



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DEL ESTADO DE CONDICIÓN
PARA PROTECCIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN METÁLICOS UTILIZADOS EN
OBRA CIVIL EXPUESTOS A LA ACCIÓN DE AGENTES FORMADORES DE CORROSIÓN**

Miguel Alonso Cardona Dardón

Asesorado por el Mtro. Ing. Carlos Alejandro Alegre Ordóñez

Guatemala, febrero de 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DEL ESTADO DE CONDICIÓN
PARA PROTECCIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN METÁLICOS UTILIZADOS EN
OBRA CIVIL EXPUESTOS A LA ACCIÓN DE AGENTES FORMADORES DE CORROSIÓN**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MIGUEL ALONSO CARDONA DARDÓN
ASESORADO POR EL MTRO. ING. CARLOS ALEJANDRO ALEGRE
ORDÓÑEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, FEBRERO DE 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

| | |
|------------|---------------------------------------|
| DECANA | Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada |
| VOCAL I | Ing. José Francisco Gómez Rivera |
| VOCAL II | Ing. Mario Renato Escobedo Martínez |
| VOCAL III | Ing. José Milton de León Bran |
| VOCAL IV | Br. Christian Moisés de la Cruz Leal |
| VOCAL V | Br. Kevin Armando Cruz Lorente |
| SECRETARIO | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez |

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

| | |
|------------|---|
| DECANO | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco |
| EXAMINADOR | Ing. Ronald Estuardo Galindo Cabrera |
| EXAMINADOR | Ing. Nicolás de Jesús Guzmán Sáenz |
| EXAMINADOR | Ing. Luis Eduardo Portillo España |
| SECRETARIO | Ing. Pablo Christian de León Rodríguez (a.i.) |

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DEL ESTADO DE CONDICIÓN
PARA PROTECCIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN METÁLICOS UTILIZADOS EN
OBRA CIVIL EXPUESTOS A LA ACCIÓN DE AGENTES FORMADORES DE CORROSIÓN**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 19 de octubre de 2019.

Miguel Alonso Cardona Dardón

Ref. EEPFI-982-2019
Guatemala, 25 de octubre de 2019

Director
Pedro Antonio Aguilar Polanco
Escuela de Ingeniería Civil
Presente.

Estimado Ing. Aguilar:

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el **Diseño de Investigación** del estudiante **Miguel Alonso Cardona Dardón** carné número **200714337**, quien optó por la modalidad del **"PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO"**. Previo a culminar sus estudios en la **Maestría en Artes en Ingeniería de Mantenimiento**.

Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, se firma y sella la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

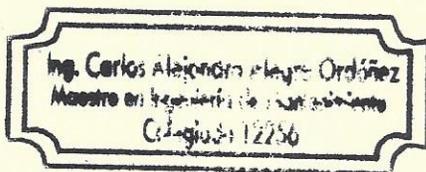
Sin otro particular,

Atentamente,

Mtro. Carlos Alejandro Alegre Ordóñez
Asesor

"Id y Enseñad a Todos"

Mtra. Sandra Ninett Ramírez Flores
Coordinadora de Maestría
Ingeniería de Mantenimiento



Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cot
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería





USAC
TRICENTENARIA
 Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen de la Asesor Mtro. Carlos Alejandro Alegre Ordóñez y de la Coordinadora de Maestría Mtra. Sandra Ninett Ramírez Flores, al Diseño de Investigación del estudiante Miguel Alonso Cardona Dardón, titulado **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DEL ESTADO DE CONDICIÓN PARA PROTECCIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN METÁLICOS UTILIZADOS EN OBRA CIVIL EXPUESTOS A LA ACCIÓN DE AGENTES FORMADORES DE CORROSIÓN** da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

[Handwritten signature]
 Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco



Guatemala, noviembre 2019

/mrrm.



Mas de 136 años de Trabajo y Mejora Continua

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 048.2020

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DEL ESTADO DE CONDICIÓN PARA PROTECCIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN METÁLICOS UTILIZADOS EN OBRA CIVIL EXPUESTOS A LA ACCIÓN DE AGENTES FORMADORES DE CORROSIÓN**, presentado por el estudiante universitario: **Miguel Alonso Cardona Dardón**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana

Guatemala, febrero de 2020

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

| | |
|-------------------|---|
| Dios | Fuente de vida y conocimiento. |
| Mis padres | Miguel Cardona y Mayra Dardón, por darme la oportunidad de tener un mejor futuro. |
| Mi esposa | Jacqueline Caal, por su esfuerzo y apoyo incondicional. |
| Mis hijos | Miguel Cardona y bebé (q.e.p.d.), por su amor y fuente de inspiración. |

AGRADECIMIENTOS A:

| | |
|---|--|
| Universidad de San Carlos de Guatemala | Por todas las bendiciones recibidas a lo largo de mi vida, dándome el valor y la perseverancia para llegar a este momento tan importante en mi vida. |
| Facultad de Ingeniería | Que en sus aulas me he formado. |
| Mi asesor | Mtro. Ing. Carlos Alejandro Alegre Ordóñez, por valiosa amistad y contribución en este trabajo. |
| Mis amigos | Por su amistad, apoyo y solidaridad incondicional en todo momento de la formación académica. |

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|-------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES..... | VII |
| LISTA DE SÍMBOLOS | IX |
| GLOSARIO | XI |
| INTRODUCCIÓN | XV |
| ANTECEDENTES..... | XVII |
| PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | XXI |
| JUSTIFICACIÓN..... | XXV |
| OBJETIVOS..... | XXVII |
| NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN..... | XXIX |
| | |
| 1. MARCO TEÓRICO..... | 1 |
| 1.1. Industria de la construcción | 1 |
| 1.1.1. Inicios de la construcción..... | 1 |
| 1.1.2. Industria de construcción en Guatemala | 2 |
| 1.1.3. Obra civil..... | 2 |
| 1.1.4. Lugar de estudio | 3 |
| 1.1.5. Materiales de construcción | 3 |
| 1.1.6. Materiales de construcción metálicos | 4 |
| 1.1.6.1. Acero | 4 |
| 1.1.6.2. Acero inoxidable | 5 |
| 1.1.6.3. Aluminio..... | 5 |
| 1.1.6.4. Plomo | 6 |
| 1.1.6.5. Cromo..... | 6 |
| 1.1.6.6. Cobre..... | 6 |
| 1.1.6.7. Titanio..... | 7 |

| | | | |
|--------|------------|--|----|
| | 1.1.6.8. | Níquel..... | 7 |
| | 1.1.6.9. | Bronce..... | 7 |
| 1.1.7. | | Desgaste en materiales metálicos..... | 7 |
| | 1.1.7.1. | Fallas en conexiones..... | 8 |
| | 1.1.7.2. | Falla por aplastamiento..... | 8 |
| | 1.1.7.3. | Fallas por cortante..... | 9 |
| 1.2. | | Mantenimiento..... | 9 |
| 1.2.1. | | Tipos de mantenimiento..... | 10 |
| | 1.2.1.1. | Mantenimiento correctivo..... | 10 |
| | 1.2.1.2. | Mantenimiento preventivo..... | 10 |
| | 1.2.1.3. | Mantenimiento predictivo..... | 11 |
| 1.2.2. | | Evaluación del estado de condición..... | 11 |
| | 1.2.2.1. | Ensayos no destructivos..... | 13 |
| | 1.2.2.2. | Criterios para la selección de END adecuado..... | 13 |
| | 1.2.2.2.1. | Ensayo visual (VT)..... | 14 |
| | 1.2.2.2.2. | Líquidos penetrantes..... | 14 |
| | 1.2.2.2.3. | Radiografía industrial (RT)..... | 15 |
| 1.3. | | Corrosión..... | 15 |
| 1.3.1. | | Corrosión en materiales de construcción metálicos..... | 16 |
| 1.3.2. | | Tipos de corrosión en materiales de construcción metálicos..... | 17 |
| | 1.3.2.1. | Por la naturaleza de la sustancia corrosiva..... | 17 |
| | 1.3.2.1.1. | Corrosión húmeda..... | 17 |
| | 1.3.2.1.2. | Corrosión seca..... | 18 |
| | 1.3.2.2. | Por los mecanismos de corrosión..... | 18 |

| | | |
|------------|--|----|
| 1.3.2.2.1. | Corrosión química | 18 |
| 1.3.2.2.2. | Corrosión electroquímica | 18 |
| 1.3.2.2.3. | Corrosión por huella dactilar | 19 |
| 1.3.2.2.4. | Corrosión por pila geológica o diferencias de composición del medio..... | 19 |
| 1.3.2.2.5. | Corrosión-erosión | 19 |
| 1.3.2.2.6. | Corrosión por corrientes vagabundas | 20 |
| 1.3.2.2.7. | Corrosión microbiana ... | 20 |
| 1.3.2.3. | Por la apariencia del metal corroído | 21 |
| 1.3.2.3.1. | Corrosión uniforme o general | 21 |
| 1.3.2.3.2. | Corrosión atmosférica .. | 22 |
| 1.3.2.3.3. | Clasificación de las atmósferas..... | 23 |
| 1.3.2.3.4. | Corrosión localizada | 24 |
| 1.3.2.3.5. | Corrosión por hendiduras..... | 24 |
| 1.3.2.3.6. | Corrosión por picadura (<i>pitting</i>)..... | 25 |
| 1.3.2.3.7. | Corrosión por fricción (<i>fretting</i>) | 25 |

| | | | |
|--------|---|---|----|
| | 1.3.2.3.8. | Corrosión por cavitación | 26 |
| | 1.3.2.3.9. | Corrosión por tensiones..... | 27 |
| | 1.3.2.3.10. | Corrosión por exfoliación | 27 |
| | 1.3.2.3.11. | Corrosión intergranular | 28 |
| | 1.3.2.3.12. | Corrosión galvánica | 28 |
| 1.3.3. | Remoción de corrosión | | 30 |
| 1.3.4. | Protección contra la corrosión en materiales de construcción metálicos | | 32 |
| | 1.3.4.1. | Recubrimientos protectores..... | 33 |
| | 1.3.4.1.1. | Recubrimientos metálicos | 33 |
| | 1.3.4.1.2. | Recubrimientos no metálicos | 33 |
| | 1.3.4.1.3. | Pinturas..... | 34 |
| | 1.3.4.1.4. | Componentes básicos de las pinturas..... | 34 |
| | 1.3.4.1.5. | Clasificación de pinturas | 35 |
| | 1.3.4.1.6. | Protección catódica..... | 36 |
| | 1.3.4.1.7. | Inhibidores de corrosión | 36 |
| 2. | PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS DEL INFORME FINAL.... | | 39 |
| 3. | METODOLOGÍA | | 43 |

| | | |
|----|--|----|
| 4. | TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN | 49 |
| 5. | CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES | 51 |
| 6. | FACTIBILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN..... | 53 |
| 7. | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 55 |
| 8. | APÉNDICES..... | 61 |
| 9. | ANEXOS | 67 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

| | | |
|----|--|-----|
| 1. | Esquema de solución..... | XXX |
| 2. | Algunos tipos de corrosión agrupados | 29 |

TABLAS

| | | |
|------|---|----|
| I. | Operativización de variables | 44 |
| II. | Cronograma de las actividades | 51 |
| III. | Montos aproximados de investigación | 53 |

LISTA DE SÍMBOLOS

| Símbolo | Significado |
|--------------------------------|-----------------------------------|
| Fe | Hierro |
| Fe ₂ O ₃ | Óxido férrico (hematita) |
| Fe ₃ O ₄ | Óxido ferroso férrico (magnetita) |
| NaCl | Cloruro de sodio |
| SO ₂ | Dióxido de azufre |

GLOSARIO

| | |
|---------------------|---|
| Ánodo | En una reacción electroquímica, es el metal que sufre una reacción de oxidación. |
| CA | Corrosión atmosférica. |
| Calamina | Cascarilla de laminación generada en el acero al carbono durante el calentamiento de entre 575°C y 1370°C. |
| Catalizador | Sustancia que se añade a una reacción química o electroquímica para acelerar el proceso para efectos del estudio (acelerar la corrosión). |
| Cátodo | En una reacción electroquímica, es el metal que sufre una reacción de reducción. |
| CIM | Corrosión inducida por microorganismos. |
| Delaminación | Modo de fallo en materiales compuestos por la separación de las capas que lo componen y que supone pérdidas de resistencia mecánica en el material. |
| Electrolito | Es cualquier sustancia compuesta por iones libre que se comporta como un conductor eléctrico. |

| | |
|------------------------|--|
| END | Ensayos no destructivos. |
| FEM | Fuerza electromotriz. |
| Herrumbre | Capa de color rojizo formada en la superficie de los metales a causa de la oxidación provocada por la humedad. |
| Implosión | Explosión de burbujas genera por presiones negativas en un líquido. |
| ISO | <i>International Organization for Standardization</i> (Organización Internacional de Normalización). |
| Micrómetro | Instrumento electrónico utilizado para medir longitud y diámetro. |
| Pasivación | Película inerte sobre la superficie de un material metálico que aísla de agentes externos corrosivos. |
| Pigmento | Sustancia química, insoluble en agua o aceite que se usa en la fabricación de pinturas. |
| Radiografía | Técnica exploratoria que consiste en someter un objeto a la acción de rayo X, obteniendo una imagen sobre placa fotográfica. |
| Termohigrómetro | Instrumento que mide temperatura y humedad relativa. |

Vernier

Instrumento utilizado para medir longitud y diámetro.

VT

Ensayo visual.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo constituye una sistematización debido a que se están elaborando procedimientos a partir de investigaciones previas y cartillas que concatenadas funcionan para determinar el tipo de corrosión en materiales de construcción metálicos.

