

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS



CURSO DE ESPECIALIZACIÓN EN:
INTRODUCCIÓN AL CONTROL DE LA CORROSIÓN INDUSTRIAL
EVALUACIÓN DE LA PROTECCIÓN ANTICORROSIVA DEL
PROCESO DE GALVANIZACIÓN EN CALIENTE DEL ACERO AL
CARBÓN EN PRUEBAS DE CORROSIÓN ACELERADA

PRESENTADO POR:

GALLARDO CASTILLO, KATHERINE MARÍA

MARÍN JIMÉNEZ, DIANA ODILÍ

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO(A) QUÍMICO

CIUDAD UNIVERSITARIA, DICIEMBRE 2023

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

M.Sc. JUAN ROSA QUINTANILLA QUINTANILLA

SECRETARIO GENERAL:

LIC. PEDRO ROSALÍO ESCOBAR CASTANEDA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO:

ING. LUIS SALVADOR BARRERA MANCÍA

SECRETARIO:

ARQ. RAUL ALEXANDER FABIÁN ORELLANA

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS

DIRECTORA INTERINA:

Inga. Eugenia Salvadora Gamero de Ayala

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS

CURSO DE ESPECIALIZACIÓN EN: INTRODUCCIÓN AL CONTROL DE LA
CORROSIÓN INDUSTRIAL

**EVALUACIÓN DE LA PROTECCIÓN ANTICORROSIVA DEL
PROCESO DE GALVANIZACIÓN EN CALIENTE DEL ACERO AL
CARBÓN EN PRUEBAS DE CORROSIÓN ACELERADA**

Para optar al título de:

INGENIERO(A) QUÍMICO

Presentado por:

GALLARDO CASTILLO, KATHERINE MARÍA

MARÍN JIMÉNEZ, DIANA ODILÍ

Docente asesor:

ING. HÉCTOR MANUEL GUERRA PÉREZ

CIUDAD UNIVERSITARIA, DICIEMBRE 2023

Trabajo de Grado aprobado por

DOCENTE ASESOR:

ING. HÉCTOR MANUEL GUERRA PÉREZ

DEDICATORIAS

A Dios por permitirme culminar esta etapa Universitaria.

A mi familia presente y a los que ya no están conmigo que, desde siempre animaron y acompañaron toda mi vida estudiantil. Especialmente a mi madre Arely Castillo, quien, desde la selección de la carrera universitaria hasta el final de esta, me brindó además de todo su amor, las herramientas y el apoyo incondicional que necesité desde las cosas pequeñas hasta las más grandes en todas las etapas para poder salir adelante

A mi compañera y buena amiga Diana Marín por brindarnos mutuamente el apoyo y la empatía necesaria para construir el equipo de estudio y amistad que nos permite culminar nuestra carrera universitaria.

A mis amigos que nos conocimos en el proceso universitario desde el primer ciclo en el que, a manera retórica todos dedujimos que estábamos en el mismo barco e hicimos este viaje además de íntegro y profesional, ameno, divertido y lo logramos no solo preocupándonos individualmente, sino que trabajando en equipo. Al equipo de compañeros con los que nos apoyamos académicamente y que en jornadas de estudios compartimos tanto conocimiento teórico como risas; finalmente a los amigos que también fueron parte de este trayecto complementando otras áreas de mi vida de manera paralela a la vida estudiantil.

KATHERINE GALLARDO

Dedico este trabajo a mis padres, cuyo apoyo incondicional y sabios consejos han sido la fuerza impulsora detrás de este logro. Al resto de mi familia, quienes siempre han estado a mi lado, brindándome aliento y motivación a lo largo de este viaje académico.

A mis amigos, quienes han compartido momentos inolvidables durante estos años de estudio. Su apoyo ha sido invaluable.

A todos los que han contribuido de alguna manera a mi desarrollo académico y personal, les dedico este esfuerzo con sincero agradecimiento.

DIANA MARÍN

AGRADECIMIENTOS

A los profesores de la Escuela de Ingeniería Química y Alimentos de la Universidad de El Salvador que tuvieron la mejor disposición y crearon estrategias aun en la pandemia de COVID- 19 para poder transmitirnos todos los conocimientos y herramientas para la vida profesional

Al Ingeniero Héctor Guerra por ser el facilitador del curso de Introducción al Control de la Corrosión Industrial y compartir sus conocimientos, además de asesorarnos para culminar nuestro trabajo de investigación.

A las entidades externas de la Universidad de El Salvador que nos brindaron recursos y equipos para llevar a cabo nuestro trabajo de investigación.

RESUMEN

El trabajo de investigación consiste en evaluar la corrosión de sustratos con 6 diferentes espesores, cada sustrato contiene mínimo 3 muestras, cada uno con diferentes espesores de recubrimiento de zinc bajo la técnica de inmersión en caliente cumpliendo con el espesor mínimo que requiere la norma A123, luego las muestras se colocan en un ambiente de corrosión acelerada a través equipo de niebla salina que se rige bajo la norma ASTM B117. Se evalúa la corrosión bajo ASTM D610:2019 y la norma ASTM D1654:2008 que clasifica la corrosión la fuga de la corrosión a través de una incisión al revestimiento que cubre el sustrato. En el que el que a lo largo del experimento se observó pasivación en las incisiones, la corrosión que estuvo presentes en todas las muestras fue de tipo general; el grado de avance de las muestras varía entre 3G a 7G siendo el más recurrente el de 5. El fenómeno de fuga de corrosión no se observó.

Contenido

INTRODUCCIÓN	1
1. CAPÍTULO I: GENERALIDADES	2
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.2. OBJETIVOS	3
1.2.1. Objetivo general.....	3
1.2.2. Objetivos específicos	3
1.3. JUSTIFICACIÓN	4
1.4. MARCO DE REFERENCIA	5
1.4.1. Norma ASTM B117:2019	5
1.5. RECURSOS	6
1.5.1. Recursos proporcionados por el estudiante	6
1.5.2. Recursos brindados por la Universidad	6
1.5.3. Recursos brindados por terceros	6
2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	6
2.1. Corrosión	6
2.2. Tipos de corrosión	7
2.2.1. Corrosión uniforme o general	8
2.2.2. Corrosión por picadura	9
2.2.3. Corrosión galvánica	10
2.3. Factores que afectan la corrosión	10
2.3.1. Naturaleza del metal	10
2.3.2. Naturaleza del entorno de corrosión	11
2.4. Control de la corrosión	11
2.5. Recubrimientos	12
2.5.1. Tipos de recubrimientos	13
2.6. Acero	14
2.7. Acero A-36	14
2.8. Ventajas y desventajas del acero	14
2.9. Demanda del acero en El Salvador	14
2.10. Acero Galvanizado	15
2.11. Galvanización por inmersión en caliente	15
2.11.1. Proceso de galvanización por inmersión en caliente	15
2.12. Ensayo de corrosión	16
2.12.1. Ensayo de corrosión en ambiente natural	16
2.12.2. Ensayo de corrosión de inmersión de aguas naturales.....	16
2.12.3. Corrosión en condiciones aceleradas o intemperismo.....	16
2.13. Repasivación	17
3. CAPÍTULO III: METODOLOGÍA Y ANÁLISIS	18

3.1.	Consideraciones previas	18
3.2.	Obtención de las muestras de recubrimiento de zinc de láminas de acero A- 36	18
3.3.	Metodología	21
3.4.	Preparación de especímenes	22
3.4.1.	Incisión	22
3.5.	Clasificación de la muestra de acuerdo con su recubrimiento.	22
3.6.	Descripción de muestras a evaluar	23
3.7.	Manejo de muestras y cámara salina durante el proceso experimental	24
3.7.1.	Condiciones a la que se encuentra la cámara salina	24
3.8.	Evaluación de la corrosión	25
3.8.1.	“Evaluación 1” de acuerdo con la norma ASTM D610:2019	25
3.8.2.	“Evaluación 2” de acuerdo con la norma ASTM D1654:2008	25
3.9.	Preparación y observaciones semanales	26
3.10.	RESULTADOS	32
3.11.	OBSERVACIONES	47
4.	CONCLUSIONES	48
5.	RECOMENDACIONES	49
6.	BIBLIOGRAFÍA	50
7.	ANEXOS	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1 PROCESO DE OBTENCIÓN DE MUESTRAS DE GALVANIZADO EN LÁMINAS DE ACERO A-36	18
Tabla 3-2 DESCRIPCIÓN DE LAS MUESTRAS A EVALUAR.....	23
Tabla 3-3 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	26
Tabla 3-4 OBSERVACIONES SEMANALES	28
Tabla 3-5 CAMBIO DE ESPESOR A TRAVÉS DEL TIEMPO.....	31
Tabla 3-6 RESULTADOS A 1500 HRS DE EVALUACIÓN.....	32
Tabla 3-7 RESUMEN DE CLASIFICACIÓN DE CORROSIÓN POR ESPÉCIMEN.....	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1: Representación de una celda electroquímica.....	7
Figura 2-2: Grupos y categorías de tipos de corrosión.	8
Figura 2-3 Tipos de picaduras.	9
Figura 2-4 Corrosión galvánica en láminas acopladas con remaches.	10
Figura 2-5 Métodos de control de la corrosión	12
Figura 2-6 Diagrama de Pourbaix.....	17
Figura 3-1 Espécimen en una pila con desengrasante.....	18
Figura 3-2 Espécimen en inmersión en una pila de ácido clorhídrico.....	18
Figura 3-3 Espécimen en inmersión en una pila de enjuague para quitar trazas de ácido clorhídrico.....	18
Figura 3-4 Tiempo de espera para escurrir el exceso de enjuague en los especímenes.....	19
Figura 3-5 Espécimen en inmersión de enjuague neutro	19
Figura 3-6 Flameado después de la inmersión de enjuague neutro	19
Figura 3-7 Inmersión de espécimen en Flux.....	20
Figura 3-8 Inmersión en caliente de los especímenes en una pila de zinc	20
Figura 3-9 Medición de espesor con PosiTector 6000	20
Figura 3-10 Diagrama de proceso experimental.....	21
Figura 3-11 Incisión en la muestra.....	22
Figura 3-12 Configuración del equipo de cámara salina que cumple con especificaciones de norma ASTM B117	24
Figura 3-13 Especímenes introducidos en la cámara salina	24

INTRODUCCIÓN

La corrosión es un proceso natural que afecta a los metales cuando interactúan con su entorno. Este fenómeno puede tener diversos efectos negativos en la calidad, la durabilidad y el rendimiento de los materiales metálicos. Así mismo, la corrosión aumenta los costos asociados con el mantenimiento y la reparación de estructuras y equipos metálicos. La necesidad de reparaciones frecuentes y la sustitución de componentes corroídos pueden ser costosas.

Para prevenir o mitigar los efectos de la corrosión existen diversas técnicas y recubrimientos protectores como la galvanización, este método es ampliamente utilizado en la industria para prolongar la vida útil de los objetos metálicos y prevenir la degradación causada por la exposición a la humedad, el oxígeno y otros agentes corrosivos, siendo la galvanización por inmersión en caliente el método más común y a su vez un proceso eficaz para proteger los metales proporcionando una capa protectora duradera.

Existen varios ensayos y pruebas diseñados para evaluar la resistencia a la corrosión de materiales y recubrimientos metálicos. Estos ensayos ayudan a determinar la capacidad de un material para resistir la degradación causada por agentes corrosivos como la humedad, los productos químicos, la salinidad, entre otros.

En el trabajo de aplicación se evaluará el desempeño anticorrosivo del acero al carbón posterior al galvanizado en caliente mediante pruebas en un equipo de intemperismo acelerado bajo la norma ASTM B117:2019. Posterior de la exposición a las condiciones aceleradas, se realizarán evaluaciones visuales estandarizadas utilizando las normas ASTM D610:2019 y ASTM D1654:2008 donde se determinará la cantidad y distribución de la oxidación superficial visible, asignándole un porcentaje de corrosión al área del espécimen en evaluación.

CAPITULO I: GENERALIDADES

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El trabajo de investigación tiene como finalidad evaluar el desempeño anticorrosivo del acero al carbón posterior al galvanizado en caliente mediante pruebas de corrosión acelerada en cámara salina.

Se realizará la exposición de muestras de acero galvanizado en un equipo de intemperismo acelerado para pruebas de corrosión bajo la norma ASTM B117:2019. Por medio de evaluaciones visuales estandarizadas, utilizando las normas ASTM D610:2019 y ASTM D1654:2008 se determinará la cantidad y distribución de la oxidación superficial visible.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo general

Evaluar la protección anticorrosiva del proceso de galvanización en caliente del acero al carbón tipo A-36.

1.2.2. Objetivos específicos

1. Identificar el grado de corrosión en los especímenes de acuerdo con las normas ASTM D610:2019 y ASTM D1654:2008.
2. Establecer la durabilidad del acero galvanizado frente al ambiente salino en pruebas de corrosión acelerada.
3. Comparar la resistencia de la corrosión de diferentes espesores de galvanizado bajo un mismo espesor de acero tipo A-36 y determinar cuáles especímenes presentan mayor y menor resistencia a la corrosión.

1.3. JUSTIFICACIÓN

Los recubrimientos de zinc son ampliamente usados para la protección de elementos y estructuras metálicas, destacando la galvanización por inmersión en caliente. La interacción entre los metales y el ambiente en el que se encuentran da lugar a su destrucción gradual, dando como resultado al fenómeno que se conoce como corrosión. Uno de los materiales más utilizados en la industria es el acero, por esta razón surge el interés de conocer el comportamiento del acero con recubrimiento de zinc como método de prevención a potenciales daños en el metal debido a la corrosión.

El galvanizado por inmersión en caliente (Hot deep), como método de recubrimiento superficial, es uno de los más utilizados para la protección de los materiales, en El Salvador es muy común utilizar el acero galvanizado como principal material para techos o para diferentes áreas de la industria y de la construcción ya que responden a las necesidades de resistencia y durabilidad en cualquier lugar donde se instalan, pues tienen las siguientes características: resistencia a la lluvia, viento, sol o granizo; son de fácil y rápida instalación, y de ser necesario, también pueden desmontarse fácilmente. Por estas razones este material es uno de los más utilizados a nivel nacional.

En la vida diaria los efectos de la corrosión se vuelven cada vez más comunes donde en ocasiones por no darle la atención adecuada, se incurren en costos por el mantenimiento y reposición de infraestructuras dañadas, por esta razón es necesario realizar un estudio que permita valorar las características y propiedades que el acero galvanizado en caliente ofrece frente a ambientes corrosivos, para evaluar el desempeño y durabilidad en sus diversas áreas de aplicación.

