel bajo siendo su valor más alto con 0,30 mg/L de hierro, con esto podemos determinar que las muestras con Gold Max tienden a corroer más rápido que el cianuro.

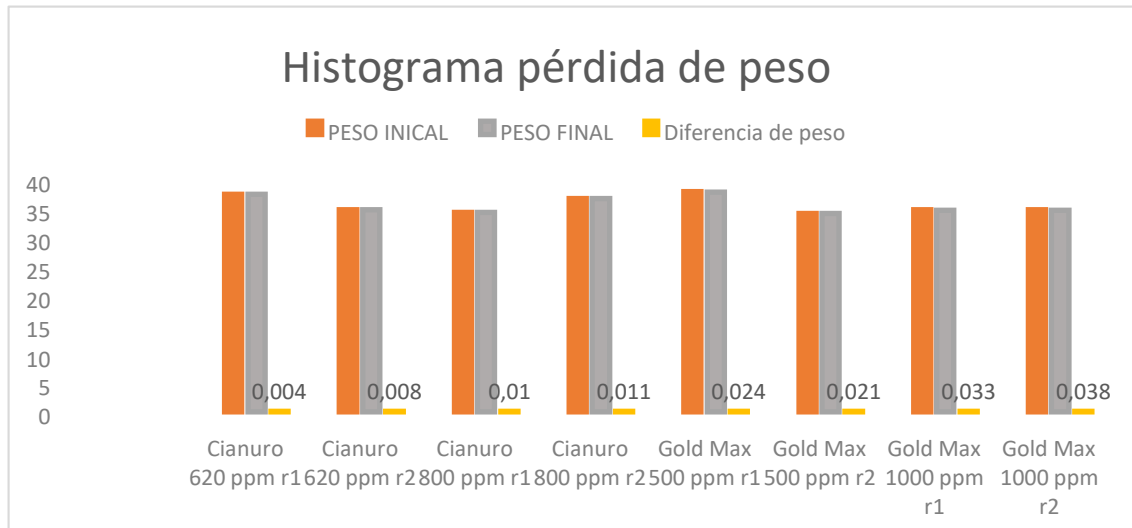
3.3.2. *Análisis pérdida de peso de las probetas.* Este método se realizó por pérdida de peso, consiste en registrar el peso de cada probeta inicial y final, este proceso se lo realizó por duplicado en un lapso de tiempo de 60 días.

**Tabla 7.** Condiciones iniciales de las probetas

<b>Solución</b>	<b>Concentración</b>	<b>Fecha de inicio (26-11-19)</b>	<b>Fecha final (26-01-19)</b>	<b>Diferencia de pesos de pérdida peso</b>
C1= Cianuro	620 ppm	37,460	37,456	0,004
C2= Cianuro	620 ppm	34,810	34,802	0,008
C3= Cianuro	800 ppm	34,410	34,400	0,010
C4= Cianuro	800 ppm	36,740	36,729	0,011
G1=Gold Max	500 ppm	37,920	37,899	0,024
G2=Gold Max	500 ppm	34,200	34,179	0,021
G3=Gold Max	1000 ppm	34,790	34,757	0,033
G4=Gold Max	1000 ppm	34,810	34,772	0,038

**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 12.** Pérdida de peso en las placas metálicas sumergidas en medios cianurados y Gold Max.



**Fuente:** Elaboración propia

En la gráfica 12, se puede evidenciar el desgaste del metal expuestas en soluciones corrosivos como el cianuro y Gold Max en distintas concentraciones en un tiempo de 60 días, siendo así los medios corrosivos de Gold Max presentando el mayor desgaste en las probetas.