El problema es la falta de evaluación del medio circundante, condiciones de exposición y acción de los agentes formadores de corrosión al cual son sometidos los materiales de construcción metálicos, y que no son considerados durante la etapa de diseño. Durante su proceso de fabricación, instalación o montaje, y vida útil, se deteriora la protección contra la acción de la corrosión.

La importancia de la solución es generar una guía para la evaluación del impacto de la corrosión sobre los materiales de construcción metálicos.

El aporte se constituye mediante la generación del documento de procedimiento; cuyos beneficios son: la identificación del tipo de corrosión relacionándolo con su agente formador, y enlistando propuestas para su protección.

Los resultados esperados posteriores a la investigación, al utilizar el documento como base para evaluación, serían la obtención de tendencias para la identificación del tipo de corrosión y la medición del impacto de los agentes protectores.

El esquema de solución propone una ruta de verificación y validación de un procedimiento de evaluación de materiales de construcción metálicos. En ella se incluyen visitas de reconocimiento para identificación de condiciones de operación y medio circundante; recolección de muestras para identificación de tipo de corrosión, elaboración de ensayos no destructivos en búsqueda de indicios de deterioro superficial e interno imputables a la acción de corrosión, y la generación de cartillas de cada pieza, así como, el inicio de una base de datos de historial.

La elaboración de la investigación es factible ya que se tiene acceso a las muestras de materiales metálicos para su evaluación, y se tiene el presupuesto para asumir los gastos generados en el estudio.

En el capítulo I marco teórico, se definirán los aspectos de evaluación de estado de condición a través de ensayos no destructivos y la determinación de agentes corrosivos, además de sugerir propuestas de protección en materiales metálicos utilizados en obra civil y su relación con los planes de mantenimiento.

En el capítulo II, se hará el desarrollo de la investigación; en el capítulo III, se hará la presentación de resultados y finalmente, en el capítulo IV, se hará la discusión de resultados.

ANTECEDENTES

Paumier Acosta y Rizó Álvarez (2015), determinan en su investigación que el entorno ambiental es un factor influyente en el desarrollo de corrosión, causante del envejecimiento en los materiales metálicos. El aporte de la investigación con el trabajo propuesto es la consideración de la medición de los parámetros del entorno circundante a las piezas que puedan constituirse como contaminantes asociados a la corrosión atmosférica.

La metodología es de tipo experimental, cuya variable es la corrosión atmosférica y su indicador es la velocidad de corrosión expresada en porcentajes. En los resultados de la investigación se determinó que la velocidad de corrosión es mayor en un ambiente industrial-costero, que en un ambiente urbano.

Molina, Villalda y Mesa (2011), determinan en su investigación que la corrosión no se debe exclusivamente a la acción de agentes atmosféricos, sino a la falta de técnicas de mantenimiento para garantizar la vida útil de diseño del material metálico. El aporte de la investigación con el trabajo propuesto es la consideración de técnicas de mantenimiento aplicadas a elementos metálicos expuestos a la agresividad atmosférica.

La metodología es cuantitativa longitudinal, debido al uso de modelos matemáticos para determinar la pérdida de metal de los elementos analizados. Los resultados de la investigación indican que los cambios en estructuras metálicas a temprana edad afectan el incremento de los costos de

mantenimiento, tomando la ruta de mantenimientos periódicos para garantizar la vida útil de diseño.

Meraz y Alejandro (2009), determinan en su investigación que las fuertes variaciones de temperatura y humedad relativa, en combinación generan humedad sobre la superficie del metal, acelerando los procesos de corrosión. El aporte de la investigación con el trabajo propuesto es la consideración de las variables de temperatura y humedad relativa, para evaluar la incidencia de corrosión en los metales.

La metodología es cuantitativa debido al uso de herramientas de estadística para generar tendencias sobre el modo en que afecta la humectación en regiones con diferentes zonas de agresividad atmosférica. En los resultados de la investigación se comprueban los procesos electroquímicos de corrosión de la atmósfera en dos puntos distintos de una región, tomando como base el tiempo que la humedad permanece en la superficie del metal.

Corvo *et al.* (2008), en su trabajo de investigación manifiestan que la corrosión atmosférica en interiores se presenta con los mismos principios que en atmósferas abiertas. Las variaciones se presentan por la ausencia de ventilación, gases y partículas sedimentadas en la superficie de los materiales metálicos. El aporte de la investigación con el trabajo propuesto es la medición de agentes corrosivos en metales expuestos a la intemperie o en espacios confinados.

La metodología presentada es cuantitativa longitudinal, debido al uso de estadísticas en la recopilación de datos. La variable del estudio es la corrosión

atmosférica y el indicador es la velocidad de corrosión. En los resultados de investigación la velocidad de corrosión es mayor en piezas dispuestas en forma horizontal comparada con las piezas dispuestas en forma vertical, en un ambiente costero industrial.

Avila Ayón, Rodríguez Quesada, & Lías Rodríguez, (2005) determinan en su investigación que las condiciones climáticas y la actividad del hombre aceleran el desgaste por corrosión en los materiales metálicos. El aporte de la investigación con el trabajo propuesto es la identificación de zonas atmosféricas para categorizar la agresividad del ambiente.

La metodología es mixta, debido a la observación de muestras y a la aplicación de datos estadísticos, la variable estudiada es la corrosión atmosférica y el indicador es la velocidad de corrosión. En los resultados de investigación se clasifica la agresividad del ambiente para determinar la velocidad de corrosión atmosférica, tomando como datos de análisis: los contaminantes, temperatura, humedad relativa, tiempo de humectación y la acción del viento.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El problema es la ausencia de evaluación del ambiente, condiciones de exposición y al desarrollo de agentes formadores de corrosión al cual se someten los materiales de construcción metálicos, y que no son considerados durante la etapa de diseño. La capa protectora contra la corrosión aplicada a los metales se ve comprometida durante el proceso de fabricación, montaje y vida útil.

Descripción del problema

La corrosión se genera por reacciones químicas y electroquímicas en presencia de atmósferas agresivas compuestas por cloruros Cl^- y sulfatos (dióxido de azufre SO_2), y por variables climáticas como la temperatura, humedad relativa y el tiempo de humectación (Molina *et al.*, 2011).

A la fecha de investigación se utilizan métodos anticorrosivos como la aplicación de pinturas anticorrosivas, protección catódica, protección galvánica, utilizados previo a la puesta en servicio de los materiales metálicos. La aplicación de estos métodos de protección pretende garantizar la vida útil del metal, pero la falta de evaluaciones periódicas condena a los metales al desarrollo de productos de corrosión.

Una de las razones que explica la presencia de corrosión en materiales metálicos es la mala aplicación del método de protección anticorrosiva. Esta mala aplicación permite a los agentes atmosféricos corroer la superficie del

material; esta afirmación realza la importancia de programar evaluaciones periódicas.

Delimitación del problema

La evaluación de las condiciones en materiales metálicos de construcción se realizará en muestras aleatorias con indicios de corrosión, extraídas de construcciones civiles del territorio guatemalteco, en periodos de tiempo definido en días. La evaluación se realizará en campo y en laboratorio, se realizarán ensayos no destructivos, se removerán los productos de corrosión y se sugerirán métodos de protección.

Formulación de preguntas orientadoras

A continuación, se muestran las preguntas utilizadas.

Pregunta central

¿Cómo evaluar el estado de condición para protección de materiales de construcción metálicos utilizados en obra civil expuestos a la acción de agentes formadores de corrosión?

Preguntas específicas

- ¿Cuáles son los procedimientos que existen para identificar el tipo de corrosión superficial que afecta a materiales de construcción metálicos utilizados en obra civil?

- ¿Qué procedimiento se utiliza para determinar la protección anticorrosiva de acuerdo con el tipo de exposición de los materiales de construcción de obra civil metálicos?
- ¿Cómo se establece un procedimiento para identificación del tipo de corrosión, remoción de corrosión y método de protección contra agentes formadores de corrosión en materiales de construcción metálicos utilizados en obra civil?

JUSTIFICACIÓN

El trabajo de investigación es la evaluación del estado de condición para protección de materiales de construcción metálicos utilizados en obra civil expuestos a la acción de agentes formadores de corrosión. Se relaciona con la línea de investigación de esta maestría en Ingeniería de Mantenimiento, específicamente en el área de diseño para la prevención de la oxidación y de la corrosión, debido a que se pretende proponer un método para la evaluación de materiales metálicos expuestos a la acción de agentes corrosivos.

La necesidad de investigación es identificar el tipo de corrosión y sus agentes formadores, para proponer soluciones de protección anticorrosiva con la finalidad de garantizar el cumplimiento de su vida útil.

La importancia de la solución es generar una guía para la evaluación, remoción y protección de productos de corrosión sobre los materiales de construcción metálicos.

La motivación del investigador surgió de la observación en la vida cotidiana, de materiales metálicos expuestos a la intemperie y que presentan daños a causa de corrosión. Se observaron estructuras que ofrecen desconfianza por su notable estado corrosivo y que pueden causar accidentes por desplome.

El beneficio del estudio consiste en la generación de una guía práctica para la evaluación de materiales metálicos de construcción que incluye la

metodología para identificar el tipo de corrosión relacionado con su agente formador, los medios para su remoción y sugerencias para su protección.

El estudio beneficiará a investigadores de corrosión, estudiantes de maestría o licenciatura que pretendan solucionar problemas de corrosión, empresas con rol de negocio en la protección ante agentes formadores de corrosión, y población en general con inconvenientes de corrosión en materiales metálicos de sus inmuebles.

OBJETIVOS

General

Evaluar el estado de condición para protección de materiales de construcción metálicos utilizados en obra civil expuestos a la acción de agentes formadores de corrosión

Específicos

1. Identificar el tipo de corrosión superficial que afecta a materiales de construcción metálicos utilizados en obra civil.
2. Determinar la protección anticorrosiva de acuerdo con el tipo de exposición de los materiales de construcción de obra civil metálicos.
3. Establecer un procedimiento para identificación del tipo de corrosión, remoción de corrosión y método de protección contra agentes formadores de corrosión en materiales metálicos de construcción utilizados en obra civil.

NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

La necesidad de investigación es identificar el tipo de corrosión y sus agentes formadores, para proponer soluciones de protección anticorrosiva con la finalidad de garantizar el cumplimiento de su vida útil.

Se realizará la evaluación del estado de condición en materiales metálicos atacados por corrosión que se encuentran en servicio en distintos ambientes del territorio guatemalteco. Para la evaluación se utilizará herramienta menor: micrómetro, vernier, termo higrómetro, lija, cámara fotográfica, insumos de oficina. También, uso de equipo de protección personal: casco, guantes de trabajo mecánico, lentes de seguridad, chaleco refractivo, camisa manga larga, pantalón de lona, botas industriales; uso de equipo para trabajos en alturas: arnés, línea de vida, punto de anclaje (de ser necesario).

El esquema de solución propone una ruta de verificación y validación de un procedimiento de evaluación de materiales de construcción metálicos. En ella se incluyen visitas de reconocimiento para identificación de condiciones de operación y medio circundante; recolección de muestras para identificación de tipo de corrosión, elaboración de ensayos no destructivos en búsqueda de indicios de deterioro superficial e interno imputables a la acción de corrosión, y la generación de cartillas de cada pieza y el inicio de una base de datos de historial.

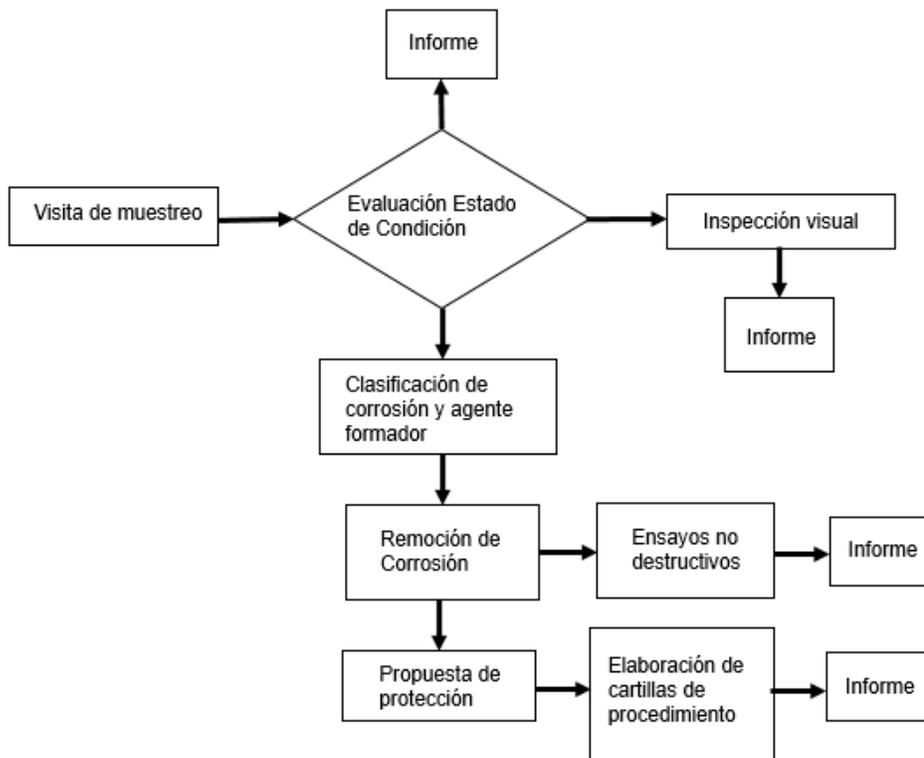
En la visita de muestreo se determinarán las condiciones de exposición de los materiales metálicos. El beneficiario proporcionará el ingreso al lugar para evaluación del entorno, así como la recolección de muestras aleatorias. De no

ser posible la extracción de muestras, se realizará inspección visual y la aplicación de líquidos penetrantes en el lugar.

