



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

**“VALIDACIÓN DE LA OPERACIÓN DE LA CÁMARA DE
CORROSIÓN DEL LABORATORIO DE ENSAYOS NO
DESTRUCTIVOS E INTEGRIDAD SUPERFICIAL, APLICANDO
EL MÉTODO DE VELOCIDAD DE CORROSIÓN POR PÉRDIDA
DE MASA”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA/O EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

AUTORES:

ROSA ISAMAR CHITO ASES

ALEX JAVIER LÓPEZ PAGUAY

Riobamba – Ecuador

Año 2024



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

**VALIDACIÓN DE LA OPERACIÓN DE LA CÁMARA DE
CORROSIÓN DEL LABORATORIO DE ENSAYOS NO
DESTRUCTIVOS E INTEGRIDAD SUPERFICIAL, APLICANDO
EL MÉTODO DE VELOCIDAD DE CORROSIÓN POR PÉRDIDA
DE MASA.**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA/O EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

AUTORES: ROSA ISAMAR CHITO ASES
ALEX JAVIER LÓPEZ PAGUAY
DIRECTOR: ING. LUIS CARLOS HIDALGO VITERI

Riobamba – Ecuador

Año 2024

© 2023, Alex Javier López Paguay y Rosa Isamar Chito Ases

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotros, Rosa Isamar Chito Ases y Alex Javier López Paguay, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 16 de mayo de 2024



Alex Javier López Paguay

060577318-3



Rosa Isamar Chito Ases

220035936-8

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto de Investigación, **VALIDACIÓN DE LA OPERACIÓN DE LA CÁMARA DE CORROSIÓN DEL LABORATORIO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS E INTEGRIDAD SUPERFICIAL, APLICANDO EL MÉTODO DE VELOCIDAD DE CORROSIÓN POR PÉRDIDA DE MASA**, realizado por los señores: **ALEX JAVIER LÓPEZ PAGUAY y ROSA ISAMAR CHITO ASES**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

Ing. Marco Antonio Ordóñez Viñán

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

FIRMA	FECHA
 _____	2024-05-16


Ing. Luis Carlos Hidalgo Viteri

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE
INTEGRACIÓN CURRICULAR**

 _____	2024-05-16
-----------------------------------------------------------------------------------------------	------------

Ing. Luis Santiago Choto Chariguamán

**ASESOR DEL TRABAJO DE
INTEGRACIÓN CURRICULAR**

 _____	2024-05-16
-----------------------------------------------------------------------------------------------	------------

DEDICATORIA

El presente trabajo se la dedico a Dios, especialmente a mis padres a Luis Chito y Gabriela Ases, quien fue mi pilar fundamental en el proceso de mi carrera de estudio universitario, por su esfuerzo y sacrificio por darme los recursos necesarios, para cumplir mi meta por ser mi impulso que necesitaba para no rendirme.

Isamar Chito

A mi padre, que siempre ha estado a mi lado brindándome su cariño y su comprensión. A mis hermanos Antonio e Iván, que me han acompañado en este camino con su apoyo y confianza Y, sobre todo, a mi madre, que con su ejemplo me ha enseñado el valor del esfuerzo y la perseverancia. Este trabajo es un homenaje a su memoria y amor. A los cuatro, les dedico este logro con toda mi gratitud.

Alex López

AGRADECIMIENTO

Expreso mi profundo agradecimiento a Dios por brindarme vida y sabiduría. A mi familia, por su apoyo incondicional. A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y a la Carrera de Mantenimiento Industrial, así como a mis profesores, especialmente a los ingenieros Luis Hidalgo y Santiago Choto. Finalmente, agradezco a mis amigos por estar siempre presentes. Su apoyo ha sido invaluable en mi camino hacia el éxito.

Isamar Chito

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
1.1. Planteamiento del problema.....	2
1.2. Objetivos.....	3
1.2.1. <i>Objetivo general</i>	3
1.2.2. <i>Objetivos específicos</i>	3
1.3. Justificación y actualidad.....	3
1.4. Hipótesis.....	4
1.5. Variable dependiente.....	4
1.6. Variables independientes.....	4

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Fundamentos de la corrosión.....	5
2.2. Método para evaluar una velocidad de corrosión.....	5
2.2.1. <i>Método de pérdida de masa</i>	5
2.3. Tipos de corrosión.....	5
2.3.1. <i>Corrosión generalizada o uniforme</i>	6
2.3.2. <i>Corrosión por picadura o pitting</i>	6
2.3.3. <i>Corrosión galvánica</i>	6
2.3.4. <i>Corrosión intergranular</i>	7
2.3.5. <i>Corrosión bajo tensión</i>	7
2.3.6. <i>Dealeado</i>	8

2.4.	Factores que influyen en la corrosión	8
2.4.1.	<i>Fragilización por hidrógeno</i>	8
2.4.2.	<i>Nivel de pH</i>	8
2.4.3.	<i>Temperatura</i>	9
2.4.4.	<i>Humedad relativa</i>	9
2.5.	Mecanismos de protección contra la corrosión	9
2.5.1.	Revestimientos protectores	9
2.5.1.1.	<i>Recubrimientos orgánicos</i>	9
2.5.1.2.	<i>Recubrimientos inorgánicos</i>	10
2.5.1.3.	<i>Recubrimientos metálicos</i>	10
2.5.2.	Protección catódica por ánodo de sacrificio	10
2.5.2.1.	<i>Ánodo de sacrificio</i>	10
2.5.3.	Protección con inhibidores	11
2.6.	Material de las probetas	12
2.6.1.	<i>Acero al carbono ASTM A 36</i>	12
2.7.	Velocidad de corrosión	12
2.8.	Cámara de corrosión.	13
2.8.1.	<i>Funcionamiento de la cámara de corrosión</i>	13
2.9.	Validación de datos	14
2.9.1.	<i>Método estadístico de evaluación de datos</i>	15
2.9.1.1.	<i>Prueba de t</i>	15
2.10.	Normas	15
2.10.1.	<i>ASTM G1-03(2017): Práctica estándar para preparar, limpiar y evaluar muestras de prueba de corrosión</i>	15
2.10.2.	<i>Norma NACE No 2/SSPC-SP 10. Estándar de preparación de la superficie de las juntas: limpieza con chorro de metal casi blanco</i>	15

CAPÍTULO III

3.	MARCO METOLÓGICO	16
3.1.	Método metodológico	16
3.2.	Enfoque de investigación	16
3.3.	Estación experimental	17
3.3.1.	<i>Preparación de las muestras</i>	17
3.3.2.	<i>Preparación de las probetas de acero ASTM A36</i>	17
3.3.2.1.	<i>Grupo 1: Acero ASTM A 36 sin recubrimientos</i>	18

3.3.2.2.	<i>Grupo 2: Acero ASTM A 36 con recubrimiento.....</i>	18
3.3.3.	<i>Preparación de las probetas de acero galvanizado</i>	20
3.3.3.1.	<i>Grupo A: Acero galvanizado</i>	20
3.3.3.2.	<i>Grupo B: Acero galvanizado con protección por ánodo de sacrificio</i>	20
3.3.4.	<i>Medición de la masa de las probetas</i>	21
3.3.4.1.	<i>Medidas de las masas iniciales de los cuatros grupos de probetas.....</i>	21
3.3.5.	<i>Delimitación de los parámetros de funcionamiento de la cámara de corrosión</i>	21
3.3.6.	<i>Colocación de probetas en la cámara de corrosión</i>	22
3.3.7.	<i>Extracción y limpieza de las probetas</i>	23
3.3.8.	<i>Medición final de la masa de las probetas</i>	23
3.3.9.	<i>Protección electroquímica catódica</i>	23
3.3.9.1.	<i>Ánodo de sacrificio</i>	23
3.3.9.2.	<i>Masa inicial de ánodo de sacrificio.....</i>	24
3.3.10.	<i>Estudio estadístico</i>	24

CAPÍTULO IV

4.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	25
4.1.	Evaluación de la velocidad de corrosión de Acero ASTM A 36.....	25
4.2.	Cálculo de la velocidad de corrosión	25
4.3.	Área de la probeta.....	26
4.4.	Cálculo de la densidad de las probetas.....	27
4.4.1.	<i>Cálculo de la densidad del acero ASTM A 36 negro sin recubrimiento.</i>	27
4.5.	Levantamiento de datos del acero ASTM A36 galvanizadas y negro.	28
4.6.	Comportamiento de las condiciones ambientales en la cámara de corrosión....	28
4.6.1.	<i>Comportamiento de la temperatura.....</i>	28
4.6.2.	<i>Comportamiento del nivel de pH</i>	29
4.6.3.	<i>Comportamiento de la humedad.....</i>	30
4.7.	Comportamiento de masas de los cuatro grupos de probetas.....	31
4.7.1.	<i>Acero ASTM A36 negro sin recubrimiento.....</i>	31
4.7.1.1.	<i>Velocidad de corrosión.....</i>	31
4.7.2.	<i>Acero ASTM A36 negro con recubrimiento superficial</i>	32
4.7.2.1.	<i>Velocidad de corrosión.....</i>	32
4.7.3.	<i>Acero ASTM A36 galvanizada con protección catódica.....</i>	32
4.7.3.1.	<i>Velocidad de corrosión.....</i>	32
4.7.4.	<i>Acero ASTM A36 galvanizada.....</i>	33

4.7.4.1.	<i>Velocidad de corrosión</i>	33
4.8.	Análisis estadístico de los datos	34
4.8.1.	<i>Análisis estadístico de tendencia central</i>	34
4.8.2.	<i>Prueba de normalidad</i>	35
4.8.3.	<i>Prueba t de Student</i>	36
4.8.3.1.	<i>Comparación de muestras de acero ASTM A36 sin recubrimiento superficial de Adelca y Riobamba</i>	36
4.8.3.2.	<i>Comparación de muestras de acero ASTM A36 galvanizadas Adelca y Riobamba</i> . 37	
4.8.3.3.	<i>Comparación de muestras de acero ASTM A36 con recubrimiento superficial de Adelca y Riobamba</i>	37
4.8.3.4.	<i>Comparación de muestras de acero ASTM A36 con protección catódica por ánodo de sacrificio de Adelca y Riobamba</i>	38
4.9.	Análisis del mejor método contra la corrosión	39

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES.....	41
-------------------	----

RECOMENDACIONES.....	42
----------------------	----

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1:	Valores de la constante K	13
Tabla 3-1:	Condiciones ambientales.	20
Tabla 3-2:	Masas iniciales de los 4 grupos de probetas.	21
Tabla 3-3:	Parámetros de condiciones ambientales.....	22
Tabla 3-4:	Datos de masa inicial de ánodo de sacrificio.	24
Tabla 4-1:	Designación de los 4 grupos de probetas.	25
Tabla 4-2:	Densidad de los 4 grupos de probetas.	27
Tabla 4-3:	Ficha de recolección de datos de la velocidad de los cuatro grupos de probetas.	28
Tabla 4-4:	Datos estadísticos de tendencia central.	35
Tabla 4-5:	p-valor de las probetas de Adelca y Riobamba.	35
Tabla 4-6:	Resultado t de Student Acero ASTM A 36 sin recubrimiento Adeca vs Riobamba.	36
Tabla 4-7:	Resultado t de Student Acero ASTM A 36 galvanizadas Adeca vs Riobamba. ..	37
Tabla 4-8:	Resultado del análisis t de Student de probetas con recubrimiento superficial de Adelca y Riobamba.	38
Tabla 4-9:	Resultado del análisis t de Student de probetas con protección catódica de Adelca y Riobamba	39
Tabla 4-10:	Resumen prueba ANOVA	39

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1:	Protección catódica por ánodo de sacrificio.....	11
Ilustración 3-1:	Diagrama de proceso experimental.	16
Ilustración 3-2:	Estación experimental.	17
Ilustración 3-3:	Cortado de probetas de acero ASTM A36.	18
Ilustración 3-4:	Probetas de acero A36.....	18
Ilustración 3-5:	Limpieza superficial.....	19
Ilustración 3-6:	Proceso de recubrimientos por capas.	19
Ilustración 3-7:	Probetas ASTM A 36 galvanizadas.....	20
Ilustración 3-8:	Ubicación de las 64 probetas.....	22
Ilustración 4-1:	Dimensiones de la probeta.	26
Ilustración 4-2:	Comportamiento de la temperatura.	29
Ilustración 4-3:	Comportamiento del nivel de pH.	30
Ilustración 4-4:	Comportamiento de la humedad relativa.....	30
Ilustración 4-5:	Análisis de la velocidad de corrosión.....	31
Ilustración 4-6:	Velocidad de corrosión del acero con recubrimiento.	32
Ilustración 4-7:	Velocidad de corrosión del acero galvanizado con protección catódica.	33
Ilustración 4-8:	Velocidad de corrosión de acero galvanizado (CR).	34

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** CÓDIGO EN PYTHON PARA DEMOSTRAR LA NORMALIDAD DE DATOS
- ANEXO B:** CÓDIGO EN PYTHON PARA MOSTRAR DATOS DE TENDECIA CENTRAL
- ANEXO C:** CÓDIGO EN PYTHON PARA COMPARAR LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DE PROBETAS SIN RECUBRIMIENTOS
- ANEXO D:** CÓDIGO EN PYTHON PARA COMPARAR LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DE PROBETAS GALVANIZADAS
- ANEXO E:** CÓDIGO EN PYTHON PARA COMPARAR LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DE PROBETAS CON RECUBRIMIENTOS
- ANEXO F:** CÓDIGO EN PYTHON PARA COMPARAR LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DE PROBETAS CON PROTECCIÓN CATÓDICA
- ANEXO G:** MEDICIÓN DE TEMPERATURA CON EL TERMÓMETRO VISUAL
- ANEXO H:** MEDICIÓN DEL NIVEL DE pH

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue validar la operación de un equipo denominado cámara de corrosión, que se encuentra en el Laboratorio de Ensayos no Destructivos de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH. Este equipo ha sido utilizado para realizar ensayos de corrosión, pero no se había aprobado su funcionamiento. Por lo tanto, se realizó una validación aplicando el método de velocidad de corrosión por pérdida de masa en probetas de acero ASTM A36 con diferentes mecanismos de protección contra la corrosión. La investigación implicó la preparación de cuatro grupos de probetas de acero las cuales fueron pesadas antes y después de ser colocadas en la cámara de corrosión. Con base en la pérdida de masa, se calculó la velocidad de corrosión, que luego se comparó con la velocidad de corrosión de las muestras correspondientes de la estación de investigación en la ciudad de Milagro. Se realizó un análisis estadístico de velocidad de corrosión de las muestras utilizando Python. Este análisis incluyó una prueba de Shapiro Wilks y una prueba t de Student. Los resultados obtenidos indican que las probetas de acero ASTM A36 sin recubrimiento, recubiertas, galvanizadas y las que cuentan con protección catódica tienen una diferencia estadística en su velocidad de corrosión al compararlas con las muestras previamente estudiadas en Adelca. Además, los resultados estadísticos obtenidos precisan que la cámara de corrosión no replica las condiciones para el estudio de estos cuatro grupos de muestras, sin embargo, se puede utilizar para análisis de otros materiales donde las condiciones quedan fijadas y no se requiere replicar otros entornos. Esto se debe a que el p-valor obtenido es menor a 0,05 de los cuatro grupos, lo que significa que se acepta la hipótesis alternativa que detalla que hay una diferencia entre las medias de estos grupos de muestras.

