



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

**MONITOREO DE LA TASA DE CORROSIÓN EN PROBETAS
METÁLICAS UTILIZANDO DIFERENTES MÉTODOS DE
PROTECCIÓN EN LA EMPRESA ADELCA DEL CANTÓN
MILAGRO**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

AUTORES

HUGO ABRAHAM GUALLO CHOCA

JORGE ANTONIO GUAMÁN CAJAMARCA

Riobamba – Ecuador

2023



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

**MONITOREO DE LA TASA DE CORROSIÓN EN PROBETAS
METÁLICAS UTILIZANDO DIFERENTES MÉTODOS DE
PROTECCIÓN EN LA EMPRESA ADELCA DEL CANTÓN
MILAGRO**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

AUTORES: HUGO ABRAHAM GUALLO CHOCA

JORGE ANTONIO GUAMÁN CAJAMARCA

DIRECTOR: ING. CARLOS OSWALDO SERRANO AGUIAR

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, Hugo Abraham Guallo Choca y Jorge Antonio Guamán Cajamarca

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, Hugo Abraham Guallo Choca y Jorge Antonio Guamán Cajamarca, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

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

Riobamba, 7 de diciembre del 2023



Hugo Abraham Guallo Choca
CI: 060503328-1



Jorge Antonio Guamán Cajamarca
CI: 060498225-6

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación, **MONITOREO DE LA TASA DE CORROSIÓN EN PROBETAS METÁLICAS UTILIZANDO DIFERENTES MÉTODOS DE PROTECCIÓN EN LA EMPRESA ADELCA DEL CANTÓN MILAGRO**, realizado por los señores: **HUGO ABRAHAM GUALLO CHOCA** y **JORGE ANTONIO GUAMÁN CAJAMARCA**, 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. Marco Antonio Ordóñez Viñán PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2023-12-07
Ing. Carlos Oswaldo Serrano Aguiar DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-12-07
Ing. Luis Carlos Hidalgo Viteri ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-12-07

DEDICATORIA

El presente trabajo se la dedicado especialmente a mi querida hija Elif Guallo y a mi querida esposa Noemi Aucanshala, que día a día me apoyan incondicionalmente y me motivan a seguir luchando día a día para cumplir mis sueños, a mis queridos padres Manuel Guallo y Estefa Choca que son un pilar fundamental en mi vida.

Hugo Guallo

El presente proyecto se lo dedico a mi madre, por ser mi apoyo incondicional a lo largo de estos años de carrera universitaria, por todo su esfuerzo y sacrificio al brindarme los medios necesarios para cumplir mi meta, por ser mi motor para nunca rendirme, ni decaer, por todo el amor, cariño y comprensión que me han brindado siempre, siendo mi mayor ejemplo de dedicación, valentía y esfuerzo.

Jorge Guamán

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradezco a Dios por darme la salud y vida, a mis hermanos y hermana que me brindaron su apoyo para poder culminar mis estudios, les viviré agradecido eternamente. Mi gratitud a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a la Carrera de Mantenimiento Industrial, por darme el privilegio de formarme como profesional en esta institución.

Al Ing. Carlos Serrano y al Ing. Luis Hidalgo, que nos guiaron con sus conocimientos en el desarrollo de esta investigación, por su paciencia infinita, por su confianza en mis habilidades, y por encaminar en el mundo del saber.

Hugo Guallo

Mi más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por permitirme formar parte de tan ilustre institución, a la Facultad de Mecánica, por ser cuna de excelentes profesionales y a la Escuela de Mantenimiento Industrial por abrirme las puertas, permitir mi formación académica y moldearme para ser una profesional de éxito con conocimientos, valores y principios basados en la ética y la moral. A los docentes que impartieron sus valiosos conocimientos para crear profesionales aptos para ejercer la profesión y que me acompañaron a lo largo de la carrera.

Jorge Guamán

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvii
RESUMEN.....	xviii
SUMMARY.....	xix
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.1. Planteamiento del problema.....	2
1.2. Limitación y delimitación.....	2
1.2.1. <i>Limitaciones</i>	2
1.2.1.1. <i>Limitaciones metodológicas</i>	2
1.2.1.2. <i>Limitaciones al investigador</i>	2
1.2.2. <i>Delimitaciones</i>	3
1.3. Problema general de la investigación.....	3
1.4. Problemas específicos de la investigación.....	3
1.5. Objetivos.....	3
1.5.1. <i>Objetivo general</i>	3
1.5.2. <i>Objetivos específicos</i>	3
1.6. Justificación.....	4
1.6.1. <i>Justificación teórica</i>	4
1.6.2. <i>Justificación metodológica</i>	4
1.6.3. <i>Justificación práctica</i>	4
1.7. Hipótesis.....	4
1.7.1. <i>Variables dependientes</i>	5
1.7.2. <i>Variables independientes</i>	5
1.7.3. <i>Operacionalización de variables</i>	5

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	7
-----------------------	---

2.1.	Fundamentos de la corrosión	7
2.2.	Tipos de corrosión	7
2.2.1.	Según el mecanismo de corrosión	8
2.2.1.1.	<i>Corrosión química</i>	8
2.2.1.2.	<i>Corrosión electroquímica</i>	8
2.2.2.	Según la morfología del ataque	8
2.2.2.1.	<i>Corrosión uniforme homogénea o generalizada</i>	8
2.2.2.2.	<i>Corrosión por picadura (pitting)</i>	9
2.2.2.3.	<i>Corrosión galvánica</i>	9
2.2.2.4.	<i>Corrosión intergranular</i>	10
2.2.2.5.	<i>Corrosión bajo tensión</i>	10
2.3.	Factores que influyen en la corrosión	10
2.3.1.	Nivel de pH	10
2.3.2.	Salas	11
2.3.3.	Temperatura	11
2.3.4.	Presión atmosférica	11
2.4.	Los aceros	11
2.4.1.	Clasificación de los aceros	12
2.4.1.1.	<i>Aceros de bajo contenido en carbono</i>	12
2.4.1.2.	<i>Aceros de medio contenido en carbono</i>	12
2.4.1.3.	<i>Aceros de alto contenido en carbono</i>	12
2.5.	Acero ASTM A36	13
2.6.	Composición del acero ASTM A36	13
2.7.	Propiedades del acero ASTM A36	14
2.8.	Técnicas de protección frente a la corrosión	14
2.8.1.	Protección electroquímica anódica	14
2.8.2.	Protección electroquímica catódica por corriente impuesta	14
2.8.3.	Protección electroquímica catódica por ánodo de sacrificio	15
2.8.3.1.	<i>Aleaciones para ánodos de sacrificio</i>	15
2.8.3.2.	<i>Diseño de ánodo de sacrificios</i>	16
2.8.3.3.	<i>Ecuaciones para el cálculo de la resistencia</i>	16
2.8.4.	Protección con inhibidores	17
2.8.5.	Protección con revestimiento	17
2.9.	Velocidad de corrosión	17
2.10.	Estimación de la media muestral	19
2.10.1.	Nivel de confianza	19

2.11.	Equipos de medida	19
2.11.1.	<i>Balanza</i>	20
2.11.2.	<i>Equipo para el nivel de pH</i>	20
2.11.3.	<i>Medidor de humedad</i>	21
2.11.4.	<i>Medidor de temperatura</i>	21
2.12.	Norma ASTM G1-03:2017	21
2.13.	Norma SSPC-PA 1. Pintado de acero para taller, campo y mantenimiento	22
2.14.	Norma SSPC-SP-5 NACE 1	22

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	23
3.1.	Enfoque de investigación	23
3.2.	Estación experimental	23
3.2.1.	<i>Descripción de la empresa</i>	23
3.2.2.	<i>Ubicación geográfica de la empresa</i>	24
3.2.3.	<i>Lugar estratégico para colocar los cupones</i>	24
3.2.3.1.	<i>Ubicación de los cupones</i>	25
3.3.	Alcance	25
3.4.	Diseño experimental	25
3.4.1.	<i>Estructura del contenedor</i>	26
3.4.1.1.	<i>Diseño del contenedor</i>	26
3.4.1.2.	<i>Corte del acero estructural</i>	26
3.4.1.3.	<i>Unión de la estructura</i>	27
3.4.1.4.	<i>Doblado de lámina</i>	28
3.4.1.5.	<i>Remachado</i>	28
3.4.2.	<i>Regulador de voltaje</i>	29
3.4.2.1.	<i>Diseño del regulador de voltaje</i>	29
3.4.2.2.	<i>Regulador de voltaje</i>	29
3.4.3.	<i>Diagrama de proceso experimental</i>	30
3.4.4.	<i>Preparación de los cupones</i>	31
3.4.4.1.	<i>Cálculo de muestra</i>	31
3.4.4.2.	<i>Adquisición del acero</i>	31
3.4.4.3.	<i>Corte de los cupones</i>	32
3.4.4.4.	<i>Limado de los cupones</i>	32
3.4.4.5.	<i>Codificación de los cupones</i>	33

3.4.4.6.	<i>Determinación de la masa</i>	33
3.5.	Ensayos de Corrosión	34
3.5.1.	<i>Acero negro sin protección anticorrosivo</i>	34
3.5.1.1.	<i>Proceso del acero básico</i>	34
3.5.1.2.	<i>Datos iniciales</i>	35
3.5.2.	<i>Acero ASTM A36 por recubrimiento de zinc</i>	35
3.5.2.1.	<i>Especificaciones generales del acero ASTM A36</i>	36
3.5.2.2.	<i>Proceso del recubrimiento de zinc</i>	37
3.5.2.3.	<i>Datos iniciales</i>	38
3.5.3.	<i>Acero negro con recubierto superficial bajo la Norma SSPC SP-5</i>	38
3.5.3.1.	<i>Preparación de la superficie</i>	38
3.5.3.2.	<i>Sandblasting</i>	39
3.5.3.3.	<i>Aplicación del recubrimiento superficial</i>	40
3.5.3.4.	<i>Datos iniciales</i>	42
3.5.4.	<i>Protección electroquímica catódica por ánodo de sacrificio</i>	42
3.5.4.1.	<i>Ánodo de sacrificio</i>	42
3.5.4.2.	<i>Peso inicial del ánodo de sacrificio</i>	43
3.5.4.3.	<i>Propiedades del ánodo de sacrificio</i>	43
3.5.4.4.	<i>Composición química del ánodo de sacrificio</i>	44
3.5.4.5.	<i>Cálculo del ánodo de sacrificio</i>	44
3.5.4.6.	<i>Datos iniciales</i>	46
3.6.	Desarrollo de la investigación	47
3.6.1.	<i>Datos de iniciales de las condiciones ambiental</i>	47
3.6.2.	<i>Colocación de los cupones</i>	47
3.7.	Instrumentos de investigación	49
3.7.1.	<i>Balanza de precisión</i>	49
3.7.2.	<i>Medidor de pH</i>	49
3.7.3.	<i>Termómetro digital</i>	50
3.7.4.	<i>Anemómetro-hidrómetro-fluxómetro</i>	50
3.7.5.	<i>Calibrador digital</i>	50

CAPÍTULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	51
4.1.	Manual de procedimiento	51
4.1.1.	<i>Manual de procedimiento para cupones de acero negro y galvanizado</i>	51

4.1.2.	<i>Diagrama de flujo para cupones de acero negro y ASTM A36</i>	52
4.1.3.	<i>Manual de procedimiento para cupones con recubrimiento superficial</i>	53
4.1.4.	<i>Diagrama de flujo para cupones con recubrimiento superficial</i>	54
4.1.5.	<i>Manual de procedimiento para protección catódica por ánodo de sacrificio</i>	55
4.1.6.	<i>Diagrama de flujo para protección catódica por ánodo de sacrificio</i>	56
4.2.	Levantamiento de datos del acero estructural	57
4.2.1.	<i>Ficha de recolección de datos del acero negro sin recubrimiento</i>	57
4.2.2.	<i>Ficha de recolección de datos del acero ASTM A36 con recubrimiento de zinc</i>	57
4.2.3.	<i>Recolección de datos de acero ASTM A 36 con recubrimiento superficial</i>	58
4.2.4.	<i>Recolección de datos por protección catódica por ánodo de sacrificio</i>	58
4.3.	Procesamiento, análisis e interpretación de resultados	59
4.3.1.	<i>Velocidad de corrosión</i>	59
4.3.1.1.	<i>Área de la probeta</i>	59
4.3.1.2.	<i>Cálculo de la velocidad de corrosión</i>	60
4.3.2.	<i>Análisis de comportamiento de condiciones ambientales</i>	60
4.3.2.1.	<i>Comportamiento de la temperatura</i>	60
4.3.2.2.	<i>Comportamiento de la humedad</i>	61
4.3.2.3.	<i>Comportamiento de pH</i>	61
4.3.3.	<i>Análisis del comportamiento del acero negro sin protección anticorrosivo</i>	62
4.3.3.1.	<i>Velocidad de corrosión del acero negro sin protección anticorrosivo</i>	62
4.3.3.2.	<i>Comportamiento de la masa del acero negro sin protección anticorrosivo</i>	62
4.3.3.3.	<i>Comportamiento del espesor del acero negro sin protección anticorrosivo</i>	63
4.3.4.	<i>Análisis del comportamiento del acero ASTM A36 con recubrimiento de zinc</i>	63
4.3.4.1.	<i>Velocidad de corrosión del acero ASTM A36 con recubrimiento de zinc</i>	64
4.3.4.2.	<i>Comportamiento de la masa de acero ASTM A36 con recubrimiento de zinc</i>	64
4.3.4.3.	<i>Comportamiento del espesor de acero ASTM A36 con recubrimiento de zinc</i>	65
4.3.5.	<i>Análisis de comportamiento del acero negro con recubrimiento superficial</i>	65
4.3.5.1.	<i>Velocidad de corrosión del acero negro con recubrimiento superficial</i>	65
4.3.5.2.	<i>Comportamiento de la masa del acero negro con recubrimiento superficial</i>	66
4.3.5.3.	<i>Comportamiento del espesor de acero negro con recubrimiento superficial</i>	66
4.3.6.	<i>Análisis de comportamiento del acero ASTM A36 con protección catódica</i>	67
4.3.6.1.	<i>Velocidad de corrosión de acero ASTM A36 con protección catódica</i>	67
4.3.6.2.	<i>Comportamiento de la masa del acero ASTM A36 con protección catódica</i>	68
4.3.6.3.	<i>Comportamiento del espesor del acero ASTM A36 con protección catódica</i>	68
4.4.	Comprobación de la hipótesis mediante R-Studio	69
4.4.1.	<i>Análisis de R-Studio</i>	69

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSIONES RECOMENDACIONES	71
5.1.	Conclusiones.....	71
5.2.	Recomendaciones.....	71

GLOSARIO

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Operacionalización conceptual	5
Tabla 1-2: Operacionalización metodológica.....	6
Tabla 2-1: Composición química de acero ASTM A36	13
Tabla 2-2: Propiedades físicas y mecánicas del acero ASTM-A36.....	14
Tabla 2-3: Fórmulas de la resistencia de mayor uso en la protección catódica.....	16
Tabla 2-4: Unidades de corrosión	18
Tabla 2-5: Niveles de pH.....	20
Tabla 3-1: Datos iniciales del acero ASTM A36.....	35
Tabla 3-2: Dimensiones, peso y tolerancia del acero ASTM A36 galvanizado.....	36
Tabla 3-3: Recubrimiento del zinc	36
Tabla 3-4: Calidad estructural del acero ASTM A36	36
Tabla 3-5: Datos iniciales del acero A36 galvanizado.....	38
Tabla 3-6: Siglas para determinar las condiciones climáticas	40
Tabla 3-7: Condiciones climáticas para el proceso de la primera capa.....	40
Tabla 3-8: Condiciones climáticas para el proceso para la segunda capa.....	40
Tabla 3-9: Datos iniciales del acero A36 negro recubiertas	42
Tabla 3-10: Datos iniciales del ánodo de sacrificio	43
Tabla 3-11: Propiedades del ánodo de sacrificio	43
Tabla 3-12: Composición química, ánodos de sacrificio (protectores galvánicos).....	44
Tabla 3-13: Densidad de corriente	44
Tabla 3-14: Datos para el desarrollo del cálculo	44
Tabla 3-15: Densidades de la corriente de protección.....	46
Tabla 3-16: Datos iniciales del acero A36 galvanizadas	46
Tabla 3-17: Variables de la investigación	47
Tabla 3-18: Especificaciones técnicas de la balanza de precisión	49
Tabla 3-19: Especificaciones técnicas del medidor de pH	49
Tabla 3-20: Especificaciones técnicas del termómetro tipo K/J	50
Tabla 3-21: Especificaciones técnicas del anemómetro-hidrómetro y fluxómetro	50
Tabla 3-22: Calibrador digital.....	50
Tabla 4-1: Manual de procedimientos sin recubrimiento y con recubrimiento de zinc	51
Tabla 4-2: Diagrama de bloques para acero sin recubrimiento y con recubrimiento de zinc.....	52
Tabla 4-3: Manual de procedimiento para probetas con protección de inhibidores.....	53
Tabla 4-4: Diagrama de bloques para probetas con protección de inhibidores.....	54

Tabla 4-5: Manual de procedimiento para protección catódica	55
Tabla 4-6: Diagrama de bloques para acero con protección catódica por ánodo de sacrificio ...	56
Tabla 4-7: Recolección de datos del acero estructural sin recubrimiento	57
Tabla 4-8: Recolección de datos del acero estructural con recubrimiento de zinc.....	57
Tabla 4-9: Ficha de recolección de datos del acero estructural con protección de inhibidores..	58
Tabla 4-10: Ficha de recolección de datos del acero estructural por protección catódica.....	58
Tabla 4-11: Valores de comparación p-value.....	69
Tabla 4-12: Comparación estadística de V_{ps} vs V_{mr}	69
Tabla 4-13: Comparación estadística de V_{ps} vs V_{in}	70
Tabla 4-14: Comparación estadística de V_{ps} vs V_{pc}	70

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1: Celda electroquímica.....	7
Ilustración 2-2: Corrosión uniforme	8
Ilustración 2-3: Corrosión por picadura.....	9
Ilustración 2-4: Corrosión galvánica sobre una placa de acero	9
Ilustración 2-5: Corrosión intergranular	10
Ilustración 2-6: Microestructura a) ferrita, b) cementita, c) perlita y d) austenita.....	12
Ilustración 2-7: Micrografía del acero ASTM A36.....	13
Ilustración 2-8: Circulación de la corriente y electrones.....	15
Ilustración 2-9: a) proceso catódico controlado por la reacción y b) por difusión	17
Ilustración 2-10: Sensor de pH.....	20
Ilustración 3-1: Empresa ADELCA de catón Milagro.....	23
Ilustración 3-2: Ubicación geográfica de la empresa ADELCA del cantón Milagro	24
Ilustración 3-3: Lugar estratégico para la investigación	24
Ilustración 3-4: Lugar estratégico para desarrollar la investigación.....	25
Ilustración 3-5: Contenedor para las probetas de acero	26
Ilustración 3-6: Corte del acero estructural.....	27
Ilustración 3-7: Soldado de la estructura	27
Ilustración 3-8: Doblado de tol negro.....	28
Ilustración 3-9: Remachado del contenedor.....	28
Ilustración 3-10: Circuito de un regulador de voltaje	29
Ilustración 3-11: Regulador de voltaje.....	29
Ilustración 3-12: Comercial TUGALT	31
Ilustración 3-13: Corte de las probetas	32
Ilustración 3-14: Limado de las probetas ASTM A36	32
Ilustración 3-15: Codificación de las de las probetas ASTM A36.....	33
Ilustración 3-16: Balanza de precisión de 500gramos	33
Ilustración 3-17: Acero ASTM A36 Negro	34
Ilustración 3-18: Proceso Siderúrgico.....	34
Ilustración 3-19: Acero ASTM A36 galvanizado G-40.....	35
Ilustración 3-20: Proceso de recubrimiento del galvanizado	37
Ilustración 3-21: Proceso de recubrimiento del galvanizado	37
Ilustración 3-22: Grano redondo de metal abrasivo.....	39
Ilustración 3-23: Aplicación del sandblasting.....	39

Ilustración 3-24: Termohigrómetro	40
Ilustración 3-25: Preparación de las superficies	41
Ilustración 3-26: Probetas acero ASTM A36 recubiertas	41
Ilustración 3-27: Aluminio tipo C.....	42
Ilustración 3-28: Colocación de las probetas en el contenedor	47
Ilustración 3-29: Ubicación de las probetas para evitar el contacto entre sí.....	48
Ilustración 3-30: Instalación de voltaje para la protección catódica.....	48
Ilustración 3-31: Medición de voltaje de las probetas por protección catódica.....	48
Ilustración 4-1: Medidas de la probeta ASTM A36.....	59
Ilustración 4-2: Comportamiento de la temperatura del lugar de investigación.....	60
Ilustración 4-3: Humedad relativa del lugar de investigación.....	61
Ilustración 4-4: Nivel del pH del lugar de investigación.....	61
Ilustración 4-5: Velocidad de corrosión del acero estructural sin recubrimiento	62
Ilustración 4-6: Comportamiento de la masa del acero sin recubrimiento	62
Ilustración 4-7: Comportamiento del espesor del acero sin recubrimiento	63
Ilustración 4-8: Velocidad de corrosión del acero A36 con recubrimiento de zinc.....	64
Ilustración 4-9: Comportamiento de la masa del acero con recubrimiento de zinc.....	64
Ilustración 4-10: Comportamiento del espesor acero con recubrimiento de zinc.....	65
Ilustración 4-11: Velocidad de corrosión del acero A36 con inhibidores	65
Ilustración 4-12: Comportamiento de la masa del acero con inhibidores.....	66
Ilustración 4-13: Comportamiento del espesor acero con inhibidores	66
Ilustración 4-14: Velocidad de corrosión del acero A36 con protección catódica	67
Ilustración 4-15: Comportamiento de la masa del acero con protección catódica.....	68
Ilustración 4-16: Comportamiento del espesor acero con protección catódica	68

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: CONSTRUCCIÓN DEL CONTENEDOR

ANEXO B: CORTE DE LOS CUPONES

ANEXO C: PREPARACIÓN DE LOS CUPONES

ANEXO D: PERFORACIÓN DE LOS CUPONES PARA EL MÉTODO CATÓDICO

ANEXO E: VISITA TÉCNICA A LA EMPRESA ADELCA

ANEXO F: ESTACIÓN EXPERIMENTAL

ANEXO G: VERIFICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE REGULADOR DE VOLTAJE

ANEXO H: ANÁLISIS DEL pH DEL SUELO DEL CANTÓN MILAGRO

ANEXO I: TOMA DE LECTURAS DE LA TEMPERATURA Y HUMEDAD

ANEXO J: EXTRACCIÓN DE PROBETAS Y PROCEDIMIENTO DE LIMPIEZA

ANEXO K: MEDICIÓN DE ESPESOR Y RECOLECCIÓN DE DATOS

ANEXO L: FACTURA DEL PROCESO DE SANDBLASTING Y PINTURA

ANEXO M: CÓDIGOS DE LA PROGRAMACIÓN DEL R-STUDIO

RESUMEN

En el sector industrial no existen datos acerca de la velocidad de corrosión del acero estructural en un medio agresivo (cálido), por este motivo surgió la necesidad de realizar el análisis de la tasa de corrosión. Por lo tanto, el objetivo de la investigación fue establecer la estación de experimentación acerca de la tasa de corrosión en probetas metálicas con diferentes métodos de protección en la empresa ADELCA del cantón Milagro, provincia del Guayas. La metodología para la investigación fue mediante estadística descriptiva con datos obtenidos de cuatro grupos de probetas, un grupo sin método de protección y tres grupos con métodos de protección tales como el recubrimiento de zinc, el recubrimiento superficial y la protección catódica por ánodo de sacrificio; además se elaboró un contenedor capaz de soportar el electrolito utilizado (tierra) y cada grupo de probetas con su respectivo método de protección anticorrosiva. Para el análisis estadístico se utilizó el software R-Studio el cual facilitó el análisis de datos, además con relación a la velocidad de corrosión esta mostró ser variable dependiendo las condiciones a las cuáles se sometió el acero estructural, esta velocidad se volvió nula mientras que el método de protección perdure. En este contexto se concluye que la velocidad media del acero negro sin ningún tipo de protección anticorrosiva es de 0.0030647 mm/año, mientras que en el acero galvanizado se obtuvo una velocidad de 0,000398881 mm/año, el cual ayudó a identificar la duración del recubrimiento del acero estructural antes de que comience su corrosión agresiva, esto ayudará a una rápida intervención antes de que exista una gran consecuencia a causa de la corrosión.

