

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA E INGENIERIA DE ALIMENTOS



CURSO DE ESPECIALIZACIÓN EN:
INTRODUCCIÓN AL CONTROL DE CORROSIÓN INDUSTRIAL

**PRUEBAS DE CORROSIÓN ACELERADA DE LOS PRINCIPALES
MATERIALES METÁLICOS FERROSOS MÁS UTILIZADOS EN
CONSTRUCCIÓN, METALMECÁNICA E INDUSTRIA EN
GENERAL.**

PRESENTADO POR:
EDUARDO ERNESTO CÁRCAMO PALENCIA
OSCAR GERARDO CRUZ ALVARADO

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO QUÍMICO

CIUDAD UNIVERSITARIA, ENERO DE 2023

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

MSC. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL:

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO:

DR. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA

SECRETARIO:

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS

DIRECTORA:

INGA. SARA ELISABETH ORELLANA BERRÍOS

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

**PRUEBAS DE CORROSIÓN ACCELERADA DE LOS PRINCIPALES
MATERIALES METÁLICOS FERROSOS MÁS UTILIZADOS EN
CONSTRUCCIÓN, METALMECÁNICA E INDUSTRIA EN GENERAL**

Para optar al título de:

INGENIERO QUÍMICO

Presentado por:

EDUARDO ERNESTO CÁRCAMO PALENCIA

OSCAR GERARDO CRUZ ALVARADO

Docente asesor:

ING. HECTOR MANUEL GUERRA PÉREZ

CIUDAD UNIVERSITARIA, ENERO DE 2023

Trabajo de Grado aprobado por:

DOCENTE ASESOR:

ING. HECTOR MANUEL GUERRA PÉREZ

DEDICATORIA

A Dios y a la Virgen María por permitirme finalizar esta meta, guiarme en todo momento sin abandonarme en los momentos más críticos y difíciles y por todas las bendiciones recibidas a lo largo de toda esta etapa

A mi mamá, mis hermanos y mi papá, por darme la fortaleza y el apoyo para seguir siempre adelante y sobre todo por el cariño brindado que forjó mi carácter.

A mis tías Carmen, Mirna, Lorenza, por estar en todo momento apoyándome en cada año transcurrido de mi carrera de formación.

A mi compañero de tesis Óscar, por estar desde el 3er año de carrera compartiendo las materias y ayudándonos mutuamente en todos los contenidos de las materias. Por todo el apoyo cuando uno si podía y el otro no y por la responsabilidad de cada uno para afrontar y terminar la etapa final de la carrera.

A mi novia Lourdes por estar siempre en los momentos donde no daba más por la acumulación de carga y trabajo, demostrándome siempre su apoyo el cual ayudó mucho para no rendirme.

A cada uno de mis amigos que estuvieron a lo largo de toda la carrera diciéndome que si se podía lograr el sueño y que no hay límite para lograr lo que uno quiere.

Eduardo Cárcamo

DEDICATORIA

A mi mamá, mis hermanos y mi papá por su apoyo crucial en el desarrollo y culminación de mi jornada académica. Nada pudiera haber sido posible sin su guía y sacrificio para poder desarrollar mi potencial, me encuentro sumamente agradecido y las palabras no bastan para expresar dicha gratitud.

A mi abuela Ofe, que siempre estaba pendiente de mi avance académico y siempre tenía listo el café durante esas largas noches de estudio y desvelo que me motivaron a culminar mi carrera. Este logro es tanto de ella como mío.

A mi compañero de tesis Eduardo, por haber sido un excelente compañero de estudios y un gran amigo, que nunca me dejó atrás y siempre buscaba la forma apoyar para completar todos los retos que se nos cruzaban

A Julissa, Nayheli y Rodrigo que conformaron el mejor grupo de amigos y compañeros con el cual aprendí mucho y mejoramos en excedentes nuestra calidad como estudiantes, personas y profesionales, les tengo un enorme cariño y también comparto este logro con ustedes.

Oscar Cruz

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Héctor Guerra por ser el enlace y facilitador en el curso de Introducción al Control de la Corrosión Industrial y por aconsejarnos y compartirnos sus conocimientos en el área y brindarnos opciones para apoyarnos a lo largo de la duración del curso.

A la Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería de Alimentos, Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador, por permitirnos adquirir los conocimientos y facilitar el aprendizaje a lo largo de toda la carrera por medio del personal formativo.

Al personal docente y no docente de la planta piloto de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura por todo el apoyo brindado en la realización de nuestro proyecto y por facilitarnos los medios necesarios para llevar a cabo las pruebas y sobre todo el desarrollo del trabajo de aplicación.

RESUMEN

Hablando del sector industrial, se debate sobre muchos materiales para un uso determinado, hay muchos que son seleccionados para una operación en específico, uno de ellos es el hierro, este metal es considerado por el sector, como uno de los materiales para construcción más utilizados, sin embargo, es prudente siempre someter este metal a diversas pruebas según el uso que se le pueda asignar, dichas pruebas se hacen con el fin de experimentar y simular condiciones que permitan evaluar si su superficie es resistente a diversos fenómenos y evaluar su comportamiento en atmósferas químicas o artificiales.

Una de las pruebas más utilizadas es la “Prueba de corrosión acelerada”, la prueba se denomina de corrosión acelerada por la simple razón de catalizar su proceso de resistencia dentro de un ambiente químico previamente creado, todo esto se realiza dentro de una cámara especial denominada, “Cámara Salina”.

La prueba de corrosión acelerada consiste en la exposición de un metal a una especie de niebla salina durante un tiempo estimado dentro de una cámara en condiciones controladas. Estas condiciones no son más que la puesta en marcha de una atmósfera acelerada y saturada de sal, que simula, condiciones extremas para el desarrollo de la corrosión en las superficies de los metales.

Para la construcción de una cámara salina se tomó de base la norma ASTM B117 (American Society for Testing and Materials, por sus siglas en inglés, o Sociedad Americana de Pruebas y Materiales, por su traducción al español), esta norma detalla las condiciones necesarias para el fenómeno al interior de la cámara salina y su construcción y parámetros.

Se estructuró una prueba de 1008 horas con 12 especímenes tomando en cuenta el tiempo de residencia de dichos metales dentro de la cámara para que se cumpla totalmente la prueba, ya establecido lo anterior, se empezaron a presentar en los rangos de tiempo muchos cambios en cuanto al nivel de corrosión, por lo tanto, se utilizó la norma SSPC VIS 2(Steel Structures Painting Council, por sus siglas en inglés, o Consejo de Pintura de Estructuras de Acero) para la clasificación y comparación del nivel de corrosión según el procedimiento existente en la norma, ya con esto se estableció el análisis acorde al tipo de experimento que se estaba realizando.

INDICE

	Página
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. MARCO CONCEPTUAL REFERENCIAL	2
1.1. OBJETIVOS	2
1.1.1. OBJETIVO GENERAL	2
1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1.2. JUSTIFICACIÓN	2
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO	4
2.1. CORROSIÓN	4
2.1.1. Celda Electroquímica	4
2.1.2. Definición de Ánodo y Cátodo	4
2.1.3. Corrosión Electroquímica	5
2.1.4. Fundamentos de la protección catódica	6
2.1.5. Factores Influyentes en el Proceso de Corrosión	6
2.1.6. Metales ferrosos	8
2.1.7. Hierro	9
2.1.8. Hierro Dúctil	9
2.1.9. Acero	9
2.2. PRUEBAS DE CORROSIÓN ACELERADA	10
2.2.1. ¿Qué es un ensayo de corrosión acelerada en cámaras y qué normativas describen?	10
2.2.2. ¿Para qué realizar un ensayo de corrosión acelerada?	11
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA Y ANÁLISIS	12
3.1. ENFOQUE METODOLÓGICO	12
3.2. CRITERIOS DE EVALUACIÓN	12
3.2.1. Evaluación del grado de corrosión con base en estándar SSPC-VIS 2	12
3.2.2. Evaluación de la tasa de corrosión mediante ISO 9226	14
3.3. DISEÑO EXPERIMENTAL	14
3.3.1. Especímenes de Prueba	14
3.4. OBSERVACIONES REALIZADAS DURANTE EL PERIODO DE ENSAYO	19
3.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS	26
3.5.1. Análisis de resultados de la cámara salina 1	26
3.5.2. Análisis de resultados de la cámara salina 2	27

3.5.3	Análisis de resultados de la cámara salina 3.....	29
3.5.4	Cálculo de las velocidades de corrosión	30
	CONCLUSIONES.....	32
	RECOMENDACIONES.....	33
	BIBLIOGRAFÍA	34
	ANEXOS.....	35
	ANEXO I: FICHA TÉCNICA “ÁNGULO GHT”	36
	ANEXO 2. FICHA TÉCNICA MALLA ELECTROSOLDADA.....	37
	ANEXO 3. FICHA TÉCNICA POLÍN GHT	38
	ANEXO 4. FICHA TÉCNICA VARILLA CORRUGADA SEGÚN MEDIDA.....	39

INDICE DE FIGURAS

Figura 3.1	16
Figura 3.2	17

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 3.1: Criterios de evaluaciones de la corrosión... ..	13
Tabla 3.2: Listado de especímenes de prueba	14
Tabla 3.2.1: Contenidos de cámaras salinas... ..	17
Tabla 3.3: Distribución de especímenes en cámaras salinas... ..	18
Tabla 3.4: Memoria de toma de datos durante tiempo de exposición... ..	20
Tabla 3.5: Resumen de análisis de resultados en cámara salina I.....	27
Tabla 3.6: Resumen de análisis de resultados en cámara salina II	28
Tabla 3.7: Resumen de análisis de resultados en cámara salina III	29
Tabla 3.8: Cálculo de velocidades de corrosión para cámara salina I	31
Tabla 3.9: Cálculo de velocidades de corrosión para cámara salina II	31
Tabla 3.10: Cálculo de velocidades de corrosión para cámara salina III... ..	31
Tabla 3.11: Tabla de densidades de materiales según respectivas hojas de propiedades.....	31

INTRODUCCIÓN

En condiciones ambientales cambiantes, es evidente notar que muchos de los metales más utilizados en el sector industrial presentan desgaste debido a una reacción química de tipo REDOX denominada corrosión, esta reacción tiene como característica el hecho de afectar a un metal a través de un ataque electroquímico, sin embargo, este fenómeno no solo afecta al metal a través de un área específica del mismo o toda su estructura, sino que también tiene incidencia en los costos económicos de una empresa debido al deterioro de ese metal el cual por acción de la corrosión debe optarse por una reparación o sustitución del metal considerando el efecto del ataque.

En este trabajo de aplicación se le hará una evaluación al comportamiento de 4 productos metálicos (Polín C GHT, Varilla ½", Varilla 1/8", Perfil Angular 90°) que son de los más utilizados en la industria, de igual manera se considerará y evaluará la corrosión de estos metales en ser sometidos a una atmósfera salina controlada, como criterio de evaluación se tomará en cuenta el grado de oxidación o grado de corrosión siguiendo lineamientos y tomando de base las normas ASTM B117 y SSPC VIS 2 , dichas normas establecerán un parámetro de comparación con la investigación realizada y analizar los metales para determinar cuáles de estos presentan mayor resistencia a la corrosión al ser sometidos a un ambiente salino.

Las normas nos brindan imágenes representativas por efecto de la atmósfera, las cuales son pilares iniciales para ver el fenómeno ocurrido en pruebas que se hicieron con anterioridad pero que tienen el fenómeno desarrollado para establecer así una comparación en base a experimentación, sin embargo, se toma como primer referencia la norma ASTM B117 para establecer cómo funciona un ambiente salino controlado dentro de una cámara, y posteriormente a dicha norma y con el proyecto ya más desarrollado, establecer una comparativa partiendo de los lineamientos ya presentes en la norma SSPC VIS 2, esta norma ofrece imágenes para comparar el fenómeno ya presente en los lineamientos de comparación dentro de dicha norma con los de la investigación, se mencionan varios grados de corrosión o de oxidación los cuales parten del deterioro ocasionado por la corrosión.

CAPÍTULO 1. MARCO CONCEPTUAL REFERENCIAL

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la resistencia a la corrosión de los materiales metálicos ferrosos sin recubrimientos adicionales, solamente los inherentes a su fabricación, bajo condiciones controladas de laboratorio utilizando pruebas de corrosión acelerada en cámara salina según norma ASTM-B117 y SSPC VIS 2.

1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Aplicar ensayos de corrosión para la determinación de parámetros con el fin de evaluar el grado y tipo de corrosión en un material.
2. Comparar la resistencia de 4 materiales metálicos ferrosos a condiciones de corrosión acelerada.
3. Evaluar las capacidades de resistencia de los materiales en torno al tipo de material y su composición.

