



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

**ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS PARA
DISMINUIR LA CORROSIÓN EN TUBERÍAS
EXPUESTAS A AMBIENTES CORROSIVOS**

Autores:
Curvelo, Carlos
Villamediana, José

Urb. Yuma II, calle N°3. Municipio San Diego
Teléfono: (0241) 8714240 (master) – Fax: (0241) 8712394



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE MECÁNICA

**ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS PARA DISMINUIR LA
CORROSIÓN EN TUBERÍAS EXPUESTAS A AMBIENTES
CORROSIVOS**

Proyecto del Trabajo de Grado para optar al título de
INGENIERO MECÁNICO

Autores:
Curvelo, Carlos
C.I: 27.381.236
Villamediana, José
C.I: 27.501.683
Tutor: Ing. Donato Romanello

San Diego, Diciembre del 2021



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
COORDINACIÓN DE PASANTÍA Y TRABAJO DE GRADO

ACTA DE APROBACIÓN

INFORME FINAL DE PASANTÍA

TRABAJO DE GRADO

El jurado designado por la Facultad de Ingeniería para la evaluación del Informe Final de Pasantía o Trabajo de Grado titulado:

Análisis de alternativas para disminuir la corrosión en tuberías expuestas a ambientes corrosivos.

Realizado por el (la) Br. José Villamediana

C.I. N° 27501683 cursante de la carrera de Ing. Mecánica

hace constar después de analizar su contenido y oída la exposición oral, considera que el Informe Final o Trabajo de Grado ha obtenido la calificación de:

APROBADO

NO APROBADO

El Jurado

Romanells
Tutor Académico (Coordinador)
Nombre: Donato Romanells
C.I.: 4131877

Ortega
Jurado
Nombre: Luis Ortega
C.I.: 3476801

Barraza
Jurado
Nombre: Fredy Barraza
C.I.: 11.151.670

Fecha: 24 01/2022



[Signature]



ACTA DE APROBACIÓN

INFORME FINAL DE PASANTÍA

TRABAJO DE GRADO

El jurado designado por la Facultad de Ingeniería para la evaluación del Informe Final de Pasantía o Trabajo de Grado titulado:

Análisis de Alternativas para disminuir la corrosión en tuberías expuestas a ambientes corrosivos

Realizado por el (la) Br. Carlos Curvelo

C.I. N° 27381236 cursante de la carrera de Ing. Mecánica

hace constar después de analizar su contenido y oída la exposición oral, considera que el Informe Final o Trabajo de Grado ha obtenido la calificación de:

APROBADO

NO APROBADO

El Jurado

[Signature]

Tutor Académico (Coordinador)

Nombre: Donat Romanello
C.I.: 4131877

[Signature]

Jurado

Nombre: Juis Astega
C.I.: 3476801

[Signature]

Jurado

Nombre: Fredy Baragan
C.I.: 11151673

Fecha: 24/01/2022



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
DECANATO DE INGENIERÍA



FI-N-001-2021-1CR-TG

Valencia, 15 de noviembre de 2021

Ciudadanos:
Curvelo López, Carlos Daniel
C.I. 27.381.236
Villamediana García, José Gerardo
C.I. 27.501.683
Presente -

Cumplo con informarle que la comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° 6-2021 de fecha 15/10/2021 aprobó el proyecto de grado titulado:

Análisis de alternativas para disminuir la corrosión en tuberías expuestas a ambientes corrosivos.

Presentado por ustedes como requisito para optar al título de Ingeniero Mecánico

Se ratifica la designación del Tutor Académico que los asesorará en el desarrollo de este proyecto a:
Ing. Donato Romanello Lombardi, titular de la cédula de identidad V-4.131.877



Atentamente

Dr. Francisco Gelanzé Sevilla.
Decano de Ingeniería

c.c. Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**CONSTANCIA DE APROBACIÓN PARA LA PRESENTACIÓN
PÚBLICA DEL TRABAJO DE GRADO**

Mediante la presente hago constar que he leído el Proyecto de Trabajo de Grado elaborado por los ciudadanos Curvelo Carlos portador de la cédula de identidad N° 27.381.236 y Villamediana José, portador de la cédula de identidad N° 27.501.683, titulada **ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS PARA DISMINUIR LA CORROSIÓN EN TUBERÍAS EXPUESTAS A AMBIENTES CORROSIVOS**, presentado como requisito parcial para optar al título de **INGENIERO MECÁNICO** considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, a los 10 días del mes de Enero del año dos mil veintidós.

Ing Donato Romanello
C.I.:

DEDICATORIA

A mis Padres, Alberto y Emilia, por siempre estar allí apoyándome en cada una de mis decisiones y ser mi fortaleza, por guiarme y ser mi ejemplo de vida.

A mi hermano Juan por ser mi compañero, mi apoyo, mi amigo. A mi hermana Daniela por apoyarme y quererme siempre, a Manuel Emilio por estar cada vez que lo necesitaba.

A mi gran familia por ser ejemplo de unión.

A mi novia por juntos vivir esta etapa universitaria y acompañarme en todo momento.

Al Ing. Alberto que desde el inicio de mi carrera me formo otorgando tiempo y conocimientos de manera incondicional.

A todos los que me apoyaron a materializar esta meta.

Simplemente gracias.

Carlos Curvelo

Dedico con todo mi corazón mi tesis a mis padres y mi esposa pues sin el apoyo de ellos no lo hubiese logrado. Su apoyo y verlos todos los días al despertar me dieron fuerza para seguir en esta carrera aún en los momentos más difíciles. Por eso este trabajo es dedicado a ustedes como ofrenda de su paciencia y amor.

Dedico también este logro a Dios y a la escuela de Ingeniería Mecánica UJAP por motivarme cada día a ser mejor estudiante y ahora a ser mejor profesional.

Dedico este logro a mis abuelas por ser parte de mi formación como profesional brindándome consejos y motivación desde el inicio.

Gracias por ser mi motivación durante este largo tiempo.

José Villamediana

AGRADECIMIENTOS

A Dios Todopoderoso por permitirme con salud cumplir esta etapa de mi vida.

A mi tutor académico Ing. Donato Romanello, por aportar todos sus conocimientos y asesoría para la realización de este trabajo de grado y contribuir con sus conocimientos en nuestra formación durante toda la carrera.

A la universidad José Antonio Páez, por haberme formado con las mejores herramientas de estudio.

A todos los profesores que forman parte de la escuela de Ingeniería Mecánica, con especial gratitud a los ingenieros Donato Romanello, Luis Ortega, Giovanni Pizzella y Alicia De Pizzella que con dedicación y convicción comparten sus conocimientos para formarnos como profesionales.

A mis compañeros de estudio por junto a mi cumplir la meta.

Carlos Curvelo

En primera instancia agradezco a Dios y a la Universidad por haberme brindado estos cuatro años de grandes experiencias. Mi gratitud también a la Escuela de Ingeniería Mecánica, mi agradecimiento sincero al tutor de mi tesis Donato Romanello, gracias por dedicarnos su tiempo y esmero para hacer de esta tesis un objetivo alcanzado.

A los profesores Giovanni Pizzella y Alicia Pizzella por ser unos excelentes formadores, personas de gran sabiduría quienes fueron pilares importantes para seguir este camino.

A mi amigo y compañero Luis Rumbo por ser incondicional en este trayecto.

Hago mención especial en este agradecimiento a mis padres, Gerardo Villamediana y Doreimys Garcia, a mi esposa Julcary Ramos y a mi compañero de tesis por haber sido un apoyo incondicional para lograr esta meta.

Agradezco también a mis compañeros Aldo Fernández, Igor Fernández, Pedro Velásquez y Pedro Salazar por acompañarme en este camino.

José Villamediana

ÍNDICE

	Pp
ÍNDICE DE CUADRO	
ÍNDICE DE TABLA	
RESUMEN	
INTRODUCCIÓN	
 CAPÍTULO	
 I EL PROBLEMA	
1.1 Planteamiento del Problema.....	3
1.2 Formulación del Problema.....	4
1.3 Objetivos de la Investigación.....	4
1.3.1 Objetivo General.....	4
1.3.2 Objetivos Específicos.....	4
1.4 Justificación.....	4
1.5 Alcance del proyecto.....	6
1.6 Limitaciones del proyecto.....	6
 II MARCO TEÓRICO	
2.1 Antecedentes.....	8
2.2 Bases Teóricas.....	9
2.2.1 Corrosión.....	9
2.2.2 Tipos de Corrosión.....	10
2.2.2.1 Corrosión generalizada.....	10
2.2.2.2 Corrosión galvánica.....	10
2.2.2.3 Corrosión localizada.....	11
2.2.2.4 Corrosión por picadura.....	11
2.2.2.5 Corrosión por fisura.....	11
2.2.2.6 Corrosión por grietas.....	12
2.2.2.7 Corrosión por cavitación.....	12
2.2.2.8 Corrosión microbológica.....	12
2.2.2.9 Corrosión por aireación diferencial.....	13
2.2.2.10 Corrosión Intergranular.....	13
2.2.2.11 Corrosión seca.....	13
2.2.2.12 Corrosión gaseosa.....	13
2.2.2.13 Corrosión bajo tensión.....	14
2.2.3 Corrosión en soluciones acuosas.....	14
2.2.3.1 Termodinámica de la corrosión acuosa.....	15
2.2.4 Corrosión atmosférica.....	17
2.2.4.1 Factores que afectan la corrosión atmosférica..	18

2.2.4.2	Influencia de la contaminación atmosférica en los procesos de corrosión.....	18
2.2.4.3	Los principios contaminantes que afectan la velocidad de corrosión.....	19
2.2.5	Factores que influyen en la corrosión.....	23
2.2.5.1	Acidez de la solución (Ph)	23
2.2.5.2	Sales disueltas.....	23
2.2.5.3	Capas protectoras.....	23
2.2.5.4	Velocidad de flujo.....	24
2.2.5.5	Gases disueltos.....	24
2.2.5.6	Efectos de la temperatura.....	24
2.2.5.7	Potencial.....	25
2.2.5.8	Efectos biológicos.....	25
2.2.6	Consecuencias de la Corrosión en Tuberías.....	26
2.2.7	Alternativas para el Control y Prevención de la corrosión.....	26
2.2.7.1	Modificación del diseño.....	27
2.2.7.2	Modificación del medio corrosivo.....	27
2.2.7.3	Selección de materiales.....	28
2.2.7.4	Protección anódica.....	29
2.2.7.5	Protección catódica.....	29
2.2.7.6	Protección mediante recubrimientos.....	31
2.2.7.7	Consideraciones de ingeniería.....	34
2.2.7.8	Tratamientos químicos.....	35
2.3	Definición de términos Básicos	36

III MARCO METODOLÓGICO

3.1	Tipo de Investigación.....	38
3.2	Diseño de Investigación	38
3.3	Nivel de la Investigación.....	38
3.4	Población y Muestra.....	38
3.4.1	Población.....	38
3.4.2	Muestra.....	39
3.5	Técnicas de Recolección de datos.....	39
3.6	Instrumentos utilizados en la recolección de datos.....	40
3.7	Fases Metodológicas	41

IV RESULTADOS

4.1	Diagnosticar las variables que causan los diferentes tipos de corrosión para indicar su contribución al proceso corrosivo.....	44
4.1.1	La acidez de la solución.....	46
4.1.2	Alta concentración de sólidos disueltos y conductividad eléctrica (sales disueltas).....	47
4.1.3	La concentración de oxígeno.....	48

4.1.4	La temperatura.....	49
4.1.5	Velocidad de flujo.....	49
4.2	Determinar la materias primas y ensayos a utilizar en los métodos a aplicar para la reducción del efecto corrosivo.....	52
4.2.1	Protección Catódica.....	53
4.2.2	Ánodos Galvánicos (Ánodos de sacrificio).....	56
4.2.3	Ánodos de magnesio.....	56
4.2.4	Ánodo de Zinc.....	57
4.2.5	Ánodo de aluminio.....	58
4.2.6	Recubrimientos y revestimientos contra el efecto corrosivo.	58
4.2.7	Pinturas.....	60
4.2.7.1	Pintura o resina Epóxica.....	62
4.2.7.2	Pigmentos.....	63
4.2.7.3	Pigmentos derivados de Fosfatos.....	64
4.2.8	Recubrimiento con Mortero.....	64
4.2.8.1	Mortero de Cal.....	65
4.2.8.2	Mortero de Arena.....	65
4.2.8.3	Mortero de Yeso.....	65
4.2.8.4	Mortero de Cemento.....	66
4.2.9	Pruebas y ensayos para Corrosión.....	66
4.2.9.1	Prueba ASTM D610 Niebla Salina.....	67
4.2.9.2	ASTM G1 Evaluación del daño de la Corrosión...	67
4.2.9.3	Método de pérdida de peso.....	68
4.2.9.4	Resistencia eléctrica.....	68
4.2.9.5	Prueba de corrosión en atmósfera urbana.....	69
4.2.9.6	Pruebas de corrosión en atmósfera húmeda.....	69
4.2.10	Métodos electroquímicos.....	69
4.3	Evaluar los métodos de inhibición por el efecto corrosivo en tuberías para identificar la mejor alternativa.....	71
4.3.1	Protección Catódica por medio del ánodo de sacrificio.....	71
4.3.2	Recubrimiento con pigmentos epóxicos tanto para tuberías externar como tuberías enterradas.....	76
4.3.3	Para tuberías de Conducción aéreas en superficies exteriores	77
4.3.4	Tuberías de Conducción enterradas.....	77
4.3.5	Vida útil del mortero estimada a través del modelo de difusión de cloruros.....	78
4.4	Realizar un análisis técnico y financiero que permita la selección de la mejor alternativa para aminorar los efectos de corrosión.....	79
4.4.1	Estudio de la Factibilidad Técnica económica del Sistema de Protección catódica.....	79
4.4.2	Factibilidad técnica del sistema de recubrimiento epóxico...	84
4.4.3	Factibilidad económica sistema de recubrimiento epóxico...	86
4.4.4	Factibilidad técnica del sistema de recubrimiento a través de morteros.....	89
4.4.5	Análisis Financiero método de Protección con Morteros.....	91

CONCLUSIONES.....	108
RECOMENDACIONES.....	111
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	112

ÍNDICE DE FIGURA

FIGURA

1	Transporte de electrones en una solución acuosa.....	16
2	Relación entre la corrosión atmosférica y el espesor de la capa del electrolito.....	18
3	Relación de la velocidad de corrosión del hierro con la contaminación y la humedad atmosférica.....	19
4	Motivos de condensación de agua sobre una superficie metálica cuando la HR está por debajo del 100 por 100.....	22
5	Circuito de protección catódica por corriente impresa. b) Diagrama de polarización por protección catódica.....	30
6	Textura de una chapa pintada.....	31
7	Protección: a) con metal anódico de sacrificio, y b) con metal noble.....	33
8	Características corrosivas de la región según la norma ISO 9223...	50
9	Representación de una celda electroquímica.....	45
10	Porcentajes de desgaste.....	59
11	Sección transversal de un sistema de pintura multicapa.....	61

ÍNDICE DE TABLA

TABLAS

1	Metales que se usan en medios corrosivos.....	29
2	Contribución de las variables evaluadas a la velocidad de corrosión.....	52
3	Fuerza electromotriz de metales.....	55
4	Serie galvánica práctica.....	56
5	Recomendación de ánodos de sacrificio según la resistividad del medio.....	57
6	Clasificación de los recubrimientos.....	59
7	Características de la resina Epóxica.....	63
8	Tipos de fosfatos.....	64
9	Tipos de revestimientos.....	72
10	Densidad de corriente.....	73
11	Aleaciones.....	74

12	Valor de consumo.....	76
13	Costo de mano de obra por día para una cuadrilla de 5 trabajadores	80
14	Método de Cálculo del costo de mano de obra total para protección catódica.....	81
15	Precio de algunos materiales según la empresa Corpro INC.....	81
16	Costo de mano de obra en la instalación.....	83
17	Costo total de materiales MACOLLA 26.....	83
18	Ejemplo comparativo realizado por Tamayo.....	84
19	Costo del Recubrimiento Seleccionado.....	88
20	Dosificación revestimiento exterior.....	90
21	Costo de los materiales a utilizar para preparar el recubrimiento...	91
22	Costo de Construcción del molde de encofrado.....	91
23	Modelo de encuesta para estimar la factibilidad técnica.....	92
24	Condiciones de superficie y grados de corrosión.....	93
25	Condiciones de superficie para superficies previamente pintadas...	94
26	Determinación del método de limpieza.....	95
27	Grados de limpieza de contaminantes visibles y no visibles con chorro abrasivo húmedo.....	96
28	Grado de limpieza de contaminantes visibles que se logran con chorro de agua a alta y ultra alta presión.....	96
29	Descripción de la limpieza de la superficie.....	97
30	Grados de limpieza.....	98
31	Restricciones en métodos de limpieza, con o sin el uso de abrasivo.	99
32	Condiciones mínimas para determinar un sistema de protección anticorrosiva.....	100
33	Espesores mínimos de los sistemas de protección anticorrosiva...	101



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE MECÁNICA

ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS PARA DISMINUIR LA CORROSIÓN EN TUBERÍAS EXPUESTAS A AMBIENTES CORROSIVOS

Autores:

Curvelo, Carlos

Villamediana, José

Tutor: Ing. Donato Romanello

Fecha: Julio, 2021

RESUMEN INFORMATIVO

El principal objetivo de esta investigación, fue evaluar la mejor alternativa que disminuya los efectos de la corrosión en los sistemas de tuberías, dado que las fallas conllevan a fugas que producen altos costos a la empresa. A partir a partir de una investigación documental bibliográfica y tomando en cuenta que es un proyecto factible. Esta evaluación se basó en la comparación de tres diferentes métodos. En la protección catódica se estudiaron los ánodos de sacrificio en general. En el caso de las pinturas como recubrimiento, se caracterizaron de dos tipos; una pintura epoxi y otra la cual presenta pigmentos como refuerzo a base de fosfatos. Por último, se estudió el revestimiento de mortero como recubrimiento con y sin la inclusión de aditivos en la mezcla. Para dar inicio a la escogencia de la mejor alternativa, se caracterizaron teóricamente las materias primas y sus propiedades más relevantes, con el fin de contextualizar su función en cada una de las opciones analizadas. Por otro lado, se analizaron distintos estudios referentes a los métodos de protección, teniendo como objetivo relacionar datos experimentales con la durabilidad, para diagnosticar las variables que causan los diferentes tipos de corrosión en tuberías metálicas y así establecer cuál de ellas es la más crítica y al final realizar un análisis técnico-financiero que permita la selección más favorable, para proponer una solución viable para el sistema evaluado. El presente trabajo de investigación está enmarcado en la línea de investigación: Gestión ambiental, hábitat y vivienda.

Descriptor: Corrosión, Tuberías Metálicas, Mortero, Protección Catódica, Pinturas.

INTRODUCCIÓN

Actualmente el transporte de fluidos de trabajos en tuberías se ha vuelto un método muy concurrido por diferentes industrias de producción de materia prima como de destilación de la misma, a través de los años han adecuado distintos planes de prevención y mantenimiento contra los ataques químicos y electroquímicos que se puedan presentar en estas instalaciones. La corrosión en estas instalaciones representa grandes pérdidas a causa de condiciones inseguras o simplemente una falla que corregir, así como económicamente al tener que reemplazar piezas por el daño que causa este fenómeno electroquímico.

El desarrollo de este trabajo de investigación está enfocado en el razonamiento y solución de los cuatro (4) objetivos específicos que se plantean.

En el primer objetivo comprende el diagnóstico de las variables que generan los distintos tipos de corrosión que existen en estas instalaciones, así como analizar el medio donde se encuentra y a partir de estos, poder indicar su contribución al proceso corrosivo dependiendo del material y los tipos de métodos de prevención utilizados.

El segundo objetivo se enfoca en los ensayos que se realizarán para determinar cuáles son los métodos más efectivos para la reducción de este fenómeno electroquímico, partiendo desde la base de que ya existen estudios realizados acerca de estos ensayos logrando tener así una ficha técnica y bibliográfica bastante extensa de donde nos podremos apoyar a lo largo de nuestra investigación.

El tercer objetivo comprende la evaluación de una comparativa entre los diferentes métodos de inhibición para así lograr identificar la mejor alternativa y plantear como una solución directa al problema que planteamos.

En el objetivo final comprende un estudio técnico-económico de cada método para la elección de la alternativa más viable.

Capítulo I: El Problema, se presenta el planteamiento del problema, y se establecen los objetivos que definen el estudio, tanto el general, como específicos, así como también se indica la justificación de la investigación, así como se presenta el alcance y limitaciones del estudio.

Capítulo II: Marco Teórico, en él se presentan los antecedentes de la investigación, referidas a investigaciones previas, las cuales guardan relación con el tema, además de las bases teóricas que fortalecen la investigación y un por último la definición de los términos relacionados con el tema.

Capítulo III: Marco Metodológico, en este capítulo se muestra el tipo, diseño y nivel de la investigación, y se define los lineamientos de una investigación documental bibliográfica. Además, se detallan las técnicas de recolección de datos que se utilizarán, identificando la población y muestra, los procedimientos y fases requeridas para el logro de los objetivos planteados

Capítulo IV Resultados, conclusiones y recomendaciones

En este capítulo a partir de las fases metodológicas se presentan los resultados obtenidos durante el desarrollo de los objetivos específicos hasta la consecución del objetivo general. Además, también se plantean las conclusiones generadas por dichos resultados y se realizan una serie de recomendaciones para realizar una evaluación que se adapte fielmente a los resultados obtenidos en esta investigación.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del Problema

La corrosión es una de las principales razones del daño y falla de las tuberías enterradas, sumergidas o expuestas a diferentes condiciones ambientales afectando el mantenimiento en los sistemas y por tanto se considera un factor clave para la operatividad de las industrias, dado que si no se controla se pueden generar costos innecesarios asociados al mantenimiento, reparación o reemplazo de las instalaciones, afectando así las estructuras tanto de interés público como privado, al ambiente y colocando en riesgo la seguridad pública.

En cualquier sistema de tuberías, existe una variedad de factores que operan solos o juntos que tendrán un efecto en la tasa de corrosión que se produce en una tubería y, por lo tanto, en su vida útil.

Según Kehr, A. (2018) “Todos los sistemas de tuberías tienen susceptibilidades específicas, amenazas precisas de corrosión, esquemas y fallas de ingeniería, y necesidades de mantenimiento”. Dependiendo del grado de incidencia de los factores que causan la corrosión, los sistemas de tuberías mostraran signos de desgaste en muy corto plazo de su instalación afectando la operatividad. Entre los problemas por corrosión, una proporción significativa está relacionada con los sistemas de tuberías que se emplean para el transporte de fluidos corrosivos o no, gases, minerales como petróleo, entre otros fluidos, todos ellos expuestos a ambientes que ocasionan fugas de fluidos, y daños en las estructuras.

La problemática generada por los procesos corrosivos genera un efecto en cascada que abarca repercusiones tanto en las operaciones, en el ámbito económico y en la seguridad de los procesos productivos lo que genera la necesidad de planes de acción para mitigar estos efectos.

1.2 Formulación del Problema

De acuerdo al planteamiento del problema se busca evaluar la mejor alternativa, que disminuya los efectos de la corrosión en los sistemas de tuberías dado que los gastos de estas fallas conllevan a altos costos en las empresas y a fugas de fluidos; por lo cual surge la siguiente interrogante, ¿la evaluación y análisis de los métodos de protección en las tuberías para mitigar los efectos de la corrosión permite la selección de la alternativa más viable técnica y económicamente para su uso en la protección de las tuberías?

1.3. Objetivos de la Investigación

1.3.1. Objetivo General

Evaluar teóricamente diferentes alternativas que inhiban la corrosión en tuberías sometidas a ambientes agresivos.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Diagnosticar las variables que causan los diferentes tipos de corrosión para indicar su contribución al proceso corrosivo.
- Determinar las materias primas y ensayos a utilizar en los métodos a aplicar para la reducción del efecto corrosivo.
- Evaluar los métodos de inhibición por el efecto corrosivo en tuberías para identificar la mejor alternativa.
- Realizar un análisis técnico y financiero que permita la selección de la mejor alternativa para aminorar los efectos de corrosión.

1.4. Justificación

La corrosión es uno de los problemas más frecuentes que enfrenta la industria actualmente. De las fallas que ocurren en las operaciones de la industria, la más importante es la corrosión y si esta no se controla, puede producir costos innecesarios asociados con el mantenimiento, reparación o reemplazo de las instalaciones. Para atacar el fenómeno de corrosión es fundamental, caracterizar los fluidos mediante un análisis fisicoquímico, conocer las condiciones operacionales y las variables con más influencia en el mecanismo de corrosión, ya que con esta información se tomarán medidas para que se puedan controlar los efectos en las tuberías.

Es por esto que esta investigación tiene como objetivo principal plantear métodos y/o alternativas que mitiguen este fenómeno que afecta tanto técnica como económicamente las empresas que utilizan las tuberías para el transporte de fluidos, y que a su vez permitirá prevenir accidentes por parte de grandes explosiones, debido a elevadas presiones a la que fluye muchas veces los fluidos y traerá consigo un aumento en la vida útil de las tuberías.

Por ello se busca estudiar la alternativa más viable desde el punto de vista costo beneficio que permita a una empresa dependiendo del tipo de tubería que utilice en sus sistemas definir el método de protección que reduzca los efectos de la corrosión; por lo cual se analizará en este caso las formas de corrosión existente en las tuberías con su respectiva solución para que no exista pérdidas de producción instalación industrial, dando un avance importante al mantenimiento de tuberías a causa de un fenómeno común, como es la corrosión.

Por ello esta investigación permitirá a partir de la selección de alternativas disminuir los efectos corrosivos en las tuberías ubicadas en diferentes tipos de ambientes, con base al análisis de diferentes métodos y a la satisfacción de las necesidades frente a la problemática establecida, además se tendrá en cuenta que la opción a escoger estará intrínsecamente relacionada con factores técnicos y financieros. En este caso, existen diversas alternativas que mitigan este acelerado ataque corrosivo en las tuberías por los componentes que a su paso desgastan el material por medio de perforaciones en las cuales penetran la tubería y generan daños irremediables en ella.

Estas alternativas están relacionadas con métodos ya existentes como lo son la protección catódica, los recubrimientos con pinturas especiales y recubrimientos de mortero u hormigón con la inclusión de aditivos, por lo tanto, es de mucha importancia realizar esta investigación para dar propuestas a las empresas tanto públicas como privadas de las alternativas más viables que disminuyan los efectos de la corrosión.

La evaluación de los métodos existentes para la protección de estructuras contra la corrosión permitirá entender mejor el proceso corrosivo bajo las condiciones particulares evaluadas con lo que se podrán crear registros históricos que serán punto de partida para futuras investigaciones ya sea para mejorar dichos métodos o para crear

nuevos métodos anticorrosivos. Igualmente, el análisis de los métodos de protección contra la corrosión permite la generación de actividades prácticas dentro de las aulas educativas estableciendo metodologías para analizar múltiples combinaciones entre condiciones ambientales y sistemas de tuberías y así conocer como los distintos métodos de protección se adaptan a dichas combinaciones.

Por otra parte, el análisis de la acción, efectividad y tiempo de vida útil de los distintos métodos contra la corrosión en conjunto proporcionara un punto de vista más amplio a la hora de diseñar nuevos métodos de protección o para establecer parámetros de referencia para la síntesis de nuevos aditivos anticorrosivos.

1.5. Alcance y Limitaciones

1.5.1. Alcance

La presente investigación estará dirigida a analizar las diferentes alternativas existentes para disminuir los efectos de la corrosión en las tuberías usadas en diferentes tipos de industria y expuestas a ambientes altamente corrosivos, para así determinar a partir de uso de tres métodos de protección y de diferentes tipos de tuberías cual será la alternativa más viable para proteger las tuberías de los procesos corrosivos.

1.5.2. Limitaciones

Los obstáculos que se puedan presentar para efectuar la investigación están relacionados con la consecución de las materias primas que se debe analizar y categorizar para la aplicación de los diferentes métodos, así como las dificultades para el acceso a los laboratorios en la universidad que permitan efectuar los ensayos de los métodos propuestos, dada la forma de operatividad de la universidad actualmente por el efecto pandemia. Considerar lo amplio del campo de estudio, es decir las múltiples combinaciones que se pueden llevar a cabo entre el medio, el tipo de corrosión, el tipo de recubrimiento, etc.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

El presente trabajo está enfocado en el análisis de alternativas para inhibir la corrosión en tuberías que se ven afectadas por ambientes corrosivos, donde se plantea desde la perspectiva de los métodos de inhibición de corrosión ya conocidos el análisis de alternativas para disminuir los efectos de la corrosión , añadiendo algunas variantes con el fin de analizar el impacto de la corrosión en tuberías, ya que estas al transportar fluidos, además de materiales en ambiente de trabajo son las estructuras más afectadas por este fenómeno llamado corrosión. Por todo lo dicho anteriormente, se revisó la bibliografía acerca del tema y se presentan los siguientes antecedentes:

Orellana G Luis H,(2017) en su trabajo de grado titulado, **“Estudio de los Mecanismos de Corrosión presentes en los pozos productores con alto potencial de producción del campo operacional perteneciente al Distrito San Tome, Estado Anzoátegui, Venezuela”**, para la Universidad Central de Venezuela y optar al título de Ingeniero Químico, cuyo objetivo era evaluar el porqué de las fallas ocurridas en las tuberías en un periodo de tiempo desde el 2006 al 2009: Esta investigación sirve como referencia ya que se establecen modelos que identifican el efecto de agentes corrosivos comunes en tuberías enterradas y como los sulfuros y el dióxido de carbono atacan los recubrimientos protectores, dando referencia además de los tiempos sobre los cuales se presentan los daños por corrosión.

Así mismo, Segovia F y Landaeta A, en el año 2017 realizaron una tesis sobre **“Simulación de un Proceso para el Diseño de Protección Catódica con Ánodos de sacrificio utilizando Matlab”** en la Universidad José Antonio Páez para optar por el título de Ingeniero Mecánico, donde establecieron como objetivo general desarrollar una simulación en Matlab para el diseño de protección catódica mediante la utilización de ánodos de sacrificio. A partir de esta investigación se logró verificar los parámetros críticos establecidos para el método de protección catódica, encontrando además el los

pasos mínimos necesarios para realizar una instalación exitosa lo cual ayuda a disminuir los requerimientos técnicos del método.

También, Amaya O, Sonia E y Astrid C, en el año 2020 efectuaron una tesis sobre **“Selección de Alternativas para retrasar la corrosión en tuberías”** en la Universidad de América en Bogotá, Colombia para obtener el título de Ingeniero Químico. Esta investigación sirvió de apoyo metodológico, para sustentar la generación de un nuevo modelo de evaluación y comparación de métodos de protección contra la corrosión, además de ayudar en el desarrollo de los indicadores que permiten relacionar a los métodos evaluados entre sí.

2.2. Bases teóricas

A los fines de estructurar la información conceptual y teórica que permita la elaboración del trabajo de grado, se definen los conceptos básicos, sobre corrosión, así como sus tipos, factores que intervienen en la corrosión, así como diferentes metidos e inhibidores que permiten mitigar los efectos de la corrosión para poder así evaluar y comparar en el transcurso del desarrollo de la investigación las alternativas que mitigan los efectos corrosivos.

2.2.1 Corrosión

Se denomina Corrosión al proceso de deterioro de materiales metálicos, mediante reacciones químicas y electroquímicas, por lo tanto, se considera un fenómeno natural y espontáneo que afecta a los metales a una velocidad que depende de la reacción del metal con la temperatura, así como de otras propiedades de los elementos involucrados a condiciones de salinidad., por lo tanto, es un proceso de carácter químico donde intervienen principalmente tres factores. El elemento corroído, el ambiente y generalmente el agua.

Sin embargo, existen otras sustancias corrosivas que producen corrosión sobre todo a aquellos elementos que están expuesto a ambientes abierto como piezas arquitectónicas o de construcción. Por tanto, todos los metales son susceptibles de corroerse, éntrelos que podemos citar al hierro, el acero y otros son más nobles ante la corrosión como el paladio, la plata, platino y oro, de allí su alto valor.

Saavedra, Manuel, (1994), establece que “siempre que la corrosión este originada por reacción química, la velocidad a la que tiene lugar dependerá en alguna medida de la temperatura y de la concentración de los reactivos y de los productos.” en su libro sobre Fundamento y Ciencia de los Materiales (p.409).

2.2.2 Tipos de Corrosión

Los diferentes tipos de corrosión existente dependen de la naturaleza del material y de las condiciones a que estén expuesto, por lo que se podría identificar muchas formas de corrosión, pero todas se encuentran interrelacionadas. Se citan en estos tipos de corrosión porque son los que se suelen presentar con mayor frecuencia.

2.2.2.1 Corrosión Generalizada

Es aquella corrosión que se produce de forma homogénea en toda la superficie del material, deteriorándolo completamente y produciendo la pérdida total del mismo, por lo tanto, es fácil de detectar, predecir y controlar. Se produce en materiales de tipo industrial sobre todo en el área de la construcción, como hierro no aleado con otros materiales inoxidables como el níquel y el cromo.

La velocidad de la corrosión es alta en este tipo de corrosión producida por impurezas y fases distintas del material, que hacen cambiar la energía formando electrodos a pequeñas escalas y propiciando la corrosión.

2.2.2.2 Corrosión Galvánica

Ocurre cuando existe una unión física o eléctrica, entre metales de diferentes naturalezas y que, en presencia de un electrolito, forman una celda electroquímica, donde el material que tienen menor potencial electroquímico se corroe, dándose una relación importante entre la zona de contacto con el material que se corroe porque a mayor relación del ánodo en relación al cátodo la velocidad de corrosión será mayor.

Como ejemplo de este tipo de corrosión es en tuberías de acero y cinc, cuando el acero es recubierto por cinc, para protegerlo este se corroe protegiendo al acero dado que el cinc constituye el ánodo y el acero es el cátodo.

2.2.2.3 Corrosión Localizada

La corrosión localizada, al contrario de la corrosión uniforme, representa un mayor riesgo potencial, debido a su difícil detectabilidad ya que se manifiesta en zonas

específicas en el material, determinadas tanto por la naturaleza del material, la geometría de este, y las condiciones del medio al que se somete. Los procesos de corrosión localizada de mayor ocurrencia son galvánicos, por fisura, por picaduras, por cavitación y microbiológica.