Palabras clave <TASA DE CORROSIÓN> <PROBETAS METÁLICAS> <RECUBRIMIENTO SUPERFICIAL> <PROTECCIÓN CATÓDICA> <ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA> <VELOCIDAD DE CORROSIÓN>.

2287-DBRA-UPT-2023



SUMMARY

In the industrial sector, there is no data about the corrosion rate of structural steel in an aggressive (warm) environment; for this reason, the need arose to perform an analysis of the corrosion rate. Therefore, the objective of this research was to establish the experiment station on the corrosion rate in metal specimens with different protection methods at the ADELCA company in the Milagro canton, province of Guayas. The methodology for the research was through descriptive statistics with data obtained from four groups of specimens, one group without a protection method and three groups with protection methods such as zinc coating, surface coating, and cathodic protection by sacrificial anode. In addition, a container capable of supporting the electrolyte (earth) and each group of test tubes with their respective anti-corrosion protection method was created. The R-Studio software was used for the statistical analysis, which facilitated the data analysis. In addition, the corrosion rate was variable depending on the conditions to which the structural steel was subjected. This speed became null while the protection method lasted. In this context, it is concluded that the average speed of black steel without any anticorrosive protection is 0.0030647 mm/year. In comparison, in galvanized steel, a speed of 0.000398881 mm/year was obtained, which helped to identify the duration of the coating of the structural steel before its aggressive corrosion begins; this will help in rapid intervention before there is a significant consequence due to corrosion.

Keywords: <CORROR RATE> <METALLIC TESTS> <SURFACE COATING>
<CATHODIC PROTECTION> <DESCRIPTIVE STATISTICS> <CORROSION RATE>



Lic. Sandra Leticia Guijarro Paguay
C.I.: 0603366113

INTRODUCCIÓN

Para llevar a cabo el procedimiento del monitoreo de la tasa de corrosión en placas de acero A36 en primer lugar se realiza la preparación de las probetas lo cual consiste en: definir las dimensiones, establecer el espesor y masa de las probetas. Una vez establecidos los parámetros de las probetas se debe tomar en cuenta las condiciones ambientales como: temperatura, humedad y nivel de pH. Este experimento se desarrollará en la empresa ADELCA del cantón Milagro que cuenta con un laboratorio y equipos para el correcto monitoreo y análisis de datos.

Para el primer método de protección anticorrosivo por recubrimiento zinc se aplica el proceso del galvanizado el cual consiste en sumergir el material en un baño fundido de zinc a una temperatura de 460 °C para lograr el revestimiento.

Para el segundo método anticorrosivo, se aplica la Norma SSPC SP-5 NACE la cual consiste en la preparación de la superficie con chorro abrasivo conocido como granallado o arenado (*Sandblasting*) consecutivamente se realiza el procedimiento del pintado con el producto SIGMADUR™ 550H el cual trata de un recubrimiento de poliuretano alifático acrílico con características de excelente resistencia a condiciones de exposición atmosféricas.

Para el tercer y último método anticorrosivo, denominado protección catódica el cual se basa en la degradación de un ánodo de sacrificio que puede ser de aluminio, magnesio y zinc, éste va conectado con el material que se desea proteger contra la corrosión y a su vez va conectado a una fuente de alimentación de voltaje y corriente variable que suministrara la cantidad de energía establecida mediante cálculos previamente realizados. Todo esto se suscitará en un medio electrolítico que en este caso será la tierra.

Esta investigación permitirá determinar el mejor método anticorrosivo para una zona cálida del Ecuador, en este caso en el cantón Milagro.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

La corrosión ha sido uno de los principales problemas al trabajar con diferentes tipos de metales y aleaciones, ya que estos siempre tienden a mezclarse con otros compuestos químicos de la naturaleza y por lo general no permanecen en su estado puro. Por tal motivo surge la necesidad de entender el proceso físico-químico que afecta al acero estructural bajo condiciones ambientales no controladas y monitorear la tasa de corrosión aplicando varios métodos de protección. Para ello es necesario un ambiente de trabajo en el cual sea de fácil accesibilidad para la colocación de las probetas del acero estructural con el propósito de comprender el comportamiento de dicho acero.

1.2. Limitación y delimitación

1.2.1. *Limitaciones*

1.2.1.1. *Limitaciones metodológicas*

La empresa ADELCA carece de información acerca del lapso de tiempo del proceso de corrosión del acero de construcción lo cual es necesario para los consumidores ya que pueden tener datos indispensables y confiables de la vida útil del material. Un punto indispensable a tomar en consideración es las condiciones climáticas ya que estas pueden variar la velocidad de la degradación del acero.

1.2.1.2. *Limitaciones al investigador*

El corto tiempo destinado para la realización de esta investigación es un limitante significativo para una mejor recolección de datos.

Las condiciones que se encuentra el acero de construcción dependerán del almacenamiento del mismo y factores externos como la lluvia son limitantes fuera de control para el investigador.

1.2.2. Delimitaciones

El estudio se desarrollará en el Ecuador, en la provincia del Guayas, en la ciudad de Milagro, en la parroquia Mariscal Sucre donde se encuentra ubicada la planta de producción de la empresa ADELCA, en el área de investigación de dicha empresa.

1.3. Problema general de la investigación

¿Es posible determinar la tasa de corrosión del acero estructural sometido a condiciones ambientales aplicando métodos de protección anticorrosiva?

1.4. Problemas específicos de la investigación

¿Cómo el establecimiento de la estación experimental de la planta de producción de acero en la ciudad de Milagro garantiza la integridad de las probetas?

¿De qué manera la preparación de las probetas y la aplicación de los diferentes métodos de protección anticorrosiva controlan la tasa de corrosión?

¿Cómo la elaboración de un manual de procedimientos mejora la recolección de datos?

¿De qué manera la elección del método de análisis de datos mejora la calidad de resultados de la tasa de corrosión?

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Monitorear la tasa de corrosión en probetas metálicas utilizando diferentes métodos de protección en la empresa ADELCA del cantón Milagro.

1.5.2. Objetivos específicos

Establecer una estación de experimentación en la planta de producción de acero en la ciudad de Milagro.

Preparar probetas metálicas y aplicar diferentes métodos de protección superficial para controlar la tasa de corrosión.

Elaborar un manual de procedimientos para la recolección de datos y variables.

Recolectar y procesar la información necesaria para evaluar la evolución de la tasa de corrosión.

1.6. Justificación

1.6.1. Justificación teórica

Dado que los aceros estructurales tienden a corroerse con mayor facilidad, surge la necesidad de realizar una investigación para la obtención de datos acerca de la degradación del acero estructural, a su vez adquirir mayores destrezas de esta investigación para aplicarlas en el ámbito laboral para futuros ingenieros en Mantenimiento Industrial.

1.6.2. Justificación metodológica

La degradación del acero estructural en lugares cálidos se da mediante un proceso electroquímico en el cual el acero estructural se degrada combinándose con otros elementos de la naturaleza, por ello es fundamental la importancia de conocer bien este proceso, así como las maneras de prevenirlo.

1.6.3. Justificación práctica

El fortalecimiento de la colaboración entre la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO y la empresa ADELCA del cantón Milagro mediante convenios realizados es de suma importancia ya que permite a los estudiantes llevar a cabo investigaciones dentro de sus instalaciones de estas instituciones que serán de ayuda para el desarrollo profesional de los estudiantes.

1.7. Hipótesis

Ho = Las condiciones ambientales y los métodos de protección a los cuales están sometidas las probetas metálicas influyen de manera directa en la reducción de la masa y espesor del material.

H₁ = Las condiciones ambientales y los métodos de protección a los cuales están sometidas las probetas metálicas no influyen de manera directa en la reducción de la masa y espesor del material.

1.7.1. Variables dependientes

Masa

Espesor

1.7.2. Variables independientes

Métodos de protección

Temperatura

Humedad

Nivel de pH

1.7.3. Operacionalización de variables

Tabla 1-1: Operacionalización conceptual

Variable	Tipo	Concepto
Condiciones ambientales	Variable independiente	Conjunto de parámetros que interviene respecto al lugar del estudio tales como: la temperatura, humedad, nivel de pH, estos parámetros no son controlables.
Métodos de protección	Variable independiente	Los métodos de protección contra la corrosión se enfocan en la interfaz de la superficie del material y la solución, ya que ahí es donde se produce la corrosión. Los principales métodos de protección para evitar la corrosión son: la protección catódica por ánodo de sacrificio, protección con inhibidores y protección con revestimiento.
Masa	Variable dependiente	Masa es la magnitud de carácter físico que identifica la cantidad de materia contenida en un cuerpo. Dentro del sistema internacional, su unidad es el kilogramo (kg).
Espesor	Variable dependiente	Según el diccionario Merriam-Webster el espesor se define como el grosor de un elemento.

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

Tabla 1-2: Operacionalización metodológica

Variable	Categoría	Indicador	Técnica	Fuente Verificación Instrumento.
Condiciones ambientales	Medición de humedad.	Valor de la variable medida.	Lectura de instrumentos.	Tabulación y análisis de datos.
	Medición de nivel de pH.			
	Medición de temperatura.			
Métodos de protección	Recubrimiento de zinc.	Pérdida de Recubrimiento de zinc	Observación lectura de instrumentos.	Tabulación y análisis de datos.
	Protección catódica por ánodo de sacrificio.	Aplicación de voltajes de 3,5 voltios. Reducción de masa del ánodo de sacrificio.	Lectura de instrumentos de medida.	Tabulación y análisis de datos.
	Protección con recubrimiento superficial.	Integridad del recubrimiento.	Inspección visual: picaduras, cambio de color, desprendimiento del recubrimiento.	Tabulación y análisis de datos.
Masa	Medición de la masa.	Reducción de masa.	Lectura de instrumentos.	Tabulación y análisis de datos.
Espesor	Medición del espesor.	Reducción de espesor.	Lectura de instrumentos.	Tabulación y análisis de datos.

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

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Fundamentos de la corrosión

La corrosión se define como una reacción irreversible entre un material y su entorno, que generalmente (pero no siempre) implica la degradación del material o sus propiedades. Esta definición muy general de la corrosión incluye las reacciones de una amplia gama de materiales. Sin embargo, la mayor parte de la investigación sobre la corrosión se centra en los metales. La corrosión de los metales puede ocurrir de muchas maneras diferentes, y es importante entender que la mejor manera de prevenir la corrosión es identificando el tipo de corrosión (Fernández et al., 2018: p.1).

La mayoría de los procesos de corrosión involucran reacciones de reducción-oxidación, también conocidas como reacciones electroquímicas. Para que ocurran estos procesos, deben estar presentes tres componentes: un ánodo y un cátodo, un electrolito como un medio conductor y una conexión eléctrica entre los electrodos (Salazar, 2015, p. 2).

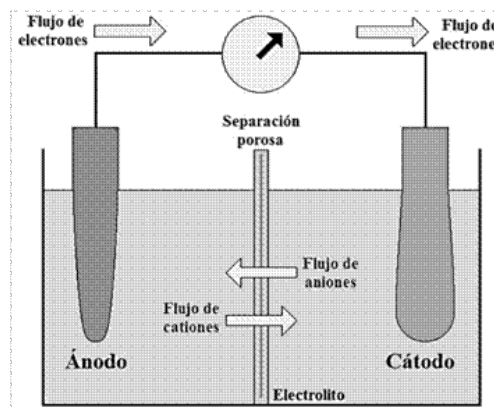


Ilustración 2-1: Celda electroquímica.

Fuente: (Salazar, 2015, p. 3)

2.2. Tipos de corrosión

La corrosión puede presentarse de diferentes maneras ya que depende de algunos factores estos pueden variar de acuerdo a la exposición del material a continuación se detallará los tipos de corrosión existentes:

2.2.1. Según el mecanismo de corrosión

2.2.1.1. Corrosión química

Oxidación directa o corrosión seca; implica la oxidación de metales en una atmósfera gaseosa a temperaturas elevadas para formar una película sólida del producto de reacción sobre la superficie del metal. Este es un tipo de corrosión que ocurre en ausencia de un electrolito, donde los electrones y los iones circulan a través de capas de productos de reacción, y está asociado con materiales metálicos que operan a altas temperaturas.

2.2.1.2. Corrosión electroquímica

Conocida también como corrosión húmeda, esto se debe a la acción de las celdas electroquímicas, donde se produce la disolución del metal en la región del ánodo, que es donde se produce la oxidación del metal. A diferencia de la corrosión seca, la corrosión galvánica ocurre en presencia de electrolitos a temperaturas moderadas porque los electrolitos son líquidos. En este caso, la corrosión es sobre las regiones anódicas del metal, ya que las regiones catódicas están protegidas ya que es donde tienen lugar las reacciones de reducción del mediador.

2.2.2. Según la morfología del ataque

2.2.2.1. Corrosión uniforme homogénea o generalizada

Es la forma más común de corrosión debido a que toda superficie del material es atacada por igual y la superficie se pierde por igual manera, como se muestra en la ilustración 2-2.

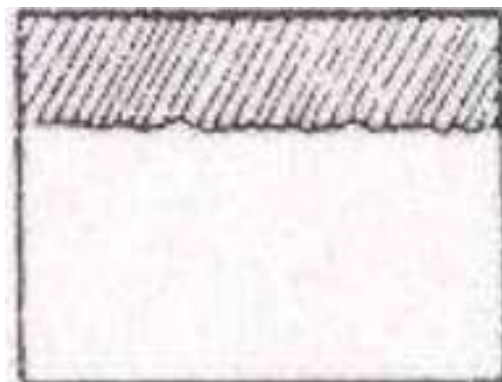


Ilustración 2-2: Corrosión uniforme

Fuente: (Navarrete y Salgado, 2007: p. 15)

2.2.2.2. Corrosión por picadura (*pitting*)

La corrosión por *pitting* se caracteriza por la formación de agujeros o picaduras en la superficie del metal son peligrosas debido a que son muy difícil de detectar. Este tipo de corrosión ocurre en medios que contienen iones agresivos como los haluros, a continuación, se representa en la ilustración 2-3 la corrosión por picadura.



Ilustración 2-3: Corrosión por picadura

Fuente: (Navarrete y Salgado, 2007: p. 16)

2.2.2.3. Corrosión galvánica

Esto ocurre cuando dos o más metales diferentes entran en contacto eléctrico en el mismo electrolito. Se produce una diferencia de potencial (fuerza impulsora) que hace que fluya la corriente. Los metales con potenciales de corrosión más positivos (más nobles) se polarizan catódicamente, lo que reduce o incluso inhibe su velocidad de corrosión, mientras que los metales más negativos se polarizan anódicamente, lo que aumenta su potencial de corrosión como se muestra en la ilustración 2-4.

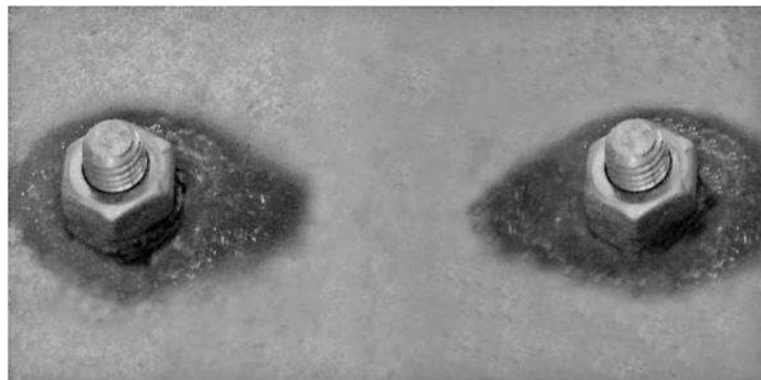


Ilustración 2-4: Corrosión galvánica sobre una placa de acero

Fuente: (Salazar, 2015, p. 5)

2.2.2.4. Corrosión intergranular

Este tipo de corrosión está asociado con la segregación de materiales en específicos o la formación de compuestos en los límites de grano de una aleación, ilustración 2-5. Esta corrosión ocurre a lo largo de los límites del grano, donde la concentración del material es requerida para la evitar o resistir a la corrosión (se puede aplicar el Cromo en aceros inoxidable) disminuye convirtiéndose en la zona anódica.



Ilustración 2-5: Corrosión intergranular

Fuente: (Navarrete y Salgado, 2007: p. 16)

2.2.2.5. Corrosión bajo tensión

Esto se debe a una combinación de corrosión y tracción mecánica. Las estructuras bajo tensión y expuestas a ambientes corrosivos pueden iniciar grietas que se propagan a tensiones por debajo del límite elástico del material. En tales casos, es común el crecimiento constante de grietas seguido de fallas inesperadas y catastróficas (Fernández et al., 2018: pp. 1–2).

2.3. Factores que influyen en la corrosión

Hay varios factores que influyen al proceso de la corrosión, está dependerá de las características del material y al medio al cual se encuentra rodeada, a continuación, se detalla algunos de los factores medioambientales que ayudan al comienzo de la corrosión.

2.3.1. Nivel de pH

El pH es una propiedad que determina la cantidad de iones de hidrógenos libres en una solución. Si el nivel de pH es menor a 7 la solución se establece como ácida. Esto significa que la concentración de iones de hidrógeno es alta en una solución, a su vez son capaces de admitir electrones para estabilizarse.

En virtud que son capaces de recibir electrones para estabilizarse, estas soluciones ácidas son excesivamente corrosivas a diferencia de las soluciones neutrales que su pH es igual a 7 y las alcalinas cuyo pH es superior a los 7, éstas liberan electrones de reacción porque la zona anódica reacciona en mayor proporción (Caiza y Gamboa, 2022: p. 8).

2.3.2. Sales

Las sales ácidas al mezclarse con la solución electrolítica se vuelven más ácida, lo que reduce el pH y acelera la corrosión debido al efecto de la acidez. Dentro de las sales ácidas tenemos: el cloruro de amonio, cloruro de hierro y el cloruro de aluminio.

Las sales alcalinas por otro lado elevan el pH de la solución electrolítica, por lo que ocasionalmente actúan como inhibidores de la corrosión. Entre ellos tenemos el carbonato de sodio, silicato de sodio, fosfato trisódico y el tetraborato de sodio (Salazar, 2008, p. 7).

2.3.3. Temperatura

La tasa de corrosión tiende a aumentar con la temperatura debido a la difusión acelerada de oxígeno desde el ambiente hacia el material afectado, incluso a través de las capas de pasivación, haciéndolas quebradizas. Los experimentos han demostrado que la tasa de corrosión se duplica aproximadamente por cada 2 °C de aumento de temperatura. Como se mencionó anteriormente, la temperatura es el factor más importante en el desarrollo del proceso de corrosión por oxidación (Charng y Lansing, 1982: p. 151).

2.3.4. Presión atmosférica

La atmósfera o aire está constituido por una serie de componentes y tiene un peso correspondiente a la suma de los pesos de éstos. El aire, como todo cuerpo está sometido a la fuerza de gravedad; así, una columna de aire que se extiende desde una superficie situada a la altura del límite superior de la atmósfera ejerce un peso correspondiente a la masa de 1kg por centímetro cuadrado sobre la superficie de la tierra. Este peso es el que denominamos presión atmosférica.

2.4. Los aceros

Los aceros es el material más utilizado Básicamente por las grandes y pequeñas industrias, gracias a sus propiedades mecánicas, maquinabilidad y disponibilidad. Sus aleaciones contienen hierro

(Fe) y un porcentaje de carbono (C) superior al 0.05% e inferior al 2% en peso además carecen de otros compuestos tales como: el fósforo (P), silicio (Si), manganeso (Mn), que permiten tener una mejor resistencia mecánica. Dentro del campo de los metales, el acero es uno de los más utilizada a nivel mundial con un estimado del 90% (Caiza y Gamboa, 2022: p. 11).

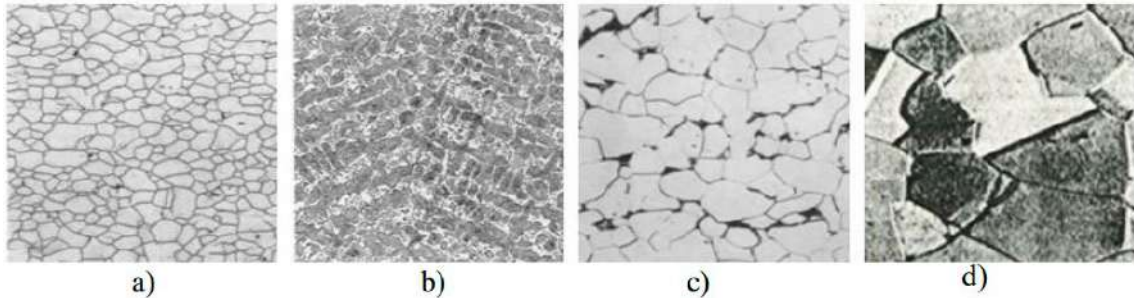


Ilustración 2-6: Microestructura a) ferrita, b) cementita, c) perlita y d) austenita

Fuente: (Costales y Gonzaga, 2022: p. 9)

2.4.1. Clasificación de los aceros

Los aceros se clasifican dependiendo del contenido del carbono, este puede variar de acuerdo a las necesidades entre 0,03% de carbono hasta un máximo de 1,67% de carbono.

2.4.1.1. Aceros de bajo contenido en carbono

Todos aquellos aceros que contienen un porcentaje entre el rango de 0,03 a 0,25% de carbono. También son conocidos con aceros suaves o dulces y sus características principales son: dúctiles, soldables, maleables y altamente maquinables.

2.4.1.2. Aceros de medio contenido en carbono

Todos aquellos aceros que contienen un porcentaje entre el rango de 0,25 a 0,50% de carbono. También son conocidos con aceros semidulces o semiduros y sus características principales son: duros y resistentes.

2.4.1.3. Aceros de alto contenido en carbono

Todos aquellos aceros que contienen un porcentaje entre el rango de 0,50 a 1,67% de carbono. También son conocidos con aceros duros y extraduros y su característica principal es su composición para ser templados.

2.5. Acero ASTM A36

El acero al carbono estructural o también conocido como hierro negro es el más utilizado dentro de las industrias, debido a su bajo contenido en carbono, sus propiedades mecánicas, su facilidad para la detección de discontinuidades en el mismo, entre otras. También tiene varias aplicaciones principalmente tales como la construcción y otros sectores como: en la industria automovilística, en tuberías para el transporte de crudo y sus derivados y naval (Melgarejo & Arnulfo, 2013, pp. 1–3).

