



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL

**“ANÁLISIS DE LA TASA DE CORROSIÓN EN AMBIENTES
CONTROLADOS MEDIANTE EQUIPO DE INTEGRIDAD
SUPERFICIAL EN LA ESTACIÓN DE INVESTIGACIÓN
MILAGRO (ADELCA) Y LABORATORIO ESPOCH”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO INDUSTRIAL

AUTORES:

JONATHAN ISRAEL BASTIDAS TOROSINA

ISABEL PAOLA COLCHA ASHQUI

Riobamba – Ecuador

2024



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL

**“ANÁLISIS DE LA TASA DE CORROSIÓN EN AMBIENTES
CONTROLADOS MEDIANTE EQUIPO DE INTEGRIDAD
SUPERFICIAL EN LA ESTACIÓN DE INVESTIGACIÓN
MILAGRO (ADELCA) Y LABORATORIO ESPOCH”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO INDUSTRIAL

AUTORES:

JONATHAN ISRAEL BASTIDAS TOROSINA

ISABEL PAOLA COLCHA ASHQUI

DIRECTOR: ING. RAÚL GREGORIO MARTÍNEZ PÉREZ

Riobamba – Ecuador

2024

© 2024, Isabel Paola Colcha Ashqui & Jonathan Israel Bastidas Torosina

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, ISABEL PAOLA COLCHA ASHQUI & JONATHAN ISRAEL BASTIDAS TOROSINA, 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.

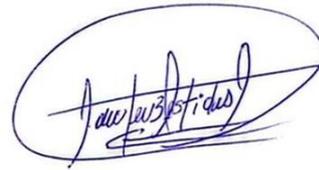
Como autores asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 04 de junio 2024



Isabel Paola Colcha Ashqui

060501925-6



Jonathan Israel Bastidas Torosina

180478471-6

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto Técnico, “ANÁLISIS DE LA TASA DE CORROSIÓN EN AMBIENTES CONTROLADOS MEDIANTE EQUIPO DE INTEGRIDAD SUPERFICIAL EN LA ESTACIÓN DE INVESTIGACIÓN MILAGRO (ADELCA) Y LABORATORIO ESPOCH”, realizado por la señorita: **ISABEL PAOLA COLCHA ASHQUI**, y el señor: **JONATHAN ISRAEL BASTIDAS TOROSINA**, 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.

FIRMA

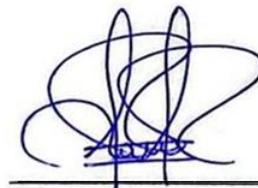
FECHA

Ing. Carlos José Santillán Mariño
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



2024-06-04

Ing. Raúl Gregorio Martínez Pérez
**DIRECTOR DEL TRABAJO DE
INTEGRACIÓN CURRICULAR**



2024-06-04

Ing. Iván Fernando Huacho Chávez
**ASESOR DEL TRABAJO DE
INTEGRACIÓN CURRICULAR**



2024-06-04

DEDICATORIA

Dedico este trabajo con profunda gratitud y cariño a mis queridos padres, Francisco y Myrian, cuya inquebrantable dedicación y sabios consejos han iluminado mi sendero académico, infundiendo en mí determinación y perseverancia en cada desafío. A mis adorables hermanos, David y Cristina, les agradezco su constante apoyo y complicidad, compartiendo risas y momentos de reflexión que han enriquecido mi experiencia. También, extendiendo mi reconocimiento a mis entrañables amigos, cuya amistad y aliento han sido una fuente de alegría y motivación en cada etapa de este viaje. Su presencia ha sido fundamental, coloreando de significado y emoción este logro alcanzado. Sin su apoyo incondicional, este importante capítulo no habría sido posible. A todos ustedes, gracias por ser pilares fundamentales en mi vida y por compartir conmigo la emoción de conseguir este sueño.

Isabel

Este trabajo se lo dedico a mi Dios quien alegra todos mis días con su amor incondicional, me sustenta con salud y provisión, y quien me brinda inteligencia y sabiduría para completar esta etapa en mi vida. Todo se lo debo a él. A mis amados padres, Guillermo y Ana, quienes han sido mi apoyo y mis consejeros a lo largo de mi vida, este trabajo está dedicado a ustedes con profundo amor y agradecimiento. A mis queridos hermanos, Evelyn y Alexis, cuyo cariño, compañía y aventuras, han bendecido con mucho gozo mi vida, este logro también es suyo. A mi familia en Cristo, cuya fe y amor siempre presentes han sido un faro de esperanza para mi casa, su apoyo en oración y palabras de aliento han fortalecido mi espíritu y han sido un recordatorio constante del poder de estar unido a una comunidad. A mis queridos compañeros y amigos, quienes han compartido conmigo risas, lágrimas y horas de estudio, este logro es nuestro, y celebro a cada uno de ustedes por su contribución a mi vida. A todos ustedes, mi más profundo agradecimiento y afecto, llevando conmigo el deseo de que nuestras vidas sigan entrelazadas en el camino que tenemos por delante.

Jonathan

AGRADECIMIENTO

Deseamos expresar nuestro más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y a los distinguidos docentes de la carrera de Ingeniería Industrial por su invaluable orientación y enseñanzas que han contribuido significativamente al desarrollo de este trabajo de titulación. Extendemos nuestro agradecimiento a la empresa ADELCA por brindarnos la oportunidad de completar esta investigación en sus instalaciones, lo cual enriqueció enormemente nuestra experiencia académica y profesional. Nuestro más profundo agradecimiento también se dirige a nuestro director, Ing. Raúl Martínez, y a nuestro asesor, Ing. Iván Huacho, cuya orientación experta y dedicación fueron fundamentales para el éxito de este proyecto. Por último, agradecemos al Ing. Edison Calderón y el Ing. Luis Hidalgo por su valioso apoyo y colaboración en el desarrollo de este trabajo de titulación. Sin el respaldo y la contribución de todos ustedes, este logro no habría sido posible. Muchas gracias por su invaluable ayuda y confianza en nuestro trabajo.

Isabel; Jonathan

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
SUMMARY	xvi
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA	2
1.1. Planteamiento del problema	2
1.2. Justificación.....	4
1.3. Objetivos.....	5
1.3.1. <i>Objetivo general</i>	5
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i>	5

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. Acero.....	6
2.1.1. <i>Tipos de acero</i>	6
2.2. Acero ASTM A36.....	7
2.2.1. <i>Propiedades químicas y mecánicas del acero ASTM A36</i>	7
2.3. Corrosión.....	8
2.3.1. <i>Tipos de corrosión</i>	8
2.4. Velocidad de corrosión.....	9
2.5. Equipos de medición.....	9
2.5.1. <i>Balanza analítica</i>	9

2.6.	Equipo de integridad superficial	9
2.6.1.	<i>Rugosímetro</i>	10
2.7.	Agentes corrosivos	10
2.8.	Temperatura	10
2.9.	Nivel de pH	11
2.10.	Humedad relativa	11
2.11.	Presión Atmosférica	11
2.12.	Resistencia a la corrosión	11
2.13.	Protección electroquímica catódica por ánodo de sacrificio	12
2.14.	Acero ASTM A36 por recubrimiento de zinc (galvanizado)	12
2.15.	Recubrimiento anticorrosivo	12
2.15.1.	<i>SIGMAFASTTM 278</i>	13
2.16.	Aluminio	13
2.16.1.	<i>Propiedades del aluminio</i>	13
2.16.2.	<i>Composición química del aluminio</i>	14
2.16.3.	<i>Ecuaciones para el cálculo del ánodo de sacrificio</i>	14
2.17.	Fórmula para calcular la velocidad de corrosión	15
2.18.	Normativa de calidad	15
2.18.1.	<i>Norma ASTM G1-03:2017</i>	15
2.18.2.	<i>Norma SSPC-PA 1. Pintado de acero para taller, campo y mantenimiento</i>	15
2.18.3.	<i>Norma SSPC-SP-5 NACE 1</i>	16

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	17
3.1.	Introducción al Marco Metodológico	17
3.2.	Fundamentos de la Metodología	17
3.2.1.	<i>Tipo de Investigación</i>	17
3.2.2.	<i>Enfoque de la Investigación</i>	18

3.2.3.	<i>Alcance de la Investigación</i>	18
3.3.	Diseño de la Investigación	18
3.4.	Métodos, Técnicas e Instrumentos de Investigación	19
3.4.1.	<i>Métodos de Investigación</i>	19
3.4.2.	<i>Técnicas de Investigación</i>	19
3.4.3.	<i>Instrumentos de Investigación</i>	20
3.5.	Desarrollo Metodológico de la Investigación	23
3.5.1.	<i>Ubicación</i>	23
3.5.2.	<i>Muestras comparativas para el laboratorio “ESPOCH”</i>	24
3.5.3.	<i>Diseño de probetas para el laboratorio “ESPOCH”</i>	24
3.5.4.	<i>Elaboración de las probetas para el laboratorio “ESPOCH”</i>	25
3.5.5.	<i>Preparación para el Sandblasting</i>	28
3.5.6.	<i>Pesaje de las probetas</i>	30
3.5.7.	<i>Equipo de Integridad Superficial (Rugosímetro)</i>	30
3.5.8.	<i>Medición de la rugosidad</i>	31
3.5.9.	<i>Codificación y datos iniciales de las probetas</i>	32
3.5.10.	<i>Cálculo del ánodo de sacrificio</i>	38
3.5.11.	<i>Colocación de las probetas en la cámara de corrosión</i>	42
3.5.12.	<i>Extracción de las probetas</i>	46

CAPÍTULO IV

4.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	55
4.1.	Hipótesis	55
4.2.	Manual de procedimientos para el manejo del rugosímetro	55
4.3.	Diagrama de flujo para el manejo del rugosímetro	55
4.4.	Análisis y recolección de datos en la estación de investigación “ESPOCH”	55
4.5.	Análisis y recolección de datos en la estación de Milagro “ADELCA”	68

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	79
5.1.	Conclusiones.....	79
5.2.	Recomendaciones.....	80

GLOSARIO

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Propiedades químicas del acero ASTM A36.....	7
Tabla 2-2: Propiedades mecánicas del acero ASTM A36	7
Tabla 2-3: Propiedades del aluminio	13
Tabla 3-1: Descripción del equipo (Rugosímetro).....	20
Tabla 3-2: Descripción del equipo (balanza analítica).....	21
Tabla 3-3: Descripción del equipo (Calibrador)	21
Tabla 3-4: Descripción del equipo (medidor de pH)	22
Tabla 3-5: Descripción del equipo (Cámara de corrosión)	22
Tabla 3-6: Dimensiones de la probeta para la cámara de corrosión.....	24
Tabla 3-7: Características del Sandblasting	30
Tabla 3-8: Datos iniciales de las probetas de acero ASTM 36 sin recubrimiento	32
Tabla 3-9: Datos Iniciales de la rugosidad en Acero Negro	33
Tabla 3-10: Codificación y datos iniciales de las probetas de Acero Galvanizado	34
Tabla 3-11: Datos iniciales de la rugosidad en Acero Galvanizado	35
Tabla 3-12: Datos iniciales de las probetas de acero con recubrimiento (SIGMAFAST™)	35
Tabla 3-13: Datos iniciales de la rugosidad en acero con recubrimiento superficial.....	36
Tabla 3-14: Datos iniciales del acero con protección catódica con ánodo de sacrificio	37
Tabla 3-15: Datos iniciales de la rugosidad en acero con protección catódica.....	38
Tabla 3-16: Codificación y datos iniciales del ánodo de sacrificio.....	41
Tabla 4-1: Recolección de datos de acero negro del laboratorio ESPOCH	55
Tabla 4-2: Ecuación y coeficiente de determinación en Acero Negro.....	58
Tabla 4-3: Recolección de datos de acero galvanizada del laboratorio ESPOCH	58
Tabla 4-4: Ecuación y coeficiente de determinación en Acero Galvanizado.....	61
Tabla 4-5: Recolección de datos de acero con recubrimiento del laboratorio ESPOCH	62
Tabla 4-6: Ecuación y coeficiente de determinación en Acero con recubrimiento.....	64
Tabla 4-7: Recolección de datos de acero con protección catódica del laboratorio ESPOCH ..	65
Tabla 4-8: Ecuación y coeficiente de determinación en Acero con protección catódica.....	68
Tabla 4-9: Recolección de datos de acero negro de la estación de Milagro	69
Tabla 4-11: Recolección de datos de acero galvanizado de la estación de Milagro	71
Tabla 4-12: Recolección de datos de acero con recubrimiento de la estación de Milagro	72
Tabla 4-13: Recolección de datos de acero con protección catódica de la estación de Milagro	74

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 3-1: Laboratorio de integridad superficial en la “ESPOCH”	23
Ilustración 3-2: Estación de Milagro (ADELCA)	23
Ilustración 3-3: Diseño de las probetas en SolidWorks.....	25
Ilustración 3-4: Corte del acero ASTM A36	26
Ilustración 3-5: Probetas cortadas	26
Ilustración 3-6: Medición con el calibrador	27
Ilustración 3-7: Limado de probetas.....	28
Ilustración 3-8: Probetas de acero con recubrimiento (SIGMAFAST™).....	29
Ilustración 3-9: Pesaje de probetas.....	30
Ilustración 3-10: Rugosímetro.....	31
Ilustración 3-11: Medición de la rugosidad.....	32
Ilustración 3-12: Diseño de las probetas plantadas en la estación Milagro.....	39
Ilustración 3-13: Diseño del ánodo de sacrificio plantadas en la estación Milagro	39
Ilustración 3-14: Acondicionamiento del entorno de la cámara de corrosión	42
Ilustración 3-15: Conexión de los ánodos de sacrificio.....	43
Ilustración 3-16: Colocación de las probetas.....	43
Ilustración 3-17: Probetas colocadas en la cámara de corrosión	44
Ilustración 3-18: Conexión a la fuente de voltaje.....	45
Ilustración 3-19: Ajuste de pH, temperatura y humedad.....	45
Ilustración 3-20: Cámara de corrosión encendida	46
Ilustración 3-21: Medición de la temperatura y humedad.....	47
Ilustración 3-22: Extracción de las probetas de ADELCA.....	48
Ilustración 3-23: Extracción del ánodo de sacrificio de ADELCA	48
Ilustración 3-24: Desconexión de la fuente de voltaje	49
Ilustración 3-25: Limpieza de probetas de la estación de Milagro.....	49
Ilustración 3-26: Probetas extraídas de la estación de Milagro	50
Ilustración 3-27: Pesado final de probetas de la estación de Milagro	50
Ilustración 3-28: Rugosidad	51
Ilustración 3-29: Cámara de corrosión antes de la extracción.....	51
Ilustración 3-30: Extracción de la probeta con protección catódica.....	52
Ilustración 3-31: Extracción del ánodo de sacrificio del laboratorio ESPOCH	52
Ilustración 3-32: Extracción de probetas de la cámara de corrosión	53
Ilustración 3-33: Limpieza de las probetas de la cámara de corrosión.....	53

Ilustración 3-34: Pesaje final de las probetas de la cámara de corrosión	54
Ilustración 3-35: Medición de la rugosidad en probetas de la cámara de corrosión.....	54
Ilustración 4-1: Velocidad de corrosión vs Tiempo en Acero Negro en laboratorio ESPOCH	56
Ilustración 4-2: Variación de rugosidad vs Tiempo en Acero Negro en laboratorio ESPOCH	57
Ilustración 4-3: Velocidad de corrosión vs Variación de la rugosidad en Acero Negro	57
Ilustración 4-4: Velocidad de corrosión vs Tiempo en Acero Galvanizado.....	59
Ilustración 4-5: Variación de rugosidad en Acero Galvanizado	60
Ilustración 4-6: Velocidad de corrosión vs Variación de rugosidad en Acero Galvanizado.....	61
Ilustración 4-7: Velocidad de corrosión en Acero con recubrimiento.....	63
Ilustración 4-8: Variación de rugosidad en Acero con recubrimiento.....	63
Ilustración 4-9: Velocidad de corrosión vs Variación de rugosidad Acero con recubrimiento.	64
Ilustración 4-10: Velocidad de corrosión vs Tiempo en Acero con protección catódica.....	66
Ilustración 4-11: Variación de rugosidad vs Tiempo en Acero con protección catódica.....	67
Ilustración 4-12: Velocidad de corrosión vs Variación de rugosidad protección catódica	67

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA ACERO NEGRO Y GALVANIZADO

ANEXO B: MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA ACERO CON PROTECCIÓN CATÓDICA

ANEXO C: MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA PROBETAS CON RECUBRIMIENTO

ANEXO D: RECOLECCIÓN DE DATOS FINALES DE LAS PROBETAS

ANEXO E: CÁMARA DE CORROSIÓN

ANEXO F: ÁNODOS DE SACRIFICIO (ALUMINIO)

ANEXO G: RUGOSÍMETRO

ANEXO H: ANÁLISIS DE DATOS DE RUGOSIDAD

ANEXO I: LÁPIZ ÓPTICO CON PUNTA DE DIAMANTE

ANEXO J: ESTACIÓN DE INVESTIGACIÓN MILAGRO "ADELCA"

ANEXO K: VISITA A LA ESTACIÓN DE INVESTIGACIÓN MILAGRO "ADELCA"

ANEXO L: FUENTE DE VOLTAJE EN LA ESTACIÓN DE MILAGRO "ADELCA"

RESUMEN

En el ámbito industrial, la carencia de datos sobre la correlación entre velocidad de corrosión y variación de rugosidad superficial en acero estructural en entornos reales ha generado la necesidad de investigar esta relación. Por tanto, el objetivo del estudio fue analizar la tasa de corrosión en ambientes controlados mediante equipo de integridad superficial en la estación de investigación Milagro (ADELCA) y el laboratorio de integridad superficial en la ESPOCH. Los objetivos planteados incluyeron recopilar datos experimentales en ambas estaciones, elaborar muestras comparativas, analizar los datos recopilados de la masa y rugosidad de las muestras, y la elaboración de un manual de operación del equipo de integridad superficial. En la metodología se emplea técnicas de observación y enfoque experimental, utilizando datos de cuatro grupos de muestras de acero ASTM A36, uno de ellos sin protección anticorrosiva o acero negro, y los tres restantes con recubrimiento superficial, galvanizado y con protección catódica por ánodo de sacrificio. Los datos de rugosidad se midieron con un rugosímetro portátil, mientras que para la velocidad de corrosión se emplearon las pérdidas de masa de cada acero hasta las 6000 horas de investigación para las muestras de Milagro, y hasta 2400 horas para las muestras del laboratorio. Como resultados de este experimento, para el acero galvanizado y acero negro con recubrimiento superficial se logró establecer una correlación con un valor de R^2 de 0,808 y 0,8303 respectivamente, lo que sugiere que, en más de un 80% la velocidad de corrosión puede ser determinada a partir de conocer la variación de rugosidad superficial en estos aceros. Mientras que para los otros dos grupos de probetas no se determinó un modelo matemático que las relacione adecuadamente. Finalmente, se elaboró el manual de operaciones del rugosímetro, el cual servirá de guía para replicar prácticas académicas y posteriores investigaciones.

Palabras clave: <VARIACIÓN DE RUGOSIDAD> <VELOCIDAD DE CORROSIÓN> <PROTECCIÓN ANTICORROSIVA> <RECUBRIMIENTO SUPERFICIAL> <AMBIENTES CONTROLADOS> <ACERO ASTM A36> <EQUIPO DE INTEGRIDAD SUPERFICIAL> <ACERO GALVANIZADO>.

0911-DBRA-UPT-2024



SUMMARY / ABSTRACT

In the industrial field, the lack of data on the correlation between corrosion speed and surface roughness variation in structural steel in real environments has generated the need to investigate this relationship. Therefore, this study aimed to analyze the corrosion rate in controlled environments using surface integrity equipment at the Milagro research station (ADELCA) and the surface integrity laboratory at ESPOCH. The objectives included collecting experimental data at both stations, preparing comparative samples, analyzing the collected data on the mass and roughness of the samples, and developing an operational manual for the surface integrity equipment. The methodology employed observational techniques and an experimental approach, using data from four groups of American Society for Testing and Materials (ASTM) A36 steel samples: one without anti-corrosive protection (black steel) and the remaining three with surface coating, galvanization, and cathodic protection by sacrificial anode. Roughness data were measured with a portable roughness meter. At the same time, corrosion rates were determined using mass loss data for each steel up to 6000 hours of investigation for the Milagro samples and up to 2400 hours for the laboratory samples. As a result of this experiment, a correlation with R^2 values of 0.808 and 0.8303 was established for galvanized steel and black steel with surface coating, respectively, suggesting that in more than 80% of cases, the corrosion rate can be determined from the surface roughness variation in these steels. A suitable mathematical model was not defined for the other two sample groups. Finally, an operation manual for the roughness meter was developed, serving as a guide for replicating academic practices and future research.

Keywords: <VARIATION OF ROUGHNESS> <CORROSION RATE> <ANTICORROSIVE PROTECTION> <SURFACE COATING> <CONTROLLED ENVIRONMENTS> <AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM) A36 STEEL> <SURFACE INTEGRITY EQUIPMENT> <GALVANIZED STEEL>



Lic. Angela Cecibel Moreno Novillo
0602603938

INTRODUCCIÓN

La corrosión es un fenómeno presente en todo ámbito que afecta a una amplia variedad de materiales y estructuras en diferentes entornos, desde infraestructuras industriales hasta productos de uso cotidiano. Su impacto económico y ambiental es significativo, y su control y mitigación son temas de gran relevancia en la ingeniería industrial y en la ciencia de los materiales.

En Ecuador, un país con una rica diversidad de ecosistemas y una creciente actividad industrial, el estudio de la corrosión reviste una importancia particular. La conservación de infraestructuras y el mantenimiento de equipos industriales son aspectos críticos para garantizar el desarrollo sostenible y la seguridad de la población.

En este contexto, la el presente proyecto se enfoca en el análisis de la tasa de corrosión en probetas de acero a las que se aplicaron métodos de protección anticorrosivas y se los analiza en el entorno real en Milagro, y en condiciones controladas en el laboratorio de la ESPOCH, utilizando un rugosímetro en la medición del desgaste físico superficial de las probetas para poder identificar cómo esta se relaciona con los resultados del cálculo de la velocidad de corrosión de cada tipo de acero estudiado. Para ello, los objetivos de este proyecto son múltiples y claros. En primer lugar, se busca recopilar los datos experimentales en las probetas expuestas en Milagro, aprovechando su ubicación estratégica y condiciones ambientales reales. En segundo lugar, se pretende elaborar muestras comparativas y colocarlas en la cámara de corrosión bajo condiciones controladas en el laboratorio de integridad superficial de la ESPOCH, aprovechando sus instalaciones y capacidad técnica. Luego se analizarán y compararán los datos recopilados de la pérdida de masa y variación de rugosidad superficial, con el fin de identificar patrones o tendencias significativas en el fenómeno de la corrosión. Finalmente, se contribuirá con la elaboración de un manual de operación del rugosímetro, proporcionando una guía útil para replicar prácticas académicas y el desarrollo de futuras investigaciones.

En resumen, este trabajo de integración curricular representa un paso importante en el avance del conocimiento y la tecnología relacionados con el control de la corrosión, contribuyendo así al desarrollo sostenible y la seguridad en Ecuador como en otras partes del mundo.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

La necesidad de realizar estudios en condiciones reales es esencial para comprender la corrosión del acero en aplicaciones prácticas, como construcción y fabricación de tuberías dado que la tasa de corrosión del acero es una preocupación crítica en términos de seguridad, costos de mantenimiento y sostenibilidad.

De la misma manera, la falta de investigaciones locales en el ámbito de la prevención de la corrosión de los 4 tipos de aceros que son: acero negro sin recubrimiento superficial, acero galvanizado, acero negro con recubrimiento (SIGMAFAST™ 278) y acero galvanizado con protección catódica por ánodo de sacrificio. A pesar de la importancia de este fenómeno, la región carece de estudios que permiten comprender las causas y los factores que contribuyen a la corrosión del acero en aplicaciones como construcciones de edificios, fabricación de tuberías, maquinaria pesada, etc. Esta carencia de investigación limita la capacidad de desarrollar estrategias efectivas para prevenir la corrosión y seleccionar los materiales adecuados. La corrosión puede ser influenciada por una variedad de variables, como la exposición a la humedad, la temperatura y el nivel de pH, los mismos que serán considerados en este proyecto.

En la “ESPOCH”, se realiza un proyecto de investigación por parte de la carrera de Mantenimiento, que busca disminuir la velocidad de degradación de componentes metálicos bajo condiciones forzadas y monitoreo inteligente. Este proyecto tiene como objetivo fundamental comprender los factores externos que inciden en este proceso corrosivo y encontrar soluciones para prevenirlo de manera efectiva. El punto de partida de este proyecto es realizar investigaciones tanto a nivel de laboratorio como en el entorno real para identificar los factores externos que contribuyen a la corrosión del acero. Este análisis minucioso busca entender cómo diferentes condiciones ambientales, agentes químicos o físicos afectan la integridad del acero y provocan su corrosión.

El problema que aborda este trabajo de integración curricular se enfoca en la necesidad de llevar a cabo investigaciones sobre la tasa de corrosión en el acero y la relación con la rugosidad superficial, esta limitación representa un desafío crucial para los investigadores, ya que la extrapolación de resultados obtenidos en entornos de laboratorio a condiciones reales puede

presentar diferencias significativas. La falta de datos y análisis directos en aplicaciones prácticas, como la construcción y fabricación de tuberías, dificulta la comprensión completa de la corrosión del acero en situaciones reales.

Por último, dentro de esta problemática se enfrenta a la carencia de una guía para el manejo del equipo de integridad superficial que es necesario para llevar a cabo estos experimentos, mediante la medición de la rugosidad de cada una de las probetas de acero a analizar. Esta situación presenta un desafío al realizar investigaciones confiables sobre la corrosión del acero en condiciones controladas que reflejen fielmente situaciones prácticas, siendo fundamental para el avance tanto académico como industrial. Por lo tanto, este proyecto busca enfrentar estos desafíos y simular condiciones reales para comprender de mejor manera la corrosión de las muestras de acero, además pretende evaluar si la medición de la variación de la rugosidad superficial está relacionada con el proceso de corrosión empleando dicha cámara.

1.2 Justificación

Este proyecto se justifica en primer lugar debido a la necesidad de recopilar datos experimentales reales en la Estación de Investigación de Milagro (ADELCA), donde un proyecto de investigación de la “ESPOCH” se dedica a desarrollar una estrategia innovadora para retrasar la aparición de la corrosión, con la intención de obtener una patente, se encuentra trabajando activamente; por tal motivo esta recopilación de datos directos de muestras expuestas en el entorno real proporcionará información valiosa sobre el comportamiento de los aceros como son: acero negro sin recubrimiento superficial, acero galvanizado, acero negro con recubrimiento (SIGMAFAST™) y acero galvanizado con protección catódica por ánodo de sacrificio, en situaciones reales y contribuirá fundamentalmente a la parte experimental de esta investigación. Además, al comparar estos datos con los resultados obtenidos de las muestras sometidas a ambientes controlados en el Laboratorio de integridad superficial en la “ESPOCH”, se podrán identificar diferencias significativas y evaluar la eficacia de la estrategia de prevención y control de la corrosión.

