



Universidad Autónoma de Chiapas

Facultad de Ingeniería



Campus 1

Metodología para la Selección de Pinturas en la Protección de Puentes de Acero en México

Que Para Obtener el Grado de:

Maestría en Ingeniería con Formación en Construcción

Presenta:

Yester Sady Rodriguez Dominguez 14012034

Director de Tesis:

Dr. Moisés Nazar Beutelspacher

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; abril de 2024



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS
FACULTAD DE INGENIERÍA C-I



Tuxtla Gutiérrez, Chiapas
15 de abril del 2024
Oficio No. F.I.01.655/2024

C. YESTER SADY RODRÍGUEZ DOMÍNGUEZ
EGRESADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CON FORMACIÓN EN CONSTRUCCIÓN
PRESENTE.

Con base en el Reglamento de Evaluación Profesional para los egresados de la Universidad Autónoma de Chiapas, y habiéndose cumplido con las disposiciones en cuanto a la aprobación por parte de los integrantes del jurado en el contenido de su Tesis Titulada:

"METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN DE PINTURAS EN LA PROTECCIÓN DE PUENTES DE ACERO EN MÉXICO".

CERTIFICO el **VOTO APROBATORIO** emitido por este jurado, y autorizo la entrega de tesis digital elaborada a través del Programa Institucional para la Obtención del Grado Académico (PIGA), para que sea sustentado en su Examen de grado de Maestro en Ingeniería con Formación en Construcción.

Sin otro particular, reciba un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"POR LA CONCIENCIA DE LA NECESIDAD DE SERVIR"


DR. OMAR ANTONIO DE LA CRUZ COURTOIS
DIRECTOR



Ccp. Dr. Humberto Miguel Sansebastián García. Coordinador de Investigación y Posgrado. Facultad de Ingeniería, Campus I. UNACH.
Archivominutario
DACCHMSG/tpg"





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS



SECRETARÍA ACADÉMICA
COORDINACIÓN DE BIBLIOTECAS UNIVERSITARIAS

Código: FO-113-05-05

Revisión: 0

CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DE LA TESIS DE TÍTULO Y/O GRADO.

El (la) suscrito (a) Yester Sady Rodriguez Dominguez, Autor (a) de la tesis bajo el título de “Metodología para la Selección de Pinturas en la Protección de Puentes de Acero en México,” presentada y aprobada en el año 2024 como requisito para obtener el título o grado De Maestría en Ingeniería con Formación en Construcción, autorizo licencia a la Dirección del Sistema de Bibliotecas Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH), para que realice la difusión de la creación intelectual mencionada, con fines académicos para su consulta, reproducción parcial y/o total, citando la fuente, que contribuya a la divulgación del conocimiento humanístico, científico, tecnológico y de innovación que se produce en la Universidad, mediante la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Consulta del trabajo de título o de grado a través de la Biblioteca Digital de Tesis (BIDITE) del Sistema de Bibliotecas de la Universidad Autónoma de Chiapas (SIBIUNACH) que incluye tesis de pregrado de todos los programas educativos de la Universidad, así como de los posgrados no registrados ni reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad del CONACYT.
- En el caso de tratarse de tesis de maestría y/o doctorado de programas educativos que sí se encuentren registrados y reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) del Consejo Nacional del Ciencia y Tecnología (CONACYT), podrán consultarse en el Repositorio Institucional de la Universidad Autónoma de Chiapas (RIUNACH).

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; a los 17 días del mes de abril del año 2024

Yester Sady Rodriguez Dominguez
Nombre y firma del Tesista o Tesistas

Agradecimientos

A la **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS**, por haberme permitido formarme en ella y al programa **PIGA** y a todas las personas que fueron partícipes de este proceso, gracias a todos ustedes.

A mi director de tesis **DR. MOISÉS NAZAR BEUTELSPACHER**, gracias por su experiencia, comprensión y paciencia que contribuyeron en el proceso de esta investigación, le agradezco muy profundamente su orientación.

A mi tallerista **Mtra. CLAUDIA OLIVIA ICHIN GÓMEZ**, gracias por el gran apoyo que me ha brindado y la disponibilidad de tiempo. DIOS la bendiga.

Dedicatorias.