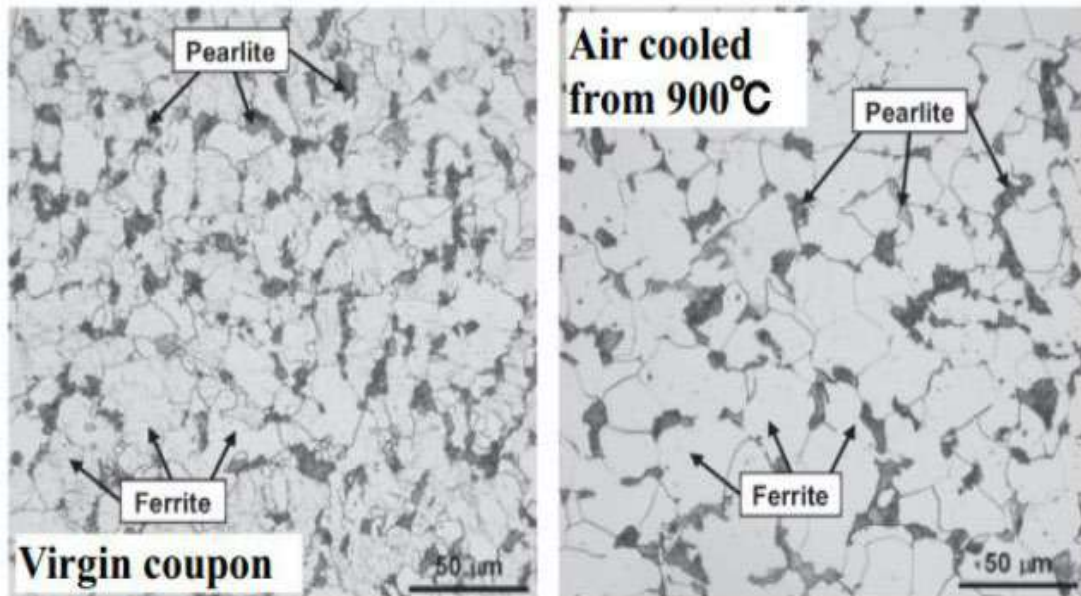


Ilustración 2-7: Micrografía del acero ASTM A36

Fuente: (Costales y Gonzaga, 2022: p. 10)

2.6. Composición del acero ASTM A36

La composición química del acero ASTM A36 se especifica en la tabla 2-1. Según la norma ASTM A36.

Tabla 2-1: Composición química de acero ASTM A36

ASTM A36						
%C	%Mn	%P	%S	%Si	%Cu	%Fe
0,25	0,93	0,011	0,0013	0,181	<0,01	93

Fuente: (Costales y Gonzaga, 2022: p. 12)

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

Nota: el contenido de manganeso no está reglamentada, pero se especifica en el certificado de calidad.

2.7. Propiedades del acero ASTM A36

Las propiedades físicas y mecánicas de acero A36 y sus unidades se detallan en la tabla 2-2, bajo la especificación de la norma ASTM A36.

Tabla 2-2: Propiedades físicas y mecánicas del acero ASTM-A36

Mecánicas	
Esfuerzo a la tensión (MPa)	400-500
Esfuerzo a la fluencia mínima (MPa)	250
Elongación mínima en 50 mm (2")	23%
Módulo de elasticidad (GPa)	200
Físicas	
Densidad (g/cm ³)	7,85

Fuente:(Costales y Gonzaga, 2022: p. 13)

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

2.8. Técnicas de protección frente a la corrosión

Las técnicas de protección anticorrosivas se clasifican en varias, dependiendo de las necesidades o importancia del material a proteger en la mayoría de casos se toma en cuenta el factor económico ya que algunas técnicas son más costosas que otras, a continuación, se detallarán algunas de ellas:

2.8.1. Protección electroquímica anódica

Esta es una técnica que usa voltaje y, por lo tanto, no espontánea. El metal a proteger se conecta al polo positivo (ánodo) del generador y el otro electrodo se conecta al polo negativo del mismo. Se aplica una diferencia de potencial correspondiente a la zona pasivada del metal a proteger. En este caso, el metal está protegido porque, aunque actúa como ánodo, se puede pasivar. Esta es una forma peligrosa de protección porque los cambios en el medio ambiente pueden promover la corrosión si cambian la capacidad del metal para corroerse (cambian su comportamiento electroquímico) se ayudaría a una mayor velocidad de corrosión.

2.8.2. Protección electroquímica catódica por corriente impuesta

El metal a proteger se conecta al polo negativo del generador (cátodo) y al polo positivo (ánodo), otro electrodo de sacrificio o inerte. Se aplica una diferencia de potencial para llevar el metal a su zona de inmunidad. Por lo tanto, agregarle continuamente electrones no oxidará el metal. Lógicamente, esta técnica no es espontánea (Fernández et al., 2018: p. 5).

2.8.3. Protección electroquímica catódica por ánodo de sacrificio

El metal a proteger se combina con un metal menos noble (fácil de oxidar) que actuará como ánodo de sacrificio y protegerá a otro metal que se convertirá en el cátodo de la celda electroquímica donde se reducirá el medio. Este es un método espontáneo porque los metales menos nobles se degradan de forma natural.

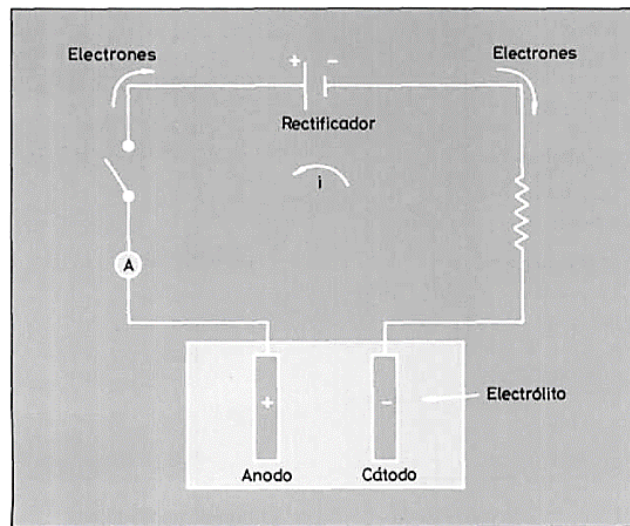


Ilustración 2-8: Circulación de la corriente y electrones

Fuente: (Ortega, 1990, p. 11)

2.8.3.1. Aleaciones para ánodos de sacrificio

La composición química de los ánodos afecta a su comportamiento, especialmente a sus propiedades:

- Polarización
- Rendimiento de corriente
- Potencial de disolución

Además, la composición química afecta las propiedades de los productos de corrosión, por ejemplo:

- Conductividad eléctrica
- Porosidad
- Adherencia

2.8.3.2. Diseño de ánodo de sacrificios

Es necesario decidir el tamaño del ánodo que proporcionará la corriente requerida. Muchos fabricantes publican una corriente basada a la resistencia del agua específica (típicamente de 25 a 30 ohm-cm) para su gama de productos estándar, pero a menudo es necesario diseñar el ánodo para una aplicación específica y esto también puede requerir el uso de ánodos con distinta resistividad. Por lo tanto, se deben calcular dicha corriente.

En general, la ecuación de *Dwight* modificada se aplica mejor a ánodos tipo barra o ánodos delgados (de sección transversal rectangular o trapezoidal) que cuelgan libremente o están separados de la plataforma, pero se puede aplicar a plataformas de ánodos montadas en el mismo soporte horizontal que la plataforma. Superficie a proteger. Se explicó la ecuación de *McCoy* para determinar la resistencia del ánodo en función de la superficie expuesta, independientemente de la geometría. Recomendado para ánodos de manguito, también adecuado para ánodos montados al ras de la superficie a proteger. Las ecuaciones de *Waldron* y *Peterson* se utilizan para ánodos rectangulares y planos, tubos de sección transversal segmentada y estructuras de base de madera. La fórmula de *Lloyd's* se recomienda para los tipos de ánodos de placa expuestos en un solo lado, aunque se puede acostar y montar al ras con la superficie a proteger (Francia, 2004a: pp. 37–38).

2.8.3.3. Ecuaciones para el cálculo de la resistencia

Para el cálculo de la resistencia va depender de la resistividad específica del ánodo de sacrificio con respecto a la del electrolito y variantes de acuerdo a la forma geométrica del ánodo, basándose en la tabla 2-3.

Tabla 2-3: Fórmulas de la resistencia de mayor uso en la protección catódica

Nombre	Fórmula	Nomenclatura
Modificada de Dwight	$R = \frac{\rho}{2\pi L} * \ln \frac{4L}{a} - 1$	<p>ρ = Resistividad específica (ohm-cm). L = Longitud del ánodo (cm). a = Radio efectivo medio del ánodo. A = área de la superficie expuesta del ánodo (cm²). S = Media aritmética de la longitud y ancho del ánodo (cm). R = Resistencia</p>
McCoy	$R = \frac{0,315 * \rho}{\sqrt{A}}$	
Waldron y Peterson	$R = \frac{\rho}{0,58 * A^{0,727}}$	
Lloyd's	$R = \frac{\rho}{2 * S}$	

Fuente: (Francia, 2004a, p. 39)

Realizado por: (Guallo Hugo; Guamán Jorge, 2023)

2.8.4. Protección con inhibidores

Los inhibidores de corrosión son sustancias que modifican la velocidad de la reacción catódica, la reacción anódica o ambas, y protegen los metales de la corrosión en determinados entornos.

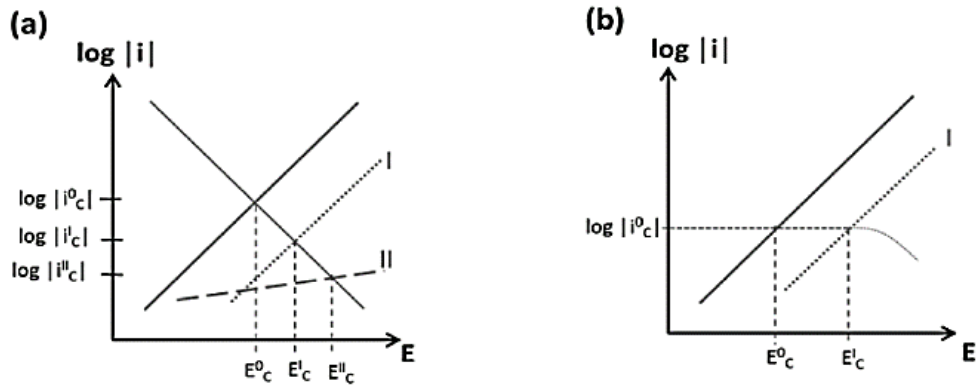


Ilustración 2-9: a) proceso catódico controlado por la reacción y b) por difusión

Fuente: (Fernández et al., 2018: p. 73)

2.8.5. Protección con revestimiento

El metal a proteger se puede recubrir para evitar que entre en contacto con el medio agresivo, ya que el recubrimiento actúa como barrera física. Se puede recubrir con un metal más noble, que no se corroe en el medio (por ejemplo, acero cromado o niquelado), o con un metal menos noble, pero que es capaz de formar una capa protectora de óxido en la superficie (película pasiva) y no se corroe. La desventaja del primer método es que, si se pierde parte del recubrimiento, el metal protegido se corroerá en contacto con el medio ambiente. Debido a que la superficie expuesta es pequeña, la tasa de corrosión será alta y la corrosión será profunda. El metal no es tan noble, incluso si se pierde parte del revestimiento, seguirá oxidándose, mientras que el metal que debía proteger seguirá permaneciendo (Fernández et al., 2018: p. 6).

2.9. Velocidad de corrosión

La pérdida de masa es un dato indispensable para la investigación ya que esto indicará la profundidad de la degradación del material (Rosales y Escobar, 2019: pp. 19–20). A continuación, se presentará la fórmula aplicada para el cálculo de la velocidad de corrosión:

$$\text{Ecuación} \quad \text{Velocidad de corrosión} = \frac{(K \cdot W)}{(A \cdot T \cdot D)} \quad (1)$$

Donde:

K = Constante (mm/año)

T = Tiempo de exposición en horas

A = Área de superficie expuesta (cm²)

W = Pérdida de masa (g)

D = Densidad (g/cm³)

Conversiones para la constante K, para el cálculo de la velocidad de corrosión de las probetas de acero ASTM A36.

Tabla 2-4: Unidades de corrosión

Tipo	Unidad de tasa de corrosión	Constante K en corrosión
Espesor de penetración	Mils por año (mpy)	$3,45 * 10^6$
	Pulgada por año (ipy)	$3,45 * 10^3$
	Pulgadas por meses (imp)	$2,87 * 10^2$
	Milímetros por año (mm/año)	$8,76 * 10^4$
	Micrómetros por año (µm/año)	$8,76 * 10^7$
	Picómetros por segundos (pm/s)	$2,78 * 10^6$
Pérdida masiva	Gramos por metro cuadrado por hora (g/m ²)	$1,00 * 10^4 * DA$
	Miligramos por decímetro cuadrado por día (mdd)	$2,40 * 10^6 * DA$
	Microgramos por metro cuadrado por segundos (ug/m ² * s)	$2,78 * 10^6 * DA$

Fuente: (Santander, 2018, p. 20)

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

Según la norma ASTM G1 del 2017, el material se puede categorizar como un acero sobresaliente, muy bueno, bueno, regular, mala o inaceptable de acuerdo a su resistencia contra la corrosión, esto va depender del valor de la velocidad de corrosión ver tabla 2-5.

Tabla 2-5: Categoría del material según a la resistencia a la corrosión

Resistencia a la corrosión	Unidad
Categoría	mm/año
sobresaliente	<0,02
Muy buena	0,02-0,1
Buena	0,1-0,5
Regular	0,5-1
Mala	1-5
Inaceptable	>5

Fuente: (Caiza y Gamboa, 2022: p. 18).

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

2.10. Estimación de la media muestral

Para esta investigación se utilizó el tamaño de muestra infinita debido a que no se conoce el tamaño de la población o universo.

$$\text{Ecuación} \quad n = \frac{Z^2 * p * q}{e^2} \quad (2)$$

Donde:

n = tamaño de la muestra buscada

Z = nivel de confianza (90%)

e = error de estimación máxima aceptable (10%)

p = probabilidad de que ocurra el evento estudiado (60% = 0,6)

q = (1-p) = probabilidad de que no ocurra el evento estudiado (1-0,6 = 0,4)

2.10.1. Nivel de confianza

El nivel de confianza, es el grado de certeza (o probabilidad), expresado en porcentaje con el que se pretende realizar la estimación de un parámetro a través de un estadístico muestral.

Tabla 2-6: Nivel de confianza

Tabla de distribución normal	
Nivel de confianza	Z alfa
99,7%	3
99%	2,58
98%	2,33
96%	2,05
95%	1,96
90%	1,645
80%	1,28
50%	0,674

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

2.11. Equipos de medida

Los instrumentos de medida dentro del área de la ingeniería, son aplicados para registrar variables físicas o químicas, estos equipos funcionan por medio de la implementación híbrida Hardware-Software.

2.11.1. Balanza

Básicamente es un elemento completamente plano unido a una membrana de circuito integrada por una membrana delgada y flexible. El sensor puede medir la fuerza aplicada sin afectar la mecánica de prueba gracias a su forma plana, lo que facilita su colocación entre dos componentes de la mecánica de nuestro sistema.

2.11.2. Equipo para el nivel de pH

Estos equipos son utilizados para medir el nivel de acidez entre valores de 0 hasta 14, está constituido por un sensor de pH (es un gel de Ag-CL). El amplificador y el adaptador proporcionan una amplificación entre 0–5 voltios (Gutiérrez y Iturralde, 2017: p. 40).



Ilustración 2-10: Sensor de pH

Fuente: (Gutiérrez y Iturralde, 2017: p. 40)

Existen tres tipos de niveles de pH de suelo, los alcalinos que se encuentran con un nivel de pH mayor a 7, el neutro se encuentra en el rango de un pH 7,0 el cual es un suelo equilibrado y los ácidos que tienen un nivel de pH menor a 7.

Tabla 2-7: Niveles de pH

pH del suelo	Acidez comparada con pH 7.0	Concentración de iones	Color
14	Alcalinos	10000000	
13		1000000	
12		100000	
11		10000	
10		1000	
9.0	Basicidad	100	
8.0		10	
7.0	Neutro		
6.0	Acidez	10	
5.0		100	
4.0		1000	
3.0		10000	
2.0		100000	

Fuente: (Mora y Vargas, 2022: p. 16)

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

2.11.3. Medidor de humedad

El higrómetro es un dispositivo que se utiliza para medir la humedad en el aire, el suelo, lo que da como resultado una indicación de calidad de la humedad presente en el medio ambiente en el que se utiliza. Se puede utilizar para determinar si el ambiente tiene una humedad muy alta o baja (Guano y Saquina, 2017: p. 23).

2.11.4. Medidor de temperatura

El termómetro es un instrumento de medida de temperatura, que funciona por un proceso de termoeléctrico, estos equipos pueden ser análogos y digitales.

La temperatura no se puede medir directamente. Los cambios de temperatura pueden determinarse mediante cambios en otras propiedades físicas, como el volumen del objeto, la presión, la resistencia, la fuerza electromotriz y la intensidad de la radiación (Escalona, 2009, p. 6).

Para medir la temperatura de diferentes objetos es necesario contar con una escala de temperaturas. Las más comunes suelen ser la Celsius del sistema métrico y la Farenheir.

2.12. Norma ASTM G1-03:2017

El alcance de esta norma incluye métodos recomendados para la eliminación efectiva de productos de corrosión con un mínimo de desgaste del metal después de que se haya completado la prueba de inmersión y métodos para evaluar los daños resultantes por corrosión.

Un buen procedimiento de limpieza debe eliminar solo los productos de corrosión y evitar el desgaste del metal. Procedimiento de limpieza para cada muestra se repite consecutivamente, así como la determinación de la pérdida de masa después de cada ciclo limpieza. Luego se esquematiza el resultado donde el metal debe representarse en consecuencia la eliminación de los productos de corrosión. La solución utilizada para limpiar se debe preparar con agua destilada y productos químicos adecuados al material y su producto corrosión. El procedimiento descrito implica la inmersión de la muestra degradada por la corrosión después de la prueba y la limpieza a fondo con una solución química que elimine la menor cantidad de metal posible. El método de procesamiento se seleccionará de acuerdo con las condiciones de prueba y los materiales de prueba (Caiza y Gamboa, 2022: p. 16).

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

Esta especificación cubre los procedimientos para pintar superficies de acero. El alcance de esta especificación es bastante amplio y cubre los requisitos específicos y generales para las aplicaciones de recubrimiento. Esta especificación no proporciona una descripción detallada de las opciones de preparación de la superficie, pretratamiento o impermeabilización y acabado. Esta especificación se aplica a la pintura de acero en taller, campo y mantenimiento donde el acero está expuesto a la corrosión debido a la intemperie o a las condiciones de exposición ambiental en servicio y donde se requiere una limpieza y pintura de alta calidad (Caiza y Gamboa, 2022: p. 17).

2.14. Norma SSPC-SP-5 NACE 1

Esta norma cubre los requisitos para la limpieza con abrasivo metálico blanco de superficies de acero recubiertas utilizando medios abrasivos. Las superficies limpiadas con abrasivo sobre metal blanco proporcionan una superficie limpia con abrasivo cuando se observa que la superficie está libre de aceite, polvo, suciedad, calamina, óxido, revestimientos, óxidos, productos de corrosión y otros elementos visibles en el componente. Antes de la limpieza, todos los depósitos de aceite, grasa o contaminación deben eliminarse de acuerdo con SSPC-SP 1, también deben eliminarse todas las imperfecciones en la medida requerida por los documentos de gestión, tal como está. La limpieza abrasiva con una boquilla requiere el uso de aire comprimido limpio y seco, y cualquiera de los siguientes métodos se puede utilizar para el tratamiento de superficies:

- Limpieza abrasiva seca usando un sistema de abrasivos de ciclo cerrado recirculatorio con ruedas centrífugas y abrasivas.
- Limpieza abrasiva seca usando un sistema de abrasivos de ciclos cerrado recirculatorio.
- Limpieza abrasiva seca usando aire comprimido, boquillas para limpieza abrasiva y abrasivos.

Después de la limpieza de acuerdo con SSPC-SP 1, se deben eliminar los depósitos visibles de aceite, grasa u otra contaminación, los residuos y el polvo, se deben reparar todos los defectos y todos los daños en el perfil. La superficie, antes de recubrir, toda la superficie debe cumplir con el estándar de limpieza, por lo que todo el proceso de limpieza abrasiva debe realizarse de acuerdo con las normas y reglamentos del entorno de trabajo y el entorno aplicable (Arévalo y Guanuche, 2022: pp. 17–18).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Enfoque de investigación

Para el desarrollo de la presente investigación, se selecciona el enfoque mixto, debido a que éste contiene tanto el enfoque cualitativo (análisis y recolección de datos) y el enfoque cuantitativo (probar la hipótesis por medio del análisis estadístico). Los cuales abarcan los procesos de la investigación en todas sus etapas.

3.2. Estación experimental

Para llevar a cabo la investigación se establece una estación experimental en la planta de producción de acero en la empresa ADELCA de cantón Milagro.

3.2.1. Descripción de la empresa

En 1963 un grupo de jóvenes empresarios crea la empresa ADELCA, siendo pioneros en el reciclaje y fabricación de acero como: varillas de construcción, perfiles laminados y trefilados, bajo normas técnicas y de seguridad. Además, cuenta con certificaciones de la ISO 9001:2015 que garantizan la calidad de sus productos.



Ilustración 3-1: Empresa ADELCA de catón Milagro

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

3.2.2. *Ubicación geográfica de la empresa*

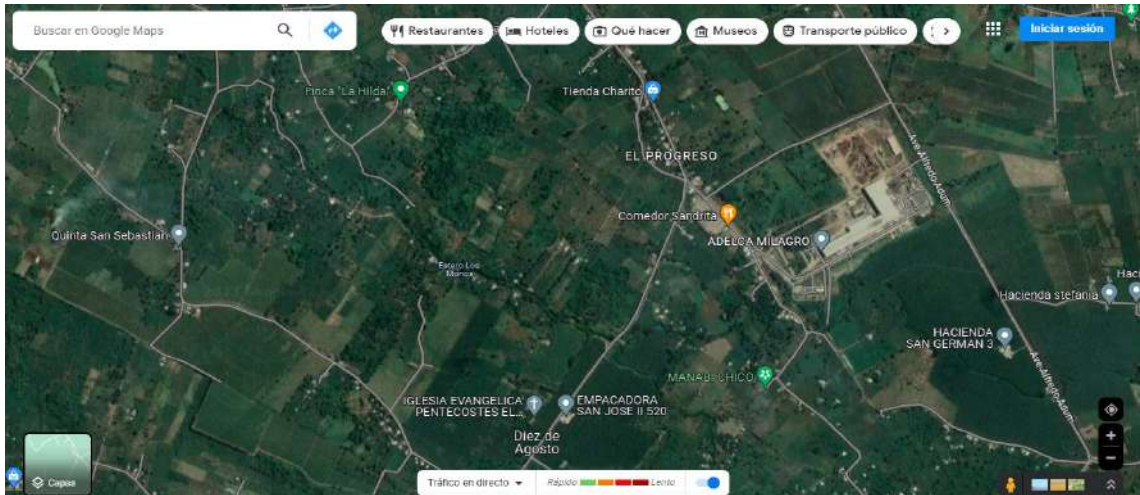


Ilustración 3-2: Ubicación geográfica de la empresa ADELCA del cantón Milagro

Fuente: (Google Maps, 2023)

Empresa: ADELCA

Provincia: Guayas

Catón: Milagro

Parroquia: Mariscal Sucre

Calles: km 6 vía San Miguel junto a la hacienda San Germán

3.2.3. *Lugar estratégico para colocar los cupones*

El entorno en el que estarán situados los cupones es de suma importancia, ya que deben cumplir con las variables establecidas, para llevar a cabo con la investigación.



Ilustración 3-3: Lugar estratégico para la investigación

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

3.2.3.1. Ubicación de los cupones



Ilustración 3-4: Lugar estratégico para desarrollar la investigación

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

El lugar donde se desarrolla la investigación se sitúa, en el área administrativa junto a los vestidores de la empresa por las siguientes razones:

- Fácil acceso para desarrollar la investigación.
- Para evitar la manipulación de las probetas de los trabajadores de la empresa.
- Para no obstaculizar el paso tanto al personal como al transporte de la empresa.
- Las condiciones ambientales de la empresa ADELCA cumple con las variables establecidas para llevar a cabo la investigación.