1.2. JUSTIFICACIÓN

La búsqueda de los mejores materiales para construir ha sido crucial para el desarrollo de sociedades como las conocemos hoy en día, los avances tecnológicos requieren mejores materiales para estructuras y que sean capaces de rendir en circunstancias climatológicas extremas. La corrosión es uno de los fenómenos más difíciles de controlar y de mayor importancia en las construcciones urbanas, por lo que evaluar el desempeño de los metales más utilizados en la industria en su forma más básica y tal como se fabrican es importante para la toma de decisiones a nivel de puesta en marcha de proyectos, evaluación de desempeños de los edificios y costes financieros. Las condiciones por evaluarse representan ambientes altamente corrosivos.

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El ambiente salino en el fenómeno de la corrosión tiene mucha influencia, ya que los metales o especímenes están expuestos a diversos factores, tales como las sales, la humedad y los agentes químicos oxidantes. Por ello, debe de tenerse en cuenta el ambiente al cual el metal estará expuesto, por ejemplo, si un metal está expuesto a un ambiente marino, debido a la presencia de los efectos anteriormente planteados, estos generarían una oxidación muy rápida y por ende el proceso de corrosión se vería acelerado por la acción de los componentes presentes en el ambiente salino.

Teniendo en cuenta lo antes expuesto, se realizará el trabajo de aplicación enfocado en la comparación del nivel de corrosión en metales expuestos a condiciones extremas (ambiente salino); y se espera que, con esto ya realizado, se tengan las bases para desarrollar futuros proyectos o aplicaciones, para ello se utilizaron las siguientes normas:

1. **ASTM B117 (American Society for Testing and Materials):** Normativa que establece el procedimiento para el funcionamiento de una cámara con niebla salina

En esta práctica, la experimentación se desarrolla en un ambiente corrosivo controlado que ha sido utilizado para producir información relativa resistencia a la corrosión para los especímenes de metales y metalesrecubiertos expuestos en una cámara de ensayo dado. Al igual comprende la predicción de rendimiento en entornos naturales, rara vez se ha correlacionado con los resultados de niebla salina cuando se utiliza como soporte de datos por sí solos.

2. **SSPC VIS 2 (Steel Structures Painting Council):** Método para la comparación de grados de corrosión u oxidación

Esta norma incluye la clasificación y el nivel de corrosión u oxidación comparativo con cualquier experimento que se realice teniendo en cuenta las bases de esta. Es válida para metales con o sin recubrimientos.

Estas normas cumplen con los objetivos de la investigación y su contenido es necesario para evaluar el fenómeno presente en el proyecto de aplicación.

3. **ISO 9226 (International Standard Organization):** Corrosión de metales y aleaciones- Corrosividad de atmósferas- Determinación de la tasa de corrosión en especímenes estándar para la evaluación de corrosividad

Esta normativa se aplicará para el procedimiento de cálculo de la velocidad de corrosión y proceso de limpieza entre pesadas durante el tiempo de exposición. Normalmente utilizada como criterio de clasificación para normativa ISO 9223 para la clasificación de ambientes corrosivos pero nuestra atmósfera de observación ya está bien definida según norma ASTM B117 por lo que solamente se utilizará como fundamento de cálculo.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

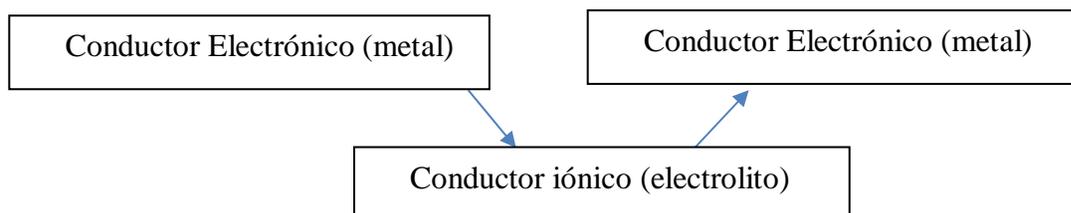
2.1. CORROSIÓN

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 & Uhlig's, 2008).

Tomando en cuenta las reacciones químicas y electroquímicas, hay materiales metálicos que sufren el fenómeno de la corrosión 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).

2.1.1. Celda Electroquímica

Una celda electroquímica es una combinación del tipo siguiente:



En ella pueden tener lugar procesos electroquímicos con el paso de una corriente eléctrica. Si la celda electroquímica produce energía eléctrica, causada por el consumo de energía química, se dice que tenemos una celda galvánica o pila. Si, en cambio, la celda electroquímica consume corriente de una fuente de corriente externa, almacenando como consecuencia energía química, se dice que tenemos una celda electrolítica.

Algunas celdas galvánicas reciben nombres especiales. Una celda de corrosión es una celda o pila galvánica en la cual las reacciones electroquímicas que tienen lugar conducen a la corrosión. Una celda de corrosión de dimensiones muy pequeñas (por ejemplo (<0.1 mm)) se conoce como celda de acción localizada o microcelda galvánica. Las celdas locales o micropilas se dan, por ejemplo, en aleaciones multifásicas o en metales con recubrimientos que presentan buena conductividad eléctrica o en inclusiones de óxidos, sulfuros, carbón, etc. La acción de estas celdas a menudo conduce a un ataque localizado, tal como picaduras o corrosión bajo tensión.

2.1.2. Definición de Ánodo y Cátodo

Para la notación de los dos electrodos en una celda electroquímica (galvánica o electrolítica) son válidas las siguientes definiciones generales: El ánodo es el electrodo en el cual, o a través del cual, la corriente positiva pasa hacia el electrolito y al igual es donde ocurre la oxidación, es decir, pierde electrones que se conducen al cátodo y el cátodo es el electrodo en el cual entra la corriente positiva proveniente del electrolito y al igual es donde ocurre la reducción y es el electrodo que recibe los electrones provenientes del ánodo.

Generalmente, se toman como válidas las siguientes reglas:

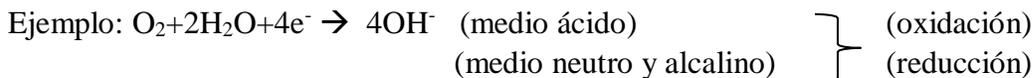
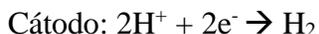
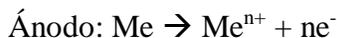
- 1) La reacción anódica es una oxidación y la reacción catódica una reducción.
- 2) Los aniones (iones negativos) migran hacia el ánodo y los cationes (iones positivos) hacia el cátodo. Hay que hacer notar que particularmente en una celda galvánica, por ejemplo, en una pila seca, la corriente positiva fluye del polo (+) al (-) en el circuito externo, mientras que, dentro de la celda, la corriente positiva fluye del (-) al (+).

2.1.3. Corrosión Electroquímica

La corrosión electroquímica es un proceso espontáneo que denota siempre la existencia de una zona anódica (la que sufre corrosión), una zona catódica y un electrolito, y es imprescindible la existencia de estos tres elementos, además de una buena unión eléctrica entre ánodos y cátodos, para que este tipo de corrosión pueda tener lugar. La corrosión más frecuente siempre es de naturaleza electroquímica y resulta de la formación sobre la superficie metálica de multitud de zonas anódicas y catódicas; el electrolito es, en caso de no estar sumergido o enterrado el metal, el agua condensada de la atmósfera, para lo cual la humedad relativa del aire que rodea a la superficie en estudio deberá ser del 70%.

El proceso de disolución de un metal en un ácido es igualmente un proceso electroquímico. La infinidad de burbujas que aparecen sobre la superficie metálica revela la existencia de infinitos cátodos, mientras que en los ánodos se va disolviendo el metal. A simple vista es imposible distinguir entre una zona anódica y una catódica, dada la naturaleza microscópica de las mismas (micropilas galvánicas). Al cambiar continuamente de posición las zonas anódicas y catódicas, llega un momento en que el metal se disuelve totalmente.

Las reacciones que tienen lugar en las zonas anódicas y catódicas son las siguientes:



Ya que la corrosión de los metales en ambientes húmedos es de naturaleza electroquímica, una aproximación lógica para intentar parar la corrosión sería mediante métodos electroquímicos. Los métodos electroquímicos para la protección contra la corrosión requieren de un cambio en el potencial del metal para prevenir o al menos disminuir su disolución.

La protección catódica, en este sentido, es un tipo de protección (electroquímico) contra la corrosión, en el cual el potencial del electrodo del metal en cuestión se desplaza en la dirección negativa. Los principios de la protección catódica pueden ilustrarse mediante un diagrama termodinámico potencial-pH.

2.1.4. Fundamentos de la protección catódica

Como se ha señalado, para que exista la corrosión electroquímica o húmeda como se le conoce generalmente, es fundamental que se ponga en funcionamiento una pila galvánica que denota la existencia de un ánodo, un cátodo y un electrolito. En el momento en que uno de estos tres elementos básicos para el funcionamiento de una pila falle, ésta dejará de funcionar y por tanto se detendrá la corrosión.

Los sistemas de protección contra la corrosión están basados en la eliminación de alguno de estos elementos o bien en hacerlos inoperantes.

El procedimiento que elimina todos los ánodos de la superficie metálica haciéndola toda catódica, se conoce con el nombre de protección catódica.

¿Cómo se puede volver catódica una superficie metálica? Existen dos procedimientos diferentes para lograrlo:

- a) Conectando el metal que se trata de proteger a otro menos noble que él, es decir, más negativo en la serie electroquímica. Este sistema se conoce como protección catódica con ánodos galvánicos o de sacrificio y consiste realmente en la creación de una pila galvánica en que el metal a proteger actúe forzosamente de cátodo (polo positivo de la pila), mientras que el metal anódico se “sacrifica”, o sea que se disuelve. Como el metal más comúnmente utilizado en la práctica por su bajo precio y alta resistencia mecánica es el acero, los metales que se pueden conectar a él y que deben tener un potencial más negativo quedan reducidos en la práctica al zinc (Zn), aluminio (Al), magnesio (Mg) y a sus aleaciones.
- b) Conectando el metal a proteger al polo negativo de una fuente de alimentación de corriente continua, pura o rectificada, y el polo positivo a un electrodo auxiliar que puede estar constituido por chatarra de hierro, ferro-silicio, plomo-plata, grafito, etc. Este sistema se conoce con el nombre de protección catódica con corriente impresa.

2.1.5. Factores Influyentes en el Proceso de Corrosión

La corrosión es debido a muchos factores que son muy determinantes para que el fenómeno ocurra, explícitamente se aborda cada uno por separado para saber cómo afectan a los materiales específicamente metálicos:

2.1.5.1 Naturaleza de los metales: Los metales con potenciales de electrodo más altos no se corroen fácilmente. Mientras que los metales con potenciales de electrodo más bajos sufren fácilmente la corrosión, por ejemplo, metales como el zinc, el magnesio y el aluminio.

Cuando dos metales están en contacto, cuanto mayor sea la diferencia de potencial de los electrodos, mayor será la corrosión (Lindo, 2020).

Por ejemplo, la diferencia de potencial entre el hierro y el cobre es de 0.78 V, que es mayor que la existente entre el hierro y el estaño (0.3 V). Por lo tanto, el hierro se corroe más rápidamente en contacto con el cobre que con el estaño.

Por ello, siempre que sea posible, debe tomarse en cuenta las propiedades de los distintos metales. Porejemplo, el perno y la tuerca o el tornillo y la arandela deben de ser del mismo metal (o aleación) para evitar la corrosión galvánica (Lindo, 2020).

2.1.5.2 Relación entre la región catódica y la anódica: La velocidad de corrosión está influenciada por el tamaño relativo del área catódica y anódica. Si el metal tiene un ánodo pequeño y una región catódica grande, la velocidad de corrosión es muy alta. A medida que la relación disminuye, la velocidad de corrosión aumenta.

Esto se debe a que en el ánodo se liberan electrones. Los cuales se consumen en la región catódica. Si la región catódica es mayor, los electrones liberados se consumen rápidamente en el cátodo.

Esto aumenta la ración anódica, lo que lleva a un aumento de la velocidad de corrosión. Cuando dos metales diferentes están en contacto, la corrosión es más rápida y severa si el área anódica es pequeña y el área catódica es grande (por ejemplo, una pequeña tubería de acero colocada en un gran tanque de cobre). Se produce una intensa corrosión localizada en la pequeña superficie anódica expuesta.

Por otro lado, el recubrimiento de zinc sobre el hierro da un recubrimiento anódico al hierro ya que el zinc está por encima del hierro en la serie electroquímica. Incluso si el revestimiento de zinc se desprende en algunos puntos, no se produciría una corrosión intensa del hierro. Esto se debe a la formación de grandes zonas anódicas y pequeñas zonas catódicas (Lindo, 2020).

2.1.5.3 Naturaleza del producto de corrosión: El producto de corrosión formado como óxido metálico puede actuar como película protectora, si es estable, insoluble y no porosa.

Si actúa como película protectora, previene la corrosión posterior actuando como barrera entre la superficie del metal y el medio de corrosión. Por otro lado, si el producto de la corrosión es inestable, poroso y soluble, aumenta la corrosión.