Palabras clave: <VALIDACIÓN DE FUNCIONAMIENTO>, <CÁMARA DE CORROSIÓN >, <PÉRDIDA DE MASA >, <VELOCIDAD DE CORROSIÓN >, <ÁNODO DE SACRIFICIO>, <PINTURA ANTICORROSIVA >, <PROTECCIÓN GALVÁNICA >.

0735-DBRA-UPT-2024



ABSTRACT

This research aimed to validate the operation of the corrosion chamber equipment in the Non-Destructive Testing Laboratory of Mechanics Faculty at ESPOCH. This equipment was used to conduct corrosion tests, but its operation had yet to be approved. Therefore, validation was carried out by applying the mass loss corrosion rate method on ASTM A36 steel specimens with different corrosion protection mechanisms. The investigation involved preparing four groups of steel specimens, which were weighed before and after being placed in the corrosion chamber. Based on the mass loss, the corrosion rate was calculated and compared with the corrosion rate of the corresponding samples from the research station in the city of Milagro. A statistical analysis of the corrosion rate of the samples was performed using Python. This analysis included a Shapiro-Wilks test and a Student t-test. The results indicate that the ASTM A36 steel specimens without coating, coated, galvanized, and those with cathodic protection statistically differ in their corrosion rate compared with the samples previously studied in Adelca. Furthermore, the statistical results obtained specify that the corrosion chamber does not replicate the conditions for the study of these four groups of samples. However, it can be used to analyze other materials where the conditions are fixed, and it is not required to replicate other environments. This is because the p-value obtained is less than 0.05 for the four groups, which means that the alternative hypothesis is accepted and details a difference between the means of these groups of samples.

Keywords: <FUNCTIONAL VALIDATION> <CORROSION CHAMBER> <MASS LOSS>
<CORROSION SPEED> <SACRIFICIAL ANODE> <ANTI-CORROSIVE PAINT>
<GALVANIC PROTECTION>



Lic. Sandra Leticia Guijarro Paguay

C.I.: 0603366113

INTRODUCCIÓN

La corrosión en varias industrias, en particular como en la industria del petróleo y gas la corrosión es un problema fundamental y costoso. Como en los materiales que son sumergidos en el suelo tienden a corroerse más rápido debido a condiciones existentes y estructura metalúrgica en el cual puede interrumpir un sistema activo y provocar pérdidas económicas (Noroznia et al., 2024, pág.1).

La velocidad de corrosión (CR) se valora de esta manera como primer paso se procede a la preparación de probetas de acero ASTM A36 negro y galvanizado, se aplica cuatro métodos anticorrosivos como: el acero ASTM A36 negro sin recubrimiento, acero ASTM A36 negro con recubrimiento superficial, acero ASTM A36 galvanizada con protección catódica por ánodo de sacrificio y acero ASTM A36 con protección de zinc. Se procede definir las dimensiones, espesor, masas y aplicar el recubrimiento polimérico en el acero negro sin recubrimiento.

Existe la cámara de corrosión en el cual no se encuentra validada es por ello por lo que es fundamental la validación para garantizar que las pruebas de CR que se realice tengan resultados confiables, es por ello por lo que en esta investigación busca ver si el equipo está simulando las condiciones ambientales (temperatura, humedad, nivel de pH) generada en ADELCA. Con esta investigación, se espera contribuir con un avance en la comprensión y prevención eficaz de la corrosión a nivel académico e industrial.

La metodología empleada es cuantitativa ya que se necesita calcular, analizar y realizar comparaciones de velocidad de corrosión, pruebas de exposición programadas y análisis de pérdida de masa para evaluar la operación del equipo. En el análisis de datos se utilizó el método estadístico de prueba de t student para comparar la velocidad de ADELCA y ESPOCH.

Finalmente se busca validar el funcionamiento de la cámara de corrosión con el fin de realizar pruebas en diferentes materiales con cualquier tipo de método anticorrosivo y así prevenir la corrosión a nivel académico e industrial.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

La validación del funcionamiento de la cámara de corrosión es esencial para garantizar que el equipo cumpla su función requerida. Por ello, se realizó una prueba de inmersión de corrosión experimental aplicando el método de velocidad de corrosión por pérdida de masa de cuatro grupos de probetas de acero ASTM A36. El equipo antes mencionado no cuenta con una validación de su funcionamiento. Se comparó la velocidad de corrosión de dos grupos de probetas: uno expuesto a ambientes corrosivos reales ubicadas en Milagro Adelca y otro sometido a ambientes corrosivos simulados en una cámara de corrosión ubicada en el Laboratorio de Ensayos No Destructivos ESPOCH. Los datos obtenidos permitieron entender si el equipo simula las condiciones ambientales (temperatura, humedad y nivel de pH).

Para poder entender el problema que genera la corrosión a nivel económico (Romero et al., 2017) detalla que:

“La constante preocupación por conocer y solucionar los problemas operacionales ocasionados por el fenómeno de la corrosión ha encaminado a diversas organizaciones e instituciones al desarrollo de investigaciones que permitan obtener un diagnóstico de las causas fundamentales que dan origen al problema. Adicionalmente, el incremento de los costos de inversión y de mantenimiento, se ha convertido en el impulsor de las industrias para concentrar sus esfuerzos en recuperar energía, recursos y reducir los costos de sus procesos”.(pág. 1)

La medición precisa de la velocidad de corrosión es un aspecto fundamental en la prevención y mantenimiento proactivo. Existe numerosos métodos y tecnologías, la investigación se enfoca el análisis de la velocidad de corrosión en ambientes controlados utilizando equipos de medición de velocidad de corrosión por pérdida de masa. Estos equipos como la cámara de corrosión proporcionan mediciones precisas de la corrosión, lo que los convierte en una herramienta valiosa para la evaluación de la integridad de las probetas de acero ASTM A 36 expuesto a condiciones corrosivas.

El desafío principal es la necesidad de comprender y optimizar el uso de equipos de medición de velocidad de corrosión, para el análisis de la velocidad de corrosión en ambientes controlados. A

pesar de los avances tecnológicos en esta área, persisten desafíos que son difíciles de resolver debido a la falta de conocimiento de las empresas en el ámbito de la corrosión.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Validar la operación de la cámara de corrosión del Laboratorio de Ensayos No Destructivos e Integridad Superficial, aplicando el método de velocidad de corrosión por pérdida de masa.

1.2.2. Objetivos específicos

Preparar las probetas de acero ASTM A36 negro y galvanizado para someterse a ambientes agresivos controlados en el Laboratorio de Ensayos No Destructivos e Integridad Superficial de la ESPOCH.

Elaborar un plan de registro de datos de la velocidad de corrosión de probetas de acero ASTM A36 negro y galvanizado sometidas a ambientes controlados agresivos en la cámara de corrosión controlada.

Comparar los resultados obtenidos de las velocidades de corrosión de las probetas de la empresa Adelca ubicada en la ciudad de Milagro con las probetas de la cámara de corrosión del Laboratorio de Ensayos No Destructivos e Integridad Superficial de la ESPOCH de la ciudad de Riobamba.

1.3. Justificación y actualidad

En este estudio se propuso como una medida proactiva para proporcionar información precisa sobre la corrosión en sondas de acero al carbono ASTM A36 mediante el uso de una cámara de corrosión. Su objetivo es mejorar la preservación de nuestros valiosos activos, optimizar la eficiencia operativa, pérdida de eficiencia de materiales y reducir los costos asociados con la corrosión.

De lo anteriormente expuesto, la validación del funcionamiento de la cámara de corrosión es sumamente necesario para asegurar que los datos de velocidad de corrosión obtenidos sean fiables y lo más cercanos a la realidad; con esta investigación se espera contribuir con un avance en la comprensión y prevención eficaz de la corrosión a nivel académico e industrial.

1.4. Hipótesis

Hipótesis nula:

Ho= La velocidad de corrosión de las probetas de ADELCA es igual a las probetas de la cámara de corrosión en la ESPOCH.

Hipótesis Alternativa:

Ha = La velocidad de corrosión de las probetas de ADELCA es diferentes a las probetas de la cámara de corrosión en la ESPOCH.

1.5. Variable dependiente

- Velocidad de corrosión.

1.6. Variables independientes

- Métodos de protección anticorrosivo
- Temperatura.
- Nivel de pH.
- Humedad.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Fundamentos de la corrosión

Según el glosario de corrosión de la Sociedad Estadounidense de Pruebas y Materiales (ASTM), la corrosión se define como “la reacción química o electroquímica entre un material, generalmente un metal, y su entorno que produce un deterioro del material y de sus propiedades” (Cicek, 2014, pág. 14).

La corrosión puede definirse como una reacción irreversible de un material con su medio ambiente, que normalmente (aunque no siempre) trae asociado una degradación del material o de sus propiedades (Lucas y Sánchez, 2018, pág. 1).

La corrosión de los metales es un fenómeno costoso y destructivo que puede llevar a fallas catastróficas si no se controla adecuadamente, esto puede lograrse mediante el uso de recubrimientos protectores u otro tipo de mecanismo de protección contra la corrosión.

2.2. Método para evaluar una velocidad de corrosión

2.2.1. Método de pérdida de masa

El método de pérdida de masa, se le conoce como prueba de inmersión es una técnica utilizada para el cálculo de la velocidad de corrosión expresada en miligramos de material perdido por cada día transcurrido y por cada decímetro cuadrado de área de material expuesto. Es especialmente preciso, incluso a altas temperaturas (entre 100 °C y 350 °C), a diferencia de las pruebas electroquímicas, que tienden a ser menos confiables en estas condiciones debido a problemas con los electrodos (Nova, 2022, pág. 35).

2.3. Tipos de corrosión

Existen distintos tipos de corrosión y cada uno se caracteriza por tener diferentes condiciones ambientales de igual forma la condición del material específicamente su naturaleza (Ibbs, 2022, pág. 26)

2.3.1. Corrosión generalizada o uniforme

La corrosión uniforme se manifiesta de manera homogénea en toda la superficie del acero, lo que conlleva a la disminución del espesor del material de acero y, en consecuencia, disminuye la capacidad de carga de los materiales en aceros (Mora y Vargas, 2022, pág. 6).

La corrosión uniforme implica un proceso electroquímico en el cual el metal experimenta oxidación en su superficie, liberando iones metálicos al electrolito circundante. Simultáneamente, ocurre la reducción de un agente oxidante, comúnmente el oxígeno disuelto en el agua, en la superficie del cátodo. (Fontana, 1985, págs. 5-12)

Reacción química:

Reacción anódica: $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$ (Oxidación del metal)

Reacción catódica: $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$ (Reducción del oxígeno disuelto) (Revie y Uhlig, 2008, págs.11-13).

2.3.2. Corrosión por picadura o pitting

La corrosión por picadura aparece en forma de pequeños agujeros en una superficie que apenas es afectada. La corrosión se desarrolla debido a los aniones agresivos o iones de cloruro. Estos agujeros suelen originarse a nivel microscópico y no son detectables simple vista (Martínez, 2023, pág. 7).

Diversos factores pueden favorecer la corrosión por picadura, como la heterogeneidad de la superficie del metal, la presencia de defectos o impurezas, y la formación de células de concentración. En estas zonas localizadas, las condiciones electroquímicas son más propicias para la disolución acelerada del metal, originando las picaduras.

Reacción química:

Anódica (en puntos específicos): $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$

Catódica (en la superficie circundante): $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$

2.3.3. Corrosión galvánica

La corrosión galvánica se presenta cuando se establece una conexión eléctrica entre dos o más metales de distintas composiciones en un medio que contiene un electrolito. Esto provoca la

creación de una diferencia de potencial que actúa como fuerza motriz para que fluya una corriente galvánica entre los electrodos involucrados (Lucas y Sánchez, 2018, pág.64).

Reacción química:

Reacción de oxidación (ánodo): $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^{-}$

Reacción de reducción (cátodo): $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^{-} \rightarrow 4\text{OH}^{-}$

2.3.4. Corrosión intergranular

Es un proceso de deterioro específico que ocurre en áreas próximas a las divisiones entre los granos de un material. Esto sucede porque las partes del material en las fronteras de los granos son más propensas a reaccionar químicamente en comparación con el resto del material. La razón detrás de este tipo de corrosión está relacionada con la existencia de más impurezas y menos elementos protectores contra la corrosión en esas áreas de separación entre los granos del material (Caiza y Gamboa, 2022, pág. 14)

Ataque preferente en los límites de grano del metal, debilitando su estructura. Las reacciones anódica y catódica se concentran en estas zonas, favorecidas por la precipitación de carburos o intermetálicos.

Reacción química:

Anódica (en límites de grano): $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^{-}$

Catódica (en la superficie circundante): $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^{-} \rightarrow 4\text{OH}^{-}$

2.3.5. Corrosión bajo tensión

La corrosión por agrietamiento bajo tensión (SCC) es un proceso que causa grietas en ciertas aleaciones sometida a una fuerza o tensión. Se requieren aleaciones susceptibles, en un entorno químico específico y tensión sostenida. La presencia o ausencia de SCC se determina por la interacción de estos tres factores: aleación, entorno y tensión (Roberge, 2019)

La corrosión genera microfisuras en la superficie del metal, que actúan como puntos débiles donde se concentra la tensión, amplificando el efecto del esfuerzo aplicado. Estas microfisuras crecen lentamente (de manera subcrítica) por la acción conjunta de la tensión y el ambiente corrosivo. A medida que crecen, debilitan el material hasta alcanzar un tamaño crítico

Reacción química:

Anódica (en microfisuras): $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^{-}$

Catódica (en la superficie circundante): $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^{-} \rightarrow 4\text{OH}^{-}$

2.3.6. Dealeado

La corrosión dealeado se le denomina disolución selectiva es aquella que implica la eliminación preferencial de un componente de una aleación debido a la corrosión. Un ejemplo común es la dezincificación del latón, que es una aleación donde el cobre es el componente principal y el zinc un elemento clave en la mezcla. Cuando el latón entra en contacto con un ambiente corrosivo, se somete a dealeado, en el cual el zinc se disuelve principalmente, dejando la aleación con una estructura de cobre debilitada y permeable (Vázquez, 2015, págs. 65-66).

2.4. Factores que influyen en la corrosión

La corrosión en probetas de acero: ASTM A 36 y galvanizados, influye muchos factores que dependerá de las características del material a continuación se menciona diversos factores medioambientales en suelos que influyen en la corrosión.

2.4.1. Fragilización por hidrógeno

La fragilización por hidrógeno es un fenómeno en el que el hidrógeno, se presenta en la estructura de un metal, ocurre a lo largo de los límites de grano. Esto puede resultar en fallas y grietas, incluso cuando el material se somete a esfuerzos mecánicos, ya que supera su capacidad de resistencia. Los átomos de hidrogeno se generan durante el proceso de corrosión del metal en contacto con el acero (Roussak y Gesser, 2013, pág. 184) .

2.4.2. Nivel de pH

El nivel de pH es la cantidad de iones de hidrogeno que están libres en una solución Cuando el pH de una solución desciende por debajo de 7, se la denomina como ácida y estas soluciones suelen ser altamente corrosivas. Cuando el nivel pH es igual a 7 es neutra, mientras que las que tiene el pH superior a 7 se les conoce como alcalinas son aquellas que liberan electrones en mayor medida (Caiza y Gamboa, 2022, pág.8).

2.4.3. *Temperatura*

La temperatura cuando aumenta conlleva un incremento proporcional en la velocidad de corrosión, facilitando la rápida difusión de oxígeno desde el entorno hacia el material afectado. Los experimentos han demostrado que la velocidad de corrosión se duplica aproximadamente por cada 2°C de aumento en la temperatura (Rivera , 2020 , pág.13)

2.4.4. *Humedad relativa*

La humedad es la cantidad de vapor de agua en el aire, se mide en porcentaje, en el cual se considera un factor fundamental a considerar en la corrosión ya que afecta en la frecuencia, duración de los ciclos de lluvia y rocío en el cual las superficies metálicas tienden a deteriorarse (Quezada, 2022, pág. 32).