A mis padres: Por el apoyo, comprensión, paciencia y el amor, con mucho cariño les ofrezco este logro, en gratitud a los momentos que nos han hecho crecer como familia y como personas, gracias.

A mis hermanos Por el cariño y ser mejores personas día a día. Por las risas y buenas energías que me provocan al escucharlos.

A mis amigos: les agradezco el apoyo y el cariño que me han brindado, los buenos y malos momentos que nos han hecho ser mejores amigos. Gracias por estar cuando más lo he necesitado.

Un sincero agradecimiento a mi gran amiga y compañera de vida que estuvo conmigo en los momentos de estrés y alegrías durante este largo camino, su apoyo, confianza y cariño han sido invaluable.

Tabla de Contenido

Tabla de Contenido	v
Índice de Figuras	vii
Índice de Tablas	viii
Resumen	ix
Introducción	1
Justificación	7
Planteamiento del Problema	7
Objetivo General	8
Objetivos Específicos	8
Capítulo 1. Marco Teórico	10
1.1. Análisis de Recubriendo de Protección (Pintura).....	11
1.1.1. <i>Inspección para Recubrimientos</i>	12
1.1.2. <i>Recubrimiento Pintura</i>	13
1.1.3. <i>Clasificación de las Pinturas de Acuerdo con el Espesor</i>	16
1.1.3.1. Pinturas Convencionales (no Tixotrópicas).....	16
1.1.3.2. Pinturas Tixotrópicas.	17
1.1.3.3. Pinturas Cromato de Zinc	17
1.1.3.4. Pintura de Esmalte Epóxico.....	17
1.2. Normas para Recubrimientos	17
1.2.1. <i>Norma SICT</i>	18
1.2.2. <i>Normas PEMEX</i>	18

1.2.3. Normas ASTM	18
1.2.4. Normas SSPC y NACE	18
1.3. Estructura de Acero	19
1.3.1. Corrosividad de Suelo y Atmosférica.....	20
1.3.1.1. Corrosión de Suelos.	21
1.3.1.2. Corrosión Atmosférica.	21
Capítulo 2. Metodología.....	23
2.1. Método	23
2.2. Proceso	24
2.3. Limitaciones	24
2.4. Participantes.....	24
2.5. Muestra	25
2.6. Técnicas, Materiales y Herramientas.....	25
2.7. Materiales.....	25
Capítulo 3. Resultados y Discusión.....	26
3.1. Discusión.....	34
Conclusiones	35
Referencias.	37
Anexo.....	44

Índice de Figuras

Figura 1. <i>Diagrama de flujo</i>	5
Figura 2. <i>Sistemas de pinturas</i>	16
Figura 3. <i>Mapa de fuentes de corrosividad por azufre del Estado de Chiapas</i>	30

Índice de Tablas

Tabla 1. <i>Propiedades requeridas en sistemas de recubrimiento.</i>	14
Tabla 2. <i>Espesores a película seca, en contacto con la atmosfera.</i>	19
Tabla 3. <i>Clasificación de pinturas marinas de acuerdo a su empleo.</i>	20
Tabla 4. <i>Recubrimientos para categorías de corrosividad atmosférica.</i>	27
Tabla 5. <i>Cuadro comparativo de revestimientos anticorrosivos para estructuras de acero en contacto con el agua.</i>	28
Tabla 6. <i>Soluciones para estructuras metálicas.</i>	29
Tabla 7. <i>Protección de estructura con pintura.</i>	31
Tabla 8. <i>Recubrimientos para categorías de corrosividad atmosférica para el Estado de Chiapas.</i>	33