Por ejemplo, en entornos oxidantes, los metales como el aluminio, el cromo, el titanio, etc., son muy pasivos, ya que sus óxidos, como productos de la corrosión, forman películas protectoras en la superficie del metal, impidiendo una mayor corrosión. Metales como el hierro, el zinc, el magnesio, etc., no forman ninguna película protectora y son muy susceptibles de sufrir corrosión continua, cuando se exponen a ambientes oxidantes (Lindo, 2020).

2.1.5.4 pH del medio: En general, la velocidad de corrosión en metales es mayor en los pH ácidos que en los neutros y alcalinos.

En el caso del hierro, se forma una capa protectora de óxido de hierro que evita la corrosión. Pero en el caso de los metales como el aluminio, la tasa de corrosión es alta incluso con un pH alto (Lindo, 2020).

2.1.5.5 Temperatura: La tasa de corrosión aumenta con el incremento de la temperatura. Esto se debe al aumento de la conductancia del medio con el aumento de la temperatura y por lo tanto un aumento en la tasa de difusión.

Como consecuencia, la corrosión progresa más rápidamente a temperaturas más altas. En algunos casos, el aumento de la temperatura disminuye la pasividad, lo que conduce de nuevo a un aumento de la velocidad de corrosión (Lindo, 2020).

2.1.5.6 Efecto del Oxígeno: El oxígeno desempeña un importante papel como medio de corrosión. Si el metal se expone a diferentes concentraciones de oxígeno, se produce una corrosión por aireación diferencial.

La región que está menos expuesta al oxígeno actúa como ánodo y por lo tanto sufre la corrosión y la región expuesta a una alta concentración de oxígeno actúa como cátodo y por lo tanto no sufre la corrosión (Lindo, 2020).

2.1.5.7 Sobretensión de Hidrógeno: El metal con menor sobretensión de hidrógeno en su superficie es más susceptible a la corrosión, cuando la reacción catódica es del tipo de evolución de hidrógeno. Ya que, a menor sobretensión de hidrógeno, la liberación de gas hidrógeno es fácil (Lindo, 2020).

Por lo tanto, la reacción catódica es muy rápida, lo que a su vez hace que la reacción anódica sea muy rápida. Por lo tanto, aumenta la velocidad de corrosión, pero también a mayor sobretensión menor será la corrosión (Lindo, 2020).

2.1.6 Metales ferrosos

Los metales ferrosos se definen como aquellos metales que contienen hierro, el atributo distintivo del hierro es que es denso, fuerte cuando se mezcla con carbono, abundante y fácil de refinar, altamente susceptible a la corrosión y magnético. Hacer aleación de hierro con otros elementos en diferentes proporciones puede mitigar o eliminar uno o más de estos factores.

Cientos de aleaciones ferrosas son bien conocidas. Ellas están especificadas por las proporciones de cada elemento en su composición, así como también las instrucciones en su fundición y acabado. Las aleaciones ferrosas con carbono usualmente se les llama hierro o acero, y pueden contener cualquier cantidad de otros elementos, desde aluminio a vanadio, basado en sus especificaciones. Estos metales usualmente son elegidos por sus propiedades mecánicas. Los ingenieros y diseñadores pueden estar interesados en su límite elástico, dureza, ductilidad, soldabilidad, elasticidad, facilidad de corte y expansión térmica, los cuales describen cómo se comportará un material bajo factores estresantes específicos.

Estos aspectos distintivos del hierro pueden ser cambiados en la aleación, la cual mezcla el hierro con otros elementos. El acero inoxidable es un buen ejemplo, con algunas aleaciones del inoxidable siendo tanto no magnéticas como no corrosivas. Una manera común de saber si un metal es acero es poner un imán contra él, debido a que el hierro en la aleación causará que el imán se pegue; sin embargo, las personas que han intentado pegar imanes a su nevera de acero inoxidable saben que esto no es una prueba infalible. Aunque el hierro todavía está presente en esta aleación ferrosa, un alto porcentaje de níquel cambia la microestructura del acero lo

suficiente para prevenir una reacción magnética. El acero inoxidable tampoco se corroe como otras aleaciones de hierro y esto es gracias a una adición de cromo. El cromo protege contra el óxido a través de un proceso llamado pasivación, en la cual las moléculas más exteriores del metal se oxidan, pero permanecen fuertemente unidas al metal interior, formando un caparazón impenetrable.

En metales ferrosos, el hierro y el acero son los materiales de fundición más comunes.

2.1.7 Hierro

Los hierros fundidos son una categoría de aleaciones de hierro con contenido de carbono mayor a 2%. Son hierros relativamente baratos y densos. Cuando son calentados y fundidos, tienen mucha mayor fluidez a menores temperaturas que el acero, esto significa que pueden fluir hacia adentro y llenar las partes de un molde complejo con mayor eficiencia. Los hierros fundidos también se encogen a la mitad de la tasa del acero mientras se enfrían.

Los hierros fundidos básicos tienen buenas propiedades de compresión, pero son frágiles: se quebrarán antes de doblarse o distorsionarse. Esta vulnerabilidad puede significar que los grados frágiles del hierro fundido no son usados para diseños con detalles de extruido o elaboración, o con bordes afilados, ya que estas características se pueden picar.

Hierro Gris es el tipo de hierro fundido más común producido, presente en todo desde tapas de alcantarillas hasta frenos de disco en autos. Éste obtiene su nombre del color que toma al quebrarse, el cual es gris debido a la presencia de grafito como aditivo de carbono. El hierro gris es 2,5-4% carbono p/p, y adicionalmente contiene 1-3% de silicio, la cual estabiliza el grafito. Tiene muchos de los atributos del hierro de fundición básico, en el hecho de que es barato y tiene alta fluidez comparado con el acero cuando se funde, pero la presencia de grafito permite que el hierro sea algo menos frágil, permitiendo un mejor maquinado. El hierro gris todavía es inflexible: se dobla muy poco antes de quebrarse.

2.1.8. Hierro Dúctil

Es una forma de hierro fundido en la cual el carbono añadido es un grafito esférico (nodular). El hierro dúctil es usualmente 3,2-3,6% carbono por peso, y tiene silicio y otros elementos. Mayores niveles de ferrita significan que se acumulan en las herramientas de corte durante la maquinación, así que con frecuencia se usan en la manufactura de moldes primarios, donde una alta fluidez lo hace una gran elección para el trabajo finamente detallado. La forma esférica de las moléculas del grafito le da al hierro dúctil mayor resistencia al impacto y fuerza maleable que el hierro de fundición o el gris, haciendo que sean posibles los diseños detallados o con bordes. El hierro dúctil es relativamente un recién llegado en la especificación de los hierros, ya que se descubrió por primera vez en 1943.

2.1.9. Acero

Los aceros de todo tipo son algunas veces también fundidos. En general, el acero tiene un contenido de carbono de menos del 2,14% p/p, y con frecuencia se hace aleación con otros elementos. El acero tiene propiedades mecánicas más fuertes que los hierros fundidos, pero lo

que se gana en dureza se pierde en fluidez. El acero fundido necesita estar mucho más caliente que el hierro fundido para fluir dentro de moldes detallados, y las temperaturas altas requeridas para trabajarlo con acero son un reto para manejarlas y pueden limitar el diseño y acabado del objeto que sale del molde. Como con todos los moldes, diferentes partes de una pieza se pueden enfriar a diferentes tasas, y este diferencial genera estrés dentro del producto: debido a que el acero se encoge más extensa y rápidamente que los hierros fundidos, estos estreses necesitan mayor manejo en el acero fundido.

Estos retos significan que el acero puede ser mucho más intenso de trabajar para moldearlo bien. Él requiere atención experta durante todas las etapas de su producción. Aun así, la alta fuerza mecánica del producto final puede hacer de una aleación de acero la elección clara para algunas aplicaciones, con la maquinación proveyendo acabados de etapa final.

2.1.10. Otras aleaciones de hierro

Otras aleaciones del hierro existen por fuera de estos tipos comunes y son usadas en aplicaciones específicas donde sus comportamientos mecánicos son útiles. Por ejemplo, el elinvar es una aleación de níquel y hierro que no se expande y contrae en el calor, y es usada en partes muy pequeñas de relojes y otros dispositivos de precisión. (Introducción a los materiales: Metales Ferrosos y no ferrosos (2021) Reliance Foundry Co.Ltd.).

2.2. PRUEBAS DE CORROSIÓN ACELERADA

2.2.1. ¿Qué es un ensayo de corrosión acelerada en cámaras y qué normativas describen?

Hay muchas normativas que describen el fenómeno de corrosión desde diversos puntos de vista, tal es el caso de las normativas ASTM y SSPC. Para ser más específica la aseveración sobre la ayuda al análisis de estas normas, en cada una de ellas se detallan distintos tipos de ambientes para que en condiciones controladas se lleve a cabo el fenómeno de la corrosión a un ritmo más acelerado. Entre las normas que ayudan a la construcción y análisis de este ambiente encontramos las normas ASTM B-117, ASTM D-2247, ASTM D-1735, ASTM G-85, ASTM D610, en el rango de las

SSPC encontramos la normativa SSPC-VIS 2. Todas estas normas tienen relación con la preparación de la niebla salina y con el tanque de inmersión para llevar a cabo las pruebas. Para el desarrollo de este trabajo por cuestiones de diseño y condiciones fáciles de recrear, se optó por dos normas que son la ASTM B-117 y la normas SSPC-VIS 2, la norma ASTM-B117 describe la construcción del ambiente salino y su respectiva cámara y la norma SSPC-VIS 2 da la pauta para una comparación de daño gradual por corrosión con el ensayo que se esté realizando.

En el ensayo de corrosión acelerada con niebla salina, según la ASTM B117, se describe cómo las muestras que se introducen en una cámara a una temperatura controlada de $35\pm 2^{\circ}\text{C}$, donde se pulveriza de forma continua una solución salina en forma de una niebla muy fina. Esta solución presenta una concentración de cloruros y de pH determinado en función del tipo de ensayo que se realice. Como la pulverización es continua, las muestras están constantemente “mojadas” y, por lo tanto, también constantemente sujetas a ambiente corrosivo.

La duración de esta prueba depende de la especificación particular de cada material o producto y puede oscilar entre las 24 y 1000 horas o incluso más.

El resultado dependerá tanto de las propiedades de los materiales como de las condiciones del ensayo. En la mayoría de los productos existen diversos requisitos establecidos por normativa en cuanto a la resistencia a la corrosión del material, recubrimiento o producto ensayado. Existen diferentes criterios en la evaluación de los resultados del ensayo por ejemplo la variación de la masa, el aspecto después del ensayo, el número y distribución de los defectos de corrosión (picaduras, grietas, ampollas, óxidos, ...).

2.2.2. ¿Para qué realizar un ensayo de corrosión acelerada?

Los ensayos de corrosión acelerada, generalmente, son adecuados para ensayar las protecciones contra la corrosión, como análisis de la presencia de discontinuidades, poros y daños en recubrimientos orgánicos e inorgánicos.

Además, es muy común realizar pruebas para el control de la calidad del recubrimiento, tanto desde el punto de vista del recubrimiento en sí mismo como para el control del proceso de aplicación (incluyendo control de proveedores y del propio proceso de pintado).

La normativa ASTM B117 establece el siguiente ensayo a utilizar:

- El ensayo de corrosión acelerada por niebla salina (NSS) se aplica a metales y sus aleaciones, recubrimientos metálicos (anódicos y catódicos), recubrimientos de conversión, de óxido anódico y orgánicos aplicados sobre materiales metálicos. En este ensayo el pH de la disolución pulverizada recogida debe estar comprendido entre 6,5 y 7,2 medido a $25 \pm 2^\circ\text{C}$.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA Y ANÁLISIS

Los procedimientos de operación de cámara salina han tenido amplia trayectoria por más de 15 años y estos se mantienen vigentes sobre la correcta operación de la cámara salina. Todo esto está estandarizado dentro de la norma ASTM B117. Los estándares expuestos en esta norma controlan los parámetros y requisitos necesarios para intervenir en la construcción de la atmósfera dentro de la cámara salina, así como también las condiciones de prueba.

Similarmente, la norma SSPC VIS 2 valora el proceso de corrosión en los materiales a exponer dentro de la cámara salina y establece una comparación de grados de corrosión con respecto a un proyecto de materiales en igualdad de condiciones (corrosión).

3.1. ENFOQUE METODOLÓGICO

El estándar ASTM B117 examina las condiciones de prueba, para este caso en específico, la atmósfera corrosiva artificial necesaria para obtener resultados válidos. Las pruebas de dicha norma requieren de la obtención de una cámara salina y un tanque de inmersión con una concentración de cloruro de sodio conocida para someter los materiales. Esta norma también controla la temperatura y el pH de la solución con el fin de mantener las condiciones de prueba a lo largo del tiempo.