1.4. MARCO DE REFERENCIA

Normas ASTM (Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales). Estas son un conjunto de normas que regula de manera internacional los procedimientos de preparación, tanto de equipos como de especímenes con el objetivo de evaluar la calidad de diferentes metales, como el acero y otros materiales orientado al rubro de la construcción. Para la evaluación de corrosión en láminas de acero con recubrimiento de zinc bajo la técnica de inmersión en caliente puede ser estudiada bajo las normas:

1.4.1. Norma ASTM B117:2019

Esta prueba implica la introducción de niebla salina vaporizada en una cámara que contiene un ambiente de temperatura única.

Utilizada para probar la resistencia relativa a la corrosión de muestras metálicas con y sin recubrimiento, exponiéndolas a un clima de aspersión de sal a una temperatura elevada.

Esta norma establece las siguientes especificaciones:

- a) La cámara salina es un equipo cerrado en el que se colocan las muestras
- b) La solución salina rocía de manera indirecta y continua a las muestras en estado de vapor con un PH que ronda los 6.5 a 7.5.
- c) La cámara debe estar a una temperatura de: 33°C, este clima se mantiene en condiciones de estado estable constante.
- d) La duración de la prueba depende las necesidades.

1.4.1.1. Norma D610:2019

Esta es una norma que permite evaluar la corrosión de manera cualitativa, en la que se tiene por objeto clasificar a la muestra de estudio en un grado de corrosión de acuerdo con su aspecto, a través de parámetros visuales que la norma dicta.

1.4.1.2. Norma ASTM D1654:2018

Esta es una norma que cubre el tratamiento de especímenes previamente pintados o revestidos para pruebas de exposición atmosférica y acelerada para su posterior evaluación con respecto a la corrosión, formación de ampollas asociadas con la corrosión, pérdida de adhesión en una marca grabada u otra falla de la película.

Para determinar el avance de la corrosión se realiza un corte sobre el revestimiento que se está probando de tal manera que se llegue al sustrato, para luego someterlo a la prueba de exposición acelerada. Una vez finalizado el tiempo de exposición, se evalúa la corrosión uniformemente distribuida a lo largo del corte realizado, ignorando 3 mm de cada extremo del corte. Finalmente se determina la media aritmética

y se usa la ecuación especificada en la norma para calcular la fuga de corrosión desde la incisión y se hace una clasificación a través de una tabla que brinda la norma, ver anexo 3

1.4.1.3. Norma ASTM-123:2017

Esta norma permite brindar el rango de espesor de zinc necesario de acuerdo con el grosor de la plancha laminar de acero, sin tomar en cuenta el grado del acero.

1.5.RECURSOS

1.5.1. Recursos proporcionados por el estudiante

Computadora, Internet, impresora, papel, tinta, planchas de acero, lijas granuladas de 80, lijas granuladas de 180.

1.5.2. Recursos brindados por la Universidad

Acceso remoto a la biblioteca en línea y laboratorios.

1.5.3. Recursos brindados por terceros

Acceso a cámara salina, recubrimiento de zinc a planchas laminares

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1.Corrosión

La Corrosión es un término que se utiliza para describir el proceso de deterioro de materiales metálicos (incluyendo tanto metales puros, como aleaciones de estos), mediante reacciones químicas y electroquímicas (Revie y Uhlig, 2008). Para el caso del deterioro relacionado con otros tipos de materiales, como los polímeros y cerámicos, se utiliza el término degradación.

Estos materiales metálicos son obtenidos a través del procesamiento de minerales, que constituyen su estado natural, induciéndolos a un estado de mayor energía. El fenómeno de la corrosión ocurre debido a que, con el tiempo, dichos materiales tratan de alcanzar su estado natural, el cual constituye un estado energético de menor potencial, lo que les permite estabilizarse termodinámicamente (Javaherdashti, 2008).

La mayoría de procesos de corrosión involucran reacciones de reducción-oxidación (reacciones electroquímicas), donde para que se desarrollen estos procesos, es necesaria la existencia de tres constituyentes: (1) unos electrodos (un ánodo y un cátodo), (2) un electrolito, como medio conductor, que en la mayoría de casos corresponde de una solución acuosa, y (3) una conexión eléctrica entre los electrodos (ECCA, 2011).

La figura 2.1 muestra de forma representativa un esquema de estos elementos, formando lo que se conoce como una celda electroquímica.

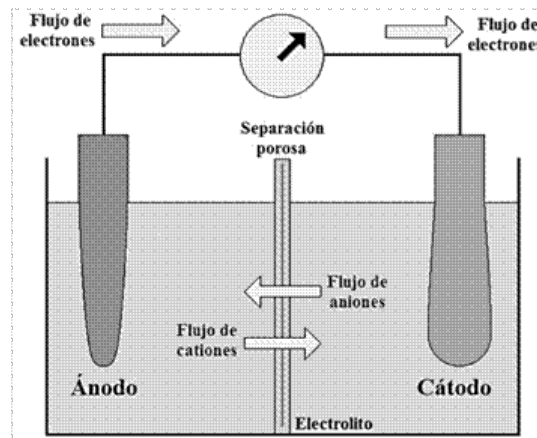


Figura 2-1: Representación de una celda electroquímica (ECCA, 2011).

El efecto de la corrosión es una alteración de las propiedades de los materiales afectados, que puede venir acompañada de una pérdida de material. Esta circunstancia hace aconsejable adoptar ciertas medidas de protección para prevenir sus efectos sobre el material, así como realizar ensayos para obtener información acerca de la evolución de su estado ante un ambiente corrosivo (Gómez De León Hijes, 2004).

2.2. Tipos de corrosión

La corrosión se presenta en varias formas, y es raro que una estructura o componente que se corroe sufra sólo una forma. La combinación de metales utilizados en un sistema y la amplia gama de entornos que se encuentran a menudo causan más de una forma de ataque. Incluso una misma aleación puede sufrir corrosión de más de una forma dependiendo de su exposición a diferentes ambientes en diferentes puntos dentro de un sistema. (*What Is Corrosion*, s. f.). Las diferentes formas de corrosión representan fenómenos categorizados de acuerdo con su apariencia. Se han considerado y dividido las formas básicas de corrosión en tres grupos, sobre la base de la facilidad de su identificación. En la Fig. 2-2 se presenta las categorías usadas y el grupo al cual pertenecen (Roberge, 2000).

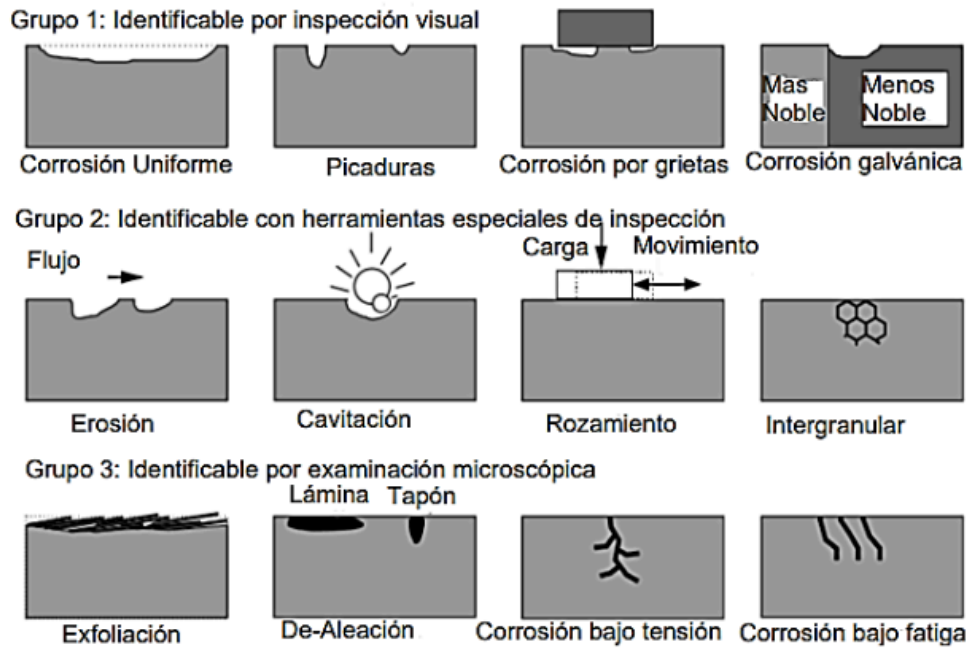


Figura 2-2: Grupos y categorías de tipos de corrosión (Roberge, 2000).

En este trabajo es de interés algunos de los tipos de corrosión incluidos dentro del primer grupo de la clasificación presentada, por lo que a continuación se mencionarán algunas de sus características.

2.2.1. Corrosión uniforme o general

Está caracterizada por un ataque corrosivo procedente de manera uniforme sobre toda la superficie o una gran fracción del total del área. Generalmente el adelgazamiento sucede hasta producir la falla. Sobre la base del tonelaje perdido, ésta es la forma más importante de corrosión. Sin embargo, la corrosión uniforme es relativamente fácil de medir y predecir, causando fallas desastrosas relativamente raras. En muchos casos sólo es objetable desde el punto de vista de la apariencia. La gran gama de sistemas de revestimientos protectores en estructuras, por lo general son para prevenir esta forma de corrosión (Harsimran et al. 2021).

Algunas aleaciones y aceros inoxidables resistentes a la corrosión pueden llegar a ser empañados u oxidados en ambientes corrosivos. Superficies con corrosión pueden indicar desprendimiento en los sistemas de revestimiento protector, sin embargo, deberán ser examinados más de cerca por más ataques posibles de corrosión. Si se permite que continúe la corrosión en la superficie, ésta podría tornarse áspera y se podrían provocar fallos en los componentes (Harsimran et al. 2021).

2.2.2. Corrosión por picadura

La corrosión por picadura es una forma de corrosión localizada por la que se producen cavidades o “agujeros” en el material. Las picaduras se consideran más peligrosas que los daños por corrosión uniforme porque son más difíciles de detectar, predecir y diseñar contra ellas. Los productos de la corrosión suelen cubrir las picaduras. Una pequeña y estrecha picadura con una mínima pérdida global de metal puede provocar el fallo de todo un sistema de ingeniería.

La corrosión por picaduras puede producir picaduras con la boca abierta (descubierta) o cubierta con una membrana semipermeable de productos de corrosión. Las picaduras pueden tener una forma hemisférica o de copa. La localización de los procesos de corrosión anódica y catódica es caracterizada por la relación del área superficial (S_a/S_c) para estos dos procesos. Donde S_a y S_c son las áreas de reacción anódica y catódica. La relación S_a/S_c o el grado de localización pueden ser una importante manera de manejar todos los problemas localizados de corrosión porque una situación de corrosión corresponde igualmente a una corriente absoluta anódica o catódica (Harsimran et al. 2021).

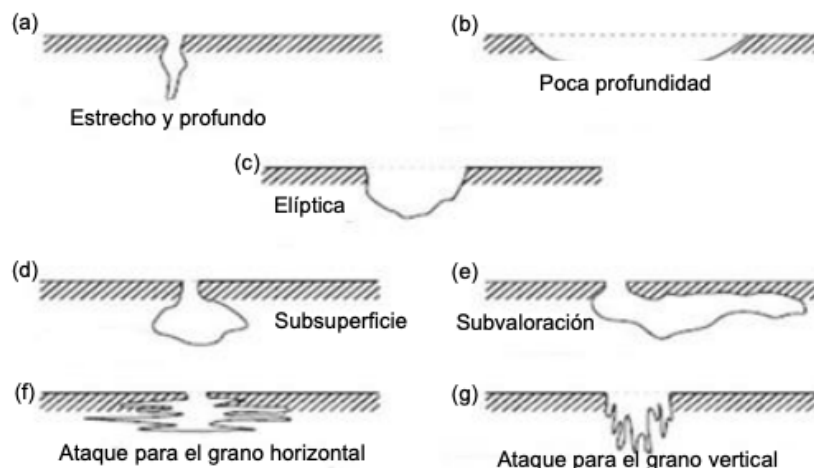


Figura 2-3 Tipos de picaduras: (a) Estrecho y profundo; (b) poca profundidad; (c) Elíptica; (d) Subsuperficie; (e) Subvaloración; (f) Ataque para el grano horizontal y (g) Ataque para el grano vertical. (Harsimran et al. 2021).

Las picaduras se inician por:

- Daños químicos o mecánicos localizados en la película de óxido protectora; los factores químicos del agua que pueden causar la ruptura de una película pasiva son la acidez, las bajas concentraciones de oxígeno disuelto (que tienden a hacer menos estable la película de óxido protectora) y las altas concentraciones de cloruro (como en el agua de mar).
- Daños localizados o una mala aplicación del revestimiento protector.
- La presencia de des-uniformidades en la estructura metálica del componente, por ejemplo, inclusiones no metálicas.

2.2.3. Corrosión galvánica

Ocurre cuando distintos materiales metálicos se ponen en contacto en presencia de un electrólito. Tal daño puede ocurrir entre metales puros, aleaciones y otros materiales conductores como el carbono o el grafito. Una celda de corrosión electroquímica se establece por las diferencias de potencial de corrosión de los diferentes materiales. El material con potencial de corrosión más noble se transforma en el cátodo de la corrosión, el de potencial de corrosión menos noble es consumido por una disolución anódica. La relación de área de los dos materiales distintos es extremadamente importante, si la relación del área de la superficie del ánodo hacia el cátodo (S_a/S_c) es pequeña, la corriente galvánica puede ser concentrada sobre una pequeña área anódica. El grado de corrosión visible como el espesor perdido por tiempo puede llegar a ser muy alta para el ánodo. Un ejemplo de ello son los remaches de aluminio usado en láminas de acero, los remaches se pueden corroer extremadamente rápido tal como se presenta en la Fig. 2-4 (Harsimran et al. 2021).

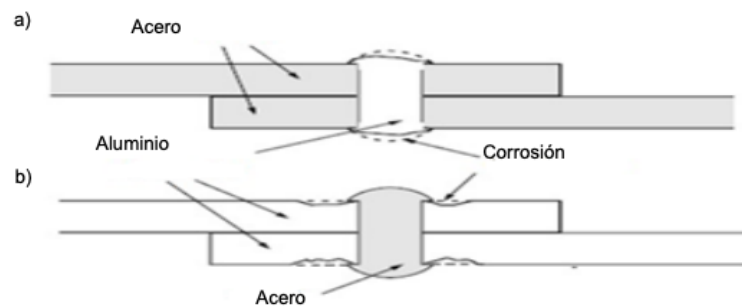


Figura 2-4 Corrosión galvánica en láminas acopladas con remaches Harsimran et al. (2021).