2.5. Mecanismos de protección contra la corrosión

La corrosión y el deterioro de materiales metálicos y no metálicos puede ser significativamente disminuido gracias a varios mecanismos y estrategias de protección contra la corrosión, los mecanismos de corrosión son usados para reducir los efectos de la pérdida de material debido a este fenómeno químico.

2.5.1. *Revestimientos protectores*

El uso de recubrimientos como barrera protectora entre un medio que podría ser agresivo y un metal se ha establecido como el método de protección predominante para la mayoría de los materiales utilizados en ingeniería. Este método es ampliamente reconocido y adoptado debido a su eficacia en la prevención de la corrosión y el desgaste, prolongando así la vida útil de los materiales. Hay tres clases generales de recubrimientos: orgánicos, inorgánicos y metálicos (Lucas y Sánchez, 2018, pág.65).

2.5.1.1. *Recubrimientos orgánicos*

Los recubrimientos orgánicos proporcionan protección al sustrato metálico mediante la formación de una barrera física entre el metal y el medio. Pueden contener también inhibidores de la corrosión y otros aditivos (Lucas y Sánchez, 2018, pág.65)

2.5.1.2. Recubrimientos inorgánicos

Son capas protectoras aplicadas sobre materiales metálicos que proporcionan resistencia a la corrosión, desgaste, abrasión, entre otras. La principal diferencia que tiene con los recubrimientos orgánicos es que los recubrimientos inorgánicos no contienen enlaces de carbono. De este tipo de recubrimientos inorgánicos incluyen: óxidos metálicos, recubrimientos cerámicos, fosfatos conversiones químicas y el cincado (Lucas y Sánchez, 2018, pág.75) .

2.5.1.3. Recubrimientos metálicos

Los recubrimientos metálicos al igual que los anteriores recubrimientos crean una barrera entre el metal y el ambiente que lo rodea. La técnica más eficiente y conocida de este tipo de método es el galvanizado, este método consiste en aplicar una capa de zinc metálico mediante la inmersión del sustrato en zinc fundido (Lucas y Sánchez, 2018, págs. 75-76).

2.5.2. Protección catódica por ánodo de sacrificio

La protección catódica por ánodo de sacrificio implica la aplicación de un potencial eléctrico a la superficie de dos metales, designados como A y B (consultar Ilustración 2-1), estableciendo un circuito cerrado mediante una fuente de corriente continua. El metal A (probetas), destinadas a ser protegido, debe conectarse al polo positivo (cátodo) de la fuente. Simultáneamente, el metal B (aluminio), que desempeñara el papel de material de sacrificio, se conecta al polo negativo. De este modo, se configura un circuito cerrado que involucra a ambos metales y a la fuente de corriente. La aplicación de este potencial eléctrico induce al metal conectado al polo negativo (metal B) A actuar como material de sacrificio, lo que resulta en una reducción de la velocidad de corrosión del metal A, dado que la corrosión se concentra en el metal de sacrificio (Lucas y Sánchez, 2018, pág. 71).

2.5.2.1. Ánodo de sacrificio

Los ánodos de sacrificio más empleados son el magnesio, el zinc y el aluminio (metales más activos). El material que más se emplea como ánodo de sacrificio es el zinc. Los ánodos de magnesio se utilizan cuando se quiere proteger estructuras en medios agresivos (Lucas y Sánchez, 2018, pág. 72).

Entre las características más destacables para que el ánodo de sacrificio cumpla con su función se tiene que:

- El material de sacrificio es menos noble que el metal que se busca proteger contra la corrosión.
- El potencial electroquímico del ánodo de sacrificio es más negativo que el metal protegido, esto asegura que el entorno agresivo no corroa al material más valioso.
- La durabilidad del ánodo de sacrificio es un aspecto importante para que la protección sea continua y de larga duración.
- La velocidad de corrosión a lo largo de tiempo es constante.
- La conductividad es uniforme de la corriente en el material sacrificado evita la formación de puntos de corrosión localizada.
- La Facilidad de instalación y remplazo garantiza que al momento del cambio no se requiera trabajos muy extensos.
- Son elementos de fácil mantenibilidad y adquisición.

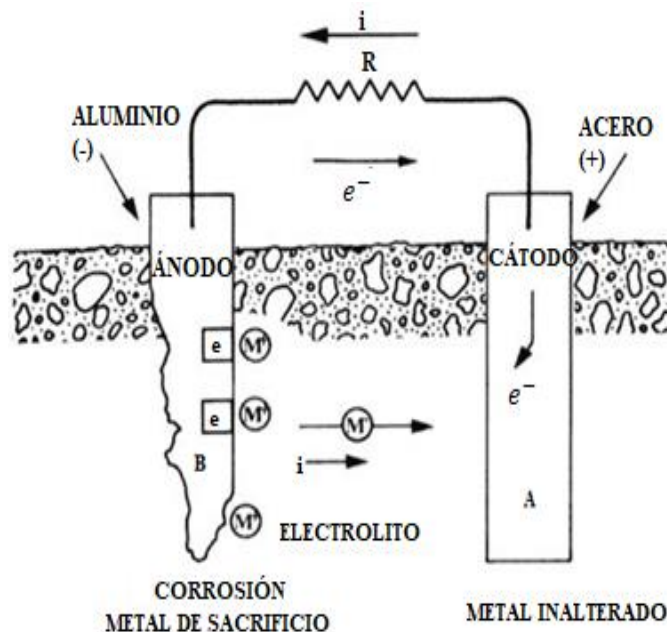


Ilustración 2-1: Protección catódica por ánodo de sacrificio.

Fuente: (Ávila, 2003, pág.50)

2.5.3. Protección con inhibidores

Un inhibidor es cualquier sustancia cuya presencia no es esencial para que suceda un proceso electroquímico, pero que produce un retardo de este, al modificar el estado superficial del material metálico. En definitiva, un inhibidor de la corrosión es una sustancia que añadida al medio en pequeñas concentraciones disminuye la velocidad de corrosión. (Lucas y Sánchez, 2018, pág. 73).

2.6. Material de las probetas

2.6.1. Acero al carbono ASTM A 36

El acero ASTM A36 es un acero estructural comercial, se usa en la industria de hidrocarburos, específicamente en la construcción de tuberías diseñadas para el transporte de crudo y sus derivados ya que posee propiedades de alta calidad (Costales y Gonzaga, 2022, pág. 11)

La densidad del acero se define, pero dentro de parámetro de la velocidad de corrosión se le denota como D en el cual la ecuación es la masa por cada unidad de volumen en kg/ m³ se procede aplicar la fórmula para cada grupo de probetas ya que tiene diferentes masas (Serway y Vuille, 2012, pág. 269).

$$D = \frac{m}{v}$$

Ecuación 2-1: **Densidad del material.**

2.7. Velocidad de corrosión

La velocidad de corrosión se refiere a la tasa a la que un material metálico se deteriora debido a reacciones químicas y electroquímicas en su entorno. Este fenómeno ocurre porque los materiales metálicos, que se obtienen a través del procesamiento de minerales y menas, buscan alcanzar su estado natural, que es un estado energético de menor potencial (Salazar, 2015, pág. 2)

La tasa o velocidad de corrosión se exprese en milímetro por año (mm/año) ya que la unidad de la constante(K) para el estudio, se utiliza en milímetro por año.(Bonilla, 2023, pág. 40)

Para medir la velocidad de corrosión a través del método de pérdida de masa, también llamado prueba de inmersión, se determina mediante la disminución de masa inicial y final de sumergir la muestra en un entorno corrosivo en la cámara de corrosión durante un periodo definido (ASTM, 2012). Aunque es un método sencillo y ampliamente aceptado para investigar la corrosión. La fórmula según los estándares la velocidad de corrosión se le denota como CR, se puede calcular mediante la siguiente ecuación (Malaret, 2022, pág.2).

$$CR = \frac{K \cdot W}{A \cdot T \cdot D}$$

Ecuación 2-2: **Fórmula de la velocidad de corrosión**

Donde:

CR: Velocidad de corrosión

K: Constante (mm/año)

T: Tiempo de exposición en horas

A: Área cm^2

W: Pérdida de masa (ajustada para cualquier pérdida durante la limpieza)

D: Densidad en $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$

Tabla 2-1: Valores de la constante K

Unidades	Constante (K)
Mili pulgadas por año (mpy)	$3,45\text{g} \times 10^6$
Pulgadas por año (ipy)	$3,45 \times 10^3$
Pulgadas por año (ppm)	$2,87 \times 10^2$
Milímetros por año (mm/y)	$8,76 \times 10^4$
Picómetros por segundo (pm/s)	$2,87 \times 10^6$
Gramos por metro cuadrado ($\frac{\text{g}^2}{\text{m}}$)	$1,00 \times 10^4 \times D$
Miligramos por decímetro cuadrado por día (mdd)	$2,40 \times 10^6 \times D$
Microgramos por metro cuadrado por segundo ($\mu \frac{\text{g}^2}{\text{m}} \text{ s}$)	$2,78 \times 10^6 \times D$

Realizado por: Chito R; López A, 2023.

2.8. Cámara de corrosión.

La cámara de corrosión es un equipo que simula condiciones ambientales de temperatura, nivel de pH y humedad con rangos determinados, el objetivo principal de la cámara de corrosión es replicar en un entorno de laboratorio condiciones corrosivas de ambientes reales. Los materiales colocados en la cámara de corrosión son estudiados antes y después de colocación en la cámara (Guamán y Macas, 2023, pág. 30)

2.8.1. Funcionamiento de la cámara de corrosión

Los circuitos eléctricos y electrónicos de la cámara de corrosión permiten variar los valores de temperatura y controlan nivel de pH y humedad para su funcionamiento De la variación y monitoreo de los 3 parámetros se tiene que:

- Con respecto al control de temperatura, la cámara de corrosión cuenta con niquelinas que actúan como elementos calefactores que hacen posible la variación de la temperatura. Las niquelinas que están compuestas principalmente de una proporción de 80% de níquel y 20% de cromo, son conocidas por su capacidad para producir energía en forma de calor cuando se les aplica una corriente
- La humedad de la cámara de corrosión es únicamente controlada por un sensor de humedad en donde se realiza el control de este parámetro de forma manual. Mediante la adición de agua el porcentaje de humedad aumenta y, por lo contrario, la ventilación ayuda a la disminución del porcentaje de humedad.
- Al igual que el porcentaje de humedad, el nivel de pH se trata de un parámetro que es variable y controlable de forma manual. El control del nivel en el suelo de la cámara de corrosión se realiza mediante la adición de sustancias ácidas y básicas.

2.9. Validación de datos

La validación es un paso esencial en el diseño de la cámara de corrosión. Consiste en recopilar pruebas aplicando el método de velocidad de corrosión por pérdida de masa, que demuestren que el equipo funciona según las especificaciones establecidas, afirmando la calidad constante del acero estructural (McCarthy et al., 2022, pág. 1)

Una validación adecuada del método de prueba de corrosión significa la evaluación del impacto de diversas características ambientales y variaciones de rendimiento en la incertidumbre del resultado de la prueba.

La teoría de información que se utilizó es únicamente la validación adecuada de la cámara de corrosión aplicando el método de pérdida de masa, se llevó a cabo una serie de pruebas específicas. Estas pruebas están diseñadas para verificar que la cámara cumpla con una serie de parámetros como diversas condiciones ambientales para el proceso de corrosión, como la temperatura, el nivel de pH y la humedad. Además de estos parámetros, puede haber otros factores relevantes dependiendo del tipo específico de corrosión que se esté estudiando. Por lo tanto, es importante que las pruebas de validación sean confiables y tengan en cuenta todos los factores relevantes para garantizar la fiabilidad de los resultados y la cámara de corrosión cumpla su función requerida. Al realizar pruebas exhaustivas y considerar todos los factores relevantes, se asegura que la cámara de corrosión sea una herramienta confiable para la obtención de resultados precisos. (Ramoskiene et al., 2003, pág. 1).

2.9.1. Método estadístico de evaluación de datos

La evaluación de datos es comparar dos grupos de datos, uno en ambiente corrosivo en Adelca y la otra en ambiente controlado en la ESPOCH. En este contexto se emplea el método, destacando la prueba de t.

2.9.1.1. Prueba de t.

La de t se utiliza en la investigación de la corrosión para contrastar las medias de dos grupos de datos para así determinar las posibles similitudes o diferencias. Esta prueba se aplica comúnmente para la comparación de velocidad de corrosión y otras mediciones relacionadas con la corrosión entre diferentes materiales o condiciones experimentales (Rizvi et al., 2021, págs. 6-10).

2.10. Normas

2.10.1. ASTM G1-03(2017): Práctica estándar para preparar, limpiar y evaluar muestras de prueba de corrosión.

La norma ASTM G1-03 establece procedimiento sugeridos para preparar muestras metálicas en pruebas de corrosión, enfocándose en eliminar productos corrosivos y evaluar el daño resultante. Con especial énfasis en mediciones de pérdida de masa, la norma busca garantizar consistencia y precisión en la evaluación de velocidad corrosión, facilitando la comparación de resultados entre diferentes pruebas (ASTMG1 03, 2017, pág. 1)

2.10.2. Norma NACE No 2/SSPC-SP 10. Estándar de preparación de la superficie de las juntas: limpieza con chorro de metal casi blanco

La norma SSPC-SP10 se refiere a la preparación de superficies mediante limpieza con chorro de metal casi blanco, también conocido como chorro abrasivo de superficies de acero, definiendo criterios específicos para lograr un grado adecuado de limpieza antes de la aplicación de recubrimiento (NACE /SSPC SP10, 2000, pág. 1)

CAPÍTULO III

3. MARCO METOLÓGICO

3.1. Método metodológico

Para conseguir la validación de la cámara de corrosión se realizaron varios procesos, como se muestra en la ilustración 3-1.

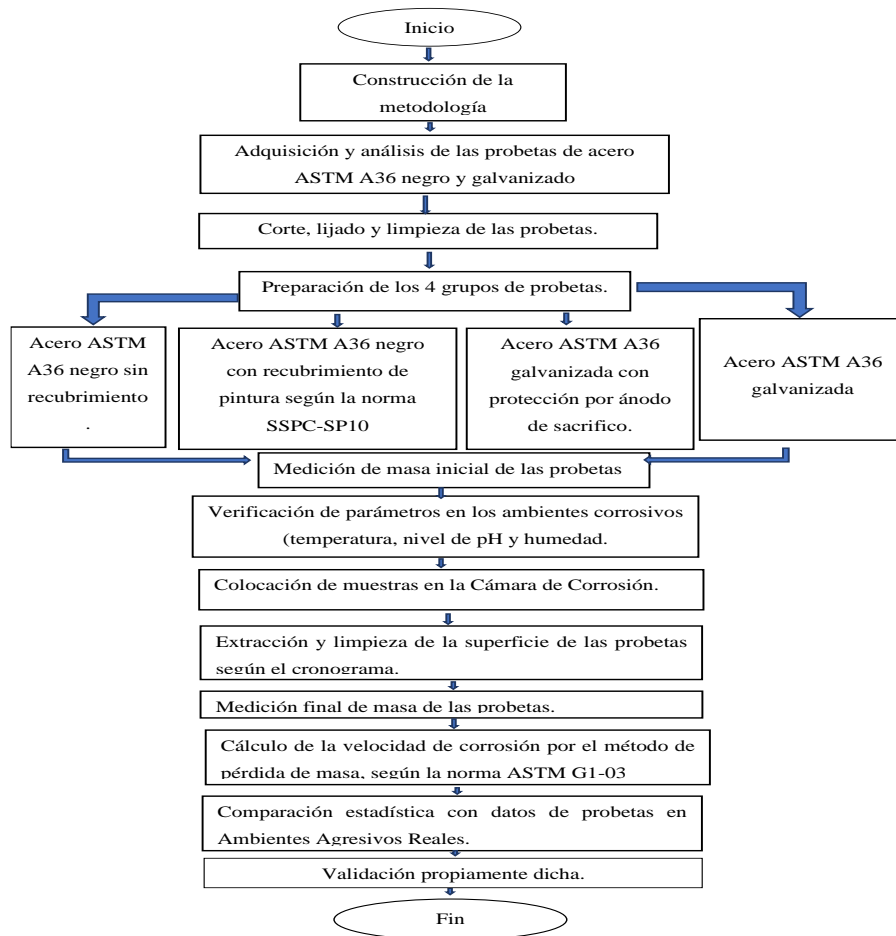


Ilustración 3-1: Diagrama de proceso experimental.