3.3. Alcance

Esta investigación se desarrollará de manera exclusiva para acero estructural ASTM A36 con una muestra de 64 probetas, de dimensiones 120 x 50 x 28 mm, de medio contenido de carbono, aplicando tres métodos de protección: recubrimiento de zinc, protección catódica por ánodo de sacrificio y protección superficial (SIGMADUR™ 550) en una zona cálida-húmeda del Ecuador.

3.4. Diseño experimental

En la parte del diseño se detalla los puntos más importantes para llevar a cabo la investigación tales como: la construcción del contenedor, diseño del regulador de voltaje, la preparación de las probetas, tipos protecciones con sus respectivos cálculos y el lugar donde se llevará a cabo investigación.

3.4.1. Estructura del contenedor

La construcción del contenedor se lo realiza con el propósito de asegurar la integridad de las probetas ASTM A36 para el desarrollo de la investigación.

3.4.1.1. Diseño del contenedor

Se realiza el diseño del contenedor con la ayuda del programa *SolidWorks*, la cual se la divide en tres partes:

- Para el soporte del contenedor se utiliza un tubo estructural cuadrado negro de 20x20mm, con un total de 3 metros.
- Para la estructura se utiliza un ángulo de tipo L de acero estructural ASTM A36 de 30x30, con un total de 12 metros.
- En cuanto a las paredes de las estructuras se aplicó una plancha de tol negro de espesor de 0,5 mm.

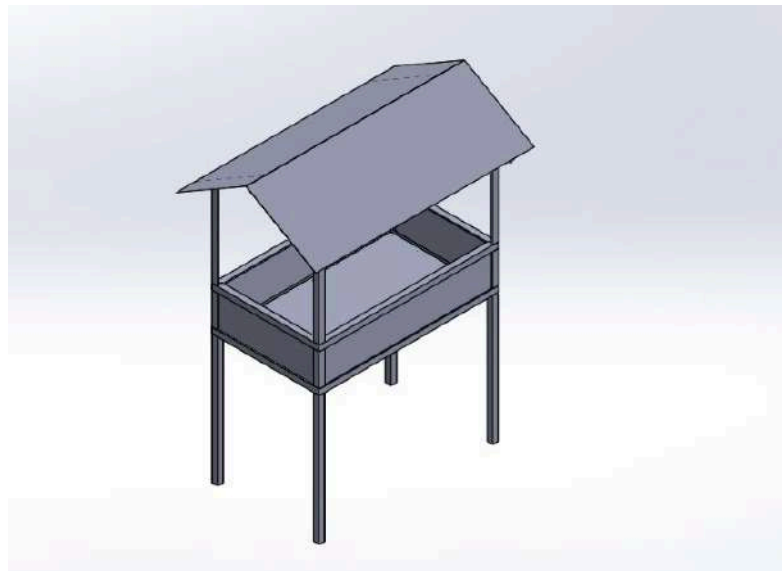


Ilustración 3-5: Contenedor para los cupones

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

3.4.1.2. Corte del acero estructural

Una vez concluido con el diseño de la estructura se procede a realizar los cortes con la ayuda de amoladora, para ello se desarrolla en dos simple pasos que se describe a continuación:

- Se realiza cuatro cortes de 72cm para el soporte de la estructura a un ángulo de 90°.
- El contenedor está constituido por las siguientes dimensiones: 18cm de alto, 60cm de ancho y 110cm de largo. Para ello se emplea cortes de 45° y 90°.



Ilustración 3-6: Corte del acero estructural

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

3.4.1.3. Unión de la estructura

Para la unión de la estructura se utiliza el proceso SMAW (soldadura por arco eléctrico) para el cual se emplea dos tipos de electrodos, E6011 con una dureza de 345 HV y E7018 con una dureza de 332 HV, debido a que va estar sometido a un peso considerable.



Ilustración 3-7: Unión de la estructura

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

3.4.1.4. *Doblando de lámina*

Básicamente es la deformación localizada del metal mediante la aplicación de una fuerza externa (operador), esta deformación se lo puede realizar por medio de una prensa hidráulica o una dobladora manual, para nuestro caso se realiza un doblaje de 225°.



Ilustración 3-8: Doblado de tol negro

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

3.4.1.5. *Remachado*

Para garantizar la infraestructura del contenedor se aplica remaches pop aluminio o también conocidos como remaches de externo abierto al borde del contenedor con el objetivo de que pueda soportar el peso de la tierra como de las probetas.



Ilustración 3-9: Remachado del contenedor

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

3.4.2. Regulador de voltaje

Un regulador de voltaje es un equipo electrónico que suministra un voltaje de CD regulable.

3.4.2.1. Diseño del regulador de voltaje

Se diseñó un regulador de voltaje de acuerdo a las necesidades de la investigación, para esta investigación se requiere una salida de voltaje variable de 3,5 voltios.

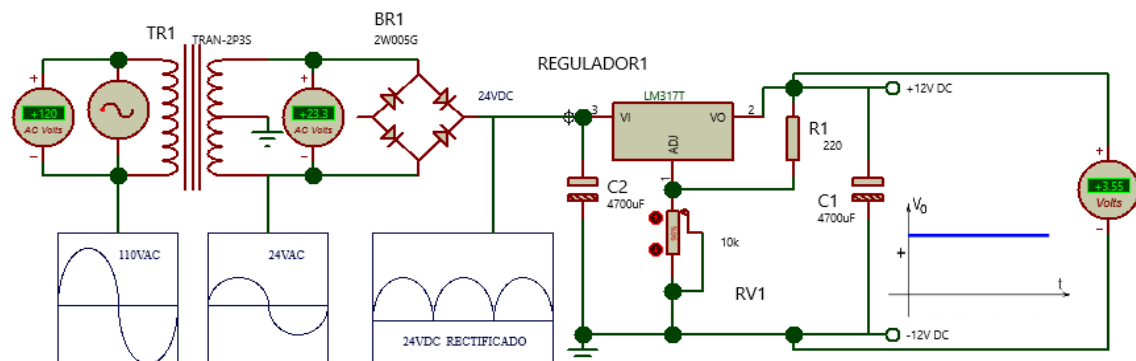


Ilustración 3-10: Circuito de un regulador de voltaje

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

3.4.2.2. Regulador de voltaje

El regulador de voltaje está constituido por un circuito el cual básicamente consta de 32 terminales (16 terminales positivas y 16 terminales negativas), además se tiene un potenciómetro donde se puede regular el voltaje entre un rango de 0-12 voltios. Este regulador de voltaje será aplicado para la protección catódica.



Ilustración 3-11: Regulador de voltaje

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

3.4.3. Diagrama de proceso experimental

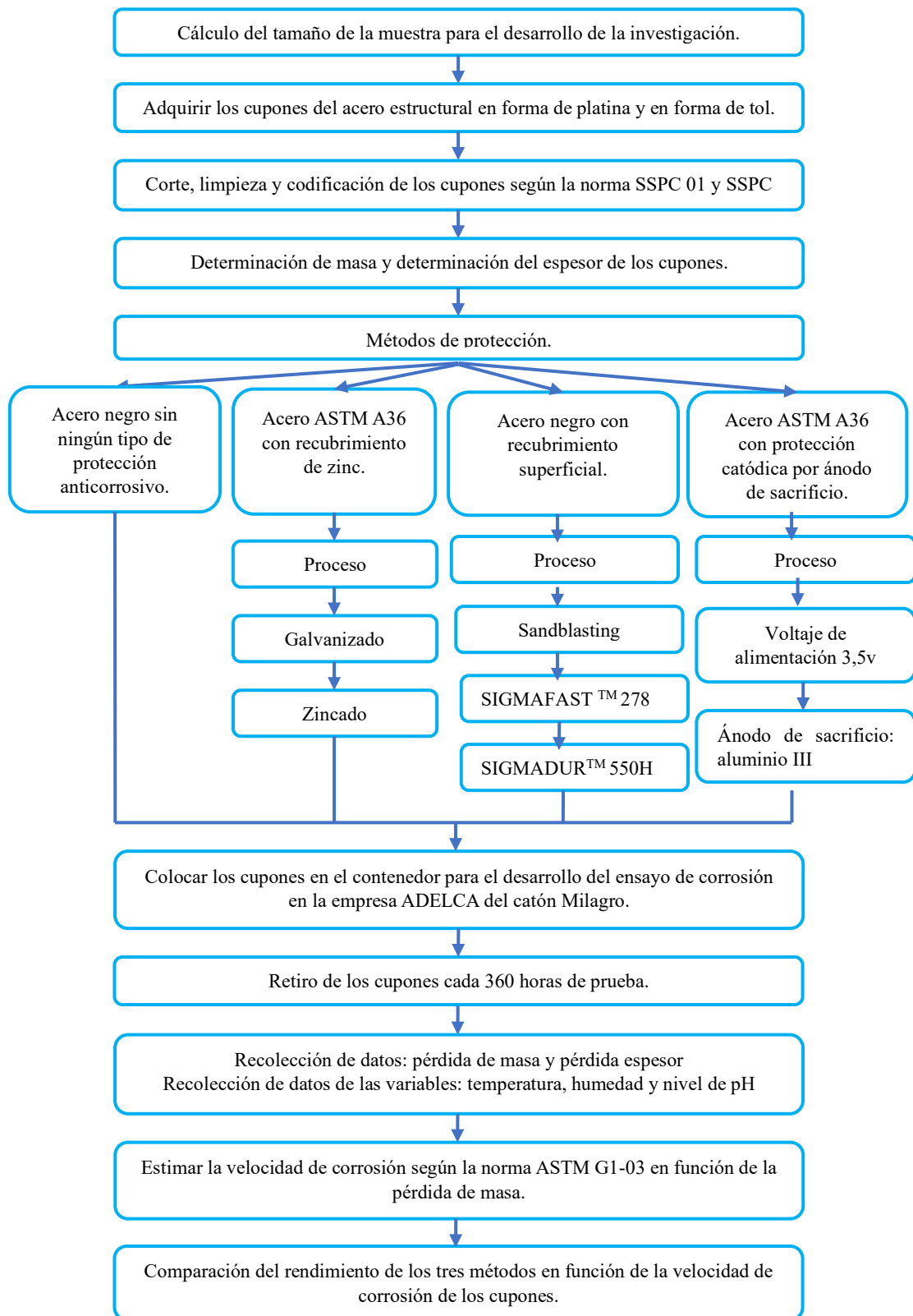


Ilustración 3-12:Diagrama de proceso experimental a seguir

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

3.4.4. Preparación de los cupones

Con el fin de cumplir con los objetivos propuesto, se lleva a cabo la preparación de las probetas del acero ASTM A36 bajo las Normativas establecidas, para ello se realiza los siguientes procedimientos:

3.4.4.1. Cálculo de muestra

Reemplazando la ecuación (2) se obtiene lo siguiente:

$$n = \frac{1,645^2 * 0,60 * 0,40}{0,10^2} = 64,95 \text{ unidades}$$

Con un total de 64 probetas de acero estructural se desarrollará la investigación, de las cuales 32 probetas son de acero negro las mismas que se subdividirán en: 16 probetas sin ningún tipo de protección y 16 probetas estarán recubiertas con recubrimiento anticorrosivo bajo las Norma SSPC-SP-5, mientras tanto las siguientes 32 probetas se subdividirán en: 16 probetas únicamente con recubrimiento de zinc y las 16 probetas restantes con recubrimiento de zinc y sometidas a protección catódica.

3.4.4.2. Adquisición del acero

Para la adquisición del acero estructural se acudió al comercial TUGALT, que es un gran distribuidor de materiales en la provincia de Chimborazo, el cual facilitó el acero negro de 2" x 1/8 en forma de platina y una plancha de tol galvanizado tipo G-40 con un espesor de 2,8mm.



Ilustración 3-13: Comercial TUGALT

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

3.4.4.3. Corte de los cupones

Las dimensiones de los 64 cupones estarán constituidas por las siguientes dimensiones: 120mm de largo, 50mm de ancho y un espesor de 2,8 mm. Por lo cual el corte se lo realiza en una cizalla hidráulica para lograr una mejor precisión.



Ilustración 3-14: Corte de los cupones

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

3.4.4.4. Limado de los cupones

Este procedimiento se realiza con el fin de obtener una tolerancia mínima, al momento de obtener los resultados iniciales de la masa. Para ello se emplea una lima plana debido a que se necesita un desbaste de material mínimo.



Ilustración 3-15: Limado de los cupones

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

3.4.4.5. Codificación de los cupones

La codificación de las probetas de acero de construcción, facilitará la recolección de datos iniciales de la masa, debido a que estas probetas están codificadas con su respectivo proceso y número de probeta. PR-XX para probetas sin protección anticorrosivo seguido del número de probeta, PP-XX para probetas pintadas bajo la Norma SSPC SP-5 NACE 1, PZ-XX para probetas con recubrimiento de zinc seguido del número de probeta y PA-XX para probetas por ánodo de sacrificio seguido del número de probeta.



Ilustración 3-16: Codificación de los cupones

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

3.4.4.6. Determinación de la masa

Para la recolección de la masa inicial se utiliza una balanza de precisión con capacidad máxima de 500 gramos, la que proporciona lectura de tres números enteros con dos decimales.



Ilustración 3-17: Balanza de precisión de 500gramos

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

3.5. Ensayos de Corrosión

Con el fin de cumplir con los objetivos establecidos en esta investigación, se realiza los ensayos de corrosión siguiendo la metodología y los procedimientos establecidos bajo la norma ASTM G1-03:2017 (preparación, limpieza y evaluación de pruebas de corrosión especímenes).

3.5.1. Acero negro sin protección anticorrosivo

El acero negro también conocido como acero básico por su alto contenido en hierro (Fe), es directamente aplicado al lugar de la investigación sin ningún tipo de protección anticorrosivo.



Ilustración 3-18: Acero negro

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

El objetivo principal de plantar estas probetas desnudas, es conocer el comportamiento de dicho acero cuando es sometido a las diferentes variables ambientales, mediante la pérdida de masa y espesor.

3.5.1.1. Proceso del acero básico

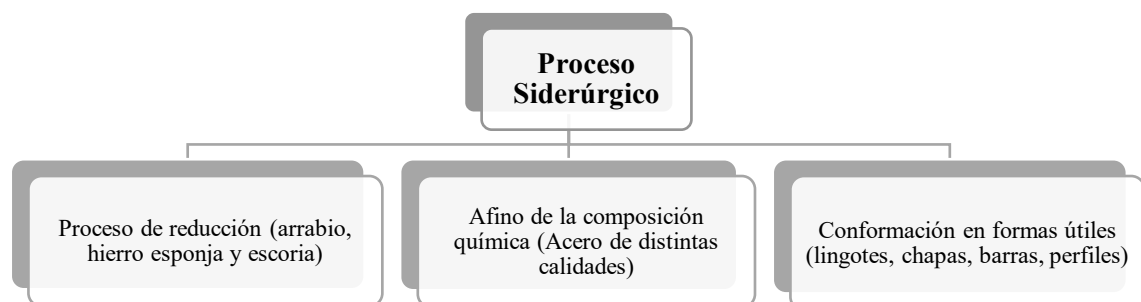


Ilustración 3-19: Proceso Siderúrgico

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

3.5.1.2. Datos iniciales

Tabla 3-1: Datos iniciales del acero negro

ACERO NEGRO				
Nº	Codificación	Tipo de protección anticorrosiva	Espesor (mm)	Masa inicial (g)
1	PR-01	Sin recubrimiento	2,8	129,15
2	PR-02	Sin recubrimiento	2,8	129,16
3	PR-03	Sin recubrimiento	2,8	129,18
4	PR-04	Sin recubrimiento	2,8	129,17
5	PR-05	Sin recubrimiento	2,8	129,19
6	PR-06	Sin recubrimiento	2,8	129,17
7	PR-07	Sin recubrimiento	2,8	129,18
8	PR-08	Sin recubrimiento	2,8	129,17
9	PR-09	Sin recubrimiento	2,8	129,15
10	PR-10	Sin recubrimiento	2,8	129,16
11	PR-11	Sin recubrimiento	2,8	129,14
12	PR-12	Sin recubrimiento	2,8	129,18
13	PR-13	Sin recubrimiento	2,8	129,18
14	PR-14	Sin recubrimiento	2,8	129,17
15	PR-15	Sin recubrimiento	2,8	129,17
16	PR-16	Sin recubrimiento	2,8	129,15

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

3.5.2. Acero ASTM A36 por recubrimiento de zinc

Es un proceso en el que se adhiere una capa de zinc adicional al acero el cual aporta mayor dureza y resistencia, por defecto este procedimiento ya viene dado de fábrica, es tipo de acero puede ser G-40, G-60, o G-90 (Chenoll, 2021, pp. 29–30).



Ilustración 3-20: Acero ASTM A36 galvanizado G-40

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

Para el desarrollo de la investigación se utiliza plancha de tol galvanizado de 2,8cm de espesor con un recubrimiento tipo G-40 que contiene 0,40 onzas de zinc, por cada pie cuadrado de superficie del acero.

3.5.2.1. Especificaciones generales del acero ASTM A36

Técnicamente las especificaciones, son documentos en las cuales se definen las normas, exigencias para el proceso de fabricación del acero.

Tabla 3-2: Dimensiones, peso y tolerancia del acero ASTM A36 galvanizado

Dimensiones, peso nominales y tolerancias				
Espesor	Espesor	Ancho	Largo	Peso nominal
Pulgadas	mm	mm	mm	(kg/plancha)
1/40"	0,45	1220	2440	10,52
1/40"	0,5	1220	2440	11,69
1/32"	0,6	1220	2440	14,02
1/32"	0,7	1220	2440	16,36
1/25"	0,9	1220	2440	21,03
1/25"	1	1220	2440	23,37
1/20"	1,1	1220	2440	25,71
1/16"	1,4	1220	2440	32,72
1/16"	1,5	1220	2440	35,06
1/32"	1,9	1220	2440	44,4
1/8"	3	1220	2440	70,11
3/16"	4	1220	2440	93,48

Fuente:(IMPORTACEROS, 2021, p. 17)

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

Tabla 3-3: Recubrimiento del zinc

Recubrimiento	(total ambas caras)	
Tipo	oz/pie ²	g/m ²
G-40	40	120
G-60	60	180
G-90	90	270

Fuente:(IMPORTACEROS, 2021, p. 17)

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

Tabla 3-4: Calidad estructural del acero ASTM A36

Calidad estructural									
Norma	Composición Química						Propiedades mecánicas		
	%C	%Mn	%P	%S	%Si	%Cu	Fluencia (MPa)	Esfuerzo Máx. (MPa)	Alarg %
ASTM-588M Grado A	0,19 máx.	0,8 1,25	0,04 máx.	0,05 máx.	0,3 0,6	0,25 0,4	345 mín.	485 mín.	18 mín.
ASTM-283 Grado C	0,12 0,18	0,3 0,6	0,025 máx.	0,03 máx.	0,04 máx.	0,2 máx.	205 mín.	380 mín. 516 máx.	25 mín.
A36	0,17 0,23	0,3 0,6	0,025 máx.	0,025 máx.	0,04 máx.	0,25 máx.	250 mín.	400 mín. 550 máx.	21 mín.
JIS G-3101 5541M	0,25 0,29	0,8 1,2	0,04 máx.	0,05 máx.	0,04 máx.	0,2 máx.	250 mín.	400 mín. 550 máx.	20 mín.
A570-GR50	0,25	1,35 máx.	0,035 máx.	0,04 máx.			340 mín.	450 mín. 550 máx.	17 mín.

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

3.5.2.2. Proceso del recubrimiento de zinc

El proceso de recubrimiento de zinc se lo puede desarrollar por dos métodos: el galvanizado y el zincado ambos procesos son muy similares sin embargo el proceso de zincado es el más utilizado debido a que garantiza una protección razonable contra la corrosión y carece de una apariencia agradable. A continuación, se compara el proceso de galvanizado frente al proceso del zincado.

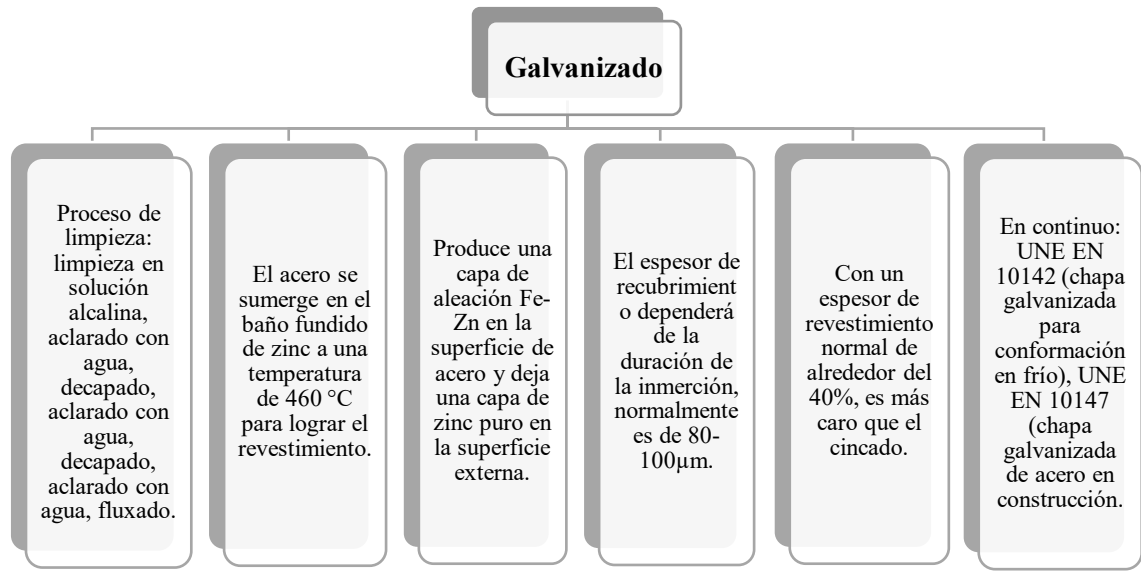


Ilustración 3-21: Proceso de recubrimiento del galvanizado

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

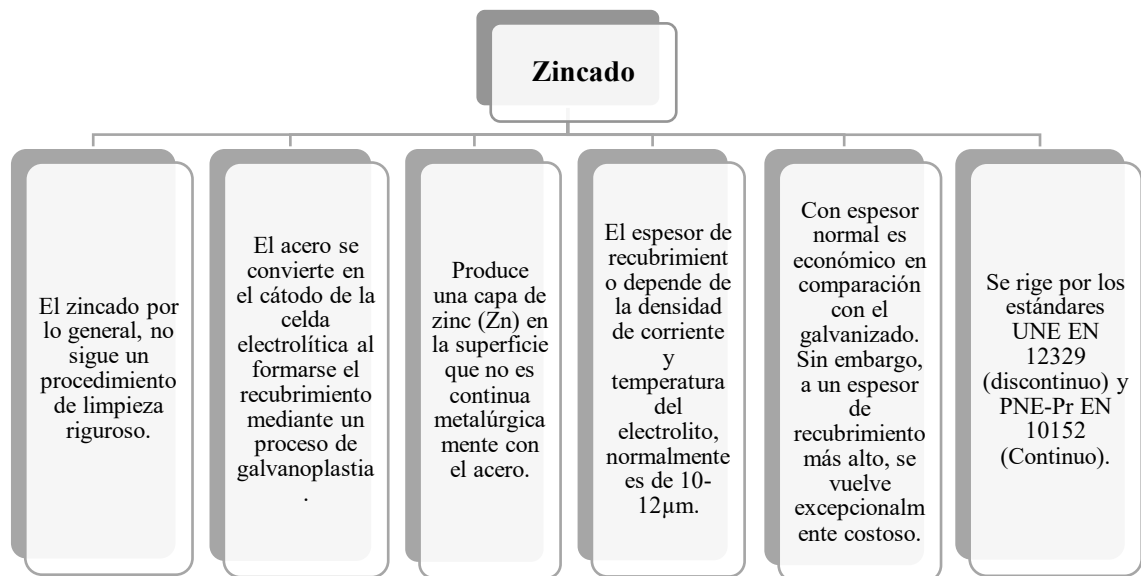


Ilustración 3-22: Proceso de recubrimiento del galvanizado

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

3.5.2.3. Datos iniciales

Tabla 3-5: Datos iniciales del acero A36 galvanizado

ACERO GALVANIZADO				
Nº	Codificación	Tipo de protección anticorrosiva	Espesor (mm)	Masa inicial (g)
1	PZ-01	Con recubrimiento de zinc	2,8	128,07
2	PZ-02	Con recubrimiento de zinc	2,8	128,09
3	PZ-03	Con recubrimiento de zinc	2,8	128,09
4	PZ-04	Con recubrimiento de zinc	2,8	128,04
5	PZ-05	Con recubrimiento de zinc	2,8	128,03
6	PZ-06	Con recubrimiento de zinc	2,8	128,03
7	PZ-07	Con recubrimiento de zinc	2,8	128,08
8	PZ-08	Con recubrimiento de zinc	2,8	128,05
9	PZ-09	Con recubrimiento de zinc	2,8	128,09
10	PZ-10	Con recubrimiento de zinc	2,8	128,09
11	PZ-11	Con recubrimiento de zinc	2,8	128,09
12	PZ-12	Con recubrimiento de zinc	2,8	128,09
13	PZ-13	Con recubrimiento de zinc	2,8	128,00
14	PZ-14	Con recubrimiento de zinc	2,8	128,03
15	PZ-15	Con recubrimiento de zinc	2,8	128,08
16	PZ-16	Con recubrimiento de zinc	2,8	128,01

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

3.5.3. Acero negro con recubierto superficial bajo la Norma SSPC SP-5

Debido a los equipos y compuestos químicos para el proceso de recubrimiento superficial sobre los cupones, se encarga a una empresa privada especializada en recubrimientos bajo las normativas requeridas por el usuario.