2.3. Factores que afectan la corrosión

De acuerdo con el artículo de Harsimran et al. (2021), la velocidad de corrosión depende principalmente de dos factores:

1. La naturaleza del metal.
2. La naturaleza del entorno de corrosión.

2.3.1. Naturaleza del metal

Depende de:

- a) **Posición en la serie galvánica:** Cuando tenemos dos metales de diferentes tipos y se conectan eléctricamente en un electrolito determinado, el metal con mayor potencial de oxidación, o el metal que se encuentra en una posición más alta en la serie galvánica, se corroe mientras que el resto está protegido. Esto se debe a que la velocidad de corrosión es directamente proporcional a la diferencia de posición de los dos metales, es decir, a mayor diferencia, mayor velocidad de corrosión.

- b) **Pureza del metal:** Generalmente, la velocidad de corrosión aumenta con el aumento de la adición de impurezas. Esto se debe a que las impurezas forman pequeñas células electroquímicas en las que la parte anódica se corroe. Por ejemplo: El Zn que contiene impurezas como el Fe o el Pb se corroe más rápidamente.
- c) **Naturaleza de la película superficial:** Todos los metales se cubren con una fina película superficial de óxido metálico en una atmósfera aireada. La relación entre los volúmenes de óxido metálico y el metal determina el efecto de la película superficial. Se conoce como “relación de volumen específico”. A mayor proporción, menor es la tasa de oxidación. Por ejemplo: La relación de volumen específico de Ni, Co y W es de 1,6, 2,0 y 3,6 respectivamente. La tasa de oxidación del W es menor incluso a una temperatura elevada.
- d) **Naturaleza del producto corrosivo:** La corrosión procede comparativamente a un ritmo más rápido si el producto formado es soluble en el medio corrosivo. Además, si el producto corrosivo es volátil, se evapora tan pronto como se forma, con lo que la superficie del metal queda expuesta a nuevos ataques; de este modo, la corrosión se extiende.

2.3.2. Naturaleza del entorno de corrosión

Depende de:

- a) **Temperatura:** La velocidad de corrosión aumenta con el aumento de la temperatura. Se espera que la velocidad de corrosión sea casi el doble por cada 100° C de aumento de temperatura, siempre que se mantengan constantes otras condiciones biológicas (Levy, 1995). Sin embargo, en varios casos, el cambio de temperatura modifica también la influencia de otros factores.
- b) **La humedad del aire:** También juega un gran papel a la hora de decidir la velocidad de corrosión. La tasa de corrosión aumenta bruscamente por encima de un punto especial de humedad relativa. Este punto se denomina humedad crítica. Las razones de este aumento de la corrosión con la humedad son que la película de óxido tiene la tendencia a absorber la humedad creando así otra corrosión electroquímica. Además, la humedad presente en la atmósfera proporcionará agua al electrolito, lo que es esencial para el establecimiento de una célula electroquímica.
- c) **Efecto del Ph:** Es el factor más importante para determinar la velocidad de corrosión. Generalmente, cuanto más bajo es el Ph, mayor es la corrosión. Esto demuestra que los medios ácidos con un Ph inferior a 7 son más corrosivos que los medios alcalinos o neutros.

2.4. Control de la corrosión

Debido a las implicaciones económicas, de seguridad y de conservación de materiales, que envuelven los efectos negativos de los procesos de corrosión (Schweitzer, 2010), actualmente se ha investigado y

desarrollado diferentes tipos de métodos para el control de este fenómeno, lo que permite proteger los materiales expuestos a este.

De acuerdo al artículo presentado en la página web de NACE (How to Protect Metals from Corroding, s. f.) antes de determinar el problema específico y/o la solución para la prevención y el control de la corrosión deben considerarse muchos factores, entre los que se incluyen:

- a) Las condiciones ambientales (resistividad del suelo, humedad y exposición al agua salada en diversos tipos de materiales).
- b) El tipo de producto que se va a procesar, manipular o transportar.
- c) La vida útil requerida de la estructura o el componente.
- d) La proximidad de los fenómenos que provocan la corrosión

La figura 2-5 muestra algunos de los métodos para la protección contra la corrosión.

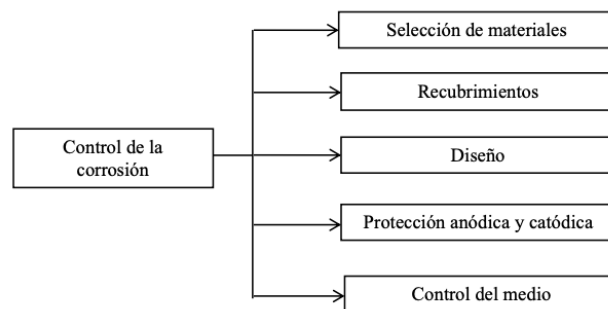


Figura 2-5 Métodos de control de la corrosión (Adaptado de Forms of Corrosion)

2.5. Recubrimientos

Los recubrimientos son materiales transparentes o pigmentados que forman películas sólidas para proteger las superficies a las que se aplican de los efectos del ambiente. Este es el método para el control de la corrosión más común pues puede ser utilizado tanto en el interior como en el exterior del material (Orozco, 2011).

Los recubrimientos protegen contra la corrosión de una de las siguientes maneras: impiden que los elementos necesarios se unan para iniciar el proceso de corrosión, impiden activamente que se produzca la reacción electroquímica o dirigen el proceso de corrosión en una dirección que no dañará el activo. (Protective Coatings for Corrosion Control, s. f.)

Los tipos de protección por recubrimiento incluyen:

- a) **Barrera:** Protegen impidiendo que el agua, el oxígeno y los electrolitos entren en contacto con un metal subyacente.
- b) **Inhibitivo:** Recubrimientos que contienen sustancias químicas que actúan para dificultar la corrosión.
- c) **Sacrificial:** Se aplican capas metálicas delgadas que tienen valores de potencial de electrodo más bajos o que tienen niveles más altos en la serie electroquímica.
- d) **Combinación.**

2.5.1. Tipos de recubrimientos

Según Roberge (2008), si bien los recubrimientos protectores suelen referirse a sistemas integrados multifuncionales que pueden combinar más de un tipo de recubrimientos, es importante el conocer las tres clases generales de recubrimientos: orgánicos, inorgánicos y metálicos. Las características de cada uno se detallan a continuación:

2.5.1.1. Orgánicos

Los recubrimientos orgánicos protegen más el peso del metal que cualquier otro método de protección contra la corrosión. Además de proporcionar protección creando una barrera física entre el metal y el entorno, estos recubrimientos pueden contener también inhibidores de la corrosión u otros aditivos para sofocar los procesos de corrosión. Los recubrimientos orgánicos incluyen pinturas, resinas lacas y barnices

2.5.1.2. Inorgánicos

Los recubrimientos inorgánicos incluyen esmaltes, recubrimientos de vidrio y recubrimientos de conversión. Los recubrimientos de esmalte de porcelana son inertes al agua, resistentes a la mayoría de las condiciones climáticas y son habituales en los electrodomésticos y las instalaciones de fontanería. Los recubrimientos de vidrio se utilizan en las industrias de procesos en las que preocupa la corrosión o la contaminación del producto. Los recubrimientos de conversión se producen corroyendo intencionadamente la superficie del metal de forma controlada. Esto se hace para producir un producto de corrosión adherente que proteja el metal de una mayor corrosión, por ejemplo, la anodización del aluminio, una de las técnicas de recubrimiento de conversión más utilizadas, produce una película protectora de óxido de aluminio sobre el metal de aluminio.

2.5.1.3. Metálicos

Los recubrimientos metálicos también crean una barrera entre el sustrato metálico y el medio ambiente. Los recubrimientos metálicos y otros revestimientos inorgánicos se fabrican mediante técnicas como la

inmersión en caliente, la galvanoplastia, pulverización térmica, deposición química de vapor o modificación de la superficie mediante haces de energía dirigida (láser o iones).

El método de recubrimiento metálico más utilizado para la protección contra la corrosión es el galvanizado, que consiste en la aplicación de zinc metálico al acero al carbono para controlar la corrosión. El galvanizado en caliente es el proceso más común y, como su nombre indica, consiste en sumergir la pieza de acero en un baño de agua de zinc fundido.

2.6.Acero

Este es un metal de hierro que tiene aleación con otras sustancias como el carbono, el manganeso el fósforo, el sulfuro, silicón, y cobre.

Existen diferentes tipos de acero que son: Acero austenítico, Acero Ferrítico, Acero martensítico, Acero templado por precipitación, Duplex.

2.7.Acero A-36

Este es un tipo de acero en el que su composición de acuerdo con la norma ASTM A36 puede variar de acuerdo con el espesor de la lámina sin embargo el porcentaje mínimo de composición peso es del 98% el otro 2% se subdivide en carbono, el manganeso, el fósforo, el sulfuro, silicón, y cobre.

2.8.Ventajas y desventajas del acero

El acero presenta características mecánicas peculiares a diferencias de otros materiales estructurales una de ellas es que la resistencia a la tensión y la de compresión es igual entre sí.

Sin embargo, el acero al carbono bajo las mismas condiciones atmosférica presenta mayor grado de corrosión frente al acero galvanizado y Aluminio

2.9.Demanda del acero en El Salvador

El acero es utilizado en las edificaciones estructurales como en la construcción, en el diseño de contenedores entre otras; el uso del acero en El Salvador es tan importante que según las estadísticas del BCR(Banco Central de Reserva) las importaciones totales de Fundición, Hierro y Acero son de 560.1 millones de dólares estadounidense en el que, 18.8 millones de dólares estadounidense son por importación de barras de acero, colocando el producto en el número 168 más importado en el país de acuerdo a la OEC (Observatorio de Complejidad Económica)

2.10. Acero Galvanizado

Es aquel acero en que puede presentarse de cualquier tipo y grado que está recubierto de otro metal. El acero al carbón presenta beneficios contra la corrosión al estar expuesto al ambiente, también puede unirse a manera de soldadura con otros metales, como el aluminio dado que el potencial de oxidación es similar y la corrosión se produce en menor medida en factor del tiempo en comparación de solo presentarse el acero al carbón.

Propiedades del acero galvanizado:

1. Resistencia a la corrosión
2. Durabilidad: Se debe a que el acero galvanizado tiene alta resistencia al desgaste.
3. Tenacidad: Esta propiedad de los materiales es alta en su valor, lo que indica que al galvanizar con zinc una pieza de acero, esta conserva sus propiedades como por ejemplo la resistencia a la tracción
4. Mantenimiento: El acero galvanizado no requiere mantenimiento constante debido a la propiedad de resistencia a la corrosión

2.11. Galvanización por inmersión en caliente.

Este es un procedimiento en el que una pieza de diferentes metales como puede ser el acero, se le añade una película de zinc fundido en composición pura o en forma de aleación; la manera de producción es de forma continua o por lotes con la finalidad de proteger la pieza principal contra la corrosión

2.11.1. Proceso de galvanización por inmersión en caliente

Desengrase: Consiste en un procedimiento para eliminar trazas de aceite u otra sustancia orgánica en la pieza a galvanizar:

Decapado: En un tanque se coloca un removedor de óxido en el que usualmente es de ácido hidroclicóric, sino se cuenta con la sustancia puede sustituirse y removerlo manualmente con lijas

Enjuague: Se enjuga la pieza porque se pueden agregar trazas de los químicos de la etapa de decapado

Fundente: Es el proceso que acondiciona la pieza para mejorar la adherencia del zinc a la pieza que se necesita galvanizar. Evitando además la corrosión entre la película de zinc y la del acero

Secado: La pieza es secada previo a la galvanización.

Galvanizado en caliente: Se sumerge la pieza a galvanizar en zinc fundido, para lograr la adherencia la pieza debe alcanzar una temperatura de 450°C

Enfriamiento: La pieza ya galvanizada se enfría, sumergiéndola en contenedor de agua, encontrándose a temperatura ambiente.

Tipos de corrosión en aceros galvanizados

La corrosión a la que se puede encontrar expuesta los aceros galvanizados es de tipo galvánica, puesto que, cuando la película de zinc se daña por contacto este actúa como ánodo por diferencia de potencial, y eventualmente el acero estará expuesto.

2.12. Ensayo de corrosión

Los ensayos de corrosión son los ambientes bajo las cuales se evalúa la corrosión de un metal en una cantidad de tiempo definida

2.12.1. Ensayo de corrosión en ambiente natural

Son todas las pruebas que se le hacen a un metal puro o con recubrimiento para evaluar la corrosión en condiciones ambientales en la que es más factible evaluarlas en condiciones ambientales extremas o de alta corrosión como son: Costera-Marino, Ambientes químicos

2.12.2. Ensayo de corrosión de inmersión de aguas naturales

Se evalúa la corrosión de un metal puro o con recubrimiento sumergidas en aguas naturales en condiciones de laboratorio en la que se controla la temperatura, o expuestas al ambiente

2.12.3. Corrosión en condiciones aceleradas o intemperismo

Son ensayos de laboratorio en las que se controla el ambiente, la humedad, las concentraciones de sal, temperatura constante. Estas variables se acondicionan para que, el ambiente en la que está expuesto los espécimen sea agresivo para poder evaluar la resistencia de la corrosión en menor tiempo.

2.12.3.1. Ensayo de corrosión en niebla salina

Este ensayo está internacionalmente normado por ASTM-B117(2019), consiste en colocar la muestra en una cámara con temperatura controlada, en que se expone de manera continua a una solución salina y cloruros en bajas cantidades

2.12.3.2. Ensayo de niebla salina neutra:

La niebla de este ensayo es salina con concentraciones de cloruro. Esta es ideal para evaluar muestras de metales puros, con aleaciones y recubrimientos.

2.12.3.3. Ensayo de niebla salina acética y cuproacética.

Este es un tipo de ensayo en el que es recomendable evaluar corrosión en recubrimientos con aleaciones de: Cobre, níquel, cromo y de níquel y cobre. La niebla de este ensayo es salina cuproacética, con cloruro de cobre (III) di hidratado.

2.13. Repasivación

“Esta es la ruptura de una película y la reformación de una nueva sobre el metal o superficie. Un escalón de deslizamiento emergente rompe la fina capa protectora de la película. La película puede volver a formarse en la superficie excepto en un área pequeña” (Zaki Hamad, 2006)

La repasivación es un proceso que implica la restauración de la capa pasiva en la superficie de un metal, particularmente aquellos que son capaces de desarrollar una capa de óxido o pasivación. La pasivación es un fenómeno en el cual la superficie del metal reacciona con el entorno para formar una capa delgada de óxido que actúa como una barrera protectora contra la corrosión.

Como se observa en el diagrama de Pourbaix, en zonas con alta alcalinidad, el zinc va a tender a pasivarse creando óxido de zinc y recubriendo la barrera oxidada.