Realizado por: Chito R; López A, 2023.

3.2. Enfoque de investigación.

Según el autor (Ozkan et al., 2023, pág 1), la presente investigación adoptó un enfoque cuantitativo, el cual tiene una capacidad de llevar a cabo una evaluación y predicción más exacta, razón por la cual se utilizó dicha metodología. Considerando las velocidades de corrosión de los diferentes

grupos de probetas y los diversos parámetros ambientales que influye en el proceso corrosivo, este enfoque cuantitativo se selecciona conscientemente para medir y analizar numéricamente la velocidad de corrosión, así como para llevar a cabo comparaciones entre resultados y evaluar la influencia de los factores ambientales en la cámara de corrosión (pág.1).

3.3. Estación experimental

Se llevó a cabo el experimento en el Laboratorio de Ensayos No Destructivo e Integridad Superficial en la ESPOCH.

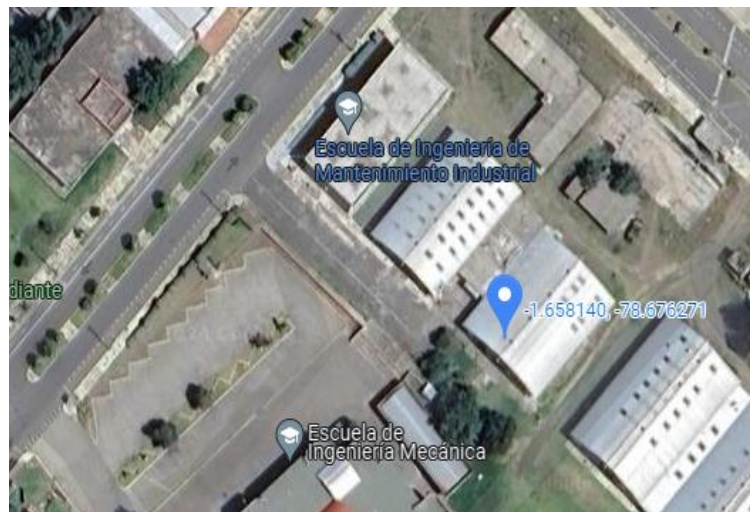


Ilustración 3-2: Estación experimental.

Realizado por: Chito R; López A, 2024.

3.3.1. Preparación de las muestras

El corte de las probetas se observa en la ilustración 3-4, el cual fue realizado en una cortadora hidráulica de metal con el fin de que no alterar las características mecánicas del material. Las probetas presentaron dimensiones de 70mm x 50mm con un espesor de 3mm. Teniendo un total de 64 muestras divididas en 2 grupos de acero: ASTM A 36: negro y galvanizado.

3.3.2. Preparación de las probetas de acero ASTM A36

En la ilustración 3-5, se observa las 12 probetas de acero, las cuales se subdividieron en dos grupos de 32 probetas cada uno.

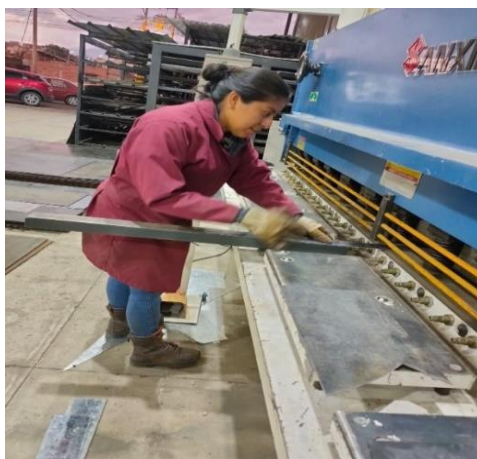


Ilustración 3-3: Cortado de probetas de acero ASTM A36.

Realizado por: Chito R; López A, 2024.



Ilustración 3-4: Probetas de acero A36.

Realizado por: Chito R; López A, 2024.

3.3.2.1. Grupo 1: Acero ASTM A 36 sin recubrimientos

El grupo 1 se refiere a un subgrupo de probetas de acero ASTM A36 que no han sido sometidas a ningún tipo de tratamiento superficial, es decir, estas probetas se mantuvieron en su estado original sin la aplicación de ningún recubrimiento o proceso de tratamiento adicional.

3.3.2.2. Grupo 2: Acero ASTM A 36 con recubrimiento

Previa a la aplicación del recubrimiento polimérico SIGMAFAST 278, las probetas del grupo 2 fueron sometidas a un proceso de granallado. El principal propósito de este proceso fue generar la rugosidad adecuada en la superficie de las probetas.



Ilustración 3-5: Limpieza superficial.

Realizado por: Chito R; López A, 2024.

Se procuró que las probetas presenten esta rugosidad de 1,6 y 2,8 mils para aplicar la pintura en las probetas de acero negro. El granallado es el proceso que permite limpiar el óxido del acero para lo posterior de pintura basado en norma SSPC-SP10 (Guallo y Guamán, 2023, pág. 39).

En el proceso de granallado se llevó a cabo la aplicación del recubrimiento en la primera capa es una imprimación de silicato de zinc epoxi (SIGMAFAST 278). Y la segunda capa aplicada fue un poliuretano alifático acrílico (SIGMADUR 550h), como se muestra en la ilustración 3-6.

Se reportaron las condiciones ambientales que fueron generada en probetas en la ciudad de Milagro para el proceso, fueron replicadas en la cámara de corrosión y la abreviatura S significa soleado, como se observa en la tabla 3-1 (Guallo y Guamán, 2023, pág. 40).

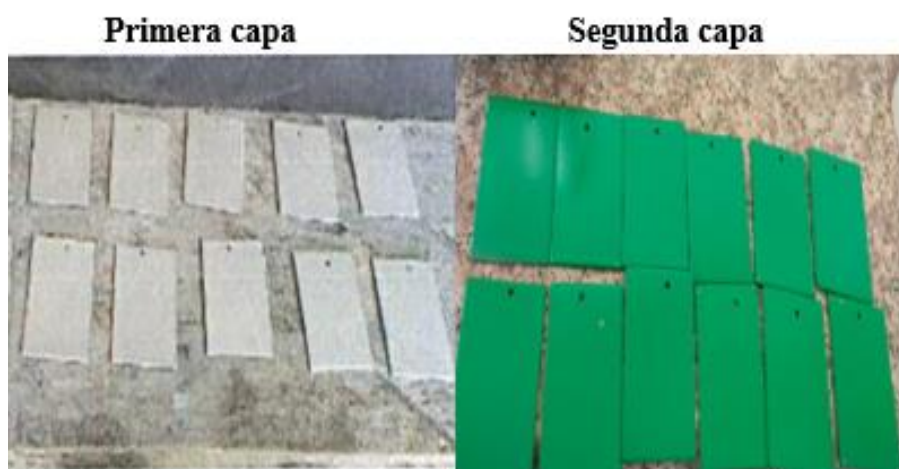


Ilustración 3-6: Proceso de recubrimientos por capas.

Realizado por: Chito R; López A, 2024.

Tabla 3-1: Condiciones ambientales.

Condiciones ambientales					
Capas	Temperatura. Ambiente(°C)	Humedad relativa (%)	Temperatura del metal(°C)	Punto de rocío. (°C)	Condición climática
1 ^{ra} Capa	20	66	18	13	S
2 ^{da} Capa	23	48	20	9	S

Realizado por: Chito R; López A, 2024.

3.3.3. Preparación de las probetas de acero galvanizado

Las 12 probetas de acero galvanizadas fueron divididas en dos grupos de 6 probetas cada uno. el primer grupo (grupo A) no fue tratado con ningún otro sistema de protección, en tanto que el otro grupo (grupo B) fue tratado con protección por ánodos de sacrificio.



Ilustración 3-7: Probetas ASTM A 36 galvanizadas.

Realizado por: Chito R; López A, 2024.

3.3.3.1. Grupo A: Acero galvanizado

El Grupo A, no se realizó ningún recubrimiento adicional, ni se le aplicó ningún tipo de mecanismo de protección contra la corrosión más que su propio galvanizado con lo que fueron producidas de fábrica.

3.3.3.2. Grupo B: Acero galvanizado con protección por ánodo de sacrificio

El grupo B, se realizó con protección catódica por ánodo de sacrificio, teniendo el aluminio como material a sacrificar (ánodo) y el acero ASTM A 36 galvanizado fue destinado a ser protegido contra la corrosión.

3.3.4. Medición de la masa de las probetas

Para la medición de la masa inicial se utilizó una balanza analítica de precisión, se procedió al inicio a encerrar, luego se abrió la compuerta y se colocaron las probetas de forma individual. La balanza permitió tener medidas de masa con tres dígitos decimales, ya que permitió mejorar la precisión en los pesos, para sus respectivos análisis de velocidad de corrosión. Cabe destacar que se llevaron a cabo las mediciones finales de pesos de las probetas con la misma metodología.

3.3.4.1. Medidas de las masas iniciales de los cuatros grupos de probetas.

En la tabla 3-2, se observó las masas iniciales en gramos de los dos grupos de acero ASTM A6: negro y galvanizado con su respectiva protección contra la corrosión.

Tabla 3-2: Masas iniciales de los 4 grupos de probetas.

No	Espesor(mm)	Acero ASTM A36 negro		Acero ASTM A36 galvanizado	
		Sin recubrimiento	Con recubrimiento	Galvanizado	Con protección catódica
		Masa inicial(g)			
1	2,8	54,704	58,325	79,101	78,767
2	2,8	54,701	58,070	79,049	78,661
3	2,8	54,644	57,786	79,115	78,684
4	2,8	54,672	56,973	79,112	78,720
5	2,8	54,699	57,730	79,118	78,722
6	2,8	54,683	57,085	79,039	78,759
7	2,8	54,676	57,577	79,030	78,682
8	2,8	54,675	58,128	79,663	78,683
9	2,8	54,652	58,225	79,027	78,610
10	2,8	54,677	58,063	79,002	78,748
11	2,8	54,66	57,898	79,010	78,700
12	2,8	54,689	57,883	79,017	78,745
13	2,8	54,627	57,911	79,090	78,624
14	2,8	54,697	57,928	79,114	78,693
15	2,8	54,669	57,800	79,031	78,504
16	2,8	54,651	57,896	78,961	78,239

Realizado por: Chito R; López A, 2024.

3.3.5. Delimitación de los parámetros de funcionamiento de la cámara de corrosión

La cámara de corrosión permite la variación de 3 parámetros de investigación como se observó en la tabla 3-3, con el fin de simular las condiciones ambientales reales de un escenario en

específico (temperatura, humedad y nivel de pH), en el presente caso, las condiciones de la ciudad de Milagro.

Tabla 3-3: Parámetros de condiciones ambientales

Parámetro	Valor
Temperatura	29,2 °C
Humedad	64,7%
Nivel de pH	7,8

Realizado por: Chito R; López A, 2024.

3.3.6. Colocación de probetas en la cámara de corrosión

Para la colocación de las probetas en la cámara de corrosión se realizaron los pasos detallados a continuación:

- Se extrajo de la bandeja destinada a contener las probetas.
- Se procedió a remover un aproximado del 70 % de la tierra del contenedor dejando un aproximado de 5 cm de tierra para tener la facilidad de ubicar las probetas necesarias.
- Se ubico las 64 probetas a estudiar de tal manera que tengan una separación suficiente una de las otras y no entren en contacto en ningún momento. Teniendo de esta manera una separación vertical de 10 cm una de la otra y una separación horizontal de 9 cm. Tal como muestra la ilustración 3-10.

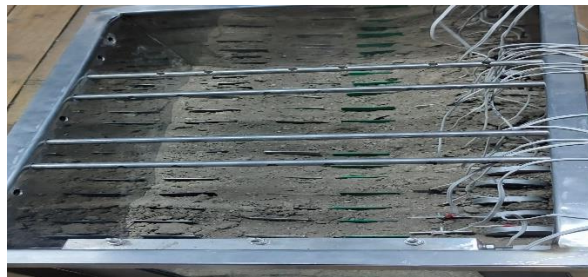


Ilustración 3-8: Ubicación de las 64 probetas.

Realizado por: Chito R; López A, 2023.

- Se procedió a conectar un grupo de probetas de acero galvanizado a un mecanismo de protección catódica por ánodo de sacrificio tomando en cuenta que debe formar un circuito cerrado con los dos metales y la fuente de corriente continua.
- Continuando con el proceso se colocó nuevamente la tierra removida y se colocó la bandeja contenedora de probetas en la cámara de corrosión.

- Se arranco el funcionamiento a la cámara de corrosión con los parámetros de temperatura, nivel de pH y humedad antes descritos.

3.3.7. Extracción y limpieza de las probetas

La remoción de las probetas se realizó en un intervalo de 15 días de la cámara de corrosión se procedió a plantear un grupo de pasos a seguir:

- Se procedió a abrir la compuerta de la cámara de corrosión
- Se realizó la extracción de la bandeja verificando que las probetas con protección catódica por ánodo de sacrificio no sean desconectadas de la fuente de corriente por accidente.
- Se extrajo únicamente un grupo de probetas de 4, una muestra de cada tipo de probetas que fueron previamente enterradas.
- Finalmente, se procedió a realizar la limpieza de las muestras extraídas únicamente con una brocha y a colocar la bandeja en la cámara de corrosión para que continúe el experimento.

3.3.8. Medición final de la masa de las probetas

Al igual que la medición de la masa inicial de las probetas, se procedió a realizar la medición de la masa final de las probetas extraídas procurando que estas no contengan restos de tierra para que las mediciones sean lo más fiables posibles.

3.3.9. Protección electroquímica catódica

La protección electroquímica catódica mediante el uso de un ánodo de sacrificio permitió la reducción de la corrosión en las probetas de acero ASTM A 36 a través de la modificación de su potencial.

3.3.9.1. Ánodo de sacrificio

En el proceso para el estudio, se utilizó el aluminio de grado serie 3xxx como ánodo de sacrificio, mientras que el acero galvanizado actuó como cátodo. Esta configuración garantiza que sea el aluminio el que se corroe en lugar de las probetas. Se realizó una relación de áreas de las probetas y ánodo de sacrificio de la cámara de corrosión de la ESPOCH, en comparación de la estación

Milagro, para obtener las dimensiones del ánodo de sacrificio ya que las probetas del Laboratorio de Ensayos No Destructivo e Integridad Superficial es de diferentes dimensiones.