2.2.2.4 Corrosión por Picadura

Conocida también como pitting se genera en materiales pasivados y la forma de ataque corrosivo es localizado produciendo agujeros pequeños en el metal, y es un tipo de corrosión muy destructiva para las estructura en ingeniería por que produce perforaciones en el metal, y porque son muy difíciles de detectar por que como son hoyos muy pequeños suelen ser tapados por productos para la corrosión, siendo en muchas ocasiones difíciles de evaluar y pueden pasar largos periodos de tipo para producir un daño extenso, porque cuando se inicia, la velocidad de la corrosión es alta produciendo otros efectos de heterogeneidad del material y en el agujero las diferencias de concentraciones de iones y oxígeno crean celdas de concentración que producen perforaciones.

2.2.2.5 Corrosión por Fisura

Es muy parecida a la corrosión galvánica y se origina en zonas estrechas donde la concentración de oxígeno es menor al resto del sistema y entonces la baja concentración de oxígeno actúa como un ánodo, originando la corrosión.

2.2.2.6 Corrosión por Grietas

Es una forma de corrosión electroquímicamente localizada que puede producir en hendiduras en el metal y bajo superficies protegidas y por lo general se produce en muchas aleaciones como el acero inoxidable y aleaciones de titanio, aluminio y cobre.

En este tipo de corrosión la grieta debe ser ancha para permitir que se introduzca el líquido y estrecha para que se quede estancando produciendo el efecto corrosivo, entonces las juntas fibrosas actúan como, mechas para absorber la solución electrolítica y así mantenerlo en contacto con la superficie metálica.

2.2.2.7. Corrosión por Cavitación

Este tipo de corrosión ocurre en los sistemas de transporte de líquidos, donde debido a cambios de presión en el sistema, se originan flujos turbulentos que producen

burbujas de aire que originan implosiones contra el material del sistema, ocasionando deterioro y facilitando la corrosión, como por ejemplo los daños en los impulsores de una bomba y propulsores de un barco.

2.2.2.8 Corrosión Microbiológica

La corrosión microbiológica, en realidad no es un tipo de corrosión en sí, sino que más bien es un fenómeno que facilita el desarrollo de otros procesos de corrosión. Las bacterias son los microorganismos más influyentes en este caso, por lo que también es conocida como corrosión bacteriana y se produce en sistemas de transporte de líquido, facilitando la corrosión por picaduras.

La naturaleza del líquido que se transporta en estos sistemas, propicia la acumulación y reproducción de bacterias, las cuales se aglomeran, y propician las condiciones, como variación en la concentración de sales y oxígeno, para que se desarrollen otros procesos de corrosión como el pitting.

En esta variedad de corrosión, las bacterias que existen en el suelo ejercen un papel fundamental ya que producen una corrosión aerobia o anaerobia según las bacterias precisen la presencia o ausencia de oxígeno respectivamente.

La corrosión anaerobia es la más grave de las corrosiones originadas por microorganismos, entre éstas tenemos las bacterias *Desulfovivrio/Desulfuricans* que utilizan hidrógeno para reducir los sulfatos, lo cual da a lugar la formación del ácido sulfhídrico que posteriormente reacciona con el hierro para obtener sulfuro ferroso, requieren un pH favorable de 5,5 a 5,8 y nutrientes.

2.2.2.9 Corrosión por Aireación Diferencial

Este tipo de corrosión se debe a que la superficie del metal está expuesta a un electrolito que posee aireación variable. Esta variación en la aireación obedece a varios factores, tales como:

- Agitación insuficiente del electrolito.
- Difusión lenta y diferencia de concentración de iones metálicos sobre la superficie metálica.
- Depósitos de arena y polvo.
- Contacto del metal con otros cuerpos sólidos no metálicos.

- Geometría particular de la estructura metálica.

2.2.2.10 Corrosión Intergranular

Es un deterioro por corrosión localizada adyacente a los límites del grano de aleación y donde en condiciones ordinarias si el metal se corroe uniformemente es porque los límites del grano serán ligeramente más reactivos que la matriz, pero si se dan otras condiciones las regiones del grano son muy reactivas produciendo una corrosión Intergranular que ocasiona perdida de resistencia e inclusiva la desintegración de borde del grano.

2.2.2.11 Corrosión Seca

Los metales también reaccionen a elementos como el aire para formar óxidos externos, la alta temperatura de oxidación de los metales es importante para el diseño de componentes en las turbinas de gas, motores y equipamientos en industrias petroquímicas.

2.2.2.12 Corrosión Gaseosa

En la corrosión gaseosa, el ambiente no es conductor y los procesos iónicos están restringidos a la superficie del metal y las capas de productos de corrosión. Debido a que las velocidades de reacción de los metales industriales con gases comunes son bajos a temperatura ambiente, la corrosión gaseosa, genéricamente llamada oxidación, es por lo general, un problema industrial solo a altas temperaturas cuando los procesos de difusión son dominantes.

Los factores termodinámicos desempeñan el papel habitual de determinar la fuerza impulsora de las reacciones y los diagramas de energía libre – temperatura son comúnmente utilizados para mostrar los equilibrios en sistemas simples, mientras que los equilibrios en entornos más complejos van en función de las variables de composición que se pueden examinar utilizando diagramas de estabilidad isotérmica.

En el mecanismo y la cinética de la oxidación, la relación de volumen óxido / metal, da alguna orientación sobre la probabilidad de que se formara una película protectora, pero el papel principal pertenece a los procesos de conductividad y transporte, que son fuertemente afectados por las impurezas y estructuras defectuosas de los compuestos junto con las condiciones de estabilidad de la película superficial.

Los procesos de transporte determinan las velocidades de reacción que se describen en forma general por las diversas leyes de velocidad cinética, tales como lineal, logarítmico y parabólico.

El resultado más obvio de la oxidación a altas temperaturas es la formación de incrustaciones de óxido. Las propiedades de las escamas y el desarrollo de tensiones determinan si la incrustación proporciona una protección continua contra la oxidación en algunas aleaciones, sin embargo, se producen reacciones dentro de la estructura metálica en forma de oxidación interna como en la corrosión en líquidos, la oxidación selectiva o preferencial donde se observan con frecuencia en aleaciones que contienen componentes de diferente estabilidad termodinámica.

2.2.2.13 Corrosión Bajo Tensión

Denominada también stress corrosión cracking, se refiere a la rotura por corrosión originada por la combinación de efectos de tensiones intensas y corrosión específica que actúa en el entorno del metal. Esta corrosión ataca la superficie del metal y las grietas aparecen localizadas y se propagan a lo largo del metal.

2.2.3 Corrosión en Soluciones Acuosas

Aunque el aire atmosférico es el entorno más común, las soluciones acuosas, incluidas las aguas naturales, la humedad atmosférica y la lluvia, así como las soluciones artificiales, son los entornos más frecuentemente asociados con los problemas de corrosión, esto debido a la conductividad iónica del medio ambiente, la corrosión se debe a reacciones electroquímicas y se ve fuertemente afectada por factores como el potencial del electrodo y la acidez de la solución. Las leyes cinéticas de las reacciones están fundamentalmente relacionadas con las energías de activación de los procesos de los electrodos, el transporte de masa y las propiedades básicas de la interfaz metal/ambiente, como la resistencia de las películas superficiales.

La cinética fundamental de la corrosión acuosa se ha estudiado a fondo. Las ocurrencias simultáneas de varias reacciones electroquímicas responsables de la corrosión se han analizado sobre la base de la teoría del potencial mixto, que proporciona un método general para interpretar o predecir el potencial de corrosión y las velocidades de reacción. Las tasas de corrosión se ven fuertemente afectadas por

las variables ambientales y metalúrgicas. Existen condiciones especiales en el orden natural y en algunos sistemas industriales donde los organismos biológicos están presentes en el medio ambiente y se adhieren a la estructura. La corrosión es esperada por la presencia de organismos y películas biológicas que producen, así como los productos de su metabolismo.

2.2.3.1 Termodinámica de la Corrosión Acuosa

La corrosión de metales en ambientes acuosos es casi siempre de naturaleza electroquímica. Ocurre cuando tienen lugar dos o más reacciones electroquímicas sobre una superficie metálica. Como resultado, algunos de los elementos del metal o la aleación cambian de un estado metálico a un estado no metálico. Los productos de la corrosión pueden ser especies disueltas o sólidas producto de la corrosión; en cualquier caso, la energía del sistema se reduce a medida que el metal se convierte en una forma de menor energía.

La oxidación del acero es el ejemplo más conocido de conversión de un metal (hierro) en un producto de corrosión no metálico (óxido). El cambio en la energía del sistema es la fuerza impulsora del proceso de corrosión y es un tema de termodinámica.

La termodinámica examina y cuantifica la tendencia a que ocurra la corrosión y sus procesos parciales; no predice si los cambios de producirán realmente ni a qué ritmo. La termodinámica puede predecir, sin embargo, bajo qué condiciones el metal es estable y no se puede producir corrosión.

Las reacciones electroquímicas ocurren de manera uniforme o no uniforme en la superficie del metal, que se llama electrodo. El líquido conductor iónico se llama electrolito. Como resultado de la reacción, la interfaz electrodo/electrolito adquiere una estructura especial, en la que factores tales como la separación de cargas entre electrones en el metal e iones en la solución, interacción de iones con moléculas de agua, adsorción de iones en el electrodo y la difusión de especies juegan un papel importante. La estructura de esta llamada doble capa en la interfaz electrificada, en relación con las reacciones de corrosión denomina “Procesos de electrodos” que es el estado de oxidación de las especies donde puede cambiar mediante la intervención de

una superficie conductora de electricidad, en los cuales los electrones pueden ser transportados, tal sistema es un electrodo, como se puede ver en la figura 1.

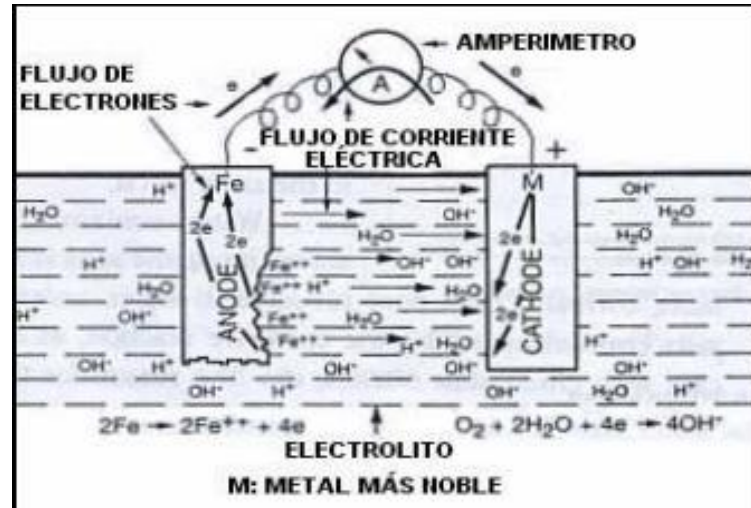


Figura 1: Transporte de electrones en una solución acuosa.

Fuentes: Navarrete C.

Los electrodos acoplados de esta manera mantienen la corrosión activa de los metales. Una de las características importantes de la interfaz electrificada entre el electrodo y el electrolito es la aparición de una diferencia de potencial a través de la doble capa, lo que permite definir el potencial del electrodo. El potencial del electrodo se convierte en uno de los parámetros más importantes tanto en la termodinámica como en la cinética de la corrosión.

2.2.4 Corrosión Atmosférica

La corrosión atmosférica representa más del 50% de las pérdidas totales por corrosión. Es difícil de investigar por la dificultad de disimular en el laboratorio las condiciones atmosféricas reales.

A temperatura ambiente y en superficies secas procede a velocidad infinitesimal. Al ser rápida en superficies húmedas el mecanismo de esta corrosión se considera como electroquímico, donde:

El electrolito está constituido por:

- a) Por una película de humedad

b) Una película acuosa

Como el mecanismo de corrosión es electroquímico, su característica principal es la presencia de un proceso anódico y otro catódico, con un electrolito de resistencia óhmica determinada.

En el proceso anódico el metal se disuelve en la capa del electrolito, en la cual la concentración se eleva hasta la precipitación de un compuesto poco soluble.

En el proceso catódico, bajo la capa de humedad, la mayoría de los metales expuestos a la atmósfera se corroen por el proceso de reducción de oxígeno.

La resistencia óhmica entre las zonas anódica y catódica de las minúsculas pilas de corrosión que se distribuyen sobre el metal es grande cuando el espesor de la capa de humedad es pequeño.

La corrosión atmosférica puede ser clasificada en:

a) Corrosión seca. Se produce en los metales que tienen una energía libre de formación de óxidos negativa.

b) Corrosión húmeda. Requiere de la humedad atmosférica, y aumenta cuando la humedad excede de un valor crítico, frecuentemente por encima del 70%.

c) Corrosión por mojado. Se origina cuando se expone el metal a la lluvia o a otras fuentes de agua.

2.2.4.1 Factores que Afectan la Corrosión Atmosférica

La acción conjunta de los factores de contaminación y los meteorológicos determinan la intensidad y naturaleza de los procesos corrosivos, y cuando actúan simultáneamente, aumentan sus efectos. También es importante mencionar otros factores como las condiciones de exposición, la composición del metal y las propiedades del óxido formado, que combinados entre sí influyen en los procesos de corrosión.

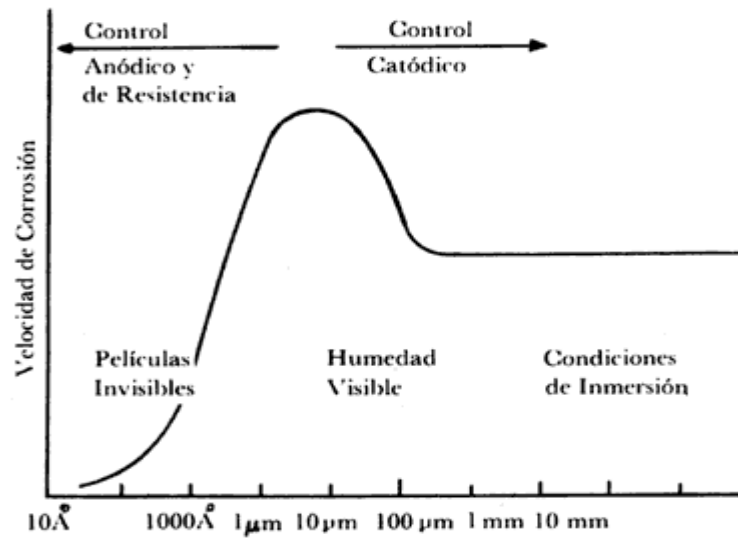


Figura 2: Relación entre la corrosión atmosférica y el espesor de la capa del electrolito

Fuente: Feliu y M.C. Andrade

En la figura 2 se muestra la relación que hay entre la corrosión atmosférica y espesor de la capa del electrolito sobre la superficie metálica. Esta figura permite corroborar la importancia del conocimiento de las causas y los factores que influyen en la formación de películas de humedad sobre la superficie metálica.

2.2.4.2 Influencia de la Contaminación Atmosférica en los Procesos de Corrosión

Cuando se alcanza el nivel de humedad necesario para la formación de pilas de corrosión empieza a ser importante otro factor, que es la contaminación atmosférica.

La contaminación atmosférica se refiere a la presencia de sustancias extrañas en el aire, sean estas gaseosas, sólidas o la combinación de ambas, en cantidad y durante un tiempo de permanencia que puede provocar efectos nocivos para la salud humana y un deterioro de los bienes de uso y del paisaje.

Con relación a su toxicidad, los contaminantes atacan muchos metales y materiales de construcción, deterioran equipos eléctricos, superficies pintadas, etcétera.

2.2.4.3 Los principales contaminantes que afectan la velocidad de corrosión

El NaCl y el SO_2 son los principales contaminantes corrosivos de la atmósfera. La correlación entre los niveles de concentración de SO_2 o NaCl y la velocidad de

corrosión es alta. También se puede mencionar al sulfuro de hidrógeno, que es el responsable del deslustre de cobre y plata, los compuestos nitrogenados que en solución incrementan la humedad de la superficie de los metales, las partículas inertes (Silicio) y las partículas absorbentes (carbón de leña).(ver figura 3)

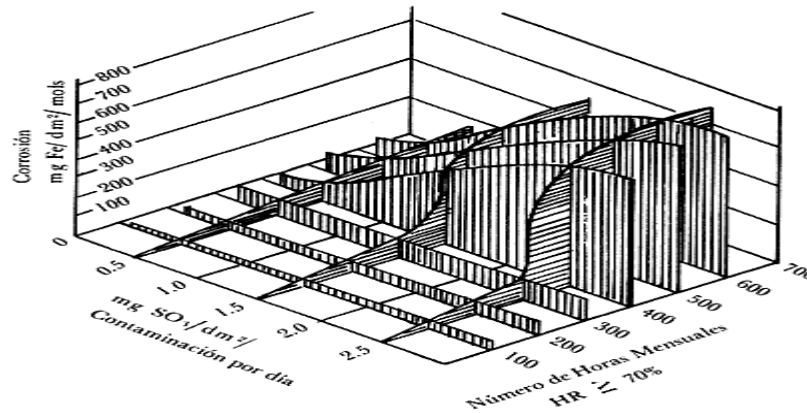


Figura 3: Relación de la velocidad de corrosión del hierro con la contaminación y la humedad atmosférica.

Fuente: Feliu y M.C. Andrade

Entre todos estos contaminantes, el SO₂ tiene una importancia especial en los procesos de corrosión atmosférica, a causa de su incidencia directa en la velocidad de corrosión de los metales expuestos a la atmósfera.

Los metales no ferrosos consumen SO₂ en las reacciones de corrosión, y sus productos principales son los sulfatos metálicos, mientras que en la oxidación del hierro y del acero los sulfatos ferrosos son hidrolizados formando óxidos y generando ácido sulfúrico.

Una característica importante del SO₂ es que es más soluble que el oxígeno, lo cual origina que cuando se producen concentraciones muy bajas en la atmósfera pueden obtenerse películas de humedad sobre la superficie metálica con altas concentraciones de SO₂, lo cual ocasiona el deterioro de la misma. Esto tiene una gran importancia, ya que estudios atmosféricos basados en técnicas de química analítica y en computadoras de alto poder resolutivo han llegado a la conclusión de que la composición de la

atmósfera se ha convertido en un reservorio de gran cantidad de trazas de especies gaseosas.

Lluvia Ácida

La oxidación del dióxido de azufre y la incorporación de ácido sulfúrico en las gotas de niebla pueden aumentar la acidez de las precipitaciones de la misma forma en que lo hacen la oxidación y la separación de los óxidos de nitrógeno, de manera que las regiones con altos niveles de óxidos de azufre y de nitrógeno tienen con cierta frecuencia lluvias ácidas.

La lluvia normal, no contaminada, tiene un pH de aproximadamente 5.6, acidez debida a la presencia de ácido carbónico, formado en la atmósfera por combinación del bióxido de carbono y el agua.

La lluvia ácida se caracteriza por un pH inferior a 5.6 y contiene pequeñas pero significativas cantidades de ácido sulfúrico y ácido nítrico.

En definitiva, se puede decir que las deposiciones atmosféricas sobre la superficie terrestre se pueden producir en forma de gas, partículas, aerosoles y precipitaciones. Sus efectos sobre el ecosistema terrestre son muy importantes, y uno de los más agresivos es el de la corrosión de los metales.

Velocidad de corrosión de algunos materiales metálicos

El acero al carbono sin protección (Con su superficie desnuda) se corroe con relativa facilidad en atmósferas urbanas, industriales y marinas. Necesita un recubrimiento de material resistente.

Zinc: Velocidad de corrosión mucho menor que para el acero.

Níquel, cobre: Similar al Zn

Aluminio: Gran tendencia a formar picaduras. La velocidad de crecimiento de las picaduras se aminora con el tiempo.

Humedad

La característica atmosférica más importante que se relaciona directamente con el proceso de corrosión es la humedad, que es el origen del electrolito necesario en el proceso electroquímico.

Los daños se deben en buena parte a la condensación de humedad durante el enfriamiento periódico del aire.

$$FORMACIÓN DE ROCÍO = f(\Delta T, HR)$$

Donde:

$\Delta T =$ Cambio de temperatura

$HR =$ Humedad Relativa

Esto nos da a entender que cuanto más seco es el ambiente, mayor debe ser el descenso de temperatura para que se produzca la condensación.

La fracción de tiempo con elevados valores de HR es un indicador de la agresividad potencial de una determinada atmósfera.

La condensación se produce en atmósferas no saturadas por:

- Condensación capilar:
 - Superficies rugosas.
 - Superficies con depósitos de productos porosos.
 - Superficies en las que se ha depositado polvo.
- Condensación química: Propiedades higroscópicas de ciertos materiales contaminante presentes en la superficie metálica.

El proceso catódico en la mayoría de los casos es la reducción del oxígeno presente en el aire. (ver figura 4)

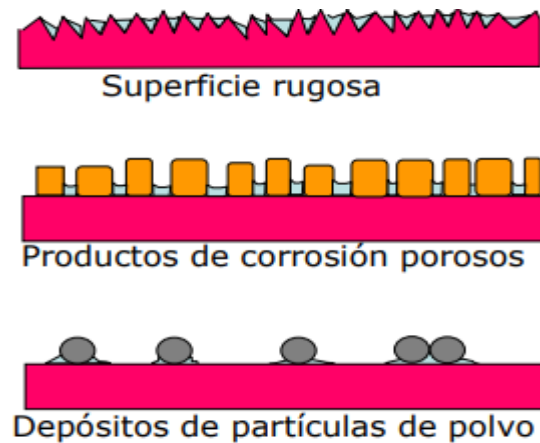


Figura 4: Motivos de condensación de agua sobre una superficie metálica cuando la HR está por debajo del 100 por 100.

Fuente: Feliu y M.C. Andrade

Lluvia

La lluvia realiza un lavado de los contaminantes atmosféricos depositados sobre las superficies expuestas, lo que podría considerarse como un efecto benéfico. Por otro lado, si la lluvia se estanca en las imperfecciones en las superficies metálicas (grietas o hendiduras) podría acelerar la corrosión por la acumulación de humedad en tales áreas.

Humedad Relativa

Es uno de los factores más importantes en el proceso de corrosión atmosférica, está influenciado por la frecuencia y duración de los períodos de lluvia, rocío y niebla durante las cuales las superficies metálicas aparecen visiblemente húmedas y desarrollan la corrosión.

La corrosión es un proceso electroquímico por lo tanto debe existir un electrolito que permita el paso de una corriente a través de ella, por una difusión de aniones (iones cargados negativamente) y cationes (iones cargados positivamente); el agua es un buen electrolito, por consiguiente, la cantidad y disponibilidad de humedad presente es un factor importante en la corrosión atmosférica.

Tiempo de Humectación

Es uno de los factores con mayor relevancia, representa el tiempo en el cual la superficie de la placa metálica está suficientemente húmeda para que ocurra el proceso de corrosión.

2.2.5 Factores que Influyen En La Corrosión

La Revista Tecnología en Marcha (2015) indica “Existen muchos factores que influyen el proceso de corrosión, donde se debe de tomar en cuenta tanto las características del material sobre el que incide y el medio que rodea a este” (p.10).

Se mencionan algunos de ellos:

2.2.5.1 Acidez De La Solución (Ph)

El pH es la característica que define la cantidad de hidrógenos libres en una solución, por lo cual, en soluciones acidas, al tener una mayor capacidad de aceptar electrones,

tienden a ser más vulnerables a la corrosión que las soluciones neutras y alcalinas, puesto que la zona anódica al liberar electrones da lugar a reacciones que generan el rápido deterioro de la superficie y consigo del material. , por tanto a variaciones en el pH la velocidad de la corrosión se comporta distinto, por tanto a pH menores de 4, el $\text{Fe}(\text{OH})_3$ se disuelve y elimina el efecto del metal con el medio corrosivo acuoso.

2.2.5.2 Sales Disueltas

Existen dos tipos de sales, las acidas y las alcalinas. Que influyen en la aparición de la corrosión. Estas sales pueden ser acidas que, al diluirse con la solución electrolítica, reduce el pH, y aumenta la velocidad de corrosión dada la acidez que se produce debido al efecto de acidez; por el contrario, las soluciones incrementan el pH, por lo cual, en algunos casos actúan como inhibidores durante el proceso de corrosión.

2.2.5.3 Capas Protectoras

Para mitigar el efecto de la corrosión se suele crear capas que protejan la superficie de agentes externos, y estas capas pueden ser implementadas en forma de recubrimientos, o a su vez formando capas de óxido metálicos que detienen el proceso corrosivo.

2.2.5.4 Velocidad De Flujo

En los sistemas de transporte de fluidos el un aumento de la velocidad de estos, incrementa el proceso corrosivo, porque esto posibilita a que las sustancias corrosivas alcancen y ataquen zonas que aún no han sido afectadas. Por otra parte, si hay una alta velocidad de flujo, en cierta parte del metal esto afecta la formación de capas resistentes que protegen al material del efecto de la corrosión.

2.2.5.5 Gases Disueltos

La composición del medio gaseoso sobre la velocidad de la corrosión de los metales es alta y varía con la temperatura. La composición del medio gaseoso tiene una gran influencia sobre la velocidad de oxidación del hierro y aceros. Especialmente influyen el oxígeno, los compuestos de azufre y el vapor de agua.

2.2.5.6 Efectos De La Temperatura

En principio el aumento de la temperatura incrementa la tasa de corrosión, debido a que la temperatura acelera la cinética de las reacciones. Aún en soluciones acuosas, a temperatura ambiente puede existir una parte del material con mayor temperatura que el resto del material, la cual se comporta de forma anódica respecto a la otra.

La temperatura y la velocidad de corrosión tienen una correlación más compleja de lo que uno piensa. Existe una regla general la cual establece que la velocidad de corrosión de un metal se duplica por cada aumento de 10°C de temperatura.

La regla es aplicable en muchas situaciones, pero es importante reconocer cuando no debe ser aplicada.

Estrictamente hablando, la regla sólo aplica cuando la velocidad de corrosión es controlada por una reacción química. Incluso en estas situaciones, el aumento de la velocidad de corrosión con la temperatura puede variar. Pero si la velocidad de corrosión es controlada por otros factores, tales como la presencia de oxígeno en el ambiente corrosivo, la correlación es diferente.

La concentración de oxígeno en el medio electrolítico puede acelerar o retardar el proceso de corrosión, dependiendo de la naturaleza del material. Para el caso de materiales ferrosos, al aumentar la concentración de O₂, aumenta la velocidad de corrosión pues el producto corrosivo no protege al material. Mientras que para materiales pasivables, cuanto mayor sea la concentración de O₂, mayor capacidad tendrá el material de formar la capa protectora que lo caracteriza.

2.2.5.7 Potencial

El poder oxidante, o potencial, se relaciona con la capacidad de eliminar o agregar electrones del metal para oxidar o reducir la superficie. Esta variable está separada de las discusiones sobre la química de la solución porque tal potencial puede ser aplicado por una fuente de voltaje externa, por acoplamiento galvánico de diferentes metales o por componentes de la solución. Las aplicaciones prácticas incluyen el aumento de la pasividad alterando el óxido de la superficie (protección anódica) o la prevención de la corrosión al suministrar electrones al metal que normalmente serían producidos por la

corrosión del metal (protección catódica). La velocidad de reacción anódica se desplaza o cambia en el metal protegido.

2.2.5.8 Efectos Biológicos

Los organismos biológicos están presentes en prácticamente todos los entornos acuosos naturales. En ambientes de agua de mar, como bahías de mareas, estuarios, puertos y aguas marinas costeras y de mar abierto, se encuentra presente una gran variedad de organismos. Algunos de estos son lo suficientemente grandes como para observarlos a simple vista, mientras que otros son microscópicos. En los ambientes de agua dulce, tanto naturales como industriales, faltan los organismos grandes, pero aún existe una gran variedad de microorganismos, como bacterias y algas.

En todos estos ambientes, la tendencia es que los organismos en el agua se adhieran y crezcan en la superficie de los materiales estructurales, lo que resulta en la formación de una película biológica o biopelícula. La película en sí puede variar desde una película de limo microbiológico en superficies de transferencia de calor de agua dulce hasta una fuerte incrustación de organismos incrustantes de caparazón duro en estructuras en el agua de mar costera.

Las biopelículas que se forman en la superficie de prácticamente todos los metales estructurales y aleaciones sumergidas en ambientes acuosos tienen la capacidad de influir en la corrosión de esos metales y aleaciones. Esta influencia se deriva de la capacidad de los organismos para cambiar las variables ambientales (pH, poder oxidante, temperatura, velocidad y concentración). Por tanto, el valor de un parámetro dado en la interface metal / agua bajo la biopelícula puede ser bastante diferente al del electrolito a granel alejado de la interface. El resultado puede ser el inicio de la corrosión en condiciones en las que no habría ninguna en ausencia de la película, un cambio en el modo de corrosión (es decir, de uniforme a localizado) o un aumento o disminución de la velocidad de corrosión. Sin embargo, es importante señalar que la presencia de una biopelícula no significa necesariamente que siempre habrá un efecto significativo sobre la corrosión.

2.2.6 Consecuencias de la Corrosión en Tuberías

Las consecuencias de la corrosión en las tuberías que transportan algún fluido de consumo o de trabajo, son para tener en cuentas y darles prioridad, ya que dependiendo del ámbito o industria para las que se utilicen pueden traer consigo grandes consecuencias, tanto económicas como de seguridad y salud. Como por ejemplo en las tuberías que transportan agua de consumo humano, la corrosión en estas tuberías puede traer consecuencias grandes, no en cuanto a costo económico, que también es un indicador fuerte que afecta directamente la corrosión, si no en el área de cuidado y salud de las personas que consumen esta agua, pueden traer consecuencias nocivas para la salud de un ser humano la corrosión en las tuberías de agua para consumo humano.

2.2.7 Alternativas para el Control y Prevención de la Corrosión

Hay diversas alternativas que se utilizan para disminuir los efectos del proceso de corrosión en los metales, estos inhibidores son sustancias empleadas para disminuir las fallas de corrosión, agregados en pequeñas cantidades en el medio corrosivo, disminuyendo la agresividad del fenómeno.

Estas alternativas mitigan este acelerado ataque corrosivo en los metales por los componentes que a su paso desgastan el material por medio de perforaciones en las cuales penetran la tubería y generan daños irremediables en ella. En la producción de petróleo se emplean tradicionalmente compuestos orgánicos conteniendo nitrógeno, usualmente en forma de aminas, imidazolinas, amidas o sales de amonio cuaternario que se adsorben sobre la superficie formando una película que interfiere con las reacciones electroquímicas relacionadas con el proceso de corrosión.

Entre estas podemos mencionar diversos métodos genéricos que previenen la corrosión, tales como:

- Modificación de diseño
- Modificación del medio
- Selección de materiales
- Protecciones Anódicas
- Protección Catódica
- Recubrimiento con pinturas especiales
- Recubrimiento de mortero u hormigón con la colocación de aditivos.

- Consideraciones de Ingeniería
- Tratamientos Químicos

2.2.7.1 Modificación del Diseño

Este método que se usa en ingeniería para disminuir los efectos de la corrosión, consiste en que al momento de diseñar se deben considerar los materiales teniendo en cuenta los requerimientos mecánicos, electrónicos y térmicos, tomando en cuenta además del costo las acciones de la corrosión sobre el material seleccionado, principalmente en obras o diseños que requieren tuberías, tanques que contengan líquidos. Se requieren evaluar si se usan remaches o recipientes soldados, porque el remache es impactado por la corrosión por grieta. Por los que los diseños deben evitar el uso de metales similares que originan corrosión galvánica, así como evitar el uso de materiales que originen en tensiones excesivas y concentraciones de tensión para prevenir la ruptura por corrosión

En conclusión, se debe ver en la etapa de diseño que materiales usar y si los seleccionados son altamente corrosivos evaluar hacer un cambio de diseño para construir sistemas en condiciones más uniformes y así evitar la heterogeneidad.

2.2.7.2 Modificación del medio corrosivo

La modificación del medio o ambiente es importante para deducir las tasas de corrosividad, porque este puede ser gaseoso, líquido o sólido El medio puede ser básicamente gaseoso, líquido o sólido.

Cuando el medio es gaseoso se debe controlar para evitar la corrosión factores como la humedad relativa, componentes volátiles del proceso, contaminantes volátiles, temperatura. Sin embargo, cuando el medio es líquido, debe vigilarse la conductividad, el pH y las posibilidades de formación de películas resistentes.

Otras formas de controlar el medio es eliminar el oxígeno, bajar las temperaturas y controlar la velocidad de los líquidos, porque cuando se disminuye la temperatura se reduce la corrosión en los materiales, salvo en algunos casos como en el agua de mar la ebullición es menos corrosiva que cuando el agua esta fría debido a que la solubilidad del oxígeno.

Cuando se disminuye la velocidad de un fluido corrosivo se reduce la corrosión por erosión, así como también eliminar el oxígeno en las disoluciones acuosas reduce la corrosión; por ejemplo, las calderas de agua suelen ser desoxigenadas para reducir la corrosión.

El modo más generalizado de modificación del medio se consigue, si el electrolito está en circuito cerrado, es mediante el uso de inhibidores de la corrosión. Los inhibidores son, esencialmente, catalizadores de retardo. La mayoría de los inhibidores han sido desarrollados por experimentos empíricos y, muchos, los proporciona la naturaleza.

2.2.7.3 Selección de Materiales

Para disminuir los procesos corrosivos la selección del material más adecuado para aquel medio, es fundamental, por lo que debe seleccionarse en función del binomio medio-aleación, más sin embargo no es fácil esta selección por lo restringido del campo de selección, ya que no se conoce una aleación óptima para todos los medios posibles.

Para cualquier aleación existe el medio que produce fuerte corrosión y por tanto no es fácil la selección pues además hay que realizarlo atendiendo a los procesos de unión, soldadura, tratamientos, etc., que añaden parámetros que sensibilizan el material. En cualquier caso, la selección de la aleación debe ir asociada con la de algún proceso adicional de protección.