Este trabajo es de gran relevancia tanto desde una perspectiva de investigación como de aplicación práctica. La selección adecuada de materiales en la industria y la construcción es esencial para garantizar la durabilidad y el rendimiento a largo plazo de estructuras y equipos en diversos sectores, desde construcciones de puentes hasta equipos deportivos y médicos. Este trabajo de integración curricular proporcionará información esencial sobre cómo se comportan diferentes tipos de acero en ambientes controlados, lo que permitirá tomar decisiones más adecuadas en la selección de materiales, optimizar recursos y mejorar la sostenibilidad.

En última instancia, este documento como parte del proyecto de investigación de la “ESPOCH” busca abordar una pregunta crucial en la industria y la investigación, ofreciendo respuestas que beneficiarán tanto a los profesionales que trabajan en el campo de la corrosión como a la sociedad en general al promover prácticas más sostenibles y eficientes en el uso de materiales. Además, la elaboración de un manual de operación del equipo de integridad superficial será una valiosa contribución para la comunidad académica y la industria, ya que a futuro permitirá replicar prácticas académicas y aplicar técnicas efectivas de control de corrosión. En conjunto, este trabajo aborda un problema crítico con implicaciones prácticas y académicas, brindando un enfoque integral para el análisis de la corrosión en condiciones controladas, beneficiando a la industria y la comunidad académica.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Analizar la tasa de corrosión en ambientes controlados mediante equipo de integridad superficial en la estación de investigación Milagro (ADELCA) y laboratorio “ESPOCH”

1.3.2 Objetivos específicos

- Recopilar datos experimentales en las probetas expuestas en la estación de investigación de Milagro.
- Elaborar muestras comparativas y colocarlas en la cámara de corrosión bajo ambientes controlados en el laboratorio de integridad superficial de la “ESPOCH”.
- Analizar y comparar los datos recopilados de la masa y la rugosidad de las probetas de la estación de investigación de Milagro (ADELCA) y las probetas plantadas en el laboratorio de integridad superficial de la “ESPOCH”.
- Elaborar un manual de operación del equipo de integridad superficial para poder replicar prácticas académicas.

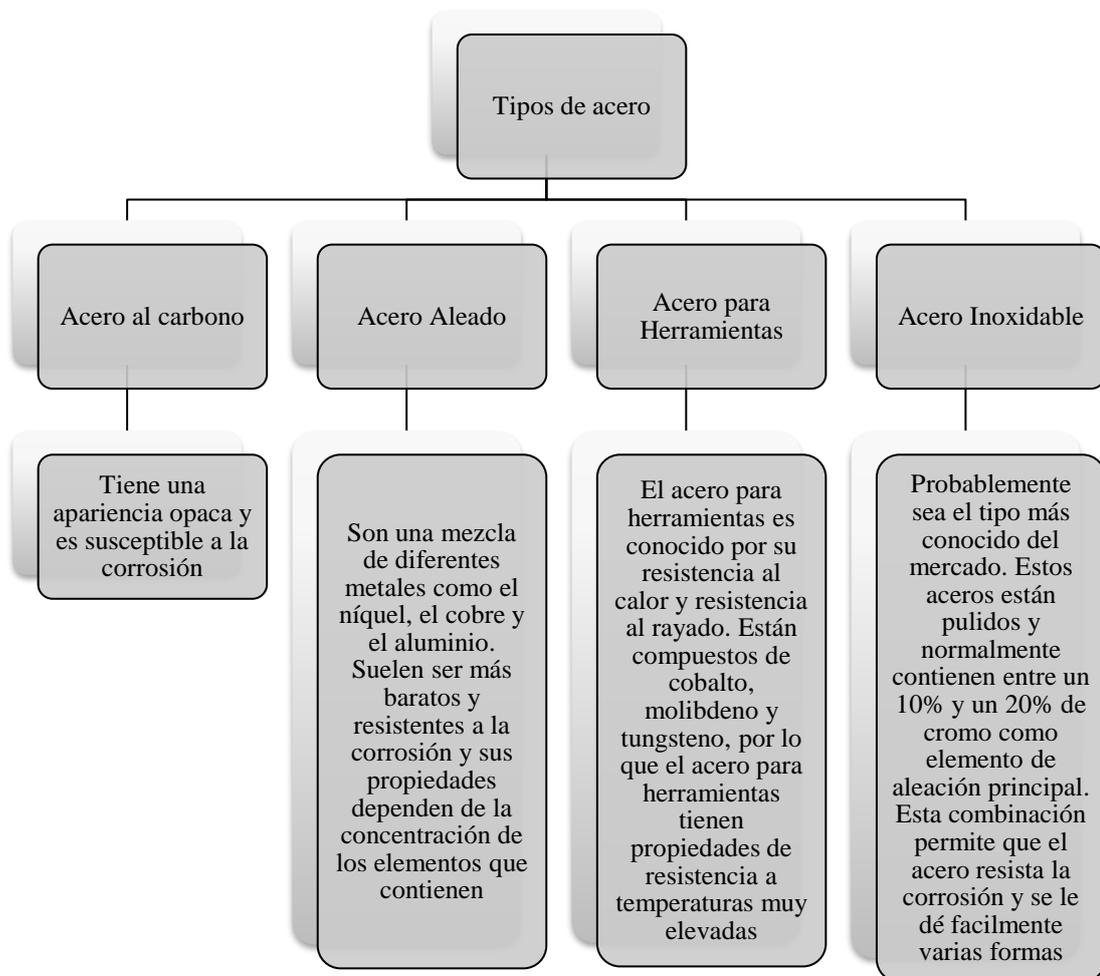
CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Acero

El termino acero hace referencia a una combinación de carbono y hierro en su composición (MERINO CASALS, 2017). Consisten principalmente en hierro (Fe) mezclado con otros elementos como carbono (C), zinc (Zn), silicio (Si) o aluminio (Al). Estas combinaciones alteran las propiedades del metal puro, hierro, logrando así un material como mayor resistencia o menor propensión a la oxidación. (EQUIPO EDITORIAL, ETECÉ, 2023)

2.1.1 Tipos de acero



Fuente: (WEERG, 2020)

Realizado por: (Bastidas, J; Colcha, I, 2023)

2.2 Acero ASTM A36

El acero ASTM A36 es un tipo común de acero al carbono que sobresale en la construcción, la fabricación y varios sectores industriales. Es conocido por su asequibilidad y es la mejor opción entre los aceros al carbono. A pesar de su baja concentración de carbono y su mínimo contenido de aleación, su popularidad se debe a su capacidad para combinar resistencia con durabilidad. Este acero tiene excelentes propiedades de resistencia y se ha convertido en un recurso importante debido a su versatilidad y rendimiento confiable en diversas aplicaciones industriales, lo que refleja su importancia en ingeniería y fabricación. (CAPUS SOLANO, 2020. p. 14)

2.2.1 Propiedades químicas y mecánicas del acero ASTM A36

2.2.1.1 Propiedades químicas del Acero ASTM A36

Tabla 2-1: Propiedades químicas del acero ASTM A36

C	Si	Mn*	S	P	Cu**
≤ 25	≤ 40	-	≤ 0,05	≤ 0,04	≥ 0,20

Fuente: (CAPUS SOLANO, 2020. p. 14)

Realizado por: (Bastidas, J; Colcha, I, 2023)

Aunque el contenido de manganeso está indicado en el certificado de calidad, no así. Por el contrario, si al realizar el pedido se especifica una aleación, se deberá determinar el contenido mínimo de cobre. Estas medidas aseguran el cumplimiento de determinados estándares de calidad y composición y proporcionan información detallada sobre los elementos contenidos en los materiales requeridos. (DIPAC, 2023)

2.2.1.2 Propiedades mecánicas del Acero ASTM A36

Tabla 2-2: Propiedades mecánicas del acero ASTM A36

Tabla de propiedades mecánicas del Acero ASTM A36		
Propiedades mecánicas		Notas
Resistencia a la tracción, MPa (ksi)	400-550 (58-80)	Placas de acero, formas y barras
Límite elástico (Esfuerzo de fluencia, MPa (ksi) ≥)	250 (36)	Espesor ≤ 200mm (8 pulg.)
	220 (32)	Espesor de placas de acero > 200mm (8 pulg.)
Elongación, %, ≥	20	Placas y barras en 200 mm (8 pulg.)
	23	Placas y barras en 50 mm (2 pulg.)

Dureza Brinell, HBW	119-162	Basado en la conversión de resistencia a la tracción
Módulo de elasticidad, GPa (ksi)	200 (29×10^3)	-
Prueba de impacto Charpy con muesca en V, J (ft·lbf), \geq	27 (20)	Formas estructurales, ubicación alternativa del núcleo
Módulo de corte, GPa (ksi)	79.3 (11.5×10^3)	-
Fy del acero A36 (Limite de fluencia), MPa (ksi), \geq	250 (36)	-

Fuente: (PANEL, 2023)

Realizado por: (Bastidas, J; Colcha, I, 2023)

2.3 Corrosión

Es el fenómeno mediante el cual ciertos materiales experimentan un deterioro debido a una reacción química, específicamente, una oxidación-reducción, que se desencadena como resultado de su interacción con el entorno que lo rodea (EQUIPO EDITORIAL, ETECÉ, 2021).

2.3.1 Tipos de corrosión

Corrosión química. Esta ocurre cuando un material reacciona en presencia de un líquido o gas corrosivo, llevándolo a disolverse completamente o saturar el líquido. Este fenómeno puede manifestarse de varias maneras:

- **Ataque por metal líquido:** Se produce cuando un metal sólido entra en contacto con otro metal en estado líquido, resaltando en la corrosión del primero en sus puntos más vulnerables debido a la acción del segundo.
- **Lixiviación selectiva:** se presenta cuando hay una corrosión selectiva en aleaciones metálicas, afectando ciertos componentes de la aleación de manera preferencial.
- **Ataque químico:** se manifiesta a través de reacciones químicas agresivas con solventes potentes, capaces de disolver materiales como polímeros, generalmente considerados resistentes a la corrosión.

Corrosión electroquímica es un fenómeno que se manifiesta comúnmente en metales, donde los átomos pierden electrones y se convierten en iones. Este proceso puede tener varias manifestaciones:

- Corrosión microbiológica: Se desencadena por organismos microscópicos vivos que tienen la capacidad de modificar la química de los materiales, incluyendo algas, hongos y bacterias.
- Corrosión galvánica: considerada como la forma más intensa de corrosión electroquímica, ocurre cuando interactúan metales diferentes entre sí. Uno de los metales actúa como un ánodo, mientras que el otro funciona como cátodo, formando una pila galvánica.
- Corrosión por aireación superficial: también conocida como Efecto Evans, se manifiesta en superficies planas ubicadas en lugares húmedos y sucios, creando entornos con carga electronegativa que propician este tipo de corrosión (EQUIPO EDITORIAL, ETECÉ, 2021).

2.4 Velocidad de corrosión

La tasa de oxidación del metal por unidad de tiempo y superficie de la armadura expuesta, conocida como velocidad de corrosión del acero en condiciones de corrosión generalizada, puede ser descrita como la velocidad de disminución del espesor del acero convertido en óxido por unidad de tiempo. Esta medida se expresa en micrómetro por año ($\mu\text{m}/\text{año}$) y también puede ser expresada en unidades electroquímicas, tales como miliamperios por metro cuadrado (mA/m^2) o microamperios por centímetro cuadrado ($\mu\text{m}/\text{cm}^2$) (GARCÉS, y otros, 2020 pág. 18)

2.5 Equipos de medición

2.5.1 Balanza analítica

La balanza analítica, también conocida como balanza de laboratorio, esta específicamente diseñada para medir pequeñas masas, especialmente aquellas por debajo de los miligramos. Su aplicación principal es en el ámbito químico cuantitativo, donde se busca una precisión excepcional. Por lo general, ofrece una legibilidad que permite la lectura de hasta cuatro decimales a la derecha del punto decimal, llegando hasta 0,0001 gramos. Debido a su extremada sensibilidad, estas balanzas deben ser resguardadas de corrientes de aire, y se recomienda su uso con una barrera protectora para garantizar mediciones precisas. (LASTRAS PÉREZ, 2021 pág. 14)

2.6 Equipo de integridad superficial

Es un conjunto de procedimientos orientados a la evaluación y mejora de la integridad superficial de materiales y componentes. Este equipo se centra particularmente en prevenir y detectar

defectos en la superficie que podrían incidir en la resistencia, durabilidad y desempeño de los elementos. (ALVEAR CISNEROS, y otros, 2020)

También engloba diversos aspectos como la evaluación de la influencia en las operaciones de fresado prismático de materiales, la prevención y detección de imperfecciones en la superficie, el manejo de la corrosión, y el mantenimiento de la superficie y subsuperficie de las piezas en condiciones óptimas. (CHANDIAS PÉREZ, 2022. p. 8)

2.6.1 Rugosímetro

Es un dispositivo de medición manual de rugosidad, que evalúa la superficie de piezas mecanizadas, calcula parámetros según las condiciones de medición seleccionadas y muestra de manera clara todos los resultados y perfiles en su pantalla LCD. (DIRECT INDUSTRY, 2023)

2.7 Agentes corrosivos

Las sustancias anticorrosivas son aquellas capaces de disolver los elementos metálicos presentes en las tuberías, provocando la liberación de niveles peligrosos de cobre y plomo, así como fugas a través de pequeñas perforaciones (CASTILLO GUEVARA, y otros, 2022). Estas sustancias representan peligros ya que tienen la capacidad de ocasionar daño permanente en los tejidos del cuerpo, los ojos y también la piel (IRRIBARREN B., y otros, 2018).

2.8 Temperatura

En el estudio de los procesos de corrosión, la temperatura juega un papel crucial. A medida que la temperatura aumenta, se observa un incremento en la velocidad de corrosión, ya que las reacciones químicas subyacentes tienden a acelerarse en entornos más cálidos, Este fenómeno se atribuye a la aceleración de las reacciones electroquímicas responsables de la corrosión.

Además, las altas temperaturas propician la formación de óxidos y otros compuestos en la superficie del metal, alterando su estructura y volviéndolo as propenso a la corrosión. Es importante destacar que la relación ente temperatura y corrosión varía según el tipo de metal y las condiciones específicas del entorno, lo que resalta la complejidad intrínseca de este fenómeno. (Introducción al fenómeno de corrosión: tipos, factores que influyen y control para la protección de materiales (Nota técnica), 2015 pág. 134)

2.9 Nivel de pH

La corrosión está estrechamente vinculada al entorno químico en el que se encuentra un metal y el pH, que mide la acidez o alcalinidad de una solución, puede influir en la velocidad y la naturaleza de la corrosión. En entorno ácidos o alcalinos extremos, los metales pueden experimentar corrosión más rápida y agresiva, Por ejemplo, en ambientes altamente ácidos, la formación de iones hidrógeno puede intensificar la corrosión, mientras que, en medios alcalinos, la presencia de iones hidroxilo puede desencadenar procesos corrosión. La relación específica entre el pH y la corrosión varía según el tipo de metal y las condiciones del entorno, pero comprender y controlar el nivel de pH es esencial para mitigar los efectos adversos de la corrosión en diversas aplicaciones industriales y estructuras metálicas. (PCC GROUP , 2022)

2.10 Humedad relativa

La humedad relativa desempeña un papel crucial en el proceso de corrosión atmosférica. Si la humedad relativa se sitúa por debajo de un umbral específico, conocido como humedad relativa crítica, no se formará una película de electrolito sobre la superficie metálica y la corrosión se considerará insignificante. Un estudio realizado por Schikoor demostró que, en el caso del hierro, la velocidad de corrosión es notable cuando la superficie está claramente mojada o expuesta a una humedad relativa del 95%. Sin embargo, cuando la humedad relativa se sitúa entre el 60% y el 80% y la atmósfera está libre de contaminantes, la corrosión se vuelve insignificante. (Pedraza Yepes, 2020, p. 25)

2.11 Presión Atmosférica

La presión atmosférica puede tener un impacto en la corrosión de materiales metálicos, especialmente en ambientes sujetos a cambios abruptos de presión, donde la corrosión inducida por este fenómeno puede surgir. La corrosión atmosférica ocurre cuando los metales están expuestos a la atmósfera y reaccionan con los gases y la humedad presentes en ella.

2.12 Resistencia a la corrosión

Las aleaciones resistentes a la corrosión son metales o mezclas diseñadas para mantener su integridad frente a entornos corrosivos, abarcando altas temperaturas, humedad, exposición química y otros desafíos ambientales. Con aplicaciones en construcción, aeroespacial, automotriz, industrias y siderurgia, la elección de la aleación adecuada depende del entorno corrosivo y las

propiedades necesarias, como resistencia, durabilidad y conductividad. En el caso de los sujetadores de acero inoxidable, su resistencia a la corrosión no solo se define por su composición, sino por factores como diseño, calidad de superficie, esfuerzos y presencia de grietas. Elementos ambientales como concentración de iones cloruro, composición química, temperatura, pH, presión y agentes oxidantes son determinantes al evaluar la resistencia y seleccionar el material apropiado. Estos elementos colectivos influyen en la idoneidad del material frente a la corrosión. (AMPCO, 2023)

2.13 Protección electroquímica catódica por ánodo de sacrificio

La protección catódica mediante ánodos de sacrificio es un enfoque de protección en el cual se colocan metales con un potencial electroquímico más bajo que la estructura a proteger en la superficie metálica, asumiendo así la función de ánodos.

2.14 Acero ASTM A36 por recubrimiento de zinc (galvanizado)

El zinc desempeña un papel importante en la protección catódica al actuar como ánodo de sacrificio para proteger el hierro y al formar una barrera pegajosa y muy duradera (llamada pátina) que, cuando se deposita sobre el metal, retarda la corrosión. Se han desarrollado diversas tecnologías, como galvanoplastia, pulverización térmica, galvanización en caliente, infiltración de zinc y enchapado de metal, para mejorar la calidad de la capa galvanizada. Este elemento es muy importante en aplicaciones como el acero galvanizado, tiene un color blanco azulado característico y no se deteriora con el aire seco; pero puede formar óxidos o carbonatos básicos en ambientes húmedos. La capa superficial, que actúa como barrera contra la corrosión, destaca su importancia en la protección de los metales. (ÁVILA BRITO, y otros, 2017. p. 24)

2.15 Recubrimiento anticorrosivo

Los recubrimientos anticorrosión son básicamente recubrimientos industriales que actúan como barrera protectora sobre superficies corroídas. Utilizado principalmente en ambientes corrosivos como áreas costeras o áreas industriales con productos químicos corrosivos, muchos factores afectan su efectividad. Los entornos que incluyen agua, aire y productos químicos pueden acelerar la corrosión. La temperatura (que puede debilitar o agrietar el recubrimiento) y la contaminación por ácidos y elementos químicos también son factores críticos. Mecanismos como la fricción o la vibración pueden debilitar estas capas. La falta de mantenimiento puede provocar la acumulación de suciedad y productos químicos que afectan a su durabilidad. Además, el material de revestimiento también es decisivo, ya que algunos materiales tienen una mayor resistencia a la

corrosión. Estos factores combinados afectan directamente la vida útil del recubrimiento y la eficacia anticorrosión. (MORLOPIN, 2023)

2.15.1 SIGMAFAST™ 278

Es una imprimación epoxi de dos componentes que contiene fosfato de zinc, altamente concentrada y de secado rápido, lo que la hace ideal como capa intermedia anticorrosión. Ofrece una excelente resistencia a la intemperie y la capacidad de curar hasta -5 °C (23 °F), lo que acelera la producción. Tiene la certificación ACQPA 27752 y está disponible en una variedad de colores como rojo, marrón, gris y un tono semi brillante llamado MIO. Esta fórmula se adhiere rápidamente y se puede volver a pintar incluso a bajas temperaturas, satisfaciendo una variedad de necesidades del sistema anticorrosión. (COMEX, 2019)

2.16 Aluminio

El aluminio destaca por su versatilidad y economía, es el metal no ferroso más utilizado y muy valorado en diversos campos industriales por sus propiedades únicas. Aunque es el tercer elemento más abundante en la Tierra después del oxígeno y el silicio, rara vez se encuentra en forma libre en la naturaleza, normalmente en forma de compuestos como silicatos u óxidos. A pesar de su importancia, su uso es relativamente nuevo en comparación con otros materiales utilizados históricamente, datando su descubrimiento en 1808 y atribuido a Friedrich Wohler en 1827, a pesar de su abundancia como recurso elemental e importancia, pero retrasó su uso a gran escala. (AVILA SINCHIRE, 2020. p. 6)

2.16.1 Propiedades del aluminio

Tabla 2-3: Propiedades físicas y químicas del aluminio

Propiedades	Aluminio (Al)
Valencia	3
Número atómico	13
Estado de oxidación	+3
Masa atómica	26,9815 g/mol
Densidad	2,70 g/ml
Punto de ebullición	2 450 °C
Punto de fusión	660 °C
Descubridor	Hans Christian Oersted en 1825

Fuente: (RODRIGUEZ, 2022)

Realizado por: (Bastidas, J; Colcha, I, 2023)

2.16.2 Composición química del aluminio

El aluminio tiene un número atómico de 13, denominado Al, y pertenece al grupo 13 y al período 3 de la tabla periódica de elementos, y es un metal del bloque p. Aunque es un metal blando con un punto de fusión relativamente bajo, es sólido a temperaturas estándar de la Tierra, es parte de un mineral y no existe en su estado puro. Su estructura cristalina orientada a las caras tiene propiedades especiales: una densidad de 2,70 g/cm³ a 20°C y una longitud del borde del cristal de 4,0495 Å. El isótopo de aluminio ²⁷Al es único y conocido por su excelente conductividad eléctrica y térmica, así como por sus notables propiedades reflectantes, lo que enfatiza su importancia como elemento en diversas aplicaciones industriales y tecnológicas. (RODRIGUEZ, 2022)

2.16.3 Ecuaciones para el cálculo del ánodo de sacrificio

Fórmula del área del cilindro

Ecuación
$$A = 2\pi r h + 2\pi r^2 \quad (1)$$

Donde:

h = altura del cilindro

r = radio del cilindro

Fórmula del área de un prisma rectangular

Ecuación
$$A_{prisma} = 2(a * b + a * h + b * h) \quad (2)$$

Donde:

a y b son las aristas de las bases

h = altura

Fórmula de la ecuación cuadrática

Ecuación
$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (3)$$

2.17 Fórmula para calcular la velocidad de corrosión

$$Rc = \frac{K*W}{A*T*D} \quad [mm/año] \quad (4)$$

Donde:

K = constante de conversión (87600)

W = pérdida de masa (g)

A = Área superficial (cm²)

T = Tiempo de exposición (horas)

D = Densidad del metal (g/cm³)

2.18 Normativa de calidad

Los estándares de calidad representan las pautas, métodos y requisitos que utiliza una organización para garantizar una calidad constante de productos y procesos. Los beneficios incluyen mejora continua de la calidad, cumplimiento normativo efectivo, reducción de variaciones y defectos, mayor productividad y seguridad en el lugar de trabajo, mayor satisfacción del cliente y operaciones más fluidas. Estas regulaciones son esenciales para mantener altos estándares y garantizar la entrega de excelentes productos y servicios. (SAFETY CULTURE, 2022)

2.18.1 Norma ASTM G1-03:2017

La Norma ASTM G1-03:2017 se presenta como un estándar esencial que establece pautas para la preparación, limpieza y evaluación de especímenes destinados a pruebas de corrosión. Su relevancia radica en asegurar la exactitud y la reproducibilidad de los resultados obtenidos en estas pruebas. Ampliamente utilizada en diversos sectores, como la industria petrolera, la minería y la construcción, esta norma desempeña un papel fundamental al proporcionar directrices unificadas que garantizan la calidad y fiabilidad de los datos generados durante los procesos de evaluación de corrosión. (Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens, 2017)

2.18.2 Norma SSPC-PA 1. Pintado de acero para taller, campo y mantenimiento

La norma SSPC-PA 1 titulada “Pintura de acero para taller, campo y mantenimiento”, detalla los procedimientos para la aplicación de pintura en superficies de acero, abarcando requisitos tanto específicos como generales para este proceso. Su relevancia reside en asegurar la adecuada

preparación de la superficie y la aplicación de recubrimiento, asegurar la adecuada preparación de la superficie y la aplicación de recubrimiento, aspectos cruciales que impactan directamente en la calidad final del revestimiento o pintura. (AMPP TM, 2016)

2.18.3 Norma SSPC-SP-5 NACE 1

La norma SSPC-SP-5 NACE 1, también conocida como “Limpieza con chorro de abrasivo grado metal blanco”, establece un estándar para la preparación de superficies metálicas mediante la utilización de abrasivos a presión, con el objetivo de lograr una limpieza completa y uniforme. Este método desempeña un papel esencial al garantizar la adecuada adherencia de recubrimiento y pinturas, proporcionando así una defensa efectiva contra la corrosión y otros posibles daños. La norma presenta la condición final de la superficie, aspectos cruciales que impactan directamente en la calidad y longevidad de los recubrimientos aplicados. (CYM MATERIALES SA, 2015 pág. 3)

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Introducción al Marco Metodológico

La investigación se lleva a cabo mediante una experimentación para analizar la tasa de corrosión en diferentes muestras de acero plantadas en el ambiente real de la Estación de Investigación Milagro (ADELCA) y en ambiente controlado el laboratorio de integridad superficial ubicado en el taller de fundición en la “ESPOCH”. Este diseño permitirá la manipulación controlada de factores, como la temperatura, la humedad y nivel de pH, para comparar cómo influyen a la tasa de corrosión en las muestras de acero analizadas. Se considera la medición de la integridad superficial de las probetas mediante un rugosímetro, para analizar cómo influyen sobre la tasa de corrosión. Además, la replicación y una recopilación secuencial de datos fortalecerán los resultados. Este enfoque experimental proporcionará una base sólida para el registro de datos y el análisis estadístico, lo que permitirá obtener conclusiones significativas sobre la tasa de corrosión en ambas estaciones.

3.2 Fundamentos de la Metodología

3.2.1 Tipo de Investigación

Se considera una investigación aplicada debido a que busca utilizar conocimientos científicos y técnicos existentes para abordar un problema o fenómeno específico como es la tasa de corrosión de los aceros investigados en los ambientes de las estaciones de investigación. El uso del equipo especializado de integridad superficial no solo implica la aplicación de métodos de medición y análisis para abordar problemas reales de corrosión a nivel industrial, sino también permitirá establecer una conexión entre los datos de rugosidad obtenidos y el nivel de corrosión observado en los diferentes tipos de aceros analizados. Este equipo posibilitará verificar si existe una relación directa entre la rugosidad superficial y el grado de corrosión en las muestras de acero, ofreciendo así información relevante para comprender y prevenir este fenómeno en aplicaciones industriales.