3.3.3. *Cálculo de velocidad de corrosión.* Mediante la siguiente formula podremos determinar a velocidad de corrosión de las probetas que fueron sometidas a las diferentes soluciones:

$$V = \frac{\Delta W}{(A)(t)(\delta)}$$

Datos:

W: diferencia de pesos g

Área de las probetas:  $1 \text{ cm}^2$  t:

Tiempo: 60 días

$\delta$ : densidad del acero  $7,87 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$

$$V_{corr} = \frac{\Delta W}{(A)(t)(\delta)} = \frac{0,006 \text{ g}}{1 \text{ cm}^2 \cdot 60 \text{ días} \cdot 7,87 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}} = 1,825927573 \frac{\text{mpulg}}{\text{año}}$$

**Tabla 8.** Velocidad de corrosión en mpulg/año

Solución	Concentración (ppm)	Diferencia de la pérdida de pesos (g)	Promedio de la Diferencia de pérdida de pesos (g)	$\frac{\text{mpulg}}{\text{año}}$ de velocidad corrosión
C1=Cianuro	620 ppm	0,004	0,006	1,825927573
C2=Cianuro	620 ppm	0,008		
C3=Cianuro	800 ppm	0,01	0,0105	3,195373253
C4=Cianuro	800 ppm	0,011		
G1=Gold Max	500 ppm	0,024	0,0225	6,847228399
G2=Gold Max	500 ppm	0,021		
G3=Gold Max	1000 ppm	0,033	0,0355	10,80340481
G4=Gold Max	1000 ppm	0,038		

**Fuente:** Elaboración propia

En la Tabla 8, se calculó la velocidad de corrosión en mpulg/año en las distintas soluciones de cianuro y Gold Max en lo que podemos afirmar que el mas corrosivo es el medio Goldmax con una concentración de 1000 ppm dando como resultado 10,8034

$\frac{\text{mpulg}}{\text{año}}$ ; según los autores<sup>51</sup> con respecto a la corrosión de acero inoxidable en la solución de 10 g/L de cianuro a las que fueron sometidas dichas muestras; se obtuvo un resultado de 3,17  $\frac{\text{mpulg}}{\text{año}}$  a un temperatura de 25°C, con un rango de pH de 12 a 14 en aproximadamente 7 días.



## CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES

- En el presente trabajo investigativo se concluye que por medio de métodos electroquímicos como el Potencial circuito abierto, Curvas de polarización tafel y gravimétrico ayudan a demostrar la velocidad de corrosión en el metal, en soluciones corrosivas como el cianuro y Gold Max empleados en procesos de lixiviación.
- Se determinó los potenciales de corrosión en las probetas inmersas en soluciones cianuradas y de Gold Max, siendo así que el cianuro muestra valores más positivos entre -0,1224 V a - 0,1648 V teniendo un comportamiento menos corrosivo en cambio en soluciones de Gold Max dando valores más negativos entre -0,2897 V a -0,3071 V mostrando un comportamiento más corrosivo.
- A partir de las intersecciones en las curvas de polarización se obtienen densidades de corriente de corrosión para el caso del cianuro de 620 ppm es de 53,27 mA/cm<sup>2</sup>, cianuro de 800 ppm es de 58,70 mA/cm<sup>2</sup> y para el caso del Gold Max de 500 ppm es de 59,53 mA/cm<sup>2</sup>, Gold Max de 1000 ppm es de 80,94 mA/cm<sup>2</sup>, a partir de estas densidades se logró determinar que en soluciones de Gold Max de diferentes concentraciones presentan mayores velocidades de corrosión.
- Por medio del método pérdida de peso se puede comparar el desgaste del metal entre dos medios corrosivos en diferentes concentraciones en un periodo de tiempo de 60 días especificando que el metal en soluciones de cianuro de 620 ppm perdió 0,006 g, en cianuro de 800 ppm perdió 0,0105 g en cambio con soluciones de Gold Max de 500 ppm hubo pérdida de 0,0225g y el de 1000 ppm hubo pérdida de 0,0355 g, señalando que el deterioro del metal en medios cianurados es menor en medios de Gold Max.

## **CAPÍTULO V: RECOMENDACIONES**

- Emplear un buen manejo de limpieza en los electrodos para que no existan interferencias durante el desarrollo de las curvas.
- Aplicar otros métodos electroquímicos relacionados con el estudio de la corrosión como es la Resistencia de polarización, Voltametría cíclica, Espectroscopia de impedancia electroquímica entre otras.
- Realizar futuras investigaciones de corrosión en acero al carbono utilizando Gold Max empleado en la lixiviación aurífera.