Existen, sin embargo, cuando se seleccionan metales y aleaciones resistentes a la corrosión para aplicaciones de ingeniería se debe considerar, las condiciones no oxidantes o reductoras tales como ácidos y soluciones acuosas libres de aire, se utilizan frecuentemente aleaciones de níquel y cromo. Para condiciones oxidantes se usan aleaciones que contengan cromo y para condiciones altamente oxidantes se aconseja la utilización de titanio y sus aleaciones. (Ver Tabla 1).

Algunos metales que se usan en medios corrosivos son:

Tabla 1 Metales que se usan en medios corrosivos.

	<u>ION</u>
Aceros aleados (Cr, Ni)	NO ₃ - , OH- Cl
Acero inoxidable (Cr, Ni)	Cl
Bronces y Latones (Cu, Al, Zn, Ni)	NH ₃

Aluminios	Cl
Titanio y aleaciones	H + , O2 o altas temperaturas
Níquel y aleaciones	Álcalis, Ácidos oxidantes

Fuente: William F

Las aleaciones que no se pasivan en un medio muestran velocidades de corrosión crecientes con el incremento del voltaje y los metales que se pasivan en un medio corrosivo muestran un mínimo para ciertas condiciones de polarización anódica

2.2.7.4 Protección anódica

Este método de protección está basado en la corrosión galvánica enfocada a proteger el material anódico y se caracteriza por provocar un paso de corriente entre los metales y así lograr la formación de una capa pasiva en la superficie manteniendo una barrera entre estos. Por lo que se requiere un alto flujo de corriente para lograr que se forma una película pasiva y lograr que mantenga como un buen método de protección en donde la corriente comience a disminuir hasta que indique valores bajos de corrosión. Este valor bajo de corrosión u oxidación se mantienen para valores altos de tensión mayores, pero no tanto para llegar a destruir la capa pasiva. La protección anódica se aplica a aleaciones que se pasiva con rapidez para pequeñas densidades de corriente.

2.2.7.5 Protección catódica

Es una de la técnicas más utilizadas en la industria para disminuir los efectos de la corrosión generado por componentes que perforan y causan consigo daños colaterales en las tuberías, y consiste principalmente en hacer que la estructura que se debe proteger funcione como un cátodo favoreciendo los factores electroquímicos, dado que, el ánodo de sacrificio (ánodo galvánico) al estar conectado, genera una descarga de corriente la cual, por su parte, fluye por el electrolito hasta la estructura que se está protegiendo sin causar daño en la misma. En este caso, el sistema actúa con base al principio del potencial diferencial, teniendo como conductor de corriente la tierra o el suelo que permite el cambio de las propiedades de los elementos a proteger. Este método es empleado mucho en la industria petrolera.

En la figura 5 se muestra un circuito de protección catódica por corriente impresa y un diagrama de polarización de protección catódica. La corriente abandona el ánodo

auxiliar y entra en el metal a proteger a través de sus áreas anódicas y catódicas que constituyen su microestructura. Cuando las áreas catódicas se polarizan por una corriente externa no existe diferencia de potencial con las áreas anódicas, lo que inhibe totalmente el proceso de corrosión.

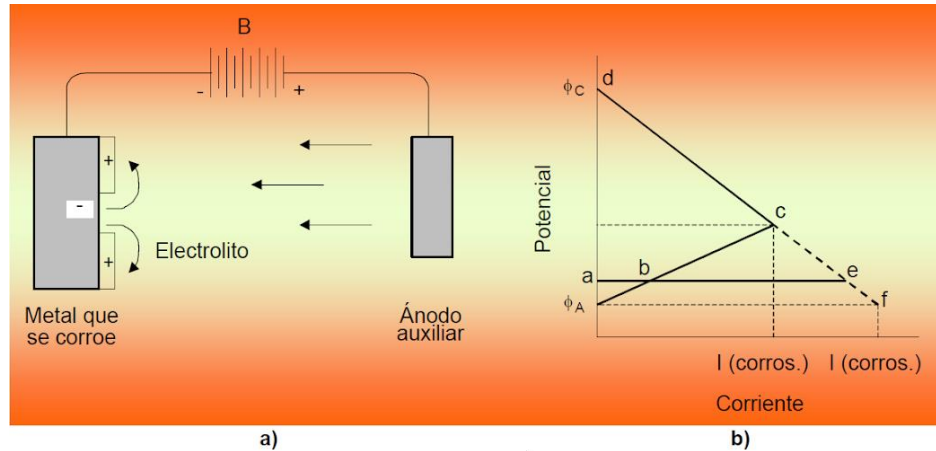


Figura 5: a) Circuito de protección catódica por corriente impresa. b) Diagrama de polarización por protección catódica.

Fuente: William F. Smith

En las protecciones catódicas existen dos métodos para diferenciar los procesos, uno es la Corriente Impresa donde se requiere una corriente continua que alimenta a un ánodo auxiliar situado a una distancia de la tubería y esta se conecta a un polo negativo mientras el ánodo hace de positivo, es aquí donde es aconsejable que la baja resistividad del suelo haga las veces de conductor.

El otro método en las protecciones catódica son los Ánodos de Sacrificio, en el no existe fuente de alimentación externa y el suministro de electrones se realiza por el proceso corrosivo en el ánodo auxiliar que tiene más electronegatividad que el material a proteger.

2.2.7.6 Protección mediante recubrimientos.

Los recubrimientos metálicos, inorgánicos y orgánicos, se aplican a los metales para prevenir o reducir la corrosión y estos pueden ser:

Recubrimientos con películas orgánicas

Las pinturas son un método universal para proteger contra la corrosión, además de sus efectos decorativos. Este método está basado en crear una barrera de protección que impida el contacto directo del metal con el electrolito mediante la aplicación de capas de imprimación, con el objeto de procurar una adherencia óptima con la superficie del metal, y sucesivas capas de pinturas compatibles que disminuyan la probabilidad de acceso del electrolito a la superficie metálica (Figura 6).

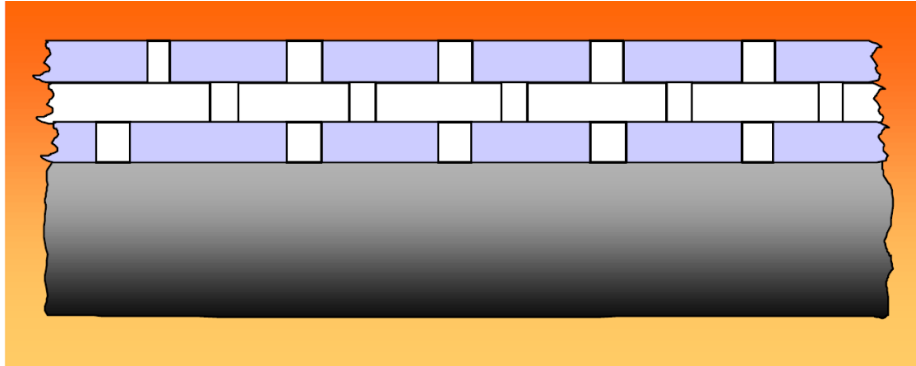


Figura 6: Textura de una chapa pintada.

Fuente: William F. Smith

La protección con pinturas se optimiza químicamente por el efecto barrera e inhibidor de las constituyentes y mecánicamente por el mayor grueso de película e inexistencia de agrietamiento de capa.

Podemos entonces clasificar las pinturas según su naturaleza química, puesto que las más utilizadas en la industria como recubrimiento son las epóxi y las siliconadas. Por otro lado, la clasificación de las pinturas puede depender de diferentes factores como su finalidad, propiedades, composición, entre otras. Es por esto, que a continuación se realiza una breve clasificación según su aglutinante para su posterior utilidad como recubrimiento de barrera contra la corrosión.

- **Resina epoxi:** Estos recubrimientos han sido estudiados para ser implementados en estructuras expuestas a ambientes marinos (curadas con poliamidas) e industriales con el fin de mejorar las propiedades anticorrosivas. Cabe resaltar que este tipo de resina, en muchas ocasiones puede ser evaluada con la inclusión de diversos compuestos tales como nano estructuras, sílice, aminas, entre otras, que mejoran sus propiedades contra el efecto corrosivo y así se puedan llegar a obtener mejores

resultados en campos tales como recubrimientos protectores, aplicaciones eléctricas, refuerzo, entre otras, dado que esta presenta una excelente adherencia, resistencia química y calor, debido a su buena termo estabilidad.

- Pigmentos inhibidores: Estos compuestos al igual que las resinas, son empleados para reducir la permeabilidad en el sistema a proteger por medio de una película que aísla el metal de los medios externos, siendo que el espesor de dicha capa será directamente proporcional a la eficiencia frente a la mitigación de esta problemática.

Recubrimientos con películas metálicas

Los recubrimientos metálicos se obtienen por diversos procedimientos, fundamentalmente por inmersión en caliente o electrodeposición., y la protección frente a la corrosión es diferente según la naturaleza del metal de recubrimiento

Recubrimientos con metales más electropositivos, esta se realiza por el principio del efecto barrera analizado con las pinturas, pero con el inconveniente de que, si existe poros o agrietamiento, el metal base actúa como ánodo.

Recubrimiento con metales más electronegativos: aquí la protección se realiza por el principio de protección anódica, en la variante de ánodos de sacrificio, con una alta densidad de superficie anódica y baja de metal catódico a proteger, como muestra la figura 7.

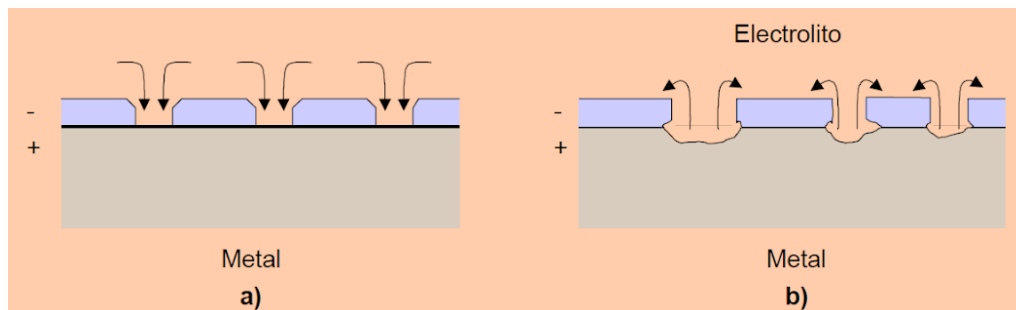


Figura 7: Protección: a) con metal anódico de sacrificio, y b) con metal noble.

Fuente: William F. Smith

Entre los ejemplos de protecciones nobles tenemos el niquelado, cromado, estañado que se usa también como efecto decorativo. Como en el caso de las pinturas la

resistencia a la corrosión del metal protegido se optimiza con el espesor de la capa depositada, la fase cristalina constituyente y la menor densidad de poros o grietas del depósito.

Recubrimiento con mortero u hormigón

Esta técnica permite pasivación y el retardo de la corrosión en las superficies y materiales, ya que, en su mayoría, estas estructuras están expuestas en ambientes agresivos y provocan, por su parte, los ambientes agresivos afectan los recubrimientos por medio de la capilaridad y difusión, provocando una destrucción localizada en la capa pasiva.

Tipos de morteros.

Según su endurecimiento los morteros se clasifican en dos: los hidráulicos que son aquellos que se caracterizan por endurecerse bajo agua, pues su composición posibilita alcanzar altas resistencias iniciales; y los aéreos, en los cuales su endurecimiento se debe a la reducción de humedad (secado) por efecto del aire y proceso de carbonatación, fraguan poco a poco.

Por otro lado, los morteros pueden llegar a clasificarse según su material constituyente tal como se describe a continuación:

- Morteros de cemento y arena: Estos morteros son los más empleados para diferentes usos, tales como los revestimientos para la protección de tuberías de acero, por sus destacadas características como las altas resistencias y facilidad para trabajarlo.
- Morteros de cal y cemento: Se utilizan cuando se desea obtener una mezcla de gran trabajabilidad, alta retención agua y resistencia; estos sustituyen parte del cemento por cal, por lo cual, estos son conocidos también como Morteros de cemento rebajado.
- Morteros de yeso: Son preparados a partir de yeso hidratado con agua, y este contenido varía dependiendo al grado de cocción, según la calidad y finura del yeso. Usualmente se agrega el 50% para obras normales, en estucos el 60% y en moldes el 70%. Y requiere bajo este se destaca por su bajo tiempo de fraguado.

2.2.7.7 Consideraciones De Ingeniería

El diseño de los tubos y las estructuras pueden ser tan importantes como la selección de los materiales de construcción. Un diseño defectuoso puede causar severa corrosión,

aún en materiales que podrían ser altamente resistentes a ella. Primero y principal, la química del agua debe ser utilizada para determinar cuál es el material apropiado. Por ejemplo, muchas aguas de alta alcalinidad con alto contenido de sulfato y un pH de neutro a ligeramente ácido son incompatibles con tuberías de cobre. Muchas aguas suaves son básicamente incompatibles con tubos galvanizados, pero éstos tienen un excelente comportamiento en muchas situaciones de agua dura que a su vez son problemáticas para tubos de cobre.

Es importante mencionar que un aspecto importante en la red de distribución de agua potable, son las presiones manejadas en el sistema. La cantidad y frecuencia de roturas en tuberías de distribución de agua potable es directamente proporcional a la presión de trabajo, hecho que incrementa la cantidad de agua perdida en fugas no detectables, que también es directamente proporcional a la presión.

Consideraciones a tomar:

- Evitar las porciones de tuberías con agua estancada
- Proporcionar un drenaje adecuado
- Seleccionar una velocidad de flujo apropiada y un espesor de metal adecuado
- Eliminar las áreas protegidas y reducir las tensiones mecánicas
- Evitar la distribución de calor irregular
- Las curvas severas y los codos
- Proveer un aislamiento adecuado
- Escoger una forma y geometría apropiada para el sistema
- Proveer fácil acceso a la estructura para la inspección periódica
- Mantenimiento y reemplazo de las partes dañadas
- Eliminar las conexiones a tierra de los circuitos eléctricos al sistema

2.2.7.8 Tratamientos Químicos

Ajuste de pH

El ajuste del pH es el método más común para la reducción de la corrosión en los sistemas de distribución de agua. Los iones hidronio (H^+) actúan como receptores de electrones y entran rápidamente en las reacciones de corrosión electroquímicas. Las aguas ácidas son generalmente corrosivas, debido a la alta concentración de iones

hidronio. El pH del agua es el principal factor que determina la solubilidad de la mayoría de los materiales de la tubería y las películas que se forman de los productos secundarios de la corrosión. La mayoría de los materiales usados en los sistemas de distribución de agua se disuelven más rápido con un pH más bajo. Cuando la alcalinidad por carbonato está presente, al incrementar el pH, aumenta la cantidad de iones carbonato en la solución. Sin embargo, con demasiada adición de carbonato, un agua podría convertirse en formadora de exceso de incrustaciones o provocar dificultades para el ajuste de su pH.

Control de oxígeno

La presencia excesiva de oxígeno disuelto aumenta la actividad corrosiva del agua. El nivel óptimo de oxígeno disuelto para el control de la corrosión es de 0,5 a 2,0 partes por millón. Sin embargo, retirar el oxígeno del agua no es práctico debido al costo. Por lo tanto, la estrategia más razonable para minimizar la presencia del oxígeno es: Excluir el proceso de aireación del tratamiento del agua; incrementar el ablandamiento con cal; extender los periodos de detención de las aguas tratadas en los tanques de almacenamiento y usar el tamaño correcto de bombas de agua en la planta de tratamiento para minimizar la introducción del aire durante el bombeo.

Inhibidores Químicos

La corrosión puede ser controlada agregándole químicos al agua que formen una película protectora sobre la superficie de una tubería y proporcionen una barrera entre ésta y el agua. Estos químicos, llamados inhibidores, reducen la corrosión o limitan la solubilidad del metal, pero no la previenen totalmente. Los cuatro tipos de inhibidores químicos aprobados para el uso en sistemas de agua potable son ortofosfatos, polifostatos, fosfatos mezclados y silicatos de sodio.

El éxito de cualquier inhibidor de corrosión depende de la habilidad del operador del agua en: Aplicar el doble y el triple de la dosis de diseño del inhibidor durante las aplicaciones iniciales para construir una capa base protectora que prevenga picaduras; mantener dosis del inhibidor continuas y suficientemente altas para prevenir la redisolución de la capa protectora; y alcanzar un flujo de agua constante sobre las superficies metálicas del sistema para permitir una aplicación continua del inhibidor.

2.3 Definición de Términos Básicos.

Corrosión.

Es el deterioro que sufre un material a consecuencia de un ataque químico por su entorno.

Corrosión Húmeda

Tiene lugar cuando el material se encuentra en medios acuosos y se produce a temperatura ambiente y se produce en tuberías, tanques, buques, calentadores de agua.

Durabilidad

Es la facultad que tiene un material para poder tolerar un medio o diferentes condiciones físicas o químicas y así lograr cumplir con la vida útil para la cual el material ha sido proyectado.

Mortero

Es una mezcla uniforme que contiene materiales aglutinantes, agregados gruesos o finos y agua. Esta mezcla cumple diferentes funciones, sin embargo, entre las principales funciones están las estructurales. También pueden contener aditivos, que pueden llegar a mejorar sus propiedades mecánicas.

Pintura

Es un material que en un principio está compuesto por materiales sólidos y líquidos los cuales logran formar una película fluida y homogénea, que al secarse y/o solidificarse protege la superficie del ambiente de exposición.

Recubrimiento

Se conoce como recubrimiento al material que está dedicado a proteger una superficie de agentes del exterior que puedan causar daños por su carácter agresivo. Estos materiales deben cubrir en su totalidad la superficie base y deben tener un espesor finito.

Tuberías

Es un conducto que sirve para transportar fluidos, el tipo de tubería varía dependiendo del tipo de fluido a transportar. Estos conductos a su vez conforman redes para cumplir con su finalidad; pueden ser metálicas, plástico, hormigón, entre otros.

Velocidad de corrosión

En un metal puede ser medida electroquímicamente con la determinación de su resistencia de polarización (R_p), lo cual es inversamente proporcional a la corriente de la corrosión que, mediante las leyes de Faraday, se puede transformar en pérdida o degradación del acero.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

En una investigación el marco metodológico define como el uso de métodos, técnicas, instrumentos, estrategias y procedimientos a utilizar en el estudio que se desarrolla. Al respecto, Balestrini (2006 p.125) define “el marco metodológico como la instancia referida a los métodos las diversas reglas, registros, técnicas y protocolos con los cuales una teoría y su método calculan las magnitudes de lo real”. Según Arias, F. (2012), el Marco Metodológico comprende el “conjunto de pasos, técnicas y procedimientos que se emplean para formular y resolver problemas”. (p.78). En este capítulo se presentan los aspectos correspondientes al tipo de investigación a desarrollar, así como una descripción secuencial de forma detallada de las herramientas metodológicas a emplear para el logro de los objetivos.

3.1 Tipo de Investigación

A partir de la problemática planteada en esta investigación que consiste en evaluar la mejor alternativa, que disminuya los efectos de la corrosión en los sistemas de tuberías para disminuir el impacto y mitigar los altos costos que producen en los sistemas de tuberías, podemos definir a este estudio como una investigación de tipo descriptiva, orientada a analizar el comportamiento de la variable en el contexto de estudio. Para Arias (2006, p.24), la investigación descriptiva "consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento”

Al mismo tiempo Silva (2008, p.20), considera que la investigación descriptiva es "caracterizar un objeto de estudio o una situación concreta: señala sus características y propiedades, interpreta lo que es y describe la situación de las cosas en el presente".

Según Bernal (2006), en la investigación descriptiva, se muestran, narran, reseñan o identifican hechos, situaciones, rasgos, características de un objeto de estudio, o se diseñan productos, modelos prototipos, guías, etcétera, pero no se dan explicaciones o razones del porqué de las situaciones, hechos, fenómenos, etcétera; la investigación descriptiva se guía por las preguntas de investigación que se formula el investigador,

se soporta en técnicas como la encuesta entrevista, observación y revisión documental. Esta investigación describirá y evaluará teóricamente diferentes alternativas que inhiban la corrosión en tuberías sometidas a ambientes agresivos.

3.2 Diseño de la Investigación

Para Arias, F. (2012) “El diseño de investigación es la estrategia general que adopta el investigador para responder al problema planteado.” (p.27).

En la investigación a realizar se empleará las herramientas de una investigación documental bibliográfica que es aquella que se realiza a través de la consulta de (libros, revistas, periódicos, memorias, anuarios, registros, códigos, constituciones, etc.) para sustentar los conocimientos y la estrategia de investigación está definida como un tipo de investigación secundaria, dentro de la cual podremos incluir a la investigación bibliográfica y toda la tipología de revisiones existentes, dado que se realizara la revisión de documentos y bibliografía relacionado con la problemática a estudiar para el análisis y selección de alternativas para disminuir los efectos de corrosión en tuberías expuestas a ambientes corrosivos.

3.3 Nivel de la Investigación

El nivel de la investigación Según Arias, F (2012), el nivel de investigación “se refiere al grado de profundidad con que se aborda un fenómeno u objeto de estudio”. (p. 145). A partir de este concepto se realiza el registro de documentos de definiciones que permitan describir fenómenos, situaciones, contextos y detallar como son.

En este trabajo realizaremos una investigación descriptiva porque se caracterizará un hecho, para establecer su comportamiento con base a un diseño de investigación bibliográfico, como parte del proyecto factible que caracteriza al estudio.

3.4 Población y muestra

3.4.1 Población

Según, González y Salazar, 2008 en su tesis Aspectos básicos del Estudio de Muestra y Población para la elaboración de los proyectos de investigación, (p.11) “Una población o universo puede estar referido a cualquier conjunto de elementos de los cuales se pretende indagar y conocer sus características, o una de ellas, y para el cual serán válidas las conclusiones obtenidas en la investigación.”

Para este estudio, la población estará definida como los diferentes sistemas de tuberías metálicas que pueden estar sometidas a los efectos del fenómeno de corrosión, para poder así validar las conclusiones que se obtengan de la investigación descriptiva.

3.4.2 Muestra

Según Arias “La muestra en un subconjunto representativo y finito que se extrae de la población accesible” (p.83). Con base a este concepto, podemos precisar como la muestra en este estudio a las tuberías metálicas expuestas a ambientes altamente corrosivos con la finalidad de evaluar las alternativas que mejor funcionen como método de protección.

Según Sampieri (2014, p.176) “En las muestras no probabilísticas, la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación o los propósitos del investigador”. Elegir entre una muestra probabilística o una no probabilística depende del planteamiento del estudio, del diseño de investigación y de la contribución que se piensa hacer con ella.

Según lo define Arias (2006), el muestreo Intencional u opinático, es aquel donde los elementos muestrales son escogidos en base a criterios o juicios preestablecidos por el investigador.

Por lo tanto, la muestra no probabilística intencional es aquella donde los investigadores establecen los criterios para selección los elementos según las características que a estos le interesen, por lo tanto, estos elementos son planteados por los investigadores.

La muestra es no probabilística de tipo intencional dado que los elementos escogidos se hacen con base a los criterios de los investigadores, en este caso tuberías metálicas.

3.5 Técnicas de Recolección de datos

Ramírez (2007, p.157) define las técnicas de recolección de datos como “el procedimiento más o menos estandarizado que se ha utilizado con éxito en el ámbito de la ciencia” es decir cualquier recurso de que pueda valerse el investigador para acercarse a los fenómenos y extraer de ellos la información.

En lo que respecta a la investigación planteada se estableció como técnica de recolección de datos, al análisis documental y el análisis de contenido. En relación al

análisis documental se identificará, describirá y representará el contenido de los documentos a revisar, con la finalidad de garantizar su empleo como parte de los aspectos a investigar y que resulten relevantes para la investigación.

El análisis de información, por su parte tendrá como objetivo la captación, evaluación, selección de alternativa y síntesis de la revisión del contenido de los documentos, a partir del análisis de la información relacionada con el tema a investigar en este caso las diferentes alternativas que existen para disminuir los efectos del fenómeno de la corrosión en tuberías expuestas a ambientes corrosivos.

3.6 Instrumentos utilizados en la recolección de datos

Arias, F. (2012) indica que “un instrumento de recolección de datos es cualquier recursos, dispositivo o formato que se utiliza para obtener, registrar o almacenar información” (p.68).

En el presente trabajo especial de grado se aplicarán los siguientes instrumentos de recolección de datos:

- **Fichas de Contenido o de revisión documental**

Es uno de los instrumentos de investigación documental más usados, dado que permiten conservar los datos que se van obteniendo de una forma organizada y visible

Para la presente investigación se aplicará este instrumento en el proceso de revisión documental, para el en fichas se anotará la información encontrada en los documentos tales como comentarios y argumentos producto de la lectura, dado que estas fichas ayudan a la memoria y son un método efectivo de clasificación de la información.

- **Fichas bibliográficas**

La ficha bibliográfica se usa para documental los datos de la revisión de la bibliografía, en ella se llevarán los datos de apellidos y nombres del autor, título del documento, editorial, lugar de la publicación.

- **Registro de páginas electrónicas**

Este instrumento consiste en el uso de bibliotecas electrónicas para recopilar información de tipo documental

- **Técnicas de Procesamiento y Análisis de datos**

En relación con el propósito del análisis de los datos Balestrini (2006) destaca, que el mismo "implica el establecimiento de categorías, la ordenación y manipulación de los datos para resumirlos y poder sacar algunos resultados en función de las interrogantes de la investigación" (p.169). Por su parte, Arias (2006) lo refiere como "la técnica dirigida a la cuantificación y clasificación de las ideas de un texto, mediante categorías preestablecidas" (p. 77).

Para el análisis y procesamiento de datos, utilizaremos la organización y sistematización de la información para luego realizar la presentación en gráficos y tablas, también se efectuará un estudio de factibilidad técnico económico para el análisis de viabilidad de la alternativa que permitan mitigar los efectos de la corrosión en tuberías metálicas, es decir que con base de información de empresas fabricantes se evaluarán los precios de inversión en materiales y/o productos necesarios para la evaluación de las alternativas.

Con base a la información de las distintas fuentes obtenidas en la revisión documental, se analizarán la misma con el fin de filtrar, organizar y presentar la información relevante para el logro de los objetivos del trabajo de investigación.

3.7 Fases metodológicas

Este proyecto de investigación está estructurado en cuatro fases metodológicas, vinculadas con cada objetivo planteado para conseguir al logro del objetivo general.

Fase I Diagnostico de las variables que causan los diferentes tipos de corrosión y mediante estas establecer cuál de ellas es la más crítica

En esta fase se diagnosticará las variables que determinan que a las tuberías metálicas sean afectadas por cualquier tipo de corrosión en atención a las condiciones del ambiente y a partir de allí determinar qué tipo de tubería es la más afectada.

A través de la revisión documental se lograron establecer para cada uno de los tres métodos evaluados sus características más importantes desde el punto de vista de instalación y eficiencia de protección del método; considerando que para poder realizar la comparación de los mismos se deben exponer a las mismas condiciones del ambiente y a partir de allí evaluar su desempeño. Para esto se tomó como variable de evaluación la velocidad de corrosión que permite desarrollar cada método, medida cantidad de

metal oxidado por unidad de tiempo; mientras que por otro lado el factor económico estará determinado por la relación costo por metro de tubería a proteger

Fase II Determinar las materias primas y ensayos que se emplean en los métodos para la reducción del efecto corrosivo.

Se analizarán teóricamente las materias primas y sus propiedades más relevantes, con el fin de contextualizar su función en cada uno de las opciones analizadas como método de protección. También se describirán las propiedades de cada uno de los materiales, las pruebas que se deben realizar, y la función que cumple, es decir el aporte que se puede evidenciar en cada una de los métodos a escoger según la información obtenida por los estudios previamente analizados.

Dada la situación actual del sistema de tubería que se desea proteger cada método presentara una serie de consideraciones con respecto a los materiales utilizados, para proteger dicho sistema. Estas materias primas serán seleccionadas a través del análisis de parámetros técnicos como las características del entorno y del sistema a proteger, la composición de los materiales utilizados en los recubrimientos, y la relación existente entre el medio y la barrera protectora, además también se evalúan factores económicos, como los precios de las materias primas en comparación con la inversión inicial realizada en el sistema y logísticos como la disponibilidad de dichas materia o la capacidad de aplicación del método.

Debido a las limitaciones ocasionadas por las medidas asociadas a la pandemia del Covid-19, este estudio se limita a la revisión teórica de trabajos y ensayos realizados para caracterizar las materias primas, sin embargo, el análisis toma relevancia al particularizar la selección de materias primas según condiciones específicas de protección que se quieren alcanzar.

Fase III Evaluar los métodos de inhibición por el efecto corrosivo en tuberías para identificar la mejor alternativa.

En esta fase se lleva a cabo la evaluación de los diferentes métodos de protección para las tuberías metálicas y se procederá a comparar entre cada una de las alternativas, evidenciando los beneficios técnicos y económicos que pueda ofrecer a las empresas

que deseen implementar técnicas que mitiguen el efecto corrosivo para las tuberías expuestas en ambientes agresivos, tales como la penetración de iones en la barrera protectora, aumento de su vida útil, permeabilidad, y otros beneficios que ofrecen estos métodos.

Fase IV Realizar un análisis técnico y financiero que permita la selección de la mejor alternativa para aminorar los efectos de corrosión.

En esta etapa se elaborará un análisis financiero que determinará a partir de los costos totales de los materiales, realizar un análisis de los costos totales de la inversión para económicamente determinar la alternativa a escoger y el beneficio que aporte cada método de protección, para seleccionar la mejor alternativa. Estos costos se obtendrán de precios referenciales en el mercado de las diferentes materias primas elaboradas por las industrias que abastecen el mercado para así seleccionar la mejor alternativa de protección ante el efecto corrosivo.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1 Diagnosticar las variables que causan los diferentes tipos de corrosión para indicar su contribución al proceso corrosivo.

En esta fase se realizó el diagnóstico de las variables que determinan que las tuberías metálicas sean afectadas por cualquier tipo de corrosión en atención a las condiciones del ambiente.

A través de la revisión documental se lograron establecer para cada uno de los tres métodos evaluados sus características más importantes desde el punto de vista de instalación y eficiencia de protección del método; considerando que para poder realizar la comparación de los mismos se deben exponer a condiciones ambientales similares y a partir de allí evaluar su desempeño. Para esto se tomó como variable de evaluación la velocidad de corrosión que permite desarrollar cada método medida por cantidad de metal oxidado por unidad de tiempo, mientras que por otro lado el factor económico estará determinado por la relación costo-metro de tubería a proteger.

El fenómeno de corrosión, la corrosión es un término que se utiliza para describir el proceso de deterioro de materiales metálicos (incluyendo tanto metales puros, como aleaciones de estos), mediante reacciones químicas y electroquímicas (Revie y Uhlig, 2008).

Estos materiales metálicos son obtenidos a través del procesamiento de minerales y menas, que constituyen su estado natural, induciéndolos a un estado de mayor energía. El fenómeno de la corrosión ocurre debido a que, con el tiempo, dichos materiales tratan de alcanzar su estado natural, el cual constituye un estado energético de menor potencial, lo que les permite estabilizarse termodinámicamente (Javaherdashti, 2008). La mayoría de procesos de corrosión involucran reacciones de reducción-oxidación (reacciones electroquímicas), donde para que se desarrollen estos procesos, es necesaria la existencia de tres constituyentes: (1) unos electrodos (un ánodo y un cátodo), (2) un electrolito, como medio conductor, que en la mayoría de casos

corresponde de una solución acuosa, y (3) una conexión eléctrica entre los electrodos (ECCA, 2011).

La figura 8, muestra de forma representativa un esquema de estos elementos, formando lo que se conoce como una celda electroquímica. Las ecuaciones de las reacciones que ocurren en los electrodos son las siguientes:

- En el ánodo: $M_0 \rightarrow M_n + ne^-$ (Oxidación)
- En el cátodo: $M_n + ne^- \rightarrow M_0$ (Reducción)

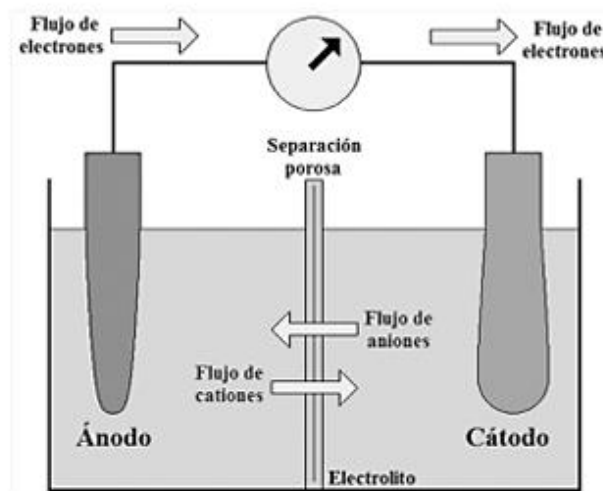


Figura 8 Representación de una celda electroquímica

Fuente: William F

Ambas reacciones ocurren de forma simultánea (ECCA, 2011). Como se observa en las ecuaciones, el ánodo cede electrones al sistema cuando reacciona, aumentando su número de oxidación, cambiando de su estado metálico base a cationes que se disuelven en el electrolito, siendo este el material que se sufre el fenómeno de corrosión; mientras que, en el cátodo, los aniones metálicos absorben electrones, disminuyendo su número de oxidación, por lo que cambian a su estado base. El potencial electroquímico define la susceptibilidad o la resistencia de un material metálico a la corrosión, cuyo valor varía en dependencia de la composición del electrolito. Cuanto más positivo sea el valor de dicho potencial, más noble (resistente) es el material. Mientras que, en el caso contrario, cuanto más negativo sea este, más reactivo es el material a la corrosión. La

serie galvánica consiste es una tabla donde se ubican diferentes tipos de materiales respecto al potencial electroquímico de estos.

Los productos que se forman a partir del proceso de corrosión, sobre la superficie del material, pueden afectar de manera negativa o positiva, las propiedades del material, dependiendo de su naturaleza y las condiciones que lo rodean. Para el caso del hierro (y otros metales), el producto que se forma se conoce como herrumbre, y tiene una menor densidad que el metal base, lo que provoca que este se desprenda de la superficie, facilitando que la corrosión continúe ocurriendo, consumiendo el material.