3.3.9.2. Masa inicial de ánodo de sacrificio.

En la tabla 3-4, se observó los datos del aluminio, incluyendo la codificación, el tipo de aluminio, el espesor y la masa inicial de los 16 ánodos destinados a las 16 probetas de acero ASTM A36 galvanizado.

Tabla 3-4: Datos de masa inicial de ánodo de sacrificio.

Ánodo de sacrificio (aluminio)				
N°	Codificación	Tipo de aluminio	Espesor(mm)	Masa inicial (g)
1	AL-01	C	1	102,151
2	AL-02	C	1	100,712
3	AL-03	C	1	97,351
4	AL-04	C	1	98,491
5	AL-05	C	1	100,921
6	AL-06	C	1	96,681
7	AL-07	C	1	100
8	AL-08	C	1	99,142
9	AL-09	C	1	96,722
10	AL-10	C	1	100,552
11	AL-11	C	1	98,445
12	AL-12	C	1	99,822
13	AL-13	C	1	104,062
14	AL-14	C	1	101,58
15	AL-15	C	1	100,033
16	AL-16	C	1	104,245

Realizado por: Chito R; López A, 2024.

3.3.10. Estudio estadístico

Para el estudio estadístico se utilizó la prueba t de Student, con el objetivo de comparar estadísticamente los dos grupos de datos de la velocidad de corrosión una de la estación de milagros-Adelca y otra con los datos de Laboratorio de Ensayos No Destructivos e Integridad Superficial ESPOCH.

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo, se expone los resultados obtenidos de la velocidad de corrosión en las probetas expuesta a ambientes corrosivos controlados dentro de la cámara de corrosión del Laboratorio de Ensayos No Destructivo e Integridad Superficial de la ESPOCH. Se lleva a cabo una comparación detallada entre estos resultados y los obtenidos en ADELCA Milagro. Este análisis tuvo como objetivo validar la operación del equipo en un entorno corrosivo y controlado, esencial para su utilidad en la industria. La evaluación de estos datos es importante, para confirmar el correcto funcionamiento del equipo.

4.1. Evaluación de la velocidad de corrosión de Acero ASTM A 36.

Los datos recopilados se emplearon para calcular la velocidad de corrosión, analizando los 4 métodos de protección anticorrosivo. Los cálculos, codificados conforme a la Tabla. 4-1, resultaron fundamentales en la validación de la operación de la cámara de corrosión, aplicando el método de pérdida de masa.

Tabla 4-1: Designación de los 4 grupos de probetas.

No	Designación	Grupos de probetas	No Probetas
1	PA-N-S	Acero ASTM A 36 negro sin recubrimiento	6
2	PA-N-C	Acero ASTM A 36 negro con recubrimiento superficial	6
3	PA-G-S	Acero ASTM A 36 galvanizado con recubrimiento de zinc	6
4	PA-G-A	Acero ASTM A 36 galvanizado con protección catódica por ánodo de sacrificio	6

Realizado por: Chito R; López A, 2024.

4.2. Cálculo de la velocidad de corrosión

El cálculo de la velocidad de corrosión se utilizó la ecuación 2-1. Se sustituyó valores obtenidos, en el cual se utilizó la constante(K), se obtuvo de la Tabla 2-2. La pérdida de masa(W) de la ficha. El área de la probeta como se mostró en la tabla 4-1, se tomó en cuenta el tiempo de exposición de las probetas(T) y por último la densidad del acero(D) de la Tabla 2-1.

$$CR = \frac{7850.0,000g}{76,72cm^2 * 360h * 7,85 \frac{g}{cm^3}}$$

$$CR = 0,0000$$

4.3. Área de la probeta

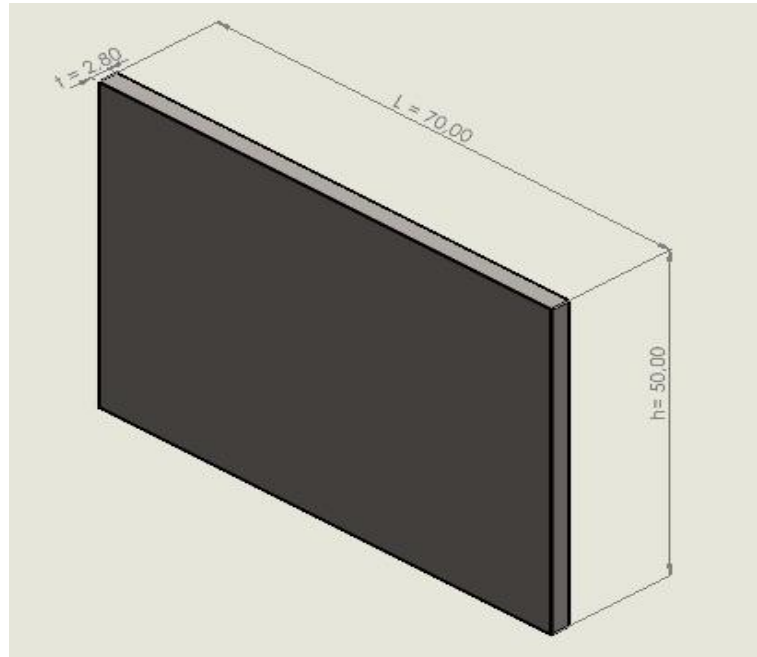


Ilustración 4-1: Dimensiones de la probeta.

Realizado por: Chito R; López A, 2024.

$$A_p = 2(h*t) + 2(t*L) + 2(L*h)$$

Ecuación 4-1: **Área del perímetro.**

Donde:

A_p : Área de la probeta (cm)²

h: altura(cm)

t: espesor(cm)

L: longitud)

$$A_p = 2(5cm * 0,28cm) + 2(0,28cm * 7cm) + 2(5cm * 7cm)$$

$$A_p = 76,72cm^2$$

4.4. Cálculo de la densidad de las probetas

El cálculo de densidad de los cuatro grupos de probetas se reemplazó en la ecuación 2-1, la masa(m) se obtuvo el promedio de masa inicial, masa final y el volumen(v), con las dimensiones de las probetas aplicando la ecuación 4-2.

$$v=h*t*L$$

Ecuación 4-2: **Volumen**

$$v=5\text{cm}*0,28\text{cm}*7\text{cm}$$

$$v=9,8\text{cm}^3$$

4.4.1. Cálculo de la densidad del acero ASTM A 36 negro sin recubrimiento.

$$D=\frac{54,676\text{g}}{9,8\text{cm}^3}$$

$$D=5,579\text{g/cm}^3$$

En la tabla 4-2: se observó la densidad de los 4 grupos de probetas como: acero ASTM A36 negro sin recubrimiento, acero ASTM A36 negro con recubrimiento superficial, acero ASTM A36 galvanizado con protección catódica y acero ASTM A36 galvanizada con recubrimiento de zinc, para obtener la masa como son diferentes materiales y protección anticorrosivo-varia, se procedió a realizar el promedio de la masa inicial y el volumen es lo mismo para los 4 grupos de probetas ya que tienen las mismas dimensiones.

Tabla 4-2: Densidad de los 4 grupos de probetas.

Densidad de los 4 grupos de probeta		
Designación	Media de la masa(g)	Densidad (g/cm ³)
PA-N-S	54,684	5,580
PA-N-C	57,662	5,884
PA-G-S	79,089	8,070
PA-G-A	78,719	8,033

Realizado por: Chito R; López A, 2024.

4.5. Levantamiento de datos del acero ASTM A36 galvanizadas y negro.

En la tabla 4-3: se obtuvo el resultado de la pérdida de masa(w) y la velocidad de corrosión (CR) de los cuatro métodos de protección anticorrosivas, en diferentes materiales como acero ASTM A36 negro y galvanizado.

Tabla 4-3: Ficha de recolección de datos de la velocidad de los cuatro grupos de probetas.

RESULTADOS								
N _o	Acero ASTM A36 negro				Acero ASTM A36 galvanizado			
	Sin recubrimiento		Con recubrimiento		Galvanizado		Con protección catódica	
	W(g)	CR (mm/año)	W(g)	CR (mm/año)	W(g)	CR (mm/año)	W(g)	CR (mm/año)
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0,004	0,010192279	0,005	0,000387865	0,004	0,000311915
4	0,003	0,000252552	0,005	0,009555262	0,006	0,000349078	0,003	0,000175452
5	0,002	0,000134694	0,006	0,009173051	0,004	0,000209447	0,002	0,000093575
6	0,003	0,000189414	0,004	0,005733157	0,004	0,000174539	0,002	0,000087726
7	0,002	0,000123339	0,005	0,006666462	0,003	0,000109594	0,002	0,000081606
8	0,003	0,000168368	0,002	0,00254807	0,002	0,000077573	0,001	0,000038989
9	0,005	0,000265844	0,002	0,002413961	0,003	0,000121259	0,002	0,000073875
10	0,006	0,000303062	0,001	0,001146631	0,001	0,000034908	0,001	0,000035090
11	0,005	0,000219610	0,001	0,000997071	0,001	0,000030355	0,001	0,000030513

Realizado por: Chito R; López A, 2024.

4.6. Comportamiento de las condiciones ambientales en la cámara de corrosión

Las condiciones ambientales simuladas jugaron un papel importante en la cámara de corrosión ya que las condiciones se controlaron y monitoreo, en el cual permitieron estudiar el comportamiento de la velocidad de corrosión.

Los datos de temperatura, humedad y nivel de pH fueron factores críticos en el siguiente análisis. Estos parámetros se simularon en la cámara de corrosión, asegurando la confiabilidad de los resultados. Durante el período de estudio, estos parámetros se mantuvieron constantes, proporcionando un entorno estable para el análisis de la corrosión. Sin embargo, hubo una excepción notable: el nivel de humedad del suelo. Este factor mostró variaciones a lo largo del tiempo, lo que podría tener un impacto significativo en los resultados.

4.6.1. Comportamiento de la temperatura

En lo que respecta a la temperatura, la cámara de corrosión se encontró equipada con niquelinas, estos elementos a través de sistemas de control PID, mantienen la temperatura lo menos invariable posible, este valor corresponde a la temperatura promedio 28,73, se observa en la ilustración 4-2.

Los resultados muestran fluctuaciones en la temperatura dentro de la cámara de corrosión, con rangos oscilando entre 27°C y 31°C durante el periodo de exposición. Estas variaciones sugieren posibles desafíos en el control ambiental del sistema. Aunque se estableció como objetivo mantener una temperatura constante de 29,2°C, la falta de consistencia podría atribuirse a diversos factores, como la sensibilidad del sensor de temperatura.

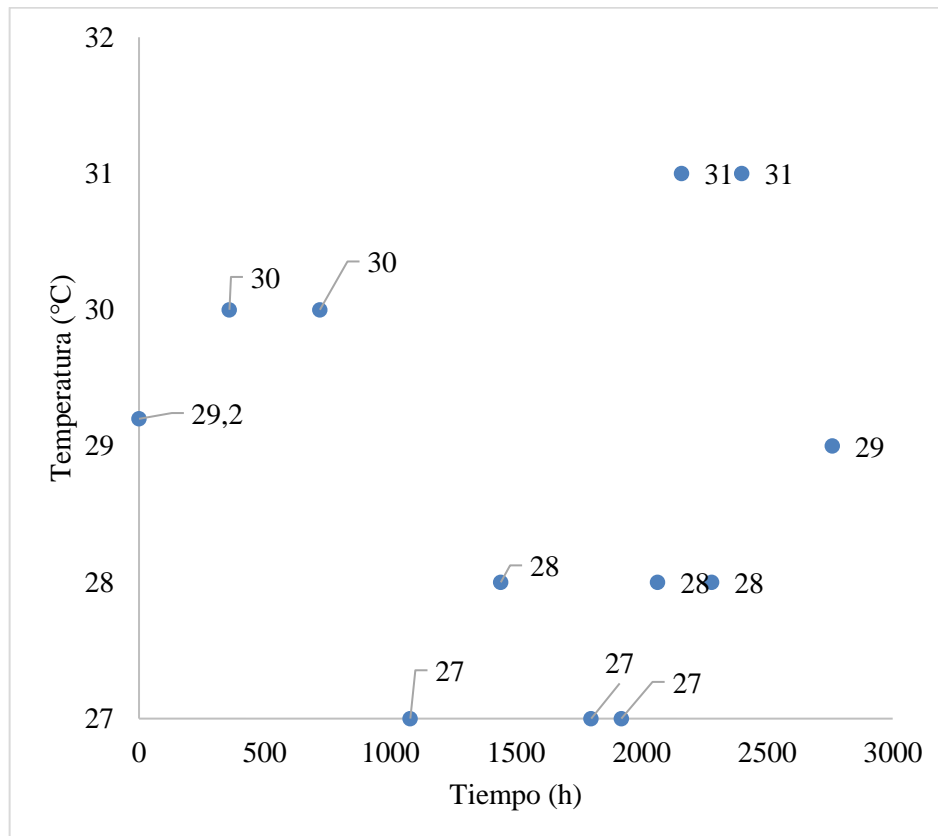


Ilustración 4-2: Comportamiento de la temperatura.

Realizado por: Chito R; López A, 2024.

4.6.2. Comportamiento del nivel de pH

Se observó un nivel de pH constante con un valor de alrededor de 7.38. Este valor representa un suelo de tipo alcalinidad, que es característico de la ciudad de Milagro. Al mantener un pH constante, se pudo simular de manera más precisa las condiciones del suelo en Milagro y se observó cómo estas condiciones afectan la velocidad de corrosión (CR). Pero como se obtuvo un pH mayor a 7, indicó que puede acelerar el proceso de corrosión, pero al mantener un pH constante, se pudo enfocarse en otros factores como: la temperatura y humedad afectan a los resultados de la velocidad de corrosión.

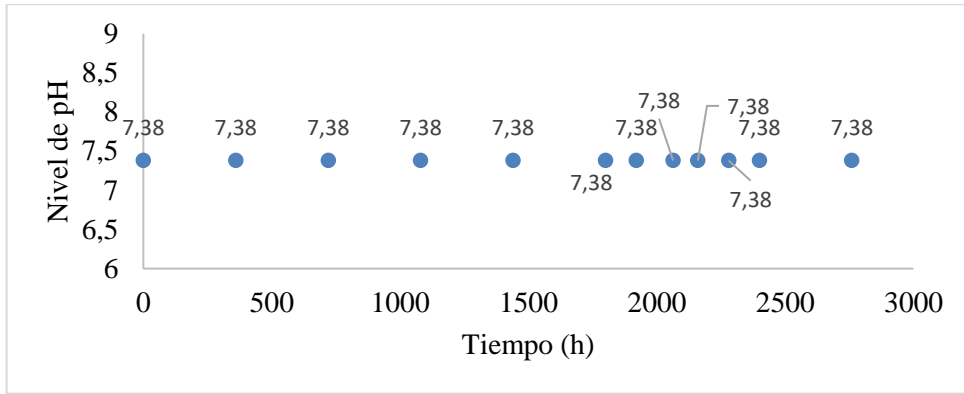


Ilustración 4-3: Comportamiento del nivel de pH.

Realizado por: Chito R; López A, 2024.

4.6.3. Comportamiento de la humedad

La cámara de corrosión está equipada con un mecanismo de calefacción que permite controlar la temperatura dentro de la cámara. Sin embargo, este control de temperatura tiene un efecto secundario que causa que la humedad dentro de la cámara tenga un comportamiento variable. A medida que la temperatura aumenta, la capacidad del suelo para retener agua también disminuye, lo que aumenta la humedad relativa dentro de la cámara. Por otro lado, si la temperatura disminuye, la humedad relativa disminuye. Este comportamiento variable de la humedad tiene un impacto significativo en la velocidad de corrosión, ya que la humedad es uno de los factores que acelera este proceso.