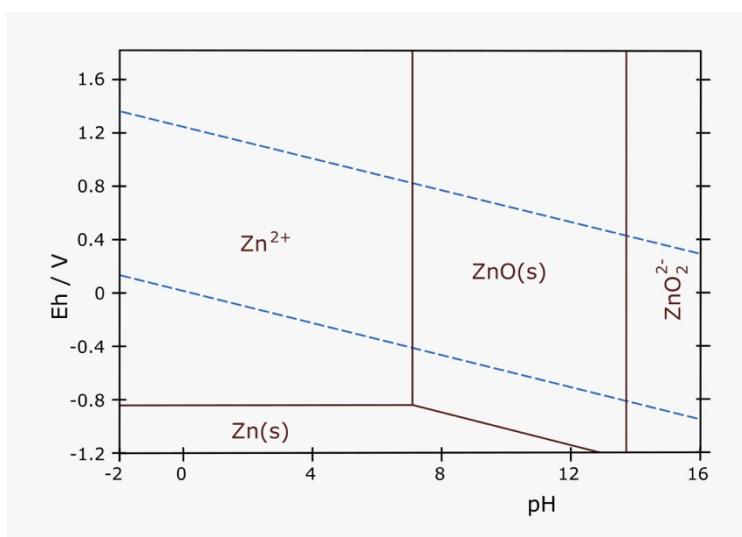


Figura 2-6 Diagrama de Pourbaix

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA Y ANÁLISIS

La metodología proporciona el marco estructural del diseño experimental de la investigación, tomando en cuenta todas las consideraciones para la obtención y preparación de muestras, con la finalidad de hacer un análisis experimental de una manera sistemática

3.1. Consideraciones previas

En el procedimiento de galvanización de las muestras de acero A36, los tiempos de residencia en cada etapa de su preparación son determinados en la práctica de acuerdo con los parámetros que se quieren alcanzar.

Para la medición de espesores de los especímenes se realizó la toma en 6 puntos diferentes del área de la muestra.




3.2. Obtención de las muestras de recubrimiento de zinc de láminas de acero A-36

En la Tabla 3-1 se describe la preparación de la muestra a través del proceso de galvanizado el cual se realiza de la siguiente manera:

Tabla 3-1 Proceso de obtención de muestras de galvanizado en láminas de acero A-36		
i)	ii)	iii)
 <p>Figura 3-1 Especimen en una pila con desengrasante</p>	 <p>Figura 3-2 Especimen en inmersión en una pila de ácido clorhídrico</p>	 <p>Figura 3-3 Especimen en inmersión en una pila de enjuague para quitar trazas de ácido clorhídrico</p>
<p>Se sumergen los especímenes en la pila de desengrasante previo al capado dejando escurrir las muestras, el tiempo de inmersión es de 3 a 4 minutos. Véase Figura 3.1</p>	<p>Los especímenes se sumergen por un tiempo de 5 a 15 minutos en una pila de ácido clorhídrico. Véase Figura 3.2</p>	<p>Se trasladan a una pila de enjuague que contiene agua para quitar el exceso de ácido clorhídrico durante un tiempo de residencia de 2 a 3 minutos. Véase Figura 3.3</p>




Continua...

Tabla 3-1 Obtención de muestras de galvanizado en láminas de acero A-36 (Continuación)

iv)	v)	vi)
 <p data-bbox="167 907 579 967"><i>Figura 3-4 Tiempo de espera para escurrir el exceso de enjuague en los especímenes</i></p>	 <p data-bbox="606 907 999 967"><i>Figura 3-5 Espécimen en inmersión de enjuague neutro</i></p>	 <p data-bbox="1045 907 1453 967"><i>Figura 3-6 Flameado después de la inmersión de enjuague neutro</i></p>
<p>Se dejan escurrir las muestras entre 2 a 3 minutos. Véase Figura 3.4</p>	<p>Se mueven a otra pila que contiene agua para realizar un enjuague neutro con la finalidad de mejorar la adherencia. Véase Figura 3.5</p>	<p>Las muestras se flamean para acelerar el tiempo de secado. Véase Figura 3.6</p>

Continúa...

Tabla 3-1 Obtención de muestras de galvanizado en láminas de acero A-36 (Continuación)

vii)	viii)	ix)
 <p data-bbox="215 835 587 891"><i>Figura 3-7 Inmersión de espécimen en Flux</i></p>	 <p data-bbox="638 835 1024 891"><i>Figura 3-8 Inmersión en caliente de los especímenes en una pila de zinc</i></p>	 <p data-bbox="1066 835 1430 891"><i>Figura 3-9 Medición de espesor con PosiTector 6000</i></p>
<p data-bbox="204 976 596 1111">Se dejan escurrir las muestras entre 2 a 3 minutos. Véase Figura 3.7</p>	<p data-bbox="627 976 1035 1261">Se sumerge en una pila de zinc donde el tiempo de residencia de las muestras y la temperatura del zinc son variables de acuerdo con el espesor requerido. Véase Figura 3.8</p>	<p data-bbox="1058 976 1430 1261">Se deja enfriar y se lijan las muestras para quitar grumos. Se mide el espesor del recubrimiento a través de un medidor de revestimiento. Véase Figura 3.9</p>

3.3. Metodología

En el diagrama de la Figura 3.10, se detalla el proceso experimental seguido para el desarrollo de la prueba.

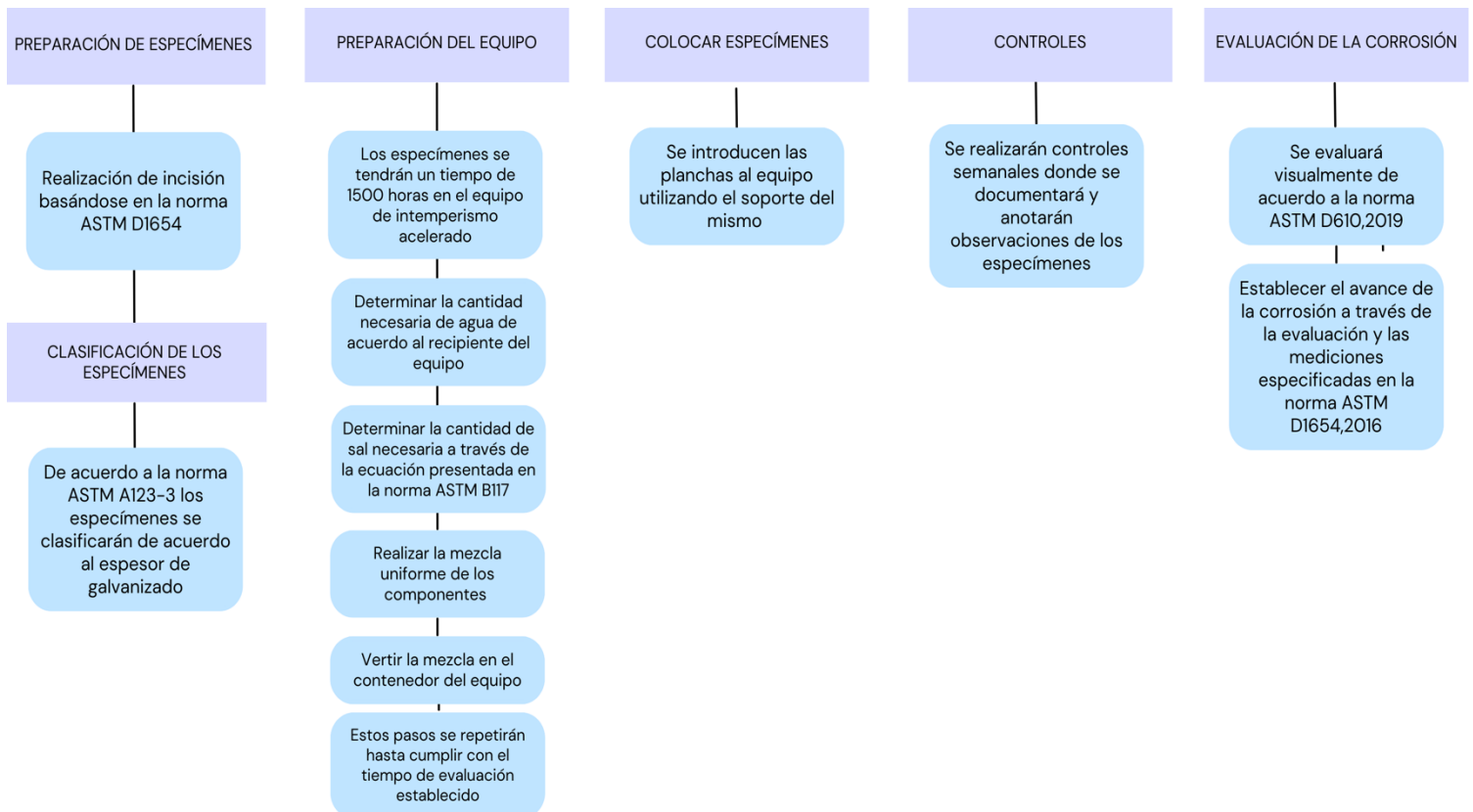


Figura 3-10 Diagrama de proceso experimental

3.4. Preparación de especímenes

3.4.1. Incisión

A las muestras galvanizadas se les hace una incisión como permite la norma ASTM D1654:2008. Donde con una navaja se realiza una hendidura hasta que corte el zinc y pueda observarse el acero en línea recta a lo largo de toda la lámina (aproximadamente de 15 cm).



Figura 3-11 Incisión en la muestra

3.5. Clasificación de la muestra de acuerdo con su recubrimiento.

La norma ASTM A123-3 en su anexo 1 brinda información del espesor mínimo permitido de recubrimiento galvanizado de acuerdo con el espesor de la muestra, tomando más de cinco lecturas por muestra. Se comprueba las medidas con equipo de medición de revestimiento y se clasifica si el espesor es menor o mayor al estándar.

3.6. Descripción de muestras a evaluar

Tabla 3-2 Descripción de las muestras a evaluar; Las filas resaltadas no cumplen el revestimiento mínimo que exige la norma ASTM-123

Espesor de acero 2mm		
Espesor del galvanizado(micras)	#mayor de 65 micras	#muestras menor de 65 micras
71.12	5	0
74.67		
90.93		
96.01		
100.33		

Espesor del acero 3/16 in		
Espesor del galvanizado(micras)	# mayor de 75 micras	# muestras menor de 75 micras
74.68	5	1
120.14		
127.76		
135.12		
152.4		
172.72		

Espesor del acero 5/8 in		
Espesor del galvanizado(micras)	# mayor de 75 micras	# muestras menor de 75 micras
91.95	2	1
112		
146		

Espesor del acero 3/4 in		
Espesor del galvanizado(micras)	# mayor de 75 micras	# muestras menor de 75 micras
113.79	3	0
127.5		
139.7		

Espesor del acero 7/8 in		
Espesor del galvanizado(micras)	# mayor de 100 micras	# muestras menor de 100 micras
113.03	3	0
113.54		
146.81		

3.7. Manejo de muestras y cámara salina durante el proceso experimental

3.7.1. Condiciones a la que se encuentra la cámara salina

La cámara salina de la marca Q-LAB de la serie Q-FOG “Cyclic Corrosion Tester”, tiene una concentración de sal industrial del 5% con una temperatura de 35°C. El equipo será programado para tener una duración de 1500 horas bajo esas condiciones, período durante el cual se estará monitoreando el consumo de solución salina necesario del mismo.



Figura 3-12 Configuración del equipo de cámara salina que cumple con especificaciones de norma ASTM B117

Los especímenes están colocados de tal manera que el espacio en el equipo sea óptimo, evitando así el contacto entre ellos

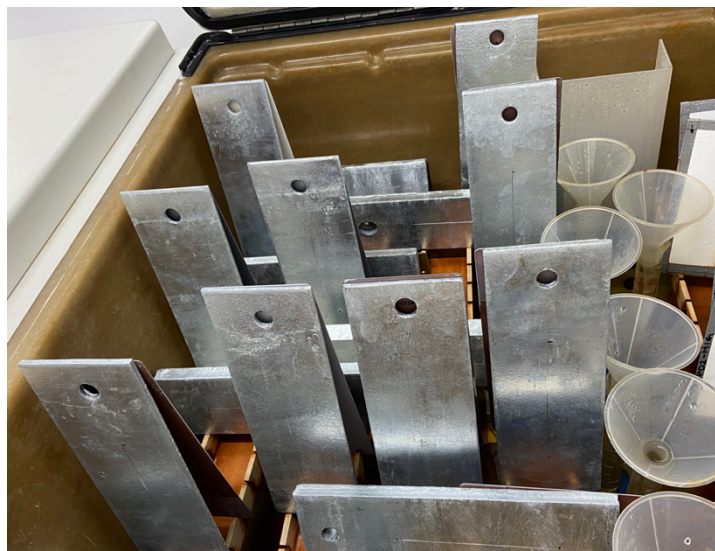


Figura 3-13 Especímenes introducidos en la cámara salina

3.8. Evaluación de la corrosión

3.8.1. “Evaluación 1” de acuerdo con la norma ASTM D610:2019

La norma ASTM D610-08,2019 brinda en su tabla 1 los parámetros visuales para poder hacer una evaluación visual entre el parámetro y las muestras de acero galvanizado que han sido expuestas a la cámara salina. Para hacer esta comparación es necesario ver el anexo 2.

3.8.2. “Evaluación 2” de acuerdo con la norma ASTM D1654:2008

Se determina el avance de la corrosión a través de un corte sobre el revestimiento que se está probando de tal manera que se llegue al sustrato, para luego someterlo a la prueba de exposición acelerada. Una vez finalizado el tiempo de exposición, se evalúa la corrosión uniformemente distribuida a lo largo del corte realizado, ignorando 3 mm de cada extremo del corte. Finalmente se determina la media aritmética y se usa la ecuación especificada en la norma para calcular el avance de la corrosión.

$$c = \frac{W_c - W}{2}$$




Donde:

W_c = Anchura total media de la zona de corrosión

W = Ancho de la escriba original




3.9. Preparación y observaciones semanales

La tabla 3-3 muestra la preparación de los especímenes antes de iniciar la prueba de corrosión acelerada en cámara salina.



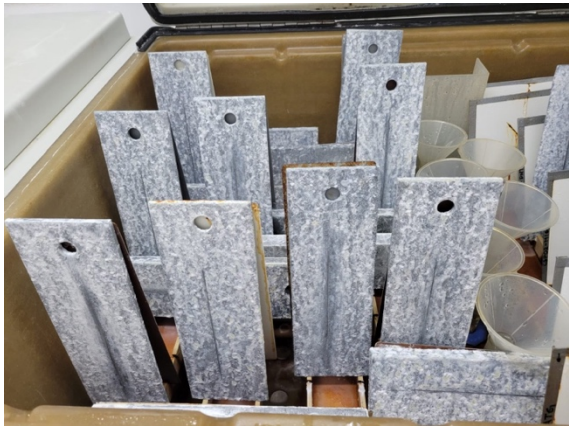
Tabla 3-3 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA			
DÍA	ESPESOR	OBSERVACIONES	IMAGEN
0	2 mm	Realización de la incisión y medición de espesores	
0	3/16 in	Realización de la incisión y medición de espesores	
0	1/4 in	Realización de la incisión y medición de espesores	

Continúa...