## BIBLIOGRAFÍA

- (1) Castro Vivanco, D. Situación Actual Minería En Ecuador, 2019, Vol. 8.
- (2) López Revelo, M. Análisis de Impactos Paisajísticos y Vulnerabilidad Física Derivados de La Actividad Minera, 2018. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.
- (3) Medina, A. . La Explotación Minera a Cielo Abierto y Su Incidencia En Los Derechos de La Naturaleza En El Cantón Quito , Parroquia Pintag., Universidad Central del Ecuador, 2017.
- (4) Massa, P.; Del Cisne Arcos, R.; Maldonado, D. Minería a Gran Escala y Conflictos Sociales: Un Análisis Para El Sur de Ecuador. *Probl. del Desarro. Rev. Latinoam. Econ.* **2018**, *49* (194), 119–141. <https://doi.org/10.22201/iiec.20078951e.2018.194.63175>.
- (5) Zhang, J.; Tan, Y.; Li, S.; Wang, Y.; Jia, R. Comparison of Alternative Strategies Estimating the Kinetic Reaction Rate of the Gold Cyanidation Leaching Process. *ACS Omega* **2019**, *4* (22), 19880–19894. <https://doi.org/10.1021/acsomega.9b02803>.
- (6) Tiwari, M. K.; Bajpai, S.; Dewangan, U. K.; Tamrakar, R. K. Suitability of Leaching Test Methods for Fly Ash and Slag: A Review. *J. Radiat. Res. Appl. Sci.* **2015**. <https://doi.org/10.1016/j.jrras.2015.06.003>.
- (7) Olyaei, Y.; Noparast, M.; Tonkaboni, S. Z. S.; Haghi, H.; Amini, A. Response of Low-Grade Gold Ore to Cyanidation and Thiourea Leaching. *Part. Sci. Technol.* **2019**, *37* (1), 86–93. <https://doi.org/10.1080/02726351.2017.1343881>.
- (8) Sernageomin. Guía Metodológica Para La Presentación de Proyectos Plantas de Lixiviación. Chile 2016.
- (9) García-Arreola, M. E.; Flores-Vélez, L. M.; Loredó-Tovías, M.; Aguillón-Robles, A.; López-Doncel, R. A.; Cano-Rodríguez, I.; Soriano-Pérez, S. H. Assessment of the Acid Drainage Neutralization Capacity and the Toxic Metals Lixiviation of Tailing from Guanajuato Mining District, Mexico. *Environ. Earth Sci.* **2018**, *77* (9). <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7521-4>.
- (10) Knoblauch, A. M.; Farnham, A.; Ouoba, J.; Zanetti, J.; Müller, S.; Jean-Richard, V.; Utzinger, J.; Wehrli, B.; Brugger, F.; Diagbouga, S.; et al. Potential Health Effects of Cyanide Use in Artisanal and Small-Scale Gold Mining in Burkina Faso. *J. Clean. Prod.* **2020**, *252*, 119689. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119689>.