SAURUS EPC es una empresa que brinda soluciones de ingeniería y construcción de diversos proyectos para la industria a nivel nacional. Esta empresa ayudará con la investigación con el proceso de pintura.

3.5.3.1. Preparación de la superficie

La preparación de las superficies de los cupones se realiza por medio del sandblasting o chorro abrasivo. Previamente los cupones fueron cortadas y limadas de las siguientes dimensiones 120mm x 50mm con un espesor de 28mm y con peso de 131gramos.

3.5.3.2. Sandblasting

El objetivo principal del sandblasting es obtener una rugosidad ideal para la aplicación de la pintura en las probetas de acero negro. Esta rugosidad va depender del material y tipo de recubrimientos que se desea aplicar al material, para el experimento se necesita de 1,6 a 2,8 mils de rugosidad, para ello se emplea grano redondo de metal abrasivo ilustración 3-23. A una presión de 6,9 bares.



Ilustración 3-23: Grano redondo de metal abrasivo

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

El proceso de sandblasting se lo realiza de una manera perpendicular al acero a una distancia de 30 a 40 cm según la norma SSPC- SP5.



Ilustración 3-24: Aplicación del sandblasting

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

3.5.3.3. Aplicación del recubrimiento superficial

En cuanto al recubrimiento se realiza mediante las condiciones climáticas donde se llevará a cabo dicho proceso. Para ello se emplea un equipo digital llamado termohigrómetro el cual puede determinar la temperatura de aire, temperatura de la superficie, velocidad del viento y el punto de rocío.



Ilustración 3-25: Termohigrómetro

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

Las condiciones ambientales a las cuales estarán sometidas para ejecutar el proceso de la pintura tanto como para la primera capa como la segunda se observan en la tabla 3-7 y tabla 3-8.

Tabla 3-6: Siglas para determinar las condiciones climáticas

Soleado	Nublado parcial	Nublado total	Lluvia
S	C	O	R

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

Tabla 3-7: Condiciones climáticas para el proceso de la primera capa

Condiciones climáticas				
Temperatura ambiente	Humedad relativa	Temperatura del metal	Punto de rocío	Condición climático
18 °C	80,8%	19,81°C	10,89°C	C

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

Tabla 3-8: Condiciones climáticas para el proceso para la segunda capa

Condiciones climáticas				
Temperatura ambiente	Humedad relativa	Temperatura del metal	Punto de rocío	Condición climático
17 °C	81,3%	20,90°C	11,49°C	C

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

Una vez determinado las condiciones climáticas se preparan los 16 cupones de acero negro, para el proceso de la primera capa se realiza un calentamiento con la ayuda de un soplete para que la pintura tenga una mejor adherencia con la superficie, se aplica el SIGMAFAST™ 278 que tiene un tipo de recubrimiento epóxico con fosfato de zinc a una presión máxima de 227 bares. Una vez aplicado el SIGMAFAST™ 278 se deja reposar 24 hora para el proceso de curación.



Ilustración 3-26: Preparación de las superficies

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

Para el proceso de la segunda capa es similar con la única diferencia que ya no se realiza el calentamiento de las probetas. Para la segunda capa se aplica el SIGMADUR™ 550H el cual contiene poliuretano alifático acrílico se deja 72 horas para el proceso de curación.



Ilustración 3-27: Probetas acero ASTM A36 recubiertas

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

De acuerdo con las especificaciones del SIGMAFAST™ 278 debe contener un 75% de sustrato y 25% de disolvente a una temperatura de -5°C .

De acuerdo con las especificaciones del SIGMADUR™ 550H debe contener un 87% de sustrato y 13% de disolvente a una temperatura de -5°C .

3.5.3.4. Datos iniciales

Tabla 3-9: Datos iniciales del acero negro con recubrimiento superficial

ACERO NEGRO				
Nº	Codificación	Tipo de protección anticorrosiva	Espesor (mm)	Masa inicial (g)
1	PP-01	SSPC-SP-5	2,8	131,92
2	PP-02	SSPC-SP-5	2,8	131,43
3	PP-03	SSPC-SP-5	2,8	131,94
4	PP-04	SSPC-SP-5	2,8	131,43
5	PP-05	SSPC-SP-5	2,8	131,51
6	PP-06	SSPC-SP-5	2,8	131,46
7	PP-07	SSPC-SP-5	2,8	131,75
8	PP-08	SSPC-SP-5	2,8	131,26
9	PP-09	SSPC-SP-5	2,8	132,20
10	PP-10	SSPC-SP-5	2,8	131,27
11	PP-11	SSPC-SP-5	2,8	131,74
12	PP-12	SSPC-SP-5	2,8	131,27
13	PP-13	SSPC-SP-5	2,8	131,12
14	PP-14	SSPC-SP-5	2,8	131,55
15	PP-15	SSPC-SP-5	2,8	131,52
16	PP-16	SSPC-SP-5	2,8	139,69

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

3.5.4. Protección electroquímica catódica por ánodo de sacrificio

El objetivo principal del ánodo de sacrificio es minimizar la velocidad de la corrosión sobre el acero ASTM A36, mediante la alteración de su potencial electroquímico.

3.5.4.1. Ánodo de sacrificio

El ánodo de sacrificio que se emplea para el desarrollo de la investigación es aluminio ya que es un metal fácil de adquirir a un costo razonable. El aluminio actuará como ánodo mientras que el acero ASTM A36 actúa como cátodo.



Ilustración 3-28: Aluminio tipo C

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

3.5.4.2. Peso inicial del ánodo de sacrificio

Tabla 3-10: Datos iniciales del ánodo de sacrificio

Aluminio				
Nº	Codificación	Tipo de aluminio	Espesor (cm)	Masa inicial (g)
1	Al-01	Tipo C	1	114,41
2	Al-02	Tipo C	1	113,72
3	Al-03	Tipo C	1	109,61
4	Al-04	Tipo C	1	116,31
5	Al-05	Tipo C	1	114,85
6	Al-06	Tipo C	1	120,12
7	Al-07	Tipo C	1	115,85
8	Al-08	Tipo C	1	116,76
9	Al-09	Tipo C	1	115,75
10	Al-10	Tipo C	1	114,82
11	Al-11	Tipo C	1	117,60
12	Al-12	Tipo C	1	112,49
13	Al-13	Tipo C	1	114,98
14	Al-14	Tipo C	1	116,83
15	Al-15	Tipo C	1	117,17
16	Al-16	Tipo C	1	113,75

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

3.5.4.3. Propiedades del ánodo de sacrificio

Tabla 3-11: Propiedades del ánodo de sacrificio

Ánodo de aluminio			
propiedades	Tipo A	Tipo B	Tipo C
Composición %	Si=0,11-0,21 Fe=0,10 máx. Zn=0,3-0,5 Sn=--- Mg=--- Hg=0,02-0,05 In=--- Cu=0,006 máx. Otros=0,02 máx.	Si=0,10 máx. Fe=0,13 máx. Zn=3,5-5,0 Sn=--- Mg=0,3-0,8 Hg= In=0,02-0,05 Cu=0,006 máx. Otros=0,02 máx.	Si=0,10 máx. Fe=0,13 máx. Zn=3,5-5,0 Sn=--- Mg=0,3-0,8 Hg= In=0,02-0,05 Cu=0,006 máx. Otros=0,02 máx.
Rendimiento	0,95	0,9	0,5
Potencial de trabajo mV vs Ag/Ag Cl	-1050	-1100	-1100
Potencial vs acero protegido	-250	-350	-350
Capacidad eléctrica teóricas A-h/kg (A-h/lb)	2830(1290)	2700(1231)	Variable
Capacidad eléctrica real A-h/kg (A-h/lb)	2689(1226)	2430(1110)	Variable
Consumo ánodo			
kg/A-año	3,00	10,00	5,50
Lb/A-año	6,8	21,9	12
Densidad			
kg/dm ³	2,75	2,81	2,81
Lb/pulg ³	0,098	0,10	0,10
El aluminio tiene una peculiaridad de ser un metal de baja densidad y extremadamente ligero.			

Fuente: (Francia, 2004b: p. 43)

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

3.5.4.4. Composición química del ánodo de sacrificio

La composición química del aluminio se especifica bajo la norma ASTM B6-46 Norteamericana Mil-a 18001H.

Tabla 3-12: Composición química, ánodos de sacrificio (protectores galvánicos)

Especificaciones técnicas					
Plomo Máximo	Hierro Máximo	Cadmio Máximo	Cobre Máximo	Aluminio Máximo	Zinc Máximo
0,006%	0,005%	0,025-0,07	0,005%	0,1-0,5%	99,314%

Fuente:(ASTM B6-46, 2008, p. 3)

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

3.5.4.5. Cálculo del ánodo de sacrificio

Para el desarrollo del cálculo del ánodo de sacrificio se considera una sola pieza debido a que las 16 probetas están sometidas a las mismas condiciones.

Se considera los datos y parámetros necesarios para llevar a cabo los cálculos correspondientes ver tabla 3-11 y tabla 3-13.

Tabla 3-13: Densidad de corriente

Estado superficial	Medio agresivo	Densidad de corriente (mA/m ²)
Acero desnudo	Suelo neutro o estéril	5-17
Acero desnudo	Suelo aereado y seco	5-17
Acero desnudo	Suelo húmedo	28-66
Acero desnudo	Suelo muy ácido	56-170
Acero desnudo	Suelo con bacteria	450
Acero bien revestido	Suelo normal	0,1-0,2
Acero muy bien revestido	Suelo normal	0,01

Fuente: (Francia, 2004b: p. 41)

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

En la tabla 3-14 se describe los valores a utilizar para el desarrollo del cálculo del depositado de la cantidad de electrones transferidos al acero estructural.

Tabla 3-14: Datos para el desarrollo del cálculo

Denominación	Valor	Unidad
Corriente (promedio del suelo aereado y seco)	0,011	A
Equivalente electroquímico (constante)	96500	C
Peso atómico del aluminio	26,97	g
Valencia del aluminio	3	
Rendimiento del electrolito	0,5	

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

Desarrollo del cálculo de la cantidad en gramos depositado mediante el paso de la corriente eléctrica.

$$\text{Ecuación} \quad P = \frac{I * t * \frac{P_a}{V}}{96500} * R \quad (3)$$

Donde:

P = Peso en gramos.

I = Intensidad en amperios.

P_a = Peso atómico del metal depositado.

V = Valencia del elemento.

R = Rendimiento del electrólito.

Tiempo de la investigación

$$8 \text{ meses} \frac{30 \text{ días}}{1 \text{ mes}} * \frac{24 \text{ horas}}{1 \text{ día}} * \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ hora}} = 20736000 \text{ segundos}$$

Reemplazando en la ecuación (2)

$$P = \frac{0,011A * 20736000s * \frac{26,97g}{3}}{96.500C} * 0.5$$

$$P = 10,64 \text{ g}$$

Cálculo de tiempo de vida útil del ánodo de sacrificio

$$\text{Ecuación} \quad \text{vida} = \frac{\text{Corriente} * P * \eta * F_U}{I_a} \quad (4)$$

Donde:

Corriente = Capacidad de corriente [Amperio. Año/kg]

P = Peso [kg]

η = Rendimiento

F_u = Factor de utilización

I_a = intensidad

Tabla 3-15: Densidades de la corriente de protección

Densidades de corriente de acuerdo al tipo de aluminio			
Tipo	Potencial Circuito abierto (Ecu-CuSO ₄)	Potencial de trabajo	Tasa de consumo de corriente (kg/A-año)
I	-1,06 V	-1,00 V	4,7-3,6
II	-1,1 V	-1,15-1,25 V	4,3-3,6
III	-1,35 V	-1,10V	3,3-2,9
VI	-1,43 V	-0,93-1,30 V	-
VII	-1,1V	-0,93-1,13 V	-

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

Para desarrollar el cálculo de la vida útil del ánodo de sacrificio se considera los siguientes datos: peso del aluminio 120 gramos, rendimiento del aluminio tico C 0,5 adimensional, capacidad de corriente tipo III corriente media de 3,1 año/kg, y un factor de utilización de 85%, con estos datos se logra determinar la vida del aluminio como ánodo de sacrificio.

Reemplazando en la ecuación (4)

$$\text{vida} = \frac{3,1 \frac{\text{kg}}{\text{A-año}} * 0,12\text{kg} * 0,5 * 0,85}{0,011\text{A}}$$

$$\text{vida} = 14,37 \text{ años}$$

3.5.4.6. Datos iniciales

Tabla 3-16: Datos iniciales del acero A36 galvanizadas

ACERO A36 GALVANIZADO				
Nº	Codificación	Tipo de protección anticorrosiva	Espesor (mm)	Masa inicial (g)
1	PA-01	Protección por ánodo de sacrificio	2,8	124,07
2	PA-02	Protección por ánodo de sacrificio	2,8	124,07
3	PA-03	Protección por ánodo de sacrificio	2,8	124,06
4	PA-04	Protección por ánodo de sacrificio	2,8	124,07
5	PA-05	Protección por ánodo de sacrificio	2,8	124,07
6	PA-06	Protección por ánodo de sacrificio	2,8	124,07
7	PA-07	Protección por ánodo de sacrificio	2,8	124,07
8	PA-08	Protección por ánodo de sacrificio	2,8	124,06
9	PA-09	Protección por ánodo de sacrificio	2,8	124,07
10	PA-10	Protección por ánodo de sacrificio	2,8	124,06
11	PA-11	Protección por ánodo de sacrificio	2,8	124,07
12	PA-12	Protección por ánodo de sacrificio	2,8	124,06
13	PA-13	Protección por ánodo de sacrificio	2,8	124,07
14	PA-14	Protección por ánodo de sacrificio	2,8	124,07
15	PA-15	Protección por ánodo de sacrificio	2,8	124,07
16	PA-16	Protección por ánodo de sacrificio	2,8	124,06

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

3.6. Desarrollo de la investigación

3.6.1. Datos de iniciales de las condiciones ambiental

Las 64 probetas de acero estructural, se sometieron a la investigación de acuerdo las siguientes variables medio ambientales del cantón Milagro.

Tabla 3-17: Variables de la investigación

Condiciones ambientales del lugar de la investigación				
Temperatura	Humedad	Tipo	Nivel de pH	Tipo
29,2°C	64,7%	Suelo totalmente húmedo	7,38	Suelo neutro

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

3.6.2. Colocación de los cupones

Para llevar a cabo la colocación de los 64 cupones de acero estructural se realiza los siguientes pasos:

- Se toma los datos de las variables iniciales como: temperatura, humedad y el nivel pH.
- Se procede a ubicar el contenedor en el área designado para desarrollar la investigación.
- Se agrega concreto en los soportes, debido a que va estar propenso a lluvias y viento.
- Se agrega una capa de 5 cm de tierra para ubicar las 64 probetas con mayor facilidad.
- Se ubica 4 filas de 16 probetas con un espacio de 5 cm evitando el contacto entre ellas.
- Se realiza la conexión de voltaje a las 16 probetas por protección catódica.
- Se realiza la medición de corriente y voltaje de las 16 probetas por protección catódica.
- Por último, se procede a cubrir con tierra por completo las 64 probetas de acero.



Ilustración 3-29: Colocación de los cupones el contenedor

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



Ilustración 3-30: Ubicación de las probetas para evitar el contacto entre sí
Realizado por: (Guallo, H; Guamán, J, 2023)



Ilustración 3-31: Instalación de voltaje para la protección catódica
Realizado por: (Guallo, H; Guamán, J, 2023)



Ilustración 3-32: Medición de voltaje de las probetas por protección catódica
Realizado por: (Guallo, H; Guamán, J, 2023)

3.7. Instrumentos de investigación

Para el desarrollo de la presente investigación se emplea equipos digitales de precisión para obtener una recolección de datos precisos debido a que la pérdida de masa y espesor del acero ASTM A36 no va ser una gran cantidad esto se debe al tiempo que va estar sometido dicho acero, los equipos que se utiliza se detallan a continuación:

3.7.1. Balanza de precisión


Tabla 3-18: Especificaciones técnicas de la balanza de precisión

Especificaciones generales		Imagen
Descripción del equipo		
Marca	Notebook	
Modelo	Serie digital SCALE	
Unidades de medida	Gramos, onzas	
Pantalla	LCD con 5 unidades	
Bandeja	Acero inoxidable	
Dimensiones de bandeja	90x115mm	
Calibración	Automática	
Batería	2 pilas AAA	
Material	Plástico	
Color	Negro	

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

3.7.2. Medidor de pH


Tabla 3-19: Especificaciones técnicas del medidor de pH

Especificaciones generales		Imagen
Descripción del equipo		
Marca	PROLABOR	
Modelo	pH Meter	
Rango de medida	0,00-14,00pH	
Resolución	0,01pH	
Fuente de alimentación	21,5 voltios	
Temperatura	0-60°C	
Calibración	Automática	
Dimensiones	155mm x 31mm x 18mm	
Material	Plástico	
Color	Azul	

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

3.7.3. Termómetro digital


Tabla 3-20: Especificaciones técnicas del termómetro tipo K/J

Descripción del equipo		Imagen
Modelo	SPER SCIENTIFIC	
Peso	6 onzas	
Tipo	K/J	
Exactitud	±0,05%	
Fuente de alimentación	9 voltios	
Temperatura tipo J	-250 a 1050°C	
Temperatura tipo K	-200 A 1370°C	
Pantalla	Digital	
Dimensiones	133 x 57 x 32 mm	

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

3.7.4. Anemómetro-hidrómetro-fluxómetro


Tabla 3-21: Especificaciones técnicas del anemómetro-hidrómetro y fluxómetro

Descripción del equipo		Imagen
Marca	EXTECH	
Modelo	Environmental Meter	
Nivel de luz	0 a 20,000 lux	
Humedad relativa	10,0 a 95,0% HR	
Temperatura (aire)	0 a 50°C	
Sonda de temperatura	Tipo k (-100 a 1300°C)	
Velocidad del aire	80 a 5910 pies/min	

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

3.7.5. Calibrador digital

Tabla 3-22: Calibrador digital

Descripción del equipo		Imagen
Marca	Calibrador 101	
Modelo	Calibrador 101	
Material	Fibra de plástico	
Rango	0-150mm/6 pulgadas	
Peso	32 gramos	
Precisión	±0,1mm	
Tasa de distribución	0,1mm/0.01 in	

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

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS


El presente capítulo tiene como finalidad demostrar los resultados de la tasa de corrosión obtenido en el transcurso del desarrollo de la investigación. Para lo cual se diseña un manual de procedimiento de recolección de datos para los diferentes métodos de protección anticorrosivas.

4.1. Manual de procedimiento

El presente manual ésta diseñado con el fin de facilitar el correcto procedimiento de recolección de datos de las variables de la investigación situada en la empresa ADELCA del cantón Milagro.