Este enfoque práctico busca obtener información directamente aplicable, como medidas preventivas o estrategias de gestión, para abordar la corrosión en contextos particulares como la estación de investigación (ADELCA) y el laboratorio de integridad superficial (ESPOCH). El objetivo es generar conocimientos y datos que puedan emplearse de inmediato en el proyecto de

investigación, para la toma de decisiones relacionadas con la investigación, mejorar procesos y desarrollar soluciones específicas para enfrentar la corrosión en entornos como estos.

3.2.2 *Enfoque de la Investigación*

Este estudio adopta un enfoque cuantitativo al concentrarse en analizar y medir de manera precisa la tasa de corrosión en los dos entornos distintos. La utilización de un equipo especializado permite realizar mediciones específicas de la rugosidad superficial que ayudarán a evaluar el nivel de corrosión en las muestras bajo estas condiciones. Además de la corrosión, se recolectarán datos numéricos como temperatura, tiempo y humedad. Este enfoque cuantitativo se centra en la recolección y análisis minucioso de estos datos priorizando mediciones precisas para comprender la naturaleza y el comportamiento corrosivo de estos tipos de acero.

3.2.3 *Alcance de la Investigación*

El alcance de esta investigación se inclina hacia lo descriptivo y correlacional. Se centra en comprender y describir la tasa de corrosión en relación con la rugosidad superficial en las muestras de acero plantadas tanto en la estación de investigación en Milagro y Laboratorio (ESPOCH), entornos con características particulares necesarias para el desarrollo de este experimento. Además, se investiga y busca la correlación entre variables importantes como el tiempo, temperatura, humedad y el avance corrosivo en los aceros analizados, para establecer relaciones causales e identificar cómo estos factores afectan directamente en la tasa de corrosión. Se trata de una investigación cuidadosa y de una narrativa detallada sobre el fenómeno estudiado que permite obtener información pertinente para el desarrollo de esta investigación y posteriores.

3.3 *Diseño de la Investigación*

Para el estudio de este proyecto sobre la tasa de corrosión en ambientes controlados, se implementará un diseño no experimental-longitudinal. Este enfoque se fundamenta en la aplicación de metodologías que implican la medición directa y sistemática de los resultados que se producen en el fenómeno de la corrosión en función del tiempo. Según (Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción), 2020 pág. 168), la investigación experimental busca establecer relaciones casuales entre variables, asegurando la atribución directa de efectos a las causas investigadas, pero en este trabajo se van a estudiar las variables de velocidad de corrosión y variación de rugosidad superficial sin manipularlas, observándolas y registrando datos de cada muestra de acero en un cierto tiempo una sola vez, y

analizando si presentan una correlación. Esta metodología permitirá comprender la relación de una variable en otra en el contexto de la corrosión del acero. Se empleará un equipo de integridad superficial, como lo es un rugosímetro, para llevar a cabo mediciones específicas y cuantificar los efectos de la corrosión en la integridad superficial de los aceros analizados.

3.4 Métodos, Técnicas e Instrumentos de Investigación

Durante el desarrollo del proyecto de integración curricular, se llevará a cabo métodos y técnicas especializadas para la recolección y análisis de datos. Esta estrategia se enfocará en garantizar una recopilación exhaustiva y precisa de información relevante para el estudio. La meticulosa selección y aplicación de estos métodos permitirá un proceso riguroso de recolección de datos, asegurando la calidad de la información recabada. Además, la implementación de técnicas específicas de análisis posibilitará una interpretación detallada y significativa de los datos, contribuyendo a la efectividad y credibilidad de los resultados respecto a la tasa de corrosión en las diferentes muestras de acero plantadas en las 2 estaciones de investigación.

3.4.1 Métodos de Investigación

Para la evaluación inicial y el desarrollo de la propuesta sobre la corrosión del acero, se recurrirá a métodos experimentales en pruebas de laboratorio y de campo. En primer lugar, se llevará a cabo un minucioso análisis de probetas de acero para evaluar su velocidad de corrosión. Luego, se ejecutarán pruebas controladas en laboratorio que simularán condiciones ambientales específicas, permitiendo la medición precisa de la tasa de corrosión y la rugosidad de las muestras. Al mismo tiempo, se recopilarán datos ambientales relevantes del sitio de estudio. La combinación de estos datos con una exhaustiva revisión de la literatura científica y la comprensión de datos obtenidos servirá para comprender a fondo el fenómeno de la corrosión del acero y para proponer estrategias eficaces de prevención y control.

3.4.2 Técnicas de Investigación

En el estudio de la corrosión en ambientes controlados, se prevé emplear técnicas de observación directa para analizar los efectos corrosivos en los materiales. Esta técnica implica la inspección visual detallada de las superficies, permitiendo identificar cambios, deterioros o patrones de corrosión directamente en los cuatro diferentes materiales. La observación directa facilita la detección de signos visibles de corrosión, como cambios de textura, decoloración, rugosidad o

perdida de integridad superficial, proporcionando información clave para comprender la naturaleza y el alcance de la relación de estos parámetros en estos entornos específicos.

3.4.3 Instrumentos de Investigación

Para investigar la corrosión en ambientes controlados, se emplean diversos instrumentos especializados. Entre ellos se encuentra el rugosímetro, un equipo de integridad superficial utilizado para medir la textura o las superficies. Sus características se detallan en la Tabla 3-1. Además, se utiliza una balanza analítica para evaluar la pérdida de masa del material, cuyas especificaciones se encuentran en la Tabla 3-2. Asimismo, se emplea un calibrador para garantizar mediciones exactas de las dimensiones de cada muestra de acero, cuya descripción se encuentra en la Tabla 3-3. Se incorpora también un anemómetro para la medición de factores como la humedad y temperatura, cuyas especificaciones se muestran en la Tabla 3-4, así como un medidor de pH, cuyos detalles se presentan en la Tabla 3-5. Por último, se hace uso de una cámara de corrosión detallada en la Tabla 3-6, que permite reproducir en el laboratorio de integridad superficial (ESPOCH) el entorno real de la estación en Milagro (ADELCA). Estos instrumentos posibilitan llevar a cabo mediciones precisas de la rugosidad superficial, cuantificar la pérdida de masa debido a la corrosión, garantizar la exactitud en las dimensiones de los factores considerados, simular condiciones específicas de exposición y reproducir entornos controlados para comprender mejor el comportamiento corrosivo en el acero analizado.

3.4.3.1 Rugosímetro

Tabla 3-1: Descripción del equipo (Rugosímetro)

Descripción del equipo			Imagen
Marca - Modelo		phase II SRG - 4600	
Rango de medición	Eje z	160 µm	
	Eje x	17,5 µm	
Aguja		Diamante natural, ángulo de cono de 90°, radio de punto de 5 µm	
Desplazamiento de aguja		40 mm	
Tipo		De superficie	
Especificaciones		Con pantalla LCD	

Realizado por: (Bastida, J; Colcha, I, 2023)

3.4.3.2 Balanza analítica

Tabla 3-2: Descripción del equipo (balanza analítica)

Descripción del equipo		Imagen
Marca	OHAUS	
Modelo	EX225	
Indicador	Pantalla gráfica VGA a todo color	
Capacidad máxima	220g	
Lectura mínima	0,01 mg	
Color	Blanco	
Material	Base metálica, carcasa superior de ABS, bandeja de acero inoxidable	
Alimentación	Adaptador de CA	

Realizado por: (Bastida, J; Colcha, I, 2023)

3.4.3.3 Calibrador

Tabla 3-3: Descripción del equipo (Calibrador)

Descripción del equipo		Imagen
Marca	TRUPER	
Batería	LR44 o SR44	
Apagado	Automático, mueva la unidad digital para encender la alimentación	
Resolución	0,01 mm / 0,005 \"	
Botón:	ON/OFF, cero, mm/pulgada	
Material	Acero inoxidable	

Realizado por: (Bastida, J; Colcha, I, 2023)

3.4.3.4 Medidor de pH

Tabla 3-4: Descripción del equipo (medidor de pH)

Descripción del equipo		Imagen
Marca	Prolabor	
Modelo	phMeter	
Rango de medición	0 – 14,00 pH	
Precisión	0,01 pH	
Alimentación	21,5 V	
Peso	110 g	
Color	Azul, negro	
Largo x Ancho x Altura	15,5cm x 3,1cm x 1,8 cm	
Material	Plástico	

Realizado por: (Bastida, J; Colcha, I, 2023)

3.4.3.5 Cámara de corrosión

Tabla 3-5: Descripción del equipo (Cámara de corrosión)

Descripción del equipo		Imagen
Largo x Ancho x Altura	65x37x32 cm	
Fuente de alimentación	110 V	
Color	Blanco	
Material de fabricación	Madera, vidrio y acero	

Realizado por: (Bastida, J; Colcha, I, 2023)

3.5 Desarrollo Metodológico de la Investigación

3.5.1 Ubicación

Estación de investigación en la “ESPOCH”



Ilustración 3-1: Laboratorio de integridad superficial en la “ESPOCH”

Realizado por: (Bastidas, J; Colcha, I, 2023)

El desarrollo de esta investigación se la lleva a cabo en el laboratorio de integridad superficial que se localiza en el segundo piso del taller de fundición de la Facultad de Mecánica en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo matriz Riobamba. El laboratorio se encuentra a una altitud de 2808,25 m.s.n.m, con las siguientes coordenadas:

- Latitud: -1,6582126
- Longitud: -78,6759128

Estación de investigación en Milagro “ADELCA”



Ilustración 3-2: Estación de Milagro (ADELCA)

Realizado por: (Bastidas, J; Colcha, I, 2023)

La empresa ADELCA se encuentra ubicada en el Cantón Milagro-Ecuador, en el Km 6 de la vía San Miguel, en las cercanías de la hacienda San Germán. Fundada en 1981, ADELCA se destaca por ser una de las empresas líderes en la fabricación de aceros en el país, con un enfoque particular en productos de alta calidad y tecnología avanzada.

La colaboración entre ADELCA y la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO es un ejemplo destacado de cómo la empresa se involucra en iniciativas de investigación y desarrollo. Este convenio beneficia tanto a la empresa como a la universidad, ya que les permite colaborar en proyectos innovadores y compartir conocimientos y recursos. (CONVENIOS Espoch, 2023 pág. 3)

3.5.2 *Muestras comparativas para el laboratorio “ESPOCH”*

De acuerdo con la construcción de la cámara de corrosión, las dimensiones de dicha cámara son 65x37x32 cm. Por consiguiente, es necesario que las probetas destinadas a esta cámara sean de dimensiones reducidas para adaptarse a las restricciones de espacio y posibilitar la ejecución de la investigación. Tras un análisis de las dimensiones de la cámara, se ha determinado el tamaño modificado que deberán tener las probetas como se muestra en la Tabla 3-6 se especifica las dimensiones a realizar las probetas.

Tabla 3-6: Dimensiones de la probeta para la cámara de corrosión

Dimensiones	
Largo	70 mm
Ancho	50 mm
Espesor	2,8 mm

Realizado por: (Bastida, J; Colcha, I, 2023)

3.5.3 *Diseño de probetas para el laboratorio “ESPOCH”*

Mediante el software SolidWorks se realiza el esquema de la probeta con las dimensiones establecidas como se muestra en la Ilustración 3-3 con sus respectivas medidas. El software permite simular el modelo deseado, lo que es crucial para realizar ajustes rápidos en el diseño, agilizando el proceso de fabricación.

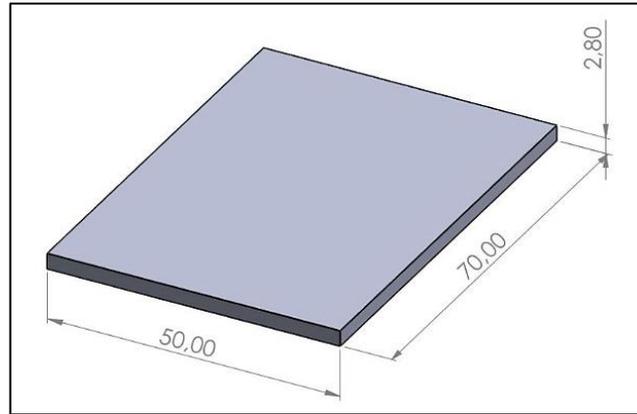


Ilustración 3-3: Diseño de las probetas en SolidWorks

Realizado por: (Bastidas, J; Colcha, I, 2023)

3.5.4 *Elaboración de las probetas para el laboratorio “ESPOCH”*

Para el desarrollo de este experimento en ambientes controlado se va a realizar 64 probetas que son divididos en 4 grupos de 16 probetas cada uno. El primer grupo es de acero negro sin recubrimiento superficial, el segundo grupo es de acero galvanizado, el tercer grupo de acero negro con recubrimiento y el último grupo de acero galvanizado con protección catódica con ánodo de sacrificio. (GUALLO CHOCA, y otros pág. 25)

3.5.4.1 *Compra del acero ASTM A36*

La adquisición del acero se llevó a cabo en el local TUGALT ubicado en la ciudad de Riobamba, el cual se dedica a la comercialización de materiales de construcción y acero. Este proveedor proporcionó una platina de acero ASTM A36, se utilizará una lámina de acero galvanizado con un espesor 2,8 mm junto con una lámina de aluminio. Ambos materiales serán adaptados a las dimensiones precisas de 70 x 50 mm, asegurando un espesor uniforme, conforme a los requisitos específicos de la investigación. Es importante destacar que tanto la platina como la plancha de acero galvanizado son productos manufacturados por ADELCA.

3.5.4.2 *Corte el acero ASTM A36*

Para realizar el corte de las probetas se utiliza una máquina cortadora de acero que permite lograr una mayor exactitud al momento de cortar las 64 probetas con las siguientes dimensiones: 70x50mm. Como se observa en la Ilustración 3-4 inicialmente, se procedió a realizar la toma de medidas, utilizando herramientas especializadas. Una vez completada esta etapa, se llevó a cabo

el corte de los materiales de acuerdo con las dimensiones exactas establecidas, asegurando un proceso conforme a los estándares requeridos.



Ilustración 3-4: Corte del acero ASTM A36

Realizado por: (Bastidas, J; Colcha, I, 2023)

3.5.4.3 *Probetas cortadas*

Como se muestra en la Ilustración 3-5 el acero ASTM A36 luego del corte se lo agrupa en 4 grupos de 16 probetas cada una, donde realiza el corte del acero negro y acero galvanizado. Para un grupo de acero galvanizado se realiza una perforación que servirá para el proceso de protección catódica con el ánodo de sacrificio.



Ilustración 3-5: Probetas cortadas

Realizado por: (Bastidas, J; Colcha, I, 2023)

3.5.4.4 *Medición con el calibrador*

Luego se procede a medir las probetas utilizando un calibrador digital de precisión. Este instrumento se selecciona por su capacidad de proporcionar medidas exactas. Aquellas probetas que no cumplen con las dimensiones especificadas se identifican para luego someterlas a un proceso de limado y así ajustarlas según los requisitos del diseño.

El calibrador digital de precisión asegura que las medidas sean exactas, lo que es fundamental para obtener resultados confiables en el estudio.



Ilustración 3-6: Medición con el calibrador

Realizado por: (Bastidas, J; Colcha, I, 2023)

3.5.4.5 *Limado de las probetas*

Este proceso se lo realiza para garantizar dimensiones uniformes, además de eliminar defectos superficiales causados por el corte. También ayuda a preparar la superficie para que se adhiera de mejor manera el recubrimiento que será aplicado al tercer grupo de probetas de acero con recubrimiento (SIGMAFAST™ 278).

El proceso de limado se realiza con cuidado y precisión para evitar dañar las probetas y garantizar su integridad estructural. Una vez ajustadas, las probetas están listas para ser utilizadas en las pruebas de corrosión, donde se evaluará su desempeño en ambientes controlados.



Ilustración 3-7: Limado de probetas

Realizado por: (Bastidas, J; Colcha, I, 2023)

3.5.5 Preparación para el Sandblasting

Luego de realizar el corte de las probetas de acero negro ASTM A36 de 70x50 mm y de espesor 2,8 mm cada una y de realizar el limado, se procede a realizar el sandblasting o chorro abrasivo. Los beneficios de este proceso es tener una textura superficial óptima (rugosidad) que favorezca la adhesión de la pintura en las probetas. La rugosidad buscada depende del material y del tipo específico de recubrimiento que se pretende aplicar al material. Según los estudios llevados a cabo por (GUALLO CHOCA, y otros pág. 38) se sugiere mantener una rugosidad dentro del intervalo de 1,6 a 2,8 mils al aplicar una presión de 6,9 bares.

De acuerdo con la norma SSPC-SP5 establece realizar este proceso con separación de 30 a 40 cm entre el operador y la probeta de forma perpendicular. Para la aplicación del recubrimiento se debe tomar en cuenta datos obtenidos por (GUALLO CHOCA, y otros pág. 39) sobre las condiciones climáticas, de esta manera se aplica SIGMAFAST™ 278 a las 16 probetas de acero negro ASTM A36 para la primera capa.

Inicialmente, se realiza un proceso de calentamiento en las probetas utilizando un soplete con el fin de mejorar la unión de la pintura a la superficie. Se utiliza el recubrimiento SIGMAFAST™ 278, reconocido por ser un epoxi con fosfato de zinc, aplicándolo a una presión máxima de 227 bares. Posterior a la aplicación de este recubrimiento, se concede un lapso de 24 horas para favorecer el proceso de curado.

Durante la última etapa de procesamiento para la segunda capa, se sigue un procedimiento similar, con la única diferencia de que no se realiza el calentamiento de las probetas. Se procede a la

aplicación del recubrimiento SIGMADUR™ 500H, el cual contiene poliuretano alifático acrílico, concediéndole un periodo de 72 horas para llevar a cabo el proceso completo de curación.

Como se observa en la Ilustración 3-8, las probetas se someten a este proceso donde se les otorga un acabado de color verde distintivo, que facilita su identificación y seguimiento durante el estudio de la corrosión.

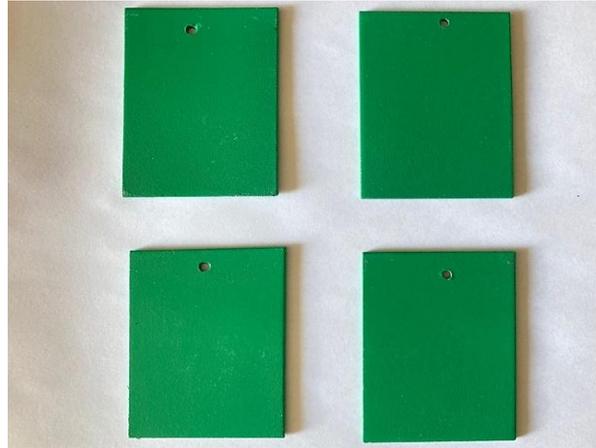


Ilustración 3-8: Probetas de acero con recubrimiento (SIGMAFAST™)

Realizado por: (Bastida, J; Colcha, I, 2023)

3.5.5.1 Características del Sandblasting

El SIGAFAST™ 278 y el SIGMADUR™ 550H son recubrimientos industriales ampliamente utilizados en la industria debido a su excelente rendimiento y durabilidad. El primero se emplea como imprimación de secado rápido en aplicaciones donde se requiere una rápida puesta en servicio, ofreciendo una excelente resistencia a la corrosión. El segundo se utiliza como recubrimiento epoxi de alta resistencia para proteger superficies expuestas a condiciones ambientales adversas, proporcionando una excelente protección contra la corrosión y los efectos del clima. Ambos recubrimientos son reconocidos por su calidad y desempeño en la protección de superficies industriales (COMEX, 2019). A continuación, se muestra en la Tabla 3-7 la composición de cada uno de los recubrimientos:

Tabla 3-7: Características del Sandblasting

SIGMAFAST™	
Tipo de recubrimiento	Composición
SIGMAFAST™ 278	75% de sustrato 25% de disolvente a una temperatura de -5°C
SIGMADUR™ 550H	87% de sustrato 13% de disolvente a una temperatura de -5°C

Fuente: (COMEX, 2019)

Realizado por: (Bastida, J; Colcha, I, 2023)

3.5.6 *Pesaje de las probetas*

En el proceso de recolección de datos de masa para este estudio, se emplea una balanza analítica de la reconocida marca OHAUS, instalada en el laboratorio de Investigación de la Facultad de Ciencias. Esta balanza, certificada para asegurar precisión y confiabilidad, posee una capacidad de 220g, como se muestra en la Ilustración 3-9. Es importante destacar que esta instrumentación especializada proporciona lecturas con tres números decimales, garantizando la exactitud requerida para la investigación.



Ilustración 3-9: Pesaje de probetas

Realizado por: (Bastidas, J; Colcha, I, 2023)

3.5.7 *Equipo de Integridad Superficial (Rugosímetro)*

Para medir la rugosidad se utiliza el SRG-4600 un rugosímetro que destaca por su precisión y facilidad de uso. Con un nuevo palpador de diamante y diversas escalas de medición, proporciona lecturas sensibles y precisas en superficies. Su pantalla LCD de caracteres grandes y portabilidad

con batería facilitan su reconocimiento y uso en el taller. Su interfaz intuitiva permite ajustes personalizados y cambios de unidades. Además, incluye Bluetooth y opciones adicionales como impresora, soporte y software. Reconocido en la industria por su alta confiabilidad, el SRG-4600 de fase II es el líder en pruebas de rugosidad y perfil de superficie para garantizar la calidad en producción y control. (DIRECT INDUSTRY, 2023)



Ilustración 3-10: Rugosímetro

Realizado por: (Bastidas, J; Colcha, I, 2023)

3.5.8 *Medición de la rugosidad*

La medición de rugosidad es crucial para evaluar la textura y calidad de superficies. Utilizando en este caso un rugosímetro, se cuantifican pequeñas irregularidades, proporcionando datos precisos sobre perfiles superficiales. Esto garantiza estándares de calidad en diversas industrias, desde manufactura hasta ingeniería, permitiendo mejoras en procesos y productos para cumplir con especificaciones rigurosas.

A continuación, en la Ilustración 3-11 se muestra la medición de la rugosidad. Previo a este paso se realiza una cuidadosa limpieza de cada probeta buscando establecer condiciones ideales para la medición. Posteriormente, cada probeta se posiciona sobre una superficie plana, asegurando una mayor exactitud en los resultados obtenidos durante la evaluación de la rugosidad.



Ilustración 3-11: Medición de la rugosidad

Realizado por: (Bastidas, J; Colcha, I, 2023)

3.5.9 Codificación y datos iniciales de las probetas

3.5.9.1 Acero ASTM A36 sin recubrimiento

Para el primer grupo que es de acero negro sin recubrimiento superficial se le dará una codificación mostrada en la Tabla 3-8 donde PA-N-SXX es la denominación a este primer grupo siendo XX el número de probeta, también se muestra el espesor y masa inicial de cada una de las probetas.

Tabla 3-8: Datos iniciales de las probetas de acero negro

ACERO NEGRO				
N°	Código	Tipo de recubrimiento anticorrosivo	Espesor (mm)	Masa Inicial (g)
1	PA-N-S01	Sin recubrimiento	2,8	54,704
2	PA-N-S02	Sin recubrimiento	2,8	54,701
3	PA-N-S03	Sin recubrimiento	2,8	54,644
4	PA-N-S04	Sin recubrimiento	2,8	54,672
5	PA-N-S05	Sin recubrimiento	2,8	54,699
6	PA-N-S06	Sin recubrimiento	2,8	54,683
7	PA-N-S07	Sin recubrimiento	2,8	54,676

8	PA-N-S08	Sin recubrimiento	2,8	54,675
9	PA-N-S09	Sin recubrimiento	2,8	54,658
10	PA-N-S10	Sin recubrimiento	2,8	54,677
11	PA-N-S11	Sin recubrimiento	2,8	54,66
12	PA-N-S12	Sin recubrimiento	2,8	54,689
13	PA-N-S13	Sin recubrimiento	2,8	54,627
14	PA-N-S14	Sin recubrimiento	2,8	54,607
15	PA-N-S15	Sin recubrimiento	2,8	54,669
16	PA-N-S16	Sin recubrimiento	2,8	54,651

Realizado por: (Bastida, J; Colcha, I, 2023)

Además, en la Tabla 3-9 se muestra los datos iniciales de la rugosidad en las probetas medidas en 8 puntos específicos, siendo así 4 puntos en la cara frontal y 4 puntos en la cara posterior. Para facilitar la identificación de la cara posterior de la frontal de las probetas, se marcó con un marcador metálico, sin que esto afectara los procesos de pérdida de masa y rugosidad. Se estableció esta marcación en los fillos de mayor longitud, dos puntos para identificar el lado derecho y 1 punto para identificar el lado izquierdo, lo que permite determinar la cara frontal. Al girar la probeta automáticamente se identifica como la cara posterior.

Tabla 3-9: Datos Iniciales de la rugosidad en Acero Negro

Acero Negro	RUGOSIDAD INICIAL (μm)							
	Cara frontal				Cara posterior			
Código	Mitad Superior	Mitad Inferior	Mitad derecha	Mitad Izquierda	Mitad Superior	Mitad Inferior	Mitad derecha	Mitad Izquierda
PA-N-S01	0,558	0,591	0,579	0,602	0,831	0,778	0,764	0,838
PA-N-S02	0,496	0,435	0,633	0,596	0,812	0,829	0,779	0,685
PA-N-S03	0,903	1,123	0,703	0,919	0,525	0,546	0,627	0,593
PA-N-S04	0,564	0,537	0,686	0,638	0,881	1,283	0,817	1,207
PA-N-S05	0,524	0,548	0,593	0,642	0,949	1,809	0,618	1,072
PA-N-S06	0,701	0,608	0,716	0,622	0,571	0,514	0,811	0,564
PA-N-S07	0,636	0,666	0,703	0,748	0,803	0,801	0,772	0,986
PA-N-S08	0,606		0,646	0,644		0,865	0,487	0,622
PA-N-S09	0,562	0,591	0,579	0,576	0,884	0,818	0,721	0,799
PA-N-S010	0,606	0,789	0,626	0,62	0,484	0,464	0,495	0,486
PA-N-S011	0,763	0,648	0,510	0,595	0,512	0,774	0,609	0,536

PA-N-S012	0,493	0,607	0,593	1,163	0,717	1,237	0,88	0,769
PA-N-S013	0,782	0,582	0,563	0,752	0,451	0,888	0,453	0,491
PA-N-S014	0,507	0,496	0,610	0,573	0,702	0,647	0,941	0,643
PA-N-S015	0,747	0,628	0,72	0,784	0,559	0,499	0,694	0,681
PA-N-S016	0,498	0,437	0,654	0,626	0,656	0,777	0,584	0,694

Realizado por: (Bastida, J; Colcha, I, 2023)

3.5.9.2 Acero galvanizado

Para el segundo grupo que es de acero ASTM A36 galvanizado la codificación se muestra en la Tabla 3-10 donde PA-G-SXX es la denominación para las probetas de acero galvanizado seguido de XX donde será el número de la probeta. De igual manera se muestra el espesor y la masa inicial.