- (11) Guere, F. Remoción Del Cianuro Con El Complejo (CuSO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) de Los Efluentes de Cianuración de Oro Para Evitar Riesgos a La Salud y Al Ambiente, 2016.
- (12) Conza, F. E. Estudio de Investigación Para Recuperar Oro y Plata Con Cianuro y Gold Max de Los Relaves de Flotación, Universidad Nacional de San Agustín, 2018.
- (13) Freddy, P. D. Evaluación Del Reactivo Gold Max En Minerales Auríferos Refractarios, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann-Tacna, 2019.
- (14) Dani, C. C. J. R. E. Influencia Del Cianuro de Sodio, Gold Max y Sandioss En La Recuperación de Oro Por Lixiviación de Un Mineral Oxidado de Sayapullo, La Libertad. *Ucv* **2019**, 0–116.
- (15) Ming, J.; Shi, J. Distribution of Corrosion Products at the Steel-Concrete Interface: Influence of Mill Scale Properties, Reinforcing Steel Type and Corrosion Inducing Method. *Constr. Build. Mater.* **2019**, 229, 116854. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116854>.
- (16) Carrillo, J.; Silva-Páramo, D. Ensayos a Flexión de Losas de Concreto Sobre Terreno Reforzadas Con Fibras de Acero. *Ing. Investig. y Tecnol.* **2016**. <https://doi.org/10.1016/j.riit.2016.07.003>.
- (17) Martínez, E.; González-Estrada, O. A.; Martínez, A. Evaluación de Las Propiedades Tribológicas de Materiales Compuestos de Matriz Metálica (MMCs) Procesados Por Técnicas de Fabricación Aditiva Con Haz Láser (SLM). *Rev. UIS Ing.* **2107**. <https://doi.org/10.18273/revuin.v16n1-2017010>.
- (18) Štrbac, N.; Marković, I.; Mitovski, A.; Balanović, L.; Živković, D.; Grekulović, V. Posibilidades de Reutilización de La Chatarra de Acero Para La Obtención de Cuchillas Para Cortar. *Rev. Metal.* **2017**. <https://doi.org/10.3989/revmetalm.086>.
- (19) Damião, C. A.; Alcarria, G. C.; Teles, V. C.; de Mello, J. D. B.; da Silva, W. M. Influence of Metallurgical Texture on the Abrasive Wear of Hot-Rolled Wear Resistant Carbon Steels. *Wear* **2019**, 426–427 (December 2018), 101–111. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2019.01.046>.
- (20) Pashangeh, S.; Somani, M.; Sadegh, S.; Banadkouki, G. Microstructural Evolution in a High-Silicon Medium Carbon Steel Following Quenching and Isothermal Holding above and below the M<sub>s</sub> Temperature. *Integr. Med. Res.* **2020**, No. x x, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.01.081>.
- (21) López Badilla, G.; Sánchez, C.; Paz Delgadillo, J.; Ling López, J. Análisis de Corrosión En Aceros Con Recubrimientos Impacta En La Competitividad En La Industria Metalmeccánica de Mexicali. *Investig. y Cienc. la Univ. Autónoma Aguascalientes* **2016**, No. 69, 39–46.

- (22) Zavaleta Gutierrez, N. E.; Polo-briceño, E. R. Efecto Del Tratamiento Térmico Sobre La Resistencia Mecánica , Corrosión Intergranular y Exfoliación de La Aleación de Aluminio 7075. *Materia* **2018**, 23. <https://doi.org/10.1590/s1517707620180002.0337>.
- (23) Gualoto, M.; Panchi, J. Determinación de Dureza En El Material AISI 5115 Sometido a Tratameinto Térmico de Cementado y Nitrurado, 2019.
- (24) Guerrero Lara, E. Estudio de Los Tratamientos Térmicos En El Acero AISI 1045 En Un Sistema Acuoso Evaluados Con La Norma ASTM G105-89 Que Permitirá Determinar La Velocidad de Desgaste Del Material., 2018.
- (25) Rodríguez, H. O. Soldadura de Los Aceros Inoxidables Austeníticos Aleados Al Cromo-Níquel. Recomendaciones Tecnológicas. *Ciencias Holguín* **2017**, 23 (2), 1–10.
- (26) Zappa, S.; Pérez, H.; Svoboda, H.; Surian, E. Caracterización Del Comportamiento Frente a La Corrosión En Soldaduras de Recargue de Aceros Inoxidables Superdúplex. *Matéria (Rio Janeiro)* **2018**. <https://doi.org/10.1590/s1517707620180002.0351>.
- (27) Arellano-Pérez, J. H.; Ramos Negrón, O. J.; Escobar-Jiménez, R. F.; GómezAguilar, J. F.; Uruchurtu-Chavarín, J. Development of a Portable Device for Measuring the Corrosion Rates of Metals Based on Electrochemical Noise Signals. *Meas. J. Int. Meas. Confed.* **2018**, 122 (March), 73–81. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.03.008>.
- (28) Candelaria, T.-R. M.; Ebelia, D. Á.-M.; Germán, B.-M. R.; Elena, H.-M. N. Corrosividad Atmosférica Del Cobre y Del Acero En Dos Localidades de Villahermosa, Tabasco. *Ing. Investig. y Tecnol.* **2015**. <https://doi.org/10.1016/j.riit.2015.03.004>.
- (29) Parra, M. P. Obtención y Evaluación Electroquímica de Recubrimientos Por Niquelado Químico Sobre Aceros Proyectoados Térmicamente Con Cobre y Una Aleación Cobre-Aluminio., 2016.
- (30) Arqueros, E. O. U. Influencia de La Temperatura y Potencial Electroquímico de Protección Sobre La Resistencia a La Corrosión Del Acero API 5L Grado B, Expuesto En Una Solución Acuosa de NaCl Al 3.5%, 2018, Vol. 4.
- (31) Salazar, J. A. Introduction to Corrosion Phenomena: Types, Influencing Factors and Control for Material's Protection, 2015, Vol. 28.
- (32) Bonilla Mielles, F. Eficacia de Los Inhibidores de Corrosión En La Reparación Estructural, 2017.
- (33) Valdez, A. L. Recubrimiento Por Electrólisis Para La Plastificacion Superficiales Metálicas, 2019. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.