4.1.1. Manual de procedimiento para cupones de acero negro y galvanizado

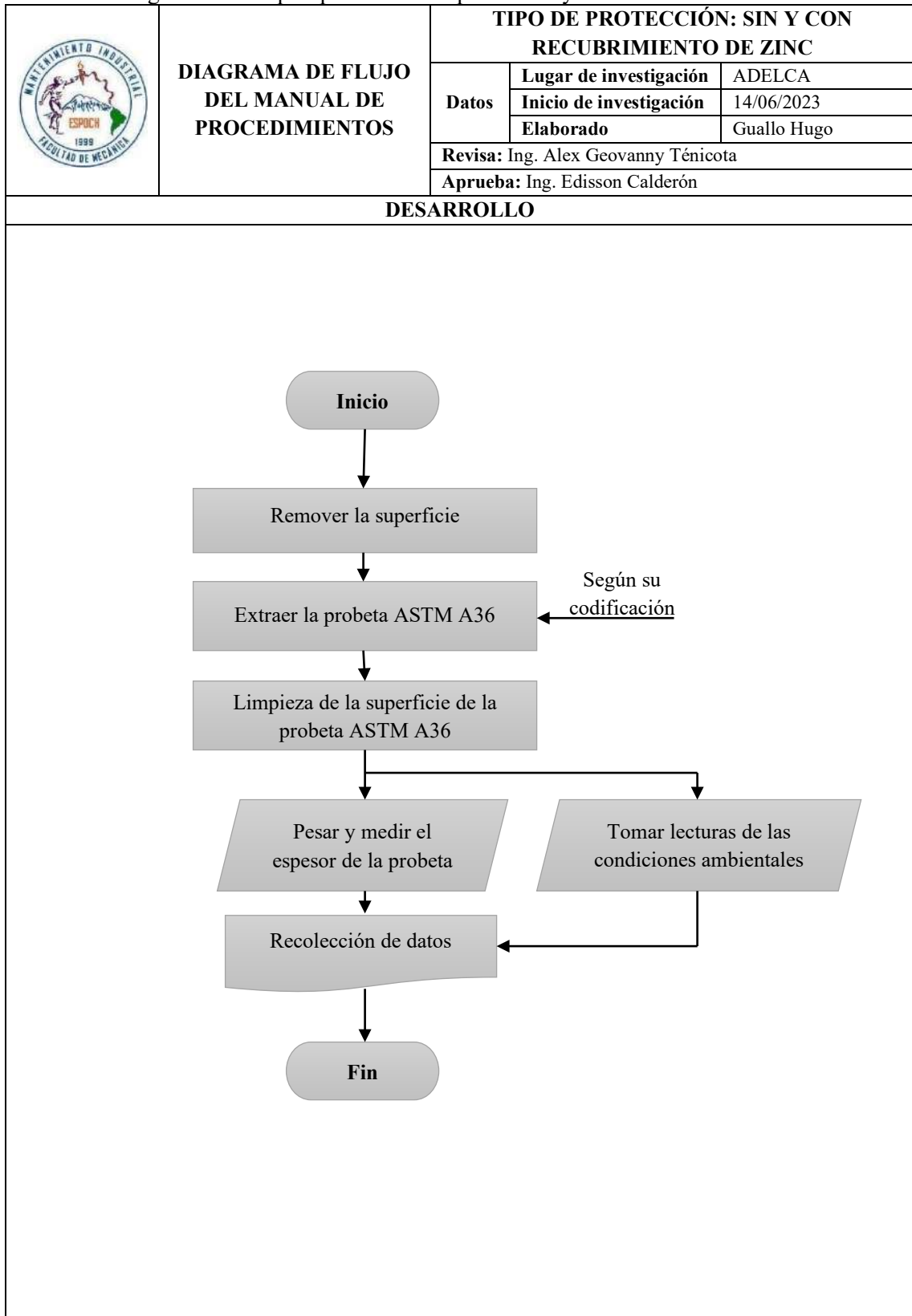
Tabla 4-1: Manual de procedimientos sin protección y con recubrimiento de zinc

		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	
				Datos	Lugar de investigación
			ADELCA	14/06/2023	Guallo Hugo
		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 negro y ASTM A36		
	PZ-01 hasta PZ-16	Dimensiones	120x50mm y e = 28mm		
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	Limpia 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)

4.1.2. Diagrama de flujo para cupones de acero negro y ASTM A36


Tabla 4-2: Diagrama de bloques para acero sin protección y con recubrimiento de zinc



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

4.1.3. Manual de procedimiento para cupones con recubrimiento superficial

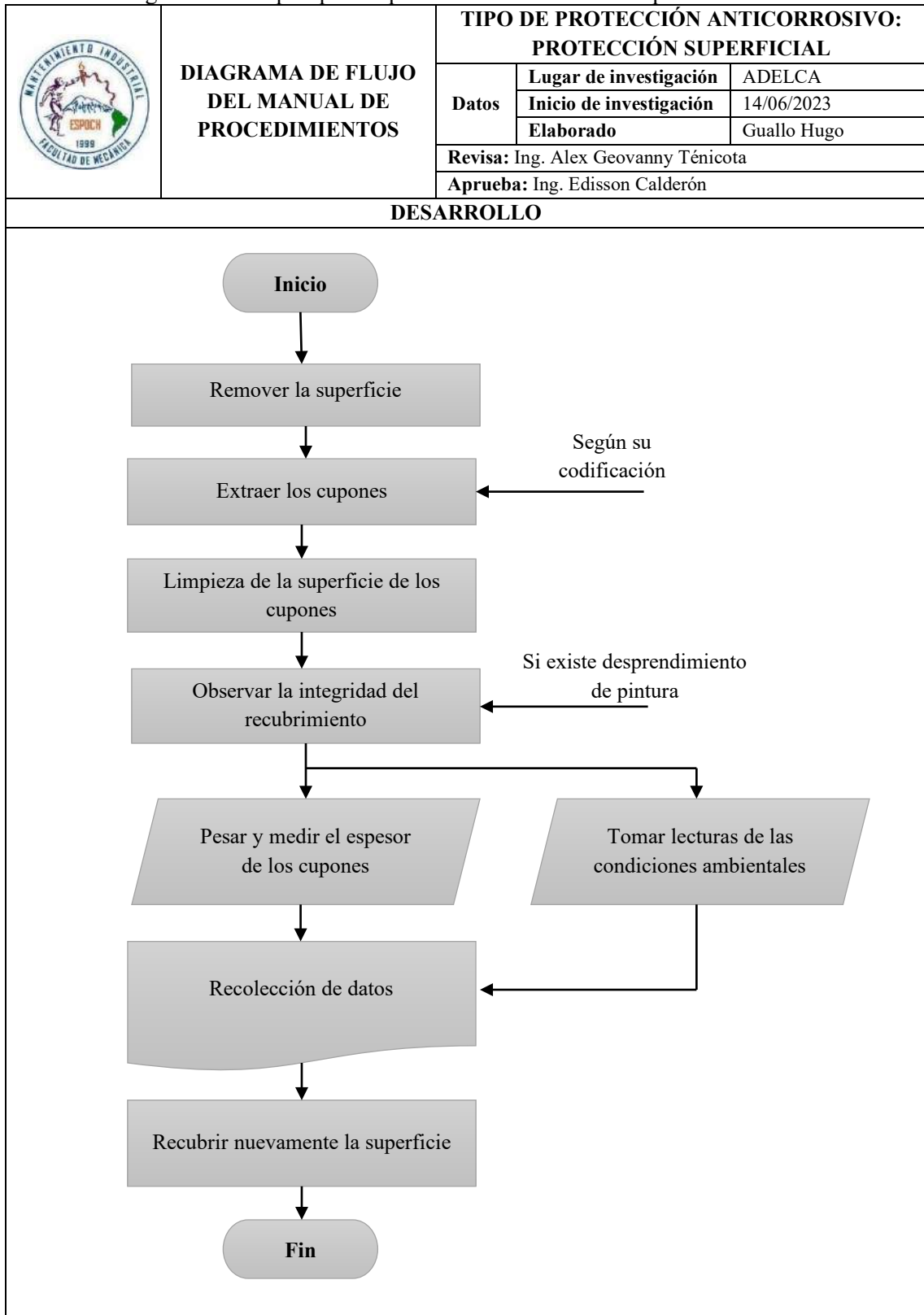
Tabla 4-3: Manual de procedimiento para probetas con protección superficial

		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. Edisson 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	Limpiar 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)

4.1.4. Diagrama de flujo para cupones con recubrimiento superficial

Tabla 4-4: Diagrama de bloques para cupones con recubrimiento superficial



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

4.1.5. Manual de procedimiento para protección catódica por ánodo de sacrificio

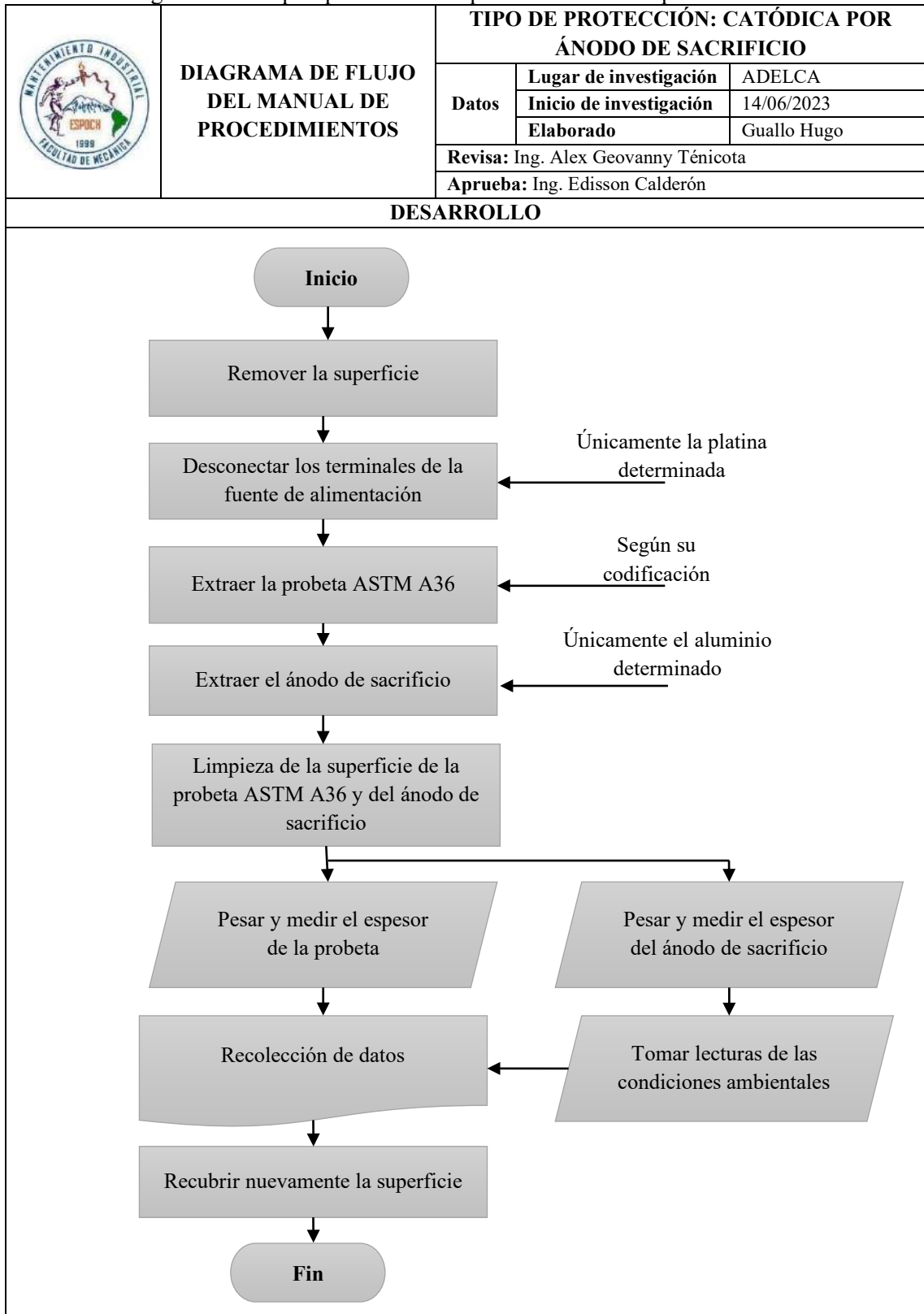
Tabla 4-5: Manual de procedimiento para protección catódica

		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. Edisson 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.	Cinzel 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	Limpiar 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)

4.1.6. Diagrama de flujo para protección catódica por ánodo de sacrificio

Tabla 4-6: Diagrama de bloques para acero con protección catódica por ánodo de sacrificio




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

4.2. Levantamiento de datos del acero estructural

4.2.1. Ficha de recolección de datos del acero negro sin recubrimiento


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. Edisson 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)

4.2.2. Ficha de recolección de datos del acero ASTM A36 con recubrimiento de zinc


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. Edisson 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)

4.2.3. Recolección de datos de acero ASTM A 36 con recubrimiento superficial


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. Edisson 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)

4.2.4. Recolección de datos por protección catódica por ánodo de sacrificio

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. Edisson 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)

4.3. Procesamiento, análisis e interpretación de resultados

Para determinar el mejor tipo de protección anticorrosivo del acero negro y acero ASTM A36 en un ambiente cálida-humada del Ecuador, se realiza los siguientes análisis.

4.3.1. Velocidad de corrosión

Para el desarrollo del cálculo de la tasa corrosión del acero ASTM A36 se utiliza la ecuación (1), para ello es necesario calcular el área de la probeta (A), la densidad del acero (D) se aprecia en la tabla 2-2, de igual manera los valores de la constante K la ubicamos en la tabla 2-4 y con respecto a la pérdida de masa (W) se lo obtiene a través de la resta de la masa inicial menos la masa final dependiendo del método a ser analizado.

4.3.1.1. Área de la probeta

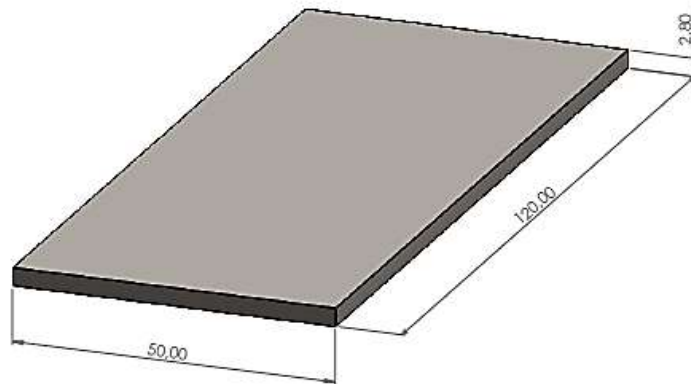


Ilustración 4-1: Medidas de la probeta ASTM A36

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

Desarrollo del cálculo del área de la probeta

$$\text{Ecuación} \quad A_{\text{Prisma}} = 2ab + 2bc + 2ac \quad (2)$$

Reemplazando la ecuación (4)

$$A_{\text{Prisma}} = 2(5\text{cm})(0,28\text{cm}) + 2(0,28\text{cm})(12\text{cm}) + 2(5\text{cm})(12\text{cm})$$

$$A_{\text{Prisma}} = 129,52 \text{ cm}^2$$

4.3.1.2. Cálculo de la velocidad de corrosión

Reemplazando la ecuación (1)

$$\text{Velocidad de corrosión} = \frac{(87600 \cdot 0,01 \text{g})}{(129,52 \text{cm}^2 \cdot 360 \text{h} \cdot 7,85 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3})}$$

$$\text{Velocidad de corrosión} = 0,002393289 \text{ mm/año}$$

4.3.2. Análisis de comportamiento de condiciones ambientales

El análisis de las condiciones ambientales del catón Milagro, es fundamental para llevar a cabo el análisis de los métodos de protección anticorrosivos aplicadas en acero estructural, ya que estas variables afectan de manera directa en acero estructural provocando la pérdida de masa y espesor de dicho acero.

Este análisis se realiza mediante la recolección de datos obtenidas durante el tiempo de la investigación desarrollada en la empresa ADELCA.

4.3.2.1. Comportamiento de la temperatura

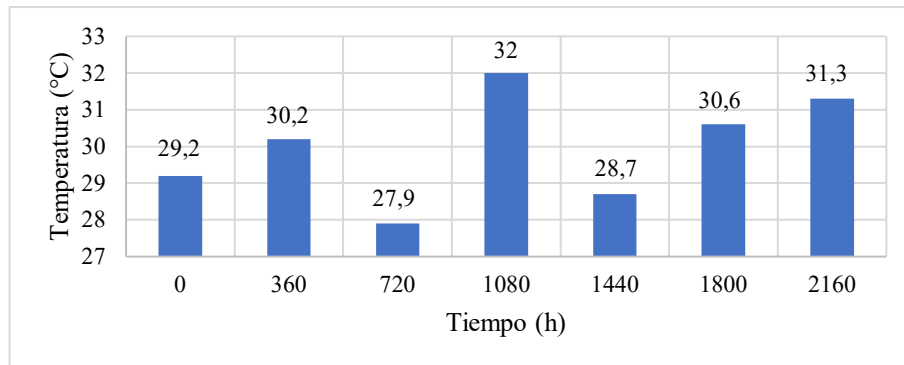


Ilustración 4-2: Comportamiento de la temperatura del lugar de investigación

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

El comportamiento de la temperatura del cantón Milagro se muestra mediante una línea que conecta los puntos permitiendo visualizar una tendencia de la variación de temperatura a lo largo del tiempo. Obteniendo valores de temperatura entre el rango de 27,9 °C hasta los 31,2°C como máximo, estos valores pueden variar dependiendo la estación.

4.3.2.2. Comportamiento de la humedad

Se toma la humedad relativa para el desarrollo de esta investigación, ya que la humedad relativa es la relación entre la humedad absoluta y la humedad absoluta de saturación.

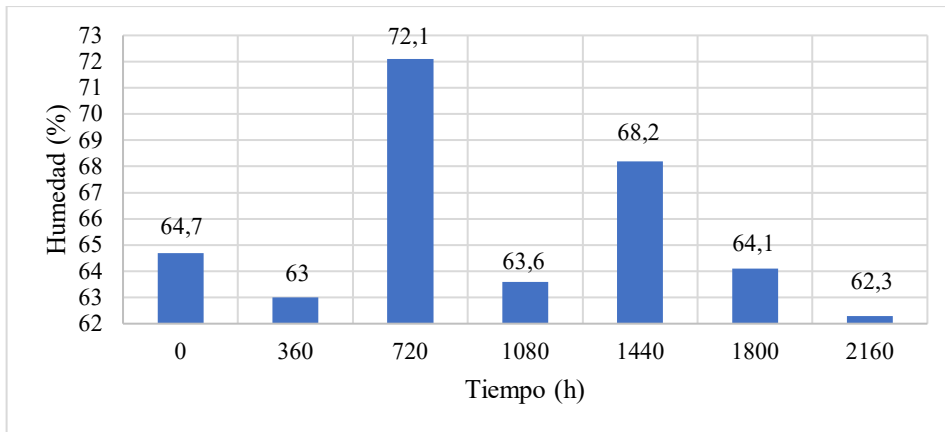


Ilustración 4-3: Humedad relativa del lugar de investigación

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

Al igual que la temperatura la humedad relativa del cantón Milagro es variable a lo largo del tiempo, siendo 72,1 como humedad máxima y 62,3 humedad mínima durante las 2160 horas de investigación.

4.3.2.3. Comportamiento de pH

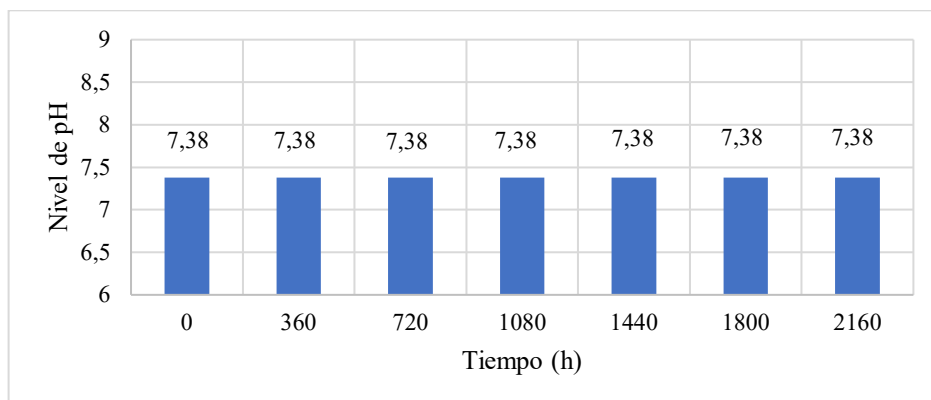


Ilustración 4-4: Nivel del pH del lugar de investigación

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

Según la escala del pH, se determina que el suelo del cantón Milagro es de 7,38 por lo tanto, el pH es neutro ni muy ácido ni muy alcalina.

4.3.3. Análisis del comportamiento del acero negro sin protección anticorrosivo

Para llevar a cabo el análisis del comportamiento del acero negro sin ningún tipo de protección, se realiza las siguientes graficas con los datos recolectadas durante el tiempo de monitoreo de los cupones.

4.3.3.1. Velocidad de corrosión del acero negro sin protección anticorrosivo

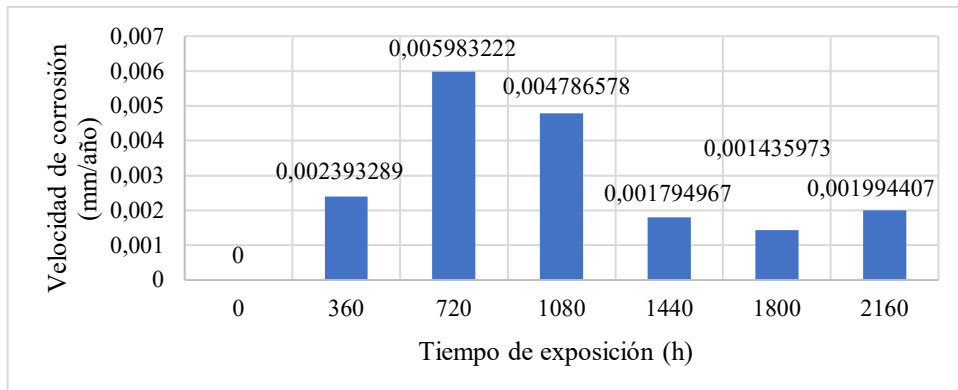


Ilustración 4-5: Velocidad de corrosión del acero negro sin protección

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

De acuerdo con los datos obtenido durante las 2160 horas de investigación, la velocidad de corrosión en estos tipos de aceros es muy evidente ya que se obtiene un valor promedio de 0,00306474 mm/año según la categorización se determina que es un acero sobresaliente.

4.3.3.2. Comportamiento de la masa del acero negro sin protección anticorrosivo

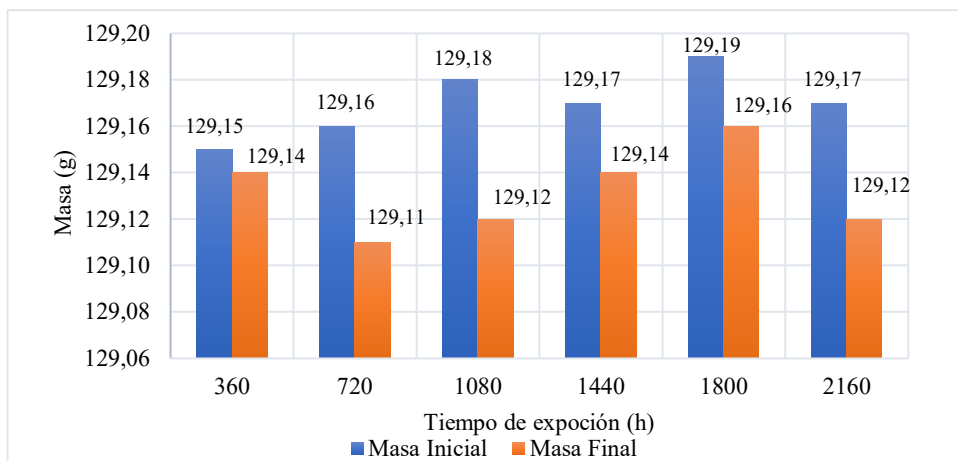


Ilustración 4-6: Perdidas de masa del acero negro sin protección

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

A medida que avanza el tiempo, la pérdida de masa puede acelerarse, indicando una mayor actividad corrosiva como se puede apreciar en la Ilustración 4-6 donde se puede apreciar la pérdida de masa entre un valor mínimo de 0,01 gramo hasta un valor máximo de 0,05 gramos. Esto puede deberse a las condiciones ambientales tales como la presión, temperatura, humedad, nivel de pH, entre otros factores que presenta el cantón Milagro. Cabe mencionar que estos tipos de aceros al no utilizar ningún tipo de protección anticorrosiva económicamente son más asequibles para el consumidor.

4.3.3.3. Comportamiento del espesor del acero negro sin protección anticorrosiva

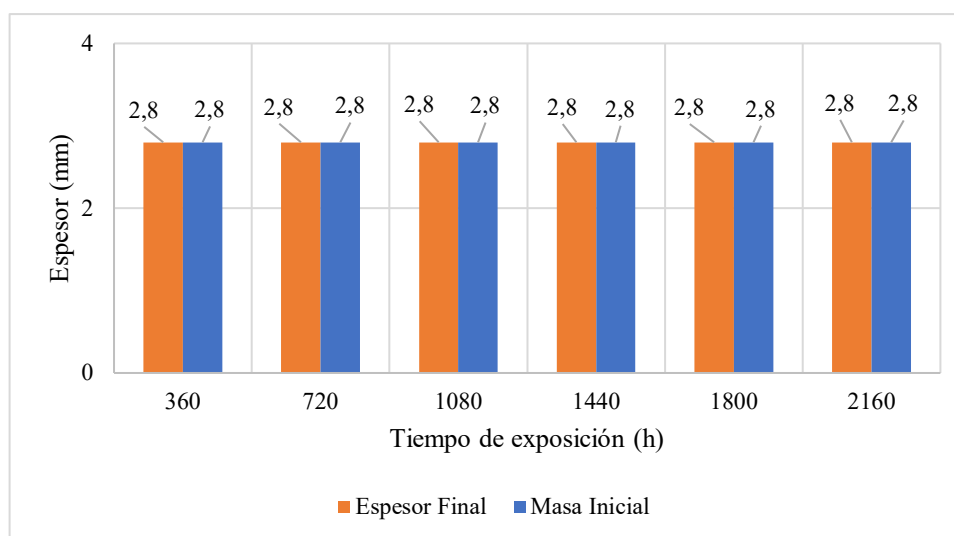


Ilustración 4-7: Comportamiento del espesor del acero sin protección

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

Debido a que la corrosión no se presenta de una manera uniforme en la superficie del metal y la pérdida de masa máximo es de 0,05 gramos, por lo tanto, la pérdida de espesor no se puede apreciar en los instrumentos de medida como el calibrador o el micrómetro. Por ende, el espesor de los cupones permanece constante de 2,8 mm hasta las 2160 horas de experimentación.