Por otro lado, para otros tipos de metales, como el aluminio, el níquel o el cromo, los productos de la corrosión tienen una mayor densidad que el material base, formando un capa sólida y estable sobre la superficie de este, evitando que la corrosión se extienda, protegiendo al material. Este proceso se conoce como pasivación, fenómeno que brinda la denominación de inoxidable a un material como, por ejemplo, los aceros inoxidables (Revie, 2011; Schweitzer, 2010).

Según se muestra en los párrafos siguientes la corrosión ocurre cuando el proceso de deterioro de materiales metálicos (incluyendo tanto metales puros, como aleaciones de estos), mediante reacciones químicas y electroquímicas (Revie y Uhlig, 2008). Mientras que las variables que afectan dicho proceso se describen como:

4.1.1 La acidez de la solución:

Muchas soluciones pueden estar en contacto con el material metálico. La acidez de estas soluciones es un factor determinante para producir la corrosión en el material, debido a que mientras más ácida sea la solución (valores de pH menores a 7) más corrosiva es, tendiendo a producir una mayor reacción en la zona del ánodo. Esto se puede explicar fácilmente, ya que los valores de pH menores a 7, cuentan con una concentración medianamente alta de iones de hidrógeno, los cuales son capaces de recibir electrones para estabilizarse.

La escala de pH varía de 0 a 14; un pH de 7.0 representa el punto en el cual el ácido y los materiales alcalinos se equilibran. El agua con un valor de pH inferior a 7.0 se considera ácida, mientras que el agua con un valor superior a 7.0 se considera alcalina.

4.1.2 Alta concentración de sólidos disueltos y conductividad eléctrica (sales disueltas)

Los procesos de corrosión pueden ser alterados o acelerados mediante la presencia de sales ácidas, que pueden estar en contacto con el material metálico. Estas sales ácidas al estar diluidas disminuyen el pH de esta solución, acelerando el proceso de corrosión por acidez. Entre las sales más conocidas que producen una aceleración de la corrosión, tenemos:

- Cloruro de aluminio
- Cloruro de hierro
- Cloruro de amonio

Al contrario de las sales ácidas, las sales alcalinas elevan el valor de pH de la solución que las contiene. Por este motivo, tienen un efecto inverso, por lo que son utilizadas para desacelerar o inhibir el proceso de corrosión. Las principales sales alcalinas utilizadas para inhibir la corrosión son:

- Fosfato trisódico
- Tetraborato de sodio
- Silicato de sodio
- Carbonato de sodio

La presencia de sales ácidas acelera el proceso de corrosión. Por su parte, las alcalinas pueden inhibir el proceso. Los minerales disueltos en el agua se separan en partículas cargadas (iones), que son conductoras de electricidad. La conductividad es un problema solamente cuando el agua posee un alto contenido mineral; el agua pura no es conductora de electricidad.

Los sistemas de tuberías usan diversos tipos de metales, cuando diferentes tipos de metales entran en contacto entre sí y una solución que es conductora de electricidad, el resultado es una pila galvánica. La pila galvánica genera electricidad, lo que corroe uno de los metales. La corrosión galvánica se produce en la unión de dos metales, o muy cerca de esta. Los sistemas de tuberías que usan tuberías galvanizadas a menudo poseen válvulas de bronce para evitar en esos puntos la corrosión. De la misma forma, las tuberías de cobre a menudo poseen uniones soldadas y válvulas fabricadas con una

aleación diferente. Cada unión en donde se conectan los diferentes metales es un sitio propenso a la corrosión galvánica si el agua posee altas concentraciones de minerales disueltos.

4.1.3 La concentración de oxígeno:

La presencia de oxígeno en el medio ambiente puede acelerar el proceso corrosivo del metal. Esto puede variar según las características de cada material metálico. Para materiales férricos, la presencia de grandes cantidades de oxígeno acelerará la corrosión. Mientras que, para materiales no férricos, a mayor presencia de oxígeno, mayor probabilidad de formar capas de protección natural pasiva frente al medio ambiente.

El oxígeno juega un papel muy importante en la corrosión. Por ejemplo, en sistemas cerrados fabricados con acero al carbono, la presencia de oxígeno determina la reacción de corrosión. Una vez que el oxígeno en el ambiente sea utilizado por la corrosión del acero al carbono, la velocidad de corrosión disminuye, independientemente de la temperatura, a valores muy bajos.

En una solución saturada con aire, a medida que la temperatura crece, más allá de una cierta temperatura, la velocidad de corrosión cae a un valor muy próximo de la solución libre de aire (saturada con Nitrógeno). La formación de productos de corrosión puede también ocurrir con el aumento de la temperatura e iniciar un proceso de corrosión bajo depósito, el cual no depende de la temperatura. Esta situación se produce a menudo en los tubos en intercambiadores de calor en agua de enfriamiento.

Según el material, la cantidad de oxígeno presente puede afectar al proceso corrosivo. En los metales férricos, a mayor cantidad de oxígeno, más rápida es la corrosión. Sin embargo, en los materiales pasivados sirve para potenciar la capa protectora.

El oxígeno disuelto en el agua es un agente corrosivo importante. El agua expuesta al aire absorbe el oxígeno. El oxígeno en el agua de lluvia y el agua superficial a menudo se elimina cuando el agua se filtra en la tierra; los pozos profundos, por lo general, no tienen oxígeno. En cambio, los pozos poco profundos y el agua superficial

a menudo poseen más oxígeno. El agua también puede absorber el oxígeno cuando se usa un tanque de presión neumática.

El sulfuro de hidrógeno en el agua subterránea también puede corroer los metales de manera sustancial. Podrá detectar altos niveles de gases disueltos al colocar agua en un recipiente de vidrio transparente. En casos extremos, el agua puede tener una apariencia lechosa debido a pequeñas burbujas de aire

4.1.4 La temperatura:

La velocidad del deterioro suele aumentar a mayor temperatura, siendo el factor que más influye en la corrosión por oxidación. La corrosión es más probable y más rápida en temperaturas más altas. La tasa de corrosión se triplica o cuadruplica a medida que la temperatura del agua se eleva de 60 °F a 140 °F. Por encima de los 140 °F, la tasa de corrosión se duplica por cada incremento de 20 °F.

El incrementar la temperatura que acompaña un proceso, apresura las reacciones químicas de acuerdo a las consideraciones termodinámicas que las gobiernan. La solubilidad del oxígeno se incrementa con el aumento de la temperatura mientras que el equilibrio químico involucrado en la precipitación de los óxidos e hidróxidos de hierro se altera de manera tal que los productos de corrosión son más susceptibles a depositarse. Es importante conocer la temperatura actual de la superficie del metal en contacto con el entorno del proceso. Un ejemplo es el efecto de contacto de pared caliente el cual puede ocurrir en los tubos de intercambiador de calor calentado por vapor, donde la superficie interior del tubo es más alta que la temperatura actual del proceso. En estos casos, la velocidad de corrosión puede ser mayor de lo esperado

4.1.5 Velocidad de flujo:

Generalmente en los sistemas de transporte de fluidos, un aumento de la velocidad de estos, incrementa el proceso corrosivo, debido a que esto posibilita a que las sustancias corrosivas alcancen y ataquen zonas que aún no han sido afectadas. Además, una alta velocidad de flujo, en cierta parte, afecta la formación de capas resistentes que protegen al material del efecto de la corrosión.

Estudios como los del grupo de investigadores de la Universidad del Zulia y la Universidad Francisco de Miranda en el año 2000, Coro estado Falcón, formados por

Odlis de Rincón, Álvaro Rincón, Matilde de Romero, Miguel Sánchez, Aura Asnería de Rincón, María del Rosario Prato, Mariela Fernández y el grupo venezolano de corrosión atmosférica, investigo sobre la agresividad de la atmósfera venezolana a partir de mediciones de los factores climáticos y poluentes, y con la determinación de la velocidad de corrosión de acero al carbono A-36, aluminio 3003, cobre y cinc en un tiempo de cinco años en 14 estaciones de ensayo. A partir de los resultados presentaron los Mapas de Corrosividad Atmosférica de Venezuela (MVCAT), para el acero al carbono A-36, aluminio y cobre, mostrando la velocidad de corrosión y los parámetros meteorológicos que mayormente influyen en cada microclima en particular del país, ya que la misma es subdividida en porciones representativas del peso de cada variable estudiada y el diámetro de la torta representa la velocidad de corrosión del material en esa zona. En el mapa (ver figura 9) igualmente se reportan las características corrosivas de la región según la norma ISO 9223.

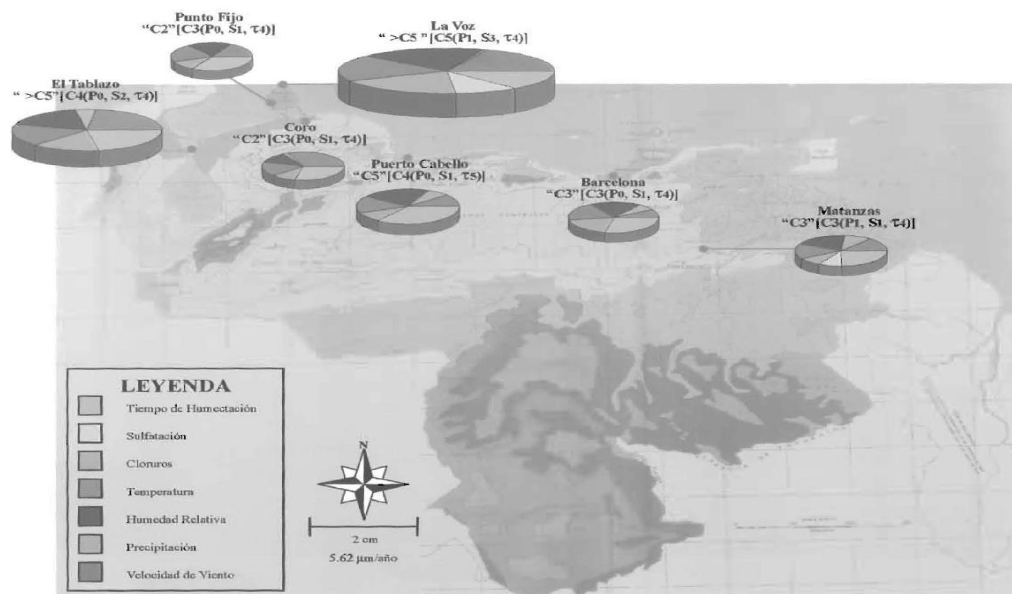


Figura 9 Características corrosivas de la región según la norma ISO 9223.

A partir de la información obtenida por dichos investigadores se logran conocer las características contaminantes de la región que unidas a las condiciones atmosféricas determinan el grado de agresividad al que están expuestas las tuberías superficiales del país. Las características meteorológicas ejercerán influencia sobre las condiciones

ambientales de una determinada zona lo que ayudara al calentamiento de la misma que aunado a las características del fluido conducido determinarán la temperatura a la que está expuesta la tubería.

También se observa de la información suministrada como es la influencia de los medios ácidos en conjunto con la humedad relativa de la zona sobre la velocidad de corrosión, encontrando concentraciones de cloruros y sulfuros que determinan cuando estos compuestos controlan los cambios en la velocidad de corrosión.

Por otra parte, la alcalinidad y el pH a menudo se confunden, la alcalinidad total se refiere a las bases totales del agua que pueden neutralizar el ácido. Estas incluyen los bicarbonatos, carbonatos, hidróxidos y algunos fosfatos y silicatos. La alcalinidad se registra en miligramos por litro de carbonato de calcio. El agua subterránea puede ser ácida o alcalina en pH, en función de distintos factores. En general, el agua de lluvia es ácida porque recoge dióxido de carbono cuando cae a la tierra y forma el ácido carbónico. A medida que el agua se filtra a través del suelo, también puede entrar en contacto con los materiales ácidos, como la materia orgánica en descomposición. La piedra caliza (carbonato de calcio) y la dolomita (carbonato de magnesio de calcio) del suelo neutralizan el ácido y el agua es, por lo general, alcalina pH entre 7 y 8 y “dura” debido a los carbonatos. Si no hay piedra caliza ni dolomita, el agua subterránea conservará la acidez con valores de pH entre 6 y 7.

El agua que contiene sales de calcio o magnesio (agua dura) es menos corrosiva, porque los minerales que endurecen el agua tienden a revestir y proteger el interior de las tuberías. El agua suave que contiene sales de sodio no reviste las tuberías y, en consecuencia, es más corrosiva. El agua que es moderadamente alcalina (40 a 70 mg/l) con un pH entre 7.0 y 8.2 por lo general, no es corrosiva. El agua con un pH inferior a 6.5 es corrosiva, especialmente si la alcalinidad también es baja. Sin embargo, el agua con valores de pH superiores a 7.5 también puede ser corrosiva cuando la alcalinidad es baja. Por tanto, las soluciones acuosas más ácidas son las más corrosivas, por encima de las neutras y las alcalinas, puesto que permiten una reacción mayor en la zona de ánodo.

Tabla 2 Contribución de las variables evaluadas a la velocidad de corrosión.

VARIABLE	CONTRIBUCIÓN
Acidez de la solución	En soluciones acidas, al tener una mayor capacidad de aceptar electrones, tienden a ser más vulnerables a la corrosión que las soluciones neutras y alcalinas, puesto que la zona anódica al liberar electrones da lugar a reacciones que generan el rápido deterioro de la superficie y consigo del material.
Sales disueltas	Se tienen 2 tipos de sales, las acidas y las alcalinas. En el caso de las acidas, al diluirse con la solución electrolítica, reduce el pH, y consigo aumenta la velocidad de corrosión debido al efecto de acidez; por su parte, las soluciones alcalinas, incrementan el pH, por lo cual, en algunos casos actúan como inhibidores durante el proceso de corrosión.
Temperatura	Este parámetro es directamente proporcional a la velocidad de corrosión, puesto que influye en la difusión del oxígeno hacia la superficie del material, causando un deterioro irreversible
Velocidad de flujo	Incrementa el proceso corrosivo, debido a que esto posibilita a que las sustancias corrosivas alcancen y ataquen zonas que aún no han sido afectadas. Además, una alta velocidad de flujo, en cierta parte, afecta la formación de capas resistentes que protegen al material del efecto de la corrosión.

Fuente: Curvelo, Villamediana (2021)

4.2 Determinar las materias primas y ensayos a utilizar en los métodos a aplicar para la reducción del efecto corrosivo.

Existen diversos métodos que se emplean actualmente para lograr mitigar los ataques corrosivos en las tuberías metálicas generados por los componentes que producen degaste de material que perforan las tuberías y ocasionan daños irreversibles en las mismas. Entre estos métodos están la protección catódica, los recubrimientos con pinturas especiales y la protección con mortero u hormigón que incluye el uso de aditivos, por ello a partir del análisis conceptual de las materias primas que se usan en los métodos antes señaladas, y teniendo como limitación la emergencia sanitaria por la pandemia mundial de COVID 19, este estudio será básicamente teórico basada en ensayos y trabajos realizados no llegando a efectuar la fase experimental debido a que los laboratorios de la universidad se encuentran con uso limitado por condiciones de bioseguridad más sin embargo se simulara a partir de un modelo de simulación ya

existente un método de protección y luego a partir de allí efectuar mediante los análisis financiero la alternativa más viable económicamente.

Como alternativas para el control y prevención frente a la corrosión podemos indicar:

4.2.1 Protección Catódica

Entre las técnicas empleadas como método de protección se encuentra la Protección Catódica que es la técnica más utilizada por la industria donde se emplea tuberías metálicas, en este caso la industria de Petróleo y Gas. Se emplea para reducir la corrosión de superficies metálicas mediante el paso de corriente catódica suficiente, que haga que la proporción de disolución de ánodos sea despreciable, en otras palabras, es el uso de electricidad de corriente directa proveniente de una fuente exterior, a fin de contrarrestar la descarga de corriente corrosiva en áreas anódicas de una estructura metálica, inmersa en un medio conductor, o electrólito, tal como tierra y agua.

Cuando un sistema de protección catódico está instalado adecuadamente, todas las porciones de la estructura protegida recolectan corriente del electrólito que está alrededor y la superficie total expuesta llega a ser una sola área catódica por lo que se utiliza sólo para controlar la corrosión resultante de un flujo significativo de corriente directa, desde un área de la estructura (el área anódica), a través de un electrólito, a otra área de la misma (el área catódica), denominada corrosión electroquímica. El área anódica, donde ocurre la descarga al electrólito, se corroe, por el contrario, el área catódica toma la corriente y no se produce corrosión; así el elemento queda protegido catódicamente.

La corrosión electroquímica puede producirse natural o artificialmente (electrólisis). La electrolisis proviene de corrientes eléctricas continuas desviadas que descargan en tierra o agua (el electrólito). Al tomar estas corrientes de un electrólito en un área de la estructura (no perteneciente a la red eléctrica del sistema de protección catódica) y descargarlas en otra área de la estructura, ocurre corrosión electroquímica en el área de descarga (anódica) y un grado de protección catódica resulta en el área colectora (catódica) de la estructura.

En la industria de petróleo y gas la corrosión electroquímica es un problema diario en las tuberías empleadas, pero se mitigan mediante el uso de protecciones catódicas.

Existen diversos principios y criterios que deben ser considerados a la hora de emplear una protección catódica. Se puede indicar como principio básico que mediante una aplicación adecuada de protección catódica se pueden invertir las corrientes de corrosión electroquímica haciendo que la estructura catódica, elimine las áreas anódicas naturales con corriente continua impresa en la estructura, desde un ánodo externo de mayor potencia. Además, la protección catódica no necesariamente elimina la corrosión, pero si la transfiere la corrosión de la estructura protegida y la concentra en algún otro punto conocido donde la descarga de corriente del ánodo(s) puede ser diseñada para larga vida y fácil reemplazo, por lo que uno de los principios básicos es que la protección catódica es efectiva solo en la superficie del metal expuesto al mismo electrólito que el ánodo.

Los criterios que se usan en la protección catódica se han desarrollado en el tiempo y se usan para establecer la efectividad de la aplicación de la protección catódica en estructuras. Las de uso más común incluyen mediciones de tensión (diferencias en potencial) entre la estructura protegida y el electrólito.

Probablemente los criterios más usados utilizan el electrodo de sulfato cobre-cobre, como una media celda de referencia. Este electrodo consiste simplemente de una barra de cobre inmersa en una solución saturada de sulfato de cobre, introducidas en un cilindro plástico con un contacto poroso en el extremo inferior (para que haga contacto por el electrólito) y la barra de cobre sobresaliendo al exterior (para conexión con el voltímetro medidor de alta resistencia o potenciómetro).

Este criterio es muy usado en la industria de petróleo y gas y se ha demostrado que cuando se ha alcanza una lectura, de estructura a electrólito, de $-0,85$ voltios o más negativo, relativa al electrodo de sulfato cobre-cobre, productos de la aplicación de corriente de protección catódica, la corrosión sustancialmente cesa en estructuras de acero en suelos naturales y en agua. La sobreprotección del acero como es la producción de potenciales mucho mayores (más positivos) de $-0,85$ voltios, no es

generalmente dañino, pero si es un desperdicio y puede dañar algunas capas de la estructura, especialmente las capas delgadas de revestimiento.

Es posible en muchos casos solo con una observación visual directa medir la efectividad de la protección catódica, o bien la colocación de muestras del mismo metal en la estructura protegida para hacer revisiones periódicas del grado de efectividad de la corriente protectora aplicada dado que la experiencia haya demostrado que una determinada densidad de corriente ha sido efectiva para proteger el acero en un ambiente dado relativamente uniforme, entonces esta densidad de corriente, aplicada uniformemente, puede ser considerada como un criterio indirecto de protección.

Las densidades de corriente de un miliamperio por pie cuadrado de tubería de acero sin revestir darán la respuesta de potencial deseada en la mayoría de los suelos. En agua salada, se requieren usualmente entre 6 y 8 miliamperios por pie cuadrado para proteger las áreas de corrosión en las estructuras de acero, para nuestro caso, las tuberías. Los efectos de polarización y amperio-hora tienden a reducir la densidad de corriente requerida a aproximadamente la mitad del valor inicial y en el potencial máximo de protección para tubos revestidos debe ser -2.0 voltios, así como considerar la influencia del IxR (caída de tensión del electrólito) esta debe ser considerada para la aplicación del criterio de $-0,85$ V.

Por ello al caracterizar las materias primas que se usan en la protección catódica y tomando como base la serie galvánica de la tabla 3 se describirán los materiales más anódicos que el acero, pues este, es generalmente el material más usado para la elaboración de tuberías metálicas empleadas principalmente en la industria petrolera y de gas. (ver tabla 4)

Tabla 3 Fuerza electromotriz de metales

SERIES DE FUERZA ELECTROMOTRIZ DE METALES	
METAL	VOLTIOS
Magnesio	$-2,37$
Aluminio	$-1,66$
Zinc	$-0,76$
Hierro	$-0,44$
Estaño	$-0,14$
Plomo	$-0,13$

Hidrógeno	0,00
Cobre	+ 0,34 a + 0,52
Plata	+ 0,80
Platino	+ 1,20
Oro	+ 1,50 a + 1,68

Fuente: Handbook of Chemistry and Physics, 41 st edition, 1959 – 1960, Chemical Rubber Publishing Co., pág. 1733

Tabla 4 Serie galvánica práctica

SERIE GALVANICA PRACTICA	
Metal	Volts.
Magnesio puro comercialmente	– 1,75
Aleación de magnesio, (6% Al, 3% Zn, 0,15% MN)	– 1,6
Zinc	– 1,1
Aleación de aluminio (5% zinc)	– 1,05
Aluminio puro comercialmente	– 0,8
Acero dulce (limpio pulido)	– 0,5 a – 0,8
Acero dulce oxidado	– 0,2 a – 0,5
Hierro Fundido (no grafitizado)	– 0,5
Plomo	– 0,5
Acero dulce en concreto	– 0,2
Cobre, bronce, latón	– 0,2
Hierro fundido alto silicio	– 0,2
Acero laminado	– 0,2
Carbón, grafito, coque	+ 0,3

Fuente: Handbook of Chemistry and Physics, 41 st edition, 1959 – 1960, Chemical Rubber Publishing Co., pág. 1733

Existen dos fuentes de corriente continua para protección catódica que son:

- Ánodos galvánicos, directamente conectados a la estructura a ser protegida,
- Ánodos de corriente impresa, que son relativamente inertes y requieren de una fuente de energía de corriente directa para forzar el flujo de corriente.

4.2.2 Ánodos Galvánicos (Ánodos de sacrificio)

Estos ánodos son aleaciones especiales, de alta pureza, de magnesio, zinc y aluminio de acuerdo a los referido en la tabla n de serie galvánica y poseen alto potencial, suficiente para desarrollar flujo de corriente útil a través del electrólito hacia la estructura a ser protegida. El principio es el de la celda de corrosión de metales

diferentes, y la razón por la cual el magnesio y el zinc trabajan tan bien es ilustrada por sus posiciones relativas en las series galvánicas prácticas de la Tabla I. El uso de ánodos galvánicos de aleación de aluminio es hasta el presente, limitado a agua salada, donde estos trabajan muy bien. Los ánodos de aluminio han sido probados en tierra, pero hasta ahora no se han puesto en práctica para este uso.

4.2.3 Ánodos de magnesio:

Los ánodos de magnesio se usan más en tierra debido a su alto potencial impulsor. Este material es el más noble según la serie galvánica, por lo tanto, es el ánodo que presenta menor potencial electroquímico y conlleva a que presente un bajo rendimiento de corriente. No obstante, este material no es comúnmente utilizado debido a su alta capacidad de auto corrosión, además de que eleva en gran cantidad el potencial corrosivo de la estructura a proteger, es decir el desgaste es de forma exponencial

Adicionalmente, este se considera un material como ánodo de sacrificio, ya que, por medio de pruebas de comportamiento en suelos de diferentes resistividades sea evidenciado que el magnesio tiene un buen funcionamiento en suelos con alta resistividad, arenosos, y por el contrario un bajo rendimiento en suelos de baja resistividad, ambientes marinos como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Recomendación de ánodos de sacrificio según la resistividad del medio.

Material	Medio	Resistividad Ω *cm
Al		hasta 150
Zn	Agua	hasta 500
Mg (-1.5V)		mayor de 500
Zn con backfill		hasta 1500
Mg (-1.5V) con backfill	Suelo	hasta 4000
Mg (-1.7V) con backfill		4000-6000

Fuente: GUIDICE, Carlos y PEREYRA, Andrea. Protección catódica con ánodos galvánicos

4.2.4 Ánodo de Zinc.

El zinc es aplicado mayormente en terrenos de baja resistividad y agua, este por su parte, es el ánodo predominante entre los otros ya mencionados, pues además de presentar un buen rendimiento, se conoce que fue el primer metal con el cual se

experimentó la protección catódica. El ánodo de zinc no resulta ser satisfactorio en todos los suelos. Por ejemplo, en aguas dulces puede llegar a tener cambios en su polaridad al sobrepasar los límites de temperatura, es decir, en vez de actuar como ánodo, este pasaría a actuar como cátodo al igual que el material que se quiere proteger, en este caso el acero, por lo que al contrario que el de magnesio, no presenta altas resistividades, por lo cual puede llegar a implementarse en medios marítimos que sufran ataques corrosivos.

4.2.5 Ánodo de aluminio.

El aluminio por su parte, es muy utilizado en la industria como ánodo de sacrificio y se puede llegar a considerar como el más idóneo en este tipo de protección, puesto que, tiene aplicaciones similares al ánodo de zinc, sin embargo, este presenta mejores comportamientos en aguas saladas. Estos ánodos entonces, se considera una mejor opción tanto económica como eficientemente hablando.

Se puede decir que en general los ánodos galvánicos (de sacrificio) se usarán en casos en que se requieran cantidades pequeñas de corriente protectora o bien que la corriente esté bien distribuida, como por ejemplo a lo largo de una tubería sin revestir y su uso está limitado, a tierra o agua de baja resistividad, de manera que la cantidad de corriente generada por ánodo sea de uso práctico.

4.2.6 Recubrimientos y revestimientos contra el efecto corrosivo.

Un recubrimiento o revestimiento puede definirse como una capa de material relativamente delgada, que recubre a un espesor significativamente mayor y que se emplea con diferentes finalidades, como endurecimiento de superficies, recobramiento de dimensiones, mejoramiento de la lubricación, mejoramiento de la resistencia a la abrasión, y sobre todo como tratamientos anticorrosivos, para evitar la corrosión de los metales. Este es el método más empleado, económico y práctico,

Núñez refiere que el deterioro de tuberías a causa de la corrosión es un problema recurrente en los sistemas, sobre todo en aquellos ubicados en sitios donde mantener controlada la humedad resulta complicada. A fin de contrarrestar este problema y ampliar la vida útil de estos componentes, existen diversas opciones en el mercado que pueden generar una rentabilidad significativa.

A través de los años y en función de su aplicación, los recubrimientos se han diferenciado en tres grupos dependiendo de su empleo en la protección de los metales, clasificándolos en: pinturas, recubrimientos y revestimientos con se observa en la siguiente tabla 6.

Tabla 6 Clasificación de los recubrimientos

CLASIFICACIÓN DE LOS RECUBRIMIENTOS		
Clasificación	Función	Espesor
Pinturas	Estética	50
Recubrimientos	Protección anticorrosiva	50 – 1000
Revestimientos	Protección anticorrosiva en ambientes muy agresivos y erosivos	>1000

Fuente: Curvelo, Villamediana (2021)

La realidad de los sistemas de tuberías de metal tanto subterráneos como visibles es que están siempre expuestos a la corrosión durante su funcionamiento tanto para sistemas de agua caliente o fría, drenaje, de descarga y distribución, de petróleo, de gas. Estos por su parte, al ser instalados deben ser evaluados a nivel de alternativas que permitan mitigar el desgaste imparabable e imperceptible debido a la problemática tanto en el interior como exterior de los tubos que provocan una reducción de su vida útil.

La figura 9 establece el porcentaje de desgaste evidenciado a lo largo de los años para la tubería.



Figura 10 Porcentajes de desgaste

Fuente: NUÑEZ, Eduardo. Recubrimiento epóxico para combatir la corrosión. Mundo HVCAC&R.

Los recubrimientos se emplean para conseguir alguna propiedad superficial específica, que no puede ser satisfecha por el material base, dado a su acción preventiva frente al deterioro químico o corrosivo y en estos casos, el recubrimiento actúa como

una protección eficaz ya que forma una barrera física que aísla el material del contacto con el medio. Los recubrimientos o revestimientos se clasifican por lo general en:

- Recubrimientos orgánicos: se aplican principalmente pinturas, esmaltes o tintas, o incluso plásticos.
- Recubrimientos inorgánicos: se engloban como tal los recubrimientos metálicos (cromado, niquelado, cincado, etc.) y los no metálicos que incluyen a los cerámicos (enlozado, vidriado, etc.) como a los compuestos inorgánicos con propiedades especiales (carburos, nitruros, óxidos, fosfatos, etc.).

La protección de metales mediante recubrimientos se basa fundamentalmente en la adherencia del recubrimiento con el material base, por lo que es imprescindible preparar las superficies a recubrir para eliminar cualquier material extraño que pudiera perjudicar dicha adherencia. La preparación de las superficies consiste en una operación de desengrasado y una de decapado: eliminados los residuos grasos, se procede a la eliminación de los óxidos metálicos de la superficie de la pieza mediante el decapado químico (por disolución acuosa, por procedimientos electroquímicos, etc.) o el decapado mecánico (arenado y granallado).

Como parte de los recubrimientos orgánicos el uso de Pinturas como materia prima y método de protección se indica a continuación.

4.2.7 Pinturas

Los recubrimientos de pintura para estructuras de acero se han desarrollado a lo largo de los años para dar a las estructuras durabilidad. Una pintura consiste en un pigmento, disperso en un aglutinante y disuelto en un solvente. El método más común para la clasificación de pinturas es por su pigmentación o por su tipo de aglutinante.

Un sistema de pintura moderno generalmente comprende una aplicación de recubrimiento secuencial de pinturas o, alternativamente, pinturas aplicadas sobre recubrimientos metálicos para formar un sistema de recubrimiento "dúplex". Los sistemas de pintura protectora generalmente consisten en imprimación, capas intermedias de construcción y capas de acabado. Cada capa de recubrimiento en cualquier sistema de protección tiene una función específica, y los diferentes tipos se aplican en una secuencia particular de imprimación seguida de capas intermedias de

construcción en el taller, y finalmente la capa de acabado (o capa superior) en el taller, o en el sitio.

Los imprimadores de prefabricación se utilizan en estructuras de acero, inmediatamente después de la limpieza con chorro de arena, para mantener la superficie limpia con chorro de arena reactiva en una condición libre de óxido durante el proceso de fabricación hasta que se pueda emprender la pintura final. Estos tipos de imprimaciones no se utilizan antes de la aplicación de recubrimientos por pulverización térmica.

El método de aplicación de los sistemas de pintura y las condiciones de aplicación tienen un efecto significativo en la calidad y durabilidad del recubrimiento. Los métodos estándar utilizados para aplicar pinturas a estructuras de acero incluyen la aplicación con brocha, rodillo, rociador de aire convencional y rociador sin aire / rociador sin aire electrostático.

La pulverización sin aire se ha convertido en el método más utilizado para aplicar revestimientos de pintura a estructuras de acero en condiciones controladas. La aplicación con brocha y rodillo se usa más comúnmente para la aplicación en el sitio, aunque también se usan métodos de rociado. Los recubrimientos a rayas que se aplican a los bordes y esquinas afiladas generalmente se aplican con brocha

Según la figura 10 se indica la sección transversal de un sistema de pintura multicapa.

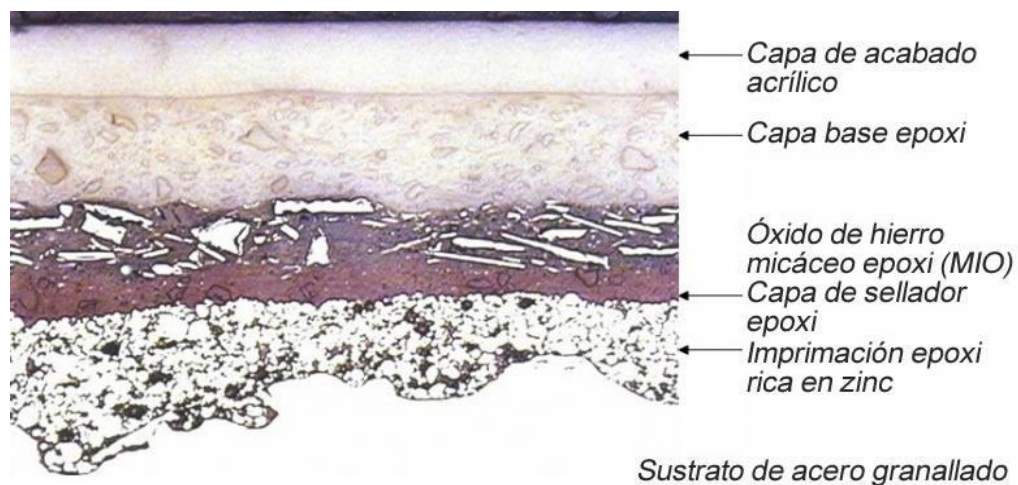


Figura 11 Sección transversal de un sistema de pintura multicapa.

Las pinturas especiales contra la corrosión contienen componentes químicos como el silicato de sodio y también ácido etilendiaminotetraacético (EDTA), el cual hace las veces de agente quelante para evitar la toxicidad en materiales perjudiciales para los seres vivos. La pintura anticorrosiva podrá mantener la protección de láminas de hierro utilizado en construcción, vigas, marcos metálicos, contenedores de aluminio, estructuras metálicas para techos, piezas de vehículos o cualquier otro objeto que pueda ser atacado por la corrosión.