Tabla 3-10: Codificación y datos iniciales de las probetas de Acero Galvanizado

ACERO GALVANIZADO				
Nº	Código	Tipo de recubrimiento anticorrosivo	Espesor (mm)	Masa Inicial (g)
1	PA-G-S01	Sin recubrimiento	2,8	79,101
2	PA-G-S02	Sin recubrimiento	2,8	79,049
3	PA-G-S03	Sin recubrimiento	2,8	79,115
4	PA-G-S04	Sin recubrimiento	2,8	79,112
5	PA-G-S05	Sin recubrimiento	2,8	79,118
6	PA-G-S06	Sin recubrimiento	2,8	79,039
7	PA-G-S07	Sin recubrimiento	2,8	79,03
8	PA-G-S08	Sin recubrimiento	2,8	79,663
9	PA-G-S09	Sin recubrimiento	2,8	79,027
10	PA-G-S10	Sin recubrimiento	2,8	79,002
11	PA-G-S11	Sin recubrimiento	2,8	79,01
12	PA-G-S12	Sin recubrimiento	2,8	79,017
13	PA-G-S13	Sin recubrimiento	2,8	79,09
14	PA-G-S14	Sin recubrimiento	2,8	79,114
15	PA-G-S15	Sin recubrimiento	2,8	79,031
16	PA-G-S16	Sin recubrimiento	2,8	78,961

Realizado por: (Bastida, J; Colcha, I, 2023)

En la Tabla 3-11 que se muestra a continuación se detalla los datos iniciales de la rugosidad en las probetas de acero galvanizado, de igual manera se utiliza el mismo método anteriormente utilizado para poder identificar la cara frontal de la posterior.

Tabla 3-11: Datos iniciales de la rugosidad en Acero Galvanizado

Acero Galvanizado	RUGOSIDAD INICIAL (μm)							
	Cara frontal				Cara posterior			
Código	Mitad Superior	Mitad Inferior	Mitad derecha	Mitad Izquierda	Mitad Superior	Mitad Inferior	Mitad derecha	Mitad Izquierda
PA-G-S01	0,488	0,318	0,337	0,332	0,346	0,453	0,432	0,563
PA-G-S02	0,547	0,280	0,598	0,265	0,486	0,290	0,479	0,479
PA-G-S03	0,545	0,478	0,568	0,767	0,600	0,651	0,310	0,329
PA-G-S04	0,514	0,384	0,717	0,295	0,495	0,413	0,594	0,478
PA-G-S05	0,471	0,474	0,302	0,221	0,509	0,321	0,590	0,565
PA-G-S06	0,240	0,170	0,134	0,170	0,319	0,363	0,216	0,382
PA-G-S07	0,402	1,128	1,514	1,546	0,237	0,208	0,509	0,859
PA-G-S08	0,409	0,923	0,393	0,353	1,418	0,427	0,658	0,326
PA-G-S09	0,509	0,572	0,230	0,331	0,573	1,697	0,257	0,205
PA-G-S010	0,216	0,488	0,312	0,285	0,538	0,479	0,488	0,441
PA-G-S011	0,247	0,419	0,742	0,516	0,475	0,328	0,205	0,203
PA-G-S012	0,417	0,686	0,371	0,290	0,306	0,409	0,194	0,909
PA-G-S013	0,230	0,567	0,261	0,397	1,493	1,055	0,25	0,23
PA-G-S014	0,337	0,213	0,284	0,321	0,419	0,336	0,612	0,804
PA-G-S015	0,294	0,245	0,371	0,438	1,046		0,379	0,231
PA-G-S016	0,502	0,429	0,492	0,354	0,366	0,290	0,457	0,738

Realizado por: (Bastida, J; Colcha, I, 2023)

3.5.9.3 Acero negro con recubrimiento (SIGMAFAST™)

Para el tercer grupo de probetas de acero negro ASTM A36 se le adhiere un tipo de recubrimiento anticorrosivo y se le asigna la siguiente codificación mostrada en la Tabla 3-12 donde PA-N-CXX es la denominación para las probetas de acero con recubrimiento dando el número de probeta al final del código. Este proceso se realiza bajo a Norma SSPC SP-5 que lo aplica una empresa privada (SAURUS EPC) que tiene experiencia en recubrimientos superficiales, que sigue las normativas en su proceso de pintura sobre las probetas de acero negro ASTM A36, para ello utilizan equipos y compuestos químicos necesarios para este procedimiento.

Tabla 3-12: Datos iniciales de las probetas de acero con recubrimiento (SIGMAFAST™)

ACERO ASTM A 36 CON RECUBRIMIENTO (SIGMAFAST™)				
Nº	Código	Tipo de recubrimiento anticorrosivo	Espesor (mm)	Masa Inicial (g)
1	PA-N-C01	Silicato de Zn Epoxi/Poliuretano	2,8	58,325
2	PA-N-C02	Silicato de Zn Epoxi/Poliuretano	2,8	58,07

3	PA-N-C03	Silicato de Zn Epoxi/Poliuretano	2,8	57,786
4	PA-N-C04	Silicato de Zn Epoxi/Poliuretano	2,8	56,973
5	PA-N-C05	Silicato de Zn Epoxi/Poliuretano	2,8	57,73
6	PA-N-C06	Silicato de Zn Epoxi/Poliuretano	2,8	57,085
7	PA-N-C07	Silicato de Zn Epoxi/Poliuretano	2,8	57,577
8	PA-N-C08	Silicato de Zn Epoxi/Poliuretano	2,8	58,128
9	PA-N-C09	Silicato de Zn Epoxi/Poliuretano	2,8	58,225
10	PA-N-C10	Silicato de Zn Epoxi/Poliuretano	2,8	58,036
11	PA-N-C11	Silicato de Zn Epoxi/Poliuretano	2,8	57,898
12	PA-N-C12	Silicato de Zn Epoxi/Poliuretano	2,8	57,883
13	PA-N-C13	Silicato de Zn Epoxi/Poliuretano	2,8	57,911
14	PA-N-C14	Silicato de Zn Epoxi/Poliuretano	2,8	57,928
15	PA-N-C15	Silicato de Zn Epoxi/Poliuretano	2,8	57,800
16	PA-G-C16	Silicato de Zn Epoxi/Poliuretano	2,8	57,896

Realizado por: (Bastida, J; Colcha, I, 2023)

En la Tabla 3-13 que se muestra a continuación se detalla los datos iniciales de la rugosidad en las probetas de acero con recubrimiento superficial, de igual manera se utiliza el mismo método anteriormente utilizado para poder identificar la cara frontal de la posterior.

Tabla 3-13: Datos iniciales de la rugosidad en acero con recubrimiento superficial

Acero con recubrimiento superficial	RUGOSIDAD INICIAL (μm)							
	Cara frontal				Cara posterior			
Código	Mitad Superior	Mitad Inferior	Mitad derecha	Mitad Izquierda	Mitad Superior	Mitad Inferior	Mitad derecha	Mitad Izquierda
PA-N-C01	1,024	1,618	1,124	1,381	2,447	2,823	1,925	2,186
PA-N-C02	0,916	1,796	0,763	0,871	1,526	1,990	1,626	1,720
PA-N-C03	1,569	1,971	2,335	2,100	1,276	1,399	1,392	1,867
PA-N-C04	1,932	2,419	2,085	1,470	1,058	1,063	1,285	1,101
PA-N-C05	1,865	2,876	1,807	2,408	2,326	2,247	2,522	2,176
PA-N-C06	1,264	2,004	1,805	1,379	2,450	2,027	2,180	2,406
PA-N-C07	2,150	2,131	2,409	2,133	1,459	1,974	1,343	1,478
PA-N-C08	2,777	2,595	1,727	2,530	2,444	1,243	1,735	1,069
PA-N-C09	1,932	1,923	1,499	2,367	1,832	1,279	0,987	1,275
PA-N-C010	0,890	1,584	0,820	1,073	1,193	1,440	1,373	1,771
PA-N-C011	1,311	1,648	1,435	1,168	1,860	1,734	2,116	1,765
PA-N-C012	1,194	1,806	1,626	1,670	1,866	1,119	1,493	1,145

PA-N-C013	1,645	1,589	1,353	1,694	1,119	1,071	1,145	1,478
PA-N-C014	1,443	2,036	1,358	1,786	1,845	1,543	1,359	1,234
PA-N-C015	1,318	1,847	1,007	1,816	1,722	1,898	1,851	1,568
PA-N-C016	1,873	1,693	1,772	1,756	1,609	1,723	1,310	1,712

Realizado por: (Bastida, J; Colcha, I, 2023)

3.5.9.4 Acero con protección catódica con ánodo de sacrificio

Para el último grupo de acero con protección catódica con ánodo de sacrificio como se muestra en la Tabla 3-14 donde PA-G-CXX es la denominación de las probetas de acero con protección catódica seguido del número de probeta respectiva.

Tabla 3-14: Datos iniciales del acero con protección catódica con ánodo de sacrificio

ACERO CON PROTECCIÓN CATÓDICA CON ÁNODO DE SACRIFICIO				
Nº	Código	Tipo de recubrimiento anticorrosivo	Espesor (mm)	Masa Inicial (g)
1	PA-G-C01	Protección catódica con ánodo de sacrificio	2,8	78,767
2	PA-G-C02	Protección catódica con ánodo de sacrificio	2,8	78,661
3	PA-G-C03	Protección catódica con ánodo de sacrificio	2,8	78,684
4	PA-G-C04	Protección catódica con ánodo de sacrificio	2,8	78,72
5	PA-G-C05	Protección catódica con ánodo de sacrificio	2,8	78,722
6	PA-G-C06	Protección catódica con ánodo de sacrificio	2,8	78,759
7	PA-G-C07	Protección catódica con ánodo de sacrificio	2,8	78,682
8	PA-G-C08	Protección catódica con ánodo de sacrificio	2,8	78,683
9	PA-G-C09	Protección catódica con ánodo de sacrificio	2,8	78,61
10	PA-G-C10	Protección catódica con ánodo de sacrificio	2,8	78,748
11	PA-G-C11	Protección catódica con ánodo de sacrificio	2,8	78,7
12	PA-G-C12	Protección catódica con ánodo de sacrificio	2,8	78,745
13	PA-G-C13	Protección catódica con ánodo de sacrificio	2,8	78,624
14	PA-G-C14	Protección catódica con ánodo de sacrificio	2,8	78,693
15	PA-G-C15	Protección catódica con ánodo de sacrificio	2,8	78,504
16	PA-G-C16	Protección catódica con ánodo de sacrificio	2,8	78,239

Realizado por: (Bastida, J; Colcha, I, 2023)

En la Tabla 3-15 que se muestra a continuación se detalla los datos iniciales de la rugosidad en las probetas de acero con recubrimiento superficial, de igual manera se utiliza el mismo método anteriormente utilizado para poder identificar la cara frontal de la posterior.

Tabla 3-15: Datos iniciales de la rugosidad en acero con protección catódica

Acero con protección catódica	RUGOSIDAD INICIAL (μm)							
	Cara frontal				Cara posterior			
Código	Mitad Superior	Mitad Inferior	Mitad derecha	Mitad Izquierda	Mitad Superior	Mitad Inferior	Mitad derecha	Mitad Izquierda
PA-G-C01	0,422	0,315	0,323	0,306	0,793	0,312	0,450	0,375
PA-G-C02	0,472	0,547	0,323	0,452	0,558	0,364	0,263	0,266
PA-G-C03	0,360	0,244	0,292	0,451	0,503	0,415	0,578	0,506
PA-G-C04	0,387	0,690	0,402	0,690	0,677	0,807	0,425	0,385
PA-G-C05	0,591	0,647	0,347	0,338	0,701	0,446	0,326	0,273
PA-G-C06	0,512	0,720	0,458	0,272	0,336	0,874	0,878	0,742
PA-G-C07	0,280	0,283	0,726	0,420	0,689	0,590	0,593	1,243
PA-G-C08	0,547	1,065	0,596	0,625	0,405	0,701	0,482	0,583
PA-G-C09	0,471	0,543	0,392	0,515	0,272	0,243	0,431	0,38
PA-G-C010	0,777	0,989	0,827	0,496	0,412	0,413	0,663	0,492
PA-G-C011	0,521	0,589	0,63	0,403	0,818	0,462	0,474	0,628
PA-G-C012	0,401	0,492	0,641	0,413	0,465	0,491	0,515	0,355
PA-G-C013	0,261	0,615	0,876	0,36	0,761	0,421	0,798	0,902
PA-G-C014	0,529	0,374	0,424	0,346	0,630	0,806	0,589	0,52
PA-G-C015	0,366	0,242	0,231	0,317	0,321	0,399	0,374	0,316
PA-G-C016	0,393	0,404	0,652	0,51	0,44	0,478	0,537	0,419

Realizado por: (Bastida, J; Colcha, I, 2023)

3.5.10 Cálculo del ánodo de sacrificio

En el marco de la investigación, se ha decidido utilizar el aluminio tipo C como ánodo de sacrificio, por sus propiedades químicas favorables, su disponibilidad económica y su larga vida útil, (GUALLO CHOCA, y otros pág. 42) Por otro lado, el acero ASTM A36 galvanizado se emplea como cátodo en este experimento. El objetivo es determinar el diámetro adecuado para la barra de aluminio que servirá como ánodo. Para ello se considera la relación entre las áreas superficiales de las probetas instaladas tanto en la estación de Milagro (ADELCA) como las elaboradas para el laboratorio de integridad superficial “ESPOCH”; y también se analiza el área superficial del ánodo de sacrificio utilizado en la estación de Milagro.

A continuación, se muestra los cálculos para determinar el diámetro de ánodo de sacrificio:

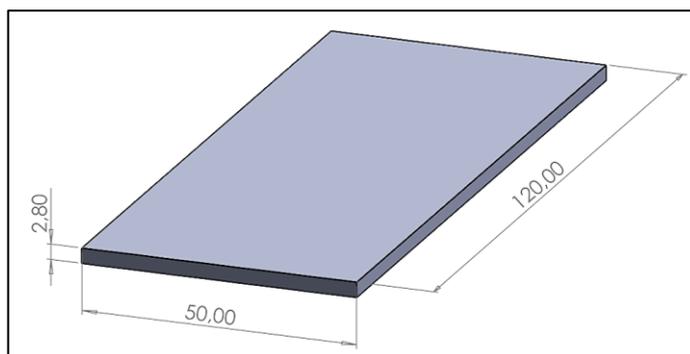


Ilustración 3-12: Diseño de las probetas plantadas en la estación Milagro

Realizado por: (Bastidas, J; Colcha, I, 2023)

Para calcular el área de las probetas de la estación de Milagro (ADELCA) se utiliza la ecuación (2)

$$A_{PM} = 2(5cm)(12cm) + 2(0,28cm)(5cm) + 2(0,28cm)(12cm)$$

$$A_{PM} = 120cm^2 + 2,8cm^2 + 6,72cm^2$$

$$A_{PM} = 129,52 cm^2 \text{ (área total de las probetas de Milagro)}$$

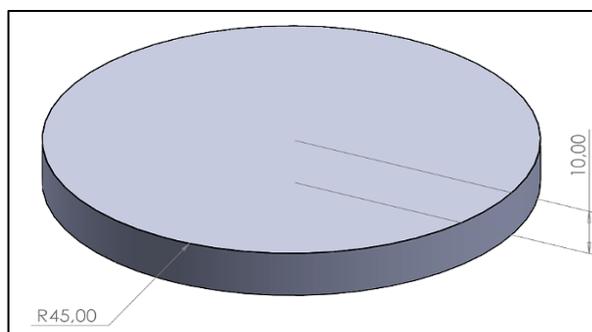


Ilustración 3-13: Diseño del ánodo de sacrificio plantadas en la estación Milagro

Realizado por: (Bastidas, J; Colcha, I, 2023)

Para calcular el área del ánodo de sacrificio de la estación de Milagro (ADELCA) se utiliza la ecuación (1)

$$A_{ASM} = (2\pi)(4,5cm)(1cm) + (2\pi)(4,5cm)^2$$

$$A_{ASM} = 28,2743 cm^2 + 127,2345 cm^2$$

$$A_{cilindro} = 155,5088 cm^2 \text{ (área total del ánodo de sacrificio de Milagro)}$$

Relación de áreas

$$\frac{A_{PM}}{A_{ASM}} = \frac{129,52 \text{ cm}^2}{155,5088 \text{ cm}^2} = 0,8328$$

A continuación, se realiza los cálculos del área superficial de las probetas para el laboratorio de integridad superficial “ESPOCH”, para ello se utiliza la ecuación (2)

$$A_{PE} = 2(5\text{cm})(7\text{cm}) + 2(0.28\text{cm})(5\text{cm}) + 2(0.28\text{cm})(7\text{cm})$$

$$A_{PE} = 70\text{cm}^2 + 2,8\text{cm}^2 + 3,92\text{cm}^2$$

$$A_{PE} = 76,72 \text{ cm}^2 (\text{área total de la probeta para el laboratorio ESPOCH})$$

Cálculo del área del ánodo de sacrificio para el laboratorio ESPOCH

$$\frac{A_{PM}}{A_{ASM}} = \frac{A_{PE}}{A_{ASE}}$$

$$\frac{A_{PE}}{A_{ASM}} = 0,8328$$

$$\frac{76,72 \text{ cm}^2}{A_{ASE}} = 0,8328$$

$$A_{ASE} = \frac{76,72 \text{ cm}^2}{0,8328}$$

$$A_{ASE} = 92,1229 \text{ cm}^2 \approx \text{Área total cilindro ESPOCH}$$

Cálculo del diámetro del cilindro

Reemplazando en la ecuación (1)

$$92,1229 = 2\pi rh + 2\pi r^2$$

Ordenamos la ecuación

$$2\pi r^2 + 2\pi rh - 92,1229 = 0$$

Dividimos para 2π

$$r^2 + r - 14,6618 = 0$$

Reemplazamos en la ecuación (4)

$$r = \frac{-1 \pm \sqrt{1^2 - 4(1)(-14,6618)}}{2(1)}$$

$$r = 3,36\text{cm} \therefore D = 6,72\text{cm} \approx \text{diámetro}$$

Para el ánodo de sacrificio de igual manera se le da una codificación como se le muestra en la Tabla 3-16 donde AS-XX se refiere al ánodo de sacrificio seguido de un guion y el número de aluminio correspondiente.

Tabla 3-16: Codificación y datos iniciales del ánodo de sacrificio

ÁNODO DE SACRIFICIO				
N°	Código	Tipo de aluminio	Espesor (cm)	Masa Inicial (g)
1	AS-01	Tipo C	1	102,141
2	AS-02	Tipo C	1	100,696
3	AS-03	Tipo C	1	97,348
4	AS-04	Tipo C	1	98,494
5	AS-05	Tipo C	1	100,922
6	AS-06	Tipo C	1	96,698
7	AS-07	Tipo C	1	100,009
8	AS-08	Tipo C	1	99,147
9	AS-09	Tipo C	1	96,722
10	AS-10	Tipo C	1	100,56
11	AS-11	Tipo C	1	98,421
12	AS-12	Tipo C	1	99,83
13	AS-13	Tipo C	1	104,071
14	AS-14	Tipo C	1	101,598
15	AS-15	Tipo C	1	100,029
16	AS-16	Tipo C	1	104,217

Realizado por: (Bastida, J; Colcha, I, 2023)

3.5.11 Colocación de las probetas en la cámara de corrosión

3.5.11.1 Acondicionamiento del entorno

Preparar la cámara de corrosión con precisión asegura datos confiables sobre la corrosión. Ajustar la temperatura, humedad y pH constituye un proceso esencial que busca replicar fielmente el entorno real al que están expuestas las muestras. Adicionalmente, configurar y monitorear los equipos es clave para mantener condiciones constantes durante el experimento.

Como se muestra en la Ilustración 3-14 antes de colocar las muestras, la cámara de corrosión se limpia a fondo y se introduce tierra traída de la Estación de Investigación de Milagro (ADELCA). Esta tierra replica las condiciones locales para simular el entorno natural donde se exponen las muestras de acero, esencial para el estudio preciso de la corrosión.



Ilustración 3-14: Acondicionamiento del entorno de la cámara de corrosión

Realizado por: (Bastidas, J; Colcha, I, 2023)

3.5.11.2 Conexión de los ánodos de sacrificio con las probetas galvanizadas

La conexión eléctrica entre ánodos y probetas desvía la corrosión hacia los ánodos (aluminio), protegiendo al grupo de 16 probetas galvanizadas. Los ánodos se corroen primero, actuando como sacrificio para preservar las probetas en un proceso llamado protección catódica, esencial para evitar la corrosión en entornos de riesgo.

A continuación, en la Ilustración 3-15 se implementó un circuito eléctrico que involucra la disposición ordenada de un ánodo de aluminio con una probeta específica, designando el aluminio como ánodo y a las 16 probetas como cátodo. Para este proceso se realizó un orificio tanto en el aluminio como en la probeta para permitir el paso de un tornillo que las une, Luego, se aseguran

con una tuerca para fijar firmemente a los cables. Además, se emplean terminales conductores en los extremos del cableado para conectarlos al aluminio y la probeta respectivamente.



Ilustración 3-15: Conexión de los ánodos de sacrificio

Realizado por: (Bastidas, J; Colcha, I, 2023)

3.5.11.3 Colocación de las probetas

A continuación, en la Ilustración 3-16 las probetas se colocan secuencialmente a una distancia de 3 cm entre sí. En un orden de izquierda a derecha, se inicia con las probetas de protección catódica, seguidas por las probetas con recubrimiento, continuando con las probetas galvanizadas y finalizando con las probetas de acero negro. Esta disposición se mantiene constante a lo largo del experimento, permitiendo la observación y evaluación comparativa de la corrosión en diferentes tipos de probetas bajo condiciones controladas y específicas.



Ilustración 3-16: Colocación de las probetas

Realizado por: (Bastidas, J; Colcha, I, 2023)

En la Ilustración 3-17 se observan todas las probetas enterradas cuidadosamente y en orden, siguiendo su respectiva codificación. Esta disposición sistemática permite un control preciso sobre cada una de las muestras, facilitando la extracción de datos pertinentes, como la masa y rugosidad finales. La codificación de las probetas resulta fundamental para facilitar el proceso de análisis, proporcionando una estructura que simplifique la obtención de información significativa en el estudio.



Ilustración 3-17: Probetas colocadas en la cámara de corrosión

Realizado por: (Bastidas, J; Colcha, I, 2023)

3.5.11.4 Conexión de las probetas con protección catódica a la fuente de voltaje

En el proceso de conexión de las probetas con protección catódica a la fuente de voltaje de 3,5 V se establece una conexión crucial entre el aluminio, que representa la estructura metálica a proteger, y las probetas galvanizadas utilizadas como electrodos de referencia. Al suministrar corriente eléctrica desde la fuente de voltaje, se induce un potencial eléctrico negativo en el aluminio, convirtiéndolo en el cátodo del sistema electroquímico. Esta configuración tiene como objetivo prevenir la corrosión al dirigir la reducción del oxígeno hacia el aluminio, inhibiendo así el proceso corrosivo. Como en la Ilustración 3-18 muestra la conexión precisa de las probetas galvanizadas a la fuente de voltaje donde asegura una monitorización efectiva del potencial eléctrico, garantizando la eficiencia a largo plazo del sistema de protección catódica en la prevención del aluminio contra la corrosión.



Ilustración 3-18: Conexión a la fuente de voltaje

Realizado por: (Bastidas, J; Colcha, I, 2023)

3.5.11.5 Ajuste de los diferentes factores de la cámara de corrosión

En el proceso de ajuste de los diversos factores en la cámara de corrosión, como el nivel de pH, temperatura y humedad, se busca meticulosamente recrear las condiciones específicas presentes en Milagro. Este enfoque se torna esencial para lograr una simulación precisa y representativa del entorno en el cual los diferentes tipos de acero serán expuestos. Como se observa en la Ilustración 3-19 se utiliza un medidor de pH, esto implica replicar la composición química del medio ambiente en Milagro, mientras que el control de la temperatura y la humedad busca emular las variaciones climáticas características de dicha ubicación. Este minucioso proceso de ajuste garantiza que las pruebas de corrosión sean verdaderamente representativas, proporcionando resultados significativos y aplicables a las condiciones reales que se encuentran en Milagro.



Ilustración 3-19: Ajuste de pH, temperatura y humedad

Realizado por: (Bastidas, J; Colcha, I, 2023)

3.5.11.6 Cámara de corrosión encendida

Después de ajustar los parámetros requeridos, la cámara de corrosión se pone en marcha para replicar las condiciones de Milagro. A lo largo de un periodo de 15 días, las probetas de diferentes tipos de acero son sometidas al proceso corrosivo. Al concluir este lapso, se procede a retirar una probeta representativa de cada tipo de acero, 4 en total más el ánodo de sacrificio. Estas probetas extraídas se someterán a análisis detallados para obtener resultados que ofrecerán datos cruciales para conocer el avance de la corrosión. Se llevará a cabo la medición de la masa y la rugosidad, esto permitirá tener una mejor visión sobre la corrosión en ambientes similares a la estación de investigación en Milagro “ADELCA”.



Ilustración 3-20: Cámara de corrosión encendida

Realizado por: (Bastidas, J; Colcha, I, 2023)

3.5.12 Extracción de las probetas

3.5.12.1 Extracción de las probetas en la estación Milagro (ADELCA)

En la estación de Milagro (ADELCA), se recopilarán datos de las probetas previamente plantadas en una ubicación estratégica por (GUALLO CHOCA, y otros pág. 25) Este enfoque ofrece ventajas notables, ya que garantiza la conveniencia para la investigación y evita la manipulación no autorizada de las probetas, lo que previene posibles alteraciones en las mediciones. Para llevar a cabo este proceso, se realiza el traslado a dicha ubicación y se extrae dos probetas de cada grupo, lo que equivale a un total de ocho probetas por cada visita a la estación. Para la extracción de las probetas, en total 40, se sigue el Manual de procedimientos para extracción de probetas de acero ASTM A36 elaborado por (GUALLO CHOCA, y otros pág. 51) , para las probetas de acero negro y acero galvanizado se utiliza el Manual mostrado en el ANEXO A, para las probetas de acero con

protección catódica se utiliza el manual del ANEXO B, para las probetas con recubrimiento se utiliza el manual del ANEXO C y finalmente, se emplea el rugosímetro para llevar a cabo la medición de rugosidad y realizar las comparaciones necesarias.

La medición precisa de la temperatura en la estación de investigación “ADELCA” en Milagro, a través del anemómetro, desempeña un papel esencial en el control efectivo de la cámara de corrosión. La temperatura y la humedad impacta directamente en los procesos corrosivos, afectando su velocidad y agresividad. Como se muestra en la Ilustración 3-21 el anemómetro proporciona datos exactos y permite un control dinámico en tiempo real, asegurando condiciones ambientales estables para la réplica precisa en la cámara. Este monitoreo no solo valida las simulaciones, sino que también garantiza resultados confiables, fundamentales para avanzar en la investigación y desarrollo reproduciendo las condiciones específicas de la estación de Milagro.