4.3.4. Análisis del comportamiento del acero ASTM A36 con recubrimiento de zinc

El recubrimiento del zinc empleados en los aceros ASTM A36 proporciona una protección adicional contra la corrosión, aumentando su vida útil y su resistencia en ambientes corrosivos. Para esta investigación se utilizó un tol galvanizado de tipo G-40 debido a su contenido de zinc, el cual mediante la recolección de datos durante los 3 meses de experimentación se obtuvo los siguientes resultados.

4.3.4.1. *Velocidad de corrosión del acero ASTM A36 con recubrimiento de zinc*

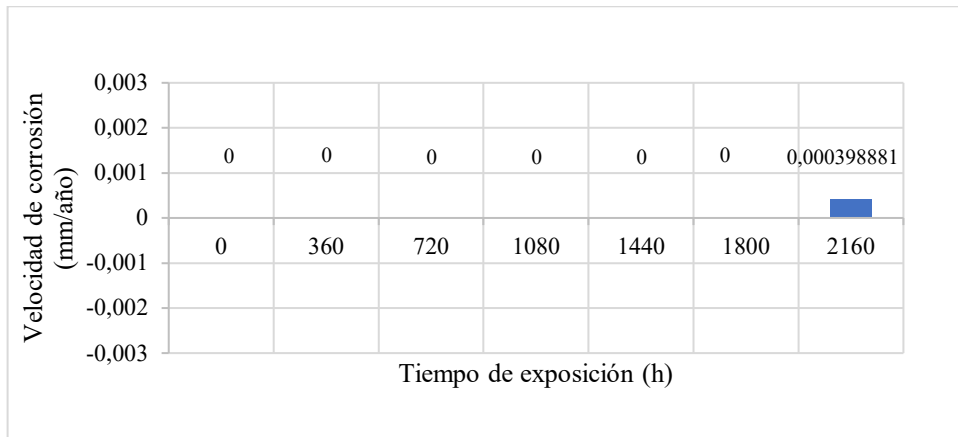


Ilustración 4-8: Velocidad de corrosión del acero A36 con recubrimiento de zinc

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

acorde a los datos obtenido durante las 2160 horas de investigación, la velocidad de corrosión en este de tipos de aceros da inicio a los 3 meses como se aprecia en la Ilustración 4-8, arrojando un valor de 0,000398881 mm/año determinando que es un acero sobresaliente.

4.3.4.2. *Comportamiento de la masa de acero ASTM A36 con recubrimiento de zinc*

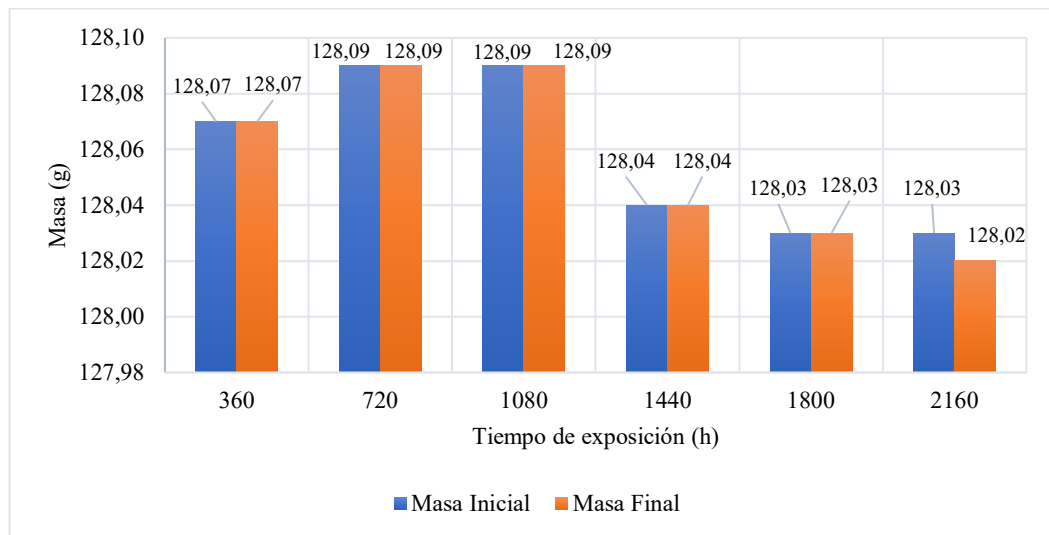


Ilustración 4-9: Comportamiento de la masa del acero con recubrimiento de zinc

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

La pérdida de masa en este tipo de aceros se produce a las 2160 horas de experimentación con un valor de 0,01 gramos. Esta pérdida de masa puede variar con respecto a los aceros galvanizado de tipo G-60 y G-90 ya que contienen más contenido de zinc.

4.3.4.3. *Comportamiento del espesor de acero ASTM A36 con recubrimiento de zinc*

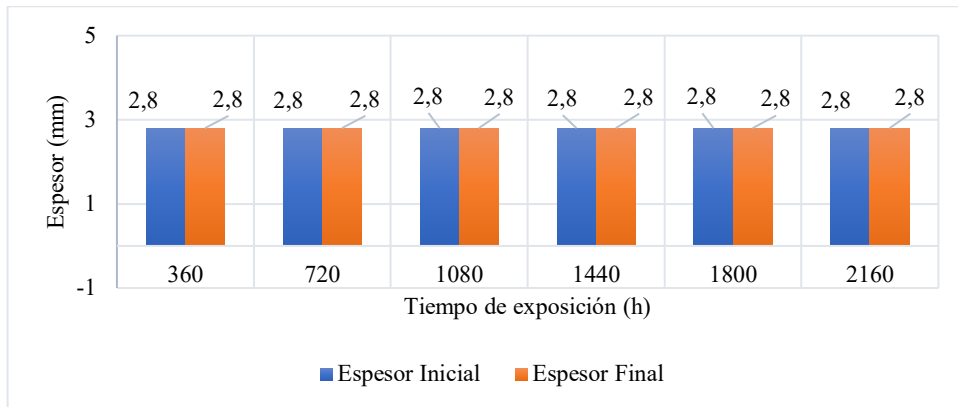


Ilustración 4-10: Comportamiento del espesor acero con recubrimiento de zinc

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

La pérdida de espesor en estos tipos de aceros no se produce permaneciendo constante con un valor de 2,8mm, indicando que el zinc cumple con su el objetivo de proteger de la superficie del metal. Este valor de espesor puede variar a medida que avanza el tiempo debido a que el recubrimiento (zinc) sacrificara su propio material para proteger al acero subyacente.

4.3.5. *Análisis de comportamiento del acero negro con recubrimiento superficial*

Para el análisis del comportamiento del acero negro mediante protección superficial (SIGMADUR™), se realiza las siguientes gráficas con los datos recolectadas durante el tiempo de investigación.

4.3.5.1. *Velocidad de corrosión del acero negro con recubrimiento superficial*

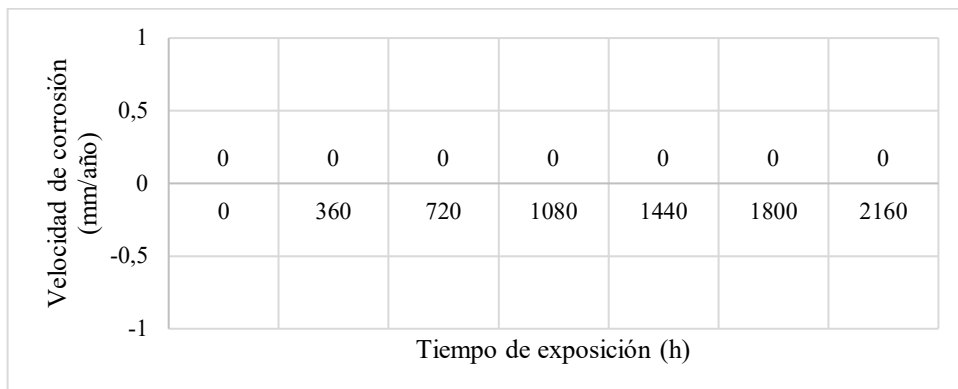


Ilustración 4-11: Velocidad de corrosión del acero negro con recubrimiento

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

Con los datos obtenidos durante un estudio de 2160 hora de prueba se evidencia que este tipo de acero negro con revestimiento superficial (SIGMADUR™ 550H), no presenta velocidad de corrosión indicándonos que el epóxico con fosfato de zinc protege la superficie de dicho acero.

4.3.5.2. *Comportamiento de la masa del acero negro con recubrimiento superficial*

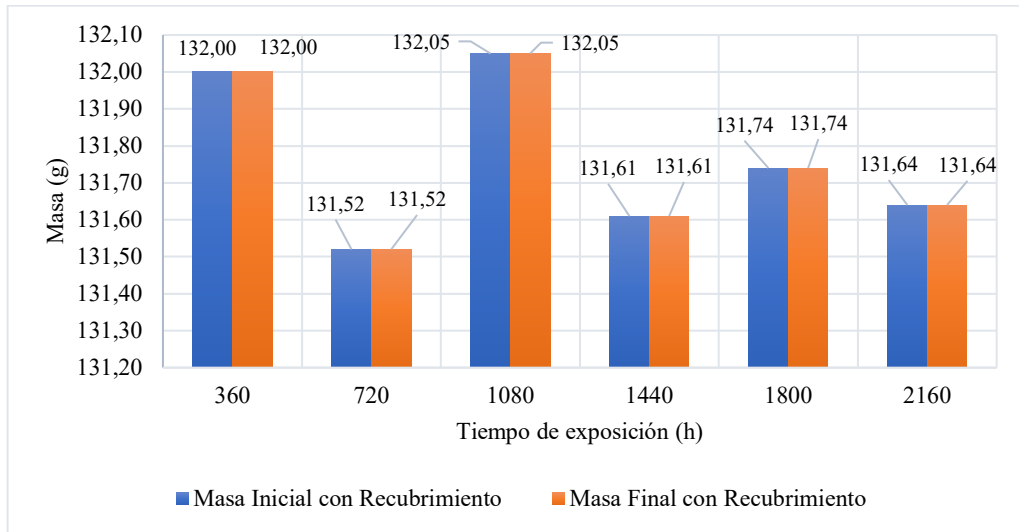


Ilustración 4-12: Comportamiento de la masa del acero negro con recubrimiento

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

No existe pérdida de masa en el acero negro con recubrimiento superficial durante las 2160 horas de prueba, indicando que el SIGMADUR™ es un buen método de protección anticorrosivo.

4.3.5.3. *Comportamiento del espesor de acero negro con recubrimiento superficial*

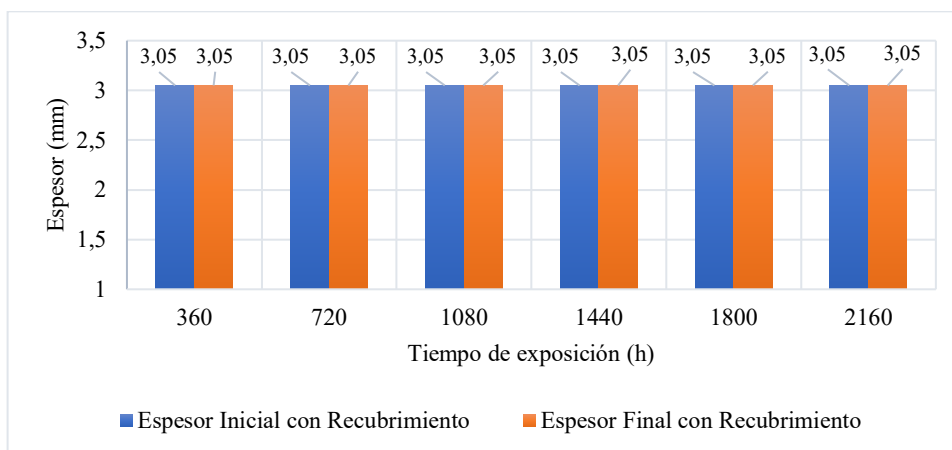


Ilustración 4-13: Comportamiento del espesor acero negro con recubrimiento

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

En este tipo de protección superficial no existe pérdida de espesor y permanece constante con un valor de 3,05mm, esto indica que el recubrimiento superficial (SIGMADUR™) cumple con su propósito de proteger la superficie metálica. El valor de este espesor puede cambiar con el tiempo a medida que la capa de la pintura comienza a desprenderse del metal.

4.3.6. *Análisis de comportamiento del acero ASTM A36 con protección catódica*

El análisis de comportamiento del acero ASTM A36 con protección catódica implica estudiar como la protección catódica afecta a las propiedades y el desempeño de este tipo de acero también conocido como acero estructural de baja aleación, ampliamente utilizado en la industria de la construcción por su resistencia, ductilidad y capacidad para soportar cargas pesadas. Sin embargo, el acero puede corroerse con el tiempo debido a la exposición a agentes corrosivos como el agua, el oxígeno y los electrolitos presentes en el ambiente, para ello se analiza el comportamiento del acero ASTM A36 mediante protección catódica realizando las siguientes graficas con los datos recolectadas durante el tiempo de investigación.

4.3.6.1. *Velocidad de corrosión de acero ASTM A36 con protección catódica*

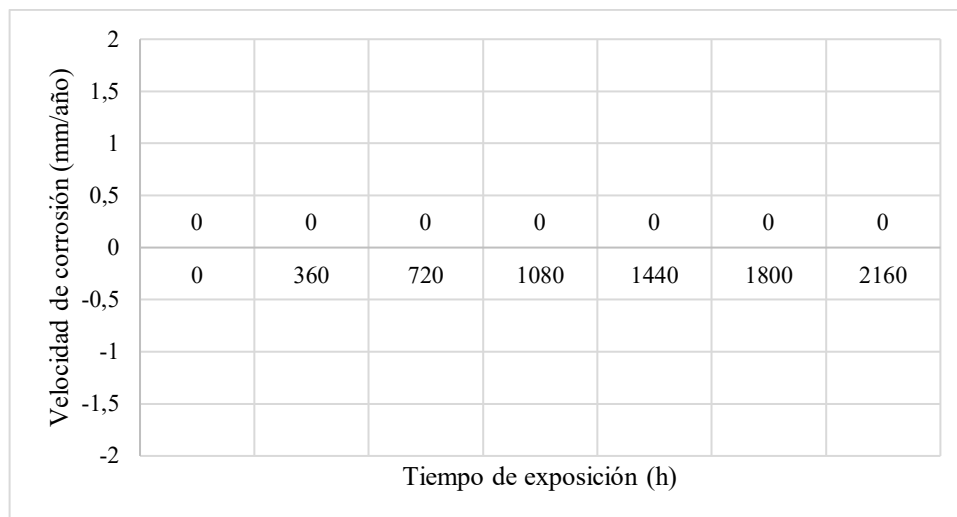


Ilustración 4-14: Velocidad de corrosión del acero A36 con protección catódica

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

Los datos obtenidos durante un estudio de 2160 horas muestran que la velocidad de corrosión en este tipo de acero ASTM A36 sometido a una protección catódica por ánodo de sacrificio no existe ya que la velocidad de corrosión es proporcional a la masa y espesor, en otras palabras, si no existe pérdida de masa y espesor no existirá velocidad de corrosión.

4.3.6.2. Comportamiento de la masa del acero ASTM A36 con protección catódica

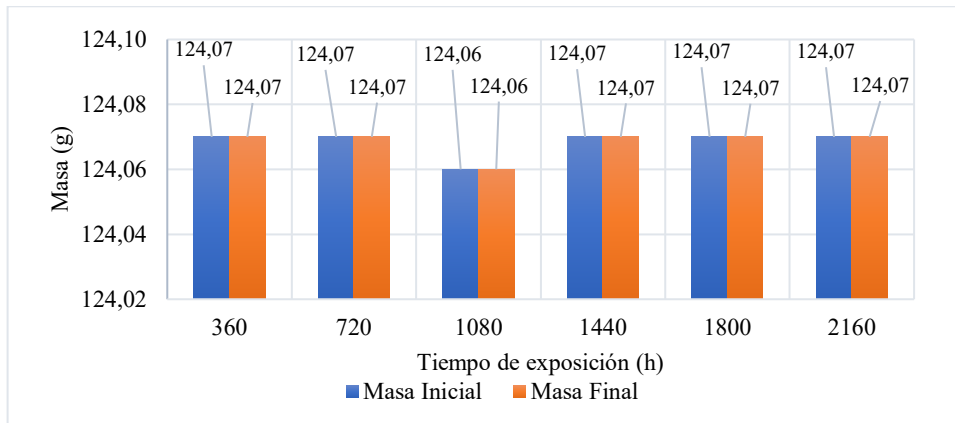


Ilustración 4-15: Comportamiento de la masa del acero con protección catódica

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

La pérdida de masa no se presente en este tipo de protección anticorrosivo ya que el ánodo de sacrificio (aluminio) protege al acero mediante la transferencia de electrones, esto se puede evidencia en la ilustración 4-15 que no existe pérdida de masa a los 2160 hora de prueba.

4.3.6.3. Comportamiento del espesor del acero ASTM A36 con protección catódica

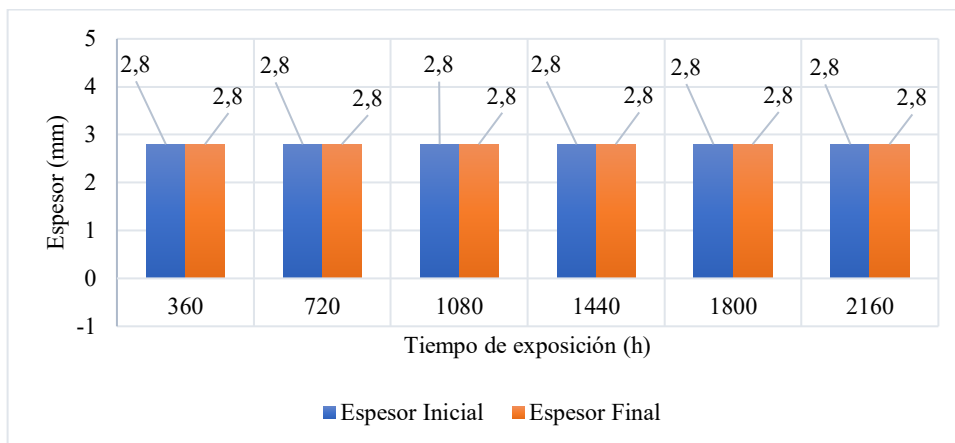


Ilustración 4-16: Comportamiento del espesor acero con protección catódica

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

Gracias al aluminio que actúa como ánodo de sacrificio el acero no sufre pérdida de espesor manteniendo constante con un valor de 2,8mm a las 2160 horas de investigación, este tipo de protección puede verse afectado cuando el ánodo de sacrificio cumple con su vida útil en ese entonces los cupones quedara desprotegido dando inicio a corrosión eso implica pérdida de masa y espesor.

4.4. Comprobación de la hipótesis mediante R-Studio

Para la parte estadística y comparación de datos se utilizó el programa Excel y el comando R-Studio como herramienta digital para un mejor análisis y comprensión de la velocidad de corrosión y determinar el mejor método de protección contra la corrosión.

Tabla 4-11: Valores de comparación p-value

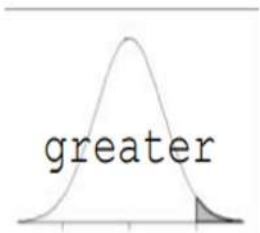
Método de protección	p-value
Sin protección anticorrosivo	0.1118
Recubrimiento de zinc	2.073×10^{-5}
Recubrimiento superficial	-
Protección catódica	-

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

En la tabla 4-11 se puede evidenciar que el p-value de los datos de las probetas sin recubrimiento es mayor a 0,05 por lo tanto está se considera una distribución normal con un nivel de confianza del 95%, en cuanto a las probetas con recubrimiento de zinc el p-value resulta menor al 0,05 por lo que no se ajusta a una distribución normal, para las probetas con protección de superficial y con protección catódica no existe un p-value que analizar ya que en estas probetas no existió corrosión alguna que pueda arrojar datos para calcular una velocidad de corrosión de las mismas.

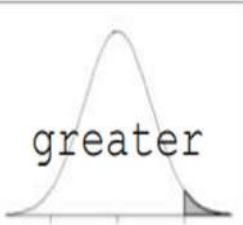
4.4.1. Análisis de R-Studio

Tabla 4-12: Comparación estadística de Vps vs Vmr

Comparación	Hipótesis	Gráfica	p-value
Probetas sin recubrimiento vs probetas con recubrimiento de zinc	$V_{ps} \leq V_{mr}$		0.995
	$V_{ps} > V_{mr}$		
<p>Contratación de la hipótesis Al ser p-value mayor a 0,05 no se descarta la hipótesis nula con un 95% de confiabilidad y se asume que las condiciones ambientales y los métodos de protección influyen directamente a la velocidad de corrosión de las probetas.</p>			

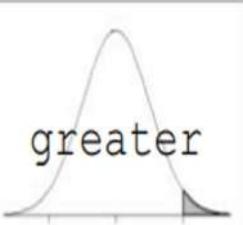
Realizado por: (Guallo, H; Guamán, J, 2023)

Tabla 4-13: Comparación estadística de V_{ps} vs V_{in}

Comparación		Hipótesis	Gráfica	p-value
Probetas sin protección vs probetas con recubrimiento superficial	$V_{ps} \leq V_{in}$	$H_0 =$ Las condiciones ambientales y los métodos de protección a los cuales están sometidas las probetas metálicas influyen de manera directa en la reducción de la masa y espesor del material.		0.995
	$V_{ps} > V_{in}$	$H_1 =$ Las condiciones ambientales y los métodos de protección a los cuales están sometidas las probetas metálicas no influyen de manera directa en la reducción de la masa y espesor del material.		
<p>Contratación de la hipótesis</p> <p>Al ser p-value mayor a 0,05 no se descarta la hipótesis nula con un 95% de confiabilidad y se asume que las condiciones ambientales y los métodos de protección influyen directamente a la velocidad de corrosión de las probetas.</p>				

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

Tabla 4-14: Comparación estadística de V_{ps} vs V_{pc}

Comparación		Hipótesis	Gráfica	p-value
Probetas sin protección vs probetas protección catódica	$V_{ps} \leq V_{pc}$	$H_0 =$ Las condiciones ambientales y los métodos de protección a los cuales están sometidas las probetas metálicas influyen de manera directa en la reducción de la masa y espesor del material.		0.995
	$V_{ps} > V_{pc}$	$H_1 =$ Las condiciones ambientales y los métodos de protección a los cuales están sometidas las probetas metálicas no influyen de manera directa en la reducción de la masa y espesor del material.		
<p>Contratación de la hipótesis</p> <p>Al ser p-value mayor a 0,05 no se descarta la hipótesis nula con un 95% de confiabilidad y se asume que las condiciones ambientales y los métodos de protección influyen directamente a la velocidad de corrosión de las probetas.</p>				

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

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Por medio del convenio con la empresa ADELCA, se estableció una estación de experimentación dentro de sus instalaciones en un sector fuera de circulación del personal y con su debida señalética para que con ello la investigación no corra ningún peligro o esté en interacción con personal externo al proyecto.

Se preparó cuatro grupos de probetas metálicas, cada grupo compuesto por dieciséis muestras con su respectivo método de protección superficial, los cuales controlan la velocidad de corrosión de las probetas.

Se elaboró un manual de procedimientos para cada tipo de probetas metálicas, que incluyen el tipo de metal, su método de protección anticorrosiva y la tabla de variación de masa y espesor.

Con la ayuda del software R-Studio se procesó la información mediante estadística descriptiva en donde la velocidad de corrosión de las probetas sin protección anticorrosiva da un promedio de 0.0030647 mm/año, mientras que en las probetas con recubrimiento de zinc la velocidad de corrosión es de 0,000398881 mm/año y en las probetas restantes con protección anticorrosiva la velocidad de corrosión es nula lo que nos indica que son efectivas mientras estas perduren.

5.2. Recomendaciones

Realizar el estudio estadístico de las once muestras sobrantes incluyendo los datos ya obtenidos en esta investigación.