Los pigmentos poseen diferentes funciones tales como la protección anticorrosiva, dan color y disminuyen la permeabilidad, entre otros. Al igual que en los morteros, los aditivos son sustancias que son añadidas a la mezcla en pequeñas proporciones (0.01 a 10% en composición peso/peso) que modifican significativamente sus propiedades en beneficio a la finalidad. Por ello existe diferentes clases de pintura y dependerá de la función que debe cumplir como método de recubrimiento para mitigar la corrosión, teniendo en cuenta lo que establece la norma UNE-EN ISO 12944 ‘Pinturas y barnices. Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pintura protectores’. Esta normativa indica los tipos y sistemas de pinturas que se pueden utilizar en la protección del acero en función de sus naturalezas químicas, número de capas, espesores, corrosividad del ambiente y durabilidad. La norma UNE-EN ISO 12944 también determina la vida útil de un sistema de pintado anticorrosivo fijando tres intervalos de tiempo para su durabilidad:

- Baja (Low): de 2 a 5 años.
- Media (Medium): de 5 a 15 años.
- Alta (High): más de 15 años.

De acuerdo a ello podemos indicar los siguientes tipos de pintura

4.2.7.1 Pintura o resina Epóxica.

Las resinas epóxicas son utilizadas por su alta resistencia química y por su adhesión a los sustratos, también son la clase más importante de las pinturas anticorrosivas algunas características se presentan en la tabla 7.

Tabla 7 Características de la resina Epóxica

CARACTERISTICAS DE LA RESINA EPOXICA
Propiedades mecánicas muy fuertes
Muy buena adhesión a sustratos de metal
Excelente resistencia química, acida y al agua
Mejor resistencia de los álcalis que otros tipos de polímeros
Sensibilidad a la degradación uv

Fuente: Curvelo, Villamediana (2021)

Los ligantes de la pintura epóxicas se fabrican a partir del bistenol A y de la epiclohidrina en distintas proporciones conservadas en la resina, según las propiedades esperadas del producto terminado. No se polimerizan por si solas, si no que necesitan catalizadores, tales como aminas, resinas aminas, poliamidas, ácidos grasos y resinas fenólicas. El peso molecular más elevado está unido generalmente con una mayor tenacidad y resistencia a la abrasión, humedad y ataque químico, pero con poder de disolución más bajo y menos contenido de sólidos a la viscosidad de aplicación.

4.2.7.2 Pigmentos.

La adición de pigmentos es útil para dos propósitos, el primero, proveer de color al sistema de pintura para mejor aspecto, y el segundo, son agregados para mejorar las propiedades de protección contra la corrosión del recubrimiento. Este último mejoramiento puede ser obtenido, por ejemplo, incorporando pigmentos paralelos a la superficie del sustrato en forma de escama o laminilla. Cuando una grande concentración en volumen es usada, las escamas dificultaran la infiltración de un medio corrosivo dentro del recubrimiento por el alargamiento de los caminos de difusión. Como alternativa, los pigmentos anticorrosivos pueden adicionarse para proveer una activa protección del ataque corrosivo. Estos pigmentos tienden a disolverse lentamente en el recubrimiento y proporcionan protección en lugares susceptibles al ataque electroquímico debajo del recubrimiento; en sacrificio se corroen ellos mismos, protegiendo así al sustrato o pasivando la superficie.

Los pigmentos se presentan en tres tipos principales: inhibidores, de sacrificio y de barrera. Los recubrimientos utilizan pigmentos inhibidores liberando solubles especies, tales como molidenatos o fosfatos del pigmento en el agua que penetra al sustrato. Estas

especies son llevadas a la superficie del metal, donde ellos inhibirán la corrosión fomentando el crecimiento de capas de protección de la superficie.

4.2.7.3 Pigmentos derivados de Fosfatos

El termino de fosfato es usado para referirse a un grupo grande de pigmentos que contiene fósforo y un grupo funcional de oxígeno. Los pigmentos a base de fosfato han ido evolucionando a través de la historia, ya que estos han sido el reemplazo de los cromatos con la finalidad de erradicar este último por su alto impacto ambiental y toxicidad.

Tabla 8 Tipos de fosfatos

TIPOS DE FOSFATOS	
Fosfatos que contienen zinc	Fosfatos libres de zinc
Fosfato de zinc, primera generación $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$	Fosfato de aluminio
Fosfato básico de zinc $Zn_2(OH)PO_2 \cdot 2H_2O$	Polifosfato de estroncio aluminio
Fosfato de aluminio zinc	Hidroxifosfato de hierro
Fosfato de zinc molibdeno	Hidroxifosfato de cromo

Fuente: Curvelo, Villamediana (2021)

4.2.8 Recubrimiento con Mortero

El mortero se define como una mezcla plástica obtenida de un aglomerante, arena y agua, destinado para la unión de piedras, ladrillos o incluso como revestimiento de algún material que se desee proteger del medio externo agresivo que puede atentar por medio del desgaste.

Esta mezcla por su parte, se clasifica según su aglomerante, por lo que se tiene que estos se pueden ser morteros de yeso, de cal o de cemento. A su vez estos pueden ser catalogados como morteros bastardos, donde se encuentran mezclados dos aglomerantes, por ejemplo, cal y yeso, cemento y cal, u otras combinaciones. Revestimiento que impide la corrosión en el acero mediante la aislación de la pared del tubo de los agentes que desgastan éste, generando una **protección pasiva** y en paralelo una **protección activa** mediante una reacción alcalina, favoreciendo la reparación de las grietas y hendiduras internas.

Con este revestimiento es posible efectuar un tendido continuo de tubos de acero ya que este compuesto se apoya en la envolvente del tubo de acero, participando de sus deformaciones hasta el límite elástico, sin deterioro de sus propiedades de protección anticorrosivas, atribuyéndole las siguientes ventajas

- Larga vida útil y Resistencia a aguas con alto contenido salino.
- No requiere tratamiento de superficie y mantiene inalterable la capacidad de flujo.
- No se forman incrustaciones por corrosión.
- Tiene una reducida resistencia de fricción, ya que la superficie interior del tubo queda pareja y se mantiene en el tiempo, además posee una resistencia a la abrasión,
- Soporta cambios de temperatura. Tolera temperaturas de 100°C y en casos especiales más elevadas, respetando las temperaturas admisibles del recubrimiento exterior.
- Los tipos de morteros se definen en relación al conglomerante que se utiliza

4.2.8.1 Mortero de Cal

La cal que se utiliza en la actualidad para la confección de morteros, es la cal aérea, apagada y en forma de pasta o polvo. Las propiedades de la cal permiten que se utilice: Para mejorar su manejo, como plastificante, aunque es común además la adición de plastificantes específicos. Para mejorar la formabilidad del mortero y de la pared, sobre todo en los cerramientos exteriores, sometidos a cambios bruscos climáticos. Tal es el caso de una orientación sur con mucho sol, pues los morteros de cal o mixtos absorben mucho mejor los movimientos naturales de los muros.

4.2.8.2 Mortero de Arena

La arena se emplea lavada y cribada, de tipo natural, de machaqueo, o bien, mezclada.

4.2.8.3 Mortero de Yeso

Tienen la principal cualidad de que son muy rápidos para fraguarse. En cambio, son menos resistentes que otros morteros. Es un material de construcción obtenido al mezclar arena y agua con cemento, que actúa como conglomerante, que sirven para aparejar elementos de construcción tales como ladrillos, piedras, bloques de hormigón,

etc., y tienen una gran capacidad de absorción, por lo que pueden almacenar una gran cantidad de agua. Debido a estas características, están aconsejados para construir muros que tengan que soportar peso o condiciones atmosféricas adversas.

4.2.8.4 Mortero de Cemento

Es el más resistente, aunque por ser el de fraguado más rápido, también tiende a resquebrajarse. Se utiliza particularmente para muros de carga y tabiques de cuartos húmedos (baño), tanto por su inalterabilidad como por su impermeabilidad. Es un material de construcción obtenido al mezclar arena y agua con cemento, que actúa como conglomerante, que sirven para aparejar elementos de construcción tales como ladrillos, piedras, bloques de hormigón, etc.

Luego de documentar los diferentes tipos de materias primas y métodos que se usan para protección de tuberías metálicas contra los procesos de corrosión, se procede a definir su proceso de caracterización mediante el análisis de contenido de la información de las diferentes pruebas y ensayos que se realizan empleando las materias primas antes referidas. En razón de que este estudio no incluye realizar trabajo de campo, sino que se obtiene la información de estudios previos efectuados y análisis documental se citan a continuación las diferentes pruebas y ensayos para corrosión.

4.2.9 Pruebas y ensayos para Corrosión

Las pruebas de corrosión son procedimientos de experimentación en los que determinadas muestras son expuestas a condiciones corrosivas extremas de forma artificial. El objetivo es estimar cuál será el grado de resistencia de las sustancias ante distintos escenarios ambientales. Los ensayos de corrosión acelerada no permiten realizar predicciones a largo plazo, debido, principalmente, a la complejidad de las condiciones reales. Sin embargo, un diseño adecuado de estas pruebas y una acertada interpretación de los resultados de las mismas, resultan ser sumamente útiles en evaluaciones comparativas, en la selección de un material para su utilización en un ambiente corrosivo determinado y para garantizar el cumplimiento de ciertas exigencias de índole técnica.

Estos se efectúan en laboratorios donde tienen en cuenta todas las variables que puedan incidir en la aparición de la corrosión y se pueden describir los siguientes:

4.2.9.1 Prueba ASTM D610 Niebla Salina

ASTM D610 nos permite evaluar el grado de corrosión de una superficie de acero pintada utilizando la ayuda visual proporcionada por este método. De hecho, esta aplicación corresponde a una forma estandarizada que permite evaluar la cantidad y distribución de la corrosión superficial visible en una superficie revestida.

El propósito de ASTM D610 es proporcionar una herramienta estándar para evaluar el grado de corrosión de las superficies pintadas con la ayuda de ejemplos visuales. De hecho, las fotos entregadas por este método se clasifican en una escala de 0 a 10 según el porcentaje de superficie oxidada visible y la distribución del óxido. De hecho, un grado más bajo corresponde a una gran superficie corroída, mientras que un grado más alto se asocia con una pequeña superficie oxidada. Además, al evaluar la cantidad de óxido debajo o a través de una capa de pintura, es posible determinar si el sistema de recubrimiento necesita ser reemplazado o reparado, ya que este es un gran indicador de la vida restante del siguiente.

Los principales factores que intervienen en la realización de este protocolo de prueba son: la clasificación de la distribución del óxido y el grado de corrosión.

4.2.9.2 ASTM G1 Evaluación del daño de la Corrosión

Se determinan el área de superficie total inicial de la muestra (haciendo correcciones para las áreas asociadas con los orificios de montaje) y la masa perdida durante la prueba. La tasa de corrosión promedio puede obtenerse de la siguiente manera:

$$Tasa\ de\ corrosion = \frac{(k \times W)}{A \times T \times D} \quad EC.1 \quad Norma\ astm\ g1$$

Donde:

K= es una constante cuyo es 8.76×10^4 para que la tasa de corrosión quede expresada en mm/Año

T= Tiempo de exposición en horas.

W= Masa perdida en gramos.

A= Área en cm^2

D= Densidad en g/cm^3

4.2.9.3 Método de pérdida de peso

El método de pérdida de peso relaciona el daño causado por la corrosión con pérdida de peso en los materiales. Las pruebas de inmersión total que emplean el método de pérdida de peso consisten en exponer piezas pequeñas de metal a ambientes corrosivos, para determinar la pérdida de peso del material después de la prueba (NACE, 1984).

Este método es uno de los más usados en estudios de oxidación y corrosión para determinar el grado de afectación en los metales. Esto se debe a que los resultados obtenidos por este método son considerados confiables, al asemejarse a resultados obtenidos en pruebas de en planta; si se cuidan las condiciones al realizar las pruebas (Perry & Green, 2003). Las pruebas de corrosión mediante el método de pérdida de peso se consideran el método más rápido y satisfactorio para hacer una selección preliminar de los mejores materiales en estudio para una determinada aplicación (Robare, 2000)

Existen diferentes aparatos para determinar la velocidad de corrosión mediante este método. Los aparatos que determinan de forma continua el peso del testigo son muy populares en academia para realizar estudios de corrosión (Lao, 1990). Lo anterior se debe a que pueden recopilarse datos de la cinética de la reacción. Por otro lado, la principal desventaja es que sólo una muestra o testigo puede ser analizado en cada corrida, lo cual hace que el generar datos comparativos para varios tipos de sistemas y materiales sea un proceso largo.

4.2.9.4 Resistencia eléctrica

La prueba de corrosión por medio de resistencia eléctrica se basa en los cambios en la resistencia de piezas metálicas o alambres de los materiales por efecto de la disminución de la su sección transversal, por la pérdida de peso de metal. Existen equipos comerciales como el Corrosometer que se emplean para llevar a cabo pruebas de corrosión mediante este método. Las pruebas consisten en exponer las muestras al ambiente para que el equipo grabe de forma periódica las lecturas; traduciendo la velocidad de corrosión como la pérdida de peso del metal entre cada dos lecturas.

Las principales ventajas de este tipo de pruebas es que pueden llevarse a cabo en periodos de tiempo cortos, además de que los estudios pueden realizarse en exposiciones a gases corrosivos, la velocidad de corrosión se puede determinar sin tener que realizar observaciones a la muestra ni retirarla del equipo. El método puede detectar velocidades de corrosión bajas, las cuales requerirían periodos prolongados para su determinación por el método de pérdida de peso.

La desventaja más importante de este método es que no es posible determinar si existe corrosión localizada. Si el producto de corrosión presenta una conductividad eléctrica cercana a la del metal, los resultados indicaran una velocidad de corrosión pequeña o nula. Además, es importante mencionar que no se pueden realizar este tipo de pruebas si el ambiente es un electrolito.

4.2.9.5 Prueba de corrosión en atmósfera urbana: También conocidos como ensayos Kesternich, simulan las condiciones ambientales de contaminación de las ciudades introduciendo sustancias en espacios concentrados con dióxido de azufre. Se rigen por el estándar ISO 22479.

4.2.9.6 Pruebas de corrosión en atmósfera húmeda: en este tipo de pruebas las muestras interactúan con entornos húmedos cargados de aire caliente saturado de vapor de agua, el cual se condensa de forma continua o intermitente. Están reguladas por la familia de normas ISO 6270.

4.2.10 Métodos electroquímicos

Entre ellos se encuentran:

- **Resistencia a la polarización lineal**

La resistencia a la polarización lineal (RPL) es un método que se emplea para la determinar la velocidad de corrosión. El método consiste en la aplicación de un sobre potencial, respecto del potencial de equilibrio, lo suficientemente pequeño como para no alterar el sistema, pero suficiente como para poder conocer cuál es el comportamiento del electrodo en ese medio frente a las reacciones de oxidación y de reducción. De esta forma, se puede seguir la evolución del proceso de corrosión con el tiempo. Este método asume que la corrosión electroquímica se predice de forma correcta por la ecuación clásica de Stern-Geary (Ecuación 2) (Hakka et. al, 1995).

$$i_{corr} = \frac{b_a b_c}{R_p 2.3(b_a + b_c)} \quad EC.2$$

dónde: i_{corr} es la densidad de corriente de corrosión, R_p es la resistencia a la polarización y b_a y b_c son constantes para el metal.

Materiales considerados en los métodos a Evaluar

Dada la forma en la que se estiman los parámetros en el método de protección catódica, la evaluación del mismo es realizable un ánodo elaborado con cualquier material, en el caso de los recubrimientos se elige un recubrimiento multicapa considerando:

Tuberías aéreas de superficie exterior

Recubrimiento base imprimante epóxico de fosfato de zinc

Fosfatos de Zinc.

Los fosfatos de zinc son ampliamente usados en muchos ligantes base aceite, ligantes de alquídicos y ligantes epóxicos. Su baja solubilidad y actividad los hacen extremadamente versátiles y podrán ser utilizados en resinas, donde muchos pigmentos alcali poseen problemas de estabilidad.

El fosfato de zinc no debe utilizarse solo en largas exposiciones de tiempo porque sufre hidrolización y desaparece continuamente de la película de la pintura, por lo tanto, deberá ser utilizado conjuntamente con otro pigmento anticorrosivo.

Recubrimiento de barrera: barrera Epóxica gris

La resina epóxica, conocida también como porcelanato, cristal líquido o simplemente epoxi; es un compuesto de gran estabilidad térmica que tiene la particularidad de pasar del estado líquido a sólido cuando se le aplica un catalizador o endurecedor.

Recubrimiento de acabado: esmalte de uretano serie 36

Recubrimiento de uretano (poliuretano) brillante, polimérico, tipo acriluretano alifático de dos componentes, catalizador tipo isocianato utilizado como capa de acabado de sistemas epóxicos para la protección y decoración de estructuras metálicas y de concreto expuestas a la intemperie y a los rayos UV en ambientes agresivos. Utilizado para la protección exterior de tanques, tuberías, maquinarias, bicicletas, etc.

Tuberías enterradas

Luego de utilizar un recubrimiento base de fosfato de zinc se coloca como recubrimiento de acabado el coaltar epóxico el cual está conformado por dos componentes con base en resinas epóxicas y alquitrán de hulla y curador tipo amina alifática. Se emplea como recubrimiento de alto desempeño para superficies que van a estar en inmersión permanente o continua en aguas residuales, aguas de mar o suelos altamente agresivos, mayormente utilizado en el interior y exterior de tanques, tuberías, buques y plataformas submarinas.

Para estimar el método de recubrimiento mediante morteros de forma similar al planteamiento realizado en la protección catódica esta propuesta permite evaluar cualquier tipo de mortero utilizado.

En resumen, en relación a las pruebas y ensayos lo más eficiente es incorporar las pruebas a la cadena de fabricación de las tuberías, ya que permiten estimar el tiempo de vida útil de los materiales afectados por la corrosión, introducir mejoras en los diseños y elegir los componentes más fiables. Los ensayos funcionan como un mecanismo de control de calidad capaz de detectar fallos, comparar materiales y definir cuáles son los más indicados para cada entorno. Asimismo, sirven para estudiar el funcionamiento de diversos procesos corrosivos, tales como la corrosión uniforme, la corrosión Intergranular o la corrosión por picaduras.

4.3 Evaluar los métodos de inhibición por el efecto corrosivo en tuberías para identificar la mejor alternativa.

En esta fase de la investigación se evalúa cada método para determinar su efectividad en la disminución del efecto corrosivo, para ello, se toman como referencia dos criterios que son la vida útil proporcionada por el método y para sistemas ya instalados, el desgaste de protección que cada método presenta. Como punto de partida se comienza por determinar la vida útil de la tubería protegida que proporciona cada método evaluado.

4.3.1 Protección Catódica por medio del ánodo de sacrificio:

Determinación de los requerimientos de un sistema de protección catódica

Para la implementación de esta técnica es importante tener en cuenta parámetros de diseño los cuales permitan lograr su correcto funcionamiento, por ello, se describen detalladamente a continuación

El valor de resistividad correspondiente al terreno del tramo que recorrerán las tuberías, esto tomando en cuenta si se realizaran los cálculos para tuberías sumergidas o enterradas, para las tuberías enterradas también deberá clasificarse el suelo según su resistividad, estos pueden comprender desde suelos de baja resistencia (0-2000.00) ohn.cm hasta suelos de muy alta resistencia (30001-&) ohn.cm.

Para la instalación de un correcto sistema de protección catódica se deben considerar las especificaciones mecánicas de la tubería, ya que, si es una tubería con revestimiento, este se debe tomar en cuenta para los cálculos de diseño.

Si es una tubería con revestimiento se dividirá el área a proteger en dos secciones; la sección revestida y la sección desnuda. En primer lugar, se determina la fracción de tubería desnuda a considerar, de acuerdo con el factor de deterioro del revestimiento en función de los años. Las densidades de corriente para las tuberías desnudas y revestidas son diferentes, las revestidas dependen del tipo de revestimiento como se puede apreciar en la tabla 9.

Tabla 9 Tipos de revestimientos

TIPO DE REVESTIMIENTO	DENSIDAD DE CORRIENTE (mA/m ²)
Cinta	1.25
Resina Epóxica en polvo	0.10
Polietileno Extruido	0.10
Brea Epoxy (CoalTar)	0.75

Fuente: Memoria de cálculo del sistema de protección catódica macolla 26 PDVSA 90618.1.072

En el caso de las tuberías desnudas, la densidad de corriente depende del tipo de suelo en el que se encuentre, como podemos aprecia en la tabla 10.

Tabla 10 Densidad de corriente

MEDIO	DENSIDAD DE CORRIENTE (mA/m ²)
Suelos *	10 a 30
Suelos neutro o estéril **	5 a 17
Suelo aireado y seco **	5 a 17
Suelo húmedo	28 a 66
Suelo muy ácido	56 a 170
Suelo con bacterias	450
Agua Dulce y zonas Fangosas ****	11 a 32
Agua Dulce estancada **	56 a 66
Agua Dulce, turbulenta **	56 a 170
Agua Salada *	50 a 80
Agua Salada en movimiento *	100 a 150
Lago de Maracaibo *	50 a 100

Fuente: Memoria de cálculo del sistema de protección catódica macolla 26 PDVSA 90618.1.072

La corriente de salida, drenada por el ánodo, así como la determinación del número de ánodos requeridos, consumo y el tiempo de servicio son fundamentales a la hora de diseñar un sistema de protección catódica.

Para conocer la corriente necesaria en la instalación del sistema se debe conocer el área en m² de la tubería a proteger y la densidad de corriente mediante la siguiente Ecuación:

$$I_{PROT} = i \times \text{Area a proteger} \quad \text{Ec. 3}$$

Donde I_{PROT} es la corriente necesaria e i es la densidad de corriente.

Según Francia (2010), “Es conveniente, cuando se calcula la superficie de la estructura a proteger, observar si existe en ella posibles zonas de sombra, motivadas por refuerzos o cualquier otra circunstancia, ya que hay que tener muy en cuenta estas zonas en el momento de hacer la distribución de los ánodos, de lo contrario estarán sometidas a la acción de la corrosión”.

Para conocer el número de ánodos que se van a necesitar para llevar a efecto la protección catódica, es fundamental determinar el peso o material anódico necesario, este mediante la siguiente ecuación:

$$P_{requerido} = \frac{8.76 \times I_{PROT} \times n}{E_{anodo} \times C_t \times F_{utilizacion}} \quad Ec. 4$$

Donde $P_{requerido}$ será el peso total de material anódico necesario para proteger la instalación, n la vida útil de sistema de protección catódica en años, E_{anodo} será la eficiencia del ánodo, C_t la capacidad teórica del ánodo $F_{utilizacion}$ el factor de utilización.

El factor de utilización está determinado por la cantidad de material anódico consumido cuando el material anódico remanente no puede proporcionar la corriente requerida, este generalmente es un 85%. Según Terrazas, (2010). “Cuando el ánodo se ha consumido el 85%, requerirá reemplazo pues no hay suficiente material anódico remanente para mantener un porcentaje razonable de su capacidad de corriente original”.

Los ánodos galvánicos se fabrican principalmente de magnesio, aluminio y cinc. Las principales características de estos ánodos se presentan en la Tabla 11.

Tabla 11 Aleaciones

ALEACION	MEDIO	EFICIENCIA (%)	CAPACIDAD TEORICA (A*h/kg)	CAPACIDAD PRÁCTICA (A*h/kg)
Magnesio 0.5-1.3% Mn ó 5-7% Al / 2-4%	Suelo/Agua dulce Agua de Mar	50	2200 1014	1100 507
Cinc 0.3-0.5% Al / 0.025-0.1% Cd	Agua de mar	90 95	820 – 776	740 -698 780 – 737
Aluminio 0.35-0.5% Zn 6-8% Zn/0.1 – 0.02% Sn 2-5%Zn/0.02-0.05%In/0.5-1%Mg	Agua de mar Fango de mar Fango de mar	85 95	2434 - 1607	2069 – 1366 2313 - 1527

Fuente: PDVSA

El número de ánodos necesarios se obtiene mediante la división del peso de material anódico necesario entre el peso de ánodos que se consigue en el mercado.

Otro factor a tener en cuenta es la vida de los ánodos. La vida para cada valor de I será en función del peso del ánodo y no del número que pudiera ser colocado. Así, pues, si conocemos la intensidad que es capaz de suministrar un ánodo I_{anodo} , su peso, teniendo en cuenta su capacidad de corriente calculada teóricamente, así como su rendimiento y su factor de utilización, se calcula la vida del ánodo.

$$Y = \frac{M \times C_{practica} \times F_{utilizacion}}{8760 \times I_{anodo}} \quad Ec. 5$$

Para determinar la vida útil de la protección catódica se utiliza la ecuación N°5 en la cual se ofrece una relación entre, el peso del ánodo y la corriente, los cuales son los parámetros de interés en este método. Como se puede observar al analizar la ecuación existe una relación directa con la capacidad practica del ánodo, el factor de utilización y el peso y una relación inversa con la corriente del ánodo, lo que indica la intensidad con que se verá afectado dicho parámetro al variar estas variables, puesto que, cuanto mayor sea el peso del ánodo, mayor vida tendrá.

En sistemas ya instalados, al momento de realizar una evaluación de la situación actual del mismo, el deterioro observado en el ánodo de sacrificio, puede estimarse como una tasa de desgaste expresada en gramos pedidos de material en un periodo de tiempo dado.

Este podemos calcularlo con un producto del valor de corriente suministrada por el ánodo y el valor de “consumo” encontrado en la tabla 12 mediante la siguiente Ecuación:

$$DESGASTE = CONSUMO \times I_{anodo} \left(\frac{kg}{año} \right) \quad Ec. 6$$

Tabla 12 Valor de consumo

ALEACIÓN	MEDIO	CONSUMO (kg/A*año)
Magnesio 0.5-1.3% Mn ó 5-7% Al / 2-4%	Suelo/Agua dulce Agua de Mar	3.98 8.64
Cinc 0.3-0.5% Al / 0.025-0.1% Cd	Agua de mar	10.69 – 11.30
Aluminio 0.35-0.5% Zn 6-8% Zn/0.1 – 0.02% Sn 2-5%Zn/0.02- 0.05%In/0.5-1%Mg	Agua de mar Fango de mar Fango de mar	3.60 – 5.45

Fuente: Memoria de cálculo del sistema de protección catódica macolla 26 PDVSA 90618.1.072

4.3.2 Recubrimiento con pigmentos epóxicos tanto para tuberías externar como tuberías enterradas,

En esta oportunidad se considera un recubrimiento base de fosfato de Zinc, recubrimiento de barrera Epóxica intermedio y un recubrimiento de acabado de esmalte de uretano serie 36, para el primer caso; mientras que para el segundo caso se trabaja con un recubrimiento base de fosfato de zinc y un recubrimiento de acabado de Coalta epóxico.

En este caso los recubrimientos son escogidos en base a referencias comerciales con un proveedor certificado el cual ofrece tanto un rendimiento como un periodo de vida útil en su certificado de análisis del producto como garantía de calidad del mismo.

Debido a que el método de exposición natural, utilizado para evaluar este tipo de recubrimiento, requiere que la probeta se exponga a las condiciones específicas del ambiente y considerando que se realizó una correcta aplicación y no se presentan ralladuras ni burbujas en la superficie cubierta. Se tomarán los tiempos referenciales publicados en el certificado de análisis del fabricante.

El estudio ASTM D610, no se contempla como opción debido a la falta de disponibilidad del equipo requerido en la mayoría de los clientes potenciales del método de evaluación. Por lo que se utiliza la ayuda visual de dicho método y así realizar un análisis comparativo del sistema

Al seleccionar un método de protección contra la corrosión que utilice un recubrimiento epóxico deben tener las siguientes consideraciones:

4.3.3 Para tuberías de Conducción aéreas en superficies exteriores:

Como paso inicial se debe preparar la superficie limpiándola con un chorro abrasivo según la normativa SSPC-SP10, con un perfil de anclaje entre 1.5 a 3mils, para posteriormente comenzar a aplicar los recubrimientos, el primero consta de un imprimante epóxico de fosfato de Zinc a un espesor de 4 mils.

Para dicho imprimante se tiene que el rendimiento teórico se estima en función de la relación existente con la capa protectora requerida el cual se estima a través de la siguiente ecuación:

$$R = 0.6276e^2 - 11.836e + 67.709 \quad \text{Ec. 7}$$

Donde:

R: Rendimiento (m²/gal)

e: espesor de la película protectora (mils)

Posteriormente se aplica una Barrera Epóxica Gris, con un espesor de 3.5 a 4mils, la cual tiene un rendimiento teórico de diseño suministrado por el fabricante de 90m²/gal. Por último, se aplica un recubrimiento de acabado de esmalte de Uretano serie 36 a un espesor de 1.5-2 mils, el cual igualmente posee un rendimiento teórico de diseño suministrado por el fabricante de 90m²/gal

4.3.4 Tuberías de Conducción enterradas

Como paso inicial se debe preparar la superficie limpiándola con un chorro abrasivo según la normativa SSPC-SP5, con un perfil de anclaje entre 1.5 a 3mils, para posteriormente comenzar a aplicar los recubrimientos, el primero consta de un imprimante epóxico de fosfato de Zinc a un espesor de 3 mils. Para dicho imprimante se tiene que el rendimiento teórico se estima en función de la relación existente con la capa protectora requerida el cual se estima a través de la ecuación 7; para finalizar se utilizar un Coaltar epóxico con rendimiento teórico: 120 m²/galón a un espesor de película seca de 25.4 micrones (1.0 mils).

Para la estimación de la velocidad de desgaste se utilizan las normas ASTM D610 que indica el grado de corrosión existente en la pieza lo cual sirve de parámetro para

determinar la variable antes mencionada a través de la normativa ASTM G1 utilizando la ecuación 1.

4.3.5 Vida útil del mortero estimada a través del modelo de difusión de cloruros

Para el estudio de la vida útil de morteros, considerando que el recubrimiento en esta oportunidad ofrece una capa la cual aísla completamente la tubería y que con respecto a la pintura Epóxica o a la protección catódica se encarga de impedir el contacto del oxígeno y los compuestos ácidos que causan corrosión, la vida útil está ligada al tiempo que necesitan dichos compuestos para atravesar el recubrimiento, por lo que al estudiar la difusión de estos en el concreto se podrá tener una medida indirecta de dicha variable.

Según normativa ASTM C 1556-04, las para un mortero bajo condiciones ambientales de agresividad media, con relación A/C = 0.5, contenido mínimo de cemento=300kg/m³ Resistencia mínima f'c=25MPa. Recubrimiento mínimo=50mm, se establece que la concentración superficial de cloruros es 0,375%, el contenido máximo o umbral es 0.2% y el contenido inicial es 0%. bajo estas condiciones el coeficiente de difusividad es

$$D= 3.1966*10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$$

A partir de estas condiciones según la información suministrada por el trabajo realizado por Ossorio y Lozano (2014) se puede estimar el tiempo de vida útil a través de la siguiente ecuación:

$$t = \frac{X^2}{4DZ^2} \quad \text{Ec. 8}$$

En donde:

X; espesor del recubrimiento (m)

Z: coeficiente de la función Erf que relaciona el cociente de Cx/Cs, con los parámetros de tiempo y espesor.

En este caso el deterioro del recubrimiento se mide como una velocidad de avance de los cloruros a través del recubrimiento considerando que la velocidad de avance (VA) se calcula como

$$VA = \frac{x}{t} \quad \text{Ec. 9}$$

Con la información suministrada por la evaluación de los tres métodos por separado, se procede a realizar la comparación entre todos los resultados obtenidos, para lograr establecer una jerarquía en el desempeño de los métodos en función de las variables estimadas, con lo que se considerara como la mejor alternativa aquel método que presente las siguientes características; el mayor tiempo de vida útil como condición de diseño del método de protección y mayor desgaste como parámetro de evaluación de sistemas de protección contra corrosión existentes.

4.4 - Realizar un análisis técnico y financiero que permita la selección de la mejor alternativa para aminorar los efectos de corrosión.

A continuación en este capítulo se presentaran los resultados obtenidos al culminar con cada una de las cuatro fases en las que está dividida la presente investigación, aquí se explicaran en función de los conceptos descritos en las bases teóricas los hallazgos que tuvieron lugar tanto en la fase de diagnóstico, como en la de caracterización, además se explicaran los requerimientos técnicos de cada método de protección contra la corrosión que fueron considerados para evaluación de cada uno de ellos y como se relacionaron entre sí. Por último, se analizará la factibilidad técnica y económica de aplicar el presente modelo de evaluación para sistemas de protección contra la corrosión.

4.4.1 Estudio de la Factibilidad Técnica económica del Sistema de Protección catódica

El estudio de factibilidad técnica comienza realizando el análisis de las condiciones ambientales del entorno en donde se encuentra el sistema de tuberías y el sistema en si para que luego utilizando los procedimientos y ecuaciones explicados en la fase III determinar el peso del ánodo, seleccionar el material del mismo y calcular la corriente de salida del ánodo, los cuales en esta oportunidad son los parámetros técnicos críticos del método.

En este caso se observa como dichos parámetros corresponden a especificaciones de diseño del ánodo y como el método se adapta a las condiciones ambientales y del sistema que se requiere proteger y como la factibilidad técnica está directamente ligada

a la factibilidad económica debido a que la primera pasa por la disponibilidad de recursos para adquirir los ánodos requeridos.

Una vez diseñado el ánodo, a través de la ecuación 4 se calcula tal y como se mencionó en el objetivo III el tiempo de vida útil y con este valor utilizando el costo referido al catálogo de materias anódicas se procede a construir el índice de estimación del costo beneficio tal y como se definió al principio del capítulo con lo cual se culmina la evaluación técnico-financiera del método de protección.

Según la Norma PDVSA HA-201. “El costo de protección catódica un sistema bien diseñado sólo es un pequeño porcentaje de la inversión total de la instalación protegida. Preferiblemente este porcentaje no debe exceder del 5 %”.

Según Tamayo (2016). “Para realizar un presupuesto de inversión, es necesario tomar en cuenta ciertos factores importantes como son los materiales, la mano de obra y los equipos a utilizarse con sus respectivos accesorios”.

Se debe tomar en cuenta la necesidad de contratar un equipo de personas que se denomina “Cuadrilla” la cual consta de instaladores y un supervisor dependiendo la cantidad de personal requerido, el supervisor estará a cargo de cumplir las necesidades propuestas de instalación.

Se considera también que a este personal se le debe dotar de condiciones buenas de trabajo, incluyendo alojamiento, transporte, comunicación y movilización en el campo. Todos estos rubros representan el costo de mano de obra el cual está referido por un tiempo de un día. Cabe recalcar que estos valores son referenciales y fueron tomados de pago de nóminas del año 2015 de la empresa pública de Hidrocarburos del Ecuador PETROECUADOR.