Ilustración 3-21: Medición de la temperatura y humedad

Realizado por: (Bastidas, J; Colcha, I, 2023)

Tras el periodo de exposición en la estación de investigación “ADELCA” en Milagro, se inicia la extracción de las probetas para evaluar su respuesta frente a la corrosión. Se retiran dos probetas de cada tipo de acero, seleccionadas representativamente, con el propósito de obtener una muestra significativa. Estas probetas son sometidas a análisis detallados para evaluar el grado de corrosión y rugosidad. Cabe destacar que el proceso de extracción y análisis se lleva a cabo en intervalos regulares, con viajes a Milagro cada 15 días, asegurando una monitorización continua y la obtención de datos actualizados sobre la resistencia de los materiales en condiciones específicas de la localidad. Para la extracción de las probetas como se muestra en la Ilustración 3-22 se sigue una serie de pasos que se encuentran establecidos por (GUALLO CHOCA, y otros pág. 51)de esta manera se evita cometer errores al momento de extraer las probetas.



Ilustración 3-22: Extracción de las probetas de ADELCA

Realizado por: (Bastidas, J; Colcha, I, 2023)

La extracción del aluminio, empleado como ánodo de sacrificio en la estación de investigación “ADELCA” en Milagro, es esencial para evaluar su desgaste y efectividad en la protección contra la corrosión. Cuidadosamente seleccionando y siguiendo el orden, el ánodo se retira tras el mismo periodo determinado para analizar su nivel de deterioro. Como se muestra a continuación en la Ilustración 3-23 se retira los cables de cada material de forma cuidadosa.



Ilustración 3-23: Extracción del ánodo de sacrificio de ADELCA

Realizado por: (Bastidas, J; Colcha, I, 2023)

De igual manera se retiran los cables conectados al acero galvanizado. Este paso es esencial para interrumpir la aplicación de corriente eléctrica destinada a la protección catódica. Al desconectar los cables utilizando una pinza, se detiene el suministro de corriente al sistema, permitiendo evaluar la eficiencia de la protección y analizar el estado del cátodo. Estos procedimientos son cruciales para obtener datos precisos sobre el comportamiento de los materiales en ambientes corrosivos específicos.



Ilustración 3-24: Desconexión de la fuente de voltaje

Realizado por: (Bastidas, J; Colcha, I, 2023)

El siguiente paso implica la limpieza cuidadosa de la superficie de la probeta con ayuda de una brocha como se observa en la Ilustración 3-25, dado que la corrosión se manifiesta en una forma diminuta y amarillenta. Una limpieza inadecuada podría resultar en datos incorrectos que podrían afectar la integridad de la investigación.



Ilustración 3-25: Limpieza de probetas de la estación de Milagro

Realizado por: (Bastidas, J; Colcha, I, 2023)

En la Ilustración 3-26 se observa las 4 probetas extraídas junto al respectivo ánodo de sacrificio. Posteriormente, luego de la adecuada limpieza se las guarda en un empaque hermético de plástico asegurándose que no contenga aire.



Ilustración 3-26: Probetas extraídas de la estación de Milagro

Realizado por: (Bastidas, J; Colcha, I, 2023)

Luego se procede a pesar la probeta utilizando una balanza analítica en un ambiente libre de aire como se observa en la Ilustración X-X, ya que la entrada de aire entre el sensor y la probeta podría ocasionar alteraciones en el valor de la masa registrado.



Ilustración 3-27: Pesado final de probetas de la estación de Milagro

Realizado por: (Bastidas, J; Colcha, I, 2023)

En el último paso del proceso, se procede a medir la rugosidad de cada una de las probetas extraídas utilizando el equipo de integridad superficial o rugosímetro. Esta medición se realiza

sobre una superficie plana de las probetas, con el objetivo de obtener datos finales que servirán de base para el análisis posterior.



Ilustración 3-28: Rugosidad

Realizado por: (Bastidas, J; Colcha, I, 2023)

3.5.12.2 Extracción de las probetas en el laboratorio “ESPOCH”

Para la extracción de las probetas en la estación de investigación ESPOCH, inicialmente se verifica que la cámara de corrosión esté encendida y configurada con los parámetros correctos, es decir que esté midiendo la temperatura, la humedad, el voltaje, etc. tal como se muestra en la Ilustración 3-29. este paso garantiza que las condiciones de corrosión sean consistentes y reproducibles en las probetas plantadas. Para la extracción de las probetas se lo realizó cada 15 días y se retira 1 probeta de cada grupo, es decir 4 probetas en total más el aluminio.



Ilustración 3-29: Cámara de corrosión antes de la extracción

Realizado por: (Bastidas, J; Colcha, I, 2023)

Se sigue meticulosamente los procesos detallados en los manuales adjuntos (ANEXO A-C) para extraer correctamente cada probeta. Es crucial retirar con cuidado las probetas galvanizadas, ya que están conectadas a la fuente de voltaje, como se muestra en la Ilustración 3-30.



Ilustración 3-30: Extracción de la probeta con protección catódica

Realizado por: (Bastidas, J; Colcha, I, 2023)

Con precaución se procede a retirar el ánodo de sacrificio (aluminio) utilizando unas pinzas adecuadas. Este proceso se realiza con el objetivo de garantizar la integridad del cátodo (acero galvanizado) y evitar cualquier daño que pueda comprometer los resultados de la investigación.



Ilustración 3-31: Extracción del ánodo de sacrificio del laboratorio ESPOCH

Realizado por: (Bastidas, J; Colcha, I, 2023)

Con precisión y cuidado, se extraen las probetas. Este procedimiento se lleva a cabo con el fin de mantener la integridad de las probetas y asegurar que los resultados de la investigación no se vean comprometidos por contaminantes externos.



Ilustración 3-32: Extracción de probetas de la cámara de corrosión

Realizado por: (Bastidas, J; Colcha, I, 2023)

Una vez completada la extracción de las cuatro probetas, se procede meticulosamente a llevar a cabo el proceso de limpieza de cada una de ellas utilizando una brocha de 1” como se muestra en la Ilustración 3-33. Este paso se realiza con cuidado para garantizar la eliminación de cualquier residuo que pueda afectar los resultados posteriores del análisis.



Ilustración 3-33: Limpieza de las probetas de la cámara de corrosión

Realizado por: (Bastidas, J; Colcha, I, 2023)

Posteriormente, las probetas son trasladadas en empaques herméticos plásticos para evitar la adhesión de cualquier residuo externo a las muestras hacia el laboratorio de investigación de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH donde se lleva a cabo el pesaje final correspondiente. Este proceso se realiza siguiendo los protocolos establecidos, con el fin de obtener mediciones exactas y fiables.



Ilustración 3-34: Pesaje final de las probetas de la cámara de corrosión

Realizado por: (Bastidas, J; Colcha, I, 2023)

Como paso final, se emplea el rugosímetro para medir la rugosidad sobre una superficie plana a cada una de las probetas. Se ubica el equipo respecto a la probeta en la misma zona de las mediciones iniciales antes de plantarlas en la cámara de corrosión. Este procedimiento permite obtener los datos finales de la rugosidad, los cuales son fundamentales para evaluar si existe relación con la corrosión.



Ilustración 3-35: Medición de la rugosidad en probetas de la cámara de corrosión

Realizado por: (Bastidas, J; Colcha, I, 2023)

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Análisis y recolección de datos en la estación de investigación “ESPOCH”

En la Tabla 4-1 se muestra la velocidad de corrosión en las probetas que van desde 0 hasta aproximadamente 0,00044879 mm/año. Mientras que la variación de la rugosidad oscila entre 0,0327 μm y 0,2304 μm . Estas variaciones sugieren que factores como la composición química y el entorno influyen en la corrosión. La baja velocidad de corrosión en algunas muestras indica una resistencia razonable a la corrosión, pero la variabilidad en la rugosidad final destaca la importancia de monitorear y controlar la corrosión.

Tabla 4-1: Recolección de datos de acero negro del laboratorio ESPOCH

		FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO		
				Datos	Lugar de investigación	ESPOCH
					Responsables	Bastidas J, Colcha I.
				Revisa: Ing. Iván Huacho		Aprueba: Ing. Raúl Martínez
RESULTADOS						
Código	Tiempo de exposición (horas)	Masa final (g)	Espesor final (mm)	Velocidad de corrosión (mm/año)	Variación de la Rugosidad (μm)	
PA-N-S01	360	54,704	2,8	0	0,0618	
PA-N-S02	720	54,701	2,8	0	0,0450	
PA-N-S03	1080	54,644	2,8	0	0,0540	
PA-N-S04	1440	54,669	2,8	0,00042635	0,0412	
PA-N-S05	1800	54,697	2,8	0,00022739	0,0486	
PA-N-S06	1920	54,680	2,8	0,00031976	0,0327	
PA-N-S07	2064	54,674	2,8	0,00019830	0,0526	
PA-N-S08	2160	54,672	2,8	0,00028423	0,2304	
PA-N-S09	2280	54,647	2,8	0,00044879	0,0575	
PA-N-S010	2400	54,676	2,8	0,00008527	0,0385	

Realizado por: (Bastidas, J, Colcha, I, 2023)

La ilustración 4-1 muestra un gráfico que ilustra el comportamiento de la velocidad de corrosión en las probetas de acero negro en relación con el tiempo. En el eje horizontal se encuentra el tiempo de investigación medido hasta las 2400 horas de investigación, mientras que en el eje vertical se representa la velocidad de corrosión en milímetros por año. Se observa una tendencia creciente, lo que nos indica que el avance de la corrosión aumentará a medida que avanza el tiempo ya que estas muestras no poseen ningún tipo de protección anticorrosiva, y se registra una pérdida de masa a partir de la cuarta probeta.

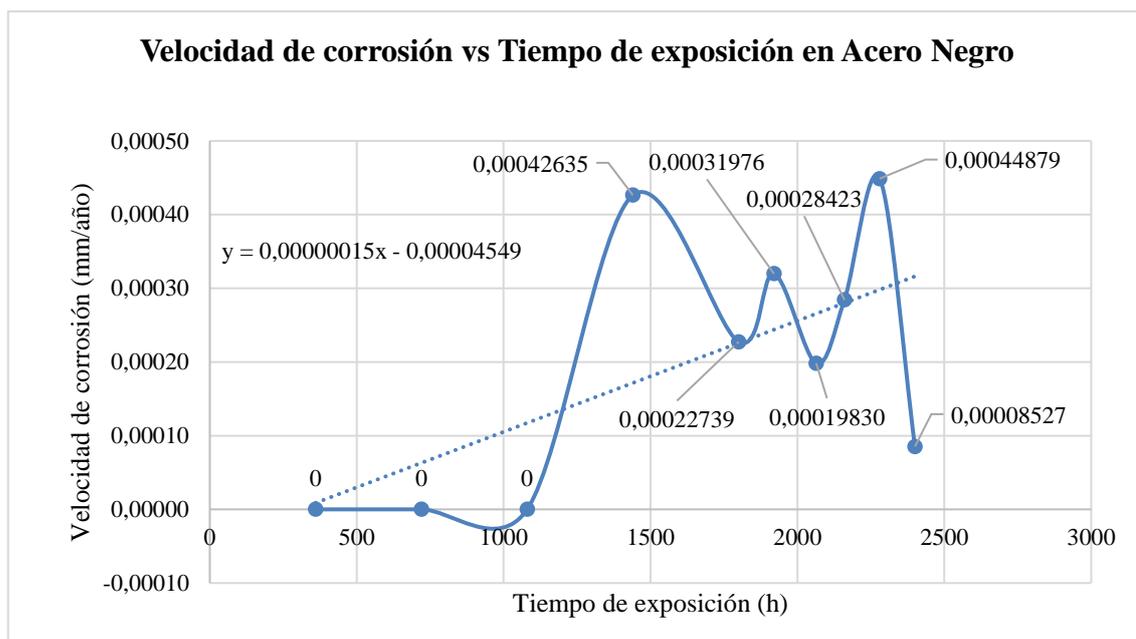


Ilustración 4-1: Velocidad de corrosión vs Tiempo en Acero Negro en laboratorio ESPOCH

Realizado por: (Bastidas, J; Colcha, I, 2023)

La ilustración 4-2 presenta un gráfico que ilustra el comportamiento de la variación de la rugosidad superficial en probetas de acero negro en relación con el tiempo. En el eje horizontal se encuentra el tiempo de investigación medido hasta las 2400 horas de investigación, mientras que en el eje vertical se representa la variación de la rugosidad superficial en micrómetros. Se observa que para la probeta 6 se registra la menor variación de rugosidad con un valor de $0,3275 \mu\text{m}$ mientras que la probeta 8 es la que mayor variación presenta con un valor de $0,2304 \mu\text{m}$. Es decir, al emplear el rugosímetro para realizar las respectivas mediciones se evidencia que sí existe una variación en la rugosidad superficial en este grupo de acero negro sin protección anticorrosiva.

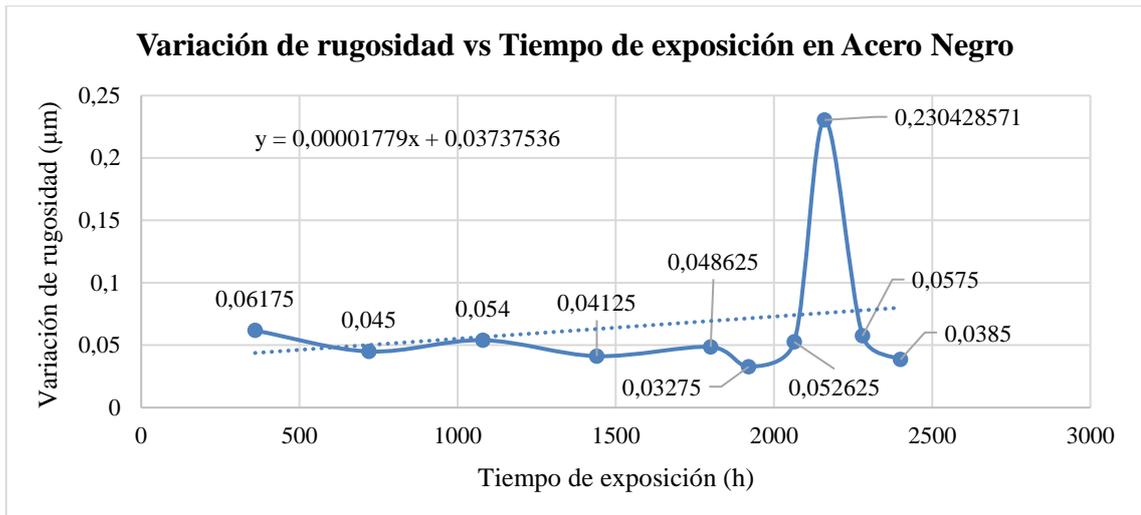


Ilustración 4-2: Variación de rugosidad vs Tiempo en Acero Negro en laboratorio ESPOCH

Realizado por: (Bastidas, J; Colcha, I, 2023)

La ilustración 4-3 muestra la relación entre la velocidad de corrosión y la variación de la rugosidad en acero negro. De igual manera como se muestra en la Tabla 4-2 el coeficiente de determinación R^2 de 0,472 indica que alrededor del 47,2% de la velocidad de corrosión (R_c) puede ser explicada por la variación en la rugosidad superficial (ΔRa) mediante la ecuación de un modelo polinómico de sexto grado, lo que sugiere una relación moderada entre estas dos variables pero que no es muy adecuada para que este modelo sea aceptable.

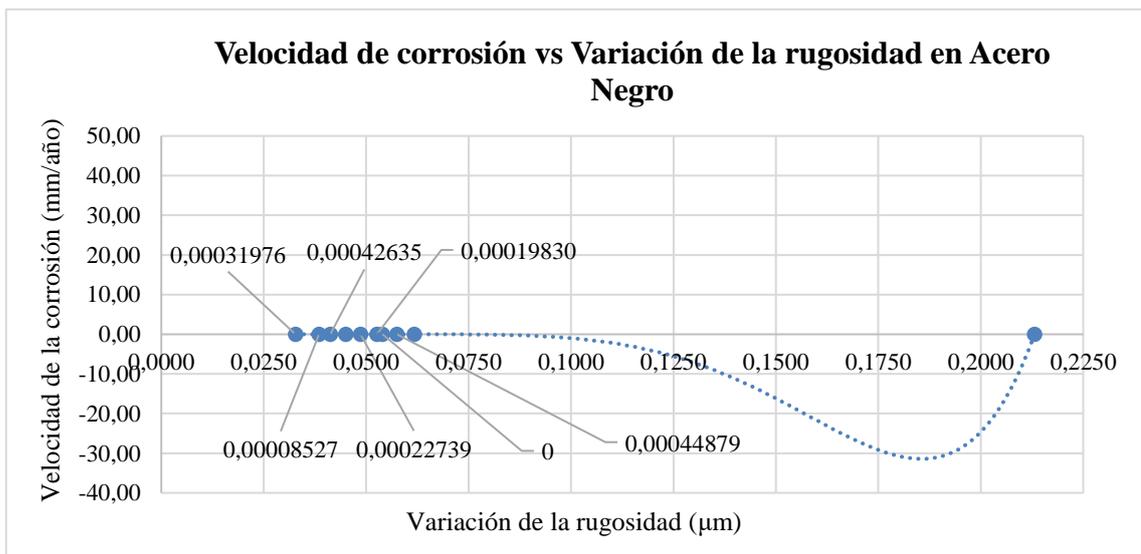


Ilustración 4-3: Velocidad de corrosión vs Variación de la rugosidad en Acero Negro

Realizado por: (Bastidas, J; Colcha, I, 2023)

Tabla 4-2: Ecuación y coeficiente de determinación en Acero Negro

Ecuación	$R_c = 22.347.051,688\Delta Ra^6 - 9.985.768,668\Delta Ra^5 + 1.595.759,032\Delta Ra^4 - 124.908,339\Delta Ra^3 + 5.195,350\Delta Ra^2 - 110,455\Delta Ra + 0,946$
Coeficiente de determinación	$R^2 = 0,472$

Realizado por: (Bastidas, J; Colcha, I, 2023)

A continuación, la Tabla 4-3 presenta los valores de velocidad de corrosión en mm/año y variación de la rugosidad en μm obtenidos en las muestras de acero galvanizado analizados hasta las 2400 horas de investigación. Los datos muestran una variación en la velocidad de corrosión, que va desde 0 hasta 0,00065471 mm/año, y en la variación de la rugosidad que oscila desde 0,03825 μm hasta 0,16938 μm . Estos valores son importantes para evaluar la efectividad de la galvanización como método de protección contra la corrosión y para analizar la evolución de la corrosión en el material a lo largo del tiempo. También se presentan los datos de la velocidad de corrosión estimada mediante la utilización de la ecuación de la Tabla 4-4.

Tabla 4-3:Recolección de datos de acero galvanizada del laboratorio ESPOCH

	FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO					
			Datos	Lugar de investigación	ESPOCH			
				Responsables	Bastidas J, Colcha I.			
			Revisa: Ing. Iván Huacho					
			Aprueba: Ing. Raúl Martínez					
RESULTADOS								
Código	Tiempo de exposición (horas)	Masa final (g)	Espesor final (mm)	Velocidad de corrosión (mm/año)	Velocidad de corrosión estimada (mm/año)	Variación de la Rugosidad (μm)		
PA-G-S01	360	79,101	2,8	0	0	0,04275		
PA-G-S02	720	79,049	2,8	0	0	0,05425		
PA-G-S03	1080	79,110	2,8	0,00065471	0,000154665	0,07825		
PA-G-S04	1440	79,108	2,8	0,00039283	0,00004048	0,06725		
PA-G-S05	1800	79,112	2,8	0,00047139	0	0,05975		

PA-G-S06	1920	79,033	2,8	0,00044193	0,000000531	0,16938
PA-G-S07	2064	79,0273	2,8	0,00018499	0	0,13788
PA-G-S08	2160	79,661	2,8	0,00013094	0	0,09812
PA-G-S09	2280	79,022	2,8	0,00031013	0	0,09963
PA-G-S010	2400	79,001	2,8	0,00005892	0	0,03825

Realizado por: (Bastidas, J; Colcha, I, 2023)

La ilustración 4-4 presenta un gráfico que muestra la relación entre la velocidad de corrosión y el tiempo de investigación en las probetas de acero galvanizado. En el eje horizontal se encuentra el tiempo, que representa la duración del proceso de corrosión hasta las 2400 horas, mientras que en el eje vertical se muestra la velocidad de corrosión, indicando la rapidez con la que el acero galvanizado se deteriora debido a procesos corrosivos a partir de la tercera probeta, puesto que las dos anteriores no se registra pérdida de masa. El grafico sugiere una tendencia donde la velocidad de corrosión se incrementa en función del tiempo, ya que la dispersión de los datos es considerable.

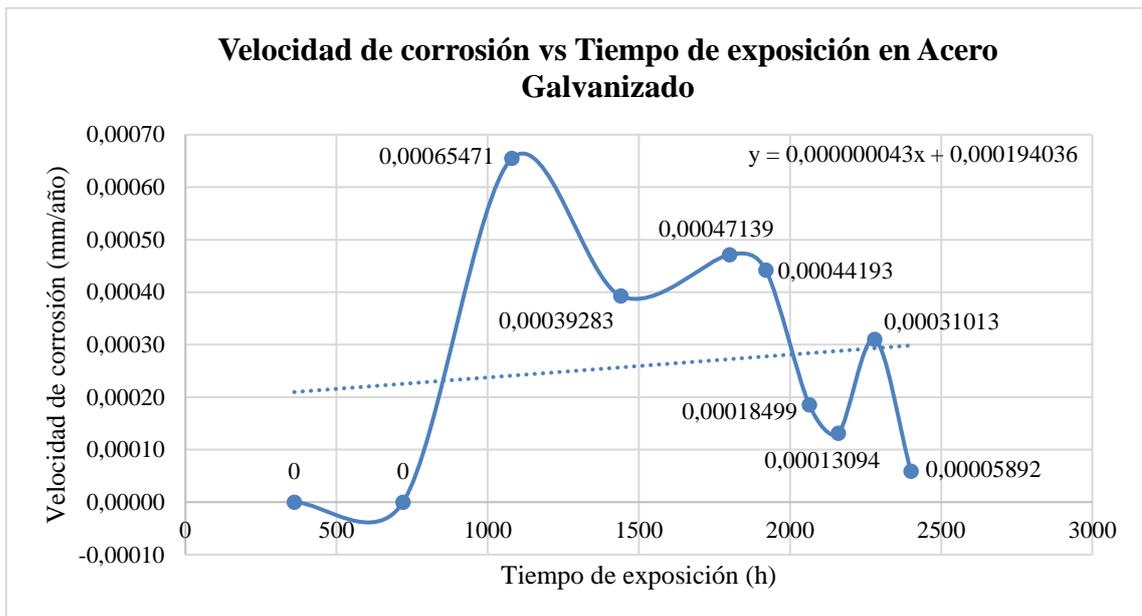


Ilustración 4-4: Velocidad de corrosión vs Tiempo en Acero Galvanizado

Realizado por: (Bastidas, J; Colcha, I, 2023)

La Ilustración 4-5 muestra la relación entre la variación de rugosidad y el tiempo de investigación hasta las 2400 horas en las probetas de acero galvanizado. Se observa que a medida que aumenta el tiempo, la variación de rugosidad superficial de este acero también tiende a aumentar.

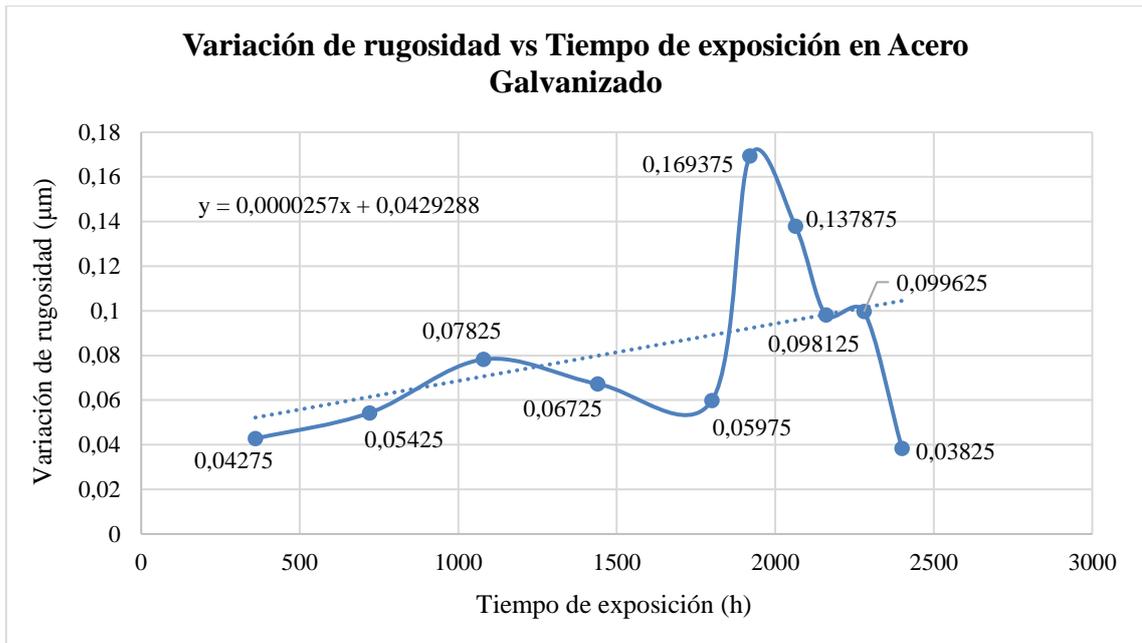


Ilustración 4-5: Variación de rugosidad en Acero Galvanizado

Realizado por: (Bastidas, J; Colcha, I, 2023)

La Ilustración 4-6 exhibe la relación entre la velocidad de corrosión y la variación de rugosidad en las probetas de acero galvanizado. Se aprecia que, al igual que en el caso anterior, a medida que la velocidad de corrosión tiende a incrementarse, existe también un incremento en la variación de la rugosidad superficial. Como se muestra en la Tabla 4-4 el coeficiente de determinación R^2 de 0,808 indica que aproximadamente el 80,8% de la velocidad de corrosión (R_c) puede ser explicada por la variación en la rugosidad superficial (ΔRa) mediante la ecuación de un modelo polinómico de sexto grado, lo que sugiere una relación fuerte entre estas variables para este tipo de acero. Es decir, se puede determinar la velocidad de corrosión mediante la medición de la variación de rugosidad, gracias a que estas variables están relacionadas en un 80,8%. Además, se presenta la ecuación que rige este modelo.