Realizar un análisis de costo y beneficio de cada método de protección anticorrosivo con el fin de determinar el mejor método anticorrosivo para un acero estructural a un precio económico.

Monitorear el variador de voltaje que esté funcionando correctamente y que no se encuentre descubierto o a la intemperie cada vez que se realice la visita a la estación de experimentación.

GLOSARIO

Proceso electroquímico: es una reacción química que involucra transferencia de electrones a través de una interfaz entre una fase conductora (usualmente un electrodo) y una fase líquida o gaseosa (usualmente un electrolito).

Velocidad de corrosión: es una medida de la rapidez con la que ocurre la corrosión y se expresa generalmente en términos de pérdida de masa por unidad de tiempo.

Protecciones anticorrosivas: son métodos o técnicas utilizadas para evitar o reducir la corrosión de metales.

Variables ambientales: son elementos del entorno que pueden tener influencia sobre una situación o fenómeno determinado. Estas variables pueden ser de naturaleza física, química o biológica y pueden incluir factores como la temperatura, humedad, presión atmosférica, entre otras.

Poliuretano alifático acrílico: se forma mediante la reacción de un polioliol (como el poliéster o el poliéter) con un diisocianato (como el tolueno diisocianato) y un monómero acrílico (como el metacrilato de metilo).

Ánodo: es el electrodo donde ocurre la oxidación, es decir, la pérdida de electrones durante una reacción electroquímica. En otras palabras, el ánodo es el punto de partida de una corriente eléctrica en un sistema electroquímico.

Cátodo: es el electrodo en un dispositivo eléctrico o en una celda electroquímica donde ocurre la reducción de los iones o moléculas cargadas positivamente. En general, el cátodo es el terminal al que viajan los electrones en busca de su equilibrio de carga positiva.

Zincado: es un proceso de recubrimiento de una superficie metálica con una capa de zinc para protegerla contra la corrosión. Se utiliza principalmente en hierro y acero para prevenir el óxido y aumentar su durabilidad.

Afino: se refiere al proceso de purificación o refinamiento de un metal para eliminar impurezas y mejorar sus propiedades físicas y químicas.

BIBLIOGRAFÍA

1. **ARÉVALO PAREDES, William Paul, & GUANUCHE CHACÓN, Lady Carolina.** Determinación del nivel de adherencia en placas de acero sometidas a preparación superficial bajo la norma SSPC-SP-5-NACE-1 [en línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Chimborazo, Ecuador. 2022. pp. 17-18. [Consulta: 2023-05-08]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/18847/1/25T00501.pdf>
2. **ASTM B6-46 AMSC N/A FSC 5342.** *Composición para ánodos de aleación de zinc, magnesio y aluminio.*
3. **CAIZA VEGA, Joe Miguel, & GAMBOA RODRÍGUEZ, Fausto Aníbal.** Comparación del rendimiento de tres métodos de protección anticorrosiva y estimación de la velocidad de corrosión según la norma ASTM G1-03 en placas de acero ASTM A36 [en línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Chimborazo, Ecuador. 2022. p. 6. [Consulta: 2023-05-03]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/17267/1/25T00474.pdf>
4. **CHARNG, T.; & LANSING, F.** "Review of Corrosion Causes and Corrosion Control In a Technical Facility". *TDA Progress Report* [en línea], 1982, (Unites State of America) 14(14), p. 151. [Consulta: 3 mayo 2023]. N-8230252. Disponible en: https://ipnpr.jpl.nasa.gov/progress_report/42-69/69O.PDF
5. **CHENOLL MORA, Ernesto.** Análisis de recubrimientos metálicos basados en aleaciones de zinc-aluminio-magnesio, en términos de comportamiento y resistencia a la corrosión a largo plazo [en línea] (Trabajo de titulación). (Doctoral) Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España. 2021. pp. 29-30. [Consulta: 2023-07-25]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/167418>
6. **COSTALES LOGRONO, Byron Patricio, & GONZAGA COSTA, Robinson Manuel.** Influencia de las altas temperaturas superficiales en las propiedades de acero al carbono ASTM A36 [en línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Chimborazo, Ecuador. 2022. p. 9. [Consulta: 2023-05-03].

Disponible

en:

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/17784/1/25T00484.pdf>

7. **ESCALONA, M.** *Termómetros en la instrumentación y control industrial* [en línea]. Ciudad de México-México: El Cid Editor, 2009. [Consulta: 5 mayo 2023]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/esPOCH/28876?page=6>
8. **FERNÁNDEZ, Ramón; et al.** *Corrosión* [en línea]. Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia, 2018. [Consulta: 23 julio 2023]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/esPOCH/57467>
9. **FRANCIA, S.** “Protección catódica-diseño de ánodos de sacrificio”. *Revista del Instituto de investigación FIGMMG* [en línea], 2004, (Perú) 7(13), pp. 37-38. [Consulta: 24 julio 2023]. ISSN 1561-0888. Disponible en: https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/geologia/vol7_n13/pdf/a06.pdf
10. **GUANO CAIZA, Víctor Alfonso, & SAQUINGA CHICAIZA, Ricardo Javier.** Diseño y construcción de una máquina de desgaste acelerada para aperos de labranza agrícola mediante ensayos SAT para el laboratorio de maquinaria agrícola de la carrera de ingeniería automotriz [en línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Chimborazo, Ecuador. 2017. p. 23. [Consulta: 2023-07-24]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/7647/1/65T00242.pdf>
11. **GUTIÉRREZ HINESTROZA, Marllelis; & ITURRALDE KURE, Sadi.** *Fundamentos Básicos de Instrumentación y Control* [en línea]. Santa Elena-Ecuador: UPSE, 2017. [Consulta: 5 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.fnmt.es/documents/10179/10666378/Fundamentos+b%C3%A1sico+de+instrumentaci%C3%B3n+y+control.pdf/df746edc-8bd8-2191-2218-4acf36957671>
12. **IMPORTACEROS IMPCER.** *Catálogo de productos de acero de construcción* [blog]. [Consulta: 30 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.importaceros.com/wp-content/uploads/2021/01/Catalogo-importaceros-2021-web.pdf>

13. **MELGAREJO, Mónica I.; & APERADOR, William A.** “Determinación de las causas de falla en la ZAC de un Acero ASTM A36 soldado por proceso SMAW”. *Revista INGE CUC* [en línea], 2013, (Colombia) 9(2), pp. 1-3. [Consulta: 3 mayo 2023]. Disponible en: https://www.academia.edu/26600509/Determination_of_Flaw_Causes_in_ASTM_A36_Steels_SMAW_Welding_Process_HAZ
14. **MORA PILCO, Irwin Martín, & VARGAS TIERRAS, Neyda Andreina.** Análisis de la degradación de varillas de construcción con protección catódica mientras están sometidas a ambientes con elevados niveles de pH [en línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Chimborazo, Ecuador. 2022. p. 16. [Consulta: 2023-05-05]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/17269/1/25T00476.pdf>
15. **NAVARRETE CUEVA, Edison Fernando, & SALGADO RODAS, Olga Celinda.** Determinación de la corrosividad atmosférica de las ciudades de Santo Domingo y Esmeraldas [en línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Chimborazo, Ecuador. 2007. p. 16. [Consulta: 2023-05-05]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/2771>
16. **ORTEGA, J.** *Corrosión Industrial* [en línea]. Barcelona-España: Marcombo, 1990. [Consulta: 24 julio 2023]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/espoch/45858>
17. **ROSALES SARA VIA, Renato Moisés, & ESCOBAR RIVEROS, Karla Liliana.** Evaluación de la velocidad de corrosión del acero en un concreto armado aditivado con SILIKABOR (Producto BÓRICO-INKABOR) [en línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú. 2019. pp. 19-20. [Consulta: 2023-07-25]. Disponible en: <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/54905670-c897-4974-af81-bbb775b71614/content>
18. **SALAZAR JIMÉNEZ, J.** “Introducción al fenómeno de corrosión: tipos, factores que influyen y control para la protección de materiales (Nota Técnica)”. *Tecnología en Marcha* [en línea], 2015, (Costa Rica) 28(3), p. 3. [Consulta: 8 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v28n3/0379-3982-tem-28-03-00127.pdf>

19. **SANTANDER SOAZO, Felipe Ignacio.** Estudio de la capacidad inhibidora de la corrosión de extractos de Allium Ceba en medio ácido por métodos electroquímicos [en línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad de Concepción, Santiago, Chile. 2018. p. 20. [Consulta: 2023-07-25]. Disponible en: http://repositorio.udec.cl/bitstream/11594/3380/4/Tesis_Estudio_de_la_capacidad_inhibidora.Image.Marked.pdf

ANEXOS

ANEXO A: CONSTRUCCIÓN DEL CONTENEDOR



ANEXO B: CORTE DE LOS CUPONES



ANEXO C: PREPARACIÓN DE LOS CUPONES



ANEXO D: PERFORACIÓN DE LOS CUPONES PARA EL MÉTODO CATÓDICO



ANEXO E: VISITA TÉCNICA A LA EMPRESA ADELCA



ANEXO F: ESTACIÓN EXPERIMENTAL



ANEXO G: VERIFICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE REGULADOR DE VOLTAJE



ANEXO H: ANÁLISIS DEL pH DEL SUELO DEL CANTÓN MILAGRO



ANEXO I: TOMA DE LECTURAS DE LA TEMPERATURA Y HUMEDAD



ANEXO J: EXTRACCIÓN DE PROBETAS Y PROCEDIMIENTO DE LIMPIEZA



ANEXO K: MEDICIÓN DE ESPESOR Y RECOLECCIÓN DE DATOS



ANEXO L: FACTURA DEL PROCESO DE SANDBLASTING Y PINTURA



**SAURUSECUADOR SOLUCIONES INDUSTRIALES CIA
LTDA**

SAURUS ECUADOR

DIRECCIÓN MATRIZ:
PANAMERICANA SUR KM 14 Y CALLE S58-417L
DIRECCIÓN SUCURSAL:
PANAMERICANA SUR KM 14 Y CALLE S58-417L

OBLIGADO A LLEVAR CONTABILIDAD : SI

FACTURA

001-002-000001059

R.U.C. : 1792228271001
FECHA DE AUTORIZACIÓN: 11-05-2023 08:54:02
AMBIENTE: PRODUCCIÓN
EMISIÓN: NORMAL
CLAVE DE ACCESO:



1105202301179222827100120010020000010591234567819

NÚMERO DE AUTORIZACIÓN :

1105202301179222827100120010020000010591234567819

Razón Social / Nombres y Apellidos: GUAMAN CAJAMARCA JORGE ANTONIO
Identificación: 0604982256 **Fecha Emisión:** 11-05-2023
Dirección: PICHINCHA Y 12 DE OCTUBRE

Cód. Principal	Descripción	Cant.	Precio U.	Desc.	Precio Total
41020201-2023	SANDBLASTING Y PINTURA DE PLACAS TESTIGO	1.00	150.00	0.00	150.00

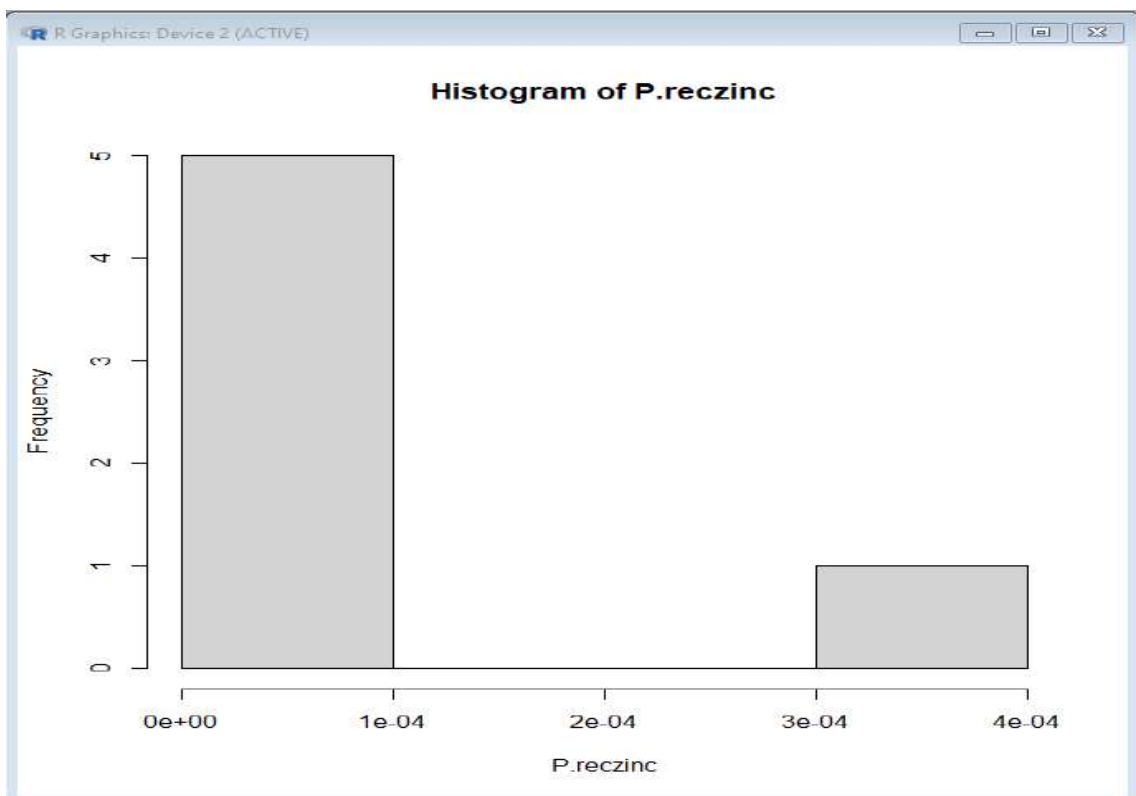
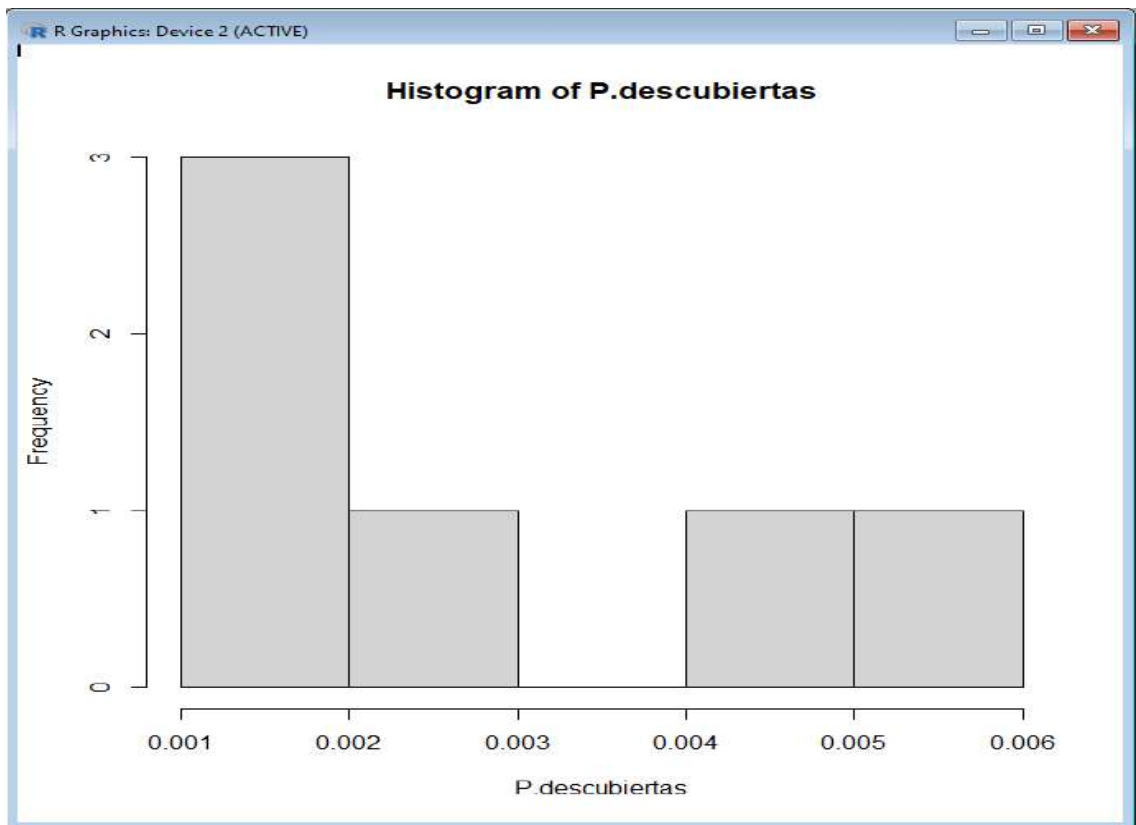
Forma de Pago	Valor	Plazo	Tiempo
OTROS CON UTILIZACION DEL SISTEMA FINANCIERO	168.00	0	dias

Información Adicional :

Email : contabilidad2@saurusecuador.com.ec
Telefono : 0995312593
Direccion : PICHINCHA Y 12 DE OCTUBRE
Observacion : OBS.
: CARGA INICIAL 2016
Favor enviar sus comprobantes de retencion a : contabilidad2@saurusecuador.com.ec

SUBTOTAL IVA 12%	150.00
SUBTOTAL NO OBJETO IVA	0.00
SUBTOTAL EXENTO IVA	0.00
SUBTOTAL SIN IMPUESTOS	150.00
DESCUENTO	0.00
ICE	0.00
IRBPNR	0.00
IVA 12%	18.00
VALOR TOTAL	168.00

ANEXO M: CÓDIGOS DE LA PROGRAMACIÓN DEL R-STUDIO



```
RGui (64-bit) - [R Console]
Archivo Editar Visualizar Misc Paquetes Ventanas Ayuda
[Icons]

> P.descubiertas=c(0.002393289,0.005983222,0.004786578,0.001794967,0.001435973,0.001994407)
> P.reczinc=c(0,0,0,0,0,0.000398881)
> P.inhibidores=c(0,0,0,0,0,0)
> P.catódica=c(0,0,0,0,0,0)
> shapiro.test(P.descubiertas)

      Shapiro-Wilk normality test

data:  P.descubiertas
W = 0.83201, p-value = 0.1118

> shapiro.test(P.reczinc)

      Shapiro-Wilk normality test

data:  P.reczinc
W = 0.49609, p-value = 2.073e-05

> hist(P.descubiertas)
> hist(P.reczinc)
> t.test(P.descubiertas,P.reczinc=T,alternative="less")

      One Sample t-test

data:  P.descubiertas
t = 4.0307, df = 5, p-value = 0.995
alternative hypothesis: true mean is less than 0
95 percent confidence interval:
 -Inf 0.00459688
sample estimates:
 mean of x
0.003064739

> t.test(P.descubiertas,P.inhibidores=T,alternative="less")

      One Sample t-test

data:  P.descubiertas
t = 4.0307, df = 5, p-value = 0.995
alternative hypothesis: true mean is less than 0
95 percent confidence interval:
 -Inf 0.00459688
sample estimates:
 mean of x
0.003064739

> t.test(P.descubiertas,P.catódica=T,alternative="less")

      One Sample t-test

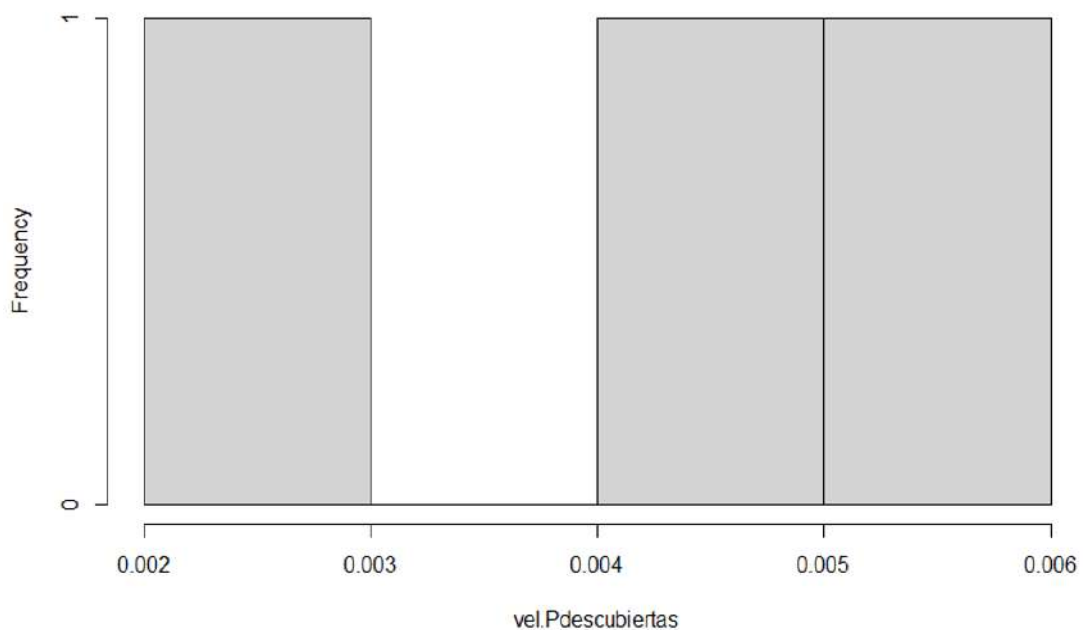
data:  P.descubiertas
t = 4.0307, df = 5, p-value = 0.995
alternative hypothesis: true mean is less than 0
95 percent confidence interval:
 -Inf 0.00459688
sample estimates:
 mean of x
0.003064739

> |
```

```
RStudio
File Edit Code View Plots Session Build Debug Profile Tools Help
Go to file/function Addins
Rhistory x Estadística Tesis 2.R x
Source on Save Run Source
1 # DATOS DE VELOCIDAD DE CORROSION DE LAS PROBETAS DESCUBIERTAS
2 vel.Pdescubiertas <-c(0.002393289,0.005983222,0.004786578,0.001794967,0.001435973,0.001994407)
3 #MINIMO
4 min(vel.Pdescubiertas)
5 #MÁXIMO
6 max(vel.Pdescubiertas)
7 #RAGO
8 range(vel.Pdescubiertas)
9 #MEDIA ARITMETICA
10 mean(vel.Pdescubiertas)
11 #MEDIANA
12 median(vel.Pdescubiertas)
13 #TAMAÑO
14 length(vel.Pdescubiertas)
15 #DESVIACIÓN ESTANDAR
16 sd(vel.Pdescubiertas)
17 #VARIANZA
18 var(vel.Pdescubiertas)
19 #CUARTIO Q1
20 quantile(vel.Pdescubiertas, 0.25)
21 #CUARTIL Q3
22 quantile(vel.Pdescubiertas, 0.75)
23 #RANGO INTERCUARTILICO
24 IQR(vel.Pdescubiertas)
25 #HISTOGRAMA
26 hist(vel.Pdescubiertas)
27 shapiro.test(vel.Pdescubiertas)
28
29
```

Files Plots Packages Help Viewer Presentation
Zoom Export Publish

Histogram of vel.Pdescubiertas



```
Console Terminal x Background Jobs x
R 4.3.1 · ~/Downloads/datos/
> #MÍNIMO
> min(vel.Pdescubiertas)
[1] 0.002393289
> #MÁXIMO
> max(vel.Pdescubiertas)
[1] 0.005983222
> #RANGO
> range(vel.Pdescubiertas)
[1] 0.002393289 0.005983222
> #MEDIA ARITMETICA
> mean(vel.Pdescubiertas)
[1] 0.004387696
> #MEDIANA
> median(vel.Pdescubiertas)
[1] 0.004786578
> #MEDIANA
> median(vel.Pdescubiertas)
[1] 0.004786578
> #MEDIANA
> median(vel.Pdescubiertas)
[1] 0.004786578
> #MEDIANA
```



Histogram of vel.Pdescubiertas