Tabla 13 Costo de mano de obra por día para una cuadrilla de 5 trabajadores

DESCRIPCION	DOLARES POR DIA	CANTIDAD	TOTAL
Supervisor	\$30,00	1	\$30,00
Instalador	\$20,00	4	\$80,00
Alojamiento y Alimentación	\$25,00	5	\$125,00
Transporte más Combustible	\$80,00	1	\$80,00
Gastos Comunicación	\$5,00	1	\$5,00
Otros Gastos		10%	\$32,00
Costo de mano de obra día			\$352,00

Fuente: Tamayo, Patricia. (2016). Diseño de un sistema de protección catódica en líneas enterradas de un tramo del oleoducto secundario Sacha-Lago Agrio.

Para determinar el costo total por instalación de este tipo de protección, además de ser necesario el conocimiento del número lechos anódicos que se enterrarán, es necesario conocer el número de estos que una “cuadrilla” puede instalar en un día asumiendo que se trabajan 8 horas por día. Lo cual se fundamenta en la experiencia previa que se tiene en este tipo de instalaciones. Sobre la base de este conocimiento, se ha establecido que se instalan 3 lechos anódicos por día y que los puntos de monitorización se instalarán uno cada 3 lechos anódicos.

Con estos datos se puede conocer un estimado en el tiempo de realización de la instalación del sistema y así poder determinar el costo total para instalación. En la tabla 14 se muestra cómo se realiza el cálculo del costo de instalación de mano de obra para un sistema de protección catódica por ánodos de sacrificio.

Tabla 14 Método de Cálculo del costo de mano de obra total para protección catódica

DESCRIPCION	TOTAL DE PUNTOS A INSTALAR	TOTAL DE DIAS DE TRABAJO
Instalación del sistema a proteger	N° de lechos anódicos	N° de lechos anódicos/3
Instalación de puntos de monitoreo	N° de lechos anódicos/3	Puntos de monitoreo/3
Días totales necesarios para trabajar		Suma de días instalación
Costo de mano de obra por día		\$352,00
Costo total de mano de obra en instalación		<i>Total dias trabajo * 352\$</i>

Fuente: Tamayo, Patricia. (2016). Diseño de un sistema de protección catódica en líneas enterradas de un tramo del oleoducto secundario Sacha-Lago Agrio.

Los materiales necesarios para la instalación de este tipo de sistema de protección constan de los ánodos, los electrodos de referencia, cableado de cobre, un kit de accesorios el cual incluye todo lo necesario para la soldadura y todo lo necesario para la colocación del juego de empalme tipo Y 90-B1. En la tabla 15 se muestra el precio de la adquisición de algunos materiales proporcionados por la empresa Corpro INC.

Tabla 15 Precio de algunos materiales según la empresa Corpro INC

DESCRIPCION	PRECIO
Para Instalación	
Ánodo de Mg #48 lb	\$368,00
Ánodo de Mg #17 lb	\$230,00
Ánodo de Mg #60 lb	\$415,00
Juego de empalme tipo Y 90-B1	\$87,00
Para puntos de monitoreo	
Tubo de 6 pulgadas (m)	\$12,00
Cable HMWPE AWG #2	\$18,00

Fuente: Corpro INC.

A modo de referencia se ilustra el análisis antes mencionado aplicado un sistema de tuberías específico.

Luego de conocer las condiciones iniciales del sistema y el ambiente donde se encuentra, se procede a realizar los cálculos de diseño para obtener todos los parámetros necesarios para realizar un estimado económico.

Como referencia de diseño tomaremos los datos y cálculos obtenidos en la instalación del sistema de protección catódica MACOLLA 26 el cual se presenta como una red de tuberías enterradas asociadas a la producción de crudo, ubicada en Morichal, estado Monagas, Venezuela. Como parte de la Ingeniería de Detalle correspondiente al Proyecto “INGENIERÍA DE DETALLE DE LAS MACOLLAS 24 Y 26 ASOCIADAS A 24 Y 12 POZOS Y CORREDORES PRINCIPAL Y AUXILIAR”.

Los datos de ingeniería se encuentran reflejados en el anexo 1.

Los Ánodos requeridos por peso son 103. Sin embargo, para cumplir con la capacidad de corriente requerida por el sistema de tuberías enterradas en la macolla, se necesitan 129 ánodos de 27kg.

En cuanto al tramo comprendido entre las salidas de la macolla y parte del Corredor, la corriente necesaria calculada para la protección catódica de los tubos de 20”, 12”, 10”, 6” y 4” es 17819,71 mA, mientras que la corriente de suministro calculada para un ánodo es de 139,07 mA. Por lo tanto, se estima que un sistema compuesto por 43 lechos de 3 ánodos de Magnesio cada uno, cumplirá con los requerimientos de protección de las tuberías.

Aplicando el cálculo mostrado en la tabla se tiene que el costo de mano de obra en la instalación de protección catódica para la MACOLLA 26 se encuentra reflejado en la tabla 16.

Tabla 16 Costo de mano de obra en la instalación

DESCRIPCION	TOTAL DE PUNTOS A INSTALAR	TOTAL DE DIAS DE TRABAJO
Instalación del sistema a proteger	43	15
Instalación de puntos de monitoreo	14	5
Días totales necesarios para trabajar		20
Costo de mano de obra por día		\$352,00
COSTO TOTAL DE MANO DE OBRA EN INSTALACIÓN		\$7040,00

Fuente: Curvelo, Villamediana (2021)

El costo total de materiales se consigue mediante el precio obtenido de estos mismos en el mercado, como referencia se utilizaron los mostrados en la tabla 15 obtenidos por la empresa canadiense Corpro INC.

Tabla 17 Costo total de materiales MACOLLA 26

DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL (USD)
Para Instalación			
Ánodo de Mg #60 lb (27kg)	129	\$415,00	\$53.535,00
Juego de empalme tipo Y 90-B1	5	\$87,00	\$435,00
Para puntos de monitoreo			
Tubo de 6 pulgadas (m)	28	\$12,00	\$336,00
Cable HMWPE AWG #2	21	\$18,00	\$378,00
COSTO TOTAL MATERIALES			\$54.684,00

Fuente: Curvelo, Villamediana (2021)

Costo total Protección catódica MACOLLA 26

COSTO TOTAL DE MANO DE OBRA EN INSTALACIÓN	COSTO TOTAL MATERIALES	TOTAL (USD)
\$7.040,00	\$54.684,00	\$61.724,00

Esto nos indica que la instalación total de protección catódica para MACOLLA 26 será de \$61.724,00 y que si cualquier parámetro de diseño se cambia esto se verá reflejado directamente en el precio final de la instalación, como ejemplo se muestra una comparación realizada por Tamayo en su estudio “Diseño de un sistema de protección catódica en líneas enterradas de un tramo del oleoducto secundario Sacha-Lago Agrio” donde luego de haber realizado los cálculos y el diseño de ingeniería para sus condiciones específica, se muestra el impacto directo en el presupuesto cuando el sistema se diseña con diferentes materiales encontrados en el mercado.

Tabla 18 Ejemplo comparativo realizado por Tamayo

COSTOS DE INSTALACION		GASTOS DE MANTENIMIENTO		TOTAL
Ánodo de Magnesio 17lb				
Costo mano de obra	\$23.965,33	Gasto mano de obra	\$48.840,00	\$204.157,83
Costo de materiales	\$124.817,83	Gasto de materiales	\$6.500,00	
Costo total	\$148.817,83	Gasto total	\$55.340,00	
Ánodo de Magnesio 48lb				
Costo mano de obra	\$8.506,83	Gasto mano de obra	\$24.420,00	\$110.036,67
Costo de materiales	\$70.610,00	Gasto de materiales	\$6.500,00	
Costo total	\$79.116,67	Gasto total	\$30.920,00	

Fuente: Tamayo, Patricia. (2016). Diseño de un sistema de protección catódica en líneas enterradas de un tramo del oleoducto secundario Sacha-Lago Agrio.

Se puede observar en la tabla 18 que resulta un 86% más costoso la utilización de ánodos de sacrificio de 17 libras, que si se utilizara 48 libras, a pesar que ambos son de magnesio y serán utilizados para el mismo sistema de tuberías, esto porque a pesar de que el ánodo de 17 libras tiene un costo menor, se necesita de una mayor cantidad de

ánodos, incrementando la cantidad de lechos anódicos que se deben enterrar, esto influye directamente en el valor de la mano de obra y a su vez en el costo total.

4.4.2 Factibilidad técnica del sistema de recubrimiento epóxico

A continuación, se describen las características mínimas para la aplicación de este método de protección con base en la normativa ISO- 12944

Como primer paso se tienen que establecer las condiciones ambientales sobre las cuales se va a realizar la evaluación, se elige una combinación de factores que más se acerque a las condiciones reales a las que está expuesto el sistema de tubería, cabe destacar que la normativa clasifica a las condiciones ambientales en 10 características que contemplan desde ambientes húmedos hasta ambientes aislados y a temperaturas elevadas.

El segundo paso consiste en establecer las condiciones de la superficie a recubrir, en esta oportunidad al igual que en el caso anterior la normativa ofrece una clasificación englobando distintas combinaciones de posibilidades tratando de cubrir la mayor cantidad de los sistemas que se utilizan con mayor frecuencia. Se consiguen en esta categoría aceros nuevos sin ningún tipo de recubrimiento previo, Aceros previamente pintados y con cierto grado de corrosión.

El tercer paso corresponde a la elección del sistema de recubrimiento, el cual según las características de los parámetros elegidos en los pasos uno y dos, estará constituido por múltiples capas de distintos recubrimientos protectores hasta alcanzar el espesor de película requerido. Esta secuencia normalmente está conformada por una capa de recubrimiento base, una segunda capa denominada barrera protectora y una tercera capa llamada recubrimiento o esmalte de acabado.

El cuarto paso corresponde a la preparación de la superficie en donde se debe seleccionar el método y el grado de limpieza a utilizar. Durante esta etapa se deben realizar una inspección visual lo más detallada posible antes y después de la limpieza para asegurar la remoción de todas las partículas de material que pudieran causar algún tipo de desperfecto a la película protectora.

Una vez que fueron detallados los requerimientos mínimos necesarios para la aplicación del método se procede a realizar el análisis técnico tomando en

consideración que la empresa contratante, que busque evaluar a través de la presente propuesta el diseño que requiere instalar, deberá estar en la capacidad de cumplir la ejecución de los pasos descritos en los párrafos anteriores.

A continuación, se muestra una tabla resumen que describe con más detalle los cuatro pasos requeridos para la aplicación del recubrimiento epóxico.

4.4.3 Factibilidad económica sistema de recubrimiento epóxico.

Para evaluar la factibilidad económica se realizará el cálculo del índice definido como el cociente entre el costo de aplicación del recubrimiento y el tiempo de vida útil del mismo.

Considerando que los factores económicos como. Mano de obra, insumos y el método de validación pueden estimarse como una fracción del costo del componente principal del método que son las tres capas de protección y la limpieza requerida, se define como costo de aplicación, al costo de adquirir los recubrimientos y realizar la limpieza. Siendo este el caso el costo del recubrimiento (CRE) se calculará como:

$$CRE = (\sum Ni * PVi) + PGM + 0.10[(\sum Ni * PVi) + PGM] \quad Ec. 10$$

Donde:

Ni: número de galones de cada capa de recubrimiento a utilizar.

PVi: precio de venta de cada recubrimiento a utilizar

PGM: Precio del método de preparación de superficie.

De la ecuación anterior se tiene que el número de galones a utilizar se determina por:

$$Ni = \frac{LD}{H} \quad Ec. 11$$

En donde:

L: representa la longitud de tubería del sistema.

H: factor de rendimiento del recubrimiento en película húmeda, proporcionado por el fabricante.

D: Diámetro de tubería.

Mientras que el precio del método de preparación de superficie se determina mediante la siguiente ecuación:

$$PMG = L(M + G)$$

Ec. 12

Donde:

M: representa el costo del método de limpieza aplicado por longitud de tubería

G: representa el costo del grado de limpieza al que se debe llegar para aplicar el recubrimiento por metro de tubería.

Finalmente, el indicador costo-tiempo de vida útil (CT) se calcula como:

$$CT = CRE/T$$

Ec. 13

Este indicador será comparado con el mismo indicador calculado para el resto de los métodos y el que ofrezca un menor valor proporcionará desde el punto de vista económico la mejor alternativa a utilizar. Por otra parte, se observa como es directamente proporcional al costo del recubrimiento con lo que se corrobora que, al agregarle los costos de mano de obra, de insumo y de validación aumentará el valor del mismo pero la relación costo tiempo de vida útil no se verá afectada.

A modo de ejemplo se describe a continuación el análisis realizado a un sistema de tuberías en particular en donde:

Una vez que se ha efectuado el diagnóstico inicial del sistema de tubería y se conocen las características del mismo y del ambiente al que está expuesto dicho sistema se procede con la elección del recubrimiento que mejor se adapte a dichas características, tal y como se menciona en la evaluación técnica del método, en este caso de forma referencial considerando la gran cantidad de combinaciones entre tipos de sistemas de tuberías y condiciones ambientales se selecciona como medio protector un recubrimiento multicapa el cual se inicia con un imprimante a base de fosfato de zinc, con un espesor de 4mils, para luego agregársele una capa intermedia llamada barrera Epóxica gris con un espesor igual a 4mils y finalmente una capa de acabado de esmalte de uretano serie 36 de espesor igual a 2mils.

Por otra parte, el sistema de referencia estará compuesto por un tramo de tubería de 1000m de longitud y 6in (0.154m) de diámetro. Con la información suministrada se procederá a calcular el costo de instalación de dicho sistema.

Como primer paso se estima el rendimiento teórico del imprimante de Fosfato de Zinc el cual se determina por medio de la ecuación 7 considerando un espesor de 4mils, el mismo será de:

$$R = 0.6276(4)^2 - 11.836(4) + 67.709 \implies R = 30.41m^2/gal$$

Este rendimiento es considerado como el rendimiento de película seca (H).

Para el caso de la barrera Epóxica gris y del esmalte de acabado de uretano serie 36 el fabricante especifica que ambos tienen un rendimiento de 90m²/gal.

Conocidos los rendimientos de cada uno de los productos con los cuales se aplicarán las distintas capas del recubrimiento seleccionado se procede a determinar el número de galones necesarios para recubrir toda la superficie de la tubería, para cual se utilizará la ecuación 11 tal y como se muestra a continuación:

-Cálculo del número de galones de imprimante a base de fosfato de Zinc

$$N_{imp} = \frac{1000 * 0.154}{30.41} \implies N_{imp} = 4.90gal \cong 5gal$$

De igual forma se realiza para el resto de los recubrimientos utilizados, tomando en cuenta el valor del rendimiento suministrado por el fabricante. Los resultados son reportados en la tabla 19.

Tabla 19 Costo del Recubrimiento Seleccionado

Recubrimiento	#gal Requeridos	Precio/gal (\$/gal)	Costo total (\$)
Imprimante	5	121.53	607.65
Barrera Gris	2	124.45	248.90
Esmalte de Acabado	2	101.43	202.86
Totales	9	N/A	1059.41

Fuente: Curvelo, Villamediana (2021)

Según las condiciones de preparación de superficie del imprimante epóxico a base de fosfato de Zinc suministradas por el fabricante se requiere de una limpieza mecánica SSPC-SP3 con un grado con un grado comercial SPC-SP6. Según los datos suministrados por AGROGREY C.A en la sección de atención al cliente de su sitio web, se estima que el valor de este tipo de limpieza es de 20\$/m² siendo así:

$$PMG = (1000 * 0.154) * 20 ==> PMG = 3080\$$$

El costo de mano de obra se considera un 10% del total entre el costo de la preparación de la superficie y el costo del recubrimiento protector por lo que por medio de la ecuación 10 se tiene que:

$$CRE = 1059.41 + 3080 + 0.10[1059.41 + 3080] = CRE = 4553.35\$$$

Como consideración final y tomando en cuenta que se trata de un cálculo referencial, se tiene que en cuanto al sistema de recubrimiento epóxico la variación en costos proviene de dos fuentes que son, el cambio del recubrimiento utilizado y la preparación previa de la superficie a recubrir, con respecto al primer factor este es proporcional a la complejidad del método utilizado y dado que existen al menos 4 tipos de limpieza según lo observado en la tabla 26 el rango de variación es bastante amplio y debe ser estimado según las condiciones que se presenten en la evaluación inicial; analizando al segundo factor, el cambio de recubrimiento ocasiona variación en los costos debido a modificaciones del espesor de película y la cantidad de capas a aplicar que influirán directamente en el número de galones de recubrimiento requeridos, si por otra parte, se analiza además, el costo del recubrimiento, la complejidad de la síntesis del mismo incrementará su valor y se deberá tomar en consideración que ciertos recubrimientos son distribuidos en presentaciones mayores a la unidad por lo que se debería asociar un costo adicional del material sin utilizar.

4.4.4 Factibilidad técnica del sistema de recubrimiento a través de morteros

Para el estudio de la factibilidad técnica de este método, se estiman los requerimientos en cuanto a la cantidad de cemento y los aditivos a utilizar, guardando las consideraciones de la relación A/C óptima. A continuación, se muestran los requerimientos para la instalación del método utilizando una base de cálculo para la longitud de tubería igual a 6 m.

Como primer paso se analizan las condiciones ambientales y las características de la superficie y del fluido a transportar lo que dará como resultado la selección del tipo de aditivo y de la proporción de este a utilizar.

El segundo paso consiste en la construcción del molde del mortero requerido para encofrar el sistema, para ello se utiliza una estructura desarmable proporcional a la longitud total de la tubería.

El tercer paso corresponde al vaciado de la mezcla el cual se realizará por etapas tomando en cuenta el tiempo de secado especificado por el fabricante y la disponibilidad del molde, construido en el paso anterior.

Las condiciones generales del ambiente, así como también, los requerimientos correspondientes a las materias primas del mortero, son los parámetros técnicos críticos a los cuales se les asocia el costo de la aplicación del método, sin embargo, la geometría del sistema de tuberías es el factor determinante en la instalación de este tipo de recubrimiento protector.

A partir de la longitud pre establecida y el diámetro de tubería del sistema se obtiene de la tabla 20 la dosificación del mortero, con esta información se ubica en el catálogo del proveedor del cemento y los aditivos y se procede a realizar la estimación del costo.

Tabla 20 Dosificación revestimiento exterior

DIAMETRO DEL TUBO (PULGADAS)	DOSIFICADOR DE ARENA LLENO	BULTOS DE CEMENTO	AGUA LITROS	VISCORETE LITROS
10	3	2	23	0.4
12	3 1/2	2 1/2	27	0.5
14	4	2 1/2	30	0.6
16	4 1/2	3	34	0.7
18	5	3 1/2	39	0.7
20	5 1/2	3 1/2	43	0.8
21	6	4	44	0.9
24	6 1/2	4 1/2	50	1.0
27	7	5	56	1.1
30	8	5 1/2	61	1.2
33	9	6	67	1.3
36	9 1/2	6 1/2	73	1.4
39	10	6 1/2	78	1.5
42	11	7	84	1.6
45	12	7 1/2	89	1.7
48	12 1/2	8	95	1.8
51	13	8 1/2	101	1.9
54	14	9	106	2.1

57	14 1/2	9 1/2	112	2.2
60	15 1/2	10	117	2.3
66	17	11	129	2.5
72	18 1/2	12	140	2.7

Fuente: Empresa Tubos SDI. Soluciones en Diseño e ingeniería S.A

4.4.5 Análisis Financiero Método de Protección con Morteros

El análisis financiero se lleva a cabo considerando el hecho de que se tiene que realizar la construcción del molde de encofrado y a parte del vaciado del concreto para realizar el recubrimiento de la tubería. Según la tabla 20, para una tubería de 6m y un diámetro de 12in (0.3048m) se necesitan 2 ½ bultos de cemento (42,50 kg/ Bulto), 30L de agua y 0.6L de aditivo Viscocrete 2100. A partir de estos datos se calcula el costo asociado a los materiales del recubrimiento para lo cual se cuenta con la información de la tabla 21.

Tabla 21 Costo de los materiales a utilizar para preparar el recubrimiento

Descripción	Costo Unitario	Cantidad requerida	Total (\$)
Cemento	6.95 \$/bulto	2.5 Bultos	17.35
Viscocrete 2100	5.63 \$/kg	0.6L	3.65
Agua	0.5 \$/L	30L	15
Total	N/A	N/A	36

Fuente: Curvelo, Villamediana (2021)

A continuación, se procede a estimar el costo de fabricación del molde de encofrado para lo cual se requiere:

Tabla 22 Costo de Construcción del molde de encofrado

Descripción	Costo Unitario	Cantidad requerida	Total (\$)
Molde cilíndrico desechable	6.66\$/m ²	2 moldes	13.32
Puntal metálico	3\$/unid	2unid	6
Mano de obra	5\$	1	5
Herramientas	3\$	---	3\$
Total	N/A	N/A	27.32

Fuente: Curvelo, Villamediana (2021)

Por último, se estima que el vaciado oscila entre el 10- 20% del costo de los materiales por lo que el costo total del recubrimiento será:

$$CRM = CMR + CME + (0.1 * CMR) \quad EC. 14$$

Donde:

CMR: Costo de los materiales a utilizar para preparar el recubrimiento

CME: Costo de Construcción del molde de encofrado

Sustituyendo los datos en la ecuación 14 se tiene:

$$CRM = 36 + 27.32 + (0.1 * 36) ==> CRM = 67\$$$

Al tocar el punto correspondiente al análisis de costos del recubrimiento de mortero se observan al igual que el caso anterior dos parámetros que influyen en la variación de estos como lo son el molde de encofrado y la selección del aditivo a utilizar. Con respecto al primer factor, la selección de materiales y las dimensiones del mismo tendrán efecto en el costo final del método de recubrimiento dado que afecta no sólo por su costo de fabricación, sino que puede influir también en el número de días que se requieren para culminar la instalación de dicho sistema.

Al estudiar el cambio de aditivos se observa que el costo del mismo varía de acuerdo a la fracción de este utilizado, dado que en la tabla 20 se considera el aditivo que permite una mejor protección contra ambientes altamente corrosivos, un cambio de aditivos tenderá a disminuir los costos sin embargo considerando que la proporción utilizada es menor o igual al 10% en peso del total de mezcla y que el tipo de distribución del aditivo es por saco la variación en costo puede no ser tan sensible como en los casos anteriores sin embargo, se considera que los cambios económicos más fuertes, corresponden a la variación de costo del molde.

Factibilidad Técnica

A partir de este momento, se debe realizar una autoevaluación para determinar las capacidades técnicas de la empresa que requiera realizar la aplicación de alguno de los tres métodos planteados y para ello debe responder a las siguientes interrogantes:

Tabla 23 Modelo de encuesta para estimar la factibilidad técnica

Interrogante	SI	NO
Esta usted en la capacidad de ejecutar las labores de instalación dentro del plazo de tiempo requerido por el método		
Cuenta con personal capacitado para realizar la instalación		
En caso de contestar de forma negativa a la pregunta anterior. Está en la capacidad de contratar al personal requerido para la instalación del método seleccionado.		
Cuenta con la disponibilidad logística de reunir en las instalaciones del sistema todos los materiales requeridos por el método.		
El entorno donde se encuentra su sistema de tuberías, está definido dentro de alguna de las categorías de los métodos planteados		

Fuente: Curvelo, Villamediana (2021).

Condiciones de superficie.

Consiste en identificar las condiciones de la superficie a proteger; si el recubrimiento va a ser aplicado sobre un acero nuevo y recién preparado con chorro abrasivo, la determinación del sistema es más simple, pero si la superficie tiene un recubrimiento viejo y maltratado por el medio ambiente, entonces la determinación es crítica ya que se debe determinar si se encuentra en condiciones de mantenimiento o no; en caso de no eliminarse el recubrimiento existente, se debe efectuar una prueba de compatibilidad y determinar el tipo de limpieza y recubrimiento a aplicar. En caso de que deba retirarse el recubrimiento deteriorado, se debe determinar el método de limpieza más adecuado para no afectar instalaciones cercanas y al medio ambiente.

Grado de corrosión.

Todos los materiales de acero, antes de la preparación de la superficie, pueden encontrarse en cualquiera de las condiciones de oxidación listadas en la Tabla 24 y

descritas con detalle para su consulta adicional en las normas ISO-8501-1-3 y SSPC-VIS 1 ó equivalente.

Tabla 24 Condiciones de superficie y grados de corrosión

Condición	Según ISO 8501-1-3	Según SSPC-VIS ó Equivalente
Grado A	Superficie de acero recubierta en gran medida por cascarilla de laminación adherida, pero con poco o nada de óxido.	Superficie de acero recubierta completamente con escama de laminación, con corrosión no visible.
Grado B	Superficie de acero con óxido incipiente, en la que ha empezado a exfoliarse la cascarilla de laminación.	Superficie de acero cubierta con escama de laminación con óxido.
Grado C	Superficie de acero cuya cascarilla de laminación ha desaparecido por la acción del óxido, o que puede eliminarse raspando, pero con algunas picaduras visibles a simple vista.	Superficie de acero cubierta con óxido y picaduras no visibles a simple vista.
Grado D	Superficie de acero cuya cascarilla de laminación ha desaparecido por la acción del óxido y en la que se ven a simple vista numerosas picaduras.	Superficie de acero cubierta con óxido y picaduras visibles.

Fuente: Hernández, José. (2012). Requisitos de un sistema de protección anticorrosiva aplicado a superficies de hierro y acero al carbono en instalaciones de PEMEX

En el caso de superficies previamente pintadas, pueden encontrarse 4 grados de condiciones establecidas, las cuales se describen en la Tabla 25.

Tabla 25 Condiciones de superficie para superficies previamente pintadas

Condición	Según SSPC-VIS 4/NACE VIS 7 ó equivalente
Grado E	Superficie de acero previamente pintada, pintura ligeramente decolorada aplicada sobre una superficie tratada con abrasivo a presión; pintura casi intacta.
Grado F	Superficie de acero previamente pintada, con aplicación de primario a base de zinc (zinc rich primer) sobre una superficie tratada con abrasivo a presión; sistema de pintura ligeramente envejecida, la mayor parte intacta.
Grado G	Sistema de pintura aplicado sobre una superficie de acero con pequeñas escamas, pero limpia. - sistema fuertemente intemperizado, ampollado y decolorado.

Grado H	Sistema de pintura, aplicado sobre acero. - sistema de pintura totalmente intemperizado, ampollado, decolorado y con desprendimiento de capas.
---------	--

Fuente: Hernández, José. (2012). Requisitos de un sistema de protección anticorrosiva aplicado a superficies de hierro y acero al carbono en instalaciones de PEMEX

Métodos de limpieza.

Una vez identificado el sistema de protección anticorrosiva, la condición de superficie requerida y las restricciones operacionales del lugar, se procede a determinar el método de limpieza. A continuación, se describen los diferentes métodos:

Limpieza Química.

El método SSPC-SP 1 ó equivalente, se utiliza para la remoción preliminar de contaminantes, como aceite, grasa, crudo u otros químicos que se encuentren sobre la superficie a tratar antes de iniciar la operación de limpieza con chorro abrasivo seco, húmedo o agua a presión. Los productos desengrasantes que se utilicen para la limpieza química mediante el método SSPC-SP 1 o equivalente deben ser biodegradables.

Limpieza con herramienta manual.

El método SSPC-SP 2 ó equivalente, se utiliza para limpiar pequeñas áreas donde se tengan que eliminar el óxido, las escamas y los restos de soldadura y pintura en mal estado. Se debe garantizar que los materiales de las herramientas no contaminen con residuos las superficies a limpiar.

Limpieza con herramienta mecánica.

Este método se utiliza en áreas de tamaño regular donde se tengan que eliminar el óxido, las escamas y los restos de soldadura y pintura en mal estado; es más eficiente que el de herramienta manual.

Para esta limpieza se deben usar cardas, cepillos, esmeriles o cualquier otra herramienta neumática, eléctrica.

Tabla 26 Determinación del método de limpieza

SSPC	ISO	NACE	DESCRIPCIÓN
SP-5: Limpieza a metal blanco	Sa 3	1	Remover toda corrosión y contaminación visible, escama de laminación, pintura y cualquier material extraño hasta 100%

SP-10: Limpieza a metal cercano a blanco	Sa 2 ½	2	Remover contaminantes hasta que un 95% de cada 9 pulgadas cuadradas (3 pulg. · 3 pulg.) esté libre de corrosión visible, escama de laminación, pintura y material extraño.
SP-6: Limpieza a metal Comercial	Sa 2	3	Remover toda corrosión hasta que aproximadamente dos tercios de cada 9 pulgadas cuadradas (3 pulg. · 3 pulg.) esté libre de todo residuo visible.
SP-7: Limpieza a ráfaga	Sa 1	4	Remover todo residuo, excepto escamas de laminación, óxido y pintura fuertemente adheridas.

Fuente: Hernández, José. (2012). Requisitos de un sistema de protección anticorrosiva aplicado a superficies de hierro y acero al carbono en instalaciones de PEMEX

Limpieza con chorro abrasivo húmedo.

Este método se debe aplicar como lo establece la Tabla 31. El agua utilizada para esta técnica debe ser tratada, con una calidad tal que la superficie preparada no rebase los límites de contaminantes de acuerdo a los valores mencionados en la Tabla 29. Las técnicas del procedimiento y equipos de este método se describen en el reporte técnico SSPCTR2/NACE6G198 ó equivalente, y las condiciones visuales en la guía fotográfica SSPC-Vis 5/NACE Vis 9 ó equivalente.

Referencia pictórica SSPC VIS 5/NACE VIS 9 ó equivalente

Tabla 27 Grados de limpieza de contaminantes visibles y no visibles con chorro abrasivo húmedo

Condición de la superficie	Condición “C” 100% corrosión con picaduras visibles y no visibles	Condición “D” 100% corrosión con picaduras muy visibles.	Equivalente o comparable con	
			ISO 8501-1	SSPC/NACE
Grados de limpieza	CWAB-6	DWAB-6	Sa 2	SP6/NACE 3 METAL COMERCIAL
	CWAB-10	DWAB-10	Sa 2 ½	SP10/NACE 2 CERCANO A METAL BALANCO
	CWAB-10L	DWAB-6L	Sa 2	SP-6/NACE 3 METAL COMERCIAL
	CWAB-10M	DWAB-6M	Sa 1	SP-7/NACE 4 METAL O RÁFAGA
	CWAB-10H	DWAB-6H	----	SP-14/NACE 8

Fuente: Hernández, José. (2012). Requisitos de un sistema de protección anticorrosiva aplicado a superficies de hierro y acero al carbono en instalaciones de PEMEX

Este método se debe aplicar según se indica en la Tabla 31. El grado de limpieza de contaminantes visibles que se logran con chorro de agua a alta y ultra alta presión, se especifica en la Tabla 28.

Referencia PICTORICA NACE No. 5 / SSPC-SP 12 ó equivalente.

Tabla 28 Grado de limpieza de contaminantes visibles que se logran con chorro de agua a alta y ultra alta presión

Condición	Descripción de la limpieza de la superficie cuando se inspecciona sin la ayuda de equipo visual	Equivalente o comparable	
		SSPC/NACE	ISO 8501:1
WJ-1	Toda la superficie debe estar totalmente libre de corrosión visible, pintura, escama de laminación y cualquier otro material extraño y tener un acabado gris acero mate.	SP-5/NACE 1	Sa 3
WJ-2	La superficie se debe tratar hasta un acabado mate libre de corrosión y material extraño hasta un 95% de la superficie y el 5% restante conteniendo solamente ligeras manchas dispersas de óxido, pintura y material extraño.	SP-10/NACE 2	Sa 2 ½
WJ-3	Toda la superficie se debe tratar hasta un acabado mate y 2 tercios de la superficie libre de residuos visibles, excepto escamas de laminación; el tercio restante podrá tener pequeñas manchas de óxido, pintura y material extraño.	SP-6/NACE 3	Sa 2
WJ-4	En toda la superficie se debe remover el óxido, la pintura y la cáscara de laminación suelta pudiendo quedar manchas de óxido, pintura fuertemente adherida y algo de material extraño.	SP-7/NACE 4	Sa 1

Fuente: Hernández, José. (2012). Requisitos de un sistema de protección anticorrosiva aplicado a superficies de hierro y acero al carbono en instalaciones de PEMEX

La apariencia visual final de estos dos últimos métodos de limpieza debe apoyarse en los patrones fotográficos emitidos en la guía NACE VIS 7/SSPC-VIS 4 ó

equivalente para contaminantes visibles y el estándar SSPC-SP 12/NACE No. 5 ó equivalente para contaminantes no visibles.

Referencia. NACE No. 5/SSPC-SP 12 ó equivalente.

Tabla 29 Descripción de la limpieza de la superficie

Condición	Descripción de la limpieza de la superficie
SC-1	La superficie debe estar libre de niveles detectables de contaminantes, utilizando un equipo para prueba de campo con la sensibilidad aproximada de un equipo para pruebas de laboratorio. Para propósitos de esta norma de referencia, contaminantes son: cloruros solubles al agua, sales solubles de hierro y sulfatos.
SC-2	La superficie debe tener menos de 7 microgramos / cm ² de contaminantes cloruros, menos de 10 microgramos / cm ² de iones solubles ferrosos y menos de 17 microgramos / cm ² de contaminantes sulfatos, utilizando un equipo de prueba de campo con la sensibilidad aproximada de un equipo de pruebas para laboratorio.
SC-3	La superficie debe tener menos de 50 microgramos/ cm ² de contaminantes cloruros y sulfatos, utilizando un equipo de prueba de campo con la sensibilidad aproximada de un equipo para pruebas de laboratorio.

Fuente: Hernández, José. (2012). Requisitos de un sistema de protección anticorrosiva aplicado a superficies de hierro y acero al carbono en instalaciones de PEMEX

REFERENCIA PICTÓRICA SSPC VIS – 4/NACE VIS – 7 ó equivalente.

Tabla 30 Grados de limpieza.