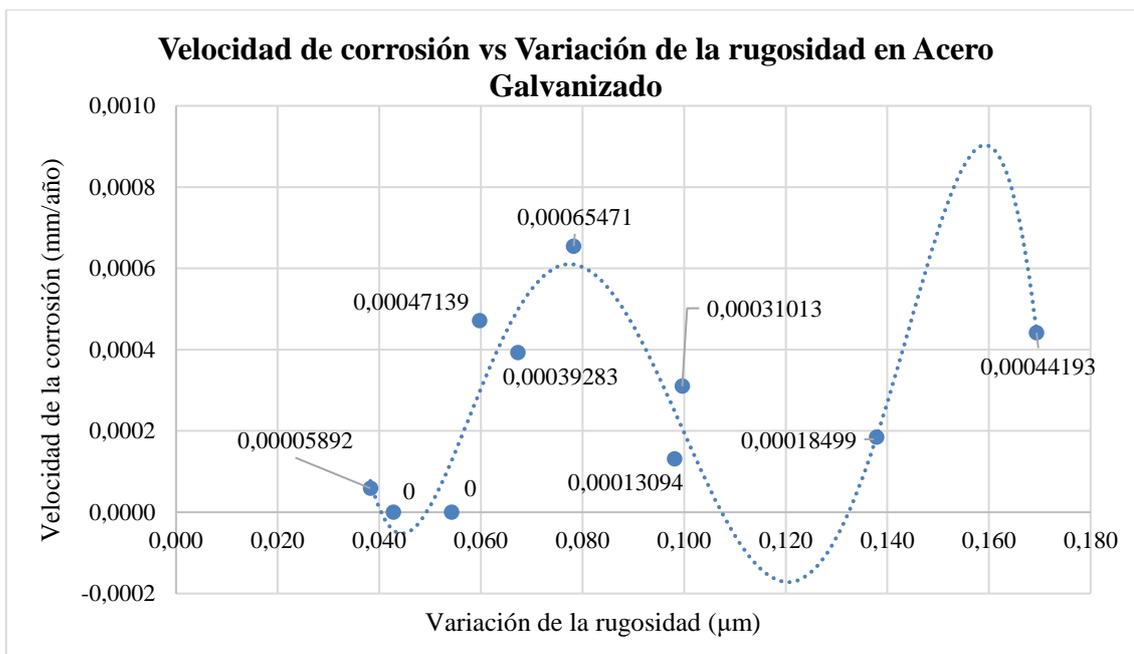


Ilustración 4-6: Velocidad de corrosión vs Variación de rugosidad en Acero Galvanizado

Realizado por: (Bastidas, J; Colcha, I, 2023)

Tabla 4-4: Ecuación y coeficiente de determinación en Acero Galvanizado

Ecuación	$R_c = 705,514\Delta Ra^6 - 4.133,786\Delta Ra^5 + 1.964,858\Delta Ra^4 - 363,459\Delta Ra^3 + 31,475\Delta Ra^2 - 1,254\Delta Ra + 0,018$
Coeficiente de determinación	$R^2 = 0,808$

Realizado por: (Bastidas, J; Colcha, I, 2023)

A continuación, en la Tabla 4-5 se presentan los datos de velocidad de corrosión (mm/año) y variación de la rugosidad (µm) para muestras de acero negro con recubrimiento. Estos datos son fundamentales para evaluar la efectividad de este tipo de protección contra la corrosión. La siguiente tabla se utiliza para comparar la velocidad de corrosión y la variación de la rugosidad de diferentes muestras de acero con recubrimiento SIGMADUR 550H y SIGMAFAST™ 278, con el fin de evaluar la eficiencia de los recubrimientos en la protección contra la corrosión. También se presentan los datos de la velocidad de corrosión estimada mediante la utilización de la ecuación de la Tabla 4-6, los cuales son valores muy cercanos a los obtenidos mediante la fórmula para calcular la velocidad de corrosión real que involucra pérdida de masa.

Tabla 4-5: Recolección de datos de acero con recubrimiento del laboratorio ESPOCH

	FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO					
			Datos	Lugar de investigación	ESPOCH			
				Responsables	Bastidas J, Colcha I.			
			Revisa: Ing. Iván Huacho					
			Aprueba: Ing. Raúl Martínez					
RESULTADOS								
Código	Tiempo de exposición (horas)	Masa final (g)	Espesor final (mm)	Velocidad de corrosión (mm/año)	Velocidad de corrosión estimada (mm/año)	Variación de la Rugosidad (µm)		
PA-N-C01	360	58,325	2,8	0	0,00008	0,0534		
PA-N-C02	720	58,070	2,8	0	0,00022	0,0708		
PA-N-C03	1080	57,784	2,8	0,0003585	0,00032	0,2802		
PA-N-C04	1440	56,965	2,8	0,0010756	0,00100	0,1437		
PA-N-C05	1800	57,724	2,8	0,0006454	0,00065	0,1123		
PA-N-C06	1920	57,079	2,8	0,0006050	0,00061	0,2121		
PA-N-C07	2064	57,170	2,8	0,0004972	0,00018	0,0661		
PA-N-C08	2160	58,123	2,8	0,0004482	0,00037	0,2210		
PA-N-C09	2280	58,221	2,8	0,0003397	0,00033	0,0695		
PA-N-C010	2400	58,059	2,8	0,0000403	0,00004	0,0244		

Realizado por: (Bastidas, J; Colcha, I, 2023)

La Ilustración 4-7 representa la velocidad de corrosión en acero con recubrimiento. Los valores de la velocidad de corrosión es 0 en las 2 primeras probetas debido a que no se registra pérdida de masa, y a partir de la tercera se tiene velocidad de corrosión cuyos valores están entre 0,0000403 y 0,0010756 mm/año, lo que sugiere una variación muy pequeña en la velocidad de corrosión en función del tiempo de exposición hasta las 2400 horas. Se observa también que a partir de la cuarta probeta comienza a disminuir esta velocidad debido al tipo de recubrimiento empleado, ya que es conocido por su alta calidad y efecto que tiene para frenar el fenómeno de la corrosión a lo largo del tiempo, característica que lo hace ampliamente empleado en la industria naval y petrolera (PPG Industries, 2023).

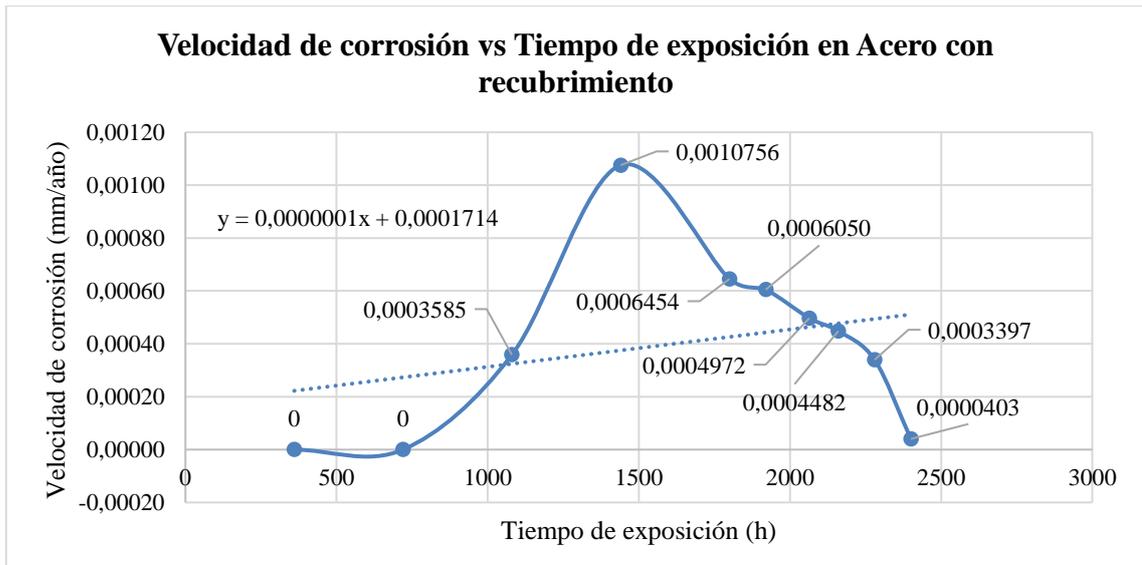


Ilustración 4-7: Velocidad de corrosión en Acero negro con recubrimiento

Realizado por: (Bastidas, J; Colcha, I, 2023)

La ilustración 4-8 muestra la relación entre la variación de la rugosidad superficial y el tiempo de exposición en acero negro con recubrimiento hasta las 2400 horas. Los valores de la rugosidad que se mide con el rugosímetro varían entre 0,0244 y 0,2803 μm , evidenciando que sí existe una pequeña variación durante el tiempo de investigación.

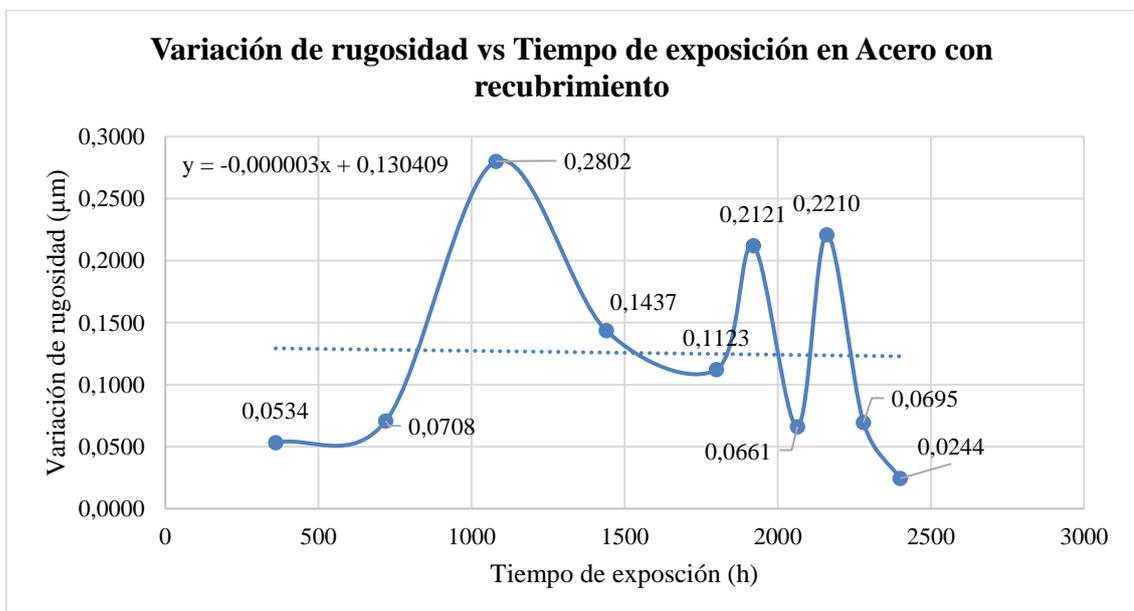


Ilustración 4-8: Variación de rugosidad en Acero con recubrimiento

Realizado por: (Bastidas, J; Colcha, I, 2023)

La Ilustración 4-9 presenta la relación entre la velocidad de corrosión y la variación de rugosidad en acero con recubrimiento superficial. En el eje horizontal se encuentra la velocidad de corrosión, que indica la rapidez con la que el acero negro con recubrimiento se deteriora debido al fenómeno de la corrosión. En el eje vertical se representa la variación de rugosidad, que es una medida de la textura superficial de estas probetas. Además, en la Tabla 4-6 se muestra el coeficiente de determinación R^2 de 0,8303 donde indica que alrededor del 83,03% de la velocidad de corrosión (R_c) puede ser explicada por la variación en la rugosidad superficial (ΔRa) mediante la ecuación de un modelo polinomial de sexto grado, lo que sugiere una relación alta y significativa entre estas variables.

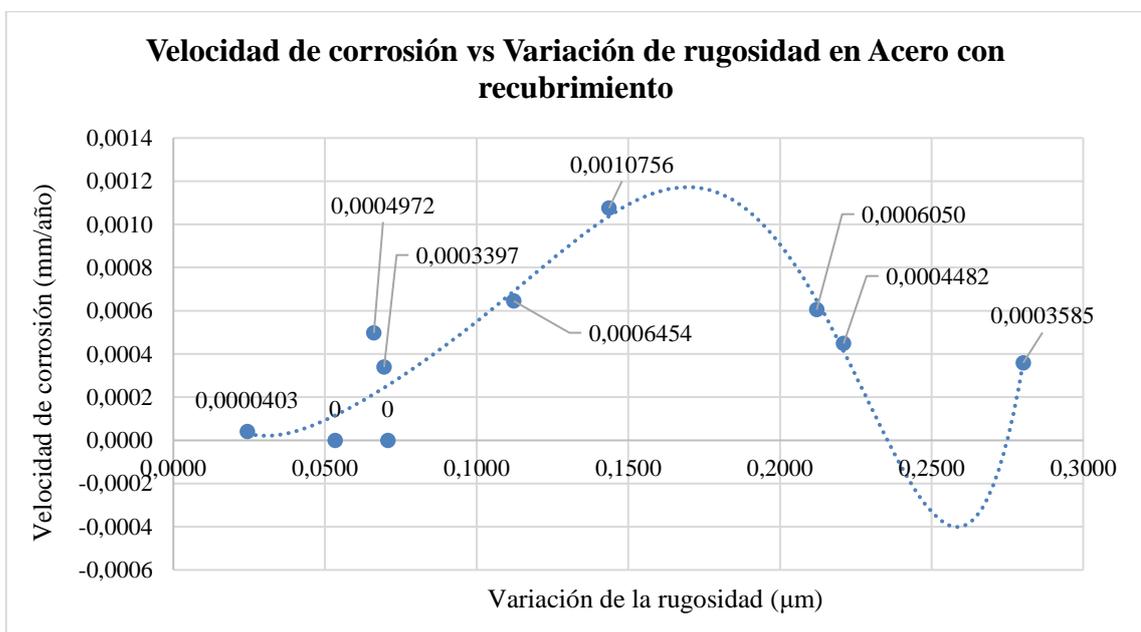


Ilustración 4-9: Velocidad de corrosión vs Variación de rugosidad Acero con recubrimiento

Realizado por: (Bastidas, J; Colcha, I, 2023)

Tabla 4-6: Ecuación y coeficiente de determinación en Acero con recubrimiento

Ecuación	$R_c = 465,76\Delta Ra^6 - 333,93\Delta Ra^5 + 90,607\Delta Ra^4 - 12,494\Delta Ra^3 + 0,9826\Delta Ra^2 - 0,034\Delta Ra + 0,0004$
Coefficiente de determinación	$R^2 = 0,8303$

Realizado por: (Bastidas, J; Colcha, I, 2023)

Según la Tabla 4-7 que se muestra a continuación, se presentan los resultados de velocidad de corrosión (mm/año) y variación de la rugosidad superficial (μm) para muestras de acero galvanizado con protección catódica hasta las 2400 horas de investigación. Estos datos son esenciales para la prevención de la corrosión. Los valores registrados muestran velocidades de corrosión bajas a lo largo del tiempo, lo que sugiere que el sistema de protección catódica está proporcionando una excelente protección contra la corrosión. Además, la variación de la rugosidad en las muestras es mínima, lo que indica que se está manteniendo la integridad superficial del acero. Estos resultados respaldan la efectividad de la protección catódica como una estrategia confiable para prevenir la corrosión en ambientes corrosivos. También se presentan los datos de la velocidad de corrosión estimada mediante la utilización de la ecuación de la Tabla 4-8, los cuales son valores muy cercanos a los obtenidos mediante la fórmula para calcular la velocidad de corrosión real que involucra pérdida de masa.

Tabla 4-7: Recolección de datos de acero con protección catódica del laboratorio ESPOCH

	FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO				
			Datos	Lugar de investigación	ESPOCH		
				Responsables	Bastidas J, Colcha I.		
			Revisa: Ing. Iván Huacho				
Aprueba: Ing. Raúl Martínez							
RESULTADOS							
Código	Tiempo de exposición (horas)	Masa final (g)	Espesor final (mm)	Velocidad de corrosión (mm/año)	Velocidad de corrosión estimada (mm/año)	Variación de la Rugosidad (μm)	
PA-G-C01	360	78,767	2,8	0	0	0,0474	
PA-G-C02	720	78,661	2,8	0	0	0,0450	
PA-G-C03	1080	78,675	2,8	0	0,00023	0,0648	
PA-G-C04	1440	78,711	2,8	0,00088860	0,00085	0,0231	
PA-G-C05	1800	78,712	2,8	0,00078987	0,00034	0,0728	
PA-G-C06	1920	78,754	2,8	0,00037025	0,00041	0,0839	
PA-G-C07	2064	78,6724	2,8	0,00066128	0,00054	0,0944	
PA-G-C08	2160	78,678	2,8	0,00032911	0,00038	0,0790	
PA-G-C09	2280	78,601	2,8	0,00056122	0,00042	0,1190	
PA-G-C010	2400	78,7451	2,8	0,00017180	0,00018	0,0340	

Realizado por: (Bastidas, J; Colcha, I, 2023)

A continuación, en la Ilustración 4-10 se muestra la relación entre la velocidad de corrosión en acero con protección catódica y el tiempo de exposición hasta las 2400 horas. La gráfica revela que, a medida que aumenta el tiempo, la velocidad de corrosión tiende a disminuir gradualmente. Sin embargo, se observa cierta variabilidad en los datos, lo que sugiere que otros factores pueden influir en el proceso de corrosión. Los valores para las tres primeras probetas es 0 puesto que no registra pérdida de masa; mientras que desde la cuarta probeta se registra una disminución en esta velocidad de corrosión con valores que varían entre 0,0001718 y 0,008886 mm/año, lo que indica que los métodos de protección, tanto galvanizado y la protección catódica por ánodo de sacrificio, están influyendo en el retraso del fenómeno de la corrosión en este grupo de probetas.

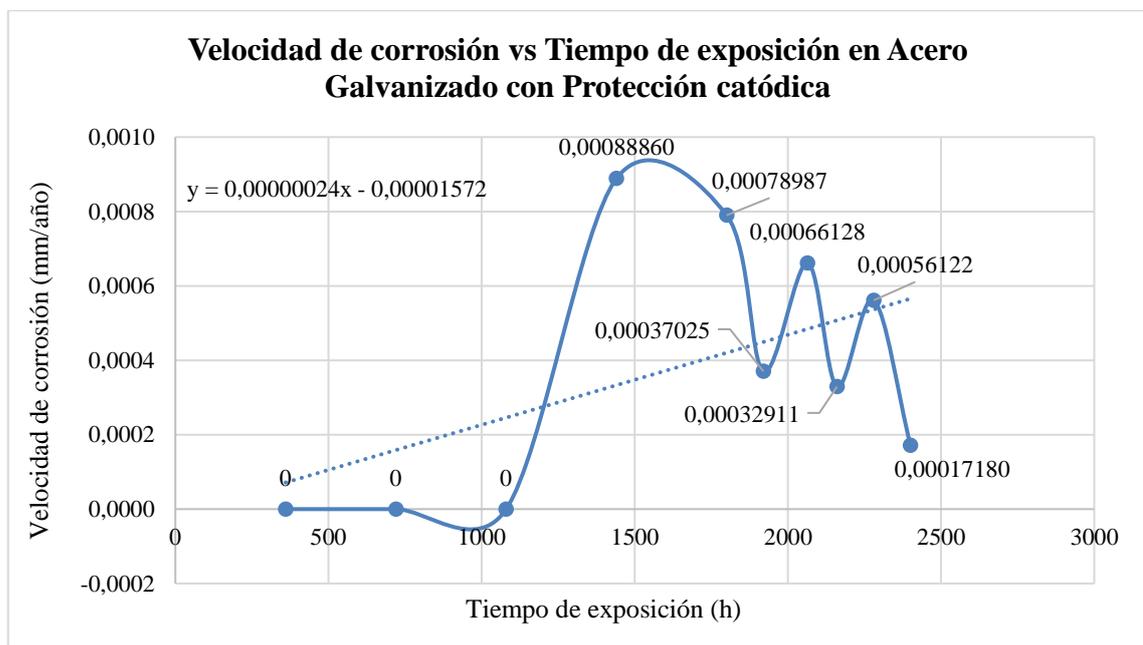


Ilustración 4-10: Velocidad de corrosión vs Tiempo en Acero con protección catódica

Realizado por: (Bastidas, J; Colcha, I, 2023)

A continuación, en la ilustración 4-11 se muestra la variación de la rugosidad superficial en acero con protección catódica en función del tiempo de exposición hasta las 2400 horas. La gráfica revela que, a medida que aumenta el tiempo de exposición, la rugosidad del material también tiende a incrementarse ligeramente. Los valores medidos con el rugosímetro varían entre 0,0231 μm y 0,1190 μm .

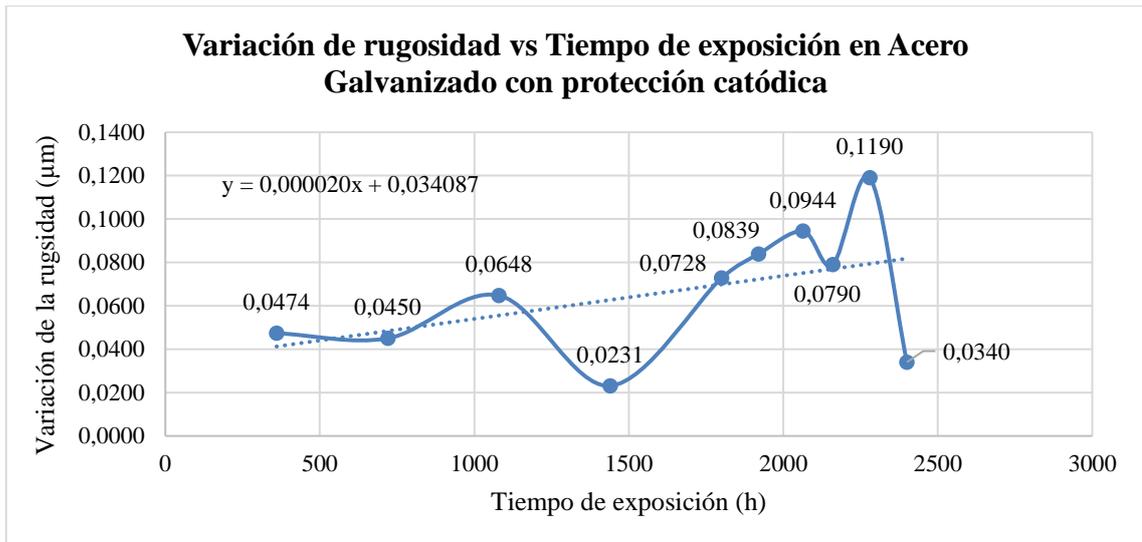


Ilustración 4-11: Variación de rugosidad vs Tiempo en Acero con protección catódica

Realizado por: (Bastidas, J; Colcha, I, 2023)

La Ilustración 4-12 muestra la relación entre la velocidad de corrosión y la variación de rugosidad en el acero galvanizado con protección catódica. En el eje horizontal se encuentra la velocidad de corrosión, que indica la rapidez con la que el acero con protección catódica se deteriora debido a procesos corrosivos naturales. En el eje vertical se representa la variación de rugosidad, que es una medida de la textura superficial del acero.

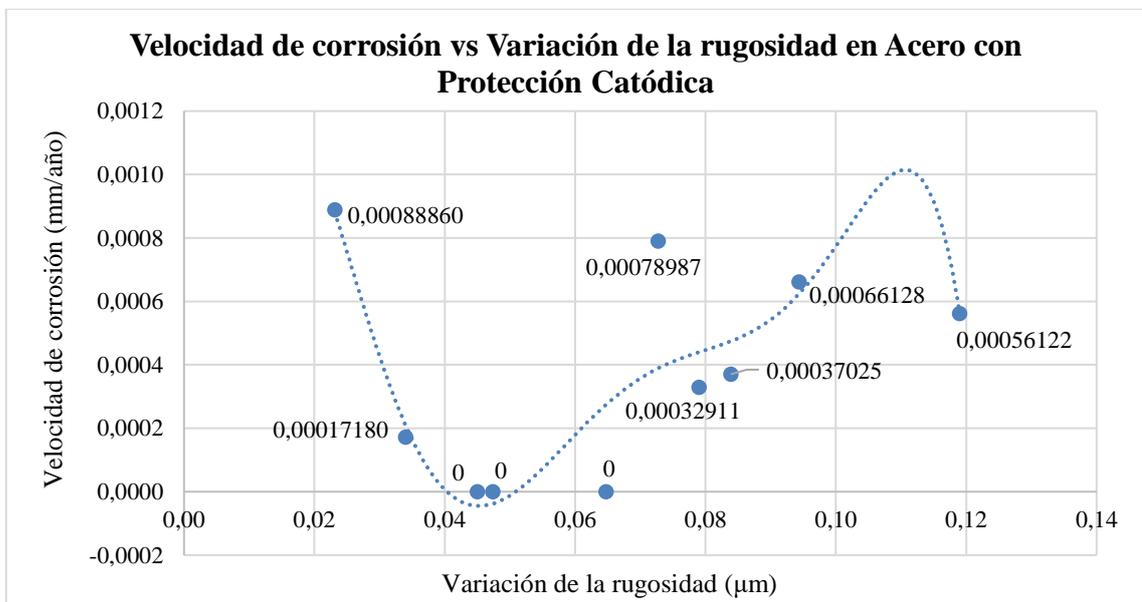


Ilustración 4-12: Velocidad de corrosión vs Variación de rugosidad protección catódica

Realizado por: (Bastidas, J; Colcha, I, 2023)

Como se muestra en la Tabla 4-8 se muestra el coeficiente de determinación R^2 de 0,7394 indica que alrededor del 73,94% de la velocidad de corrosión (R_c) puede ser explicada por la variación en la variación de rugosidad (ΔRa) con la ecuación de un modelo polinómico de sexto grado, lo que sugiere una relación moderada o aceptable entre estas variables. El modelo tiene un buen ajuste a los datos y la relación entre estas dos variables es relativamente fuerte. Sin embargo, aún queda alrededor del 26% de la variabilidad que no está explicada por el modelo y puede estar influenciada por otros factores no considerados.

Tabla 4-8: Ecuación y coeficiente de determinación en Acero con protección catódica

Ecuación	$R_c = -220386\Delta Ra^6 + 87866\Delta Ra^5 - 13733\Delta Ra^4 + 1055,5\Delta Ra^3 - 40,452\Delta Ra^2 + 0,6753\Delta Ra - 0,0028$
Coeficiente de determinación	$R^2 = 0,7394$

Realizado por: (Bastidas, J; Colcha, I, 2023)

4.2 Análisis y recolección de datos en la estación de Milagro “ADELCA”

Es crucial tener en cuenta la investigación previa realizada por (GUALLO CHOCA, y otros pág. 57) quienes extrajeron las seis primeras probetas de cada grupo de acero, según se detalla en el ANEXO D, pues estos datos proporcionan una base de información para continuar con este proyecto. Al seguir el mismo procedimiento de extracción de probetas, se asegura la consistencia y confiabilidad de los datos, lo que es fundamental para obtener resultados precisos y significativos en el estudio de la velocidad de corrosión y rugosidad en cada tipo de acero.

A continuación, se presenta en la Tabla 4-9 los datos finales obtenidos a partir de la probeta 7 donde consta del tiempo de exposición en horas, la masa final, el espesor (mm) y la velocidad de corrosión (mm/año). Para los resultados obtenidos en la velocidad de corrosión se muestran valores entre 0,00010182 mm/año y 0,00047881 mm/año. Esta variación indica la vulnerabilidad del acero negro a la corrosión en el entorno de la estación de Milagro debido a la pérdida de masa.