La elaboración de la investigación es factible, ya que se cuenta con los permisos de los beneficiados para el ingreso y recolección de muestras, y se contempla un presupuesto que cubre las necesidades del estudio.

La investigación propuesta tiene validez técnica, ya que la información utilizada fue extraída de documentos fiables, además, del uso de equipos de precisión para la toma de datos en campo y en laboratorio.

Figura 1. **Esquema de solución**



Fuente: elaboración propia.

1. MARCO TEÓRICO

La información que se presentará a continuación fundamenta el trabajo de investigación; consiste en la descripción de conocimientos teóricos sobre la evaluación del estado de condición para protección de materiales metálicos de construcción utilizados en obra civil, expuestos a la acción de agentes formadores de corrosión.

1.1. Industria de la construcción

“Al hablar de la construcción estamos refiriéndonos a la primera industria del mundo; tan antigua como el hombre en la Tierra; tan moderna como los más atrevidos proyectos de arquitectura.” (Canal Montañéz & Pintor Real, 1975, p. 10)

“La construcción tiene por finalidad dotar al hombre de medios para adaptar la naturaleza a las exigencias que su vida le plantea en cada momento” (Canal Montañéz & Pintor Real, 1975, p. 11). En el transcurrir de la historia, la humanidad ha transformado el mundo permitiendo una vida cómoda y placentera.

1.1.1. Inicios de la construcción

“Nuestros más antiguos antepasados lo primero que hicieron fue adecuar las cuevas o cavernas ya existentes, para protegerse del frío y de los grandes animales que entonces poblaban la tierra”. También se indica que “esta adecuación se hacía con la mínima modificación del medio y, así, las

características de esta época son la ausencia de todo orden o sistema” (Canal Montañéz & Pintor Real, 1975, p. 11). Cabe destacar, que el hombre en la búsqueda de mejorar sus técnicas constructivas, adoptó el uso de nuevos materiales que, por sus características, proporcionaba ventajas constructivas.

1.1.2. Industria de construcción en Guatemala

En Guatemala, quien se ocupa de establecer los parámetros constructivos es la Cámara Guatemalteca de la Construcción, fundada en 1971 e integrada por constructoras, fabricantes, proveedoras, consultoras, financieras y de servicios vinculados al sector construcción de Guatemala.

El área de construcción en Guatemala ha sido muy explotada de manera informal, la falta de control durante los procesos de diseño, y la contratación de mano de obra no calificada ha desencadenado la construcción de edificaciones de baja calidad, generando inconvenientes en el desgaste acelerado en los materiales de construcción, en especial, los metales.

1.1.3. Obra civil

Término derivado de la ingeniería civil que se refiere a toda clase de construcción o edificación hecha por el hombre utilizada para el beneficio de la población. (Pérez Porto & Gardey, 2019)

Las obras de ingeniería civil tienen diversos usos, tales como: la construcción de carreteras, edificios, puentes, alcantarillados, manejo de recursos hídricos, entre otros. Para concebir una obra de construcción civil, se requiere del esfuerzo técnico y logística de un grupo de obreros e ingenieros y

de un gran número de herramientas y equipos especiales necesarios para minimizar el tiempo de ejecución.

La obra civil no se puede concebir sin disponer de materiales de construcción como el cemento, agregados, metales y madera.

Los metales son ampliamente utilizables como elementos de refuerzo arquitectónico, pero debido a su origen y métodos de extracción son atacados por los efectos de la oxidación y de la corrosión.

1.1.4. Lugar de estudio

La aplicación de la metodología que se propone se realizará en materiales metálicos de construcción de obra civil de uso domiciliario, oficinas, bodegas, áreas industriales, ubicados en zonas urbanas, industriales, costeras y rurales del territorio guatemalteco.

1.1.5. Materiales de construcción

Este nombre se asigna a las materias primas que se emplean en la construcción de edificaciones, los materiales son utilizados tal cual se obtienen en la naturaleza o a través de procedimientos de manufacturación.

“La arquitectura tradicional se caracteriza por materiales disponibles como piedra, madera y arcilla. Esta situación cambiaría en el siglo XIX con la introducción de los materiales producidos industrialmente como el acero, el hierro y el hormigón.” (Kottas, 2016, p. 2)

1.1.6. Materiales de construcción metálicos

Gustin y Diehl (1980), indican que “el hierro se reveló como un material de construcción de primer orden. Debido a sus propiedades resistentes se impuso hasta el punto, en que reemplazo a la madera en numerosas aplicaciones” (p. 3). Las estructuras metálicas son un conjunto de elementos de acero que forman un cuerpo, mayormente utilizadas en las construcciones a nivel industrial.

Los distintos procedimientos para generar nuevas aleaciones, permitieron a las siderurgias entregar nuevos aceros que se apegaban a las necesidades de resistencia y ductilidad en las construcciones. (Gustin & Diehl, 1980)

1.1.6.1. Acero

“Básicamente, el acero es una aleación de hierro y carbono, a la que se añaden pequeñas cantidades de otros componentes para mejorar sus cualidades” (Kottas, 2016, p. 188). Debido a su rigidez, estabilidad y resistencia, tienen una aleación de hierro y carbono de entre 0,5 % y 2 %.

En construcción de obra civil, el acero es utilizado como material de refuerzo en concreto armado. Por su alta resistencia a la tensión, es utilizado en la fabricación de edificios en donde se requiere mínima esbeltez, es utilizado en torres de transmisión de energía eléctrica, y como acabado final en fachas de edificios, techos, ventas y balcones.

1.1.6.2. Acero inoxidable

“El acero inoxidable forma un grupo muy importante dentro de los aceros aleados. Se obtiene mediante una aleación de acero (hierro carbono), cromo y ocasionalmente níquel, manganeso, tungsteno y wolframio, y otros” (Kottas, 2016, p. 207). El uso del acero inoxidable en construcción, normalmente, es utilizado en acabados finales por su atractiva apariencia.

“No necesita ninguna protección adicional contra la corrosión, pues produce una capa visible de óxido de cromo resistente a la corrosión atmosférica, a los ácidos orgánicos y a los ácidos minerales débiles.” (Kottas, 2016, p. 207)

1.1.6.3. Aluminio

“Tras el oxígeno y el silicio, el aluminio es el tercer elemento más común en la corteza terrestre. Es un metal entre plateado y blancuzco, dúctil y ligero” (Kottas, 2016, p. 209). En construcciones civiles, este material es utilizado en la manufactura de ventanas y puertas para interiores y en menor cantidad para exteriores.

“En atmósferas ordinarias se forma en su superficie, prácticamente al instante, una fina capa protectora de óxido blancuzco. En atmosferas húmedas, esta capa se vuelve áspera, por lo que no se recomienda su exposición en ambientes marinos.” (Kottas, 2016, p. 209)

1.1.6.4. Plomo

“Este material se utiliza en construcción, en forma de planchas, como acabados de cubiertas o revestimientos de paredes y en barreras contra la humedad.” (Kottas, 2016, p. 209)

“Una incisión sobre el plomo expuesta a la atmosfera, rápidamente se cubre de una capa de óxido y, a continuación, de otra capa de carbonato de color gris azulado que no es insoluble; resiste los ácidos inorgánicos en diversos grados.” (Kottas, 2016, p. 209)

1.1.6.5. Cromo

“De color plateado, en estado puro es un material dúctil y estable en contacto con el aire, el agua y algunos ácidos. Dada su resistencia a la corrosión se utiliza en elaciones para recubrimientos y para obtener acero inoxidable.” (Kottas, 2016, p. 210)

1.1.6.6. Cobre

“En construcción se utiliza en las instalaciones de agua y gas, para revestimientos y cubiertas, como conductor eléctrico.” (Kottas, 2016, p. 210)

“En contacto con la atmósfera, desarrolla lentamente una capa protectora de color verde, que es una mezcla de sales de cobre que inhibe los efectos de la corrosión.” (Kottas, 2016, p. 210)

1.1.6.7. Titanio

“Se utiliza ampliamente en la industria aérea y espacial. Es un 42 % más ligero que el acero y tiene su misma dureza. Presenta una buena resistencia a la corrosión y tiene excelentes capacidades térmicas y mecánicas.” (Kottas, 2016, p. 210)

1.1.6.8. Níquel

“Es un metal de color blanco-plata, resistente a la mayoría de ácidos, duro, con propiedades ferromagnéticas. Se utiliza para recubrimientos, aleaciones y en la industria química. Tiene una alta resistencia mecánica.” (Kottas, 2016, p. 210)

1.1.6.9. Bronce

“Es una aleación entre cobre y estaño con una aleación entre 2 al 20 %. Su comportamiento es excelente ante la corrosión causada por el agua y en una atmósfera húmeda se recubren de una pátina verde.” (Kottas, 2016, pp. 210-211)

1.1.7. Desgaste en materiales metálicos

Mesa Grajales y Sinatora (2003), indican que las piezas de un equipo industrial se desgastan, llevando al recambio de sus partes. El desgaste afecta la superficie provocando pérdidas de material. Da paso a la disminución de dimensiones y pérdidas de tolerancias.

1.1.7.1. Fallas en conexiones

Takeuchi (2007), manifestó que “un conector trasmite las cargas de corte en una unión por aplastamiento, las piezas en la unión, en la cual los conectores tenían una holgura al colocarse, se deslizan, hasta que los conectores entran en contacto con las piezas” (p.29). Es importante mencionar que los esfuerzos por aplastamiento aparecen en las piezas metálicas y en los pernos de sujeción.

1.1.7.2. Falla por aplastamiento

Takeuchi (2007), indica que “en las conexiones por aplastamiento, cuando los conectores entran en contacto con las piezas, se producen esfuerzos de compresión tanto en las piezas como en el conector”. También establece que “si los esfuerzos son muy altos en la o las piezas, el agujero se deforma, gradual y progresivamente, produciéndose un aumento permanente en el tamaño de la perforación en el sentido de la carga.” (pp. 34-35)

Pytel y Singer (1987), indican que “por un excesivo esfuerzo de contacto se puede llegar a la fluencia en el material de la placa, del remache o de ambos”. (p.16). También se debe mencionar que “la presión del remache contra las paredes del orificio no es constante, variando desde cero en los puntos donde desaparece el contacto hasta el máximo en la parte apoyada.” (p. 16)

Los dos autores coinciden en que las uniones pernadas generan aplastamiento en la placa por el contacto entre el perno y la placa, generando esfuerzos de compresión. Tras la falla por aplastamiento, se genera una zona donde el material queda expuesto para que agentes externos de carácter corrosivo, aceleren la capacidad degenerativa del metal.

1.1.7.3. Fallas por cortante

Pytel y L. Singer (1987), establecen que: “el esfuerzo cortante es producido por fuerzas que actúan paralelamente al plano que las resiste”. También indican que “aparecen esfuerzos cortantes siempre que las fuerzas aplicadas obliguen a que una sección del sólido tienda a deslizar sobre la sección adyacente” (p. 13). La falla por corte puede presentarse tanto en las placas como en los pernos. Al esfuerzo cortante también se le llama esfuerzo tangencial.

1.2. Mantenimiento

“La principal función del mantenimiento es sostener la funcionalidad de los equipos y el buen estado de las máquinas a través del tiempo” (Mora Gutiérrez, 2009, p. 5). El mantenimiento es parte fundamental de la vida de los equipos y estructuras metálicas, ya que, a través de procedimientos definidos, se logra prolongar la vida útil.

García Garrido (2003) indica que el mantenimiento es un “conjunto de técnicas destinado a conservar equipos e instalaciones en servicio durante el mayor tiempo posible buscando la más alta disponibilidad y con el máximo rendimiento.” (p. 1)

Rey Sacristán (2001) define al mantenimiento industrial como “las técnicas que aseguran la correcta utilización de edificios e instalaciones y el continuo funcionamiento de la maquinaria productiva.” (p. 27)

Los autores citados concuerdan en que el mantenimiento a nivel industrial se aplica para mantener en óptimas condiciones de funcionalidad los equipos,

edificios y estructuras. El mantenimiento define múltiples criterios acordes con las condiciones aplicables en una industria.

1.2.1. Tipos de mantenimiento

En la industria de la construcción guatemalteca, los tipos de mantenimiento utilizados se describen a continuación:

1.2.1.1. Mantenimiento correctivo

“Consiste en intervenir con una acción de reparación cuando el fallo se ha producido restituyéndole la capacidad de trabajo a la máquina.” (Shkiliova & Fernandez Sanchez, 2011, p. 73).

Mora Gutiérrez (2009) dice que “el mantenimiento correctivo consiste en la pronta reparación de la falla y se le considera de corto plazo. Exige, para su eficiencia, una buena y rápida reacción de la reparación” (p. 426).

Para García Garrido, (2003) el mantenimiento correctivo “es el conjunto de tareas destinadas a corregir los defectos que se van presentando en los distintos equipos y que son comunicados al departamento de mantenimiento por los usuarios de los mismos” (p. 17).

1.2.1.2. Mantenimiento preventivo

Para Mora Gutiérrez (2009) el mantenimiento preventivo comprende “la aplicación de instrumentos avanzados y básicos, permitiendo planear en el tiempo cuando debe hacerse la reposición o reconstrucción del elemento, antes de que entre en modo de falla por cuerpo o por función” (p. 429).

García Garrido (2003) indica que el mantenimiento preventivo “es el que tiene por misión mantener un nivel de servicio determinado en los equipos programando las correcciones de sus puntos vulnerables en el momento más oportuno” (p. 17).