Grado de limpieza	Condición inicial de superficie					
	ceros sin pintar con corrosión		Superficies de acero previamente pintadas			
	Grado C	Grado D	Grado E	Grado F	Grado G	Grado H
WJ-1	CWJ-1	DWJ-1	EWJ-1	FWJ-1	GWJ-1	HWJ-1
WJ-2	CWJ-2	DWJ-2	EWJ-2	FWJ-2	GWJ-2	HWJ-2
WJ-3	CWJ-3	DWJ-3	EWJ-3	FWJ-3	GWJ-3	HWJ-3
WJ-4	CWJ-4	DWJ-4	EWJ-4	FWJ-4	GWJ-4	HWJ-4

Fuente: Hernández, José. (2012). Requisitos de un sistema de protección anticorrosiva aplicado a superficies de hierro y acero al carbono en instalaciones de PEMEX

Los grados de limpieza que no aparecen en esta Tabla, que corresponden a varios grados de “destellos” de corrosión y que en algún momento pudieran ser requeridos, deben consultarse en la guía de referencias fotográficas SSPC VIS - 4/NACE VIS - 7

ó equivalente, la cual contiene también la descripción de cada uno de ellos y que se adoptan en este documento.

Equipos.

Los equipos utilizados para la limpieza por abrasión en seco, deben garantizar los requisitos de calidad establecidos en esta norma.

Requerimientos ambientales.

Cuando el método de limpieza por abrasivo seco se utilice para la remoción de pintura en mal estado u otro material que contenga compuestos que causan algún daño ecológico, los residuos deben ser colectados y confinados en un lugar destinado para este fin y de acuerdo con lo indicado por las normas de seguridad vigentes.

Métodos de limpieza y sus aplicaciones.

Todos los métodos de limpieza, con o sin el uso de abrasivo, tienen restricciones, las cuales se describen en la Tabla 31.

Tabla 31 Restricciones en métodos de limpieza, con o sin el uso de abrasivo.

No.	Método	Aplicación en	Aéreas de restricción
1	Chorro de arena o abrasivo a presión, seco ISO 8504	Superficies de acero nuevas con corrosión grados A y B, donde se requiere formar perfil de anclaje; no está restringido para grados de corrosión C y D, donde ya existe perfil de anclaje provocado por la corrosión, previo estudio de la condición de superficie.	Dentro de Plataformas, Refinerías, Complejos Petroquímicos, Terminales de Almacenamiento y Distribución, áreas de trabajo con equipo mecánico rotatorio cercano y Zonas urbanizadas.
2	Chorro de arena o abrasivo a presión, húmedo 2/NACE 6 G198SSPC-TR o equivalente	Superficies de acero nuevas con corrosión grados A y B, donde se requiere formar perfil de anclaje; no está restringido para grados de corrosión C y D y superficies previamente pintadas, donde ya existe perfil de anclaje.	Ninguna Solamente evitar proyectar directamente el chorro de agua sobre instalaciones de madera, aislamientos, instrumentos o instalaciones eléctricas; que pueden ser dañadas.

3	Chorro de agua a alta y ultra alta presión NACE No. 5 SSPC/SP 12 ó equivalente	Superficies de acero previamente pintadas, cuando se requiere eliminar toda la pintura, o en superficies de acero con grados de corrosión C y D, donde en ambos casos ya existe perfil de anclaje. En superficies de acero previamente pintadas, cuando solo se requiere preparar la superficie para repintado.	Ninguna Solamente evitar proyectar directamente el chorro de agua sobre instalaciones de madera, aislamientos, instrumentos o instalaciones eléctricas; que pueden ser dañadas.
---	--	---	--

Fuente: Hernández, José. (2012). Requisitos de un sistema de protección anticorrosiva aplicado a superficies de hierro y acero al carbono en instalaciones de PEMEX

Condiciones mínimas para determinar un sistema de protección anticorrosiva.

En la Tabla 32 se describen las condiciones para determinar un sistema de acuerdo con lo especificado anteriormente, así como los sistemas genéricos.

En la Tabla 33 se describen cada uno de los sistemas con sus requisitos de preparación de superficie y tipo de primario y acabado número de manos, espesor por capa seca en micras y el por ciento de sólidos en volumen.

Tabla 32 Condiciones mínimas para determinar un sistema de protección anticorrosiva.

Ambiente	Condiciones de superficie (ver tablas 24 y 23)	Sistemas de recubrimiento (ver tabla 33)	Preparación de superficie		Observaciones (ver tabla 26)
			Método (ver tabla 31)	Grado de limpieza (ver tabla 26, 27, 28, 29 y 30)	
1.- Seco	Grado A, B, C y D Aceros nuevos y corrosión sin pintar	1, 2, 4 y 13	2 ó 1	CWAB-10 DWAB-10 SP 10/NACE 2 ISO Sa 2/1/2	Limpieza a metal cercano a blanco
	Grado E, F, G y H Aceros previamente pintados o con corrosión grado C y D	1, 2, 4, 10 y 13	3 ó 2	CWJ-2 DWJ-2	Limpieza a pintura vieja para repintado
				CWAB-10 M DWAB-10 M SP6/NACE 3	Limpieza a metal comercial o ráfaga si se elimina toda la pintura suelta
2.- Húmedo	Grados A, B, C y D Aceros nuevos y con corrosión sin pintar	1, 3, 4, 12 y 13	2 ó 1	CWAB-6 DWAB-6 SP 5/NACE 1 ISO Sa 3	Limpieza a metal blanco
	Grados E, F, G y H Aceros previamente pintados o con corrosión grados C y D.	1, 2, 3, 4, 10, 12 y 13	3 ó 2	CWJ-2 DWJ-2	Limpieza de pintura vieja para repintado
				CWAB-10 DWAB-10 SP6/NACE 3	Limpieza a metal comercial si se elimina toda la pintura

3.- Húmedo con salinidad y gases derivados del azufre	Grados A, B, C y D Aceros nuevos o con corrosión sin pintar	2, 3, 4 y 12	2 ó 1	CWAB-6 DWAB-6 SP 5/NACE ISO Sa 3	Limpieza a metal blanco
	Grados E, F, G y H Aceros previamente pintados o con corrosión grados C y D.	1, 2, 3, 4 y 12	3 ó 2	CWAB-10 L DWAB-10 L SP6/NACE 3	Limpieza a metal comercial si se elimina toda la pintura
4.- Marino	Grados A, B, C y D Aceros nuevos o con corrosión sin pintar.	2, 3, 4 y 12	2 ó 1	CWAB-6 DWAB-6 SP 5/NACE 1 ISO Sa 3	Limpieza a metal blanco
	Grados E, F, G y H Aceros previamente pintados o con corrosión grados C y D.	2, 3, 4 y 12	3 ó 2	CWAB-10 L DWAB-10 L SP6/NACE 3	Limpieza a metal comercial si se elimina toda la pintura

5.- Interior de tanques	Grados A, B, C y D Aceros nuevos o con corrosión sin pintar	6, 7, 14 y 18	2 ó 1	CWAB-6 DWAB-6 SP 5/NACE 1 ISO Sa 3	Limpieza a metal blanco
	Grados E, F, G y H Aceros previamente pintados o con corrosión grados C y D.	6, 7, 14 y 18	2 ó 1		
6.-Moderada temperatura	Grados A, B, C y D Aceros nuevos o con corrosión sin pintar.	8 y 15 533 K (260°)	2 ó 3	CWAB-10 L DWAB-10 L SP6/NACE 3	Limpieza a metal Comercial
7.- Alta Temperatura	Grados E, F, G y H Aceros previamente pintados o con corrosión grados C y D.	9 y 16 833 K (560°)	2 ó 1	CWAB-6 DWAB-6 SP 5/NACE 1 ISO Sa3	Limpieza a metal blanco.
8.- Zona de mareas y oleajes y ductos ascendentes	Grados A, B, C y D Aceros nuevos o con corrosión sin pintar.	5	1 ó 2	SP6/NACE 3	Limpieza a metal comercial
9.- Zona de pisos de helipuertos	Grados A, B, C y D Aceros nuevos o con corrosión sin pintar.	11	2 ó 1	CWAB6 DWAB6 SP5/NACE 1	Limpieza a metal blanco
10. Recubrimiento Bajo aislamiento hasta 205°C	Grados A, B, C y D Aceros nuevos o con corrosión sin pintar.	17	2 ó 1	CWAB6 DWAB6 SP5/NACE 1	Limpieza a metal blanco

Fuente: Hernández, José. (2012). Requisitos de un sistema de protección anticorrosiva aplicado a superficies de hierro y acero al carbono en instalaciones de PEMEX

Espesores mínimos de los sistemas de protección anticorrosiva.

Los sólidos en volumen indicados en esta Tabla sirven como referencia para estimar el volumen teórico del recubrimiento, así como para determinar los espesores húmedos requeridos para alcanzar los espesores secos especificados para cada sistema.

El volumen real de recubrimiento está en función de las mermas propias de cada obra; las variables que más afectan al rendimiento teórico son: velocidad de viento, geometría de la superficie, condición del sustrato (rugosidad, porosidad, perfil de anclaje), técnicas de aplicación, etc.

Tabla 33 Espesores mínimos de los sistemas de protección anticorrosiva.

Sistema No.	Descripción	% Sólidos en volumen (mínimo)	Perfil de Anclaje	Capas (micras)	Espesor por capa seca (micras)	Espesor total	Método de Aplicación	Usos
1	Primario Epóxicopoliamida de dos componentes RP-6 Modificado	70	37.5 – 62.5	1	100-150	275-400	Aspersión convencional o sin aire	Proporciona muy buena resistencia a ambientes secos y húmedos salinos, químicos, ácidos y álcalis; el primario contiene inhibidores de corrosión, el intermedio proporciona mayor resistencia y el acabado le da excelente apariencia. Adecuado para instalaciones superficiales en refinerías, complejos petroquímicos, equipos y tuberías de proceso.
	+ Acabado epóxico catalizado poliamida de dos componentes altos sólidos RA-26 Modificado	70	No aplica	1	100-150			
	+ Acabado poliuretano acrílicoalifático de dos componentes RA-28 Modificado	65	No aplica	1	75-100			
	Primario epóxico poliamida de dos	70	37.5 – 62.5	2	100-150	275-400		Proporciona la misma

2	componentes RP-6 Modificado + Acabado poliuretano acrílico alifático de dos componentes RA-28 Modificado	65	No aplica	1	75-100		Aspersión convencional o sin aire	protección que el sistema No. 1, con la ventaja de que disminuye costos de operación, ya que el autoimprimante solo requiere de limpieza a metal, comercial y son solo dos componentes del sistema, además de usarse como sistema inicial es propio para uso en reparaciones en las mismas condiciones del sistema no. 1. Área de presa de lodos, cuarto de químicos, paquete de líquidos, parte interior de cuartos, patio de tuberías, talleres, barandales y cantiliver's
---	--	----	-----------	---	--------	--	-----------------------------------	--

Sistema No.	Descripción	% Sólidos en volumen (mínimo)	Perfil de Anclaje	Capas (micras)	Espesor por capa seca (micras)	Espesor total	Método de Aplicación	Usos
3	Primario inorgánico rico en zinc autocurante base solvente RP-4B Modificado o Primario epóxico rico en zinc de dos a tres componentes RP-22 + Acabado epóxico Catalizado poliamida de dos componentes altos sólidos. RA-26 Modificado + Acabado poliuretano acrílico alifático de dos componentes RA-28 Modificado	65	37.5 – 62.5	1	75-100	275-350	Aspersión convencional o sin aire	Excelente protección anticorrosiva a los ambientes más severos; el primario actúa como ánodo de sacrificio y el intermedio y acabado proporcionan mayor resistencia adecuado para ambientes húmedos, con o sin salinidad y gases derivados del azufre y ambiente marino. Adecuado para tuberías operando hasta 93 °C continua, interior de instalaciones con aire acondicionado, cubiertas y casetería de embarcaciones, bajo helipuerto, paquete habitacional, cuartos de lodos, cuarto de silos, área de presa de lodos, cuarto de químicos, paquete de líquidos y parte interior de cuartos.
		70	No aplica	1	125-150			
		65	No aplica	1	75-100			
	Primario inorgánico rico	65	37.5 – 62.5	1	75-100	150-200	Aspersión convencional	Resistente a los ambientes severos,

4	en zinc, autocurante base solvente RP-4B Modificado o Primario epóxico rico en zinc de dos a tres componentes RP-22 + Acabado polisiloxano epóxico o Acrílico de dos componentes altos sólidos de alta resistencia RA-35	70	No aplica	1	75-100		o sin aire	equipos y estructuras; el primario de zinc se adhiere electrolíticamente y actúa como ánodo de sacrificio, el acabado es producto de nueva tecnología de gran resistencia a los químicos ácidos, bases, área de presa de lodos, cuarto de químicos y paquete de líquidos.
5	Recubrimiento epóxico 100% sólidos de dos o tres componentes RE-36	100	75-100	1	2500-3125	2500-3125	Aspersión, espátula, llana ó aplicación manual	Producto especial para inmersión en zonas de mareas y oleajes en áreas de plataformas marinas y ductos ascendentes

Fuente: Hernández, José. (2012). Requisitos de un sistema de protección anticorrosiva aplicado a superficies de hierro y acero al carbono en instalaciones de PEMEX

Sistema No.	Descripción	% Sólidos en volumen (mínimo)	Perfil de Anclaje	Capas (micras)	Esesor por capa seca (micras)	Esesor total	Método de Aplicación	Usos
6	Primario epóxico-adoctoamina de dos componentes RP-10 Modificado + Acabado epóxico catalizado aductoamina de dos componentes altos sólidos RA-29 Modificado	60	75-100	1	125-175	250-350	Aspersión convencional o sin aire	Presenta excelente resistencia al crudo, gasolina amarga, agua cruda, salada y tratada, destilados sin tratar, metanol y aromáticos. Se usa en interiores de tanques y en ambientes húmedos, con o sin salinidad y gases derivados del azufre.
		60	No aplica	1	125-175			
	Primario epóxico	70	37.5 – 62.5	1	100-125	375		Resistente a los ambientes

7	poliamida de dos componentes RP-6 Modificado + Acabado epóxico catalizado poliamida de dos componentes altos sólidos RA-26 Modificado o Acabado poliuretano o epóxico elastomérico antiderrapante de dos componentes RE-38	70	No aplica	2	100-125		Aspersión convencional o sin aire	húmedos con o sin salinidad, gases derivados del azufre y a los destilados sin tratar, gasolina amarga, combustóleo; interior de tanques de embarcaciones y tuberías que operan a bajas temperaturas, pero su resistencia a los aromáticos es pobre. El RE-38 es recomendable para pasillos, rutas de escape, escaleras, pasamanos, y pisos de alto tráfico, patio de tuberías, talleres.
8	Recubrimiento especial a base de resina acrílica siliconizada con pigmento de aluminio RE-30 A Modificado	40	12.5-25	1	25-37.5	25-37.5	Aspersión convencional o sin aire	Recomendable para temperaturas de hasta 533 K (260 °C)
9	Recubrimiento de resina de silicón con pigmento de aluminio RE-30 B Modificado	40	12.5-25	1	25-37.5	25-37.5	Aspersión convencional o sin aire	Recomendable para temperaturas de 563 K hasta 833 K (de 290 a 560 °C). Puede incluir una capa de primario inorgánico de zinc para evitar la corrosión bajo película.

Fuente: Hernández, José. (2012). Requisitos de un sistema de protección anticorrosiva aplicado a superficies de hierro y acero al carbono en instalaciones de PEMEX

Sistema No.	Descripción	% Sólidos en volumen (mínimo)	Perfil de Anclaje	Capas (micras)	Espesor por capa seca (micras)	Espesor total	Método de Aplicación	Usos
		80	37.5 – 62.5	2	75-100	225-300		Sistema recomendable para reparación de

10	Enlace epóxico Catalizado cicloalifático con pigmento de aluminio, autoimprimante RI-35 + Acabado polisiloxano epóxico ó acrílico de dos componentes altos sólidos de alta resistencia RA-35	70	No aplica	1	75-100		Aspersión convención al o sin aire	superficies previamente pintadas, sobre pinturas intemperizadas y superficies oxidadas, para ambientes secos o húmedos con o sin salinidad y gases derivados del azufre y ambiente marino. Recomendado también como recubrimiento inicial, cuarto de silos, patio de maniobras, cuartos de bombas de lodos, parte interior de cuartos, patio de tuberías, talleres y barandales, cantiliver.
11	Epóxico catalizado de dos componentes RP-15 + Enlace de poliuretano o epóxico elastomérico de dos componentes RI-43 + Acabado elastomérico de A.S. de dos componentes RE-38	70	37.5 – 62.5	1	75-100	3600	Aspersión convención al o sin aire	Adecuado para cubiertas de acero para helipuertos en plataformas marinas.
		90	No aplica	1	2500- 3125			
		65		1	800-1000			
12	Primario orgánico rico en zinc de dos componentes RP-23 + Enlace Epóxico Modificado autoimprimante de dos componentes RI-41 + Acabado epóxico o acrílico polisiloxano de dos componentes altos sólidos de alta resistencia. RA-35	70	37.5 – 62.5	1	75-100	250- 375	Aspersión convención al o sin aire (airless)	Este sistema aplica a todas las superficies de las tuberías de acero sobre la cubierta en plataforma que estén expuestas a un medio ambiente húmedo marino e industrial, salinidad y gases derivados del petróleo. Recipientes, Acero Estructural y Tuberías sobre cubierta, por encima de la zona de mareas. Recomendado para obra nueva. Para el caso de módulos habitacionales se aplicará solamente el RP-23 y RI-41.
		80	No aplica	1	100-150			
		70	No aplica	1	75-100			
Sistema No.	Descripción	% Sólidos en volumen (mínimo)	Perfil de Anclaje	Capas (micras)	Espesor por capa seca (micras)	Espesor total	Método de Aplicación	Usos

13	Primario epóxico rico en zinc de dos o tres componentes RP-22 + Acabado poliuretano acrílico alifático de dos componentes RA-28 Modificado	65	37.5 – 62.5	1	75-100	150-200	Aspersión convención al o sin aire (airless)	Recomendado para protección anticorrosiva en ambientes secos, resistente a gases derivados del azufre, ácidos y álcalis, propio para instalaciones exteriores en refinerías, complejos petroquímicos y estructuras exteriores
		65	No aplica	1	75-100			
14	Recubrimiento Epóxico 100% sólidos de dos componentes RP-21	100	75 – 100	2	150-200	300-400	Aspersión convención al o sin aire (airless)	Para interiores de tanques de agua potable. Debe cumplir con certificación para agua potable
15	Acabado polisiloxano de dos componentes RE-41 Especial	70	37.5 – 62.5	1	125-175	125-175	Aspersión convención al o sin aire (airless)	Recomendado para temperaturas desde (80 hasta 400° C). En el caso de obra nueva y zona seca en ducto ascendente, incluir una capa de primario inorgánico de zinc
16	Acabado polisiloxano de dos componentes RE-39 Especia	34	12.525	1	37.5-50	37.550	Aspersión convención al o sin aire (airless)	Recomendado para temperaturas desde (400 hasta 600° C)), en el caso de obra nueva, incluir una capa de primario inorgánico de zinc
17	Especial Epóxico Fenólico de dos componentes RE-37	65	37.5 – 62.5	1	125-175	125-175	Aspersión convención al o sin aire (airless)	Este sistema se aplica a la pintura exterior para todo el equipo de proceso aislado y tuberías, con temperatura de superficie hasta 205° C como máximo.
18	Recubrimiento Epóxico o Poliuretano anticorrosivo 100% sólidos de dos componentes. RP-13	100	50-75	2	250-300	500-600	Aspersión convención al o sin aire (airless)	Este sistema se aplica a los interiores del equipo de proceso a temperaturas elevadas de hasta 95° C para servicios de crudo y agua en los recipientes de proceso o separadores. Este sistema se aplica para pintar el interior de los tanques de almacenamiento para químicos que se usan para el almacenamiento de diesel, de glicol, etc.

Fuente: Hernández, José. (2012). Requisitos de un sistema de protección anticorrosiva aplicado a superficies de hierro y acero al carbono en instalaciones de PEMEX

CONCLUSIONES

Luego de haber desarrollado las cuatro fases en las que se dividió la presente investigación y de analizar los resultados obtenidos dentro del marco de lo requerido por el objetivo general de la misma se tiene que:

El estudio se centra en la evaluación de la conveniencia de utilización de tres métodos de protección aplicados a múltiples condiciones ambientales, tipos de tuberías y fluidos transportados por lo que se generan condiciones particulares de evaluación para cada sistema de tuberías estudiado; de allí que las variables críticas que contribuyen al proceso corrosivo de cada sistema deben ser determinadas durante la evaluación inicial del mismo. Sin embargo, atendiendo a los distintos tipos de corrosión existentes se establecen como las variables críticas, más comunes, según lo observado en la tabla 2, a:

- La Acidez de la Solución
- Las Sales Disueltas
- La Concentración de Oxígeno en el ambiente
- La Temperatura
- La velocidad del Fluido

Las variables críticas pueden ser clasificadas en dos grupos las variables que corresponden al ambiente (Oxígeno, temperatura) y la que corresponden al fluido (Acidez, sales disueltas, velocidad del fluido); serán consideradas por su impacto dentro de las variables de decisión seleccionadas, las cuales en este caso se definen como la velocidad de corrosión permitida por el método de protección que se pretende aplicar y el costo por metro de superficie protegida que genera la instalación de dicho método. Dado que las primeras ocasionan un aceleramiento del proceso corrosivo, se consideran directamente proporcionales a las segundas y con efecto acumulativo.

En cuanto a la selección de materias primas que utiliza cada método, se cuenta con un amplio número de materiales utilizados a nivel comercial para construir un medio de protección contra la corrosión dentro de un sistema de tubería, sin embargo la diferenciación se realiza en esta oportunidad basados en las características ambientales,

del sistema de tubería a proteger y de la disponibilidad de dicho material, considerando que dado que se plantea la estrategia como una evaluación, se propondrán las materias primas más eficientes según el método y los criterios antes mencionados pero finalmente, la disponibilidad de obtención de estas por parte de la empresa cliente determinará su uso o el replanteo del material a utilizar. Por lo que se considera que esta etapa de la evaluación puede presentar una fase adicional donde se replanteen las características en base las posibilidades del cliente.

En relación a las pruebas y ensayos lo más eficiente es incorporar las pruebas a la cadena de fabricación de las tuberías, ya que permiten estimar el tiempo de vida útil de los materiales afectados por la corrosión, introducir mejoras en los diseños y elegir los componentes más fiables. Los ensayos funcionan como un mecanismo de control de calidad capaz de detectar fallos, comparar materiales y definir cuáles son los más indicados para cada entorno. Asimismo, sirven para estudiar el funcionamiento de diversos procesos corrosivos, tales como la corrosión uniforme, la corrosión Intergranular o la corrosión por picaduras.

Sin embargo, como parte de la evaluación se realizarán los ensayos correspondientes a la evaluación de un proceso corrosivo acelerado y los que permiten estimar indirectamente la degradación de los recubrimientos protectores utilizados, entre ellos se encuentran:

- ASTM D610
- ASTM G1
- ISO 22479
- ISO 6270

Todos ellos están enfocados en determinar la influencia del ambiente en el proceso corrosivo del Sistema evaluado.

Por otra parte, al realizar la evaluación de cada método se toman como referencia dos criterios que son la vida útil proporcionada por el método y para sistemas ya instalados, el desgaste de protección que cada método presenta, siendo así:

A través de la ecuación 5 se puede determinar el tiempo de vida útil y por medio de la ecuación 6 se determina el desgaste del recubrimiento cuando se trabaja con el método de protección catódica.

En el caso del recubrimiento epóxico se utilizan las normativas ASTM D610 y la ASTM G1 para determinar la vida útil y el desgaste del recubrimiento protector.

Por otro lado, en cuanto a la utilización del método de los morteros como recubrimiento protector son empleadas las ecuaciones 8 y 9 como medidas indirectas de las variables estudiadas.

A partir de los resultados obtenidos el método que se planteará como alternativa a utilizar para la protección del sistema evaluado será el que presente el mayor tiempo de vida útil y el menor desgaste del recubrimiento de no ser posible, cabe destacar que al existir 8 combinaciones posibles de resultados la elección del método a nivel teórico se realiza bajo el criterio de encontrar el método que presente una mejor relación entre ambas variables.

Por último, al realizar la evaluación técnica financiera se observa que la misma dependerá de los resultados obtenidos de la aplicación de la encuesta mostrada en tabla 23, para cada empresa cliente y según el análisis comparativo del indicador costo tiempo de vida útil (CT) calculado a partir de la ecuación 13, se procederá a elegir el método de protección más adecuado a las características del sistema evaluado.

RECOMENDACIONES

Luego de haber culminado el desarrollo de las fases investigativas descritas en los capítulos anteriores se recomienda:

A nivel metodológico delimitar el tipo de sistema y las características a evaluar del mismo, a fin de simplificar el análisis, considerando el hecho de que existe una gran cantidad de combinaciones posibles entre condiciones ambientales, sistemas de tuberías, fluidos transportados, etc.

También se recomienda el estudio y profundización sobre los ensayos a realizar para determinar el efecto corrosivo dentro de un sistema y su aplicación en evaluaciones de este tipo debido a la complejidad del equipo a utilizar o la demora existente por el tiempo de aplicación del ensayo, se plantea la posibilidad de relacionar de alguna forma los resultados esperados con la situación actual del sistema.

Por otra parte, se sugiere el estudio de otros métodos de protección como la protección catódica por corriente impresa, o la utilización de otro tipo de recubrimientos diferentes a los epóxicos para no limitar las propuestas a solo los tres métodos estudiados en la investigación.

En cuanto a la aplicación práctica de la evaluación del proceso corrosivo dentro de un sistema de tuberías, se recomienda que se aplique inicialmente una encuesta similar a la mostrada en la tabla 23 y se definan las capacidades económicas de la empresa cliente antes de evaluar las características técnicas del sistema para adaptar la propuesta directamente dentro las posibilidades de la empresa.

Empresa cliente: se refiere a la empresa que requiere una evaluación del proceso corrosivo en su sistema de tubería, o que requiere la instalación por primera vez del mismo y solicita un estudio previo para seleccionar el método a instalar.

REFERENCIAS

- Amaya, Sonia y Garnica, Astrid. (2020) **Selección de Alternativas para retrasar la corrosión en tuberías en ambientes corrosivos**. Trabajo de Grado, Universidad de América. Bogotá, Colombia.
- Arias, F. (2012). **Introducción a la metodología científica**. Caracas. Editorial Espítome. Quinta Edición.
- Balestrini, Mirian. (2006). **Como se elabora el proyecto de Investigación**. Servicio Editorial Consultores Asociados, 7ma Edición. Venezuela.
- Bernal, Augusto. (2006) **Metodología de la Investigación**. Ed. Pearson Prentice Hall. México
- Cramer, S. (2015). ASM Handbook Volume 13^a: **Corrosion: Fundamentals, Testing and Protection**.
- Feliu y Andrade. (1991) **Corrosión y Protección Metálicas Vol I**. Consejo superior de investigaciones científicas. Madrid, España.
- Gómez De León, Félix. (2004). **Manual Básico de Corrosión para Ingenieros**. Servicios de Publicaciones Universidad de Murcia, España.
- González José. (1989) **Control de la Corrosión: Estudio y Medida por Técnicas Electroquímicas**. Centro Nacional de Investigaciones metalúrgicas, Madrid, España.
- González José. (1989) **Control de la Corrosión: Estudio y Medida por Técnicas Electroquímicas**. Centro Nacional de Investigaciones metalúrgicas, Madrid, España.
- González y Salazar. (2008). **Aspectos Básicos del Estudio de Muestra y Población para la Elaboración de los Proyectos de Investigación**. Tesis de Grado. Universidad de Oriente, Estado Sucre, Venezuela.
- Loachamin, J. (2019). **Diseño y simulación de Protección Catódica en la industria petrolera**. Tesis de grado. Universidad Politécnica Salesiana, Quito.
- Segovia F y Landaeta A. (2015). **Simulación de un Proceso para el Diseño de Protección Catódica con Ánodos de Sacrificio utilizando Matlab**. Tesis de Grado. Universidad José Antonio Paéz, Estado Carabobo, Venezuela.

- Mackay, B & Jackson, J. (2016). **La corrosión: La lucha más extensa**. Artículo Científico. Texas, Estados Unidos.
- Navarrete. (2007) **Corrosión y Degradación de los Materiales**. Trabajo de Grado, Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador.
- Navas, J & Solis, S. (2007). **Evaluación de defectos por corrosión en líneas de transporte de Hidrocarburos**. Tesis de grado. Escuela Politécnica Nacional, Quito.
- Nuñez, Eduardo. **Recubrimiento epóxico para combatir la corrosión**. Mundo HVCAC&R.
- Orellana G Luis H. (2017). **Estudio de los Mecanismos de Corrosión presentes en los pozos productores con alto potencial de producción del campo operacional perteneciente al Distrito San Tome, Estado Anzoátegui, Venezuela**. Tesis de Grado, Universidad Central de Venezuela.
- Palacios, Mercedes. **Características y ensayos de corrosión de pinturas modificadas con polímeros conductores** [en línea]Escuela técnica superior de ingeniería- Barcelona, 2006. 80 p.
- Ramírez, Tulio (2007). **Como hacer un Proyecto de investigación**. Editorial PANAPO. Caracas Venezuela
- Silva, Jesús. (2010). **Métodos de la investigación. Elementos básicos**. Ediciones CO-BO. Caracas, Venezuela.
- Smith, William F. (2006). **Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales**, Cuarta edición.
- Hernández, José. (2012). **Requisitos de un sistema de protección anticorrosiva aplicado a superficies de hierro y acero al carbono en instalaciones de PEMEX**. Tesis de grado. Universidad Veracruzana. Veracruz, México.
- FRANCIA, Samuel. Protección catódica - Diseño de ánodos de sacrificio. Revista del instituto de investigación FIGMMG. 2004, vol. 7, nro. 13. pp. 39 – 40.
- MEMORIA DE CÁLCULO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA MACOLLA 26 PDVSA 90618.1.072. Venezuela.

- Charng T. y Lansing F. (1982). **Review of Corrosion causes and corrosion control in a technical facility**. NASA Technical Reports, TDA Progress Report 42-69, pp. 145-156.
- ECCA (2011). **The Basics of Corrosion**. Technical Paper. Obtenido desde: <http://www.prepaintedmetal.eu/repository/Annina/Basic%20of%20corrosion20021211.pdf>.
- Javaherdashti R. (2008). **Microbiologically Influenced Corrosion - An Engineering Insight**. Springer London.
- Hernández, José. (2012). **Requisitos de un sistema de protección anticorrosiva aplicado a superficies de hierro y acero al carbono en instalaciones de PEMEX**. México.
- Revie R. W. (2011). **Uhlig's Corrosion Handbook**. Wiley & Sons, Inc: USA.
- Revie R. W. y Uhlig H. H. (2008). **Corrosion and Corrosion Control – An Introduction to Corrosion Science and Engineering**. Wiley & Sons, Inc: USA.
- Schweitzer. P. A. (2010). **Fundamentals of Corrosion – Mechanisms, Causes and Preventive Methods**. Taylor & Francis Group.
- Schweitzer. P. A. (2006). **Paints and Coatings – Applications and Corrosion Resistance**. Taylor y Francis Group, LLC: USA.

ANEXOS

Anexo 1 Datos de ingeniería de diseño MACOLLA 26

TUBERÍA A PROTEGER					
Diámetro externo del tubo principal			Dtub 1	20,08	in
Longitud Tramo tramo de tubería de crudo			L1	3028	m
Diámetro externo del tubo principal			Dtub2	12,75	in
Longitud Tramo tramo de tubería de crudo			L2	324	m
Diámetro externo del tubo principal			Dtub3	10,63	in
Longitud Tramo tramo de tubería de crudo			L3	340	m
Diámetro externo del tubo principal			Dtub4	6,69	in
Longitud Tramo tramo de tubería de crudo			L4	3028	m
Diámetro externo del tubo principal			Dtub5	4,33	in
Longitud Tramo tramo de tubería de diluyente			L5	664	m
Longitud Total a Proteger			Ltotal	7384	m
Área Total a Proteger			Atotal	7315,73	m ²
PONDERACIÓN POR ÁREA REVESTIDA					
TUBERÍA REVESTIDA					
Porcentaje de Tubería Revestida			Ytub	85,04%	
Área a Revestida a proteger			Ar	6221,2962	m ²
Densidad de Corriente			Ir	0,1	mA/m ²
TUBERÍA DESNUDA					
Porcentaje de Tubería Desnuda			Xtub	14,96%	
Área a Proteger			Ad	1094,433099	m ²
Densidad de Corriente			Id	13	mA/m ²
CORRIENTE NECESARIA PARA LA PROTECCIÓN					
Corriente necesaria para la Protección			Ir	14849,75991	mA
Sobrepotección			W	20,00%	
Corriente de Protección			Ip	17819,71189	mA
CÁLCULO DEL PESO DEL ÁNODO REQUERIDO					
Vida útil del Sistema			n	20	años
Material de Ánodos a Utilizar				MAGNESIO	
Eficiencia del Ánodo			Eánodo	50,00%	
Capacidad Teórica del Ánodo			Ct	2210	Ah/Kg

Capacidad Práctica del Ánodo			Cp	1100	Ah/Kg
Factor de Utilización			Fu	0,85	
Peso Requerido			Prequerido	12769,952553	kg
CÁLCULO DEL NÚMERO DE ÁNODOS					
Peso de cada Ánodo			Punitario	27	kg
Número de Ánodos (*)			Ntotal	102,5908353	ánodos
CÁLCULO DE LA SALIDA DE CORRIENTE (1 ÁNODO)					
Resistividad del Suelo			ρ	1083	ohm.cm
Longitud del Ánodo			La	152	cm
Diámetro del Ánodo			Da	12	cm
Peso del Ánodo			M	27	kg
Resistencia del Ánodo			Rvert	4,098487193	ohm
Potencial del Cátodo Polarizado			Ecátodo	-850	mV
Potencial del Ánodo			Eánodo	-1420	mV
Diferencia de Potencial entre el Ánodo y el Cátodo Polarizado			ΔV	-570	mV
Salida de Corriente por Ánodo			Iánodo	139,075706	mA
Tiempo de Servicio Estimado (**)			Y	20,721443	años
CÁLCULO DEL NÚMERO DE ÁNODOS POR CORRIENTE					
Número de Ánodos (*)			Ntotal1	128,1295806	
CÁLCULO DE LA SALIDA DE CORRIENTE (LECHO DE ÁNODO)					
Factor de espaciamiento			F	1,19	
Espaciamiento			S	300	cm
Numero de electrodos en el lecho			N	3	
Resistencia del lecho			Rlech	1,625733253	ohm

Fuente: MEMORIA DE CÁLCULO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA MACOLLA



HOJA TÉCNICA DE PRODUCTO

Barrera Epóxica

SERIE 23

DESCRIPCIÓN

Recubrimiento epóxico de dos componentes, semibrillante con curador tipo poliámidica, para protección de estructuras metálicas, utilizado como capa de “Barrera” en sistemas Epóxicos y Uretanos, en ambientes corrosivos moderados.