Tabla 4-9: Recolección de datos de acero negro de la estación de Milagro

	FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO				
		Datos	Lugar de investigación	ADELCA		
			Responsables	Bastidas J, Colcha I.		
		Revisa: Ing. Iván Huacho				
		Aprueba: Ing. Raúl Martínez				
RESULTADOS						
Código	Tiempo de exposición (horas)	Masa final (g)	Espesor final (mm)	Velocidad de corrosión (mm/año)		
PR-07	4320	129,175	2,8	0,00010182		
PR-08	4320	129,16	2,8	0,00020363		
PR-09	4992	129,124	2,8	0,00045817		
PR-10	4992	129,15	2,8	0,00017622		
PR-11	5328	129,13	2,8	0,00016511		
PR-12	5328	129,151	2,8	0,00047881		
PR-13	5688	129,16	2,8	0,00030932		
PR-14	5688	129,16	2,8	0,00015466		
PR-15	6000	129,161	2,8	0,00013195		
PR-16	6000	129,12	2,8	0,00043985		

Realizado por: (Bastidas, J; Colcha, I, 2023)

En la ilustración 4-13 se observa el comportamiento de la velocidad de corrosión a lo largo del tiempo medido en horas, donde se continúa con la probeta 7 luego de 4320 horas hasta la probeta 16 donde se cumplen 6000 horas de exposición al ambiente real con las condiciones de la estación de investigación; Además, se evidencia una tendencia creciente en esta velocidad dado que a este grupo de acero negro no se le aplicó ningún método de protección anticorrosiva.

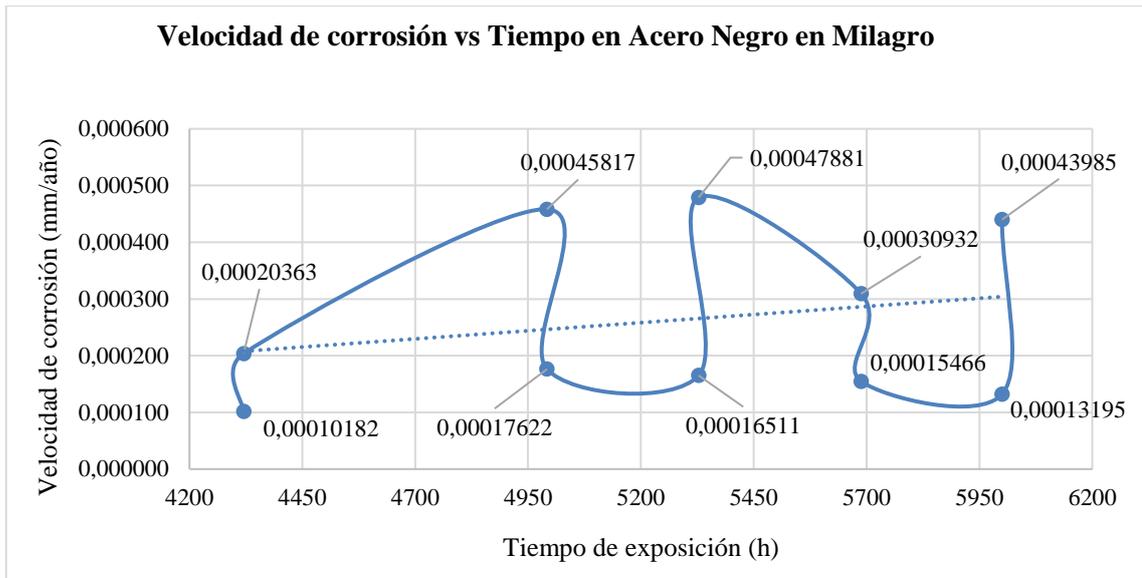


Ilustración 4-13: Velocidad de corrosión vs Tiempo en Acero Negro en Milagro

Realizado por: (Bastidas, J; Colcha, I, 2023)

Para construir el modelo matemático que relacione estas dos variables, es necesario tomar en cuenta la Tabla 4-2, en donde se observa un coeficiente de determinación de 0,472 en la relación entre la velocidad de corrosión y la variación de rugosidad en probetas de acero negro plantadas en la cámara de corrosión del laboratorio de integridad superficial. Sin embargo, esta baja capacidad explicativa sugiere que la variación de rugosidad por sí sola no es un predictor adecuado para la velocidad de corrosión en este material. Por lo tanto, no es apropiado aplicar este modelo para evaluar la velocidad de corrosión en las probetas de acero negro plantadas en la estación de investigación de Milagro (ADELCA).

A continuación, en la Tabla 4-10 se muestra los resultados de la velocidad de corrosión obtenidos para las probetas de acero galvanizado plantadas en la estación de Milagro (ADELCA) que registraron pérdida de masa que corresponden a las muestras 9, 12 y 13. Los valores de la velocidad de corrosión oscilan entre 0,00001671 mm/año y 0,000155334 mm/año. Es con estos últimos resultados obtenidos, que se puede proceder a calcular la variación de la rugosidad superficial en este acero mediante la utilización de la ecuación del modelo polinómico generado en la correlación de estas dos variables, con un coeficiente de determinación R^2 de 0,808 que indica una fuerte correlación entre ambas variables como se presenta en la Tabla 4-4.

Tabla 4-10: Recolección de datos de acero galvanizado de la estación de Milagro

	FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO			
			Datos	Lugar de investigación	ADELCA	
				Responsables		Bastidas J, Colcha I.
			Revisa: Ing. Iván Huacho			
Aprueba: Ing. Raúl Martínez						
RESULTADOS						
Código	Tiempo de exposición (horas)	Masa final (g)	Espesor final (mm)	Velocidad de corrosión (mm/año)	Variación de la rugosidad (µm/año)	
PZ-09	4992	128,081	2,8	0,000155334	0,001123	
PZ-12	5328	128,089	2,8	0,000016171	0,002320	
PZ-13	5688	127,993	2,8	0,000106032	0,003219	

Realizado por: (Bastidas, J; Colcha, I, 2023)

La Ilustración 4-14 representa el comportamiento de la velocidad de corrosión en función del tiempo de exposición. Se muestra en el eje horizontal el tiempo en horas y el eje vertical muestra la velocidad de corrosión en mm/año. El rango de velocidad de corrosión observado es notablemente pequeño, variando desde 0,000016653 a 0,000159968 mm/año. Esta estrecha banda de valores sugiere una tendencia decreciente relativa en la degradación del material a lo largo del tiempo, esto por efecto de la naturaleza del galvanizado como elemento anticorrosivo.

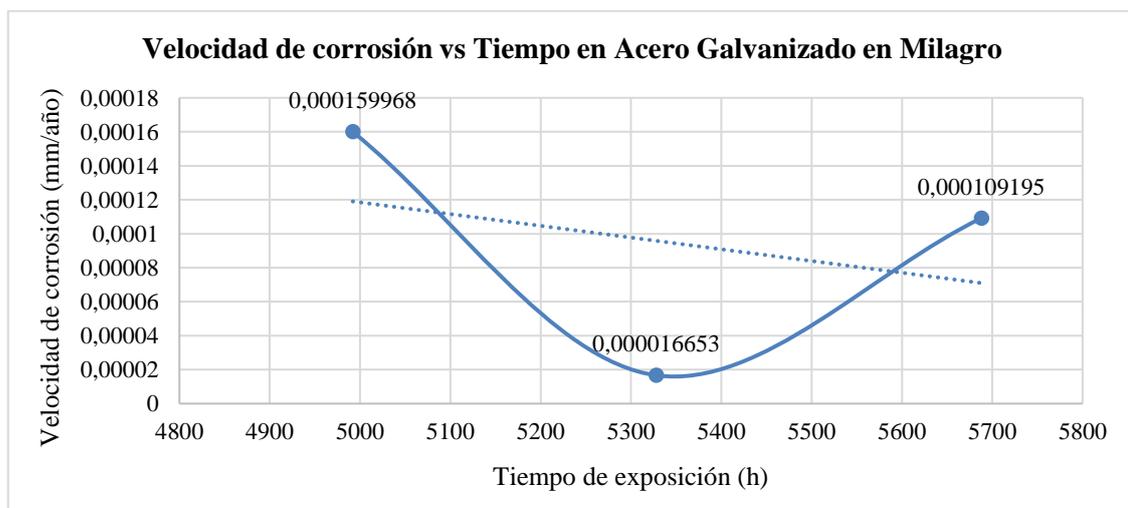


Ilustración 4-14: Velocidad de corrosión vs Tiempo en Acero Galvanizado en Milagro

Realizado por: (Bastidas, J; Colcha, I, 2023)

La Tabla 4-11 presenta datos acerca de la velocidad de corrosión y variación de rugosidad en las probetas de acero negro con recubrimiento. Para obtener los resultados de rugosidad, se requirió evaluar el coeficiente de determinación R^2 que describe la relación entre estas dos variables, y para eso es necesario observar la Tabla 4-6 donde nos proporciona estos valores. El valor obtenido de R^2 indica una fuerte correlación entre estos dos parámetros y utilizando la ecuación proporcionada en la misma tabla, fue posible determinar la variación de la rugosidad aproximada para las probetas plantadas en la estación de investigación de Milagro (ADELCA).

Estas velocidades varían entre 0,001450 y 0,003169 mm/año dado que, si registraron pérdida de masa hasta las 6000 horas de investigación, mientras que los valores de rugosidad obtenidos mediante la ecuación del modelo polinómico considerada en la Tabla 4-6 oscilan entre 0,0003017 y 0,0003527 μm para estas probetas.

Tabla 4-11: Recolección de datos de acero con recubrimiento de la estación de Milagro

		FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO		
				Datos	Lugar de investigación	ADELCA
				Responsables	Bastidas J, Colcha I.	
				Revisa: Ing. Iván Huacho		
				Aprueba: Ing. Raúl Martínez		
RESULTADOS						
Código	Tiempo de exposición (horas)	Masa final (g)	Espesor final (mm)	Velocidad de corrosión (mm/año)	Variación de la rugosidad ($\mu\text{m}/\text{año}$)	
PP-07	4320	131,75	2,8	0,002782	0,02595	
PP-08	4320	131,26	2,8	0,001788	0,03583	
PP-09	4992	131,2	2,8	0,002063	0,03632	
PP-10	4992	131,27	2,8	0,002751	0,04729	
PP-11	5328	131,74	2,8	0,003061	0,05256	
PP-12	5328	131,27	2,8	0,001450	0,03209	
PP-13	5688	131,12	2,8	0,002263	0,07429	
PP-14	5688	131,55	2,8	0,003169	0,06928	
PP-15	6000	131,52	2,8	0,001860	0,03456	
PP-16	6000	131,69	2,8	0,002718	0,06296	

Realizado por: (Bastidas, J; Colcha, I, 2023)

La ilustración 4-15 presenta la velocidad de corrosión en función del tiempo para las probetas de acero negro con recubrimiento superficial SIGMAFAST™ 278 analizados en la estación de Milagro. En esta ilustración se observa que la línea de tendencia muestra un incremento gradual, aunque la corrosión que ocurre es mínima debido al método de protección con recubrimiento analizados hasta las 6000 horas de investigación. Este fenómeno es relevante para comprender la confiabilidad de este método anticorrosivo con el paso del tiempo.

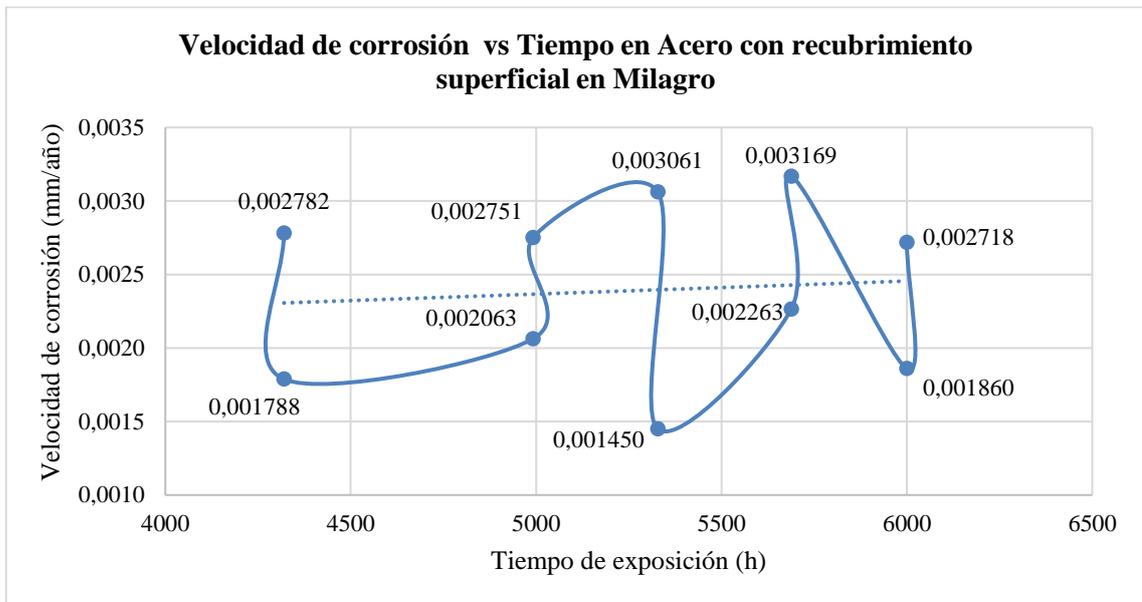


Ilustración 4-15: Velocidad de corrosión vs Tiempo en Acero con recubrimiento en Milagro

Realizado por: (Bastidas, J; Colcha, I, 2023)

La Tabla 4-12 presenta los valores de velocidad de corrosión y variación de rugosidad obtenidos. Para el cálculo de la rugosidad, también es necesario observar la Tabla 4-8, que muestra el coeficiente de determinación R^2 . Dado que el valor de este coeficiente es de 0,7394, se considera moderada o aceptable para aplicar el modelo polinómico de sexto grado en el cálculo de la rugosidad para las probetas de ADELCA.

Con base en esta aceptación, se procede a calcular utilizando la ecuación encontrada en la misma tabla de la relación entre la velocidad de corrosión y la variación de la rugosidad del acero galvanizado con protección catódica por ánodo de sacrificio en la estación de investigación del laboratorio de integridad superficial.

Sin embargo, aunque el valor de R^2 sugiere que este modelo polinómico es razonable para identificar una correlación entre las variables analizadas, es importante tener en cuenta que los cálculos muestran valores negativos en la variación de rugosidad. Esto puede deberse a que el

modelo de sexto grado, al ser bastante complejo, tiende a ajustarse demasiado a los datos que se usan para comprobar, lo que puede llevar a problemas de sobreajuste. Por lo tanto, es posible que no se adapte adecuadamente a los nuevos datos y se vea afectada en su aplicabilidad práctica para predecir valores poco confiables o incorrectos para este tipo de acero con este método de protección anticorrosiva.

Tabla 4-12: Recolección de datos de acero con protección catódica de la estación de Milagro

	FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO			
			Datos	Lugar de investigación	ADELCA	
				Responsables	Bastidas J, Colcha I.	
			Revisa: Ing. Iván Huacho			Aprueba: Ing. Raúl Martínez
RESULTADOS						
Código	Tiempo de exposición (horas)	Masa final (g)	Espesor final (mm)	Velocidad de corrosión (mm/año)	Variación de la rugosidad (µm/año)	
PA-07	4320	124,064	2,8	0,000127201	0,08345	
PA-09	4992	124,062	2,8	0,000146771	0,09243	
PA-11	5328	124,057	2,8	0,000223462	0,19543	
PA-12	5328	124,05	2,8	0,000171894	0,09392	
PA-13	5688	124,05	2,8	0,000322028	0,19628	
PA-14	5688	124,065	2,8	0,000080507	0,12675	

Realizado por: (Bastidas, J; Colcha, I, 2023)

La Ilustración 4-16 representa la velocidad de corrosión vs tiempo en acero con protección catódica en la estación de investigación de Milagro (ADELCA). Se observa una línea de tendencia creciente, aunque su incremento es mínimo en comparación con el tiempo transcurrido. Esto indica que el método de protección catódica por ánodo de sacrificio es efectivo para prevenir la corrosión en este ambiente. Estas velocidades oscilan entre 0,000080507 y 0,000322028 mm/año, debido a que estas probetas registran pérdida de masa.

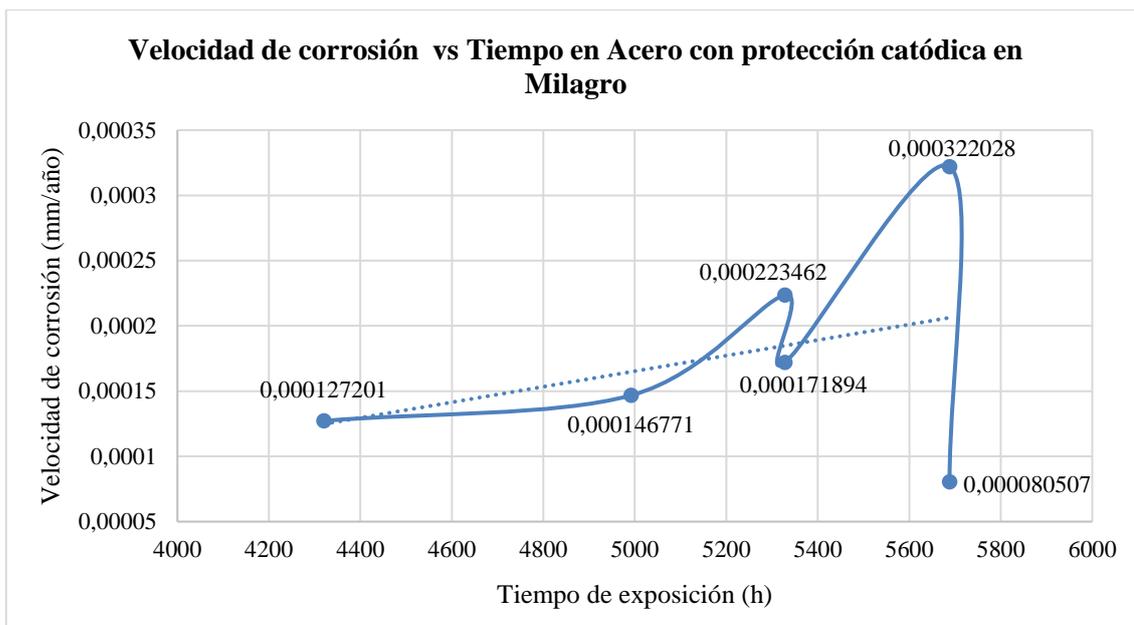


Ilustración 4-16: Velocidad de corrosión vs Tiempo en Acero con protección catódica en Milagro

Realizado por: (Bastidas, J; Colcha, I, 2023)

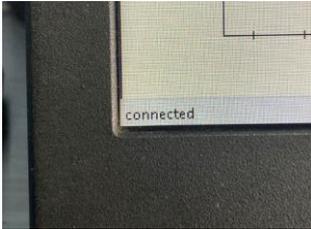
4.3 Manual de procedimientos para el manejo del rugosímetro

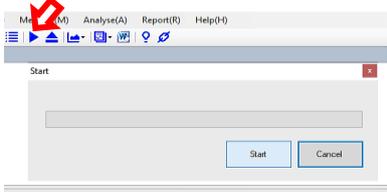
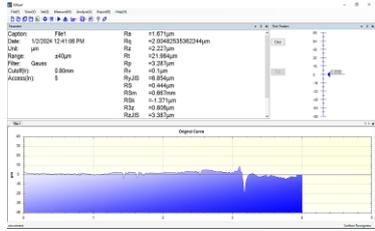
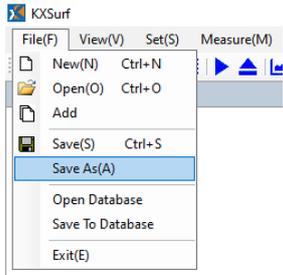
Para llevar a cabo cada una de las mediciones en las probetas tanto iniciales y finales, previamente se instaló el software propio del equipo en una laptop, con el fin de facilitar el proceso de registro de datos. El software viene contenido en un pendrive en el interior del estuche como parte de la adquisición del equipo.

Es importante para el uso del manual familiarizarse completamente con su contenido antes de comenzar a utilizar el rugosímetro. Es fundamental seguir cada paso descrito en el manual de procedimientos de manera cuidadosa para garantizar mediciones precisas y confiables.

A continuación, se muestra el manual de procedimientos para el manejo del rugosímetro, consta de una detallada descripción de la actividad, que incluye la preparación del equipo, la medición y el registro de los datos. También se proporciona información sobre los componentes y herramientas necesarios, así como la imagen de referencia que muestra el rugosímetro y sus partes identificadas. Al final del manual se incluyen indicaciones importantes, como recomendaciones para el uso adecuado del equipo, pautas para el almacenamiento y mantenimiento. Este manual es una guía completa para garantizar la precisión y fiabilidad en la medición de la tasa de corrosión en ambiente controlados.

	MANUAL DE PROCEDIMIENTO	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO			
		Datos	Lugar de investigación	Taller de fundición ESPOCH	
			Responsables		Bastidas J, Colcha I.
		Revisa: Ing. Iván Huacho			
Aprueba: Ing. Raúl Martínez					
DESARROLLO					
N°	Actividad	Componente/herramienta	Imagen de referencia		
1	Abrir el estuche del rugosímetro y colocarlo sobre una superficie plana				
2	Verificar que todos los componentes estén presentes y retirarlos del estuche con cuidado	El medidor principal, el lápiz óptico de punta de diamante, el protector de la punta, las placas de nivelación, el destornillador.			
3	Colocar el lápiz óptico en su posición en el medidor principal, introduciéndolo cuidadosamente por la parte frontal del medidor	Lápiz óptico			
4	Asegurar el protector del lápiz ajustando los respectivos tornillos	Destornillador			
5	Colocar las placas de nivelación en la parte	Destornillador			

	posterior del medidor principal ajustando los respectivos tornillos		
6	Encender el medidor con el interruptor de encendido		
7	Conectar el cable USB al medidor y a la computadora	Cable USB Laptop	
8	Verificar que en la esquina inferior izquierda del software indique la palabra "conectado"		
9	Pulsar el botón de indicador de cero para proceder a realizar la nivelación		
10	Colocar la probeta en una superficie plana y montar de forma cuidadosa el medidor sobre la probeta en la zona que se quiera medir	probetas	

11	<p>Manipular el medidor de arriba hacia abajo hasta que el indicador esté en 0, y luego ajustar el tornillo de las placas de fijación guardando la posición donde se alcanzó a nivelar.</p>		
12	<p>Dar clic en el ícono ► en el programa, luego clic en el botón Start y esperar unos segundos hasta que se registre la medición</p>		
13	<p>Analizar y observar la gráfica y los valores obtenidos en el programa</p>		
14	<p>Para guardar se da clic en File y luego Save As, posteriormente elegir la ubicación donde se desea guardar</p>		
<p>Nota: Procurar cuidar la integridad física de todo el equipo, especialmente la punta de diamante del lápiz óptico durante toda su utilización debido a su extrema delicadeza y alto costo.</p>			
<p>Observaciones:</p> <hr/> <hr/>			

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Después de realizar el análisis de la tasa de corrosión en ambientes controlados con la ayuda de un equipo de integridad superficial en las probetas de la Estación de Investigación Milagro (ADELCA) y el laboratorio de integridad superficial en el taller de fundición de la ESPOCH, en primer lugar, se logró recopilar datos experimentales confiables de las muestras plantadas en la estación de Milagro, lo que proporcionó una base sólida para el análisis comparativo. En segundo lugar, las probetas elaboradas que se colocaron en la cámara de corrosión bajo condiciones controladas en el laboratorio de integridad superficial mostraron resultados consistentes y reproducibles, indicando la fiabilidad del método empleado.

Sin embargo, es importante destacar que, con respecto a la variación de rugosidad superficial y su correlación con la velocidad de corrosión, se destaca resultados para tres de los cuatro grupos de aceros analizados. En base al valor de R^2 de 0,472 en las probetas de acero negro no se observó una relación fuerte ni robusta sino moderada entre estas dos variables; mientras que para el acero galvanizado, acero negro con recubrimiento SIGMAFAST™ 278, y acero galvanizado con protección catódica mostraron valores de R^2 de 0,808, 0,8303 y 0,7394 respectivamente que son valores más altos que el anterior y cercanos a 1, lo que indicó que en estos tres tipos de probetas sí se podrían aceptar su modelo construido. A pesar de que se esperaba que una mayor velocidad de corrosión condujera a una mayor variación de rugosidad, los resultados indican que otros factores, como composición química y la presencia de agentes corrosivos en el ambiente, pueden tener un impacto más significativo en el fenómeno de corrosión.

Finalmente, como resultado de este estudio, se elaboró un manual de operación del equipo de integridad superficial que puede ser utilizado como guía para recopilar prácticas académicas en futuras investigaciones. Este manual proporciona instrucciones detalladas sobre cómo utilizar el equipo de forma efectiva y segura, lo que contribuirá al avance de la investigación en el campo de la corrosión. La elaboración del manual de operación del equipo de integridad superficial representa un logro significativo en la investigación académica. Además, proporciona pautas detalladas y claras para el uso adecuado y seguro del equipo.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda tener especial cuidado al manejar el equipo de integridad superficial (rugosímetro), debido a la fragilidad de la punta de diamante del lápiz óptico. Es importante evitar impactos y la aplicación de fuerza excesiva sobre la superficie, dado que la reparación de esta parte es costosa. Además, se aconseja cuidar con atención todo el medidor para asegurar su correcto funcionamiento y prolongar su vida útil.

Monitorear frecuentemente el correcto funcionamiento de la cámara de corrosión, así como la adecuada programación de las variables que se desean controlar como temperatura, voltaje, etc., sobre todo, la utilización de los mismos equipos para registrar las diferentes mediciones iniciales y luego las finales al transcurrir el determinado tiempo de investigación.

Es importante realizar un estudio más detallado que considere una amplia gama de factores, como composición química del material, su microestructura, la presencia de agentes corrosivos en el ambiente, la velocidad del flujo del medio corrosivo y la presencia de microorganismos, con el fin de obtener una comprensión más completa de la relación entre la rugosidad y la corrosión, eliminando así todas las posibles fuentes de errores en los resultados. Este enfoque permitirá desarrollar estrategias más efectivas de mitigación de la corrosión y mejorar la durabilidad de los materiales en ambientes controlados.

Finalmente se sugiere explorar también nuevas técnicas y tecnologías en el campo de la corrosión como el uso de nuevas estrategias de análisis avanzado por ejemplo microscopía electrónica de barrido, espectroscopía de impedancia electroquímica. Estas herramientas podrían proporcionar una comprensión más profunda de los mecanismos de corrosión y mejorar la evaluación de la integridad superficial de los materiales.

GLOSARIO

Tiempo de exposición: Se refiere al periodo durante el cual un material o una superficie están expuestos a un determinado ambiente, sustancia o condiciones.

Ambiente controlado: Entorno donde se manipula y controlan variables como temperatura, humedad y composición química para realizar experimentos.

Integridad superficial: Estado en el que un material conserva su superficie sin defectos ni deterioro.

Deterioro: Proceso de descomposición o desgaste de un material a lo largo del tiempo.