El estándar ASTM B117 es un requisito totalmente explícito del estándar SSPC VIS 2 y requiere de condiciones controladas para dar un criterio concreto sobre el nivel o grado de corrosión presente en los materiales.

La normativa ISO 9226 denominada *Corrosión de metales-Corrosividad de atmósferas-determinación de la velocidad de corrosión en especímenes estándar para la evaluación de corrosividad*, presenta la base de los cálculos de la velocidad de corrosión tomando en cuenta las pérdidas de masa que sufren los especímenes dentro de cada tiempo de exposición.

3.2. CRITERIOS DE EVALUACIÓN

Para poder comparar de forma correcta los materiales experimentales evaluados en el estudio, es de carácter necesario contar con criterios de evaluación concisos y claramente ponderables. Como se habló anteriormente, la norma SSPC VIS 2 es el estándar para hacer la comparación ilustrativa a partir de imágenes previamente tomadas de primeros experimentos con respecto al fenómeno de corrosión ocurrido en la prueba experimental de materiales, ya con esto definido se tendrá una conclusión bastante concisa y con un resultado confiable.

3.2.1. Evaluación del grado de corrosión con base en estándar SSPC-VIS 2

En función del estándar SSPC-VIS 2, el grado de óxido o de corrosión se puede clasificar de la forma establecida en la tabla 3.1, la cual consta de una escala cuantitativa numerada de 0 a 10 y referenciada con el tipo de corrosión predominante, localizada, general y por picadura. Esta

clasificación es directamente proporcional al porcentaje de superficie afectada por la corrosión, denotando que a un número bajo mayor efecto de la corrosión.

Tabla 3.1 Criterios de Evaluación de la Corrosión

Grado de Óxido	Porcentaje de superficie oxidada (%)	Localizada(S)	General(G)	Picaduras(P)
10	Menor o igual a 0.01%	Ninguna		
9	Mayor que 0.01% y menor a 0.03%	9-S	9-G	9-P
8	Mayor que 0.03% y menor a 0.1%	8-S	8-G	8-P
7	Mayor que 0.1% y menor a 0.3%	7-S	7-G	7-P
6	Mayor que 0.3% y menor a 1%	6-S	6-G	6-P
5	Mayor que 1% y menor a 3%	5-S	5-G	5-P
4	Mayor que 3% y menor a 10%	4-S	4-G	4-P
3	Mayor que 10% y menor a 16%	3-S	3-G	3-P
2	Mayor que 16% y menor a 33%	2-S	2-G	2-P
1	Mayor que 33% y menor que 50%	1-S	1-G	1-P
0	Mayor que 50%	Ninguna		

Fuente: Extraído de la norma SSPC VIS-2

3.2.2. Evaluación de la tasa de corrosión mediante norma ISO 9226 *Corrosión de metales- Corrosividad de atmósferas- determinación de la velocidad de corrosión en especímenes estándar para la evaluación de corrosividad*

Este se utilizará para brindar un parámetro más claro y traducir mediciones de masa en razones de corrosión durante el tiempo de exposición. Consistirá en las pesadas en intervalos de tiempo previamente establecidos durante una exposición total de 1000 horas. Desde la fecha de fabricación de las cámaras salinas se realizarán las pesadas en intervalos de 7 días hasta completar la exposición total. Dichas pesadas se registrarán y se utilizará la metodología establecida en la norma para encontrar las razones de corrosión por cada espécimen.

3.3. DISEÑO EXPERIMENTAL

Para tener un panorama más claro sobre el estudio para este caso, se hará la prueba con los especímenes por triplicado, 2 de estos especímenes se introdujeron en la cámara salina y el último espécimen se dejó como testigo para comparar el efecto de la exposición acelerada a la intemperie con la de una atmósfera corrosiva artificial. El proceso inicia con la preparación de las soluciones para las cámaras salinas, continúa la preparación de especímenes

3.3.1. Especímenes de Prueba

Los especímenes de prueba a utilizarse se consideraron tomando de base encuestas e investigaciones realizadas por cuenta propia con empresa en el rubro de construcción y metalmeccánica, para poder obtener piezas que representen un muestreo significativo. Las especificaciones de estas muestras se resumen en la tabla 3.2.

Tabla 3.2 Listado de especímenes de prueba

Nombre de espécimen	Especificación	Geometría	Usos más comunes
Varilla Corrugada	Varilla corrugada en patrón de tornillo, Grado 40 y 60, Número 3 hasta 11, peso nominal de 0.560 kg/m hasta 7.907 kg/m, resistencia a la tracción mínima de 60 kPSI (grado 40) y 90 kPSI (grado 60), Límite de fluencia mínimo de 40 kPSI (grado 40) y 60 kPSI (grado 60) composición química en producto: <ul style="list-style-type: none"> - Carbono 0.33%, - Manganeso 1.56%, - Fósforo 0.043%, - Azufre 0.053%, - Silicio 0.55%, - Carbono Equivalente 0.55% 	Varilla redonda y uniforme de diámetro y perímetro variable respecto al número de varilla.	Construcción de losas aligeradas de claros cortos, trabes, dadas, vigas, castillos, castillos ahogados, postes en concreto, losas sólidas de claros cortos, acero adicional para viguetas, elementos prefabricados, tubería de concreto y refuerzo horizontal en muros de mampostería

CONTINÚA....

Tabla 3.2 Listado de especímenes de prueba*CONTINUACIÓN...*

Nombre de espécimen	Especificación	Geometría	Usos más comunes
Polín GHT	Acero norma ASTM A653 y AS 1397 (Australian Standard), recubrimiento de Zinc: Z180 (180 g/m ²), acero grado 72, resistencia estructural 72 kPSI, Ductilidad promedio 9%	Polín C de longitud variable. 1.2mm de espesor	Utilizado como estructura secundaria para cubiertas y fachadas de edificios prefabricados
Perfil Angular GHT	Resistencia estructural Grado 65 (65,000 psi). Ductilidad promedio: 9%. Recubrimiento de Zinc: Z180 (180 g/m ²). Norma ASTM A653 y AUS 1397.	Perfil angular 1.2 mm de espesor, largo 30 cm	Fabricación de estructuras de acero para plantas industriales, almacenes, techados de grandes luces, industrial naval, carrocerías, torres de transmisión. También se utiliza para la fabricación de puertas, ventanas, rejas, etc.
Varilla de malla electrosoldada	Malla de varillas de diámetros de 3.43mm (calibre 10/10) hasta 6.65mm (calibre 2/2), de varilla lisa para los calibres 2/2, 4/4, 6/6, 8/8, 10/10 y varilla corrugada para calibres 3/3, 4.5/4.5, 7/7 y 9/9. Área de varilla de 0.092 (calibre 10/10) hasta 0.347 (calibre 2/2). Peso de 0.98 kg/ (calibre 10/10) hasta 3.68 kg/ (calibre 2/2). Utilizado en armaduras prefabricadas para soleras SI, SII, SIII, SIV, SV	Rollo de malla rectangular de longitud variable de 6x6 plg de tamaño de cuadros	<ul style="list-style-type: none"> • Fundaciones • Muros de contención • Puentes y viaductos • Revestimientos de túneles • Pavimentos y pistas de concreto • Caños de concreto • Piscinas • Tanques de agua • Canales • Silos

Fuente: Elaboración en base a especificaciones proporcionada por empresa especializada en fabricación de aceros utilizados en construcción y metalmecánica (nombre-confidencial).

En la tabla 3.2 se detallan las especificaciones, geometría y usos de todos los especímenes a someter a las pruebas en una cámara salina.

El experimento se realizó en 4 etapas diferentes:

1-Limpieza y preparación de los especímenes

- Primeramente, se lavaron los especímenes tal y como los recolectamos para quitarles la suciedad presente en el metal.
- Luego se lijaron los especímenes con lija grano 220 para remover impurezas y óxido presente en el metal.
- Posterior al proceso de lijado se limpió con Solvente Naphtha (Figura 3.1) para remover restos de grasas y metal pulverizado. En la figura 3.1 se muestra la estructura química del Solvente Naphtha.

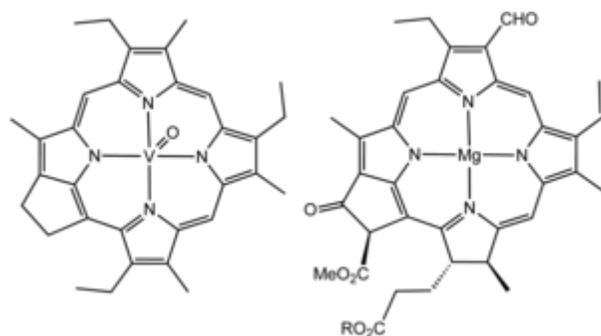


Figura 3.1 Solvente Nafta

2- Preparación de la Cámara Salina

- Primero, se limpió previamente el recipiente o tanque de inmersión con wipe húmedo y wipe seco para quitar restos de polvo, en este caso como recipiente se utilizaron 2 cajas grandes y 1 caja pequeña de plástico que actuaron como cámaras salinas.
- Prosiguiendo, se preparó la cantidad necesaria de sal de grado reactivo con agua desmineralizada, para esto tomamos en cuenta la concentración de la solución salina que es la masa de soluto en gramos, dividida por el volumen de la disolución en mililitros, por 100, como en la siguiente ecuación:

$$\% m/v = \frac{g \text{ de soluto}}{ml \text{ de solución}} \times 100$$

Los cálculos para la preparación de la cámara salina se resumen en la tabla 3.2.1:

Tabla 3.2.1 Contenidos de Cámaras Salinas

CÁMARA 1		CÁMARA 2		CÁMARA 3	
Volumen de agua (L)	20.52	Volumen de agua (L)	20.52	Volumen de agua (L)	1.5
Masa pesada (g)	1026	Masa pesada (g)	1026	Masa pesada (g)	75

c) Se disolvió la sal en agua desmineralizada y se registró la temperatura de la solución y el valor del pH.



Figura 3.2 Imágenes de preparación de solución salina 5%

3- Ingreso de especímenes

- Se introdujeron los especímenes a las cámaras, estos tienen una longitud de 30 cm y demás dimensiones varían dependiendo de la pieza en cuestión
- El arreglo y posicionamiento de los especímenes se detalla a continuación en tabla 3.3.

Tabla 3.3 Distribución de especímenes en Cámaras Salinas

CÁMARA 1		CÁMARA 2		CÁMARA 3	
# Espécimen	Nombre de espécimen	# Espécimen	Nombre de espécimen	# Espécimen	Nombre de espécimen
1	Polín C GHT	1	Varilla Corrugada ½	1	Varilla de malla electrosoldada de 1/8
		2			
2		3		2	
		1	Perfil Angular GHT		
3		2		3	
		3			

El espécimen 1 en cada una de las cámaras corresponde al testigo, que estará expuesto a condiciones normales de ambiente. Se agrupa en la tabla por motivos de comprensión y trazabilidad.

4) Recolección de datos

- a) Para la toma de datos se procede a la extracción de los especímenes y se dejan en un área que permita el secado y escurrir la mayor cantidad de solución salina previa al proceso de limpieza.
- b) Una vez, se haya escurrido la mayor cantidad de la solución, se procede a secar con un paño de tela y posteriormente con un paño llamado *wipe* (un paño hilo multiusos utilizado en pinturas y limpieza de superficies) empapado de Solvente Naphtha se limpia toda la superficie del metal tomando cuidado de remover todas las impurezas producto de la corrosión que ha dado lugar en la cámara de prueba.
- c) Una vez esté limpio el espécimen, se agrupan respectivamente sobre una base de papel celofán para evitar la acumulación y captación de humedad y se deja reposar durante 15 min mientras el solvente se evapora totalmente.
- d) La valoración de la corrosión se realizará mediante el registro de la pérdida de masa que los especímenes experimentan, por lo que posterior a la limpieza total se procede a pesar cada pieza
- e) Se toma el pH de la solución detallando a cuál cámara pertenece
- f) Se introducen los especímenes de nuevo a la cámara en espera de la siguiente fecha de recolección de datos.

3.4. OBSERVACIONES REALIZADAS DURANTE EL PERIODO DE ENSAYO

Las observaciones realizadas en las horas programadas previamente muestran claramente una progresión esperada de daño incremental a la superficie del metal por causa de la corrosión provocada por el contacto con la solución salina, sin embargo, los resultados finales después de transcurridas las 1008 horas varían dependiendo del tiempo de residencia en la cámara, el peso de los especímenes, geometría y proceso de fabricación.

Luego se realizó el pesado de las piezas para evaluar la pérdida de masa en el tiempo de exposición total y se observó al final de la prueba una pérdida de masa mínima detallada en las tablas. Posteriormente se procedió a calcular las velocidades de corrosión, de la mano con la apreciación según la normativa SSPC VIS 2, para la evaluación cualitativa/comparativa de los especímenes en el período post-exposición.