- (34) Pacora Herrera, M. Corrosión Del Acero Corrugado e Integridad En Estructuras de Concreto Armado En El Asentamiento Humano San José de Manzanares En El 2017”, 2017.
- (35) Román, A. S.; Barrientos, M. S.; Harms, F.; Marcelamendez, C.; Estherares, A. Resistencia Corrosión de Acero Inoxidable AISI 304L En Biodiesel de Soja. *An. Afa* **2016**, 27 (1), 14–18.
- (36) González, C. G.; Japón, A. T.; Días, K. B.; Cabrera, C. Z. Técnicas Y Métodos Electroquímicos: Galvanoplastia y Potenciometría. *Alternativas* **2018**. <https://doi.org/10.23878/alternativas.v19i1.196>.
- (37) Montes, O. F.; Garcés, R. S.; Reyes, F. A. R.; Zambrano, C.; López, F. H. E.; Calderón, F. A.; Mexicana, C.; Investigación, D.; Comimsa, S. A. D. C. V; Estudios, D. De; et al. Comportamiento a La Corrosión Del Acero API X70 Soldado Por El Proceso de Doble Arco Sumergido Inmerso En Diferentes Medios Corrosivos. **2016**, 21 (2), 172–184. <https://doi.org/10.1590/0104-9224/SI2102.07>.
- (38) Alfaro, M.; Alfaro, I. Construcción de Un Potenciostato de Bajo Costo Para Estudios de Inhibición de Corrosión de Acero: Determinación Del Potencial de Corrosión y Mediciones Cronoamperométricas. **2017**, 269–274. <https://doi.org/10.1016/j.eq.2017.05.006>.
- (39) Zadorozne, N. S.; Vier, J. D.; Rebak, R. B.; Ares, A. E. Efecto de La Composición Sobre El Comportamiento Frente a La Corrosión de Aceros Inoxidables Austeníticos y Martensíticos. *Rev. Mater.* **2018**, 23 (2). <https://doi.org/10.1590/s1517-707620180002.0387>.
- (40) Pickert Álvarez, C. Estudio de La Corrosión Producida En Zona Intermareal de Pilotes de Acero, 2016.
- (41) Mostafanejad, A.; Iranmanesh, M.; Zarebidaki, A. An Experimental Study on Stress Corrosion Behavior of A131/A and A131/AH32 Low Carbon Steels in Simulated Seawater. *Ocean Eng.* **2019**, 188 (March), 106204. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2019.106204>.
- (42) Estrada, J. Optimización de Electroodos de Trabajo En Celdas Electroquímicas Para La Desemulsificación de Crudos Pesados, 2018.
- (43) Yadav, A.; Kumar, R.; Choudhary, H. K.; Sahoo, B. Graphene-Oxide Coating for Corrosion Protection of Iron Particles in Saline Water. *Carbon N. Y.* **2018**, 140, 477–487. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2018.08.062>.
- (44) Mariano, A. Preparación y Caracterización de Materiales Catalíticos Para Una Celda de Combustible de Metanol Directo . Análisis Del Desempeño de Un Prototipo, 2019.