Recubrimiento: Capa aplicada sobre la superficie de un material para protegerlo o mejorar sus propiedades.

Desgaste: Pérdida gradual de una superficie debido a la fricción u otros procesos.

Análisis: Proceso de examinar algo en detalle para comprender su naturaleza o composición.

Calibración: Ajuste o verificación de la precisión de un instrumento de medición.

Humedad: Cantidad de vapor de agua presente en el aire o en un material, puede afectar a la corrosión.

Ánodo: Electrodo donde ocurre la oxidación, perdiendo electrones. En corrosión, metal se corroerá más fácilmente que en el cátodo.

Cátodo: Electrodo donde ocurre la reducción, ganando electrones. En corrosión, lugar donde ocurre reacciones protectoras, como la reducción de oxígeno.

BIBLIOGRAFÍA

1. **ALVEAR CISNEROS, Andrea Carolina & DÁVILA FRÍAS, Jhonny Javier.** Estudio de la integridad superficial del Acero Inoxidable Dúplex 2205 al variar parámetros como velocidad de avance y profundidad de corte en la operación de fresado. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Escuela Politécnica Nacional, Carrera de Ingeniería Mecánica. Quito-Ecuador. 2020 págs. 20-23 [Consulta: 2023-11-28]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20619>
2. **AMPCO.** *Resistencia a la Corrosión.* [blog]. Quito, 2023 [Consulta: 28 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.ampcometal.com/es/aplicaciones/resistencia-a-la-corrosion/>
3. **AMPP TM.** *SSPC-PA 1-2016, Shop, Field, and Maintenance Coating of Metals.* [blog]. 2016. [Consulta: 22 Diciembre 2023.] Disponible en: <https://store.ampp.org/shop-field-and-maintenance-coating-of-metals>
4. **ASTM INTERNACIONAL.** *Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens.* West Conshohocken: ASTM internacional, 2017.
5. **ÁVILA BRITO, José Eduardo & PAZMIÑO SALGADO, Diego Alberto.** Análisis, control y optimización de parámetros del proceso de galvanizado electrolítico de Zinc (Zinc Plating) sobre acero, mediante métodos y modelos estadísticos cumpliendo con la norma ASTM B633. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). ESPE, Quito-Ecuador. 2017. pág. 24. [Consulta: 2023-11-28]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/12991/1/T-ESPE-057188.pdf>
6. **AVILA SINCHIRE, John Douglas.** Diseño de un proceso de recuperación de aluminio por fusión de los empaques tipo blíster. [En línea] (Trabajo de titulación) (Pregrado). Escuela Politécnica Nacional. Quito-Ecuador. 2020. pág. 6. [Consulta: 2023-11-28] Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/21263/1/CD%2010781.pdf>
7. **CAPUS SOLANO, Edisson Stalin.** Análisis de la resistencia al desgaste abrasivo del acero al carbono ASTM A-36 y del AISI 1045, con tratamiento superficial, para utilizar en la reparación de cucharones de retroexcavadoras.[En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Técnica de Ambato. Ambato-Ecuador.2020. pág. 14. [Consulta: 2023-11-27]. Disponible en:

<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/30699/1/Tesis%20I.%20M.%20584%20-%20Capus%20Solano%20Edisson%20Stalin.pdf>

8. **CASTILLO GUEVARA, Marco Antonio & LUCAR HUAMÁN, Jorge Luis.** Resistencia y capacidad de adherencia con el concreto del acero de refuerzo sometido a agentes corrosivos. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Andina del Cusco. Cusco-Perú. 2021. págs. 40-42. [Consulta: 2023-11-26]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12557/4636>
9. **CHANDIAS PÉREZ, Mario Gabriel.** Análisis de la Influencia en la Integridad Superficial en Operaciones de Fresado Prismático de Material AISI 1045 según el Sistema de Amarre de la Herramienta de corte. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad Politécnica de Valencia. Valencia-España. 2022. págs. 8-11. [Consulta: 2023-11-28]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/189519/Chandias%20-%20Analisis%20de%20la%20Influencia%20en%20la%20Integridad%20Superficial%20en%20Operaciones%20de%20Fresado%20Prism....pdf?sequence=2>
10. **CONCEPTO.** *Corrosión*. [blog]. 2021. [Consulta: 24 noviembre 2023]. Disponible en: <https://concepto.de/corrosion/>
11. **COMEX.** *SIGMAFAST™ 278*. [blog]. 2019. [Consulta: 28 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.comex.com.mx/getattachment/0615b87a-baf4-4148-a905-63bedd3803f7/.aspx/>
12. **CONVENIOS ESPOCH.** *Convenios*. [blog]. Riobamba: 2023. [Consulta: 9 Enero 2024]. Disponible en: http://vinculacion2.esPOCH.edu.ec:1337/uploads/CONVENIOS_ESPOCH_77fc67bf43.pdf
13. **CYM MATERIALES S. A.** *Preparación de Superficie-Norma SSPC. SSPC-SP/NACE N°1 (Limpieza con chorro de abrasivo -Granallado/arenado metal blanco)*. [blog]. 2015. [Consulta: 22 diciembre 2023]. Disponible en: <https://cym.com.ar/intranet/Preparacion-de-superficies-norma-SSPC-granallado-cymmateriales-shotblasting.pdf>
14. **DIPAC.** *Planchas Laminadas en Caliente*. [blog] 2023. [Consulta: 23 noviembre 2023] Disponible en: <https://dipacmanta.com/producto/planchas/planchas-acero-negro/planchas-laminadas-en-caliente/>

15. **DIRECT INDUSTRY.** *Rugosímetro de superficie SRG-4600*. [blog]. 2023. [Consulta: 16 diciembre 2023]. Disponible en: <https://www.directindustry.es/prod/phase-ii/product-25675-2397253.html>.
16. **ENCICLOPEDIA HUMANIDADES.** *Acero*. [blog]. 2023. [Consulta: 27 noviembre 2023.] Disponible en: <https://humanidades.com/acero/>
17. **GARCÉS TERRADILLOS, Pedro; et al.** "Recomendaciones sobre Velocidad de Corrosión". *ALCONPAT Internacional* [en línea], 2020, vol. 3, págs. 1-12. [Consulta: 18 noviembre 2023]. Disponible en: https://alconpat.org/assets/docs/recomendaciones_tecnicas/03_RT.pdf
18. **GUALLO CHOCA, Hugo Abraham & GUAMÁN CAJAMARCA, Jorge Antonio.** Monitoreo de la tasa de corrosión en probetas metálicas utilizando diferentes métodos de protección en la Empresa Adelca del cantón Milagro. [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba-Ecuador. 2023. págs. 1-71. [Consulta: 2024-01-05]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/20957/1/25T00547.pdf>
19. **GUEVARA ALBAN, Gladys Patricia; et al.** "Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción)". *Revista Científica de la Investigación y el Conocimiento* [en línea], 2020, (Ecuador), vol. 4 (3), págs. 163-173. [Consulta: 14 noviembre 2023]. ISSN-e 2588-073X. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7591592>
20. **IRRIBARREN B., Osvaldo & GONZÁLES G., Claudio.** "Quemaduras por agentes químicos". *Portal de Revistas académicas de la Universidad Austral de Chile* [en línea], 2018, (Chile), vol. 15 (1), págs. 61-69. [Consulta: 17 noviembre 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.4206/cuad.cir.2001.v15n1-12>
21. **LASTRAS PÉREZ, Montserrat.** Estudio Histórico y propuesta de intervención de una balanza metálica. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Grado). Universidad Politécnica de Valencia, Valencia-España. 2021. pág. 14. [Consulta: 2024-02-10]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/170751/Morales%20-%20ESTUDIO%20HIS>

[TORICO%20Y%20PROPUESTA%20DE%20INTERVENCION%20DE%20UNA%20BA
LANZAMETALICA.pdf?sequence=1](#)

22. **MERINO CASALS, Concepción.** *Aceros inoxidables.* Madrid-España: Dextra Editorial, 2017, pág. 27-28
23. **MORLOPIN.** *Recubrimiento anticorrosivo* [blog]. Valdilecha-España. 2023. [Consulta: 28 noviembre 2023]. Disponible en: <https://morlopin.com/recubrimiento-anticorrosivo/>
24. **PANEL.** *La importancia del Acero A 36: Encuentra sus propiedades y usos* [blog]. Monterrey. 2023. [Consulta: 27 noviembre 2023]. Disponible en: <https://panelyacanalados.com/blog/acero-a-36-propiedades-y-usos/>
25. **PCC GROUP.** *Corrosión en metales y métodos para prevenirla.* [blog]. 2022. [Consulta: 12 diciembre 2023]. Disponible en: <https://www.products.pcc.eu/es/academy/corrosion-de-metales-y-metodos-para-prevenirla/>
26. **PPG Industries.** *Revestimientos protectores y marinos. Petróleo, gas y química.* [blog] 2023. [Consulta: 09 marzo 2024]. Disponible en: <https://www.ppgpmc.com/protective/oil-gas-and-chemical#>
27. **RODRIGUEZ, Héctor.** *Propiedades del aluminio (Al).* [blog]. 2022. [Consulta: 27 noviembre 2023]. Disponible en: https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/propiedades-aluminio-al_18221
28. **SAFETY CULTURE.** *Guía rápida sobre normas de calidad.* [blog]. 2022. [Consulta: 28 noviembre 2023]. Disponible en: <https://safetyculture.com/es/temas/aseguramiento-de-la-calidad-y-control-de-calidad/normas-de-calidad/#:~:text=Las%20normas%20de%20calidad%20se,los%20procesos%20y%20los%20productos>
29. **SALAZAR JIMÉNEZ, José Alberto.** "Introducción al fenómeno de corrosión: tipos, factores que influyen y control para la protección de materiales (Nota técnica)". *Scielo* [en línea], 2015, (Costa Rica), vol. 28 (3), págs. 127-136. [Consulta: 10 noviembre 2023]. ISSN 0379-3982. Disponible en: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0379-39822015000300127&script=sci_abstract&tlng=es

30. WEERG. *¿Cuáles son los 4 tipos de acero?* [blog]. Venecia. 2020. [Consulta: 27 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.weerg.com/es/guias/cu%C3%A1les-son-los-4-tipos-de-acero>

ANEXOS

ANEXO A: MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA ACERO NEGRO Y GALVANIZADO

	MANUAL DE PROCEDIMIENTOS	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO		
		Datos	Lugar de investigación	ADELCA
			Inicio de investigación	14/06/2023
			Encargado	Guallo H, Guamán J.
		Revisa: Ing. Alex Geovanny Ténicota		
Aprueba: Ing. Edison Calderón				
Área de investigación	Administrativo	Tipo de protección	Sin y con recubrimiento	
Código del material	PR-01 hasta PR-16	Tipo de material	Acero ASTM A36	
	PZ-01 hasta PZ-16	Dimensiones	12x5mm y e = 3mm	
DESARROLLO				
Nº	Actividad	Equipos/documento		
1	Remover la tierra de una manera suave de acuerdo al área de la probeta.	Cinzel con vástago SDS Max		
2	Extraer la probeta según el orden de la codificación de una manera lenta y continua, evitando el contacto con el resto de probetas.	Pinzas		
3	Limpiar la superficie de la probeta con mucho cuidado.	Brochas		
4	Medir en diferentes puntos de la superficie de la probeta de acero.	Micrómetro o calibrador		
5	Pesar la probeta ASTM A36 en un ambiente adecuado.	Balanza de precisión		
6	Recolectar los datos del espesor y la masa de la probeta ASTM A36 según el orden de la codificación.	Fichas de recolección de datos y variables		
7	Recolectar los datos de la temperatura, humedad y nivel de pH del entorno donde se desarrolla la investigación.	Fichas de recolección de datos y variables		
Observaciones:				

Realizado por: (Guallo, H; Guamán, J, 2023)

ANEXO B: MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA ACERO CON PROTECCIÓN CATÓDICA

Tabla 4-5: Manual de procedimiento para protección catódica

		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	
				Datos	Lugar de investigación
			Inicio de investigación	14/06/2023	
			Encargado	Guallo Hugo.	
		Revisa: Ing. Alex Geovanny Ténicota			
		Aprueba: Ing. Edison Calderón			
Área de investigación	Administrativo	Tipo de protección	Catódica		
Código del material	PA-01 hasta PA-16	Tipo de material	Acero ASTM A36		
		Dimensiones	120x50mm y e = 28mm		
DESARROLLO					
Nº	Actividad	Equipos/documento			
1	Remover la tierra de una manera suave de acuerdo a la ubicación de las probetas ASTM A36 con inhibidores. Evitar remover mucha tierra debido a que las probetas están a una distancia de 5cm entre sí, el cual podrían moverse con facilidad.	Cincol con vástago SDS Max			
2	Desconectar los terminales de la fuente de alimentación, el terminal positivo desconectar del ánodo (aluminio) y el terminal negativo desconectar de cátodo (probeta).	Regulador de voltaje, juego de llaves y cinta			
3	Extraer la probeta de una manera lenta y continua, evitando el contacto con el resto de probetas. La probeta se debe extraer según el orden de la codificación	Pinzas			
4	Limpia la superficie de la probeta con mucha precisión ya que la corrosión se presenta en una forma diminuta y amarillenta. Una mala limpieza de la superficie puede arrojar datos erróneos que pueden alterar la investigación.	Brochas			
5	Medir en diferentes puntos de la superficie del acero ASTM A36 para obtener una medida promedio, debido a que la corrosión no ataca de una forma uniforme en la superficie de la probeta.	Micrómetro o calibrador			
6	Pesar la probeta ASTM A36 en un ambiente aislado de aire, ya que el ingreso del aire entre el sensor y la probeta puede alterar el valor de la masa.	Balanza de precisión			
7	Recolectar los datos del espesor y la masa del ánodo de sacrificio según el orden de la codificación.	Balanza de precisión y micrómetro			
8	Recolectar los datos del espesor y la masa de la probeta ASTM A36 según el orden de la codificación. Cabe destacar que cada tipo de protección anticorrosivo tiene su ficha de recolección de datos.	Fichas de recolección de datos y variables			
9	Recolectar los datos de la masa y el espesor del ánodo de sacrificio	Fichas de recolección de datos y variables			
10	Recolectar los datos de la temperatura, humedad y nivel de pH del entorno donde se desarrolla la investigación. Cabe destacar que cada tipo de protección anticorrosivo tiene su ficha de recolección de datos.	Fichas de recolección de datos y variables			
Observaciones:					

Realizado por: (Guallo, H; Guamán, J, 2023)

ANEXO C: MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA PROBETAS CON RECUBRIMIENTO

Tabla 4-3: Manual de procedimiento para probetas con protección superficial

		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	
				Datos	Lugar de investigación
			Inicio de investigación	14/06/2023	
			Encargado	Guallo Hugo	
		Revisa: Ing. Alex Geovanny Ténicota			
		Aprueba: Ing. Edison Calderón			
Área de investigación	Administrativo	Tipo de protección	Con inhibidores		
Código del material	PP-01 hasta PP-16	Tipo de material	Acero negro		
		Dimensiones	120x50mm y e = 28mm		
DESARROLLO					
Nº	Actividad	Equipos/documento			
1	Remover la tierra de una manera suave de acuerdo a la ubicación de las probetas de acero negro con pintura. Evitar remover mucha tierra debido a que las probetas están a una distancia de 5cm entre sí, el cual podrían moverse con facilidad.	Cinzel con vástago SDS Max.			
2	Extraer la probeta de una manera lenta y continua para no rasgar la pintura, evitando el contacto con el resto de probetas. La probeta se debe extraerse según el orden de la codificación	Pinzas			
3	Limpia la superficie de la probeta con mucho cuidado ya que la corrosión se presenta en una forma diminuta y amarillenta. Una mala limpieza de la superficie puede arrojar datos erróneos que pueden alterar la investigación.	Brochas			
4	Una parte que se debe tener en cuenta luego de la limpieza de la probeta es observar la integridad de la pintura sobre la probeta, ya que la pintura puede estar cascareaada, desprendida o intacto.	Lupa			
5	Medir en diferentes puntos de la superficie del acero negro para obtener una medida promedio, debido a que la corrosión no ataca de una forma uniforme en la superficie de la probeta.	Micrómetro o calibrador			
6	Pesar la probeta en un ambiente aislado de aire, ya que el ingreso del aire entre el sensor y la probeta puede alterar el valor de la masa.	Balanza de precisión			
7	Recolectar los datos del espesor y la masa de la probeta según el orden de la codificación. Cabe destacar que cada tipo de protección anticorrosivo tiene su ficha de recolección de datos.	Fichas de recolección de datos y variables			
8	Recolectar los datos de la temperatura, humedad y nivel de pH del entorno donde se desarrolla la investigación. Cabe destacar que cada tipo de protección anticorrosivo tiene su ficha de recolección de datos.	Fichas de recolección de datos y variables			
Observaciones:					

Realizado por: (Guallo, H; Guamán, J, 2023)

ANEXO D: RECOLECCIÓN DE DATOS FINALES DE LAS PROBETAS

Tabla 4-7: Recolección de datos del acero negro sin protección anticorrosivo

	FICHAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS			ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO				
				Datos	Lugar de investigación	ADELCA		
					Inicio de investigación	14/06/2023		
					Encargado	Guallo Hugo		
				Revisa: Ing. Alex Geovanny Ténicota				
Aprueba: Ing. Edison Calderón								
RESULTADOS								
Nº	Tiempo exposición (h)	Código de los cupones	Masa final (g)	Espesor final (mm)	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Nivel del pH	Velocidad de corrosión (mm/año)
1	360	PR-01	129,14	2,8	30,2	63,0	7,38	0,002393289
2	720	PR-02	129,11	2,8	27,9	72,1	7,38	0,005983222
3	1080	PR-03	129,12	2,8	32,0	63,6	7,38	0,004786578
4	1440	PR-04	129,14	2,8	28,7	68,2	7,38	0,001794967
5	1800	PR-05	129,16	2,8	30,6	64,1	7,38	0,001435973
6	2160	PR-06	129,12	2,8	31,3	62,3	7,38	0,001994407

Realizado por: (Guallo, H; Guamán, J, 2023)

Tabla 4-8: Recolección de datos del acero ASTM A36 con recubrimiento de zinc

	FICHAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS			ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO				
				Datos	Lugar de investigación	ADELCA		
					Inicio de investigación	14/06/2023		
					Encargado	Guallo Hugo		
				Revisa: Ing. Alex Geovanny Ténicota				
Aprueba: Ing. Edison Calderón								
RESULTADOS								
Nº	Tiempo exposición (h)	Código de los cupones	Masa final (g)	Espesor final (mm)	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Nivel del pH	Velocidad de corrosión (mm/año)
1	360	PZ-01	128,07	2,8	30,2	63,0	7,38	0
2	720	PZ-02	128,09	2,8	27,9	72,1	7,38	0
3	1080	PZ-03	128,09	2,8	32,0	63,6	7,38	0
4	1440	PZ-04	128,04	2,8	28,7	68,2	7,38	0
5	1800	PZ-05	128,03	2,8	30,6	64,1	7,38	0
6	2160	PZ-06	128,02	2,8	31,3	62,3	7,38	0,000398881

Realizado por: (Guallo, H; Guamán, J, 2023)

Tabla 4-9: Ficha de recolección de datos del acero ASTM A36 con recubrimiento

		FICHAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO					
				Datos	Lugar de investigación	ADELCA			
					Inicio de investigación	14/06/2023			
					Encargado	Guallo Hugo			
Revisa: Ing. Alex Geovanny Ténicota									
Aprueba: Ing. Edison Calderón									
RESULTADOS									
Nº	Tiempo exposición (h)	Código de probeta	Masa final (g)	Espesor final (mm)	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Nivel del pH	Velocidad de corrosión (mm/año)	
1	360	PP-01	132,00	3,05	30,2	63,0	7,38	0	
2	720	PP-02	131,52	3,05	27,9	72,1	7,38	0	
3	1080	PP-03	132,05	3,05	32,0	63,6	7,38	0	
4	1440	PP-04	131,61	3,05	28,7	68,2	7,38	0	
5	1800	PP-05	131,74	3,05	30,6	64,1	7,38	0	
6	2160	PP-06	131,64	3,05	31,3	62,3	7,38	0	

Realizado por: (Guallo, H; Guamán, J, 2023)

Tabla 4-10: Ficha de recolección de datos del acero ASTM A36 por protección catódica

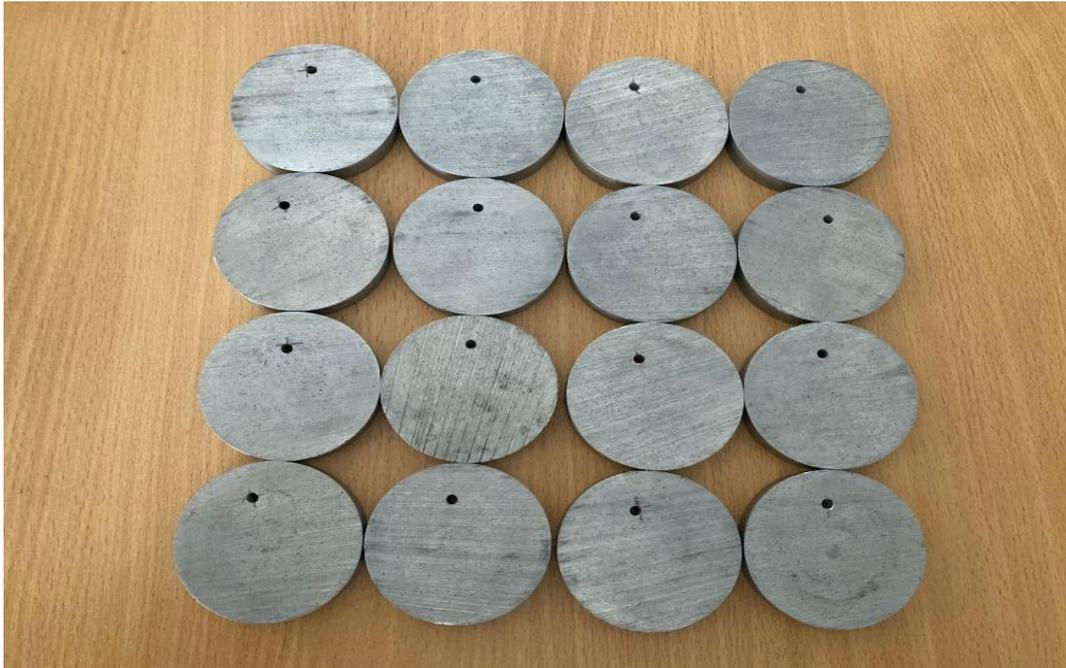
		FICHAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO					
				Datos	Lugar de investigación	ADELCA			
					Inicio de investigación	14/06/2023			
					Encargado	Guallo Hugo			
Revisa: Ing. Alex Geovanny Ténicota									
Aprueba: Ing. Edison Calderón									
RESULTADOS									
Nº	Tiempo exposición (h)	Código de probeta	Masa final (g)	Espesor final (mm)	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Nivel del pH	Velocidad de corrosión (mm/año)	
1	360	PA-01	124,07	2,8	30,2	63,0	7,38	0	
2	720	PA-02	124,07	2,8	27,9	72,1	7,38	0	
3	1080	PA-03	124,06	2,8	32,0	63,6	7,38	0	
4	1440	PA-04	124,07	2,8	28,7	68,2	7,38	0	
5	1800	PA-05	124,07	2,8	30,6	64,1	7,38	0	
6	2160	PA-06	124,07	2,8	31,3	62,3	7,38	0	

Realizado por: (Guallo, H; Guamán, J, 2023)

ANEXO E: CÁMARA DE CORROSIÓN



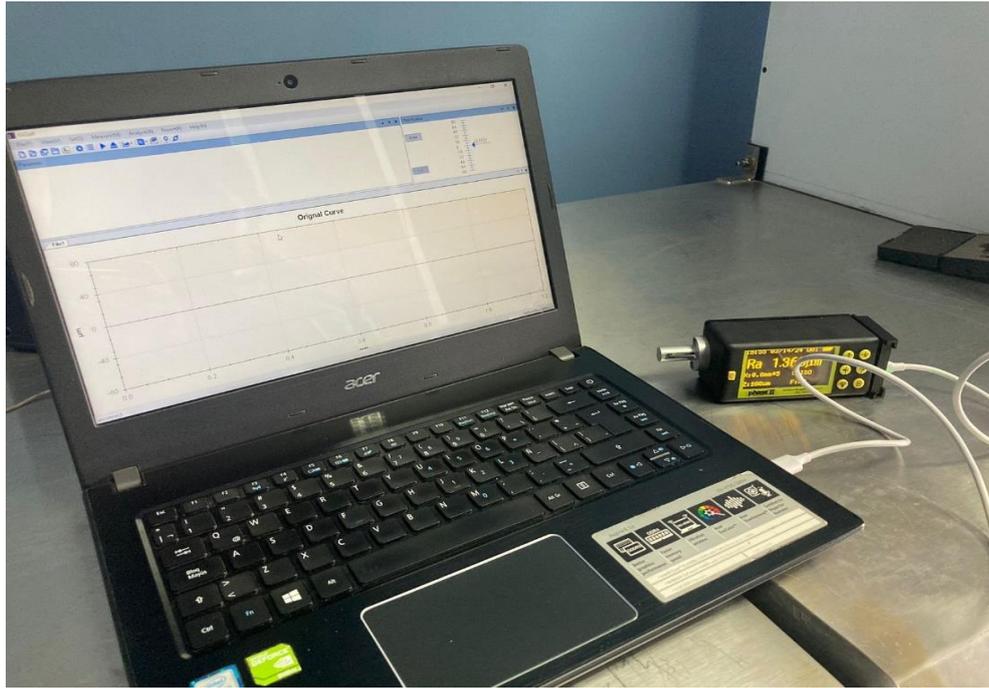
ANEXO F: ÁNODOS DE SACRIFICIO (ALUMINIO)



ANEXO G: RUGOSÍMETRO



ANEXO H: ANÁLISIS DE DATOS DE RUGOSIDAD



ANEXO I: LÁPIZ ÓPTICO CON PUNTA DE DIAMANTE



ANEXO J: ESTACIÓN DE INVESTIGACIÓN MILAGRO "ADELCA"



ANEXO K: VISITA A LA ESTACIÓN DE INVESTIGACIÓN MILAGRO "ADELCA"



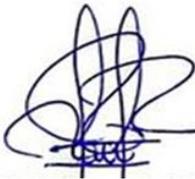
ANEXO L: FUENTE DE VOLTAJE EN LA ESTACIÓN DE MILAGRO "ADELCA"





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

Fecha de entrega: 12/07/2024

INFORMACIÓN DE LOS AUTORES
Nombres – Apellidos: ISABEL PAOLA COLCHA ASHQUI JONATHAN ISRAEL BASTIDAS TOROSINA
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: MECÁNICA
Carrera: INGENIERÍA INDUSTRIAL
Título a optar: INGENIERO INDUSTRIAL
 Ing. Raúl Gregorio Martínez Pérez Director del Trabajo de Titulación
 Ing. Iván Fernando Huacho Chávez Asesor del Trabajo de Titulación