En las cámaras salinas, se presenta deposición de material metálico en el seno de la pieza, al movilizar las piezas este material se dispersa en la solución, lo que se traduce en una pérdida de la integridad del mismo. En la Cámara 1, se observó que la deposición fue mínima en comparación a las Cámaras 2 y 3. Las geometrías que presentan giros bruscos y angulares como en el caso de perfil presentaron un mayor margen de deposición al estar sumergidos en la solución salina. La memoria de datos ubicada en la tabla 3.4 detalla los parámetros medidos durante toda la etapa de ensayo para los especímenes.

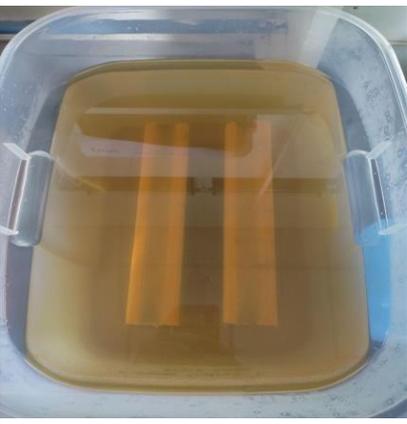
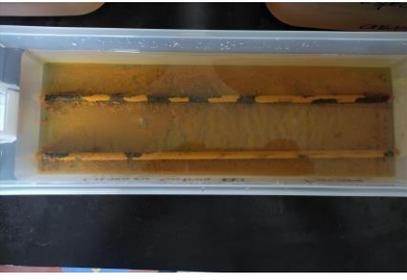
Tabla 3.4 Memoria de toma de datos durante tiempo de exposición

FECHA: 08/09/22 Tiempo de exposición: 0 h (Previo a introducir a cámaras)					Evidencia Fotográfica
Especimen	Cámara 1 Polín C GHT	Cámara 2 Varilla Corrugada ½ y Ángulo		Cámara 3 Varilla ⅛	
	Masa (kg)	Masa (kg)		Masa (g)	
1 (interperie)	0.90	0.46	1.06	68.71	
2	0.90	0.46	1.06	68.25	
3	0.90	0.46	1.06	68.11	
pH	6.88	6.80		6.90	
T °(C)	25	24.6		23.6	

CONTINÚA...

Tabla 3.4 Memoria de toma de datos durante tiempo de exposición

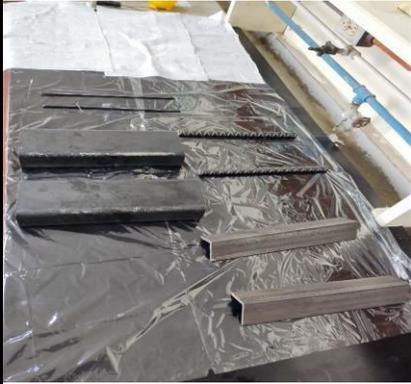
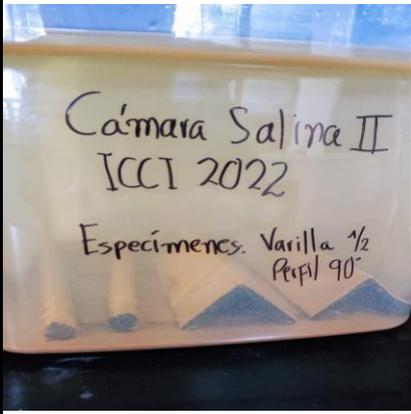
CONTINUACIÓN...

FECHA: 14/09/22 Tiempo de exposición: 144 h					Evidencia Fotográfica
Especimen	Cámara 1 Polín C GHT	Cámara 2 Varilla Corrugada ½ y Ángulo		Cámara 3 Varilla ⅓	
	Masa (kg)	Masa (kg)		Masa (g)	
1 (interperie)	0.90	0.46	1.06	68.67	
2	0.90	0.46	1.06	68.10	
3	0.90	0.46	1.06	68.09	
pH	6.71	6.67		6.84	
T (°C)	25.3	24.2		24.8	

CONTINÚA...

Tabla 3.4 Memoria de toma de datos durante tiempo de exposición

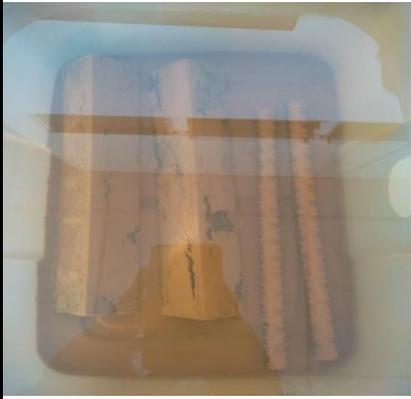
CONTINUACIÓN...

FECHA: 22/09/22 Tiempo de exposición: 336 h					Evidencia Fotográfica
Especimen	Cámara 1 Polín C GHT	Cámara 2 Varilla Corrugada ½ y Ángulo		Cámara 3 Varilla ⅛	
	Masa (kg)	Masa (kg)		Masa (g)	
1 (interperie)	0.90	0.46	1.06	68.54	
2	0.90	0.46	1.06	67.97	
3	0.90	0.46	1.06	68.05	
pH	7.5	7.37		7.47	
T (°C)	24.9	24.3		24.6	

CONTINÚA...

Tabla 3.4 Memoria de toma de datos durante tiempo de exposición

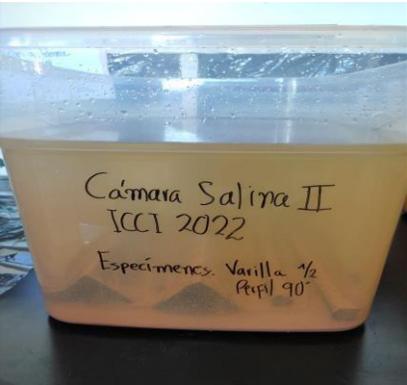
CONTINUACIÓN...

FECHA: 29/09/22 Tiempo de exposición: 504 h					Evidencia Fotográfica
Especimen	Cámara 1 Polín C GHT	Cámara 2 Varilla Corrugada ½ y Ángulo		Cámara 3 Varilla ⅛	
	Masa (kg)	Masa (kg)		Masa (g)	
1 (interperie)	0.90	0.46	1.06	68.33	
2	0.90	0.46	1.06	67.95	
3	0.90	0.46	1.06	67.90	
pH	6.58	6.74		6.12	
T(°C)	25.6	24.5		24.7	

CONTINÚA...

Tabla 3.4 Memoria de toma de datos durante tiempo de exposición

CONTINUACIÓN...

FECHA: 06/10/22 Tiempo de exposición: 672 h					Evidencia Fotográfica
Especimen	Cámara 1 Polín C GHT	Cámara 2 Varilla Corrugada ½ y Ángulo		Cámara 3 Varilla ⅓	
	Masa (kg)	Masa (kg)		Masa (g)	
1	0.90	0.46	1.06	68.13	
2	0.90	0.46	1.06	67.83	
3	0.90	0.46	1.06	67.84	
pH	6.68	6.68		6.61	
T(°C)	25.2	24.5		23.8	

CONTINUA...

Tabla 3.4 Memoria de toma de datos durante tiempo de exposición

CONTINUACIÓN...

FECHA: 20/10/22 Tiempo de exposición: 1008 h					Evidencia Fotográfica
Especimen	Cámara 1 Polín C GHT	Cámara 2 Varilla Corrugada ½ y Ángulo		Cámara 3 Varilla ⅛	
	Masa (kg)	Masa (kg)		Masa (g)	
1	0.89	0.44	1.05	68.13	
2	0.88	0.42	1.03	67.76	
3	0.88	0.42	1.03	67.74	
pH	6.53	6.54		6.56	
T (°C)	24.5	24.7		24.5	

En la tabla 3.4 se muestra claramente la memoria detallada en el tiempo de la exposición de los especímenes en una cámara salina, tomando en cuenta los parámetros que nos dan un panorama claro del nivel de corrosión que presentaron los metales.

3.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el análisis de resultados se compara y detalla el grado de corrosión que presentó cada una de las muestras dentro de la cámara salina según la escala de la norma SSPC VIS 2 dentro del período de tiempo del ensayo para cada cámara y especímenes, para con ello comparar concordancia con el grado de corrosión que estos especímenes presentaron, el desempeño de cada espécimen en contra del ambiente salino.

Se tendrá que tener en cuenta en el análisis, la comparación entre el testigo y los especímenes restantes en cámara, ya que hay una atmósfera diferente a la cual están sometidos y puede presentarse un nivel de corrosión diferente debido a los agentes corrosivos presentes en el ambiente.

3.5.1 Análisis de resultados de la cámara salina 1

En esta cámara, se sometieron 2 piezas (Polín C) y su testigo respectivo a intemperie, los especímenes dentro de la cámara presentaron un nivel de corrosión más bajo en relación a su testigo, para ser más específicos dentro de las 144 horas empezó a presentar óxido en su superficie empezando así el proceso de pérdida de masa que se referencia en la tabla 3.1, presentando un porcentaje de superficie oxidada según norma, entre 3 y 10% 4-G presentando un nivel de corrosión bastante alto, posteriormente a las 336 horas ya presenta corrosión generalizada que según escala es de grado 3-G 16% , creció debido al tiempo de residencia en la cámara, luego a las 504 horas siguió presentando corrosión generalizada 3-G 16% significativa en gran parte del área de las piezas, seguido al tiempo de las 672 hrs los especímenes presentaban corrosión generalizada en toda su superficie que según la escala fue de 3-G 16%, y en la observación final a las 1008 hrs la superficie de los especímenes se observó con corrosión considerable pero siempre manteniendo el nivel de corrosión generalizada 3-G 16%

El testigo a lo largo de toda la corrida sin ningún tipo de manejo o mantenimiento presentó un grado de corrosión menor con la misma tendencia en alza en menor grado debido a la humedad a la que estuvo expuesta. Con una valoración según la escala de 5-G, durante los primeros 2 intervalos de medición y 4-G para los últimos 3 intervalos de medición.

Todo lo anteriormente relatado, se encuentra plasmado en la tabla 3.5 que describe el tiempo y el grado de corrosión según la normativa SSPC-VIS 2.

Tabla 3.5 Resumen de análisis de resultados en Cámara Salina 1

Polín C GHT		
Espécimen	Tiempo en cámara o intemperie	Grado de corrosión según norma SSPC-VIS 2
Testigo 1	144 horas	5-G (Mayor que 1% y menor a 3%)
Espécimen 2		4-G (Mayor que 3% y menor a 10%)
Espécimen 3		4-G (Mayor que 3% y menor a 10%)
Testigo 1	336 horas	5-G (Mayor que 1% y menor a 3%)
Espécimen 2		3-G (Mayor que 10% y menor a 16%)
Espécimen 3		3-G (Mayor que 10% y menor a 16%)
Testigo 1	504 horas	4-G (Mayor que 3% y menor a 10%)
Espécimen 2		3-G (Mayor que 10% y menor a 16%)
Espécimen 3		3-G (Mayor que 10% y menor a 16%)
Testigo 1	672 horas	4-G (Mayor que 3% y menor a 10%)
Espécimen 2		3-G (Mayor que 10% y menor a 16%)
Espécimen 3		3-G (Mayor que 10% y menor a 16%)
Testigo 1	1008 horas	4-G (Mayor que 3% y menor a 10%)
Espécimen 2		3-G (Mayor que 10% y menor a 16%)
Espécimen 3		3-G (Mayor que 10% y menor a 16%)

3.5.2 Análisis de resultados de la cámara salina 2

Dentro de esta cámara, se introdujeron 4 piezas (2 varillas corrugada ½ y 2 perfiles angular 90°) y su testigo respectivo siempre sometido a intemperie, los especímenes detallados con anterioridad se adecuaron dentro de la cámara, presentando un nivel de corrosión más bajo en relación a su testigo, para ser más específicos dentro de las 144 horas las 2 varillas corrugadas de ½ empezaron a presentar óxido en su superficie empezando así el proceso de corrosión generalizada que se referencia en la tabla 3.2, presentando un porcentaje de superficie oxidada según norma, 16% 3-G presentando un nivel de corrosión bastante alto, posteriormente a las 336 horas se mantuvo corrosión generalizada que según escala sigue siendo la misma que es de grado 3-G 16% , debido nuevamente al tiempo de residencia en la cámara, luego a las 504 horas siguió presentando corrosión generalizada pero esta vez su porcentaje de superficie oxidada cambió a 2-G entre 16% y 33%, significativamente en gran parte del área de las piezas debido a su geometría, seguido al tiempo de las 672 horas los especímenes presentaban corrosión generalizada en casi toda su superficie que según la escala se mantenía de 2-G entre 16% y 33%, y en la observación final a las 1008 horas la superficie de los especímenes se vio con corrosión considerable pero siempre manteniendo el nivel de corrosión generalizada 2-G entre 16% y 33%.