Tabla 3-3 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA (Continuación)



DÍA	ESPESOR	OBSERVACIONES	IMAGEN
0	3/4 in	Realización de la incisión y medición de espesores	
0	5/8 in	Realización de la incisión y medición de espesores	
0	7/8 in	Realización de la incisión y medición de espesores	

En la tabla 3-4 se detallan las observaciones semanales de las muestras en general

Tabla 3-4 OBERVACIONES SEMANALES							
HORAS	OBSERVACIÓN	ESPESORES					
		2mm	3/16 mm	1/4 mm	3/4 mm	5/8 mm	7/8 mm
24	En todas las muestras se observa deposición de sal en forma cristalizada						
125	Cierre total de la incisión por efecto de pasivación, fenómeno observado en todos los especímenes						
210	Se realizó limpieza en el área de la incisión						

Continúa...

Tabla 3-4 OBSERVACIONES SEMANALES (Continuación)

		ESPESORES					
HORAS	OBSERVACIÓN	2mm	3/16 mm	1/4 mm	3/4 mm	5/8 mm	7/8 mm
350	En todas las muestras se observa óxido de hierro en forma circular						
491	Se hace una limpieza en área de insición, no presenta cierre total las incisiones por pasivación. El óxido de hierro es más visible						

Continúa...

Tabla 3-4 OBSERVACIONES SEMANALES (Continuación)

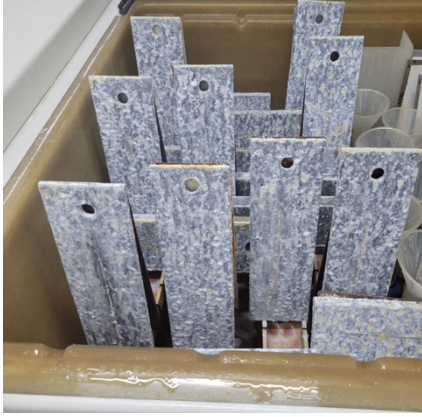


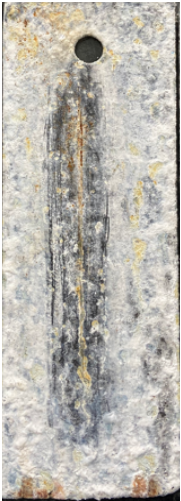
		ESPESORES					
HORAS	OBSERVACIÓN	2mm	3/16 mm	1/4 mm	3/4 mm	5/8 mm	7/8 mm
707	Las muestras en el área de incisión presentan corrosión, sin embargo no es por fuga sino por corrosión general						
803	Se evalúan el cambio de espesor que ha sufrido la zona de la incisión véase tabla 3-5 donde se mira el cambio de espesor que ha tenido las muestras a las 803 horas						

Tabla 3-5 Cambio de espesor a través del tiempo

Espesor de acero	Espesor de galvanizado a las 0 horas(micras)	Espesor de galvanizado a las 803 horas(micras)
2mm	71.12	78.74
2mm	90.93	87.122
2mm	96.01	121.158
2mm	100.33	83.82
2mm	74.672	129.54
3/16 in	74.68	72.898
3/16 in	120.14	117.602
3/16 in	127.76	145.542
3/16 in	135.12	140.462
3/16 in	152.4	145.542
3/16 in	172.72	170.18
1/4 in	74.68	70.358
1/4 in	118.11	137.16
1/4 in	151.64	168.402
5/8 in	113.79	149.86
5/8 in	127.508	121.92
5/8 in	139.7	137.922
3/4 in	91.95	91.44
3/4 in	112	104.902
3/4 in	146	145.542
7/8 in	113.03	109.982
7/8 in	113.54	112.268
7/8 in	146.81	144.018


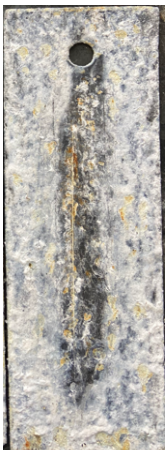


3.10. RESULTADOS

La tabla 3-6 presenta los resultados de la prueba de corrosión con su respectiva evaluación de especímenes bajo las normas ASTM D610:2019 y ASTM D1654:2008.

Tabla 3-6 RESULTADOS A 1500 HRS DE EVALUACIÓN																					
ESPESOR 2 mm																					
0 HRS	1500 HRS	ASTM D610:2019	ASTM D1654:2008																		
		<p>Corrosión por picadura: Grado 7-P, 0.3% corroído. Se observa en la parte superior de la muestra.</p> <p>Corrosión General: Grado 7-G, 0.3% corroído.</p> <p>Corrosión localizada: Grado 8-S, 0.1% corroído. Se observa en la parte inferior de la muestra</p> <p>Porcentaje del avance de corrosión respecto al área total de la muestra: 15%</p>	<table> <thead> <tr> <th>Toma de medidas(mm)</th> <th>Incisión de la muestra(mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.3</td> <td>0.07</td> </tr> <tr> <td>0.9</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1</td> <td></td> </tr> <tr> <td>0.8</td> <td></td> </tr> <tr> <td>0.3</td> <td></td> </tr> <tr> <td>0.07</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>0.561666667</td> </tr> <tr> <td><u>Corrosión</u></td> <td><u>0.245833333</u></td> </tr> </tbody> </table>	Toma de medidas(mm)	Incisión de la muestra(mm)	0.3	0.07	0.9		1		0.8		0.3		0.07		Promedio	0.561666667	<u>Corrosión</u>	<u>0.245833333</u>
Toma de medidas(mm)	Incisión de la muestra(mm)																				
0.3	0.07																				
0.9																					
1																					
0.8																					
0.3																					
0.07																					
Promedio	0.561666667																				
<u>Corrosión</u>	<u>0.245833333</u>																				


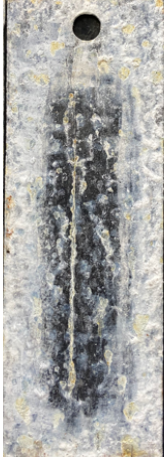

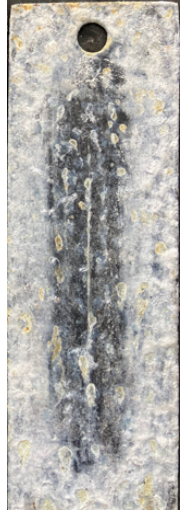
Continúa...

Tabla 3-6 RESULTADOS A 1500 HRS DE EVALUACIÓN (Continuación)

ESPESOR 2 mm																					
0 HRS	1500 HRS	ASTM D610:2019	ASTM D1654:2008																		
		<p>Corrosión General: Grado 5-G, 3% corroído, con énfasis en la zona de la hendidura</p> <p>Corrosión localizada: Grado 8-S, 0.1% corroído. Se observa en la parte inferior de la muestra</p> <p>Porcentaje del avance de corrosión respecto al área total de la muestra: 12 %</p>	<table> <thead> <tr> <th>Toma de medidas(mm)</th> <th>Incisión de la muestra(mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.3</td><td>0.07</td></tr> <tr><td>0.3</td><td></td></tr> <tr><td>0.07</td><td></td></tr> <tr><td>0.3</td><td></td></tr> <tr><td>0.2</td><td></td></tr> <tr><td>0.3</td><td></td></tr> <tr><td>Promedio</td><td>0.245</td></tr> <tr><td><u>Corrosión</u></td><td><u>0.0875</u></td></tr> </tbody> </table>	Toma de medidas(mm)	Incisión de la muestra(mm)	0.3	0.07	0.3		0.07		0.3		0.2		0.3		Promedio	0.245	<u>Corrosión</u>	<u>0.0875</u>
Toma de medidas(mm)	Incisión de la muestra(mm)																				
0.3	0.07																				
0.3																					
0.07																					
0.3																					
0.2																					
0.3																					
Promedio	0.245																				
<u>Corrosión</u>	<u>0.0875</u>																				
		<p>Corrosión Localizada: Grado 5-S, 3% corroído.</p> <p>Corrosión General: Grado 5-G, 3% corroído; se observa en la parte inferior de la muestra</p> <p>Porcentaje del avance de corrosión respecto al área total de la muestra: 9 %</p>	<table> <thead> <tr> <th>Toma de medidas(mm)</th> <th>Incisión de la muestra(mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.3</td><td>0.07</td></tr> <tr><td>0.1</td><td></td></tr> <tr><td>0.07</td><td></td></tr> <tr><td>0.07</td><td></td></tr> <tr><td>0.07</td><td></td></tr> <tr><td>0.07</td><td></td></tr> <tr><td>Promedio</td><td>0.113333333</td></tr> <tr><td><u>Corrosión</u></td><td><u>0.021666667</u></td></tr> </tbody> </table>	Toma de medidas(mm)	Incisión de la muestra(mm)	0.3	0.07	0.1		0.07		0.07		0.07		0.07		Promedio	0.113333333	<u>Corrosión</u>	<u>0.021666667</u>
Toma de medidas(mm)	Incisión de la muestra(mm)																				
0.3	0.07																				
0.1																					
0.07																					
0.07																					
0.07																					
0.07																					
Promedio	0.113333333																				
<u>Corrosión</u>	<u>0.021666667</u>																				


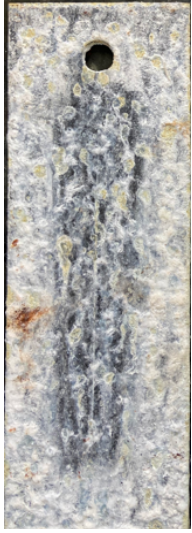


Continúa...

Tabla 3-6 RESULTADOS A 1500 HRS DE EVALUACIÓN (Continuación)

ESPESOR 2 mm																					
0 HRS	1500 HRS	ASTM D610:2019	ASTM D1654:2008																		
		<p>Corrosión general: Grado 5-G 3% corroído, se observa en toda la muestra.</p> <p>Porcentaje del avance de corrosión respecto al área total de la muestra: 11 %</p>	<table> <thead> <tr> <th>Toma de medidas(mm)</th> <th>Incisión de la muestra(mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.2</td><td>0.07</td></tr> <tr><td>0.1</td><td></td></tr> <tr><td>0.07</td><td></td></tr> <tr><td>0.1</td><td></td></tr> <tr><td>0.07</td><td></td></tr> <tr><td>0.07</td><td></td></tr> <tr><td>Promedio</td><td>0.101666667</td></tr> <tr><td><u>Corrosión</u></td><td><u>0.015833333</u></td></tr> </tbody> </table>	Toma de medidas(mm)	Incisión de la muestra(mm)	0.2	0.07	0.1		0.07		0.1		0.07		0.07		Promedio	0.101666667	<u>Corrosión</u>	<u>0.015833333</u>
Toma de medidas(mm)	Incisión de la muestra(mm)																				
0.2	0.07																				
0.1																					
0.07																					
0.1																					
0.07																					
0.07																					
Promedio	0.101666667																				
<u>Corrosión</u>	<u>0.015833333</u>																				
		<p>Corrosión general localizada: Desde el centro hasta el área inferior de la muestra presenta un grado de corrosión 5-G, 3% corroído. En la parte superior de la muestra presenta un avance de corrosión 4-G con 10% corroído</p> <p>Porcentaje del avance de corrosión respecto al área total de la muestra: 13</p> <p>Observaciones: Hay presencia de corrosión en la zona del orificio circular.</p>	<table> <thead> <tr> <th>Toma de medidas(mm)</th> <th>Incisión de la muestra(mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.07</td><td>0.07</td></tr> <tr><td>0.07</td><td></td></tr> <tr><td>0.07</td><td></td></tr> <tr><td>0.07</td><td></td></tr> <tr><td>0.07</td><td></td></tr> <tr><td>0.07</td><td></td></tr> <tr><td>Promedio</td><td>0.07</td></tr> <tr><td><u>Corrosión</u></td><td><u>0</u></td></tr> </tbody> </table>	Toma de medidas(mm)	Incisión de la muestra(mm)	0.07	0.07	0.07		0.07		0.07		0.07		0.07		Promedio	0.07	<u>Corrosión</u>	<u>0</u>
Toma de medidas(mm)	Incisión de la muestra(mm)																				
0.07	0.07																				
0.07																					
0.07																					
0.07																					
0.07																					
0.07																					
Promedio	0.07																				
<u>Corrosión</u>	<u>0</u>																				





Continúa...

Tabla 3-6 RESULTADOS A 1500 HRS DE EVALUACIÓN (Continuación)

ESPESOR 3/16 in																					
0 HRS	1500 HRS	ASTM D610:2019	ASTM D1654:2008																		
		<p>Corrosión por picadura: Grado de avance 8-P con 0.1% corroído.</p> <p>Corrosión generalizada: Se presenta un avance de la corrosión 5-G con un 3% corroído</p> <p>Corrosión localizada: Se observa un avance de la corrosión grado entre 5-S;1-6 con 41% corroído. Presente en el lado izquierdo de la muestra.</p> <p>Porcentaje del avance de corrosión respecto al área total de la muestra:16%</p> <p>Observaciones: Presencia de corrosión en límites del orificio de la muestra.</p>	<table> <thead> <tr> <th>Toma de medidas(mm)</th> <th>Incision de la muestra(mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.3</td><td>0.07</td></tr> <tr><td>0.5</td><td></td></tr> <tr><td>0.07</td><td></td></tr> <tr><td>0.3</td><td></td></tr> <tr><td>0.7</td><td></td></tr> <tr><td>0.07</td><td></td></tr> <tr><td>Promedio</td><td>0.323333333</td></tr> <tr><td><u>Corrosión</u></td><td><u>0.126666667</u></td></tr> </tbody> </table>	Toma de medidas(mm)	Incision de la muestra(mm)	0.3	0.07	0.5		0.07		0.3		0.7		0.07		Promedio	0.323333333	<u>Corrosión</u>	<u>0.126666667</u>
Toma de medidas(mm)	Incision de la muestra(mm)																				
0.3	0.07																				
0.5																					
0.07																					
0.3																					
0.7																					
0.07																					
Promedio	0.323333333																				
<u>Corrosión</u>	<u>0.126666667</u>																				
		<p>Corrosión generalizada: Con un grado de avance de corrosión 5G, con un 3% corroído</p> <p>Corrosión Localizada: Con un grado de avance 8-S y un 0.1% corroído cerca del límite derecho de la muestra.</p> <p>Porcentaje del avance de corrosión respecto al área total de la muestra:11%</p> <p>Observaciones: Presencia de corrosión en límites del orificio de la muestra.</p>	<table> <thead> <tr> <th>Toma de medidas(mm)</th> <th>Incision de la muestra(mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.07</td><td>0.07</td></tr> <tr><td>0.3</td><td></td></tr> <tr><td>0.15</td><td></td></tr> <tr><td>0.07</td><td></td></tr> <tr><td>0.4</td><td></td></tr> <tr><td>0.3</td><td></td></tr> <tr><td>Promedio</td><td>0.215</td></tr> <tr><td><u>Corrosión</u></td><td><u>0.0725</u></td></tr> </tbody> </table>	Toma de medidas(mm)	Incision de la muestra(mm)	0.07	0.07	0.3		0.15		0.07		0.4		0.3		Promedio	0.215	<u>Corrosión</u>	<u>0.0725</u>
Toma de medidas(mm)	Incision de la muestra(mm)																				
0.07	0.07																				
0.3																					
0.15																					
0.07																					
0.4																					
0.3																					
Promedio	0.215																				
<u>Corrosión</u>	<u>0.0725</u>																				


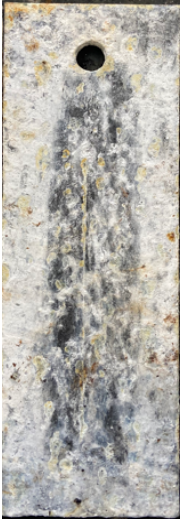


Continúa...