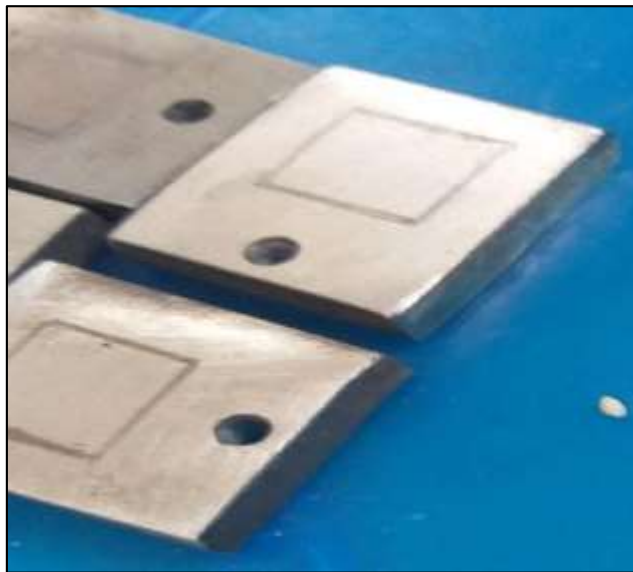
- (45) Loto, C. A.; Fayomi, O. S. I.; Loto, R. T.; Popoola, A. P. I. Potentiodynamic Polarization and Gravimetric Evaluation of Corrosion of Copper in 2M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and Its Inhibition with Ammonium Dichromate. *Procedia Manuf.* **2019**, *35*, 413–418. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.05.061>.
- (46) Franco, M. I. Estudio Electroquímico de Las Interacciones Formadas Por El Extracto Activo de Las Hojas de Morinda Citrifolia En La Inhibición de La Corrosión de Acero Estructural., 2017.
- (47) Díaz, D. J.; Kramer, G. R.; Traid, H. D.; Méndez, C. M.; Ares, A. E. Caracterización Electroquímica de Películas de Óxido de Zinc Obtenidas Por Anodizado En Medio Alcalino. *Rev. Mater.* **2018**, *23* (2). <https://doi.org/10.1590/s1517-707620180002.0397>.
- (48) Melara, E. K.; Mendes, A. Z.; Andreczevecz, N. C.; Bragança, M. O. G. P.; Carrera, G. T.; Medeiros-Junior, R. A. Monitoring by Electrochemical Impedance Spectroscopy of Mortars Subjected to Ingress and Extraction of Chloride Ions. *Constr. Build. Mater.* **2020**, *242*, 118001. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118001>.
- (49) Lidia, G. V. Eficiencia de Un Inhibidor Verde Extraído de Cáscara de Manzana Mediante El Sistema Soxhlet En La Corrosión Del Acer 1018 En Medio Ácido, 2016.
- (50) TelloRomán, D. Estudio Comparativo de La Corrosión de Materiales En Acero En Medios Cianurados y de Tiourea Suceptibles Al Deterioro Utilizando Técnicas Electroquímicas En La Empresa Minera Franromec., 2015.
- (51) Armas Morales, O.; Paredes Javier, M. Corrosión En Ánodos de Acero Inoxidable AISI-304 En Celdas Electrolíticas Conteniendo Soluciones Cianuradas Artificiales de Desorción., 2007, Vol. 4.