Para los perfiles angulares, en las primeras 144 horas presentó un nivel de corrosión 4-G entre 3% y 10%, el cual es menor en comparación con las varillas corrugadas debido nuevamente a su geometría, posteriormente a las 336 horas nuevamente siguió presentando deterioro debido a la corrosión generalizada alrededor de estos especímenes, nuevamente con nivel 4-G entre 3% y 10%, luego a las 504 horas su nivel de corrosión fue de 3-G 16% esto debido al tiempo de

residencia, a las 672 horas y 1008 horas seguían presentando un nivel de corrosión paralelo al de las horas anteriores siempre en 3-G 16%.

El testigo a lo largo de toda la corrida sin ningún tipo de manejo o mantenimiento presentó un grado de corrosión menor con la misma tendencia en alza en menor grado debido a la húmedas a la que estuvo expuesta. Con una valoración según la escala de 5-G, durante los primeros 2 intervalos de medición y 4-G para los últimos 3 intervalos de medición.

En la tabla 3.6 se detalla claramente los resultados en tiempo y grado de corrosión de los especímenes sometidos en la cámara salina 3.

Tabla 3.6. Resumen de análisis de resultados en Cámara Salina 2

Varilla Corrugada de 1/2		
Espécimen	Tiempo en cámara o intemperie	Grado de corrosión según norma SSPC-VIS 2
Testigo 1	144 horas	5-G (Mayor que 1% y menor a 3%)
Espécimen 2		3-G (Mayor que 10% y menor a 16%)
Espécimen 3		3-G (Mayor que 10% y menor a 16%)
Testigo 1	336 horas	5-G (Mayor que 1% y menor a 3%)
Espécimen 2		3-G (Mayor que 10% y menor a 16%)
Espécimen 3		3-G (Mayor que 10% y menor a 16%)
Testigo 1	504 horas	4-G (Mayor que 3% y menor a 10%)
Espécimen 2		2-G (Mayor que 16% y menor a 33%)
Espécimen 3		2-G (Mayor que 16% y menor a 33%)
Testigo 1	672 horas	4-G (Mayor que 3% y menor a 10%)
Espécimen 2		2-G (Mayor que 16% y menor a 33%)
Espécimen 3		2-G (Mayor que 16% y menor a 33%)
Testigo 1	1008 horas	4-G (Mayor que 3% y menor a 10%)
Espécimen 2		2-G (Mayor que 16% y menor a 33%)
Espécimen 3		2-G (Mayor que 16% y menor a 33%)
Perfil Angular 90°		
Espécimen	Tiempo en cámara o intemperie	Grado de corrosión según norma SSPC-VIS 2
Testigo 1	144 horas	5-G (Mayor que 1% y menor a 3%)
Espécimen 2		4-G (Mayor que 3% y menor a 10%)
Espécimen 3		4-G (Mayor que 3% y menor a 10%)
Testigo 1	336 horas	5-G (Mayor que 1% y menor a 3%)
Espécimen 2		4-G (Mayor que 3% y menor a 10%)
Espécimen 3		4-G (Mayor que 3% y menor a 10%)
Testigo 1	504 horas	4-G (Mayor que 3% y menor a 10%)
Espécimen 2		3-G (Mayor que 10% y menor a 16%)
Espécimen 3		3-G (Mayor que 10% y menor a 16%)
Testigo 1	672 horas	4-G (Mayor que 3% y menor a 10%)
Espécimen 2		3-G (Mayor que 10% y menor a 16%)
Espécimen 3		3-G (Mayor que 10% y menor a 16%)
Testigo 1	1008 horas	4-G (Mayor que 3% y menor a 10%)
Espécimen 2		3-G (Mayor que 10% y menor a 16%)
Espécimen 3		3-G (Mayor que 10% y menor a 16%)

3.5.3 Análisis de resultados de la cámara salina 3

En esta cámara, se sometieron 2 metales (Varillas 1/8) utilizadas para construir mallas electrosoldadas y su testigo respectivo a intemperie. En la primera observación de 144 horas las piezas introducidas representan una corrosión generalizada 3-G 16%, a las 336 horas el proceso de corrosión continuó manteniendo los niveles de corrosión 3-G 16%, posterior a las 504 horas de exposición el grado de corrosión se vio aumentado a 2-G 33%, este proceso se mantuvo hasta la finalización de las 1008 horas de exposición. Esto podría explicarse debido a su geometría.

El testigo presentó incrustamiento por la humedad circundante desde las 144 horas de estudio al lado de las cámaras salinas, presentaba incrustaciones características según escala 5-G 3% a lo largo de la longitud de la varilla, luego a las 336 horas el grado de corrosión aumento según escala a 4-G 3% generando siempre incrustaciones color marrón. A las 504 horas la corrosión se mantuvo en un grado de 4-G 3% y llegó a un punto de “estabilidad” durante las corridas hasta el período de 672 horas. Al finalizar con las 1008 horas se evaluó un grado de corrosión 2-G 33%.

En la tabla 3.7 se detalla claramente los resultados en tiempo y grado de corrosión de los especímenes sometidos en la cámara salina 3.

Tabla 3.7 Resumen de análisis de resultados en Cámara Salina 3

Varillas de 1/8		
Espécimen	Tiempo en cámara o intemperie	Grado de corrosión según norma SSPC-VIS 2
Testigo 1	144 horas	5-G (Mayor que 1% y menor a 3%)
Espécimen 2		3-G (Mayor que 10% y menor a 16%)
Espécimen 3		3-G (Mayor que 10% y menor a 16%)
Testigo 1	336 horas	4-G (Mayor que 3% y menor a 10%)
Espécimen 2		3-G (Mayor que 10% y menor a 16%)
Espécimen 3		3-G (Mayor que 10% y menor a 16%)
Testigo 1	504 horas	4-G (Mayor que 3% y menor a 10%)
Espécimen 2		2-G (Mayor que 16% y menor a 33%)
Espécimen 3		2-G (Mayor que 16% y menor a 33%)
Testigo 1	672 horas	4-G (Mayor que 3% y menor a 10%)
Espécimen 2		2-G (Mayor que 16% y menor a 33%)
Espécimen 3		2-G (Mayor que 16% y menor a 33%)
Testigo 1	1008 horas	2-G (Mayor que 16% y menor a 33%)
Espécimen 2		2-G (Mayor que 16% y menor a 33%)
Espécimen 3		2-G (Mayor que 16% y menor a 33%)

3.5.4 Cálculo de las velocidades de corrosión

Al evaluar la pérdida de masa en cada una de las piezas, es posible calcular la pérdida de masa ocasionada por corrosión, conociendo la pérdida de masa, la densidad de los materiales las geometrías en cuestión, se puede traducir los valores a cambios de espesor por unidad de tiempo. Cabe recalcar que:

- mdd: miligramos por decímetro cuadrado.
- ipy: pulgadas de espesor por año.
- g/h: gramos por hora.
- Áreas superficiales provienen de dimensiones brindadas por hojas técnicas de materiales.

Las fórmulas para el cálculo de los valores en tablas 3.8 a 3.11 se listan a continuación:

- Δm : Pérdida de masa

$$\Delta m = m_{final} - m_{inicial} \text{ donde la masa se mide en gramos (ec.3.1)}$$

- Velocidad de corrosión:

$$v = \frac{\Delta m}{t}$$

(ec. 3.2)

Dónde t es el tiempo de exposición en horas

- mdd: miligramos por decímetro cuadrado por hora:

$$mdd = \frac{v}{A} * 2.4 \times 10^{-6}$$

(ec. 3.3)

Dónde: A es el área en cm^2

- ipy: pulgadas por año

$$ipy = \frac{v}{\rho} * 114.65492$$

(ec. 3.4)

Donde ρ es la densidad del material en g/cm^3

Los resultados de los cálculos de las velocidades de corrosión se adjuntan de la tabla 3.8 a 3.10 para todas las cámaras salinas y en la tabla 3.11 se adjunta información correspondiente a las densidades de los materiales utilizados en la prueba para efectos de los cálculos de las velocidades de corrosión de los mismos:

Tabla 3.8 Cálculos de velocidades de corrosión para Cámara Salina 1

CÁMARA SALINA 1		
Velocidad de corrosión promedio de especímenes en cámara (Polín GHT)		
Velocidad de corrosión (g/h)	Velocidad de corrosión (mdd)	Velocidad de corrosión (ipy)
0.00002	0.039177277	0.000293987

Tabla 3.9 Cálculos de velocidades de corrosión para Cámara Salina II

CAMARA SALINA 2		
Velocidad de corrosión promedio de especímenes en cámara (Varilla Corrugada 1/2)		
Velocidad de corrosión (g/h)	Velocidad de corrosión (mdd)	Velocidad de corrosión (ipy)
0.00004	0.785404565	0.000587221
0.00003	0.558442566	0.000441547

Tabla 3.10 Cálculos de velocidades de corrosión para Cámara Salina 3

CÁMARA SALINA 3		
Velocidad de corrosión promedio de especímenes en cámara		
Velocidad de corrosión (g/h)	Velocidad de corrosión (mdd)	Velocidad de corrosión (ipy)
0.00043	34.30851064	0.006116827

Tabla 3.11 Tabla de densidades de materiales según respectivas hojas de propiedades

Espécimen	Densidad de material (g/cm³)
Varilla 1/8	8.06
Varilla Corrugada 1/2	7.81
Polín C	7.874
Perfil Angular 90°	7.79

Fuente: Calculado a partir de hojas de propiedades geométricas y mecánicas de cada espécimen, localizadas en apartado de Anexos

CONCLUSIONES

- I. La caracterización del tipo de corrosión presente en los materiales puestos a prueba según SSPC-VIS 2 posicionan a la varilla de 1/8 para malla electrosoldada y la varilla corrugada de 1/2 como los materiales que presentaron más daños por corrosión en su superficie como 2-G (Mayor que 16% y menor a 33%) tanto los especímenes en cámara como el testigo a condiciones ambientales. Los especímenes de mayor tamaño y geometría como lo son el perfil angular 90° y el polín GHT presentaron corrosión a nivel superficial clasificado como 3-G (Mayor que 10% y menor a 16%) cuyo valor se mantuvo relativamente constante a lo largo de las 1008 horas de exposición del estudio, como era de esperarse por las características de protección inherentes al proceso de fabricación.
- II. Los datos demuestran que todos los especímenes tuvieron pérdidas de masa, pero más considerable como era de esperarse con la pérdida de masa registradas es la varilla 1/8 traducida a una velocidad de corrosión de 34.31 mdd según norma ISO 9226. Los demás materiales puestos a pruebas presentaron parámetros visuales de corrosión en la superficie, pero no registraron pérdidas de masa significativas. Según orden descendiente, la varilla corrugada de 1/2 registró una velocidad de 0.78 mdd, el perfil angular 90° de 0.56 mdd y el polín GHT 0.04 mdd. Siendo el Polín C GHT el que presentó la mayor resistencia evaluando ambos aspectos siendo el factor diferenciador la muy baja pérdida de masa en el tiempo de estudio.
- III. La resistencia de cada material varió dependiendo de su masa y la distribución del área superficial de los mismos. El Polín C GHT es el que mejor resistió los ataques del ambiente creado por la cámara salina, aunado a su proceso de fabricación que le confiere muy buenas propiedades anticorrosivas sin la aplicación de recubrimientos posteriores. La varilla de 1/8 al presentar una menor área superficial fue bastante susceptible a la corrosión como se evidencia su pérdida de masa y la apreciación por parámetros visuales establecidos por la norma SSPC-VIS 2, por lo que su aplicación fuera de soportes estructurales recubiertos por concreto es desaconsejada. Los materiales intermedios presentaron velocidades de corrosión bajas, al evaluarse piezas destinadas a construcción o fines estructurales el peso es bastante importante, la varilla corrugada de 1/2 presenta bajo nivel de carbono y ningún recubrimiento especial, aun así, se desempeñó satisfactoriamente. El perfil angular 90° presenta un método de fabricación especial que como era esperarse le acuñó características anticorrosivas como se evidencia con su pérdida de masa y mantuvo su desempeño aún en el medio agresivo salino, sin embargo, al no presentar bordes fuselados/redondos como el polín este generó puntos de concentración para la corrosión y tuvo más sensibilidad a ella.

RECOMENDACIONES

- I. Se recomienda que cuando se quiera hacer un proyecto enfocado a cámaras salinas, las muestras se preparen proporcionalmente al tiempo en el cual se harán las pruebas y tomas de datos respectivas, es decir, que se hagan con las réplicas que se consideren necesarias para que cuando se analice el lapso de horas para toma de datos se extraiga nada más una muestra de la cámara para su posterior análisis y las que quedan aún en la cámara sirvan para ir progresivamente durante el proceso hasta su finalización.
- II. Para la obtención de resultados más precisos en cámaras salinas, se recomienda que la prueba de corrosión dure más tiempo, alrededor de 3 a 5 meses, porque a medida que avanza el tiempo durante el proceso, más impacto tendría la corrosión en los especímenes.
- III. Para un mejor análisis de comparación en cuanto a niveles de corrosión u otros parámetros a medir dentro de la evaluación de especímenes, se recomienda utilizar normas ASTM o SSPC en toda su extensión técnica y equipos especializados, ya que con más bibliografía y equipos adecuado mejor será el aspecto de comparación, todo esto tomando en cuenta los requerimientos que el usuario crea conveniente analizar.
- IV. Si se desea evaluar en un tiempo corto y que tenga más efecto la corrosión dentro de una cámara salina, se recomienda utilizar especímenes de tamaños similares para ver un factor corrosivo más uniforme y tener mediciones más precisas de corrosión generalizada.