Tabla 3-6 RESULTADOS A 1500 HRS DE EVALUACIÓN (Continuación)

ESPESOR 3/16 in																					
0 HRS	1500 HRS	ASTM D610:2019	ASTM D1654:2008																		
		<p>Corrosión por picadura: El avance de corrosión por picadura es entre 6-P y 5-P con un 2% corroído. Este se observa en el borde superior de la muestra.</p> <p>Corrosión general: Presenta un avance de la corrosión 5-G, 3% de corrosión.</p> <p>Corrosión localizada: Grado 9-S con 0.03% corroído se observa en el límite derecho y en la zona inferior.</p>	<table> <thead> <tr> <th>Toma de medidas(mm)</th> <th>Incision de la muestra(mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.07</td><td>0.07</td></tr> <tr><td>0.07</td><td></td></tr> <tr><td>0.07</td><td></td></tr> <tr><td>0.07</td><td></td></tr> <tr><td>0.07</td><td></td></tr> <tr><td>0.07</td><td></td></tr> <tr><td>Promedio</td><td>0.07</td></tr> <tr><td><u>Corrosión</u></td><td><u>0</u></td></tr> </tbody> </table>	Toma de medidas(mm)	Incision de la muestra(mm)	0.07	0.07	0.07		0.07		0.07		0.07		0.07		Promedio	0.07	<u>Corrosión</u>	<u>0</u>
Toma de medidas(mm)	Incision de la muestra(mm)																				
0.07	0.07																				
0.07																					
0.07																					
0.07																					
0.07																					
0.07																					
Promedio	0.07																				
<u>Corrosión</u>	<u>0</u>																				
		<p>Corrosión general: Presenta un avance de la corrosión 5-G, 3% de corrosión.</p> <p>Corrosión localizada: Grado 8-S con 0.1% corroído se observa en el límite derecho y en la zona inferior</p> <p>Porcentaje del avance de corrosión respecto al área total de la muestra: 10%</p> <p>Observaciones: Presencia de óxido de hierro en el orificio.</p>	<table> <thead> <tr> <th>Toma de medidas(mm)</th> <th>Incision de la muestra(mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.07</td><td>0.07</td></tr> <tr><td>0.07</td><td></td></tr> <tr><td>0.07</td><td></td></tr> <tr><td>0.07</td><td></td></tr> <tr><td>0.1</td><td></td></tr> <tr><td>0.07</td><td></td></tr> <tr><td>Promedio</td><td>0.075</td></tr> <tr><td><u>Corrosión</u></td><td><u>0.0025</u></td></tr> </tbody> </table>	Toma de medidas(mm)	Incision de la muestra(mm)	0.07	0.07	0.07		0.07		0.07		0.1		0.07		Promedio	0.075	<u>Corrosión</u>	<u>0.0025</u>
Toma de medidas(mm)	Incision de la muestra(mm)																				
0.07	0.07																				
0.07																					
0.07																					
0.07																					
0.1																					
0.07																					
Promedio	0.075																				
<u>Corrosión</u>	<u>0.0025</u>																				




Continúa...

Tabla 3-6 RESULTADOS A 1500 HRS DE EVALUACIÓN (Continuación)

ESPESOR 3/16 in																					
0 HRS	1500 HRS	ASTM D610:2019	ASTM D1654:2008																		
		<p>Corrosión general: Grado de avance es entre 6-G con un 1% corroído en la parte superior de la muestra, y 5G, 3% corroído en el resto de la muestra.</p> <p>Corrosión Localizada: El grado de avance es 7-S con 0.3% de corroído</p> <p>Porcentaje del avance de corrosión respecto al área total de la muestra: 13%</p> <p>Observaciones: En una misma área se sobreponen dos tipos de corrosión. Se tiene presencia de corrosión en el orificio.</p>	<table> <thead> <tr> <th>Toma de medidas(mm)</th> <th>Incision de la muestra(mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.07</td><td>0.07</td></tr> <tr><td>0.07</td><td></td></tr> <tr><td>0.07</td><td></td></tr> <tr><td>0.07</td><td></td></tr> <tr><td>0.07</td><td></td></tr> <tr><td>0.07</td><td></td></tr> <tr><td>Promedio</td><td>0.07</td></tr> <tr><td><u>Corrosión</u></td><td><u>0</u></td></tr> </tbody> </table>	Toma de medidas(mm)	Incision de la muestra(mm)	0.07	0.07	0.07		0.07		0.07		0.07		0.07		Promedio	0.07	<u>Corrosión</u>	<u>0</u>
Toma de medidas(mm)	Incision de la muestra(mm)																				
0.07	0.07																				
0.07																					
0.07																					
0.07																					
0.07																					
0.07																					
Promedio	0.07																				
<u>Corrosión</u>	<u>0</u>																				
		<p>Corrosión general: Se presenta un grado de corrosión de 5-G con un avance corroído del 3%</p> <p>Porcentaje del avance de corrosión respecto al área total de la muestra: 7%</p>	<table> <thead> <tr> <th>Toma de medidas(mm)</th> <th>Incision de la muestra(mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.07</td><td>0.07</td></tr> <tr><td>0.07</td><td></td></tr> <tr><td>0.07</td><td></td></tr> <tr><td>0.07</td><td></td></tr> <tr><td>0.07</td><td></td></tr> <tr><td>0.07</td><td></td></tr> <tr><td>Promedio</td><td>0.07</td></tr> <tr><td><u>Corrosión</u></td><td><u>0</u></td></tr> </tbody> </table>	Toma de medidas(mm)	Incision de la muestra(mm)	0.07	0.07	0.07		0.07		0.07		0.07		0.07		Promedio	0.07	<u>Corrosión</u>	<u>0</u>
Toma de medidas(mm)	Incision de la muestra(mm)																				
0.07	0.07																				
0.07																					
0.07																					
0.07																					
0.07																					
0.07																					
Promedio	0.07																				
<u>Corrosión</u>	<u>0</u>																				



Continúa...

Tabla 3-6 RESULTADOS A 1500 HRS DE EVALUACIÓN (Continuación)

ESPESOR 1/4 in																					
0 HRS	1500 HRS	ASTM D610:2019	ASTM D1654:2008																		
		<p>Corrosión general: Presenta un grado de 3-G con un avance de corrosión del 16% corroído</p> <p>Corrosión Localizada: Presenta un grado de 8-S al 0.1% corroído. Se observa</p> <p>Corrosión picadura: Presenta un grado de 5- P al 3% corroído Porcentaje del avance de corrosión respecto al área total de la muestra: 10%</p>	<table border="0"> <thead> <tr> <th>Toma de medidas(mm)</th> <th>Incision de la muestra(mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.07</td><td>0.07</td></tr> <tr><td>0.07</td><td></td></tr> <tr><td>0.07</td><td></td></tr> <tr><td>0.07</td><td></td></tr> <tr><td>0.07</td><td></td></tr> <tr><td>0.07</td><td></td></tr> <tr><td>Promedio</td><td>0.07</td></tr> <tr><td><u>Corrosión</u></td><td><u>0</u></td></tr> </tbody> </table>	Toma de medidas(mm)	Incision de la muestra(mm)	0.07	0.07	0.07		0.07		0.07		0.07		0.07		Promedio	0.07	<u>Corrosión</u>	<u>0</u>
Toma de medidas(mm)	Incision de la muestra(mm)																				
0.07	0.07																				
0.07																					
0.07																					
0.07																					
0.07																					
0.07																					
Promedio	0.07																				
<u>Corrosión</u>	<u>0</u>																				
		<p>Corrosión generalizada: Grado 4-G con un 10% corroído y con un grado 3-G y un 16% corroído del lado derecho de la muestra</p> <p>Corrosión localizada: La muestra tiene un grado de corrosión entre 9-S,8-S con un porcentaje corroído de 0.065%</p> <p>Corrosión picadura: Presenta un grado de 5- P al 3% corroído. Se observa mayoritariamente en la parte superior de la muestra.</p> <p>Porcentaje del avance de corrosión respecto al área total de la muestra: 16%</p>	<table border="0"> <thead> <tr> <th>Toma de medidas(mm)</th> <th>Incision de la muestra(mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.07</td><td>0.07</td></tr> <tr><td>0.07</td><td></td></tr> <tr><td>0.07</td><td></td></tr> <tr><td>0.07</td><td></td></tr> <tr><td>0.07</td><td></td></tr> <tr><td>0.07</td><td></td></tr> <tr><td>Promedio</td><td>0.07</td></tr> <tr><td><u>Corrosión</u></td><td><u>0</u></td></tr> </tbody> </table>	Toma de medidas(mm)	Incision de la muestra(mm)	0.07	0.07	0.07		0.07		0.07		0.07		0.07		Promedio	0.07	<u>Corrosión</u>	<u>0</u>
Toma de medidas(mm)	Incision de la muestra(mm)																				
0.07	0.07																				
0.07																					
0.07																					
0.07																					
0.07																					
0.07																					
Promedio	0.07																				
<u>Corrosión</u>	<u>0</u>																				





Continúa...

Tabla 3-6 RESULTADOS A 1500 HRS DE EVALUACIÓN (Continuación)

ESPESOR 1/4 in																					
0 HRS	1500 HRS	ASTM D610:2019	ASTM D1654:2008																		
		<p>Corrosión generalizada: Grado 5-G con un 3% corroído. Porcentaje del avance de corrosión respecto al área total de la muestra: 8%</p>	<table> <thead> <tr> <th>Toma de medidas(mm)</th> <th>Incision de la muestra(mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.07</td> <td>0.07</td> </tr> <tr> <td>0.07</td> <td></td> </tr> <tr> <td>0.07</td> <td></td> </tr> <tr> <td>0.07</td> <td></td> </tr> <tr> <td>0.07</td> <td></td> </tr> <tr> <td>0.07</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>0.07</td> </tr> <tr> <td><u>Corrosión</u></td> <td><u>0</u></td> </tr> </tbody> </table>	Toma de medidas(mm)	Incision de la muestra(mm)	0.07	0.07	0.07		0.07		0.07		0.07		0.07		Promedio	0.07	<u>Corrosión</u>	<u>0</u>
Toma de medidas(mm)	Incision de la muestra(mm)																				
0.07	0.07																				
0.07																					
0.07																					
0.07																					
0.07																					
0.07																					
Promedio	0.07																				
<u>Corrosión</u>	<u>0</u>																				

Continúa...

Tabla 3-6 RESULTADOS A 1500 HRS DE EVALUACIÓN (Continuación)

ESPESOR 5/8 in																					
0 HRS	1500 HRS	ASTM D610:2019	ASTM D1654:2008																		
		<p>Corrosión generalizada: La muestra tiene un grado de corrosión de 5-G con un 3% corroído.</p> <p>Corrosión localizada: Presenta un grado de corrosión 9-S con un 0.03% corroído.</p> <p>Porcentaje del avance de corrosión respecto al área total de la muestra:12%</p> <p>Observaciones: El orificio también presenta corrosión de tipo generalizada.</p>	<table> <thead> <tr> <th>Toma de medidas(mm)</th> <th>Incision de la muestra(mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.07</td><td>0.07</td></tr> <tr><td>0.07</td><td></td></tr> <tr><td>0.07</td><td></td></tr> <tr><td>0.07</td><td></td></tr> <tr><td>0.07</td><td></td></tr> <tr><td>0.07</td><td></td></tr> <tr><td>Promedio</td><td>0.07</td></tr> <tr><td><u>Corrosión</u></td><td><u>0</u></td></tr> </tbody> </table>	Toma de medidas(mm)	Incision de la muestra(mm)	0.07	0.07	0.07		0.07		0.07		0.07		0.07		Promedio	0.07	<u>Corrosión</u>	<u>0</u>
Toma de medidas(mm)	Incision de la muestra(mm)																				
0.07	0.07																				
0.07																					
0.07																					
0.07																					
0.07																					
0.07																					
Promedio	0.07																				
<u>Corrosión</u>	<u>0</u>																				
		<p>Corrosión generalizada: La muestra tiene un grado de corrosión de 5-G con un 3% corroído.</p> <p>Corrosión localizada: Presenta un grado de corrosión 8-S con un 0.03% corroído.</p> <p>Corrosión Localizada: Presenta un grado de corrosión 8-S con un 0.03% corroído y en la parte de debajo de la muestra presenta un grado de corrosión de 5-s con un 3% de corrosión</p> <p>Porcentaje del avance de corrosión respecto al área total de la muestra:12%</p> <p>Observaciones: Se presenta corrosión de tipo sublaminar a las orillas de la muestra.</p>	<table> <thead> <tr> <th>Toma de medidas(mm)</th> <th>Incision de la muestra(mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.07</td><td>0.07</td></tr> <tr><td>0.07</td><td></td></tr> <tr><td>0.07</td><td></td></tr> <tr><td>0.07</td><td></td></tr> <tr><td>0.07</td><td></td></tr> <tr><td>0.07</td><td></td></tr> <tr><td>Promedio</td><td>0.07</td></tr> <tr><td><u>Corrosión</u></td><td><u>0</u></td></tr> </tbody> </table>	Toma de medidas(mm)	Incision de la muestra(mm)	0.07	0.07	0.07		0.07		0.07		0.07		0.07		Promedio	0.07	<u>Corrosión</u>	<u>0</u>
Toma de medidas(mm)	Incision de la muestra(mm)																				
0.07	0.07																				
0.07																					
0.07																					
0.07																					
0.07																					
0.07																					
Promedio	0.07																				
<u>Corrosión</u>	<u>0</u>																				

Continúa...