Durante el análisis de los datos de corrosión, se notó que la humedad relativa disminuía gradualmente a medida que pasaba el tiempo, lo que implicaba que el agua se estaba evaporando de la cámara. Estos resultados estaban en línea con los principios de la fisicoquímica de interfaces, que señalan la importancia de la humedad en la corrosión. (Ayón et al., 2005, pág. 3)

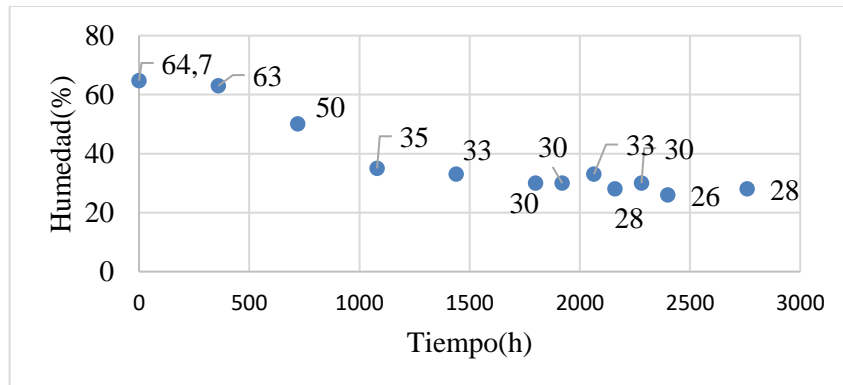


Ilustración 4-4: Comportamiento de la humedad relativa.

Realizado por: Chito R; López A, 2024.

4.7. Comportamiento de masas de los cuatro grupos de probetas

4.7.1. Acero ASTM A36 negro sin recubrimiento.

4.7.1.1. Velocidad de corrosión.

En la ilustración 4-5, se observa los resultados de la velocidad de corrosión (CR) del material aumentó gradualmente con el tiempo de exposición. Los primeros 3 valores muestran una CR de 0 mm/año, lo que indica que no hay corrosión al inicio del experimento. Sin embargo, a medida que el tiempo de exposición aumentó, se observó un incremento progresivo en la velocidad de corrosión, con valores que variaron desde 0mm/año hasta 0,000265844 mm/año. El promedio de velocidad de corrosión de 0,000150626 mm/año reveló el ritmo medio al que el material perdía masa debido a la corrosión durante el período de exposición. Este aumento en la velocidad de corrosión coincidió con la teoría establecida en varios estudios científicos, los cuales indicaban que el acero sin recubrimiento era más propenso a la corrosión, especialmente en ambientes agresivos. (Utami et al., 2023, pág.1)

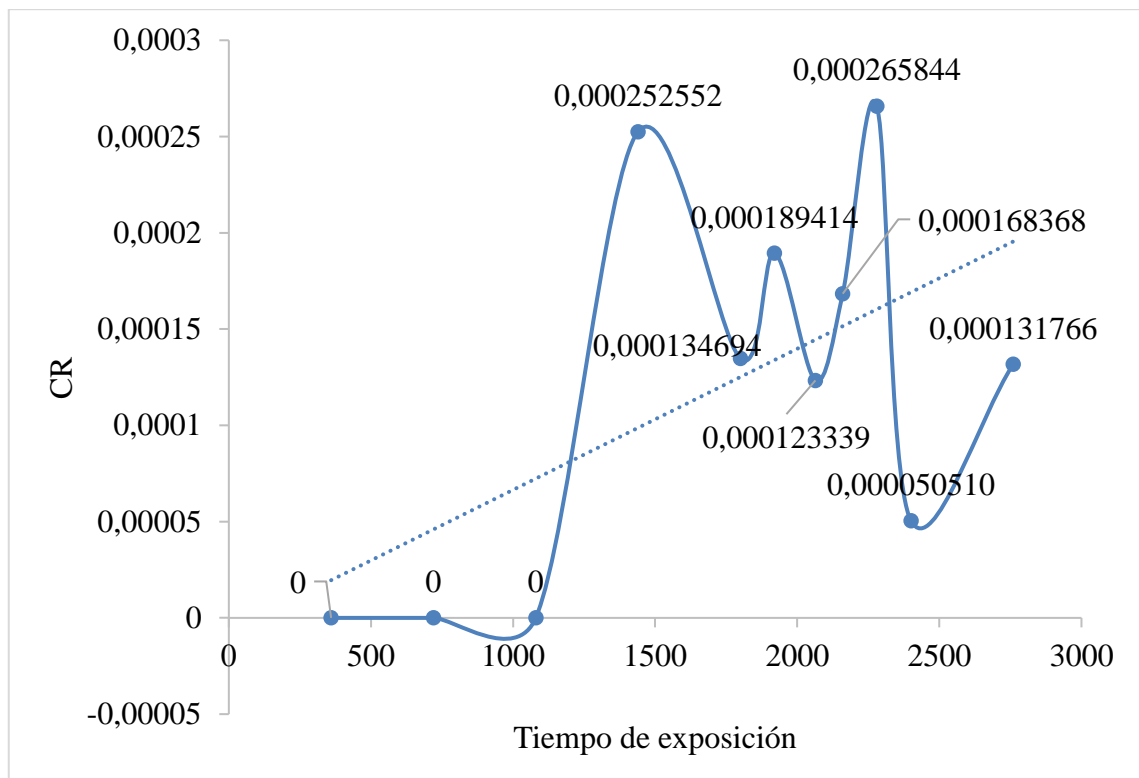


Ilustración 4-5: Análisis de la velocidad de corrosión.

Realizado por: Chito R; López A, 2024.

4.7.2. Acero ASTM A36 negro con recubrimiento superficial

4.7.2.1. Velocidad de corrosión.

En la ilustración 4-7, se aprecia que, al inicio del experimento, representado por las probetas 1 y 2, la velocidad de corrosión es nula, indicando una protección efectiva del recubrimiento superficial. Sin embargo, a medida que transcurre el tiempo, la velocidad promedio de corrosión alcanza aproximadamente 0.004402359 mm/año. Oscila entre 0 mm/año hasta 0,010192279 mm/año. A pesar de este ligero aumento, la mayoría de las muestras mantienen una velocidad de corrosión baja, lo que sugiere una continua y efectiva protección proporcionada por el recubrimiento. Esta tendencia, que muestra una disminución en la velocidad de corrosión con el tiempo, refuerza aún más la eficacia del recubrimiento en la protección contra la corrosión.

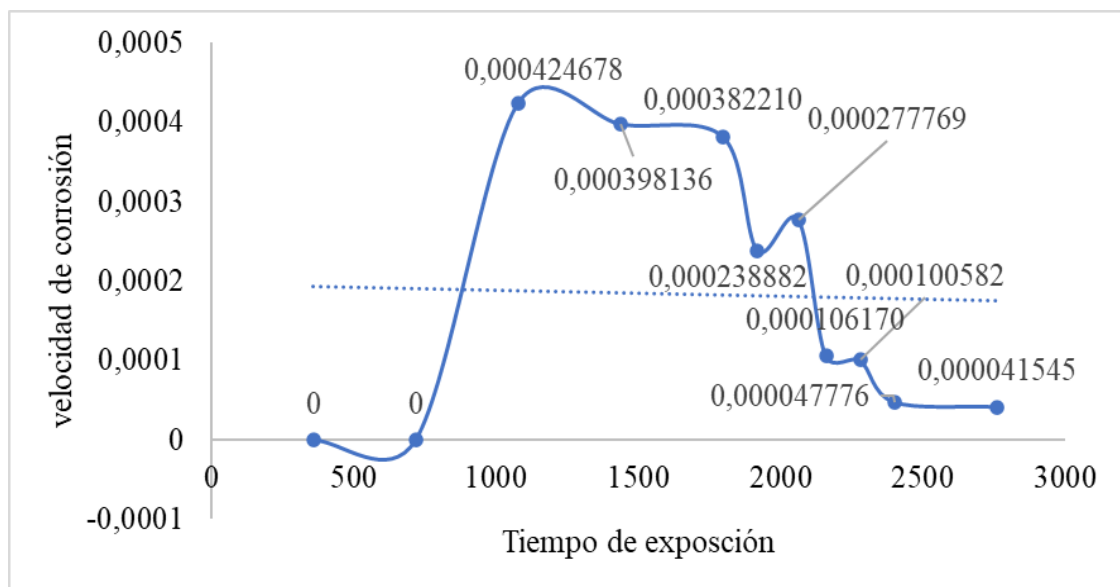


Ilustración 4-6: Velocidad de corrosión del acero con recubrimiento.

Realizado por: Chito R; López A, 2024.

4.7.3. Acero ASTM A36 galvanizada con protección catódica.

4.7.3.1. Velocidad de corrosión.

En la ilustración 4-9, se observó una clara tendencia de disminución en la velocidad de corrosión a lo largo del tiempo de exposición, lo que sugiere una disminución continua en la velocidad de corrosión. Esta tendencia decreciente indica que la velocidad de corrosión es baja, lo que es coherente con el promedio calculado de aproximadamente 0,000101617 mm/año. Estos resultados respaldan la efectividad de la protección catódica, ya que este método tiende a reducir

la velocidad de corrosión, como lo sugieren estudios similares sobre protección catódica.(Méndez, 2016, pág. 36)

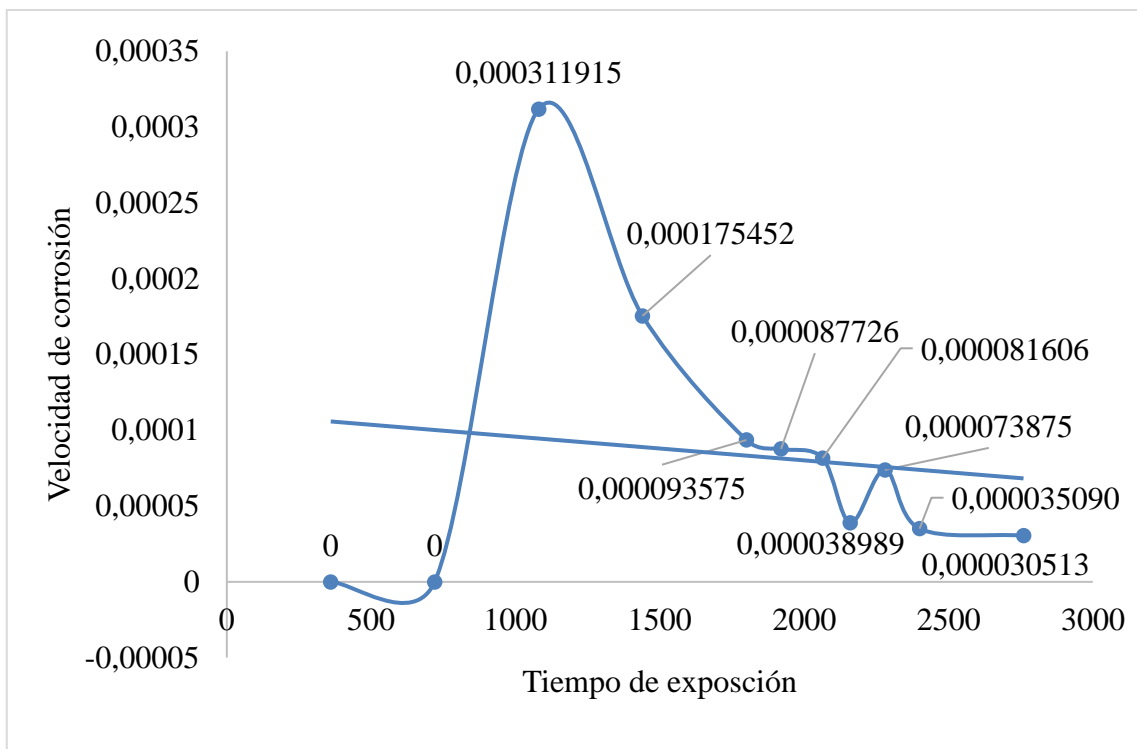


Ilustración 4-7: Velocidad de corrosión del acero galvanizado con protección catódica.

Realizado por: Chito R; López A, 2024.

4.7.4. Acero ASTM A36 galvanizada.

4.7.4.1. Velocidad de corrosión.

En la ilustración 4-11, se muestra que la velocidad de corrosión durante el tiempo de exposición aplicando el método de protección galvánica, muestra un rendimiento notable en la prevención de la corrosión ya que su velocidad de corrosión es decreciente durante el tiempo de exposición nos ayuda a extender la vida útil de cualquier estructura con recubrimiento galvanizado según un estudio similar de pilotes con recubrimiento galvanizado nos dice que ayuda a proteger anticorrosión ya que tiene una capa protectora de óxido de zinc que va actuar como sacrificio para proteger al material y cuando se corroe forma una película pasiva el óxido d zinc se queda adherido en la superficie metálica es por ello que la corrosión en acero galvanizado primero empieza con velocidades altas y durante el tiempo empieza a decrecer hasta alcanzar una velocidad baja de corrosión (Mousavi et al., 2024, pág. 31).

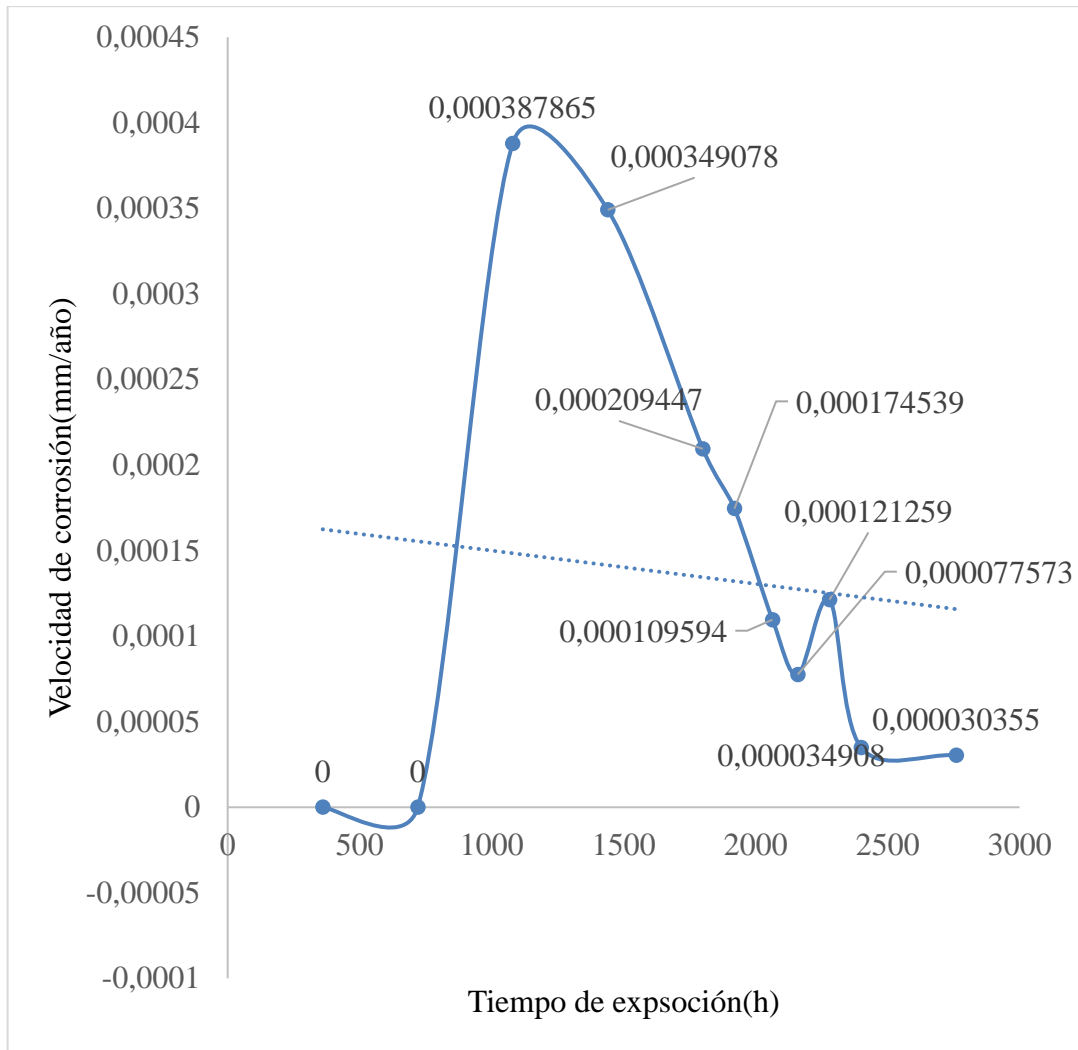


Ilustración 4-8: Velocidad de corrosión de acero galvanizado (CR).