1.2.1.3. Mantenimiento predictivo

Según Mora Gutiérrez (2009) “el mantenimiento predictivo estudia la evolución temporal de ciertos parámetros para asociarlos a la ocurrencia de fallas, con el fin de determinar en qué periodo de tiempo esa situación va a generar escenarios fuera de los estándares” (p. 433).

Para García Garrido (2003), el mantenimiento predictivo “persigue conocer e informar permanentemente del estado y operatividad de las instalaciones mediante el conocimiento de determinadas variables representativas de tal estado y operatividad” (p. 17).

1.2.2. Evaluación del estado de condición

Muñoz Barrantes (2017), indica que “una evaluación visual, es el primer paso para el diagnóstico de la condición actual de una estructura que contempla tanto aspectos de seguridad estructural como de servicio y la predicción de su deterioro futuro” (p. 3). La importancia en el estado de condición radica en la valoración de la estructura tomando en consideración el tipo de afección que presenta, partiendo desde factores de diseño como agentes externos que debilitan los elementos componentes de la estructura.

Trujillo (2003), indica que la “evaluación del estado de condición y el mantenimiento predictivo son dos herramientas poderosas para mejorar la productividad y competitividad en la industria” (p. 1).

Trujillo (2003), se refiere, además, “que el objetivo de un programa de monitoreo de condición (MBC), es conocer la condición de la máquina, de tal manera que se pueda determinar su operación de manera segura, eficiente y económica” (p. 1).

Para Trujillo (2003), “las técnicas de monitoreo están dirigidas a la medición de variables físicas que son indicadores de la condición de la máquina y mediante un análisis, efectuar la comparación de valores normales”. (p. 1).

Según Trujillo (2003), los beneficios de aplicar MBC son:

- Proactiva: detectar condiciones que puedan causar falla, diagnóstico de la causa de la falla.
- Predictiva: detectar problemas en la maquinaria, evitar fallos catastróficos, pronóstico de utilidad.

Según Trujillo (2003), los conceptos aplicados en la evaluación de una máquina, son igualmente aplicados a los materiales de construcción metálicos. Para la evaluación del estado de condición de materiales metálicos de una estructura es necesario conocer el problema y los tipos de ensayos no destructivos que son la fuente principal en la valuación del estado de condición.

1.2.2.1. Ensayos no destructivos

Según Ospina López, Hernándo Trujillo y Parra L (2011), “los END son técnicas aplicadas a la inspección de productos acabados y semi-acabados para la detección de heterogeneidades internas y superficiales a través de principios físicos” (p. 198).

Benítes Restrepo *et al.* (2007), mencionan que “estas técnicas permiten detectar anomalías, descubrir defectos térmicamente no conductores como fisuras o delaminaciones, y detectar la presencia de objetos extraños sin afectar la integridad física del objeto bajo inspección ni de su futuro” (p. 41).

Los autores coinciden que los END son herramientas utilizadas en la industria para dictaminar anomalías en el producto final. Pueden presentarse como fisuras superficiales o internas del material metálico. Los END serán de utilidad para evidenciar anomalías durante la evaluación de los materiales de construcción metálicos.

1.2.2.2. Criterios para la selección de END adecuado

Para Ospina López *et al.* (2011), “se debe tener presente que, un método puede complementar a otro y que diversas pruebas normalmente deben ser aplicadas en una misma pieza de ensayo” (p. 198).

Para Ospina López *et al.* (2011), “la selección del método debe basarse en uno de los siguientes criterios” (p.198):

- Tipo y origen de discontinuidad a ser detectada

- Proceso de fabricación y tipo de material
- Accesibilidad a la región de ensayo
- Nivel de aceptabilidad deseada
- Disponibilidad de equipos
- Costos

1.2.2.2.1. Ensayo visual (VT)

Ospina López *et al.* (2011), menciona que el ensayo visual “es el más fácil de aplicar, acarrea resultados rápidos y normalmente tiene un costo bajo. Usualmente, una pieza antes de ser sometida a otros ensayos no destructivos, debe ser inspeccionada visualmente”. También indica que “el equipo requerido para la inspección visual es extremadamente simple, siendo, por tanto, primordial una buena iluminación de la pieza” (p. 199).

“La vigilancia juega un rol importante para detectar fallas o condiciones fuera de lo estándar. La presencia visual de desgastes, situaciones anormales, indica que se está ante un generador de fallas.” (Mora Gutiérrez, 2009, p. 405)

1.2.2.2.2. Líquidos penetrantes

Para Ospina López *et al.* (2011), “la inspección por líquidos penetrantes es un método de END usado para la detección de discontinuidades que aparezcan en la superficie de la pieza” (p. 199).

Ospina López *et al.* (2011), indica que “la prueba tiene la ventaja de ser un ensayo rápido, fácilmente aplicable y relativamente barato. Sin embargo, ofrece la desventaja de que solamente revela discontinuidades existentes en la superficie de la pieza” (p. 199).

1.2.2.2.3. Radiografía industrial (RT)

Ospina López *et al.* (2011), indica que: “la radiografía es un método usado para la inspección no destructiva, que se basa en la absorción diferencial de radiación penetrante por la pieza que está siendo inspeccionada. Debido a diferencias en las características de absorción causadas por las variaciones de la masa, composición y estructura del metal”. (p. 200).

Ospina López *et al.* (2011), menciona que “dada su capacidad de revelar discontinuidades en una variedad de metales, la radiografía industrial es actualmente uno de los principales ensayos no destructivos en uso” (p. 200). Conforme a Ospina López *et al.* (2011), “el ensayo radiográfico requiere las siguientes etapas en su proceso” (p. 200):

- Se exponen los materiales metálicos a radiación X
- El procesamiento de la película

Se interpretan los resultados obtenidos.

1.3. Corrosión

Heredia Avalos (2011), afirma que “la corrosión es el proceso mediante el cual se produce un deterioro de un material por la acción química o electroquímica del entorno en que se encuentra” (p. 466). Debido a la importancia en el apartado tecnológico, la corrosión afecta negativamente a las propiedades mecánicas de los metales, volviéndolos frágiles o en casos extremos disolviendo las piezas metálicas.

Ávila y Genescá (1987), definen el término corrosión como “Una reacción de oxidación, semejante a cualquier reacción química. Por esto mismo debe y puede ser regida por las leyes establecidas por la física y química”. Es de importancia comentar que “un metal solo podrá corroerse o pasar a un estado más oxidado, cuando sea inestable con respecto a los productos formados por su corrosión” (p.15).

Chantereau y Bouffard (1985), indican que “la evidencia común de la corrosión es la rápida formación de herrumbre en el hierro (una mancha café-rojiza o negra); se forma sobre una superficie de acero desprotegida que este en contacto con el agua o el aire húmedo” (p. 11). La presencia del color café rojizo se debe al Fe_2O_3 también llamada hematita, y el color negro al Fe_3O_4 o magnetita identificada por sus propiedades magnéticas.

Los autores citados coinciden en que los metales utilizables en el día a día poseen grandes concentraciones de energía y la corrosión es el primer paso para la liberación de energía y volver al estado natural del metal como óxido de hierro. La corrosión se entiende como una enfermedad que provoca fragilidad en los materiales metálicos, para garantizar la funcionalidad y estabilidad de la edificación compuesta por materiales metálicos, se incurre en inversiones incalculables e imprevistas.

1.3.1. Corrosión en materiales de construcción metálicos

“La corrosión metálica es un campo de las ciencias de materiales que invoca nociones de química y física. Termodinámicamente hablando los materiales metálicos buscan alcanzar condiciones estables, los metales oxidados alcanzan alta estabilidad”.

Vale la pena mencionar que la “corrosión es un proceso inverso a la metalurgia extractiva, pero a los daños causados por medios físicos no se les denomina corrosión sino erosión, abrasión o desgaste” (Pancorbo Floristán, 2013, p. 7). La corrosión en materiales de construcción metálicos mayormente es generada por la exposición del material a situaciones ambientales agresivas o del entorno donde están ubicados y que colaboran en el desarrollo del desgaste.

1.3.2. Tipos de corrosión en materiales de construcción metálicos

“Es posible clasificar los procesos de corrosión recurriendo a distintos criterios. Por la naturaleza de la sustancia corrosiva, por los mecanismos de corrosión y por la apariencia del metal corroído”. (Pancorbo Floristán, 2013, p. 9)

1.3.2.1. Por la naturaleza de la sustancia corrosiva

“La corrosión puede ser clasificada como húmeda o seca, para la primera se requiere un líquido o humedad, mientras que, para la segunda, las reacciones se desarrollan con gases a altas temperaturas”. (Pancorbo Floristán, 2013, p. 9)

1.3.2.1.1. Corrosión húmeda

Según Pancorbo Floristán (2013), “existe corrosión electroquímica cuando los materiales metálicos se hallan en contacto con medios de conductividad electrolítica, en particular con el agua, disoluciones salinas, la humedad de la atmosfera y de los suelos.” (p. 9). Para que se genere corrosión electroquímica (corrosión húmeda), solo es necesaria la deposición de agua en la superficie.

“Es un proceso espontáneo que denota la existencia de una zona anódica (la que sufre la corrosión), una zona catódica y un electrolito. Es imprescindible la existencia de estos tres elementos.” (Ávila & Genescá, 1989, p. 28)

Ávila y Genescá (1989), indican que “la corrosión más frecuente siempre es de naturaleza electroquímica y resulta de la formación sobre la superficie metálica de multitud de zonas anódicas y catódicas” (p.28).

1.3.2.1.2. Corrosión seca

Según Pancorbo Floristán (2013), “consiste en una reacción química directa entre el metal y un gas agresivo que normalmente es oxígeno. El resultado de esta reacción es la formación de óxidos” (p.10).

1.3.2.2. Por los mecanismos de corrosión

“Estos comprenden las reacciones químicas, reacciones electroquímicas y las microbiológicas” (Pancorbo Floristán, 2013, p. 10).

1.3.2.2.1. Corrosión química

“Se produce en aquellos casos en que el metal reacciona con un medio no iónico (por ejemplo, oxidación en aire a alta temperatura).” (Pancorbo Floristán, 2013, p. 10)

1.3.2.2.2. Corrosión electroquímica

“Considerados desde el punto de vista de la participación de iones metálicos, todos los procesos de corrosión son electroquímicos. Sin embargo,

es usual designar corrosión electroquímica a la que implica un transporte simultáneo de electricidad a través de un electrolito.” (Pancorbo Floristán, 2013, p. 10)

1.3.2.2.3. Corrosión por huella dactilar

Según Pancorbo Floristán (2013), “el manejo manual del material puede causar corrosión por la impregnación dactilar sobre las superficies de las piezas metálicas. Esta impregnación está originada por la mezcla del sudor que segrega las crestas capilares y la grasa natural de la piel” (p. 11).

1.3.2.2.4. Corrosión por pila geológica o diferencias de composición del medio

Pancorbo Floristán (2013), “es a la que se encuentran sometidos los elementos metálicos en contacto con suelos de composición o permeabilidad variable”. Generalmente, “este tipo de corrosión se puede presentar en los materiales metálicos utilizados en perforación de pozos, ya que se encuentran estratos de arcilla (ánodos) y arenas (cátodos), estos generan diferencia de potencial con el metal” (p. 11).

1.3.2.2.5. Corrosión-erosión

Según Pancorbo Floristán (2013), es el “movimiento de un fluido generalmente en régimen turbulento, sobre una superficie metálica que aumenta la velocidad de la corrosión hasta alcanzar un valor máximo debido al desgaste mecánico” (p.11). La presencia de oxígeno en el punto donde se genera la cavitación, promueve la generación de óxido en la superficie

(pasivación), pero debido a la constante turbulencia la capa protectora es removida. Este escenario se vuelve periódico hasta adelgazar las paredes del metal generando roturas y colapsos.

Para Chanterreau y Bouffard (1985), “es producto de la continua remoción de la película protectora contra productos de corrosión, que sirven como barrera contra el ataque corrosivo de algunos metales” (p. 17). Este tipo de corrosión normalmente es encontrada en tuberías de hierro galvanizado utilizadas para la conducción de agua potable y específicamente en los cambios de dirección de las tuberías.

1.3.2.2.6. Corrosión por corrientes vagabundas

Según Pancorbo Floristán (2013), “se produce por la descarga a tierra normalmente, si bien no exclusivamente, de corrientes continuas dispersas existentes en algunas zonas y generadas por instalaciones de cubas electrolíticas, ferrocarriles o tranvías eléctricos, soldadores eléctricos.” (p. 12).

1.3.2.2.7. Corrosión microbiana

Para Pancorbo Floristán (2013), la corrosión microbiana o corrosión inducida por microorganismos (CIM). “Se produce en conducciones o instalaciones por la actuación de organismos microbianos (hongos, bacterias y otros microorganismos), ya sea porque estos fabriquen sustancias agresivas o porque actúan como catalizadores de las reacciones de corrosión.” (p.12).

Medina Custodio, Ortis Prado, Jacobo Armendáriz, y Schouwenaars Franssens (2009), definen la corrosión microbiana como “un proceso

electroquímico donde la participación de los microorganismos es capaz de iniciar, facilitar o acelerar una acción de corrosión sin modificar su naturaleza electroquímica.” (p.10).

Los autores citados coinciden en que los microorganismos o bacterias dispuestos sobre superficies de materiales metálicos actúan como catalizadores, durante el proceso de metabolismo segregan compuestos de azufre que aceleran la corrosión del material metálico.