Tabla 3-6 RESULTADOS A 1500 HRS DE EVALUACIÓN (Continuación)

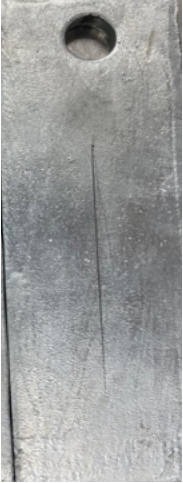






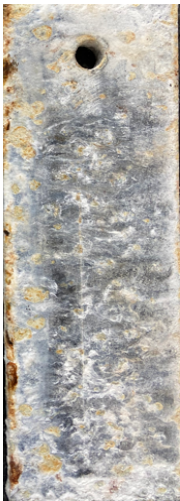
ESPESOR 5/8 in																					
0 HRS	1500 HRS	ASTM D610:2019	ASTM D1654:2008																		
		<p>Corrosión generalizada: Presenta un grado de corrosión 7-G con 0.3% corroído.</p> <p>Corrosión por picadura: 8-P con 0.1% corroído.</p> <p>Porcentaje del avance de corrosión respecto al área total de la muestra: 5%</p>	<table> <thead> <tr> <th>Toma de medidas(mm)</th> <th>Incision de la muestra(mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.07</td> <td>0.07</td> </tr> <tr> <td>0.07</td> <td></td> </tr> <tr> <td>0.07</td> <td></td> </tr> <tr> <td>0.07</td> <td></td> </tr> <tr> <td>0.07</td> <td></td> </tr> <tr> <td>0.07</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>0.07</td> </tr> <tr> <td><u>Corrosión</u></td> <td><u>0</u></td> </tr> </tbody> </table>	Toma de medidas(mm)	Incision de la muestra(mm)	0.07	0.07	0.07		0.07		0.07		0.07		0.07		Promedio	0.07	<u>Corrosión</u>	<u>0</u>
Toma de medidas(mm)	Incision de la muestra(mm)																				
0.07	0.07																				
0.07																					
0.07																					
0.07																					
0.07																					
0.07																					
Promedio	0.07																				
<u>Corrosión</u>	<u>0</u>																				

Tabla 3-6 RESULTADOS A 1500 HRS DE EVALUACIÓN (Continuación)

ESPESOR 3/4 in																					
0 HRS	1500 HRS	ASTM D610:2019	ASTM D1654:2008																		
		<p>Corrosión generalizada: Presenta un grado de corrosión 3-G con un 16% corroído</p> <p>Corrosión localizada: Presenta un grado de corrosión de 7-S y un porcentaje corroído de 0.3%.</p> <p>Porcentaje del avance de corrosión respecto al área total de la muestra: 12%</p> <p>Observaciones: Se presenta corrosión de tipo sublaminar a las orillas de la muestra.</p>	<table> <thead> <tr> <th>Toma de medidas(mm)</th> <th>Incision de la muestra(mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.07</td><td>0.07</td></tr> <tr><td>0.07</td><td></td></tr> <tr><td>0.07</td><td></td></tr> <tr><td>0.07</td><td></td></tr> <tr><td>0.07</td><td></td></tr> <tr><td>0.07</td><td></td></tr> <tr><td>Promedio</td><td>0.07</td></tr> <tr><td><u>Corrosión</u></td><td><u>0</u></td></tr> </tbody> </table>	Toma de medidas(mm)	Incision de la muestra(mm)	0.07	0.07	0.07		0.07		0.07		0.07		0.07		Promedio	0.07	<u>Corrosión</u>	<u>0</u>
Toma de medidas(mm)	Incision de la muestra(mm)																				
0.07	0.07																				
0.07																					
0.07																					
0.07																					
0.07																					
0.07																					
Promedio	0.07																				
<u>Corrosión</u>	<u>0</u>																				
		<p>Corrosión generalizada: Presenta un grado de corrosión 3-G con un 16% corroído</p> <p>Corrosión picadura: Presenta un grado de corrosión de 7-P y un porcentaje corroído de 0.3%.</p> <p>Porcentaje del avance de corrosión respecto al área total de la muestra: 10%</p> <p>Observaciones: Se presenta corrosión de tipo sublaminar a las orillas de la muestra.</p>	<table> <thead> <tr> <th>Toma de medidas(mm)</th> <th>Incision de la muestra(mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.07</td><td>0.07</td></tr> <tr><td>0.07</td><td></td></tr> <tr><td>0.07</td><td></td></tr> <tr><td>0.07</td><td></td></tr> <tr><td>0.07</td><td></td></tr> <tr><td>0.07</td><td></td></tr> <tr><td>Promedio</td><td>0.07</td></tr> <tr><td><u>Corrosión</u></td><td><u>0</u></td></tr> </tbody> </table>	Toma de medidas(mm)	Incision de la muestra(mm)	0.07	0.07	0.07		0.07		0.07		0.07		0.07		Promedio	0.07	<u>Corrosión</u>	<u>0</u>
Toma de medidas(mm)	Incision de la muestra(mm)																				
0.07	0.07																				
0.07																					
0.07																					
0.07																					
0.07																					
0.07																					
Promedio	0.07																				
<u>Corrosión</u>	<u>0</u>																				




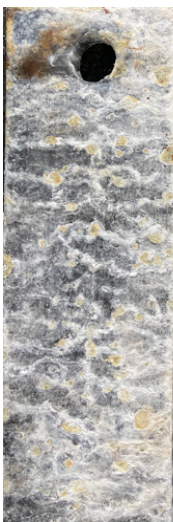
Continúa...

Tabla 3-6 RESULTADOS A 1500 HRS DE EVALUACIÓN (Continuación)

ESPESOR 3/4 in																					
0 HRS	1500 HRS	ASTM D610:2019	ASTM D1654:2008																		
		<p>Corrosión generalizada: Presenta un grado de corrosión 3-G con un 16% corroído</p> <p>Corrosión localizada: Presenta un grado de corrosión de 8-S y un porcentaje corroído de 0.1%.</p> <p>Porcentaje del avance de corrosión respecto al área total de la muestra: 10%</p> <p>Observaciones: Se presenta corrosión de tipo sublaminar a las orillas de la muestra.</p>	<table> <thead> <tr> <th>Toma de medidas(mm)</th> <th>Incision de la muestra(mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.07</td> <td>0.07</td> </tr> <tr> <td>0.07</td> <td></td> </tr> <tr> <td>0.07</td> <td></td> </tr> <tr> <td>0.07</td> <td></td> </tr> <tr> <td>0.07</td> <td></td> </tr> <tr> <td>0.07</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>0.07</td> </tr> <tr> <td><u>Corrosión</u></td> <td><u>0</u></td> </tr> </tbody> </table>	Toma de medidas(mm)	Incision de la muestra(mm)	0.07	0.07	0.07		0.07		0.07		0.07		0.07		Promedio	0.07	<u>Corrosión</u>	<u>0</u>
Toma de medidas(mm)	Incision de la muestra(mm)																				
0.07	0.07																				
0.07																					
0.07																					
0.07																					
0.07																					
0.07																					
Promedio	0.07																				
<u>Corrosión</u>	<u>0</u>																				

Continúa...

Tabla 3-6 RESULTADOS A 1500 HRS DE EVALUACIÓN (Continuación)

ESPESOR 7/8 in																					
0 HRS	1500 HRS	ASTM D610:2019	ASTM D1654:2008																		
		<p>Corrosión generalizada: Presenta un grado de corrosión 4-5G con un 7% corroído</p> <p>Corrosión localizada: Presenta un grado de corrosión de 8-S y un porcentaje corroído de 0.1%.</p> <p>Corrosión por picadura: Presenta un grado de corrosión de 5-P con 3% corroído esta se encuentra en algunas áreas de corrosión.</p> <p>Corrosión localizada: Presenta un grado de corrosión de 8-S y un porcentaje corroído de 0.1%.</p> <p>Porcentaje del avance de corrosión respecto al área total de la muestra:17%</p> <p>Observaciones: Se presenta corrosión de tipo sublaminar a la parte superior de la muestra</p>	<table> <thead> <tr> <th>Toma de medidas (mm)</th> <th>Incision de la muestra(m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.07</td> <td>0.07</td> </tr> <tr> <td>0.2</td> <td></td> </tr> <tr> <td>0.07</td> <td></td> </tr> <tr> <td>0.07</td> <td></td> </tr> <tr> <td>0.07</td> <td></td> </tr> <tr> <td>0.07</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>0.091666667</td> </tr> <tr> <td><u>Corrosión</u></td> <td><u>0.010833333</u></td> </tr> </tbody> </table>	Toma de medidas (mm)	Incision de la muestra(m)	0.07	0.07	0.2		0.07		0.07		0.07		0.07		Promedio	0.091666667	<u>Corrosión</u>	<u>0.010833333</u>
Toma de medidas (mm)	Incision de la muestra(m)																				
0.07	0.07																				
0.2																					
0.07																					
0.07																					
0.07																					
0.07																					
Promedio	0.091666667																				
<u>Corrosión</u>	<u>0.010833333</u>																				
		<p>Corrosión generalizada: Presenta un grado de corrosión 5-G con un 10% corroído</p> <p>Corrosión por picadura: Presenta un grado de corrosión por picadura de 5-P con 3% corroído esta se encuentra en algunas áreas de corrosión generalizada</p> <p>Porcentaje del avance de corrosión respecto al área total de la muestra:12%</p>	<table> <thead> <tr> <th>Toma de medidas(mm)</th> <th>Incision de la muestra(mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.07</td> <td>0.07</td> </tr> <tr> <td>0.07</td> <td></td> </tr> <tr> <td>0.07</td> <td></td> </tr> <tr> <td>0.1</td> <td></td> </tr> <tr> <td>0.07</td> <td></td> </tr> <tr> <td>0.07</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>0.075</td> </tr> <tr> <td><u>Corrosión</u></td> <td><u>0.0025</u></td> </tr> </tbody> </table>	Toma de medidas(mm)	Incision de la muestra(mm)	0.07	0.07	0.07		0.07		0.1		0.07		0.07		Promedio	0.075	<u>Corrosión</u>	<u>0.0025</u>
Toma de medidas(mm)	Incision de la muestra(mm)																				
0.07	0.07																				
0.07																					
0.07																					
0.1																					
0.07																					
0.07																					
Promedio	0.075																				
<u>Corrosión</u>	<u>0.0025</u>																				

Continúa...

Tabla 3-6 RESULTADOS A 1500 HRS DE EVALUACIÓN (Continuación)



ESPESOR 7/8 in																							
0 HRS	1500 HRS	ASTM D610:2019	ASTM D1654:2008																				
		<p>Corrosión generalizada: Presenta un grado de corrosión 5-G con un 3% corroído.</p> <p>Corrosión por picadura: Presenta un grado de corrosión por picadura de 6-P con 1% corroído esta se encuentra en algunas áreas de corrosión.</p> <p>Observaciones: Se observa presencia de corrosión cerca del orificio.</p> <p>Porcentaje del avance de corrosión respecto al área total de la muestra: 10%</p>	<table border="0"> <thead> <tr> <th>Toma de medidas(mm)</th> <th>Incision de la muestra(mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.07</td> <td>0.07</td> </tr> <tr> <td>0.07</td> <td></td> </tr> <tr> <td>0.07</td> <td></td> </tr> <tr> <td>0.07</td> <td></td> </tr> <tr> <td>0.07</td> <td></td> </tr> <tr> <td>0.07</td> <td></td> </tr> <tr> <td>0.07</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td></td> </tr> <tr> <td><u>Corrosión</u></td> <td><u>0</u></td> </tr> </tbody> </table>	Toma de medidas(mm)	Incision de la muestra(mm)	0.07	0.07	0.07		0.07		0.07		0.07		0.07		0.07		Promedio		<u>Corrosión</u>	<u>0</u>
Toma de medidas(mm)	Incision de la muestra(mm)																						
0.07	0.07																						
0.07																							
0.07																							
0.07																							
0.07																							
0.07																							
0.07																							
Promedio																							
<u>Corrosión</u>	<u>0</u>																						

Tabla 3-7 RESUMEN DE CLASIFICACIÓN DE CORROSIÓN POR ESPÉCIMEN

Clasificación de la corrosión en espécimen: 2mm				
Espesor	Corrosión Generalizada	Corrosión por Picadura	Corrosión Localizada	% de corrosión en total de área de muestra
71	7-G	7-P	8-S	15%
74.67	4-5G		8-S	12%
90.93	5G		5S	9%
96.01	5G			11%
100.53	5-4G			13%
Clasificación de la corrosión en espécimen: 3/16in				
Espesor	Corrosión Generalizada	Corrosión por Picadura	Corrosión Localizada	% de corrosión en total de área de muestra
74.68	5G	8P	5S-6S	16%
120.14	5G	8P	8S	11%
127.76	5G	5P-6P	9S	15%
135.12	5G		8S	10%
152.40	5G		8s	10%
172.72	5G			7%
Clasificación de la corrosión en espécimen: 1/4in				
Espesor	Corrosión Generalizada	Corrosión por Picadura	Corrosión Localizada	% de corrosión en total de área de muestra
74.68	3G	5-P	8S	10%
118.11	3-4G	5-P	9s-8s	16%
154.64	5G			8%
Clasificación de la corrosión en espécimen: 3/4in				
Espesor	Corrosión Generalizada	Corrosión por Picadura	Corrosión Localizada	% de corrosión en total de área de muestra
113.79	5G	9S		12%
127.5	5G	8S		12%
139.7	7G		8P	5%
Clasificación de la corrosión en espécimen: 5/8in				
Espesor	Corrosión Generalizada	Corrosión por Picadura	Corrosión Localizada	% de corrosión en total de área de muestra
74.68	3G		7S	12%
118.11	3G	7P		10%
154.64	3G		8S	10%
Clasificación de la corrosión en espécimen: 7/8in				
Espesor	Corrosión Generalizada	Corrosión por Picadura	Corrosión Localizada	% de corrosión en total de área de muestra
113.03	5G	5P	8S	17%
113.54	5G	5P	8S	10%
146.8	5G	6P	9S	10%

3.11. OBSERVACIONES

En los picos de rugosidad de recubrimiento de galvanizado hay presencia de corrosión por picadura además en esta área se observa el fenómeno de corrosión sub-laminar, que es la corrosión entre capa de sustrato y la capa de revestimiento.