Realizado por: Chito R; López A, 2024.

4.8. Análisis estadístico de los datos

La comparativa de los datos de velocidad de corrosión obtenidos en la cámara de corrosión con los datos obtenidos en Adelca se realizó en Python. tanto la prueba de normalidad, la prueba *t de Student* y análisis estadístico de tendencia central, los códigos utilizados se muestran en los Anexos A, B, C, D, E, y F

4.8.1. Análisis estadístico de tendencia central

La Tabla 4-11 muestra una comparativa de las medidas estadísticas de tendencia central correspondientes a la velocidad de corrosión de dos grupos de muestras. Estas fueron recolectadas en la estación de investigación situada en Milagro y en la cámara de corrosión del laboratorio de Ensayos no Destructivos e Integridad Superficial, localizado en Riobamba.

Tabla 4-4: Datos estadísticos de tendencia central.

Estadístico	Tipo de mecanismo de protección contra la corrosión (Adelca)				Tipo de mecanismo de protección contra la corrosión (Riobamba)			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Conteo (#datos)	11	11	11	11	11	11	11	11
Media	0.003065	0.000066	0.00000	0.000	0.000139	0.000270	0.000237	0.000360
Desviación estándar	0.001862	0.000016	0.00000	0.000	0.000183	0.000369	0.000318	0.000312
Mínimo	0.001436	0.000000	0.00000	0.000	0.0000	0.000	0.0000	0.000
Máximo	0.005983	0.000399	0.00000	0.000	0.000449	0.000970	0.000798	0.000741
Primer cuartil	0.001845	0.00000	0.00000	0.000	0.0000	0.000015	0.000	0.000082
Segundo cuartil	0.002194	0.0000	0.00000	0.000	0.000067	0.000169	0.000120	0.000398
Tercer cuartil	0.004188	0.00000	0.00000	0.000	0.000223	0.000303	0.000347	0.000585

Realizado por: Chito R; López A, 2024.

Nota: Con respecto a la numeración se tiene: 1: probetas de acero ASTM A36 con sin recubrimiento, 2: probetas de acero ASTM A36 galvanizadas, 3: probetas de acero ASTM A36 con recubrimiento con inhibidores (pintura anticorrosiva) y 4: probetas de acero ASTM A36 con protección catódica por ánodo de sacrificio.

4.8.2. Prueba de normalidad

Para evaluar la distribución de los datos, se realizó una prueba de normalidad. Esta prueba fue crucial para determinar si los datos siguen una distribución normal, lo cual es un supuesto clave para muchas pruebas estadísticas. Se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk. Los resultados de la prueba de Shapiro-Wilk para cada grupo de probetas se encuentra detallado en la tabla 4-7. Un p-valor mayor a 0.05 sugiere que los tienen una distribución normal.

Tabla 4-5: p-valor de las probetas de Adelca y Riobamba.

Muestra	P-valor-Adelca	P valor-Riobamba
Acero ASTM A36 sin recubrimiento	0.111788	0.0651
Acero ASTM A36 galvanizadas	0.000021	0.5363
Acero ASTM A36 recubiertas	1.0000	0.4167
Acero ASTM A36 con protección catódica.	1.0000	0.28391

Realizado por: Chito R; López A, 2024.

4.8.3. Prueba t de Student

Una vez que se confirmó la normalidad de los datos recopilados, se decidió proceder con la aplicación de la prueba t de Student. El objetivo de esta prueba es comparar la velocidad de corrosión de las muestras de Adelca que se colocaron en la ciudad de Milagro con las muestras que se colocaron en la cámara de corrosión en la ciudad de Riobamba.

Este análisis permitió determinar si existen diferencias significativas en la velocidad de corrosión entre las muestras de los dos entornos tal como muestran las tablas 4-13, 4-14, 4-15 y 4-16. Los resultados de esta prueba tienen implicaciones importantes para la comprensión de cómo el entorno afecta la velocidad de corrosión de las muestras estudiadas. Con estos hallazgos, esperamos poder proporcionar recomendaciones para mejorar la resistencia a la corrosión de los materiales en diferentes entornos y evidenciar si existen diferencias significativas del comportamiento de la velocidad de corrosión en ambientes controladas y ambientes corrosivos reales.

4.8.3.1. Comparación de muestras de acero ASTM A36 sin recubrimiento superficial de Adelca y Riobamba

En la tabla 4-13, se observa el resultado de las probetas de acero sin recubrimiento superficial de Adelca y Riobamba, que en este caso las probetas de Adelca y Riobamba se obtuvieron diferentes velocidades de corrosión (CR), lo que significa que no está cumpliendo las condiciones ambientales de la cámara de corrosión para probetas de ese tipo de método anticorrosivo.

Tabla 4-6: Resultado t de Student Acero ASTM A 36 sin recubrimiento Adeca vs Riobamba.

Comparación	Hipótesis	p-valor
Probetas de acero ASTM A36 sin recubrimiento superficial de Adelca vs Probetas de acero ASTM A36 sin recubrimiento superficial de Riobamba	H0 = La velocidad de corrosión de las probetas en ADELCA es igual a las probetas en la cámara de corrosión.	Adelca=0.111788
	H1= La velocidad de corrosión de las probetas en ADELCA es diferente a las probetas en la cámara de corrosión.	Riobamba= 0.100253
Resultado de la prueba <i>t de Student</i> = 0.003015		
Como el p valor = 0.003015, es menor que 0,05; Se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, concluyendo que existe suficiente evidencia para aseverar que La velocidad de corrosión de las probetas en ADELCA es diferente a la velocidad de corrosión de las probetas en la cámara de corrosión en Riobamba, con una confianza del 95%.		

Realizado por: Chito R; López A, 2024.

4.8.3.2. Comparación de muestras de acero ASTM A36 galvanizadas Adelca y Riobamba

En la tabla 4-14, se observa el resultado de probetas galvanizadas de Adelca y Riobamba, que en este caso se obtuvieron que no existe diferencias significativas de velocidades de corrosión (CR), lo que significa que está replicando las condiciones ambientales para el estudio de probetas galvanizadas.

Tabla 4-7: Resultado t de Student Acero ASTM A 36 galvanizadas Adeca vs Riobamba.

Comparación	Hipótesis	p-valor
Probetas de acero ASTM A36 galvanizadas Adelca vs Probetas de acero ASTM A36 galvanizadas Riobamba	H0 = La velocidad de corrosión de las probetas en ADELCA es igual a las probetas en la cámara de corrosión.	Adelca= 0.000021
	H1= La velocidad de corrosión de las probetas en ADELCA es diferente a las probetas en la cámara de corrosión.	Riobamba= 0.5363
Resultado de la prueba <i>t de Student</i> = 0.024		
Como en p valor = 0,024587, es menor que 0,05, Se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, concluyendo que existe suficiente evidencia para aseverar que La velocidad de corrosión de las probetas en ADELCA es diferente a la velocidad de corrosión de las probetas en la cámara de corrosión en Riobamba, con una confianza del 95%.		

Realizado por: Chito R; López A, 2024.

4.8.3.3. Comparación de muestras de acero ASTM A36 con recubrimiento superficial de Adelca y Riobamba

En la tabla 4-15, se observa el resultado de las probetas de acero con recubrimiento superficial de Adelca y Riobamba, que en este caso las probetas de Adelca y Riobamba se obtuvieron diferentes velocidades de corrosión (CR), lo que significa que no está replicando las condiciones ambientales de la cámara de corrosión para probetas de ese tipo de método anticorrosivo.

Tabla 4-8: Resultado del análisis t de Student de probetas con recubrimiento superficial de Adelca y Riobamba.

Comparación	Hipótesis	p-valor
Probetas de acero ASTM A36 con recubrimiento Adelca vs Probetas de acero ASTM A36 con recubrimiento Riobamba	H0 = La velocidad de corrosión de las probetas en ADELCA es igual a las probetas en la cámara de corrosión.	Adelca=1.000
	H1= La velocidad de corrosión de las probetas en ADELCA es diferente a las probetas en la cámara de corrosión.	Riobamba= 0.4167
Resultado de la prueba <i>t de Student</i> = 0.04289		
Como el p valor = 0.004289, es menor que 0,05; Se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, concluyendo que existe suficiente evidencia para aseverar que La velocidad de corrosión de las probetas en ADELCA es diferente a la velocidad de corrosión de las probetas en la cámara de corrosión en Riobamba, con una confianza del 95%.		

Realizado por: Chito R; López A, 2024.

4.8.3.4. *Comparación de muestras de acero ASTM A36 con protección catódica por ánodo de sacrificio de Adelca y Riobamba*

En la tabla 4-16, se observa el resultado de las probetas de acero con recubrimiento superficial de Adelca y Riobamba, que en este caso las probetas de Adelca y Riobamba se obtuvieron diferentes velocidades de corrosión (CR), lo que significa que no está replicando las condiciones ambientales de la cámara de corrosión para probetas de ese tipo de método anticorrosivo.

Tabla 4-9: Resultado del análisis t de Student de probetas con protección catódica de Adelca y Riobamba

Comparación	Hipótesis	p-valor
Probetas de acero ASTM A36 con protección catódica de Adelca vs Probetas de acero ASTM A36 con protección catódica de Riobamba	H0 = La velocidad de corrosión de las probetas en ADELCA es igual a las probetas en la cámara de corrosión.	Adelca=1.0000
	H1= La velocidad de corrosión de las probetas en ADELCA es diferente a las probetas en la cámara de corrosión.	Riobamba= 0.409023
Resultado de la prueba <i>t de Student</i> = 0.04142		
Como en p valor = 0,04142, menor que 0,05; Se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, concluyendo que existe suficiente evidencia para aseverar que la velocidad de corrosión de las probetas en ADELCA es diferente a la velocidad de corrosión de las probetas en la cámara de corrosión en Riobamba, con una confianza del 95%.		

Realizado por: Chito R; López A, 2024.

4.9. Análisis del mejor método contra la corrosión

En relación con el mejor mecanismo contra la corrosión utilizado en las muestras ubicadas en la cámara de corrosión en la ciudad de Riobamba, se llevó a cabo un análisis estadístico utilizando la prueba ANOVA la cual arrojó los datos detallados a continuación:

Tabla 4-10: Resumen prueba ANOVA

Mecanismo contra la corrosión	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Galvanizado	11	0,00149462	0,00013587	1,7842E-08
Recubiertas	11	0,04842594	0,00440236	1,5808E-05
Protección catódica	11	0,00092874	0,00008443	8,1912E-09

Realizado por: Chito R; López A, 2024.

Los datos mostrados en la tabla 4-10 detallan el promedio de los valores de velocidad de corrosión de las muestras en determinado tiempo. Teniendo esto en cuenta, gracias a esta prueba se tiene que el mejor mecanismo contra la corrosión es la protección catódica por ánodo de sacrificio con un promedio de velocidad de corrosión de 0,00008443. En este sentido, la corrosión es un

fenómeno que puede controlarse y cada caso es distinto del anterior por lo que no existe un “método contra la corrosión ideal o mejor”, tal como lo detalla (Salazar Jiménez 2015):

“La selección de un material resistente a la corrosión siempre es el primer tipo de control que se debe considerar. Esto en muchas ocasiones no es posible, ya que este es limitado por las condiciones del medio circundante; las condiciones dimensionales y geométricas necesarias en el material en función de la aplicación requerida; y un costo económico elevado. Lo cual hace que la selección de un material resistente no sea factible y/o posible, por lo que se deben considerar otros tipos de métodos para esto.” (Pag 8). “

Siguiendo con el análisis de la prueba ANOVA se presentan los datos de varianza en la tabla 4-11. En donde se puede evidenciar que el valor de F_{tab} es mayor F_{cal}

- H_0 : las velocidades de corrosión de las muestras estudiadas son estadísticamente iguales, es decir, $M_1=M_2=M_3=M_4$.
- H_1 = existe una variación estadística entre la velocidad de corrosión de las muestras estudiadas.

Al tener un valor de $F_{cal} > F_{tab}$, se acepta la hipótesis alternativa como válida descartando así la hipótesis nula.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F_{cal}	Probabilidad	F_{tab}
Entre grupos	0,00015106	3	5,0354E-05	12,71053	5,628E-06	2,8387454
Dentro de los grupos	0,00015846	40	3,9616E-06			
Total	0,00030953	43				

Realizado por: Chito R; López A, 2024.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES.

Finalmente, la preparación adecuada de las probetas de acero ASTM A36 en el Laboratorio de Ensayos No Destructivos e Integridad Superficial de la ESPOCH, fue fundamental para el desarrollo de la investigación. El proceso, que se comenzó desde el corte preciso de las muestras y la aplicación de recubrimiento poliméricos, permitió la realización de pruebas de corrosión con resultados confiables y precisos. Los procedimientos detallados no solo garantizaron la integridad de los resultados, sino que también contribuyeron al avance del conocimiento en el campo industrial. Es importante entender que realizar de manera correcta la preparación de probetas permitió que la investigación sea confiable y útil para estudios posteriores.

Se logró la elaboración del plan de registro de datos para evaluar la velocidad de corrosión (CR) en acero ASTM A36 en la cámara de corrosión. La recolección de datos, que detalla el tiempo de exposición, masa inicial, masa final, pérdida de masa, las condiciones ambientales y la velocidad de corrosión, ha permitido una comprensión más profunda del comportamiento del material. Este enfoque ha demostrado su efectividad al evaluar el proceso corrosivo con los cuatro métodos de protección anticorrosivos, tanto en materiales de acero negro como galvanizado.

La comparación de las velocidades de corrosión de las probetas de Milagro con las probetas de la cámara de corrosión del Laboratorio de Ensayos No Destructivos e Integridad Superficial de la ESPOCH en la ciudad de Riobamba han proporcionado resultados significativos al momento de realizar este estudio. Sin embargo, los cuatro grupos de muestras presentaron diferencias estadísticas en lo que respecta a la velocidad de corrosión al comparlas con las muestras estudiadas en la estación de investigación de la ciudad de Milagro debido a que la humedad ha ido disminuyendo paulatinamente, es decir, al inicio de la investigación la humedad tuvo un valor de humedad de 67% y al finalizar esta investigación la humedad disminuyó a un valor de 28%. Y al no tener un control efectivo de la humedad (la cual afecta directamente a la corrosión) en la cámara de corrosión no se logró la validación de este equipo con el número de muestras estudiadas en este tiempo de estudio de alrededor de 6 meses.