BIBLIOGRAFÍA

1. Ahmad, Z. (2006). *Principles of Corrosion Engineering and Corrosion Control* (1° ed., Vol. 1). Burlington, USA: Elsevier.
2. American Society for Testing and Materials. (2011). ASTM B117:" *Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus*", Edición actual aprobada Oct. 1, 2011. Publicada en Noviembre 2011. Originalmente aprobado en 1939. Última edición aprobada en 2009 como B117-09. DOI: 10.1520/B0117-11.
3. Cardoze, Lindo (2021, December 14). 7 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA CORROSIÓN DE METALES. Obtenido en August 16, 2022, de <https://cardozeylindo.com/factores-que-influyen-en-la-corrosion-de-metales>
4. Cramer, S. D., & Covino, B. S. (2003). *ASM handbook: 13A*. ASM International.
5. Revie R. W. y Uhlig H. H. (2008). *Corrosion and Corrosion Control – An Introduction to Corrosion Science and Engineering*. Wiley & Sons, Inc: USA
6. Roberge, P. R. (2008). *Corrosion Engineering Principles and Practice*. New York, Estados Unidos: McGraw-Hill.
7. Salas, B. V., & Wiener, M. S. (2009). *Corrosion engineering: principles and practice. Corrosion Engineering, Science, and Technology*. Leeds, Reino Unido: Maney Publishing.
8. SSPC-VIS2 - *Standard Method of Evaluating Degree of Rusting on Painted Steel Surfaces*. (2000), Pittsburg, Estados Unidos: SSPC-VIS2 INTERNATIONAL.
9. Reliance Foundry Co. Ltd (2021, December 14). *Introducción a los Materiales: Metales Ferrosos y No Ferrosos*. Reliance Foundry. Obtenido en julio 17, 2022, de <https://www.reliance-foundry.com/blog/metales-ferrosos-no-ferrosos-es>)

ANEXOS

ANEXO I: FICHA TÉCNICA “ÁNGULO GHT”

Tomado de: <https://online.grupoferrymax.com>



Tabla de Propiedades

PRESENTACIONES	Propiedades geométricas										Propiedades mecánicas														
	Base		Espesor		Área		Peso		Resistencia		Xc		Ix		Sx		Yc		Iy		Sy		Ry		
	pulg	cm	pulg	mm	GHT	pulg ²	cm ²	lb/pe	kg/m	kil	kg/cm ²	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm	cm	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm	cm	cm	
0.75x0.75"	0.75	1.91	0.059	1.5	12	0.0815	0.55	0.290	0.43	65	4570	0.55	0.19	0.140	0.5936	0.55	0.19	0.140	0.5936	0.19	0.140	0.5936	0.19	0.140	0.5936
1x1"	0.75	1.91	0.075	1.9	10	0.107	0.69	0.364	0.54	65	4570	0.58	0.24	0.180	0.5880	0.58	0.24	0.180	0.5880	0.24	0.180	0.5880	0.24	0.180	0.5880
	1.00	2.54	0.059	1.5	12	0.115	0.74	0.390	0.58	65	4570	0.66	0.47	0.250	0.7966	0.66	0.47	0.250	0.7966	0.47	0.250	0.7966	0.47	0.250	0.7966
1.25x1.25"	1.00	2.54	0.075	1.9	10	0.144	0.93	0.491	0.73	65	4570	0.73	0.58	0.320	0.7908	0.73	0.58	0.320	0.7908	0.58	0.320	0.7908	0.58	0.320	0.7908
	1.00	2.54	0.091	2.3	8	0.174	1.12	0.591	0.88	65	4570	0.72	0.69	0.380	0.7851	0.72	0.69	0.380	0.7851	0.69	0.380	0.7851	0.69	0.380	0.7851
1.5x1.5"	1.00	2.54	0.106	2.7	6	0.202	1.30	0.696	1.02	65	4570	0.74	0.79	0.440	0.7796	0.74	0.79	0.440	0.7796	0.79	0.440	0.7796	0.79	0.440	0.7796
	1.25	3.18	0.059	1.5	12	0.144	0.93	0.491	0.73	65	4570	0.83	0.94	0.400	1.0030	0.83	0.94	0.400	1.0030	0.94	0.400	1.0030	0.94	0.400	1.0030
1.75x1.75"	1.25	3.18	0.075	1.9	10	0.181	1.17	0.617	0.92	65	4570	0.84	1.17	0.500	0.9970	0.84	1.17	0.500	0.9970	1.17	0.500	0.9970	1.17	0.500	0.9970
	1.25	3.18	0.091	2.3	8	0.219	1.41	0.744	1.11	65	4570	0.86	1.39	0.600	0.9912	0.86	1.39	0.600	0.9912	1.39	0.600	0.9912	1.39	0.600	0.9912
2x2"	1.25	3.18	0.106	2.7	6	0.254	1.64	0.865	1.29	65	4570	0.89	1.60	0.700	0.9855	0.89	1.60	0.700	0.9855	1.60	0.700	0.9855	1.60	0.700	0.9855
	1.25	3.18	0.126	3.2	4	0.299	1.93	1.018	1.52	65	4570	0.92	1.85	0.820	0.9785	0.92	1.85	0.820	0.9785	1.85	0.820	0.9785	1.85	0.820	0.9785
2.5x2.5"	1.25	3.18	0.142	3.6	2	0.335	2.16	1.139	1.70	65	4570	0.95	2.05	0.910	0.9751	0.95	2.05	0.910	0.9751	2.05	0.910	0.9751	2.05	0.910	0.9751
	1.50	3.81	0.059	1.5	12	0.174	1.12	0.591	0.88	65	4570	1.00	1.63	0.580	1.2061	1.00	1.63	0.580	1.2061	1.63	0.580	1.2061	1.63	0.580	1.2061
3x3"	1.50	3.81	0.075	1.9	10	0.219	1.41	0.744	1.11	65	4570	1.03	2.03	0.730	1.2001	1.03	2.03	0.730	1.2001	2.03	0.730	1.2001	2.03	0.730	1.2001
	1.50	3.81	0.091	2.3	8	0.264	1.70	0.897	1.33	65	4570	1.03	2.42	0.870	1.1942	1.03	2.42	0.870	1.1942	2.42	0.870	1.1942	2.42	0.870	1.1942
3.5x3.5"	1.50	3.81	0.106	2.7	6	0.307	1.98	1.044	1.55	65	4570	1.06	2.80	1.020	1.1883	1.06	2.80	1.020	1.1883	2.80	1.020	1.1883	2.80	1.020	1.1883
	1.50	3.81	0.126	3.2	4	0.363	2.34	1.234	1.84	65	4570	1.07	3.26	1.190	1.1812	1.07	3.26	1.190	1.1812	3.26	1.190	1.1812	3.26	1.190	1.1812
4x4"	1.50	3.81	0.142	3.6	2	0.405	2.61	1.377	2.05	65	4570	1.10	3.61	1.330	1.1756	1.10	3.61	1.330	1.1756	3.61	1.330	1.1756	3.61	1.330	1.1756
	2.00	5.08	0.075	1.9	10	0.293	1.89	0.997	1.48	65	4570	1.33	4.91	1.310	1.6097	1.33	4.91	1.310	1.6097	4.91	1.310	1.6097	4.91	1.310	1.6097
4.5x4.5"	2.00	5.08	0.091	2.3	8	0.353	2.28	1.203	1.79	65	4570	1.36	5.87	1.580	1.6036	1.36	5.87	1.580	1.6036	5.87	1.580	1.6036	5.87	1.580	1.6036
	2.00	5.08	0.106	2.7	6	0.414	2.67	1.408	2.10	65	4570	1.37	6.82	1.840	1.5977	1.37	6.82	1.840	1.5977	6.82	1.840	1.5977	6.82	1.840	1.5977
5x5"	2.00	5.08	0.126	3.2	4	0.488	3.15	1.662	2.47	65	4570	1.39	7.96	2.160	1.5903	1.39	7.96	2.160	1.5903	7.96	2.160	1.5903	7.96	2.160	1.5903
	2.00	5.08	0.142	3.6	2	0.547	3.53	1.862	2.77	65	4570	1.40	8.86	2.410	1.5845	1.40	8.86	2.410	1.5845	8.86	2.410	1.5845	8.86	2.410	1.5845
5.5x5.5"	2.50	6.35	0.091	2.3	8	0.445	2.87	1.514	2.25	65	4570	1.68	11.63	2.490	2.0133	1.68	11.63	2.490	2.0133	11.63	2.490	2.0133	11.63	2.490	2.0133
	2.50	6.35	0.106	2.7	6	0.521	3.36	1.772	2.64	65	4570	1.69	13.52	2.900	2.0072	1.69	13.52	2.900	2.0072	13.52	2.900	2.0072	13.52	2.900	2.0072
6x6"	2.50	6.35	0.126	3.2	4	0.614	3.96	2.089	3.11	65	4570	1.70	15.84	3.410	1.9997	1.70	15.84	3.410	1.9997	15.84	3.410	1.9997	15.84	3.410	1.9997
	2.50	6.35	0.142	3.6	2	0.688	4.44	2.342	3.49	65	4570	1.71	17.66	3.810	1.9937	1.71	17.66	3.810	1.9937	17.66	3.810	1.9937	17.66	3.810	1.9937
6.5x6.5"	3.00	7.62	0.106	2.7	6	0.626	4.04	2.131	3.17	65	4570	2.01	23.61	4.210	2.4859	2.01	23.61	4.210	2.4859	23.61	4.210	2.4859	23.61	4.210	2.4859
	3.00	7.62	0.126	3.2	4	0.739	4.77	2.516	3.74	65	4570	2.02	27.71	4.950	2.4093	2.02	27.71	4.950	2.4093	27.71	4.950	2.4093	27.71	4.950	2.4093
7x7"	3.00	7.62	0.142	3.6	2	0.831	5.36	2.827	4.21	65	4570	2.04	30.94	5.540	2.4032	2.04	30.94	5.540	2.4032	30.94	5.540	2.4032	30.94	5.540	2.4032
	4.00	10.16	0.142	3.6	2	1.114	7.19	3.793	5.64	65	4570	2.68	74.62	9.970	3.2225	2.68	74.62	9.970	3.2225	74.62	9.970	3.2225	74.62	9.970	3.2225

ANEXO 2. FICHA TÉCNICA MALLA ELECTROSOLDADA

Tomado de: <https://online.grupoferramax.com>

Mallamáx

Tabla de Propiedades

Malla (ft/metros)	Dimensiones		Área de venta		Espesor de cuadrado		Cantidad de varillas		Área de varilla en malla		Peso por área		Tipo de varilla		Resistencia		Cantidad a utilizar		Estandar de ensayo Grado 40	
	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm
10/10	0.135	3.43	0.01	0.01	6	15	2	6.6	0.03	61	0.196	0.96	Lisa	65000	4570	1577	2735	1/4" @ 12 pulg	1/4" @ 30.0 cm	
9/9	0.150	3.80	0.02	0.02	6	15	2	6.6	0.04	75	0.241	1.18	Comugada	70000	4921	25	3691	1/4" @ 9 pulg	1/4" @ 22.5 cm	
8/8	0.163	4.11	0.02	0.02	6	15	2	6.6	0.04	88	0.282	1.38	Lisa	65000	4570	27	4010	1/4" @ 8 pulg	1/4" @ 20.0 cm	
7/7	0.177	4.50	0.02	0.02	6	15	2	6.6	0.05	105	0.338	1.65	Comugada	70000	4921	35	5177	1/4" @ 6 pulg	1/4" @ 15.0 cm	
6/6	0.192	4.88	0.03	0.03	6	15	2	6.6	0.06	124	0.398	1.94	Lisa	65000	4570	38	5653	1/4" @ 6 pulg	1/4" @ 15.0 cm	
4 3/4	0.217	5.50	0.04	0.04	6	15	2	6.6	0.07	157	0.505	2.47	Comugada	70000	4921	52	7733	3/8" @ 10 pulg	3/8" @ 25.0 cm	
4/4	0.225	5.72	0.04	0.04	6	15	2	6.6	0.08	170	0.546	2.67	Lisa	65000	4570	52	7767	3/8" @ 10 pulg	3/8" @ 25.0 cm	
3/3	0.244	6.20	0.05	0.05	6	15	2	6.6	0.09	200	0.642	3.13	Comugada	70000	4921	66	9827	3/8" @ 8 pulg	3/8" @ 20.0 cm	
2/2	0.262	6.65	0.05	0.05	6	15	2	6.6	0.11	230	0.739	3.61	Lisa	65000	4570	71	10498	3/8" @ 7 pulg	3/8" @ 17.5 cm	