A la muestra con el recubrimiento se le realiza una incisión de forma que se alcance el sustrato y sea posible apreciar las capas que lo componen y la presencia de porosidad en la superficie. Con el transcurso del tiempo, posterior a la incisión, mediante la utilización de observación en un plano perpendicular a la superficie, se aprecia que el carácter laminar palidece y se genera un sello redondo que subsana la discontinuidad hecha por la incisión. Esto resulta en la creación de uniformidad sobre la superficie de la incisión

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados y observaciones realizadas en el proceso experimental de la investigación donde se colocaron diferentes especímenes de acero A-36 con diferentes espesores de galvanizado en un ambiente de corrosión acelerado se concluye lo siguiente:

1. Las hendiduras presentes en el sustrato afectan a la evaluación de corrosión porque el zinc no logra recubrir todo el acero y se comienza a corroer la muestra desde dentro del sustrato presentando una mancha café por debajo de la capa superficial del revestimiento.
2. La falta de protección por uniformidad de galvanizado presentes en las esquinas de las muestras hizo que presentarán las piezas mayor grado de avance de corrosión en esas zonas
3. Los resultados obtenidos para evaluar la corrosión a través de la fuga de óxido por la incisión estandarizado por la norma ASTM D1654:2016 determinaron que la fuga de óxido obtenido en todas las muestras no cumple con la fuga mínima que es de 0.1 para ser sometida a clasificación de la fuga de óxido a través de la falla de incisión ver anexo 3. Además, realizar levantamiento del revestimiento que recomienda la norma no se puede llevar a cabo por la alta adherencia del revestimiento.
4. En todos los especímenes de acero A-36 sujetos al experimento, la corrosión generalizada está presente en cada muestra, además, este es el tipo de corrosión que más grado de avance presenta respecto a la corrosión por picadura o localizada en cada muestra. De los especímenes de espesor de acero A-36 el que presenta mayor corrosión es el de 5/8" y el que presentar menor avance de corrosión es el espécimen de 3/4".
5. Las muestras presentaron una durabilidad de 350 horas en exposición a un ambiente corrosivo a través de una cámara salina donde se observa los primeros indicios de óxido de hierro.
6. Los especímenes de acero que tienen en común el espesor mínimo de 75 micras de galvanizado son: 3/16", 1/4", 3/4", 5/8". En la que se identificó una tendencia, que a mayor espesor de sustrato mayor grado de avance de corrosión tiene la muestra a la exposición de un ambiente corrosivo en cámara salina a las 1500 horas.

7. El porcentaje de corrosión total de área de muestra no es una variable determinística para evaluar tendencias de corrosión frente a una norma internacional como son las ASTM, cuando se tienen muestras que han sido expuestas a ambientes corrosivos acelerados. Porque los especímenes de aceros contra el espesor galvanizado a las 1500 horas pueden generar puntos de inflexión como es el caso de los especímenes de 2mm, 3/16" y un 1/4" de pulgada.

8. Los depósitos de sal y de óxido de zinc, no permitieron hacer una evaluación certera sobre la pérdida de corrosión en la muestra y al no presentarse fuga de corrosión tampoco evaluar la pérdida de espesor de galvanizado en esta área. Sustentando en la secuencia de la tabla 3.

RECOMENDACIONES

La norma ASTM D1654:2016 indica que hay que tomar mínimo 5 lecturas de manera que cubran varios puntos de la muestra; sin embargo, hay que tener en cuenta que el galvanizado es de carácter industrial, por lo que, a las áreas donde había un mayor espesor detectable a simple vista no fueron sujetas para la toma de dichas lecturas. Dicho lo anterior se recomienda hacer de manera mecánica un emparejamiento de las zonas con alto espesor.

No se recomienda hacer mediciones del cambio de espesor de recubrimiento a lo largo del tiempo, ya que la limpieza química no remueve completamente las incrustaciones de sal y óxido de zinc lo que dificulta el proceso de medición de espesor de recubrimiento dando incertidumbre en sus valores. (Observar anexo)

BIBLIOGRAFÍA

AMPP (agosto,2023). *Forms of Corrosion*. Higher Logic, LLC. USA. Recuperado de: <https://n9.cl/xn7cb>.

AMPP (agosto,2023). *How to Protect Metals from Corroding*. Higher Logic, LLC. USA. Recuperado de: <https://n9.cl/opz5s>.

ASTM B117-19 (2017) *Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus*. Editorial: ASTM International. United States.

ASTM G1-03 (2017) *Standard Practice for Preparing, Cleaning and Evaluating Corrosion Test Specimens*. ASTM International. United States.

ASTM D610-08 (2017) *Standard Practice for Evaluating Degree of Rusting on Painted Steel Surfaces*. ASTM International. United States.

Clement, G. V. (2006). *Estructuras De Acero*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

Correa Bedoya, E., y Botero Vega, C. (2007). *Corrosión del acero al carbono, acero galvanizado y aluminio en diferentes atmósferas colombianas*. Scientia et Technica Año XII.

ECCA (2011). *The Basics of Corrosion*. European Coil Coating Association. Technical Paper
Recuperado de:

<https://prepaintedmetal.eu/repository/downloads/1.%20The%20Basics%20of%20Corrosion.pdf>

Gómez De León Hijes, F. C. y Alcaraz Lorente, D. J. (2004). *Manual básico de corrosión para ingenieros*. Editorial: Universidad de Murcia. España.

Harsimran, S., Santosh, K., & Rakesh, K. (2021). *Overview of corrosion and its control: a critical review*. Proceedings on Engineering Sciences, 3(1), 14–15. Recuperado de: <https://n9.cl/nzxr5>.

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

Levy, A. V. (1995). Erosion and Erosion-Corrosion of Metals. *Corrosión*, 51(11),872– 883. Libro digital, PDF. USA. Recuperado de: <https://n9.cl/z6ug5>

Marrero-Águila, R., GonzálezPrada, C., González-Ortega, L. D. C y McNeil-Montañés, B. (2013). *Ensayos de corrosión naturales y acelerados en sistemas de pinturas aplicados sobre acero*. Tecnología Química. Habana, Cuba: Facultad de Ingeniería Química, Instituto Superior Politécnico José A. Echeverría, CUJAE. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/317516715_Ensayos_de_corrosion_naturales_y_acelerados_en_sistemas_de_pinturas_aplicados_sobre_acero

Orozco Cruz, R. (2011, 6 mayo). *Recubrimientos anticorrosivos [Diapositivas]*. México. Recuperado de: <https://n9.cl/lt3aa>

Revie, R.W., y Uhlig, H.H. (2008). *Corrosion and Corrosion Control - An Introduction to Corrosion Science and Engineering*. Wiley & Sons, Inc: USA

Roberge, P. R. (2000). *Handbook of corrosion engineering*. United States of America: MacGrawHill.

Schweitzer, P. A. (2010). *Fundamentals of Corrosion*. Taylor & Francis. USA. Recuperado de: <https://n9.cl/0o327>

W.M. (junio,2023). *Recubrimientos Dúplex*. Autocromes. España. Recuperado de: <https://n9.cl/eczxs>.

Yraima Rico, Edwuin Carrasquero y Jaime Minchala (2019). *Efecto de la composición química en el comportamiento mecánico de recubrimientos galvanizados por inmersión en caliente*. Venezuela: Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José de Sucre”. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/281692058_Microstructural_changes_alloy_and_chemical_Zn-10Al_deposited_by_immersion_in_hot_on_a_steel_SAE_1020

ANEXOS

Tabla A.1 Grado promedio mínimo de espesor del recubrimiento por categoría del material
Fuente: ASTM A123M,2017

TABLE 1 Minimum Average Coating Thickness Grade by Material Category

Material Category	All Specimens Tested Steel Thickness Range (Measured), in. [mm]					
	<1/16 [<1.6]	≥1/16 to <1/8 [≥1.6 to <3.2]	≥1/8 to <3/16 [≥3.2 to 4.8]	≥3/16 to <1/4 [≥4.8 to <6.4]	≥1/4 to <5/8 [≥6.4 to <16.0]	≥5/8 [≥16.0]
Structural Shapes	45	65	75	75	100	100
Strip and Bar	45	65	75	75	75	100
Plate	45	65	75	75	75	100
Pipe and Tubing	45	45	75	75	75	75
Wire	35	50	60	65	80	80
Reinforcing Bar	---	---	---	---	100	100

Figura A.1 Patrón para evaluación visual de corrosión en láminas con recubrimiento
Fuente: ASTM D610-08,2019



Continúa...

Figura A.1 Patrón para evaluación visual de corrosión en láminas con recubrimiento
 Fuente: ASTM D610-08,2019 (Continuación)

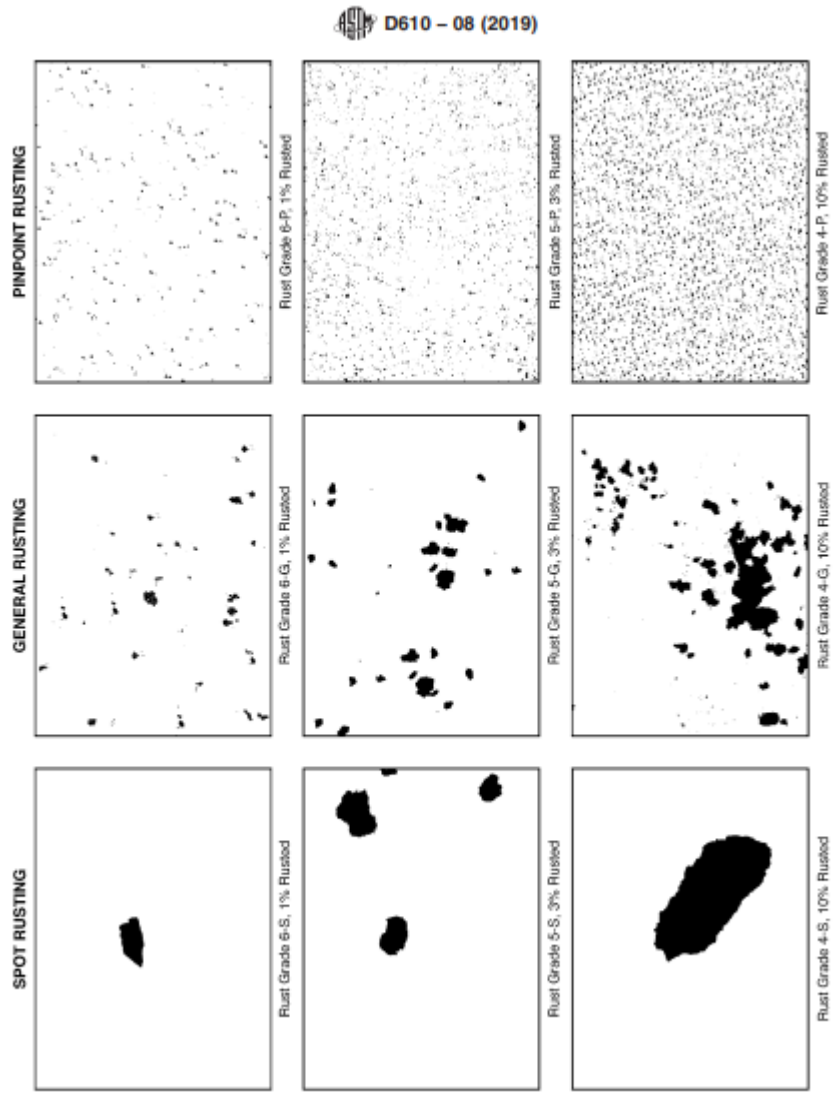


FIG. 2 Examples of Area Percentages

Continúa...

Figura A.1 Patrón para evaluación visual de corrosión en láminas con recubrimiento
 Fuente: ASTM D610-08,2019 (Continuación)

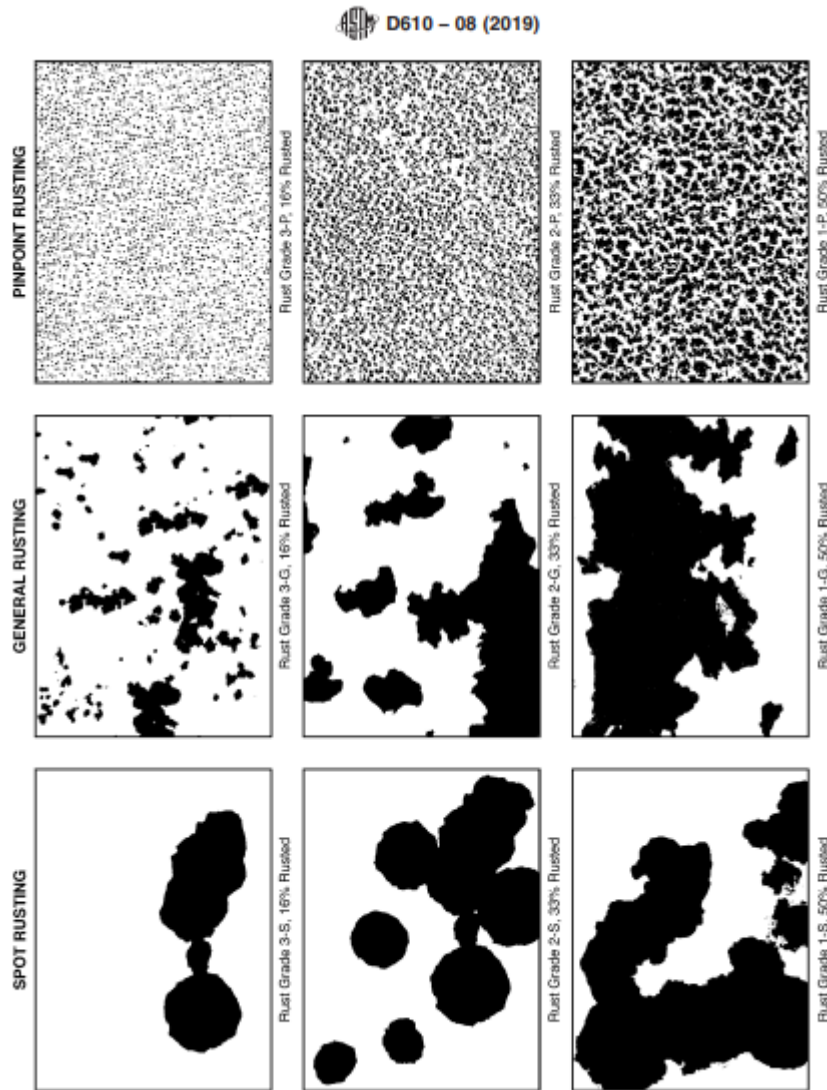


FIG. 3 Examples of Area Percentages

Tabla A.2 Evaluación de la fuga de corrosión a través de una incisión
 Fuente: ASTM D1654:08

Representative Mean Creepage From Scribe		
Millimetres	Inches (Approximate)	Rating Number
Zero	0	10
Over 0 to 0.5	0 to 1/64	9
Over 0.5 to 1.0	1/64 to 1/32	8
Over 1.0 to 2.0	1/32 to 1/16	7
Over 2.0 to 3.0	1/16 to 1/8	6
Over 3.0 to 5.0	1/8 to 3/16	5
Over 5.0 to 7.0	3/16 to 1/4	4
Over 7.0 to 10.0	1/4 to 3/8	3
Over 10.0 to 13.0	3/8 to 1/2	2
Over 13.0 to 16.0	1/2 to 5/8	1
Over 16.0 to more	5/8 to more	0