Resumen

Un aspecto fundamental para garantizar la seguridad y durabilidad de las estructuras de acero es la protección contra la corrosión, que provoca el deterioro y destrucción de las propiedades del acero, entendiéndose como una afectación electroquímica del entorno, con efectos durante el proceso de fabricación hasta la construcción, en casos extremos se tiene pérdida completa de los elementos metálicos, por lo que su correcta protección es de suma importancia, desde el punto de vista de la economía, la corrosión ocasiona costosas y elevadas pérdidas de materiales, por esta razón se disponen de técnicas de protección contra la corrosión, una de estas técnicas, consiste en el empleo de recubrimientos o pinturas. En el caso de los puentes los cuidados que se deben tomar van desde la planeación en proyecto, etapa durante la cual se puede procurar la optimización de costos a lo largo de la vida de la estructura. En la presente investigación tiene como objetivo generar una metodología para la selección de la pintura a emplear en los puentes en México, enfocándonos principalmente en el entorno del Estado de Chiapas, efectuando una revisión de las normativas vigentes de los recubrimientos con pinturas en México y Estados Unidos. También se revisan manuales técnicos locales e internacionales, así como tabuladores de precios unitarios para la construcción de puentes en Chiapas, en los cuales describen los conceptos de obra, enfocándonos en el caso de pinturas para protección de estructuras de acero en puentes. Con base en la información recopilada y analizada se genera un esquema básico para la selección racional de las características y tipos de pinturas a aplicar en puentes nuevos, tomando en cuenta a las características ambientales y de exposición. De acuerdo con los resultados obtenidos, se determinaron las condiciones del clima representativos tanto en lo macro climas como en los micro climas del Estado de Chiapas, bajo las condiciones de exposición de las estructuras del puente a pintar. Según los resultados se determinaron alternativas de pinturas disponibles y espesores mínimos de pintura seca más adecuadas al entorno ambiental y exposición, para un tiempo de primer mantenimiento (20 años). Bajo estas condiciones de revisión de las normas nacionales e internacionales, se generó una

propuesta de diseño, para definir las categorías de corrosividad ambiental y de exposición a las que están expuesta las estructuras de acero, con estos parámetros se pueden identificar los tipos de pinturas a emplear, número de capas, así como el espesor de la película seca de las pinturas más recomendables según su categoría.

Palabras clave: corrosión, pintura, acero, recubrimiento, protección.

Introducción

La corrosión causa el deterioro y la destrucción de la mayor parte de las propiedades del acero a consecuencia de un ataque externo de naturaleza electroquímica sobre su entorno, que afecta principalmente a los materiales metálicos artificiales fabricados por el hombre, esta degradación de los materiales, afecta desde los procesos de fabricación, traslado e instalación o construcción, generando altos costos de mantenimientos o en su caso la pérdida total de los materiales metálicos, comprometiendo la durabilidad e integridad estructural de estos elementos, entre otras.

Desde el punto de vista económico, hablando del acero, la corrosión puede ocasionar pérdidas muy costosas y elevadas, por el mantenimiento de estas estructuras, cuando estas no son atendidas oportunamente, por esta razón, se desarrollan técnicas nuevas de recubrimientos, se crean nuevos materiales, para poder mitigar y mejorar los sistemas de protección de las estructuras de acero, y así poder disminuir el impacto negativo de la corrosión.

En el caso de puentes con estructuras de acero, es de extrema importancia su adecuado mantenimiento para optimizar los costos a lo largo de la vida de la estructura. Para generar una metodología que permita elegir una opción racional de pintura en puentes nuevos de acero, es necesario partir de una investigación documental de los procedimientos, manuales y las normas vigentes a nivel nacional e internacional, de modo que, con base en procedimientos establecidos se pueda generar una propuesta local.

En esta tesis se analizarán las normativas de recubrimientos en el tema de recubrimientos de pinturas, específicamente con las normas de la SICT, PEMEX, ASTM, SSPC y NACE, para el estudio de los datos.

El tema de estudio principal de esta investigación, es el análisis de las alternativas de protección con pinturas para puentes nuevos de acero en México, enfocándonos principalmente

en el Estado de Chiapas, considerando los diferentes tipos de condiciones de exposición a los que estará sujeta la estructura de análisis, con el objetivo de generar una metodología básica para elegir la mejor opción entre las disponibles comercialmente en la protección de puentes nuevos de acero.

En el estudio de las opciones de pinturas para estructuras de acero se parte de que, históricamente, todo empezó con la introducción de uso del hierro, ya que los primeros metales empleados (oro, plata, cobre y bronce) no ocasionaban grandes problemas de corrosión, es por eso que pasó un largo tiempo para poder profundizar con el tema de la corrosión.