USOS

Como capa de “Barrera” en sistemas epóxicos para:
Protección de superficies metálicas en ambientes corrosivos expuestos a la intemperie o en inmersión permanente.
En la industria para protección de elementos metálicos contra vapores, polvos, salpiques y derrames de productos químicos y solventes.
Incrementa la protección de “obra muerta”, cubiertas y superestructuras en buques y plataformas marinas.
Como “Acondicionador de superficie” en galvanizados o metales no ferrosos sobre el cual se aplique un sistema alquídico, epóxico o uretano posteriormente.

VENTAJAS

Excelente formador de película como refuerzo para los sistemas epóxicos o uretanos. Refuerza la protección contra agentes corrosivos por el efecto de “barrera” contra agentes corrosivos, vapores industriales, polvos y salpiques.
Promueve la adherencia a sistemas alquídicos, epóxicos y Uretanos, sobre metales no ferrosos.

MODO DE EMPLEO

Preparación de la Superficie

En superficies de Acero: la superficie debe estar seca, libre de polvo, mugre, grasa, aceites y demás contaminantes que puedan interferir con el recubrimiento posterior. El tiempo entre capas entre el Imprimante Epóxico y la **Barrera Epóxica** no debe ser mayor de 10 días, de lo contrario se debe promover perfil de anclaje en el Imprimante epóxico mediante el lijado (lija No. 120), Brush-Off y activación con **Colmasolvente Epóxico** referencia 958025.

En superficies galvanizadas: eliminar grasas, aceites, polvo, mugre que pueda interferir con la adherencia del recubrimiento y lijar suavemente para enmatecer la superficie.

Para superficies galvanizadas:

En ambientes urbanos y de baja agresividad se recomienda aplicar un espesor de película seca de 2.0 a 2,5 mils (50 a 63 micrones).

En ambientes costeros y de alta agresividad se recomienda aplicar un espesor de película seca de 5.0 a 6,0 mils (127 a 152 micrones).

Preparación del Producto

Agitar cada componente en su empaque. Verter el componente B (Catalizador 238001) sobre el componente A (Barrera Gris) en relación en volumen de 1:1. Mezclar manualmente o con agitador de bajas revoluciones (400 rpm) hasta obtener una mezcla homogénea.

Evitar usar espátulas o paletas contaminadas con el componente B o con la mezcla, para agitar o mezclar componente A que no se esté usando.

Aplicación

El producto se aplica con brocha, rodillo, equipo convencional, o equipo sin aire. Cuando se aplique con brocha, ésta debe ser de cerda animal y no de nylon.

Anexo 3 Hoja técnica de producto “Barrera Epóxica” de la empresa Sika SA.

El tiempo de aplicación entre capas debe ser de 16 a 24 horas a una temperatura ambiente de 25°C.

Dependiendo del equipo de aplicación empleado aplicar el número de capas necesarias para obtener el espesor de película requerida seca según la recomendación dada para cada caso.

Usar el **Colmasolvente Epóxico** referencia 958025 para diluir si es necesario o para lavar los equipos.

Rendimiento Teórico

90 m²/galón a un espesor de película seca de 25,4 micrones (1,0 mils).

El rendimiento práctico puede sufrir modificaciones debido a perfiles de anclaje mayores que los especificados, corrientes de aire, alta porosidad de la superficie, equipo de aplicación utilizado, diseño y forma del elemento a recubrir y mayores espesores de película aplicada, etc.

DATOS TÉCNICOS

Color:	Blanco, Gris
Densidad (ASTM D1475):	1.4 ± 0,08 kg/l
Viscosidad (ASTM D562):	98 ± 5 Unidades Krebs a 25°C
Relación de mezcla en volumen	A : B 1 : 1
Disolvente recomendado:	Colmasolvente Epóxico ref. 958025
Espesor de película seca recomendado por capa (SSPC-PA2):	3,5 a 4.0 mils (88,9 a 100 micrones)
% Sólidos/volumen (ASTM D2697):	60 ± 2
Límites de aplicación	
Humedad relativa máx.:	90%
Temperatura ambiente mínima de aplicación:	11°C
Temp. mín. del soporte:	10°C y 3°C por encima de la temp de rocío
Temp. máx. del soporte:	50°C
Temp. máx. de servicio:	Calor húmedo: 90°C Calor seco: 110°C
Tiempo de Secado (a 25°C) (ASTM D1640):	Al tacto: 1 a 2 horas Repinte 12 a 16 horas
Tiempo de vida de la mezcla en el recipiente:	7 horas (a 25°C)
Resistencia Química	
Acidos y Alcalis:	Excelente
Intemperie:	Buena
Humedad, grasas:	Excelente
VOC (ASTM D3960):	< 400 g/l
Pérdida a la abrasión (ASTM D 4060):	49 mgs, rueda CS10, 10000 ciclos con un peso de 1 kg

Consultar con nuestros asesores técnicos Sika su caso específico.

PRECAUCIONES

Mezclar únicamente la cantidad de producto durante el tiempo de vida en el recipiente. Todos los sistemas epóxicos cuando se encuentran a la intemperie sufren el fenómeno de entizamiento el cual no afecta las propiedades químicas y físicas de estos.

Entre lote y lote se pueden presentar ligeras diferencias de color.

Cuando está en contacto con algunas sustancias químicas agresivas puede cambiar de color dependiendo de las características del agente agresor.

MEDIDAS DE SEGURIDAD

Todos los sistemas epóxicos cuando se encuentran a la intemperie sufren el fenómeno de degradación de color, el cual no afecta las propiedades químicas de estos. Cuando los epóxicos se exponen a los rayos UV se pueden generar cambios de color y entizamiento, siendo especialmente notorio en los tonos intensos. Para evitar este fenómeno, se debe aplicar una capa de acabado con **Esmalte Uretano**, Serie 36.

Anexo 3 Hoja técnica de producto “Barrera Epóxica” de la empresa Sika SA.

Cuando se aplique en áreas cerradas, se debe proveer ventilación forzada. Se debe utilizar máscaras y el equipo de seguridad, debe ser a prueba de explosión. Los vapores pueden causar irritación. En caso de contacto con la piel limpiarse con una estopa humedecida en **Colmasolvente Epóxico** referencia 958025 y luego lavarse con abundante agua y jabón. Cuando se aplique en áreas cerradas, se recomienda usar equipos de aplicación a prueba de explosión.

PRESENTACIÓN	Componente A: 1 galón 5 galones	Componente B: 1 galón (Ref. 238001) 5 galones
ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE	El tiempo de almacenamiento es de 18 meses, en fresco y bajo techo, en envase original y bien cerrado. Transporte con las precauciones normales de productos químicos.	
CÓDIGOS R/S	Componente A: R: 22/37/38 S: 24/25/26	Componente B: R: 36/37/38/43 S: 24/25/26



Responsabilidad Integral



Sika Colombia S.A.S.

Vereda Canavita, km 20.5
Autopista Norte, Tocancipá
Conmutador: 878 6333
Colombia - web.col.sika.com

Hoja Técnica de Producto
Barrera Epóxica
Versión: 05/2015

NOTA

La información, y en particular las recomendaciones relacionadas con la aplicación y uso final de los productos Sika, se proporcionan de buena fe, con base en el conocimiento y la experiencia actuales de Sika sobre los productos que han sido apropiadamente almacenados, manipulados y aplicados bajo condiciones normales de acuerdo con las recomendaciones de Sika. En la práctica, las diferencias en los materiales, sus tratos y condiciones actuales de las obras son tales, que ninguna garantía con respecto a la comerciabilidad o aptitud para un propósito particular, ni responsabilidad proveniente de cualquier tipo de relación legal pueden ser inferidos ya sea de esta información o de cualquier recomendación escrita o de cualquier otra asesoría ofrecida. El usuario del producto debe probar la idoneidad del mismo para la aplicación y propósitos deseados. Sika se reserva el derecho de cambiar las propiedades de los productos. Los derechos de propiedad de esas partes deben ser respetados. Todas las órdenes de compra son aceptadas con sujeción a nuestros términos de venta y despacho publicadas en la página web: col.sika.com. Los usuarios deben referirse siempre a la versión local más reciente de la Hoja Técnica del Producto cuya copia será suministrada al ser solicitada.



Anexo 4 Hoja de datos de producto “Imprimante Epóxico Fosfato de Cinc” de la empresa Sika SA.

CONSTRUYENDO CONFIANZA



HOJA DE DATOS DEL PRODUCTO

Imprimante Epóxico Fosfato de Cinc

IMPRIMANTE EPÓXICO CON BASE EN RESINAS EPÓXICAS Y ENDURECEDOR POLIAMIDA

DESCRIPCION DEL PRODUCTO

Imprimante Epóxico Fosfato de Cinc es un recubrimiento polimérico de dos componentes, con base en resinas epóxicas y endurecedor poliamida, no contiene pigmentos con base de cromato de cinc ni minio.

USOS

Como imprimante para estructuras metálicas y de concreto expuestas a ambientes agresivos industriales y marinos.

CARACTERISTICAS / VENTAJAS

- Buena adherencia al soporte, resistencia química y resistencia a la abrasión.
- Ecológico y Atóxico
- VOC < 400 g/l (ASTMD3960)

CERTIFICADOS / NORMAS

- SSPC-Paint 42 de la Steel Structure Painting Council

INFORMACION DEL PRODUCTO

Empaques	• Comp. A: 1 galón (Ref. 137057) Comp. B: 1 galón (Ref 138007) • Comp. A: 5 galones (Ref. 137057) Comp. B: 5 galones (Ref 138007)
Apariencia / Color	Marrón
Vida en el recipiente	12 meses desde su fecha de fabricación
Condiciones de Almacenamiento	Almacenar en un sitio fresco y bajo techo, en el envase original bien cerrado. Transportar con las precauciones normales para productos químicos.
Densidad	5.3 ± 0.2 kg/gal (ASTM D1475)
Viscosidad	97 ± 4 Unidades Krebs (a 25°C) (ASTM D562)
Contenido de sólidos en volumen	60% ± 2 (ASTM D2697)

INFORMACION TECNICA

Resistencia Química	Álcalis, Ácidos, Petróleo: Excelente Agua dulce/salada: Excelente
----------------------------	--

Hoja de Datos del Producto
Imprimante Epóxico Fosfato de Cinc
Junio 2019, Versión 01.02
020602000040000024

1 / 3

Anexo 5 Hoja de datos de producto “Imprimante Epóxico Fosfato de Cinc” de la empresa Sika SA.

INFORMACION DE APLICACIÓN

Proporción de la Mezcla	1:1 en volumen	
Disolvente	Sika Ajustador Epóxico	
Consumo	Rendimiento: 90 m ² /galón a un espesor de película seca de 25.4 micrones (1.0 mils). El rendimiento práctico puede sufrir modificaciones debido a perfiles de anclaje mayores que los especificados, corrientes de aire, alta porosidad de la superficie, equipo de aplicación utilizado, diseño y forma del elemento a recubrir y mayores espesores de película aplicada, etc.	
Espesor de Capa	Recomendado por capa: 3.5 a 4.0 mils (88.9 a 102 micrones)	(SSPC-PA2)
Temperatura Ambiente	Temperatura de servicio: • Calor húmedo: 90°C • Calor seco: 110°C Temperatura de aplicación: • 11°C mínimo	
Humedad Relativa del Aire	Max. 90%	
Temperatura del Sustrato	Min. 10°C y 3°C por encima de la temp de rocío / Max. 50°C	
Vida de la mezcla	8 horas (25°C)	
Tiempo de Espera / Repintabilidad	12 a 18 horas (25°C)	(ASTM D1640)
Tiempo de secado	Al tacto: 1 hora (25°C)	(ASTM D1640)

PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE

La superficie debe estar limpia, seca, libre de óxido, cascarrilla de laminación, pinturas en mal estado y demás contaminantes que puedan interferir con la adherencia del producto.

• Método de limpieza

Realizar limpieza mecánica según norma SSPC-SP3 ó con chorro abrasivo hasta obtener grado comercial (SPC-SP6) de acuerdo con las normas internacionales.

Para interior de tanques ó tuberías enterradas se requiere limpieza agrado metal blanco (SSPC-SP5).

El perfil de anclaje debe estar entre 1.5 y 3.0 mils (38 y 75 micrones).

MEZCLADO

Agitar cada componente en su empaque. Verter el componente B (Catalizador Ref. 138007) sobre el componente A (13-70-57) en relación de 1:1 (A:B). Mezclar con agitador de bajas revoluciones (400 rpm) hasta obtener una mezcla homogénea.

Evitar usar espátulas o paletas contaminadas con el componente B o con la mezcla, para agitar o mezclar el componente A que no esté usando.

APLICACIÓN

Aplicar con brocha o pistola convencional o airless. Aplicar con brocha de cerda animal y no de Nylon.

Aspersión convencional: Se requiere pistola De Vilbiss JGA-510 con paso de fluido “E” y copa de aire No. 704,

No. 765.

Aspersión sin aire: Utilizar toberas con orificios de 15 a 27 mils, dependiendo de la presión de la bomba.

El tiempo de aplicación entre capas debe ser de 12 a 18 horas a una temperatura de 25°C.

Aplicar el número de capas necesarias para obtener el espesor de película seca requerido de acuerdo con la recomendación dada para el caso.

LIMPIEZA DE HERRAMIENTAS

Use Sika Ajustador Epóxico

LIMITACIONES

Una vez mezclados los dos componentes, el producto resultante debe usarse dentro de las 8 horas siguientes. Este tiempo puede disminuir si la temperatura ambiente es mayor a 25°C.

Notas: Entre lote y lote se pueden presentar ligeras diferencias de color.

Cuando está en contacto con algunas sustancias químicas agresivas puede cambiar de color dependiendo de las características del agente agresor. Todos los sistemas epóxicos cuando se encuentran a la intemperie sufren el fenómeno de degradación de color y entizamiento, el cual no afecta las propiedades químicas de estos.

Cuando los epóxicos se exponen a los rayos UV se pueden generar cambios de color, siendo especialmente notorio en los tonos intensos. Para evitar este fenómeno, se debe aplicar una capa de acabado con **Esmalte Uretano, Serie 36**. Proteger de la lluvia durante 6 horas des-

Hoja de Datos del Producto
 Imprimante Epóxico Fosfato de Cinc
 Junio 2019, Versión 01.02
 02060200040000024



Anexo 6 Hoja de datos de producto “Imprimante Epóxico Fosfato de Cinc” de la empresa Sika SA.

pués de aplicado.

NOTAS

Los usuarios deben referirse siempre a la versión local más reciente de la Hoja Técnica del Producto cuya copia será suministrada al ser solicitada.

RESTRICCIONES LOCALES

Este producto puede variar en su funcionamiento o aplicación como resultado de regulaciones locales específicas. Por favor, consulte la hoja técnica del país para la descripción exacta de los modos de aplicación y uso.

ECOLOGIA, SALUD Y SEGURIDAD

Manténgase fuera del alcance de los niños. Aplicar en sitios con buena ventilación o proveer ventilación forzada cuando se aplique en áreas cerradas. Contiene vapores orgánicos, utilizar máscara de protección para gases y vapores. El equipo de aplicación debe ser a prueba de explosión. En caso de contacto con la piel, limpiarse con una estopa humedecida en Sika Ajustador Epóxico y luego lavarse con abundante agua y jabón. Consultar hoja de seguridad del producto.

Cuando se aplique en áreas cerradas, se recomienda usar equipos de aplicación a prueba de explosión.

DIRECTIVA 2004/42/CE - LIMITACIÓN DE LAS EMISIONES DE VOC

< 400 g/l

Otras sustancias consultar con nuestros asesores técnicos.

NOTAS LEGALES

La información, y en particular las recomendaciones relacionadas con la aplicación y uso final de los productos Sika, se proporcionan de buena fe, con base en el conocimiento y la experiencia actuales de Sika sobre los productos que han sido apropiadamente almacenados, manipulados y aplicados bajo condiciones normales de acuerdo con las recomendaciones de Sika. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones actuales de las obras son tales, que ninguna garantía con respecto a la comercialidad o aptitud para un propósito particular, ni responsabilidad proveniente de cualquier tipo de relación legal pueden ser inferidos ya sea de esta información o de cualquier recomendación escrita o de cualquier otra asesoría ofrecida. El usuario del producto debe probar la idoneidad del mismo para la aplicación y propósitos deseados. Sika se reserva el derecho de cambiar las propiedades de los productos. Los derechos de propiedad de terceras partes deben ser respetados. Todas las órdenes de compra son aceptadas con sujeción a nuestros términos de venta y despacho publicadas en la página web: col.sika.com.

Sika Colombia S.A.S

Vereda Canavita, Km 20.5 Autopista Norte
Tocancipá Cundinamarca Colombia
phone: +57 1 878 6333
e-mail: sika_colombia@co.sika.com
web: col.sika.com



Hoja de Datos del Producto
Imprimante Epóxico Fosfato de Cinc
Junio 2019, Versión 01.02
020602000040000024

ImprimanteEpoxicoFosfato-es-CO-(06-2019)-1-2.pdf





HOJA TÉCNICA DE PRODUCTO

Esmalte Uretano

SERIE 36

DESCRIPCIÓN	Recubrimiento de uretano (poliuretano) brillante, polimérico, tipo acriluretano alifático de dos componentes, catalizador tipo isocianato utilizado como capa de acabado de sistemas epóxicos para la protección y decoración de estructuras metálicas expuestas a la intemperie y a los rayos UV en ambientes agresivos.
USOS	Como capa de acabado en sistemas epóxicos para: Protección de superficies metálicas expuestas a la intemperie en ambientes agresivos. Protección de elementos metálicos expuestos a vapores industriales, polvos, salpiques y derrames de productos químicos y solventes. Protección de “obra muerta”, cubiertas y superestructuras en buques y plataformas marinas. Para la protección exterior de tanques, tuberías, maquinarias, bicicletas, etc.
VENTAJAS	Excelente dureza y resistencia a la abrasión. Excelente resistencia a los rayos U.V. Excelente retención de color y brillo. No presenta entizamiento
MODO DE EMPLEO	Preparación de Superficie En superficies de Acero: aplicar sobre Imprimantes Epóxicos de la serie 13, sobre Barrera Epóxica Serie 23 o sobre Esmalte Epóxico Serie 33, sobre capas de Autoimprimante Epóxico serie 100, sobre Coaltar Epóxico , sobre capas de Epoxifenólico Serie 45, sobre Sika Epoxi 90 HS Serie 200, Sika Epoxi 100 HS Serie 300, que estén libres de polvo, mugre, grasa o aceites y con tiempo de secamiento no mayor a 36 horas. Si este tiempo es mayor, se debe promover perfil de anclaje en el Imprimante o Esmaltes Epóxicos mediante en lijado, Brush-Off y activación con el Colmasolvente Epóxico referencia 958025. En superficies galvanizadas: Aplicar sobre Barrera Epoxica Serie 23 Preparación del Producto Agite cada componente en su empaque. Verter el componente B, sobre el componente A en relación en volumen de 4:1 (A:B). Nota: El Esmalte Uretano Transparente se mezcla en relación A:B::5:1 en volumen. Mezclar manualmente o con agitador de bajas revoluciones (400 rpm) hasta obtener una mezcla homogénea: el Esmalte Uretano Transparente NO protege de los rayos UV a los sistemas epóxicos. Evitar usar espátulas con paletas contaminadas con el componente B o con la mezcla, para agitar o mezclar componente A que no se esté usando. Aplicación El producto se aplica con brocha, rodillo de piel de carnero ó similar, equipo convencional y/o equipo airless. Cuando se aplique a brocha, ésta debe ser de cerda animal y no de nylon.

Anexo 8 Hoja de datos de producto “Esmalte Uretano” de la empresa Sika SA.

	<p>Los mejores acabados se logran con aplicaciones mediante equipo convencional, aplicaciones realizadas con equipo airless pueden producir acabados fogueados y/o zonas oscuras con apariencia sombreada.</p> <p>Usar el Colmasolvente Uretano referencia 958036 para diluir si es necesario o para lavar los equipos.</p> <p>Rendimiento Teórico 90m²/galón a un espesor de película seca de 25,4 micrones (1,0 mils). Nota: rendimiento teórico del: Esmalte Uretano Transparente: 51 m²/gall a 1 mil Esmalte Uretano Negro: 70 m²/gall a 1 mil</p> <p>El rendimiento práctico puede sufrir modificaciones debido a perfiles de anclaje mayores que los especificados, corrientes de aire, alta porosidad de la superficie, equipo de aplicación utilizado, diseño y forma del elemento a recubrir y mayores espesores de película aplicada, etc.</p>
DATOS TÉCNICOS	<p>Color: Colores varios</p> <p>Densidad (ASTM D1475): 4,75 ± 0,23 kg/gal</p> <p>Viscosidad a 25°C (ASTM D562): 70 ± 3 UK</p> <p>Relación de mezcla en volumen: A: B 4: 1</p> <p>NOTA: El Esmalte Uretano Transparente se debe mezclar en relación A:B:5:1</p> <p>Disolvente recomendado: Colmasolvente Uretano ref. 958036</p> <p>Espesor de película seca recomendado por capa (SSPC-SA2): 2.0 a 3.0 mils (50 a 75 micrones)</p> <p>% Sólidos /volumen: 60 ± 2 según el color (excepto el Transparente, el aluminio y negro). (ASTM D2697)</p> <p>VOC (ASTM D3960): < 270 g/l</p> <p>Nota: El % de sólidos en volumen del Esmalte Uretano Transparente es de 34 ± 2 El % de sólidos en volumen del Esmalte Uretano Aluminio es de 38 ± 2 El % de sólidos en volumen del Esmalte Uretano Negro es de 47 ± 2 Consultar Hoja Técnica de cada uno de los productos mencionados.</p> <p>Límites de aplicación</p> <p>Humedad relativa máx.: 90%</p> <p>Temperatura ambiente mínima de aplicación: 1°C</p> <p>Temp. mín. del soporte para su aplicación: 10°C y 3°C por encima de la temperatura de rocío</p> <p>Temp. máx. del soporte para su aplicación: 40°C</p> <p>Temp. máx. de servicio: Calor seco: 120°C</p> <p>Tiempo de Secado (a 25°C) (ASTM D1640): Al tacto: 1-2 horas Repinte: 4-6 horas</p> <p>Tiempo de vida de la mezcla en el recipiente: 3 horas a 25°C.</p> <p>Resistencia Química</p> <p>Intemperie: Excelente</p> <p>Humedad: Excelente</p> <p>Grasas: Excelente</p> <p>Consultar con nuestros asesores técnicos su caso específico.</p>
PRECAUCIONES	<p>Mezcle únicamente la cantidad de producto que pueda aplicar entre 4 y 6 horas, a 25°C. A mayor temperatura este tiempo de vida útil se disminuye.</p> <p>Las condiciones de:</p> <ul style="list-style-type: none">• Humedad relativa máxima del 90%,• Temperatura mínima del soporte 10°C,• Temperatura máxima del soporte 40°C y 3°C por encima de la temperatura de rocío) <p>Estas condiciones se DEBEN mantener durante el período de curado: mínimo 8 horas a una temperatura ambiente de 25°C, ó de 14 horas a una temperatura promedio de 16°C. Esta relación no es lineal.</p> <p>A mayor espesor de película húmeda aplicada el tiempo de curado será mayor.</p>

Hoja Técnica de Producto
Esmalte Uretano
Versión: 04/2016



Anexo 9 Hoja de datos de producto “Esmalte Uretano” de la empresa Sika SA.

	Mantenga los productos alejados de fuente de calor, chispas o exposición de llamas abiertas. No aplique por debajo de 8°C ni a humedades relativas superiores a 90%. Evite el contacto con los ojos. El recipiente del componente B debe sellarse muy bien con el fin de evitar el ingreso de aire el cual provoca cristalización del producto.						
MEDIDAS DE SEGURIDAD	Manténgase fuera del alcance de los niños. Provea ventilación forzada cuando se aplique en áreas cerradas. Utilice mascararas de protección para gases y vapores. Contiene disolventes orgánicos. Los vapores pueden causar irritación. En caso de contacto con la piel límpiase con una estopa humedecida en Colmasolvente Uretano referencia 958036 y luego lavarse con abundante agua y jabón. Consulte Hoja de Seguridad del Producto. Cuando se aplique en áreas cerradas, se recomienda usar euipos de aplicación a prueba de explosión.						
PRESENTACIÓN	En dos componentes. Componente A: Cuñete de 4 gal. (Ref. Serie 36) Componente B: 1 Galón (Ref. 368001), 1/4 galón						
ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE	El tiempo de almacenamiento es de 18 meses para el Componente A y de 12 meses para el Componente B, en sitio fresco y bajo techo, en envase original y bien cerrado. Transporte con las precauciones normales de productos químicos.						
CÓDIGOS R/S	<table border="0"> <tr> <td>Componente A:</td> <td>Componente B:</td> </tr> <tr> <td>R: 10/14/20/21</td> <td>R: 14/10/22</td> </tr> <tr> <td>S: 16/20/21/30</td> <td>S: 16/20/21/30</td> </tr> </table>	Componente A:	Componente B:	R: 10/14/20/21	R: 14/10/22	S: 16/20/21/30	S: 16/20/21/30
Componente A:	Componente B:						
R: 10/14/20/21	R: 14/10/22						
S: 16/20/21/30	S: 16/20/21/30						





Responsabilidad Integral
 Vereda Canavita, km 20.5
 Autopista Norte, Tocancipá
 Conmutador: 878 6333
 Colombia - web.col.sika.com

Hoja Técnica de Producto
 Esmalte Uretano
 Versión: 04/2016

NOTA

La información, y en particular las recomendaciones relacionadas con la aplicación y uso final de los productos Sika, se proporcionan de buena fe, con base en el conocimiento y la experiencia actuales de Sika sobre los productos que han sido apropiadamente almacenados, manipulados y aplicados bajo condiciones normales de acuerdo con las recomendaciones de Sika. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones actuales de las obras son tales, que ninguna garantía con respecto a la comercialidad o aptitud para un propósito particular, ni responsabilidad proveniente de cualquier tipo de relación legal pueden ser inferidos ya sea de esta información o de cualquier recomendación escrita o de cualquier otra asesora ofrecida. El usuario del producto debe probar la idoneidad del mismo para la aplicación y propósitos deseados. Sika se reserva el derecho de cambiar las propiedades de los productos. Los derechos de propiedad de terceras partes deben ser respetados. Todas las órdenes de compra son aceptadas con sujeción a nuestros términos de venta y despacho publicadas en la página web: col.sika.com. Los usuarios deben referirse siempre a la versión local más reciente de la Hoja Técnica del Producto cuya copia será suministrada al ser solicitada.





HOJA DE DATOS DEL PRODUCTO

Sika® ViscoCrete®-2100

ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ULTRA ALTO PODER

DESCRIPCION DEL PRODUCTO

Sika® ViscoCrete®-2100 es un aditivo líquido, reductor de agua de ultra alto rango y súper plastificante basado en policarboxilatos. No contiene cloruros.

USOS

Sika® ViscoCrete®-2100 puede ser usado tanto para concretos premezclados como prefabricación, al agregar el aditivo en las plantas brinda una excelente plasticidad. Los tiempos de fraguado controlados hacen del Sika® ViscoCrete®-2100 ideal para aplicaciones horizontales y verticales.

CARACTERISTICAS / VENTAJAS

Reducción de agua: Sika® ViscoCrete®-2100 puede ser dosificado en pequeñas cantidades para obtener una reducción de agua de 10% al 15% y se logran reducciones de agua por encima del 45% para dosis altas. Sika® ViscoCrete®-2100 es adecuado para todos los niveles de reducción de agua.

Alta Plasticidad: La acción súper plastificante del Sika® ViscoCrete®-2100 brinda un alto asentamiento, se obtienen concretos fluidos que mantienen una excelente manejabilidad y pueden ser colocado con un mínimo de vibración incluso con una relaciones a/c de hasta 0.25.

El concreto plastificado con Sika® ViscoCrete®-2100 es altamente fluido y mantiene completamente la cohesión de la matriz de cemento eliminado la excesiva exudación y segregación.

Manejabilidad con fraguados controlados: Sika® ViscoCrete®-2100 ha sido formulado para proveer tiempos de manejabilidad extendidos de una forma controlada y predecible sin afectar los tiempos de fraguados.

La combinación de la reducción de agua y la acción plastificante del Sika® ViscoCrete®-2100 brinda los siguientes beneficios al concreto endurecido.

- Altas resistencias finales, permitiendo diseños estructurales flexibles y económicos.
- Reducción de la relación a/c, produciendo concretos más densos y durables al reducir la permeabilidad.
- El alto efecto plastificante reduce los defectos en la superficie en los elementos de concreto y mejora la apariencia estética.

Sika® ViscoCrete®-2100 ha sido formulado para brindar máxima reducción de agua a bajas dosis.

CERTIFICADOS / NORMAS

Sika® ViscoCrete®-2100 cumple con los requerimientos de la norma ASTM C-494 Tipos A y F.

INFORMACION DEL PRODUCTO

Empaques	Tambor de 230 kg y granel
Apariencia / Color	Líquido color azul a verde
Vida en el recipiente	Un (1) año a partir de su fecha de fabricación

Hoja de Datos del Producto
Sika® ViscoCrete®-2100
Noviembre 2017, Versión 01.01
02130101100000012

Anexo 11 Hoja de datos del producto “ViscoCrete - 2100” de la empresa Sika SA.

Condiciones de Almacenamiento	Almacenar en su envase original y bien cerrado en bodegas secas a temperaturas entre 10°C y 27°C. Sika® ViscoCrete®-2100 debe permanecer almacenado a temperaturas por encima de 2°C. Transportese con las precauciones normales para productos químicos.
--------------------------------------	--

Densidad	1,08 kg/l ± 0,03 kg/l
-----------------	-----------------------

INSTRUCCIONES DE APLICACION

Mezclado: Para obtener los mejores resultados como plastificante, adicionar **Sika® ViscoCrete®-2100** directamente a la mezcla fresca de concreto en la mezcladora al final del ciclo de la bachada.

Sika® ViscoCrete®-2100 también puede ser integrado al concreto en el ciclo regular del aditivo en la bachada o en el concreto fresco en el camión mezclador. Para optimizar el efecto superplastificante, después de la adición del **Sika® ViscoCrete®-2100**, se recomienda hacer un mezclado a 80 – 100 RPM en la mezcladora o en el camión mezclador.

Combinaciones con otros aditivos: **Sika® ViscoCrete®-2100** es altamente efectivo sólo o mezclado con otros aditivos, si se utiliza en combinación con ciertos reductores del rango del tipo Sikament el efecto plastificante puede ser afectado.

Combinación con microsilica: **Sika® ViscoCrete®-2100** es particularmente adecuado para usar con micro sílice por su capacidad de reducción de agua y su control adecuado del asentamiento.

DOSIFICACIÓN

Las dosis pueden variar dependiendo de los materiales usados, las condiciones ambientales y los requerimientos específicos del proyecto. Sika recomienda dosis de 0.15 % a 0.40 % del material cementante para aplicaciones de concreto convencional. Cuando se requieran altos asentamientos o concretos auto compactantes (CAC) se pueden usar dosis de 0.40% a 0.80% del material cementante.

Dosis por fuera del rango recomendado pueden ser usadas donde materiales especiales como la microsilica sean especificados. Condiciones ambientales extremas o proyectos especiales requieren consideraciones adicionales, en estos casos contactar a nuestro departamento técnico.

NOTAS

Los usuarios deben referirse siempre a la versión local más reciente de la Hoja Técnica del Producto cuya copia será suministrada al ser solicitada.

Anexo 12 Hoja de datos del producto “ViscoCrete - 2100” de la empresa Sika SA.

RESTRICCIONES LOCALES

Este producto puede variar en su funcionamiento o aplicación como resultado de regulaciones locales específicas. Por favor, consulte la hoja técnica del país para la descripción exacta de los modos de aplicación y uso

ECOLOGIA, SALUD Y SEGURIDAD

Contiene soluciones poliméricas acuosas. Puede causar irritación en la piel, ojos o vías respiratorias. Evitar el contacto y usar en áreas ventiladas, lavar con jabón después de su uso. Consultar la hoja de seguridad del producto.

NOTAS LEGALES

La información, y en particular las recomendaciones relacionadas con la aplicación y uso final de los productos Sika, se proporcionan de buena fe, con base en el conocimiento y la experiencia actuales de Sika sobre los productos que han sido apropiadamente almacenados, manipulados y aplicados bajo condiciones normales de acuerdo con las recomendaciones de Sika. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones actuales de las obras son tales, que ninguna garantía con respecto a la comercialidad o aptitud para un propósito particular, ni responsabilidad proveniente de cualquier tipo de relación legal pueden ser inferidos ya sea de esta información o de cualquier recomendación escrita o de cualquier otra asesoría ofrecida. El usuario del producto debe probar la idoneidad del mismo para la aplicación y propósitos deseados. Sika se reserva el derecho de cambiar las propiedades de los productos. Los derechos de propiedad de terceras partes deben ser respetados. Todas las órdenes de compra son aceptadas con sujeción a nuestros términos de venta y despacho publicadas en la página web: col.sika.com.

Sika Colombia S.A.S
Vereda Canavita, Km 20.5 Autopista Norte
Tocancipá Cundinamarca Colombia
phone: +57 1 878 6333
e-mail: sika_colombia@co.sika.com
web: col.sika.com



SikaViscoCrete-2100_es_CO_(11-2017)_1_1.pdf

Hoja de Datos del Producto
Sika® ViscoCrete®-2100
Noviembre 2017, Versión 01.01
021301011100000012

3 / 3

CONSTRUYENDO CONFIANZA