1.3.2.3. Por la apariencia del metal corroído

“La corrosión puede ser uniforme y el metal se corroe a la misma velocidad en toda su superficie, o bien, puede ser localizada, en cuyo caso solamente resultan afectadas pequeñas áreas.” (Pancorbo Floristán, 2013, p. 12)

1.3.2.3.1. Corrosión uniforme o general

“Es la forma más benigna de la corrosión y el tipo más comúnmente encontrado, caracterizándose por el adelgazamiento progresivo y uniforme del componente metálico.” (Pancorbo Floristán, 2013, p. 13)

“Tiene como particularidad que se desarrolla con rapidez sobre toda la superficie, y puede describirse mejor como la corrosión que causan los ácidos en un medio con agua cuyas propiedades protectoras son mínimas y no han sido identificadas.” (Chantereau y Bouffard, 1985, p. 16)

Los autores citados concuerdan en que el desarrollo de la corrosión uniforme se produce en la superficie de materiales metálicos, abarcando todo el metal expuesto o desprotegido, siendo la corrosión más común.

1.3.2.3.2. Corrosión atmosférica

“La acción que la atmósfera ejerce sobre los metales constituye un problema, ya que la rapidez con que estos se corroen es consecuencia de los parámetros meteorológicos como la temperatura, la humedad relativa, las precipitaciones.” (Paumier Acosta y Rizó Álvarez, 2015, p. 73)

Se puede entender como: “una capa de humedad que actúa como electrolito, generando, por lo tanto, una corrosión de carácter electroquímico. El oxígeno del aire y los contaminantes atmosféricos inciden intensamente en la corrosión metálica” (Pancorbo Floristán, (2013, p. 13)

Cabe resaltar lo siguiente: “la corrosión depende también del tiempo durante el cual la humedad atmosférica permanece sobre la superficie metálica y, por ello, está ligada a la combinación de una serie de factores. Los factores más importantes son el poder contaminante intrínseco de la atmósfera, así como diversos agentes climáticos entre los que cabe destacar, además de la humedad, la temperatura.” (Pancorbo Floristán, 2013, p. 37)

Pancorbo Floristán (2013) “se rige por las disposiciones de la norma UNE EN ISO 14713 para identificar el riesgo de corrosión acorde al tipo de ambiente” (p. 38).

Molina *et al.* (2011), definen la corrosión atmosférica como “el primer fenómeno que ocurre en los materiales para pasar a su estado natural que es la

corrosión. Esta produce daños que se manifiestan en la pérdida de material, generando pérdidas económicas e inversiones para la reparación o reemplazo”. También comentan que “los contaminantes atmosféricos, cloruros Cl y sulfatos (dióxido de azufre – SO₂), y variables climáticas como la humedad relativa, la temperatura y el tiempo de humectación se manifiestan como agentes corrosivos.” (p. 258).

Los autores citados coinciden en que la influencia de los parámetros medioambientales, junto a determinados indicadores de humedad relativa y temperatura, son fundamentales en la generación de ricio sobre la superficie del material metálico que promueve la corrosión atmosférica.

1.3.2.3.3. Clasificación de las atmósferas

Pancorbo Floristán (2013), indica que “en función de la naturaleza de los contaminantes se distinguen, resumiendo los criterios de la norma UNE EN ISO 14713, varios tipos de atmosferas” (p. 39):

- Atmosfera industrial.
- Marina.
- Urbana.
- Rural.
- Cuando hay una mezcla de influencias entre atmosferas como urbano-marina, industrial-marina, urbano-industrial-marina, entre otros.

Pancorbo Floristán (2013) complementa al afirmar que “las atmosferas pueden ser: secas, húmedas, lluviosas, tropicales y polares, dentro de las cuales es posible hacer una serie de matizaciones. Para clasificar plenamente

una atmosfera, se tendrá que tomar en cuenta una serie de factores climatológicos y de contaminación.” (p.39).

1.3.2.3.4. Corrosión localizada

Para Pancorbo Floristán (2013) “se da en una zona muy concreta de la superficie del metal, manifestándose por la aparición de picaduras o perforaciones aisladas. Se caracteriza por la disolución acelerada del metal más reactivo (menos noble).” (p.13).

1.3.2.3.5. Corrosión por hendiduras

Según Pancorbo Floristán (2013), esta “corrosión se presenta en huecos, y de hecho, en donde quiera que se tiene algún tipo de discontinuidad geométrica que influye en la disponibilidad del agente corroyente.” (p.13).

Para Smith y Hashemi (2010), “la corrosión en hendiduras es una forma de corrosión electroquímica localizada que puede ocurrir en las hendiduras y bajo superficies recubiertas donde sea posible que existen soluciones estancadas.” (p.517). Es notable que la deposición de minerales en áreas determinadas estimula los reactivos que aceleran la corrosión.

“El oxígeno se vuelve deficiente en la hendidura o grieta, lo que causa una diferencia de potencial y provoca corrosión.” (Chantereau y Bouffard, 1985, p. 16). Las hendiduras formadas en las uniones de metales, es fácil la deposición de minerales, que son causante de la aceleración del flujo de electrones y, por tanto, una corrosión acelerada.

1.3.2.3.6. Corrosión por picadura (*pitting*)

Según Pancorbo Floristán (2013), “se concentra en áreas muy reducidas. Se presenta en forma de perforaciones en una superficie relativamente inatacada y se desarrolla de tal manera que su ancho es comparativamente menor que su profundidad, propagándose en el interior del metal formando galerías” (p.14).

Para Smith y Hashemi (2010), “las picaduras son una forma de ataque corrosivo localizado que produce hoyos o picaduras en un metal. Esta forma de corrosión es muy destructiva para las estructuras de ingeniería si llegan a perforar el metal” (p.516).

Chanterreau y Bouffard (1985), indican que “ocurre en un área anódica localizada, puede ser agudo y profunda, se le asocia la corrosión por celdas de concentración, corrosión galvánica y la corrosión por hendiduras” (p.16).

Los autores citados coinciden que este tipo de picaduras se genera en zonas localizadas sobre una superficie metálica y se presenta en forma de perforaciones que pueden llegar a traspasar una placa metálica.

1.3.2.3.7. Corrosión por fricción (*fretting*)

Según Pancorbo Floristán (2013), “se produce por el movimiento relativamente pequeño (vibración) de dos sustancias en contacto, de la que una o ambas son metales. Este movimiento genera una serie de picaduras en la superficie del metal” (p.17). El contacto de dos superficies metálicas provoca

desgaste, dejando las superficies expuestas al ataque de los elementos corrosivos.

Smith y Hashemi (2010), lo definen como “corrosión por desgaste, ocurre en interfaces entre materiales bajo carga expuestos a vibración y deslizamiento. Aparece como huecos o picaduras rodeados por productos de corrosión” (p. 522).

Los dos autores coinciden en que la corrosión por fricción se genera por la abrasión generada entre dos o más superficies de material metálico en contacto.

1.3.2.3.8. Corrosión por cavitación

Pancorbo Floristán (2013), indica “que es la producida por la formación y colapso de burbujas en la superficie del metal en contacto con un líquido. Es un fenómeno semejante al que le ocurre a las caras posteriores de las hélices de los barcos.” (p. 17).

Para Smith y Hashemi (2010), “este tipo de corrosión erosión resulta de la formación y el colapso de las burbujas de aire o de las cavidades llenas de vapor en un líquido cerca de una superficie metálica.” (p. 522).

Los dos autores coinciden que la corrosión por cavitación se genera a partir de burbujas (separación del hidrógeno y oxígeno) en el transporte de agua en cambios bruscos de dirección de las tuberías. Las burbujas en contacto con el material metálico implosionan generando picaduras y productos de corrosión.

1.3.2.3.9. Corrosión por tensiones

“Cuando un metal está sometido simultáneamente a la acción de un medio corrosivo y a tensiones mecánicas de tracción. Se forman fisuras que pueden ser transgranulares o intergranulares y que se propagan hacia el interior del metal”. También se menciona “que las tensiones se relajan o el metal se fractura. Este tipo de corrosión puede considerarse como una forma especial de ataque por hendiduras.” (Pancorbo Floristán, 2013, p. 18)

Smith y Hashemi (2010), indica “que las grietas provocadas por los efectos combinados de esfuerzos de tensión y un ambiente de corrosión específico actúa sobre el metal” (p. 519).

Avila Ayón, Casanella Leyva, y Rodríguez Quesada (2006), indican que “los fenómenos corrosivos en los elementos estructurales se combinan con las sollicitaciones mecánicas que intervienen en el proceso industrial se puede producir un fallo prematuro en el elemento.

Este defecto es caracterizado fundamentalmente por la fisuración local de la superficie metálica” (p. 2). En superficies de material metálico expuesto a tensiones y donde no existe una película pasivante de protección, es el punto donde la corrosión aparece.

1.3.2.3.10. Corrosión por exfoliación

Según Pancorbo Floristán (2013) “es una corrosión subsuperficial que comienza sobre una superficie limpia, pero se extiende debajo de ella y difiere de la corrosión por picadura en que el ataque tiene una apariencia laminar.” (p. 17)

1.3.2.3.11. Corrosión intergranular

Según Pancorbo Floristán (2013), la corrosión intergranular “afecta a los bordes de los granos que componen la estructura sólida de los metales y se presenta como una franja estrecha de ataque que se propaga a lo largo de los límites del grano” (p. 17). Este tipo de ataque debilita el metal sin que lo parezca y se extiende hasta inutilizarlo.

Smith y Hashemi (2010), lo define como “un ataque corrosivo localizado adyacente a las fronteras del grano de una aleación. Las regiones de las fronteras del grano pueden ser muy reactivas, provocando la pérdida de resistencia de la aleación” (p. 518).

Ambos autores coinciden en que la corrosión es de origen localizado, afectando las fronteras del grano, induciendo debilitamiento constante hasta romper el metal cuando es expuesto a cargas puntales.

1.3.2.3.12. Corrosión galvánica

“Este tipo de corrosión implica un transporte de electricidad a través de un electrolito. La unión eléctrica entre dos metales distintos sumergidos en una disolución conductora genera una corriente eléctrica, debido a la diferencia de potencial electroquímico de ambos metales.” (Pancorbo Floristán, 2013, p. 19).

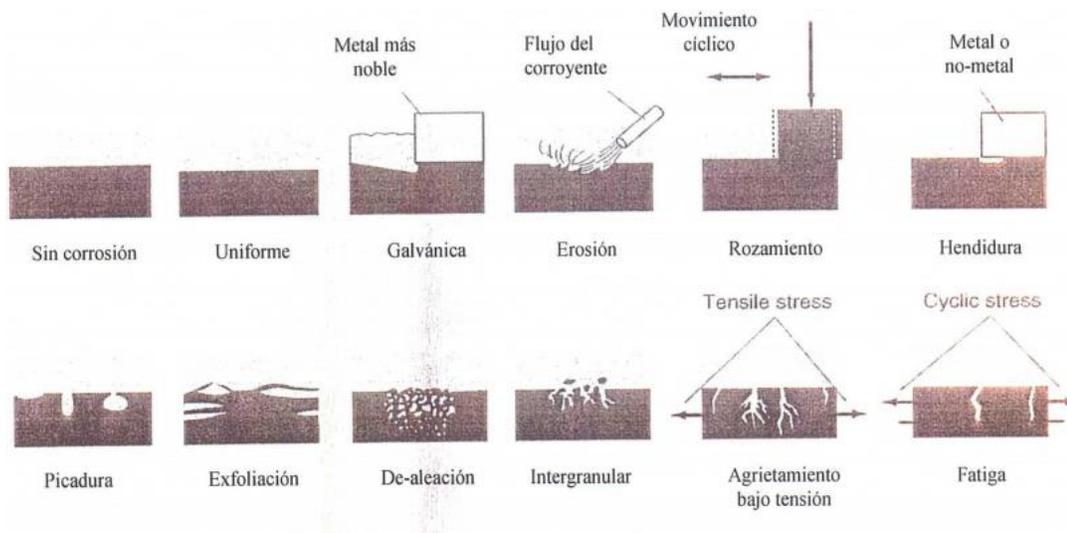
Smith y Hashemi (2010) indican que “el acero galvanizado, es un acero recubierto por zinc, es un ejemplo en el que un metal (zinc) se sacrifica para proteger al otro (acero)” (p. 514). La protección galvánica se realiza tanto en frío como en caliente. El procedimiento de recubrimiento en caliente se realiza

cuando la pieza metálica por proteger (ánodo), se sumerge en un depósito de zinc líquido, recubriendo el metal en su totalidad.

Según Chantereau y Bouffard (1985), “es el resultado de la exposición de dos metales distintos en el mismo ambiente, y es más notable cuando están conectados eléctricamente en forma directa” (p. 16).

Los autores citados concuerdan que la corrosión galvánica es de carácter electroquímico entre dos metales de diferente potencial; esta corrosión se presenta en ambientes agresivos afectando únicamente al metal sacrificado. A continuación, se ilustran algunos tipos de corrosión.

Figura 2. **Algunos tipos de corrosión agrupados**



Fuente: PANCORBO FLORISTÁN, F. *Corrosión, degradación y envejecimiento de los materiales empleados en la edificación*. p 23

1.3.3. Remoción de corrosión

En ISO 8501 (2011), se menciona que “en el caso de las estructuras de acero, esto es todavía más importante pues resulta obvio que la selección del método de preparación de la superficie asume una importancia muy relevante en cualquier tratamiento anticorrosivo” (p. 1). La preparación de superficies es importante para la durabilidad de cualquier recubrimiento anticorrosivo en los metales.

Pannoni (s.f.), indica que: “la preparación de la superficie se realiza con dos objetivos principales” (p. 28):

- Limpieza superficial; su finalidad es remover las impurezas que impidan el contacto directo entre la pintura y el acero.
- Anclaje mecánico; la rugosidad proporciona una mayor adherencia en la superficie.

Pannoni (s.f.) indica que: “internacionalmente se ha normalizado la preparación de las superficies metálicas ferrosas, de acuerdo al método de limpieza. Las normas utilizadas por el autor son: la *Steel Structure Painting Council* (S.S.P.C), y la *Swedish Standard Institute SIS 055900*” (p. 28).