ANEXO 3. FICHA TÉCNICA POLÍN GHT

Tomado de: <https://online.grupoferromax.com>



Tabla de Propiedades

PRESENTACIONES	Propiedades geométricas										Propiedades mecánicas															
	Peralte	Base	Pestaña	Espesor	Radio de doblado	Área	Peso	Resistencia	Xc	Ix	Sx	Rx	Yc	Iy	Sy	Ry										
	cm	pulg	cm	pulg	mm	cm ²	lb/pie	kg/m	kg/cm ²	cm ⁴	cm ³	cm	cm	cm ⁴	cm ³	cm										
3x1.25"	x0.8 mm	3.00	7.62	1.25	3.18	0.625	1.59	0.031	0.8	18	0.063	1.6	0.205	1.32	0.696	1.04	80	5625	118	11.79	3.090	2.9885	3.80	2.4	10.70	1.2746
	x1.0 mm	3.00	7.62	1.25	3.18	0.625	1.59	0.039	1.0	16	0.079	2.0	0.253	1.63	0.960	1.28	80	5625	117	14.46	3.800	2.9745	3.81	2.61	13.00	1.2636
	x1.2 mm	3.00	7.62	1.25	3.18	0.625	1.59	0.047	1.2	14	0.094	2.4	0.301	1.94	1.023	1.52	72	5062	117	16.99	4.460	2.9605	3.81	3.04	15.10	1.2526
	x1.5 mm	3.00	7.62	1.25	3.18	0.625	1.59	0.059	1.5	12	0.118	3.0	0.370	2.39	1.261	1.88	65	4570	116	20.63	5.420	2.9388	3.81	3.65	18.10	1.2356
	x1.9 mm	3.00	7.62	1.25	3.18	0.625	1.59	0.075	1.9	10	0.150	3.8	0.459	2.96	1.561	2.32	65	4570	117	25.06	6.580	2.9092	3.81	4.35	21.60	1.2126
3x2"	x0.8 mm	3.00	7.62	2.00	5.08	0.625	1.59	0.031	0.8	18	0.063	1.6	0.251	1.62	0.855	1.27	80	5625	199	16.11	4.230	3.1496	3.81	6.33	20.60	1.9737
	x1.0 mm	3.00	7.62	2.00	5.08	0.625	1.59	0.039	1.0	16	0.079	2.0	0.312	2.01	1.060	1.58	80	5625	199	19.84	5.270	3.1379	3.81	7.75	25.10	1.9619
	x1.2 mm	3.00	7.62	2.00	5.08	0.625	1.59	0.047	1.2	14	0.094	2.4	0.370	2.39	1.261	1.88	72	5062	198	23.39	6.140	3.1262	3.81	9.10	29.40	1.9501
	x1.5 mm	3.00	7.62	2.00	5.08	0.625	1.59	0.059	1.5	12	0.118	3.0	0.459	2.96	1.561	2.32	65	4570	199	28.57	7.500	3.082	3.81	11.04	35.70	1.9320
	x1.9 mm	3.00	7.62	2.00	5.08	0.625	1.59	0.075	1.9	10	0.150	3.8	0.570	3.68	1.941	2.89	65	4570	198	35.02	9.190	3.0838	3.81	13.40	43.20	1.9074
4x2"	x0.8 mm	4.00	10.16	2.00	5.08	0.625	1.59	0.031	0.8	18	0.063	1.6	0.284	1.83	0.965	1.44	80	5625	177	31.01	6.100	4.1198	5.08	7.01	21.20	1.9594
	x1.0 mm	4.00	10.16	2.00	5.08	0.625	1.59	0.039	1.0	16	0.079	2.0	0.352	2.27	1.197	1.78	80	5625	177	38.27	7.530	4.1068	5.08	8.61	26.00	1.9474
	x1.2 mm	4.00	10.16	2.00	5.08	0.625	1.59	0.047	1.2	14	0.094	2.4	0.419	2.70	1.424	2.12	72	5062	177	45.26	8.910	4.0937	5.08	10.12	30.60	1.9354
	x1.5 mm	4.00	10.16	2.00	5.08	0.625	1.59	0.059	1.5	12	0.118	3.0	0.518	3.34	1.762	2.62	65	4570	176	55.40	10.910	4.0738	5.08	12.27	37.00	1.9171
	x1.9 mm	4.00	10.16	2.00	5.08	0.625	1.59	0.075	1.9	10	0.150	3.8	0.646	4.17	2.200	3.27	65	4570	176	68.22	13.430	4.0467	5.08	14.92	44.90	1.8923
5x2"	x1.0 mm	6.00	15.24	2.00	5.08	0.625	1.59	0.039	1.0	16	0.079	2.0	0.431	2.78	1.466	2.18	80	5625	146	97.91	12.850	5.9375	7.62	9.84	27.20	1.8821
	x1.2 mm	5.00	12.70	2.00	5.08	0.625	1.59	0.047	1.2	14	0.094	2.4	0.467	3.01	1.588	2.36	72	5062	159	75.82	11.940	5.0226	6.35	10.92	31.30	1.9060
	x1.5 mm	5.00	12.70	2.00	5.08	0.625	1.59	0.059	1.5	12	0.118	3.0	0.577	3.72	1.962	2.92	65	4570	159	93.01	14.650	5.0006	6.35	13.25	38.00	1.8874
	x1.9 mm	5.00	12.70	2.00	5.08	0.625	1.59	0.075	1.9	10	0.150	3.8	0.721	4.65	2.453	3.65	65	4570	159	114.85	18.090	4.9707	6.35	16.12	46.20	1.8621
	6x2"	x1.2 mm	6.00	15.24	2.00	5.08	0.625	1.59	0.047	1.2	14	0.094	2.4	0.513	3.31	1.746	2.60	72	5062	145	116.07	15.230	5.9216	7.62	11.57	31.90
8x2"	x1.5 mm	6.00	15.24	2.00	5.08	0.625	1.59	0.059	1.5	12	0.118	3.0	0.636	4.10	2.163	3.22	65	4570	145	142.62	18.720	5.8975	7.62	14.05	38.70	1.8508
	x1.9 mm	6.00	15.24	2.00	5.08	0.625	1.59	0.075	1.9	10	0.150	3.8	0.795	5.13	2.706	4.03	65	4570	145	176.48	23.160	5.8648	7.62	17.09	47.10	1.8252
	x1.9 mm	8.00	20.32	2.00	5.08	0.625	1.59	0.075	1.9	10	0.150	3.8	0.946	6.10	3.218	4.79	65	4570	123	350.97	34.540	7.5878	10.16	18.58	48.30	1.7458

ANEXO 4. FICHA TÉCNICA VARILLA CORRUGADA SEGÚN MEDIDA

Tomado de: <https://corinca.com/barras-corrugadas/>

Varillas corrugadas. Hoja técnica.

Varillas corrugadas

TABLA I

Numero de designación para barras corrugadas, pesos (masas) nominales, dimensiones nominales, y requisitos de corrugaciones.

No. de designacion de barra (a)	Peso nominal lb/pie kg/m		(b)		
			Diámetro en mm.	Área de la sección transversal en cm ² .	Perímetro en mm.
3	0.376	0.560	9.5	0.71	29.9
4	0.668	0.994	12.7	1.29	39.9
5	1.043	1.552	15.9	1.99	49.9
6	1.502	2.235	19.1	2.84	59.8
7	2.044	3.042	22.2	3.87	69.8
8	2.670	3.973	25.4	5.10	79.8
9	3.400	5.060	28.7	6.45	90.0
10	4.303	6.404	32.3	8.19	101.3
11	5.313	7.907	35.8	10.06	112.5

TABLA II

Requisitos de tracción

Resistencia a la tracción	GRADO 40	GRADO 60
Valor mínimo PSI	60,000	90,000
[MPa]	[420]	[620]
kg/cm ²	4,218	6,328
Límite de Fluencia Mínimo PSI	40,000	60,000
[MPa]	[280]	[420]
kg/cm ²	2,812	4,218
Elongación en 8 pulgadas ó 203 mm. mínimo		
No. de designación de barra (a)	%	%
3	11	9
4, 5, 6	12	9
7		8
8		8
9, 10, 11		7

TABLA III

Requisitos de ensayo de doblado

Número de designación de barra (a)	Diámetro del vástago para ensayo al doblado. A	
	GRADO 40	GRADO 60
3,4,5	3 1/2 d	3 1/2 d
6	5 d	5 d
7,8		5 d
9,10,11		7 d

A = Ensayo de doblado 180° a menos que se especifique otra cosa
d = Diámetro nominal de la muestra

TABLA IV

Varillas corrugadas w microaleadas bajo norma ASTM A706

NÚMEROS DE DESIGNACIÓN DE BARRAS DEFORMADAS, PESOS (MASAS) NOMINALES, DIMENSIONES NOMINALES, Y REQUISITOS DE DEFORMACIONES

Designación de Barra No. ^a	Peso Nominal (lb/ft) (Masa Nominal (kg/lot))	Dimensiones Nominales ^b			Requisitos de Deformaciones, % (mm)		
		Diámetro, in. (mm)	Sección Trans. in. ² (mm ²)	Revolv. in. (mm)	Especimen Trans. Máximo	Alcance Pequeño Máximo	Módulo Mínimo (12.5% Post)
3 (10)	0.38 (0.560)	0.375 (9.5)	0.11 (71)	1.178 (29.9)	0.262 (6.7)	0.025 (0.58)	0.143 (3.6)
4 (13)	0.67 (0.994)	0.50 (12.7)	0.20 (129)	1.571 (39.9)	0.35 (8.9)	0.02 (0.51)	0.193 (4.9)
5 (16)	1.04 (1.552)	0.625 (15.9)	0.31 (199)	1.963 (49.9)	0.437 (11.1)	0.038 (0.71)	0.289 (6.1)
6 (19)	1.5 (2.235)	0.75 (19.1)	0.44 (284)	2.356 (59.8)	0.525 (13.3)	0.038 (0.97)	0.384 (7.3)
7 (22)	2.04 (3.042)	0.875 (22.2)	0.60 (387)	2.749 (69.8)	0.612 (15.5)	0.044 (1.12)	0.334 (8.5)
8 (25)	2.67 (3.975)	1.00 (25.4)	0.79 (510)	3.142 (79.8)	0.70 (17.8)	0.05 (1.27)	0.383 (9.7)
9 (29)	3.4 (5.060)	1.128 (28.7)	1.00 (645)	3.534 (90.3)	0.79 (20.1)	0.054 (1.42)	0.431 (10.9)
10 (32)	4.3 (6.404)	1.27 (32.3)	1.27 (819)	3.99 (101.3)	0.889 (22.6)	0.064 (1.63)	0.487 (12.4)
11 (36)	5.31 (7.907)	1.41 (35.8)	1.56 (1006)	4.43 (112.5)	0.987 (25.1)	0.073 (1.80)	0.54 (13.7)

^a El número de designación de la barra corresponde al número de octavos de pulgada del diámetro nominal de esa barra.
^b Las dimensiones nominales de una barra deformada son equivalentes a aquellas de una barra redonda lisa, que tiene el mismo peso (masa) por pie (metro).

COMPOSICION QUIMICA

ELEMENTO	MÁXIMO %	
	En colada	En producto
Carbono	0.300	0.300
Manganeso	1.500	1.500
Fósforo	0.025	0.043
Azufre	0.045	0.053
Silicio	0.500	0.550
C. I.	0.500	0.550

REQUISITOS DE TRACCIÓN Y DOBLADO

Resistencia a la tracción, mínima PSI (Mpa)	80,000	(550) ^a
Fuerza de fluencia, mínima, PSI (Mpa)	60,000	(420)
Fuerza de fluencia, máx. PSI (Mpa)	78,000	(543)
Designación de barra No.	Elongación	Diámetro de
	min., %	Por pie (metro)
3, 4, 5,	14	3d ^b
6	14	4d
7, 8,	12	4d
9, 10, 11	12	6d

A- La resistencia a la tracción real no debe ser menor que 1.25 veces el límite de fluencia real.

B- d=diámetro nominal del espécimen



→ **8** El número o diámetro de la varilla.

→ **W** La norma de fabricación ASTM A706 Micro-alloy (MA).

→ **60** Grado de la barra.

(a) El número de designación de la barra corresponde al número de octavos de pulgada del diámetro nominal de esa barra.

(b) Las dimensiones nominales de una barra corrugada son equivalentes a las barras lisas que tengan el mismo peso por unidad de longitud que las barras corrugas.