RECOMENDACIONES.

Se recomienda el uso de una cizalladora o cortadora hidráulica para el corte de las probetas, en lugar de otros métodos de corte de metales como el oxicorte o el láser. La razón de esta preferencia radica en que estos últimos procedimientos pueden modificar las propiedades inherentes del material. Además, es importante destacar que, tras el corte, es necesario re-galvanizar o aplicar la protección anticorrosiva correspondiente a los bordes de las probetas para preservar su integridad

Cuando se colocan las muestras en la cámara de corrosión, es aconsejable utilizar un material plástico para separar un conjunto de muestras de otro. Esto ayuda a evitar cualquier interacción no deseada entre los grupos. Además, es esencial utilizar una balanza analítica para pesar las muestras tanto antes como después de su colocación en la cámara de corrosión. Este paso es crucial para garantizar la precisión en los cálculos de la velocidad de corrosión y evitar posibles errores.

Implementar mejoras en la cámara corrosión que permitan controlar valores de humedad ya que este es un parámetro fundamental para que los resultados obtenidos sean representativos y fiables

BIBLIOGRAFÍA

1. **ASTM G1-03.** *Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens.* [en línea], 2017. [Consulta: 01 marzo 2024]. Disponible en: <https://www.astm.org/standards/g1>
2. **ÁVILA MENDOZA, Javier.** *Más allá de la herrumbre II: la lucha contra la corrosión.* [en línea]. 3ra ed. México: FCE - Fondo de Cultura Económica, 2003. ISBN 978-607-16-0318-0, [Consulta: 4 marzo 2024]. Disponible en: <https://elibro.net/es/lc/epoch/titulos/71980?prev=as>
3. **AVILA AYÓN, Verónica; et al.** " Influencia de los parámetros medioambientales en la corrosión de elementos estructurales metálicos". *Ciencias Holguín* [en línea], 2005, (Cuba), vol. 11 (4), pág. 1. [Consulta: 1 mayo 2024]. Número ISSN 1027-2127. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181517866003>
4. **BONILLA MIELES, Andrés Fernando.** Efectividad de los Inhibidores de Corrosión en el Hormigón Armado. [en línea]. (Trabajo de titulación) (maestría). Universidad Politécnica de Madrid. España. 2023 pág. 40. [Consulta: 18 marzo 2024]. Disponible en: <https://oa.upm.es/73171/>
5. **CAIZA, Joe & GAMBOA, Fausto.** Comparación del rendimiento de tres métodos de protección anticorrosiva y estimación de la velocidad de corrosión según la Norma ASTM G1-03 en placas de acero ASTM A36. [en línea] (Trabajo de titulación). (pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba. 2022. pág. 26. [Consulta: 2023-11-08]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/17267>
6. **CICEK, Volkan.** *Corrosion Engineering.* [en línea]. New Jersey: Wiley, 2014. ISBN (978-1-118-72098-1), Pág. 14. [Consulta: 29 febrero 2024]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/179436?page=16>
7. **COSTALES LOGROÑO, Byron Patricio & GONZAGA COSTA, Robinson Manuel.** Influencia de las altas temperaturas superficiales en las propiedades del acero al carbono ASTM A36 [en línea]. (Trabajo de titulación) (pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba. 2022 pág.11. [Consulta: 2024-02-22]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/1778>

8. **FONTANA, Mars G.** *Corrosion Engineering* [en línea]. 3^{era} ed. New York: McGraw & Hill Book, 1985. ISBN 978-0-07-021463-7. [Consulta: 11 abril 2024]. Disponible en: <https://www.amazon.com/Corrosion-Engineering-Mars-G-Fontana/dp/0070214638>.
9. **GUALLO, Hugo & GUAMÁN, Jorge.** Monitoreo de la tasa de corrosión en probetas metálicas utilizando diferentes métodos de protección en la empresa Adelca del cantón Milagro. (Trabajo de titulación). (pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba. 2023. págs. 39-40. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/13>
10. **GUAMÁN TOGLLA, Danny Stalin & MACAS VILLA, Dennys Fernando.** Diseño y construcción de una cámara para controlar atmósferas agresivas sobre materiales metálicos con tratamientos integrales para la corrosión. (Trabajo de titulación). (pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba. 2023. pág. 30. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/20955>
11. **ILBIS PACA, Alex Vinicio.** Comparación de la resistencia a la corrosión del acero API 5L x42 bajo dos ambientes electrolíticos diferentes [en línea]. (Trabajo de titulación) (pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba. 2022. pág. 26. [Consulta: 2024-03-08]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/18202>
12. **LUCAS GRANADOS, Bianca & SÁNCHEZ TOVAR, Rita Sánchez.** *Corrosión* [en línea]. Valencia: Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia. 2018 [Consulta: 17 febrero 2024]. <https://elibro.net/es/lc/esPOCH/titulos/57467?prev=as>
13. **MALARET, Francisco.** Exact calculation of corrosion rates by the weight-loss method. [en línea], 2022, (United Kingdom) vol.3, pág. 2. [Consulta: 03 marzo 2024]. ISSN 2516712X. Disponible en: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85139750857&doi=10.1017%2fexp.2022.5&partnerID=40&md5=195f50c6fe230946ed7262d926bde53e>.
14. **MARTÍNEZ PÉREZ, Francisco.** “Corrosion. Types. Prevention”. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 2023, (Cuba), vol.32, pág. 7. [Consulta: 04 marzo 2024] ISSN 20763417 Disponible en: <https://elibro.net/es/lc/esPOCH/titulos/57467?prev=as>

15. **MCCARTHY, D; et al.** "A Model-Based Approach to Automated Validation and Generation of PLC Code for Manufacturing Equipment in Regulated Environments". *Applied Sciences* [en línea], 2022, (Switzerland), vol.12, pág. 1. [Consulta: 17 febrero 2024]. ISSN 20763417. Disponible en: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85137006077&doi=10.3390%2fapp12157506&partnerID=40&md5=9045189871f1d4d0f969d320689cb03d>
16. **MÉNDEZ PÉREZ, Adonay.** *Protección catódica: ánodos de sacrificio* [en línea]. (Trabajo de titulación) (pregrado). Escuela Politécnica Superior de Ingeniería. España. 2016. pág.36. [Consulta: 2024-04-02]. Disponible en: <https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/3212>.
17. **MORA PILCO, Irwin Martín & VARGAS TIERRAS, Neyda Andreina.** Análisis de la degradación de varillas de construcción con protección catódica mientras están sometidas a ambientes con elevados niveles de PH [en línea]. (Trabajo de titulación) (pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Ecuador, Riobamba. 2022. pág. 6. [Consulta 17 febrero 2024]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/17269>
18. **MOUSAVI, SSeyedamin; et al.** "Evaluation of Galvanized and Painted-Galvanized Steel Piling". *Journal of Materials in Civil Engineering* [en línea], 2024, (United States), vol. 36 (3), pág.31. [Consulta 30 marzo 2024]. ISSN 08991561. Disponible en: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85180748135&doi=10.1061%2fJMCEE7.MTENG-15968&partnerID=40&md5=3c280884dc72a5074a38966dfd53941b>
19. **NACE /SSPC-SP10.** *The Society for Protective Coatings.* [en línea], 2006, (United States). [Consulta 27 marzo 2024] Disponible en: https://webstore.ansi.org/preview-pages/NACE/preview_NACE+No.+2+SSPC-SP+10.pdf
20. **NOROZNIA, H; et al.** "Pipeline failure evaluation and prediction using failure probability and neural network based on measured data". *Heliyon* [en línea], 2024, (Iran), vol. 10 (5), pág. 1. [Consulta 15 marzo 2024]. ISSN 2405-8440. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844024028688>.
21. **NOVA PUERTO, Carlos Yesid.** Métodos de control de corrosión, aplicados a nivel industrial en la protección de estructuras metálicas [en línea]. (Trabajo de titulación)

(pregrado) Universidad Pedagógica y Tecnológica, Colombia. 2022. pág.35. [Consulta: 17 febrero 2024]. Disponible en: <https://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/9083>

22. **OZKAN, I. F; et al.** "Atmospheric Corrosion of Steel Infrastructure in Canada Under Climate Change". *Corrosion* [en línea], 2023. (Canada), vol. 79, pág. 1. [Consulta:08 marzo 2024]. ISSN 00109312. Disponible en: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85173616899&doi=10.5006%2f4296&partnerID=40&md5=209c034bd3749a5a63dfdca037e82e80>
23. **QUEZADA DELGADO, Joyce Alberto.** Impacto de los factores ambientales y de contaminantes en la integridad del acero al carbono AISI 1010 en ambientes marinos [en línea]. (Trabajo de grado) (Maestría). Corporación Universidad de la Costa, Barranquilla. 2022. pág. 32. [Consulta: 8 marzo 2024]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11323/10678>
24. **RAMOŠKIENĖ, Eugenija,** "Validation of salt spray corrosion test". *Accreditation and Quality Assurance* [en línea], 2003, (Lituania) vol. 8(5), pág.1. [Consulta: 19 marzo 2024]. ISSN 1432-0517. Disponible en: [en línea], 2003, (Lituania) vol. 8(5), pág.1. [Consulta: 19 marzo 2024]. ISSN 1432-0517. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s00769-003-0624-x>.
25. **REVIE, R. W. & UHLIG, H. H.** "Corrosion and Corrosion Control: An Introduction to Corrosion Science and Engineering: Fourth Edition". *John Wiley and Sons.* [en línea], 2008, (United States) vol. 8(5), pág.1. [Consulta: 11 abril 2024]. ISSN 978-047173279-2. Disponible en: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84889385968&doi=10.1002%2f9780470277270&partnerID=40&md5=6ece630213d313a421dbca70b918fa3d>.
26. **RIVERA PERDOMO, Francisco Javier.** Análisis de falla por corrosión de un sistema de levantamiento artificial (bombeo electrosumergible) de un pozo petrolero [en línea]. (Trabajo de titulación) (pregrado). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Colombia. 2020. pág.13. [Consulta: 8 marzo 2024]. Disponible en: <http://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/3228>
27. **RIZVI, Marziya; et al.** "Experimental Methods of Corrosion Inhibition Assessment". *ACS Symp. Ser.* [En línea], 2021, (India), vol.1403, págs. 6-10. [Consulta: 04 marzo 2024]. Disponible en: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0->

85121266229&doi=10.1021%2fbk-2021-1403.ch004&partnerID=40&md5=af3af080c2282221716ef770e7a70bc8.

28. **ROBERGE, Pierre R.** *Mechanisms and forms of corrosion failures*. En: Handbook of Corrosion Engineering [en línea]. 3rd Edition. New York: McGraw & Hill Education., 2019. ISBN 978-1-260-11697-7. [Consulta: 02 marzo 2024]. Disponible en: <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9781260116977/toc-chapter/chapter8/section/section3>

29. **ROMERO BONILLA, Hugo Ítalo; et al.** " Costos por corrosión de hierro ASTM A36 en procesos hidrometalurgicos auriferos". *Industrial Data* [en línea], 2017, (Lima), vol. 20 (1), pág.1. [Consulta:08 marzo 2024]. ISSN 1560-9146. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81652135004>

30. **ROUSSAK, O. V. & GESSER, H. D.** *Corrosion*. Second edition. Boston, MA: Springer US, 2013. [Consulta: 02 marzo 2024]. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4262-2_10

31. **SALAZAR JIMÉNEZ, José Alberto.** "Introducción al fenómeno de corrosión: tipos, factores que influyen y control para la protección de materiales". *Revista Tecnología en Marcha* [en línea], 2015, (Costa Rica), vol.28 (3), págs. 2-8. [Consulta: 19 febrero 2024].ISSN 0379-3982 Disponible en: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S037939822015000300127&script=sci_arttext&tln g=en

32. **SERWAY, Raymond A. & VUILLE, Chris.** *Fundamentos de física* [en línea]. 9na ed. Boston: Cengage Learning, 2012. [Consulta: 19 febrero 2024]. ISSN 978-607-481-876-5. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/93222?page=310>

33. **UTAMI, Nurhabibah; et al.** "Effect of hot-dip galvanized zinc coating time on corrosion behaviour of ASTM A36". *Conference Proceedings* [en línea], 1997, (Indonesia). vol.2689 (1), pág. 1. [Consulta: 01 abril 2024]. ISSN 0094-243X. Disponible en: <https://doi.org/10.1063/5.0115826>

- 34. VÁZQUEZ, Marcela.** *La corrosión: el peor de los villanos cuando dominan los metales* [en línea]. Argentina: Eudem, 2015. [Consulta: 17 febrero 2024]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/77021?page=12>.

Total 34 referencias bibliográficas

ANEXOS

ANEXO A: CÓDIGO EN PYTHON PARA DEMOSTRAR LA NORMALIDAD DE DATOS

```
▷ v
    p_valor = corrosion.apply(lambda x: stats.shapiro(x))
    print('P valor:\n', p_valor.iloc[1])
[109] ✓ 0.0s
```

ANEXO B: CÓDIGO EN PYTHON PARA MOSTRAR DATOS DE TENDECIA CENTRAL

```
▷ v
    descripcion = corrosion.describe()
    print('Descripción de los datos:\n', descripcion)
[108] ✓ 0.0s
```

ANEXO C: CÓDIGO EN PYTHON PARA COMPARAR LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DE PROBETAS SIN RECUBRIMIENTOS.

```
stats.ttest_ind(corrosion['sin1'], corrosion['sin 2'], alternative='two-sided')
✓ 0.0s
```

ANEXO D: CÓDIGO EN PYTHON PARA COMPARAR LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DE PROBETAS GALVANIZADAS.

```
▷ v
    stats.ttest_ind(corrosion['zinc1'], corrosion['zinc2'], alternative='two-sided')
[113] ✓ 0.0s
```

ANEXO E: CÓDIGO EN PYTHON PARA COMPARAR LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DE PROBETAS CON RECUBRIMIENTOS.

```
▷ v
    stats.ttest_ind(corrosion['recubierta1'], corrosion['recubierta 2'], alternative='two-sided')
[114] ✓ 0.0s
```

ANEXO F: CÓDIGO EN PYTHON PARA COMPARAR LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DE PROBETAS CON PROTECCIÓN CATÓDICA.

```
stats.ttest_ind(corrosion['catódica 1'], corrosion['catodica 2'], alternative='two-sided')
```

[117] ✓ 0.0s

ANEXO G: MEDICIÓN DE TEMPERATURA CON EL TERMÓMETRO VISUAL.



ANEXO H: MEDICIÓN DEL NIVEL DE pH.





ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA
NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO

Fecha de entrega: 06/18/2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR
Nombres – Apellidos: ROSA ISAMAR CHITO ASES ALEX JAVIER LÓPEZ PAGUAY
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: MECÁNICA
Carrera: MANTENIMIENTO INDUSTRIAL
Título a optar: INGENIERA/O EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL
 Ing. Luis Carlos Hidalgo Viteri Director del Trabajo de Titulación  Ing. Luis Santiago Choto Chariguamán Asesor del Trabajo de Titulación



**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL.**

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 18/06/2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres-Apellidos: CHITO ASES ROSA ISAMAR LÓPEZ PAGUAY ALEX JAVIER
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: MECÁNICA
Carrera: MANTENIMIENTO INDUSTRIAL
Título a optar: INGENIERO/A EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL.
f. Analista de bibliografía responsable: Lic. Ángel Ramiro Frías Sánchez



0735-DBRA-UPT-2024