Pannoni (s.f.), “describe cada uno de los procedimientos de la preparación de superficies” (p.28):

1. Limpieza con solventes; procedimiento utilizado para remover materiales extraños como aceites, grasas y manchas, existentes sobre la superficie de los materiales metálicos.

2. Limpieza manual; método para preparar superficie removiendo calaminas, herrumbre o pintura suelta con cepillo, lijado y raspado de la superficie del metal.
3. Limpieza con herramienta eléctrica o neumática; este método es similar al (2) teniendo diferencias al utilizar herramienta industrial.
4. Limpieza con llama; método de preparación se superficies de aceros no pintados, calentando la superficie con oxiacetileno, luego se remueve con cepillo las impurezas y aplicación de pintura antes de que se enfríe.
5. Limpieza con chorro abrasivo o metal blanco; método que utiliza una tobera para impulsar abrasivos o para de ruedas centrifugas para remover las impurezas de la superficie del metal.
6. Limpieza con chorro abrasivo a grado gris comercial; procedimiento similar utilizado en el método de limpieza descrito en el numeral cinco.
7. Limpieza con chorro abrasivo al grado superficial; para utilizar este método es necesario el uso de tobera para impulsar abrasivos con un equipo especial que provee aire comprimido o la aplicación de rueda centrifuga.
8. Limpieza química Pickling; este mecanismo de limpieza se caracteriza por el uso de reacciones química o por electrolisis.

9. Exposición ambiental seguida por chorro abrasivo; método para desprender la cascarilla de oxidación natural de acero expuesta a la intemperie.
10. Limpieza por chorro abrasivo al grado casi blanco; la metodología de preparación de superficies metálicas por el uso de un abrasivo a través de una tobera o riega centrifuga

1.3.4. Protección contra la corrosión en materiales de construcción metálicos

Para González Betancourt, Echeverría Lage, Méndez González, y Vazquez Molina (2015), “Los recubrimientos anticorrosivos son los principales componentes de los sistemas de protección anticorrosiva empleados actualmente en el mundo, teniendo como principio esencial de acción aislar o separar el metal del medio corrosivo.” (p. 207).

Para Ávila y Genescá (1987), “todos los métodos que existen para lograr controlar la corrosión de los materiales metálicos, son intentos para interferir con el mecanismo de corrosión, de tal manera que se pueda hacer que este sea lo más ineficiente posible. (p. 54).

Ávila y Genescá (1987), indican que: “para que exista un proceso de corrosión, debe formarse una pila o celda de corrosión y, por tanto, un ánodo, un cátodo, un conductor eléctrico y una solución conductora, además de una diferencia de potencial entre los electrodos o zonas anódicas y catódicas, la eliminación de alguno de los componentes esenciales de la mencionada pila, podría llegar a detener el proceso.” (p.54).

Las metodologías aplicadas para recubrir de materiales metales son:

1.3.4.1. Recubrimientos protectores

Según González Betancourt, *et al.* (2015), “los sistemas de protección anticorrosivas con pinturas se encuentran dentro de los sistemas de recubrimiento más difundidos, amparados en la mayoría por normas internacionales.” (p. 207).

Pancorbo Floristán (2013), indica que “los recubrimientos son capas de material que se depositan encima de una superficie para mejorar su resistencia a agresiones externas, tales como corrosión, desgaste o fatiga.” (p. 381).

Ávila y Genescá (1987), coincide en que el “aislamiento eléctrico del material, puede lograrse mediante el empleo de pinturas o resinas, depósitos metálicos de espesor suficiente o por la aplicación de recubrimientos diversos” (p.47). Los recubrimientos se catalogan como metálicos y no metálicos.

1.3.4.1.1. Recubrimientos metálicos

Para Ávila y Genescá (1987), los recubrimientos metálicos logran “mediante la electrodeposición de metales como el níquel, cinc, cobre cadmio, estaño, cromo, etc.” (p. 48).

1.3.4.1.2. Recubrimientos no metálicos

Según Ávila y Genescá (1987), “se pueden incluir dentro de estos las pinturas, barnices, lacas, resinas naturales o sintéticas, grasas, ceras, aceites, empleados mediante el almacenamiento o transporte de materiales metálicos ya manufacturados y que proporcionan una protección temporal.” (p. 47).

1.3.4.1.3. Pinturas

Para Pannoni (s.f.), “la pintura es el principal medio de protección de estructuras metálicas. Las pinturas son partículas sólidas (pigmentos) dispersas en un líquido (conocido como vehículo), en presencia de componentes en menores proporciones llamados aditivos.” (p. 31).

1.3.4.1.4. Componentes básicos de las pinturas

Los componentes de las pinturas anticorrosivas se dividen en la siguiente clasificación:

Resina: es la forma de la película propiamente dicha (vehículo), con la ausencia de la resina, los componentes de una pintura no tendrían adherencia.

Pigmentos: pueden ser orgánicos e inorgánicos, son aglomerados por la resina después de secarse. Los pigmentos promueven un color opaco, cohesión e inhibición del proceso corrosivo.

Solventes: tienen la finalidad de disolver la resina, y por la disminución de viscosidad, facilitar la aplicación de la pintura. Los más comunes utilizados en pinturas son los líquidos orgánicos y el agua” de (Pannoni, s.f., p. 31).

1.3.4.1.5. Clasificación de pinturas

Pannoni (s.f.) “se basa en la resina de la pintura para determinar el nivel de protección en el acero, según la aplicación se cuenta con diferentes tipos de resinas” (p. 32):

Alquidáticas: pintura con un componente de secado al aire libre, utilizadas en interiores secos y exteriores no contaminados.

Epóxicas: pinturas de dos componentes de secado. El curado se da por la reacción entre el componente A y B”.

Poliuretánicas: pintura de dos componentes, donde el componente A está compuesto por resina de poliéster o resina acrílica y el componente B es el medio de curado.

Acrílicas: pintura a base de solventes orgánicos o de agua, bastante resistente a la acción del fuego. (p.32)

Pannoni (s.f.), indica que: “en la elaboración de un sistema de pinturas, todos los datos deben ser considerados, como el ambiente, el sustrato, la preparación de la superficie, pinturas, la secuencia de aplicación, espesores, tipos de aplicación y a que condiciones de trabajo estará sometida la superficie.” (p. 33).

1.3.4.1.6. Protección catódica

Rosario Francia (2004), indica que “el metal que actúa como ánodo se sacrifica a favor del que actúa como cátodo”. (p. 37). Este sistema es ampliamente conocido como protección catódica por ánodo de sacrificio.

Para Ávila y Genescá (1987), “la corrosión suele ser un fenómeno electroquímico por lo que se puede intentar combatirlo conectando el metal que se quiere proteger con otro metal menos noble, según la serie galvánica que actuara como ánodo de sacrificio” (p. 51).

Ávila y Genescá (1987), indican que existen dos casos que definen la protección catódica, “el primer caso constituye la protección catódica con ánodos galvánicos o de sacrificio y el segundo la protección catódica con corriente impresa.” (p. 51).

1.3.4.1.7. Inhibidores de corrosión

Para Pancorbo Floristán (2013), “son productos que actúan ya sea formando películas sobre la superficie metálica, tales como los molibdatos o fosfatos, o bien entregando sus electrones al medio” (p. 382).

Según Ávila y Genescá (1987), “son sustancias químicas que protegen al metal contra el ataque electroquímico de soluciones agresivas. Son usados ampliamente en la industria para modificar el comportamiento de las aguas” (p. 54).

Ávila y Genescá (1987), sugieren lo siguiente: “el principio de funcionamiento de los inhibidores es formar en la superficie misma de los

electrodos de la pila causante de la corrosión, sea un compuesto insoluble de la fijación de una determinada materia organiza, con el objeto de polarizar la pila de corrosión.” (p.54).

2. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS DEL INFORME FINAL

| | |
|--|------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES | I |
| LISTA DE SÍMBOLOS | III |
| GLOSARIO | IV |
| RESUMEN | V |
| PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS ORIENTADORAS | VI |
| OBJETIVOS | VII |
| RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO | VIII |
| INTRODUCCIÓN | IX |

1. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

- 1.1. Industria de la construcción
 - 1.1.1. Inicios de la construcción
 - 1.1.2. Industria de construcción en Guatemala
 - 1.1.3. Obra civil
 - 1.1.4. Lugar de estudio
 - 1.1.5. Materiales de construcción
 - 1.1.6. Materiales de construcción metálicos
 - 1.1.6.1. Acero
 - 1.1.6.2. Acero Inoxidable
 - 1.1.6.3. Aluminio
 - 1.1.6.4. Plomo
 - 1.1.6.5. Cromo
 - 1.1.6.6. Cobre

- 1.1.6.7. Titanio
 - 1.1.6.8. Níquel
 - 1.1.6.9. Bronce
 - 1.1.7. Desgaste en materiales metálicos
 - 1.1.7.1. Fallas en conexiones metálicas
 - 1.1.7.2. Fallas por aplastamiento
 - 1.1.7.3. Fallas por cortante
- 1.2. Mantenimiento
 - 1.2.1. Tipos de mantenimiento
 - 1.2.1.1. Mantenimiento correctivo
 - 1.2.1.2. Mantenimiento preventivo
 - 1.2.1.3. Mantenimiento predictivo
 - 1.2.2. Evaluación del estado de condición
 - 1.2.2.1. Ensayos no destructivos
 - 1.2.2.2. Criterios para la selección de END adecuado
 - 1.2.2.2.1. Ensayo visual (VT)
 - 1.2.2.2.2. Líquidos penetrantes
 - 1.2.2.2.3. Radiografía industrial (RT)
- 1.3. Corrosión
 - 1.3.1. Corrosión en materiales de construcción metálicos
 - 1.3.2. Tipos de corrosión en materiales de construcción metálicos
 - 1.3.2.1. Por la naturaleza de la sustancia corroída
 - 1.3.2.1.1. Corrosión húmeda
 - 1.3.2.1.2. Corrosión seca
 - 1.3.2.2. Por los mecanismos de corrosión
 - 1.3.2.2.1. Corrosión química
 - 1.3.2.2.2. Corrosión electroquímica

- 1.3.2.2.3. Corrosión por huella dactilar
- 1.3.2.2.4. Corrosión por pila geológica o diferencia de composición del medio
- 1.3.2.2.5. Corrosión-erosión
- 1.3.2.2.6. Corrosión por corrientes vagabundas
- 1.3.2.2.7. Corrosión microbiana
- 1.3.2.3. Por la apariencia del metal corroído
 - 1.3.2.3.1. Corrosión uniforme o general
 - 1.3.2.3.2. Corrosión atmosférica
 - 1.3.2.3.3. Clasificación de las atmósferas
 - 1.3.2.3.4. Corrosión localizada
 - 1.3.2.3.5. Corrosión por hendiduras
 - 1.3.2.3.6. Corrosión por picadura (*pitting*)
 - 1.3.2.3.7. Corrosión por fricción (*fritting*)
 - 1.3.2.3.8. Corrosión por cavitación
 - 1.3.2.3.9. Corrosión por tensiones
 - 1.3.2.3.10. Corrosión por exfoliación
 - 1.3.2.3.11. Corrosión intergranular
 - 1.3.2.3.12. Corrosión galvánica
- 1.3.3. Remoción de corrosión
- 1.3.4. Protección contra la corrosión en materiales de construcción metálicos

- 1.3.4.1. Recubrimientos protectores
 - 1.3.4.1.1. Recubrimientos metálicos
 - 1.3.4.1.2. Recubrimientos no metálicos
 - 1.3.4.1.3. Pinturas
 - 1.3.4.1.4. Componentes básicos de las pinturas
 - 1.3.4.1.5. Clasificación de pinturas
 - 1.3.4.1.6. Protección catódica
 - 1.3.4.1.7. Inhibidores de corrosión

2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

3. METODOLOGÍA

El enfoque de la investigación es de carácter mixto, debido a que se utilizarán variables cualitativas como el tipo de condiciones climatológicas, tipos de corrosión y variables de tipo cuantitativo como las series históricas de condiciones meteorológicas de humedad relativa y temperatura, además de la asignación numérica a los tipos de corrosión por identificar.

El diseño de la investigación es experimental debido a que se realizarán pruebas de laboratorio de radiología y líquidos penetrantes, recopilando la información en forma transversal en los datos de corrosión y longitudinal en los datos climatológicos.

El alcance de la investigación es de tipo descriptivo. Debido a que se hará la descripción del fenómeno de corrosión, la caracterización del ambiente circundante y una enumeración de tipos de corrosión y sus fundamentos.

Variables e indicadores. La asignación numérica del tipo de corrosión es una variable que se utilizará para determinar el agente corrosivo que actúa sobre el metal; el indicador es una tabla comparativa que describe las características del agente corrosivo. Las condiciones climatológicas son variables que servirán para determinar el nivel de agresividad corrosiva.

El indicador de medidas de tendencia central servirá para definir valores de temperatura y humedad relativa. La zona de agresividad del entorno es una variable que servirá para elegir el método de protección anticorrosiva descrito en una tabla comparativa que sirve como indicador. Las variables, tipos de

limpieza y tipos de protección se utilizarán para alimentar la tabla de aplicación, permitiendo dar instrucciones sobre los métodos de protección.