## ANEXOS

### 1. Preparación de las probetas



**Anexo 2.** \_Corte y pulido de las probetas. de platino en las probetas. **Anexo 1.** \_Colocación del alambre



**Anexo 3.** \_Área de exposición de 1cm<sup>2</sup> en cada probeta.



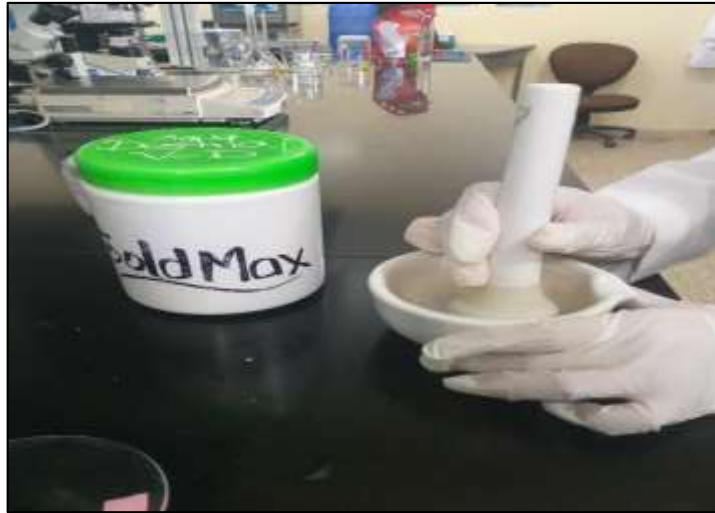


**Anexo 4.\_** Colocar la masilla epóxica.



**Anexo 5.**\_Medición de la corriente de cada una de probetas.

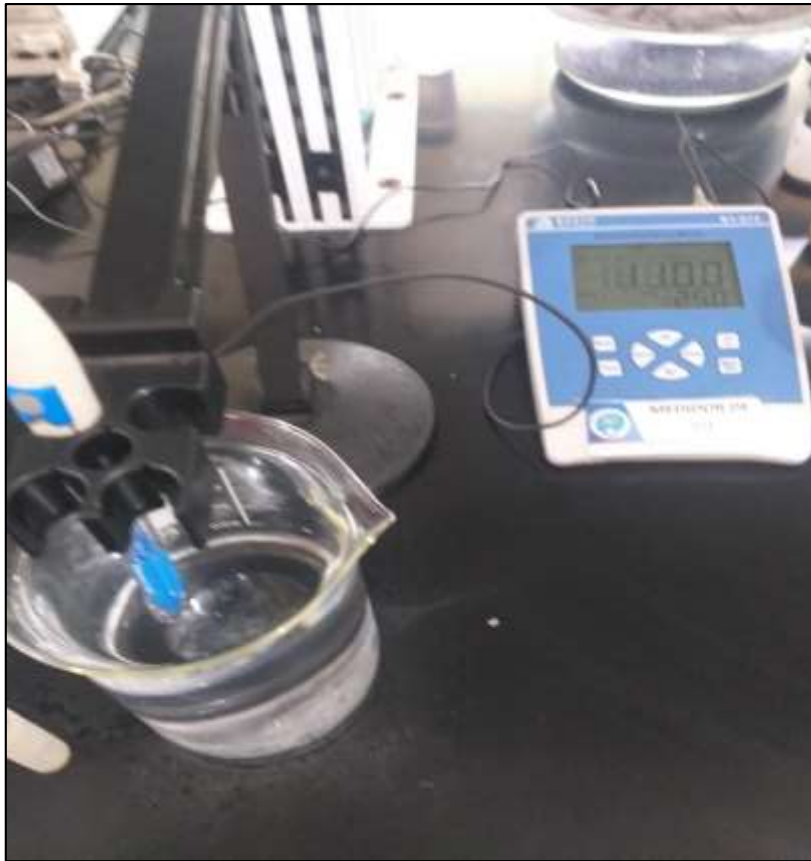
## **2. Preparación de disoluciones**



**Anexo 6.**\_En un mortero se muele el goldmax y el cianuro.



**Anexo 7.**\_Se pesan las cantidades de Gold Max y el cianuro.



**Anexo 8.** Llevar el agua desionizada aun pH de acuerdo a cada sustancia.



**Anexo 9.** Llevar el agua desionizada aun pH de acuerdo a cada sustancia.



**Anexo 10.** \_Ubicación de las probetas con las diferentes concentraciones.

### **3. Análisis de las muestras**



**Anexo 11** . \_Potenciostato Parstat MC para la medición de circuito abierto y curvas de polarización.



**Anexo 12.** Espectrofotómetro HACH DR/2010 para la determinación de hierro en las placas de acero al carbono.