Tabla I. **Operativización de variables**

| Objetivos de investigación | Variables de investigación | Indicador | Técnica | Plan de tabulación |
|--|--|---|---|---|
| Identificar el tipo de corrosión superficial que afecta a materiales de construcción metálicos utilizados en obra civil. | Asignación numérica del tipo de corrosión. Condiciones climatológicas | Tabla comparativa. Medidas de tendencia central. | Identificar en tabla el tipo corrosión. Gráficas y diagramas | Uso de tabla V, VI, VII, VIII, X, XI y XII. Uso de software para generar gráficas y diagramas. |
| Determinar la protección anticorrosiva de acuerdo con el tipo de exposición de los materiales de construcción de obra civil metálicos. | Zonas de agresividad del entorno. | Tabla Comparativa. | Categorizar la protección anticorrosiva según tabla. | Uso de tabla IX |
| Establecer un procedimiento para identificación del tipo de corrosión, remoción de corrosión y método de protección contra agentes formadores de corrosión en materiales de construcción metálicos utilizados en obra civil. | Tipos de limpieza Tipos de protección | Tabla de aplicación. | Recopilación de datos. | Uso de tabla XIII |

Fuente: elaboración propia.

- Fase 1: revisión documental

Consiste en la selección, lectura y adecuación de literatura de experiencias previas en el tema de la evaluación del estado de condición para protección de materiales de construcción metálicos expuestos ante agentes formadores de corrosión.

La revisión documental describe la teoría sobre la aplicación de técnicas de mantenimiento por utilizar, los diferentes tipos de corrosión que afectan a los

materiales metálicos, las soluciones para la remoción de los productos de corrosión y el procedimiento sugerido para la aplicación de un método de protección anticorrosivo.

- Fase 2: identificación del tipo de corrosión

Se realizará visita muestreo, reconocimiento del lugar y análisis de las características de exposición de los materiales metálicos.

Durante el recorrido se realizará una evaluación de los parámetros climatológicos, reconocimiento de ubicación mediante dispositivos electrónicos móviles.

Durante la visita de muestreo se incluirá procedimientos de seguridad industrial, acordes con los reglamentos vigentes.

Las muestras serán llevadas a laboratorio, se realizará inspección visual para evaluar el tipo de corrosión que afecta a los materiales de construcción metálicos.

Se realizarán ensayos no destructivos como inspección visual, líquidos penetrantes y radiografía para detectar posibles fallas estructurales en los materiales metálicos.

Se realizará la remoción de los productos de corrosión.

- Fase 3: determinar la protección anticorrosiva

Posterior a determinar el tipo de corrosión que afecta a los materiales metálicos, se aplicarán técnicas de análisis cualitativo, y el uso de tablas comparativas para elegir el método de protección; la protección anticorrosiva por utilizar se basa en la aplicación de pinturas.

La pintura anticorrosiva es un revestimiento aplicado sobre superficies metálicas que inhibe la corrosión del metal. La pintura se compone de resina, pigmentos y solventes. Para determinar el nivel de protección del acero, el componente determinante es la resina.

- Fase 4: elaboración de procedimiento

El beneficio de la investigación consiste en la obtención de un documento tipo cartilla que incluya la identificación de corrosión, remoción de corrosión, y método de protección. El documento técnico podrá ser utilizado por investigadores interesados en resolver problemas de corrosión en edificaciones de obra civil.

En las técnicas metodológicas por utilizar. como primer paso, se identificará el tipo de corrosión, para ello se utilizará una tabla de contenido llamada identificación del tipo de corrosión. Se utilizarán gráficas y diagramas que servirán para presentar los datos de temperatura y humedad del ambiente.

Como segundo paso, se determinará el tipo de protección anticorrosiva, para ello, se utilizará una tabla de contenido llamada directrices para la preparación superficial.

Como tercer paso, se recopilarán los datos de la investigación en un cuadro llamado ficha de resumen que servirá para presentar los resultados obtenidos. Este resumen será útil para establecer el procedimiento para identificación del tipo de corrosión remoción de corrosión y método de protección contra los agentes que inciden en el desgaste de los materiales metálicos.

La población y muestra de los materiales metálicos para la investigación, serán aleatorias, debido a que la muestra sustraída para evaluación es representativa de toda la población.

Los resultados esperados corresponden a la obtención de un documento útil de fácil aplicación y de beneficio para entidades públicas y privadas que posean obras civiles compuesta parcial o totalmente con materiales metálicos que presenten daños aparentes por la acción de agentes formadores de corrosión. La aplicación del método, abarca tanto a zonas urbana, industriales, marítimas como rurales. El fin de la investigación es proteger los materiales metálicos y garantizar su vida útil.

4. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

De la fase 2, identificación de tipo de corrosión, procedimientos de remoción, se practicará visita de muestreo, valoración de las condiciones climáticas, evaluación del tipo de corrosión, procedimientos para la remoción de corrosión y ensayos de laboratorio no destructivos. La información será procesada en gabinete para identificar su veracidad, utilizando software Microsoft Excel ®.

Se generarán gráficos de barras para analizar las tendencias sobre la climatología del lugar, dándonos una guía para entender los posibles tipos de corrosión. La información se recolectará a través de la tabla V, reconocimiento y muestreo.

Mediante la observación de la información recopilada, se clasificarán los materiales de obra civil metálicos de acuerdo con el tipo de corrosión que los afecta. La tabulación de esta información permitirá identificar los niveles de criticidad corrosiva, permitiendo valorar el método de protección anticorrosivo más acertado. La información será recopilada según las disposiciones en la tabla VI, categorías de ambiente; en la tabla VII, resumen de acciones corrosivas. Todas las tablas se encuentran en anexos.

La identificación de fallas por cortante y aplastamiento durante la práctica de los ensayos no destructivos dará la pauta sobre el estado del material metálico. Para la recopilación de esta información se utilizará la tabla ensayos no destructivos, que está en anexos.

La remoción de los productos de corrosión servirá para garantizar la limpieza de las piezas, la elección del procedimiento se realizará según las disposiciones de la tabla tipos de preparación de superficies, encontrada en anexos.

De la fase 3, para determinar el tipo de protección anticorrosiva, se utilizará como comparativa la tabla directriz para la preparación superficial de sistemas de pinturas aplicadas en ambientes con diferentes agresividades, encontrada en anexos.

De la fase 4, para establecer procedimientos, se utilizará toda la información recopilada, se tabularán datos en el software y lo dispuesto en la tabla ficha de resumen, encontrada en anexos.

Conforme la información sea recabada en las fases, se generará un diagrama de flujo de un procedimiento que se propondrá para realizar evaluaciones sobre la incidencia de la corrosión en diferentes materiales de construcción de obra civil metálicos según sus características. Este procedimiento podrá ser aplicado en un futuro en piezas con diferentes niveles de agresividad del medio.

Se darán las conclusiones del trabajo, se recomendará considerar las notas y observaciones que sean identificadas y se planteará la opción de iniciar una evaluación sostenida para generar historiales y controles para disminuir los agentes corrosivos.

5. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Tabla II. Cronograma de las actividades

| EVALUACIÓN DEL ESTADO DE CONDICIÓN PARA PROTECCIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN METÁLICOS UTILIZADOS EN OBRA CIVIL EXPUESTOS A LA ACCIÓN DE AGENTES FORMADORES DE CORROSIÓN | | | | | | |
|---|--------------|----------------|----------------|------------|--------------|------------|
| DESCRIPCIÓN | Octubre 2019 | noviembre 2019 | diciembre 2019 | enero 2020 | febrero 2020 | marzo 2020 |
| Aprobación de protocolo | ■ | | | | | |
| Fase 1. Revisión documental | | | | | | |
| Fase 2. Identificación del tipo de corrosión; Visita al lugar, selección de muestras, clasificación del tipo de corrosión, elaboración de ensayos no destructivos, remoción de los productos de corrosión y elaboración de reporte de visita. | | ■ | | | | |
| Fase 3. Categorización del tipo de corrosión: Identificación de los métodos de protección anticorrosiva y tabulación de datos. | | | ■ | | | |
| Fase 4. Elaboración de procedimiento de aplicación | | | ■ | ■ | | |
| Desarrollo de la investigación | | | ■ | ■ | ■ | |
| Presentación de resultados | | | | ■ | ■ | |
| Discusión de resultados | | | | | ■ | |
| Redacción de conclusiones | | | | | ■ | |
| Redacción de recomendaciones | | | | | | ■ |
| Redacción del informe final | | | | | | ■ |

Fuente: elaboración propia.

6. FACTIBILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

La información sobre la clasificación de la corrosión y los patrones del grado de corrosión se encuentran en el texto de Pancorbo Floristán, (2013), en ISO 8501, (2011) y Pannoni, (s.f.).

Las piezas metálicas para analizar serán proporcionadas por los interesados. Durante las visitas de reconocimiento e inspección visual, el personal técnico realizará la clasificación por corrosión y el procedimiento para remover corrosión.

El ensayo no destructivo de líquidos penetrantes se realizará en condiciones de laboratorio, el ensayo por radiografía se realizará en las instalaciones de un hospital situado en la zona 15 de Guatemala.

Todos los costos serán financiados por el investigador.

Tabla III. **Montos aproximados de investigación**

| Núm. | Actividad | Precio |
|-------------|-------------------------|---------------|
| 2 | Visita toma de muestras | Q. 6 400,00 |
| 2.1 | Investigador | Q. 1 500,00 |
| 2.2 | Asesor | Q. 1 500,00 |
| 2.3 | Técnicos | Q. 900,00 |
| 2.4 | Equipos e insumos | Q. 2 500,00 |

Continuación de la tabla IV.

| | | | |
|----------|--------------------------------|-----------|------------------|
| 3 | Ensayos no destructivos | Q. | 2 220,00 |
| 3.1 | Ensayo de radiografía | Q. | 1 250,00 |
| 3.2 | Ensayo de líquidos penetrantes | Q. | 950,00 |
| 4 | Asesoría del trabajo | Q. | 2 500,00 |
| 5 | Total de la inversión | Q. | 11 120,00 |

Fuente: elaboración propia.

Con el acceso a las fuentes de información, financiamiento del investigador y aval de los interesados es factible la realización del estudio.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Avila, V., Casanella, F., & Rodríguez, A. (2006). *Efecto de las cargas en el agrietamiento por corrosión bajo tensión. Ciencias Hogoín, XII(1), 1-10.* Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181515833004>
2. Avila, V., Rodriguez, L., & Lías, Y. (2005). *Influencia de los parámetros medioambientales en la corrosión de elementos estructurales metálicos. Ciencias Holguín, XI(4), 1-11.* Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181517866003>
3. Ávila, J., & Genescá, J. (1987). *Más allá de la herrumbre.* (Vol. 1). México D.F.: Fondo de Cultura Económica.
4. Ávila, J., & Genescá, J. (1989). *Mas allá de la herrumbre II.* México D.F.: Fondo de Cultura Económica.
5. Benítes, H., Ibarra, C., Hakim, A., Maldague, X., Loaiza, H., & Caicedo, E. (2007). *Procedimiento de imágenes infrarrojas para la detección de defectos en materiales. Tecnura, 10(20), 40-51.* Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/2570/257021012004.pdf>
6. Chantereau, J., & Bouffard, A. (1985). *Corrosión bacteriana.* (Vol. 1). México: Limusa.

7. Corvo, F. *et al.* (2008). *Corrosión atmosférica del acero en interiores. Sus particularidades en el clima tropical de Cuba. Revista de Metalurgia*, 44(2), 129-137. Recuperado de <http://revistademetalurgia.revistas.csic.es/index.php/revistademetalurgia/article/view/101/100>
8. EN ISO 8501. (2011). *Protección anticorrosiva de estructuras de acero mediante pintura*. Maia, Portugal : CNI Normas.
9. García, S. (2003). *Organización y gestión integral de mantenimiento*. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos S.A.
10. González, A. *et al.* (2015). *Influencia del diseño anticorrosivo en la protección anticorrosiva del área de combustibles de una central eléctrica diésel MTU SERIE 4000. Tecnología Química*, XXXV(2), 206-220. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445543787005>
11. Gustin, E., & Diehl, J. (1980). *Estructuras metálicas*. Barcelona, España: Editores Técnicos Asociados S.A.
12. Heredia, S. (2011). Experiencias sobre corrosión en metales de uso cotidiano. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 8, 466-475. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92022427014>

13. Medina, O. *et al.* (2009). *Corrosión microbológica en aceros de bajo carbono. Ingeniería. investigación y tecnología*, X(1), 9-19. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40411427002>
14. Meraz, E., & Alejandro, M. (2009). *Agresividad atmosférica basada en el tiempo de humectación del clima tropical húmedo del estado de Tabasco. Universidad y Ciencia Trópico Húmedo*, 25(2), 111-120. Recuperado de <http://www.ujat.mx/publicaciones/uciencia>
15. Mesa, D., & Sinatora, A. (2003). *El desgaste de materiales, enfrentarlo o dejarlo de lado y asumir los riesgos. Scientia et Technica año IX*, 87-91.
16. Molina, J. *et al.* (2011). La corrosión atmosférica en sistemas de transporte de energía eléctrica: modelo de vida útil y su remuneración en Colombia. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia* (59), 257-266. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43021205024>
17. Mora, L. (2009). *Mantenimiento, planeación, ejecución y control*. México D.F.: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.
18. Muñoz, J. (2017). *Guía para la determinación de la condición en puentes mediante inspección visual. XIV seminario de ingeniería estructural y sísmica*. San José, Costa Rica: Unidad de Puentes LanammeUCR.

19. Ospina, R. et al. (2011). *Aplicación y selección de ensayos no destructivos para la evaluación de uniones soldadas*. (U. t. Pereira, Ed.) *Scientia Et Technica*, XVI(48), 196-201. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84922622035>
20. Pancorbo, F. (2013). *Corrosión, degradación y envejecimiento de los materiales empleados en la edificación*. México D.F.: Alfaomega.
21. Pannoni, F. (s.f.). *Principios de protección de estructuras metálicas en situación de corrosión y fuego*. México D.F.: Instituto Mexicano de la Construcción en Acero IMCA.
22. Paumier, M., & Rizo, I. (2015). *Diseño experimental para la determinación de la corrosión atmosférica en la refinería Hermanos Díaz*. *Ciencia en su PC*(3), 72-84. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181342151006>
23. Pérez, J., & Gardey, A. (2019). *Obra civil*. Recuperado de <https://definicion.de/obra-civil/>
24. Pytel , A., & L. Singer, F. (1987). *Resistencia de materiales*. Oxford: Alfaomega.
25. Rey, F. (2001). *Manual del mantenimiento integral en la empresa*. Madrid, España: Fundación Confemetal.

26. Rosario, S. (2004). *Protección catódica-diseño de ánodos de sacrificio*. *Revista Instituto de investigación FIGMMG*, 7(13), 37-44.
Recuperado de <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/515/438>
27. Shkiliova, L., & Fernandez, M. (2011). Sistemas de mantenimiento técnico y reparaciones y su aplicación en la agricultura. *Revista Ciencias Tecnicas y Agropecuarias*, 1(20), 72-77.
28. Smith, W., & Hashemi, J. (2010). *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales* (Quinta ed.). México, D.F.: The McGraw-Hill Companies, Inc.
29. Takeuchi, C. (2007). *Conexiones en estructuras metálicas*. Colombia, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
30. Trujillo, G. (2003). *Monitoreo de condición - Una estrategia de Integración de Tecnologías*. 1er. Congreso Mexicano de *Confiabledad y Mantenimiento*, 1-9.

8. APÉNDICES

Apéndice 1. Reconocimiento y muestreo

Reconocimiento del lugar

Fecha de la visita _____
Investigador _____
Acompañantes _____

Información recopilada

1. Coordenadas de la ubicación

X _____
Y _____

2. Descripción de colindancias

Norte _____

Sur _____

Este _____

Oeste _____

Continuación del apéndice 1.

3. Estado social de la zona de muestreo

3.1. ¿La zona de extracción de piezas es privada?

Sí

No

3.2. ¿El área de muestreo se encuentra cerca o dentro de zonas urbanas?

Sí

No

3.3. ¿El área de muestreo se encuentra cerca de zonas industriales?

Sí

No

3.4. ¿ El área de muestreo se encuentra cerca del mar?

Sí

No

3.5. ¿El área de muestreo se encuentra cerca de carreteras principales y/o autopistas?

Sí

No

3.6. ¿Se puede acceder al lugar en automóvil?

Sí

No

3.7. ¿Se observan señales de vandalismo en el lugar?

Sí

No

4. Estado físico de las piezas

4.1. Condición visual de las piezas

Adecuada

Aceptable

Deteriorada

Mala

Pésima

Otro (¿cuál?)

Continuación del apéndice 1.

4.2. ¿El área donde se utilizan las piezas en un espacio confinado?

Sí

No

4.3. ¿Las piezas están constantemente expuestas a porcentajes de humedad alta?

Sí

No

4.4. ¿Las piezas están expuestas a altas temperaturas?

Sí

No

4.5. ¿En las piezas se observa presencia de corrosión?

Sí

No

4.6. Descripción de las condiciones encontradas de las piezas en análisis.

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Ensayos no destructivos**

INFORMACIÓN DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Fecha de pruebas _____
Investigador _____
Técnico _____
Laboratorio _____

INFORMACIÓN RECOPIADA

No. Pieza

| Radiografías | Líquidos Penetrantes |
|--|---|
| Equipo. _____ No. Serie. _____ Resultados: | Equipo. _____ No. Serie. _____ Resultados |

OBSERVACIONES

Empty box for observations.

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Ficha de resumen**

| Ficha de resumen | | | |
|--------------------|--|--|--|
| Fotografía | Nombre. _____ | | |
| | Material. _____ | | |
| Observaciones: | Años de existencia. _____ | | |
| | Tiempo de vida útil. _____ | | |
| | Corrosión identificada. <input type="checkbox"/> | Categoría de corrosión (ver tabla VI). | |
| | Localizada | Estado del material | |
| | Uniforme <input type="checkbox"/> | | |
| Naturaleza anexo 5 | Mecanismos anexo 5 | Apariencia anexo 5 | |

Tipo de limpieza sugerida. (ver anexo 3)

 Tipo de protección anticorrosiva sugerida. (ver anexo 4)

Fuente: elaboración propia.

9. ANEXOS

Anexo 1. **Categorías de ambiente, riesgo de corrosión (norma UNE EN ISO 14713)**

| Categoría de Corrosividad (ambientes) | | Riesgo de Corrosión |
|--|---|---------------------|
| C1 | Interior: Seco | Muy Bajo |
| C2 | Interior: condensación ocasional Exterior: rural en el interior del país | Bajo |
| C3 | Interior: humedad elevada, aire ligeramente contaminado Exterior: urbano en el interior del país o costero de baja salinidad | Medio |
| C4 | Interior: piscinas, plantas químicas, etc. Exterior: Industrial en el interior del país o urbano costero | Elevado |
| C5 | Exterior: industrial muy húmedo o costero de elevada salinidad | Muy Elevado |

Fuente: Pancorbo (2013). *Corrosión, degradación y envejecimiento de los materiales empleados en la edificación.*

Anexo 2. Resumen de acciones corrosivas

| Resumen de acciones corrosivas | | | |
|--------------------------------|--|--|--|
| Tipo | Ambiente | Agentes corrosivos preponderantes | Factores controlantes |
| Corrosión atmosférica | Industrial | Derivados del azufre, vapores amoniacales, agua, oxígeno | Humedad, partículas sólidas (aerosoles) |
| | Marino | Sales, alógenos en suspensión | Humedad, niebla salina |
| | Tropical | Humedad, anhídrido carbónico, vapores amoniacales | Ciclos de condensación, desarrollo de hongos |
| | Rural | Anhídrido carbónico, vapores amoniacales, nitratos | Humedad, bacterias |
| Corrosión acuosa | Ríos | Oxígeno, anhídrido sulfuroso, ácido sulfúrico, sales disueltas | Variables según polución |
| | Mares | Agua salada, animales y vegetales adheridos | Desembocadura de ríos y puertos |
| Corrosión galvánica | Por pilas de contacto entre metales diferentes | En todos los casos el efecto es análogo. Debido a la diferencia de concentración se produce una f.e.m. Que da lugar al paso de una corriente eléctrica, donde uno de los metales o zona del metal actúa como ánodo, disolviéndose y formando por lo general cráteres | 1ro. La f.e.m. Del par formado 2do. La condición más o menos activa o pasiva de los metales 3ro. La conductividad del electrodo 4to. La relación entre áreas anódicas y catódicas 5to. La geométrica de las piezas |
| | Por pilas de concentración salina | | |
| | Por pilas de concentración gaseosa | | |
| Corrosión mecánica | Presencia de tensiones mecánicas | Todos los que favorezcan la corrosión intercrystalina | La presencia de zonas con reparto desigual de tensiones |
| | Presencia de fricción con vibración | Desigualdad de metales en contacto. Presión de contacto. Frecuencia de vibración | Tipo de corrosión que se da en aviones y mecanismos análogos |

Continuación del anexo 2.

| | | | |
|-------------------|--------------------|--|---|
| Corrosión química | Lubricantes | Productos corrosivos generados por descomposición térmica de lubricantes o combustibles con ataque o formación de incrustaciones | Altas temperaturas. Presencia de metales catalizadores de la descomposición |
| | Combustibles | | |
| | Productos químicos | Ataque específico según la naturaleza del producto y del metal en contacto | Concentración Temperatura Agitación |

Fuente: Pancorbo (2013). *Corrosión, degradación y envejecimiento de los materiales empleados en la edificación.*

Anexo 3. Tipos de preparación de superficies

| Descripción | Sspc | Sis 055900 |
|--|-------|------------|
| Limpieza con solventes | Sp 1 | ---- |
| Limpieza manual | Sp 2 | St 2 |
| Limpieza motriz | Sp 3 | St 3 |
| Limpieza con llama y cepillado | Sp 4 | ---- |
| Chorro abrasivo metal blanco | Sp 5 | Sa 3 |
| Chorro abrasivo comercial | Sp 6 | Sa 2 |
| Chorro abrasivo brush off | Sp 7 | Sa 1 |
| Decapado | Sp 8 | ---- |
| Exposición ambiental y chorro abrasivo | Sp 9 | ---- |
| Chorro abrasivo metal casi blanco | Sp 10 | Sa 2 1/2 |

Fuente: Pannoni (s.f.). *Principios de protección de estructuras metálicas en situación de corrosión y fuego.*

Anexo 4. Directrices para la preparación superficial de sistemas de pinturas aplicadas en ambientes con diferentes agresividades

| Ambiente | Tipo | pintura | Capas | Espesor seco por capa (μm) | Espesor seco total (μm) | Costo | Expectativa de durabilidad | Observaciones |
|--------------|-----------------------------|---|-------------|---|--------------------------------------|-------|----------------------------|-----------------------------|
| Rural 1 | fondo y acabado | Alquidámica de doble función | 1 | 75 | 75 | Bajo | 3 – 6 | ---- |
| Rural 2 | fondo y acabado | Primer alquidámico Esmalte alquidámico | 1 2 | 40 40 | 120 | Medio | 4 – 7 | ---- |
| Rural 3 | fondo y acabado | Primer epóxico Esmalte epóxico | 1 2 | 40 40 | 120 | Medio | 6 – 9 | Calcina |
| Urbano 1 | fondo y acabado | Primer alquidámico Esmalte alquidámico | 2 2 | 40 40 | 160 | Bajo | 4 – 7 | ---- |
| Urbano 2 | fondo y acabado | Colores epoximástico | 1 | 120 | 120 | Medio | 6 – 9 | Calcina |
| Urbano 3 | fondo y acabado | Poliuretano de doble función | 2 | 70 | 140 | Alto | 7 – 10 | Resistente a la calcinación |
| Industrial 1 | fondo y acabado | Colores epoximástico | 2 | 125 | 250 | Medio | 6 – 9 | Calcina |
| Industrial 2 | fondo y acabado | Primer epóxico Esmalte epóxico | 1 2 | 75 100 | 275 | Medio | 6 – 9 | Calcina |
| Industrial 3 | fondo y acabado | Primer epóxico Esmalte poliuretano | 1 2 | 125 75 | 275 | Alto | 7 – 10 | Resistente a la calcinación |
| Marítimo 1 | fondo, intermedio y acabado | Primer etil-silicato de zinc Epóxico poliamida (tie coat) Esmalte poliuretano | 1 1 2 | 75 40 .75 | 265 | Alto | 8 – 12 | Resistente a la calcinación |
| Marítimo 2 | fondo, intermedio y acabado | Primer epóxico rico en zinc Esmalte epóxico Esmalte poliuretano | 1 1 1 | 75 125 75 | 275 | Alto | 7 – 11 | Resistente a la calcinación |
| Marítimo 3 | fondo y acabado | Primer Epóxico Esmalte Poliuretano | 2 1 | 125 50 | 300 | Alto | 6 – 10 | Resistente a la calcinación |

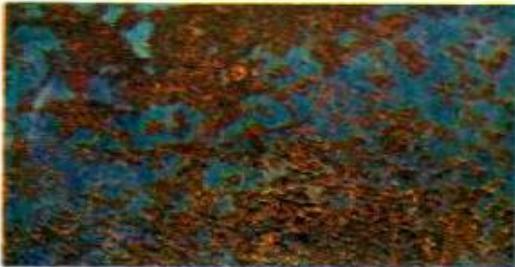
Fuente: Pannoni (s.f.). *Principios de protección de estructuras metálicas en situación de corrosión y fuego.*

Anexo 5. Clasificación de corrosión

| Tipos de corrosión | | |
|--|--|---|
| Por la naturaleza de la sustancia corroída | Por los mecanismos de corrosión | Por la apariencia del metal corroído |
| <p style="text-align: center;">Electroquímica</p> <p style="text-align: center;">Química</p> | <p style="text-align: center;">Por huella dactilar</p> <p style="text-align: center;">Por pila geológica</p> <p style="text-align: center;">Corrosión erosión</p> <p style="text-align: center;">Corrientes vagabundas</p> <p style="text-align: center;">Microbiana</p> | <p style="text-align: center;">Uniforme o general</p> <p style="text-align: center;">Atmosférica</p> <p style="text-align: center;">Localizada</p> <p style="text-align: center;">Hendiduras</p> <p style="text-align: center;">Picadura (pitting)</p> <p style="text-align: center;">Fricción (fretting)</p> <p style="text-align: center;">Cavitación</p> <p style="text-align: center;">Tensiones</p> <p style="text-align: center;">Exfoliación</p> <p style="text-align: center;">Intergranular</p> <p style="text-align: center;">Galvánica</p> |

Fuente: Pancorbo (2013). *Corrosión, degradación y envejecimiento de los materiales empleados en la edificación.*

Anexo 6. **Patrones fotográficos del grado de oxidación**

| Grados de corrosión norma 8501 | | |
|--------------------------------|---|--|
| Tipo | Imagen | Descripción |
| A |  | Superficie de acero revestido de calamina adherente y prácticamente sin corrosión |
| B |  | Superficie de acero con oxidación residual y donde la calamina empieza a desprenderse. |
| C |  | Superficie de acero cuya calamina ha desaparecido por la acción de la oxidación o que se puede eliminar raspando, pero con leves picadas visibles. |
| D |  | Superficie de acero cuya calamina ha desaparecido por acción de la corrosión y en la que se ven numerosas picaduras. |

Fuente: EN ISO 8501 (2011). *Protección anticorrosiva de estructuras de acero mediante pintura.*