De acuerdo a la publicación de González (2015, p. 1), los Investigadores como, Austin en 1788, “hizo observar que el agua originalmente neutra tiende a volverse alcalina cuando actúa sobre el hierro, esto se debe a que en las aguas salinas se produce hidróxido sódico como producto catódico del proceso electroquímico de la corrosión”, el francés Thenard en 1819 dijero que la” interpretación de que la corrosión es un fenómeno electroquímico”, investigaciones de Faraday entre 1834 y 1840, “dieron la demostración de la relación esencial existente entre la acción química y la generación de corrientes eléctricas”

Ahora bien, González (2015, p. 1), entre 1388 y 1908 plantea que se “desarrolló el punto de vista, donde los ácidos eran los agentes principales responsables de la corrosión, particularmente era sustentado que el orín¹ en el hierro que se formaba si estaba presente el ácido carbónico”. En 1905 por Dunstan Gouding y Jowet “se puso de manifiesto, que el hierro expuesto al agua y oxígeno, sin la presencia del ácido carbónico, se forma orín¹”. En 1910 los alemanes Heyn y Bayer, “fueron los primeros en establecer medidas de velocidad de corrosión en numerosos líquidos, sobre hierro y acero, estableciendo cuantitativamente el hecho de que el

¹ Este término se refiere a la herrumbre u óxido.

ataque del hierro se estimula por contacto con un metal más noble, mientras que el contacto con un metal más activo confiere protección total o parcial”

De acuerdo con la publicación de González (2015, p. 2), en el año 1938 “marca un hito en la historia de los conocimientos sobre la corrosión gracias a las aportaciones del belga Pourbaix; por sus trabajos en el campo de la Termodinámica aplicada a la corrosión. Desafortunadamente, para la firmeza de estas nuevas teorías sobre las reacciones de corrosión termodinámicamente posibles, no ocurren en la práctica, debido al aislamiento producido por los productos de la corrosión”.

Desafortunadamente todo esto no ocurre en la práctica, “finalmente es de justicia mencionar en el campo del planteamiento pragmático, las grandes aportaciones de la Industria Petrolera Mundial, y de las Marinas de los países desarrollados en el logro de las técnicas de anticorrosión”. (González, 2015, p. 2).

La corrosión en un sentido más amplio se define como un “fenómeno natural, por medio del cual los sistemas químicos expresan su tendencia hacia un estado de equilibrio estable”. (González, 1989, p. 1). Existen diferentes tipos de corrosión debido a que los factores que los provocan no son los mismos y se puede producir de dos maneras:

- Oxidación química: se da cuando un metal se combina con el oxígeno (pierde electrones).
- Corrosión electroquímica: por la aparición de una pila electroquímica, en la cual el metal actúa como ánodo, por lo tanto, se disuelve.

Para la protección es importante tomar en cuenta los diferentes métodos que existen para controlar, disminuir y prevenir la corrosión, sin embargo, estos métodos no son capaces de prevenirlos completamente en su totalidad, los métodos más utilizados en la actualidad son:

- Recubrimientos anticorrosivos
- Inhibidores de corrosión

- Protección catódica
- Protección anódica

De acuerdo a las necesidades de la industria se deberá de seleccionar el sistema de recubrimientos anticorrosivos. Los recubrimientos son materiales que se aplican a una superficie que se le conoce como sustrato con el objetivo de crear una barrera de protección y proteger a las construcciones, así como poder aislar al acero de un medio agresivo. En principio es el método más eficiente ya que impide que el material esté en contacto con el oxígeno y la humedad.

Por otro lado, es importante mencionar que muchos de los materiales de recubrimiento tienen problemas de adherencia, de porosidad, baja resistencia, contaminación, aplicación incorrecta de los productos, etc., estos factores generan preocupación, derivado del incremento en la corrosividad de los elementos de acero en lapsos muy cortos de tiempo.

Debido a estas circunstancias se origina el estudio de los materiales de recubrimiento para protección de los metales, aluminio, acero y muchos otros materiales, de tal forma que se hace una recopilación de datos con estudios especializados en recubrimientos de pinturas, con el objetivo principal de analizar las normas vigentes en México y Estados Unidos de América como modelos de estudio para análisis.

El fenómeno de la corrosión de las estructuras de acero se vió detonado con el gran número de estructuras de este material que se empezaron a construir desde el siglo antepasado. El acero está compuesto principalmente de hierro, adicionado de diversos elementos que le brindan características deseables, tales como: resistencia, ductilidad y tenacidad.

Las características físico-químico de este material hace que, bajo condiciones propicias, se degrade por corrosión al interactuar con otros elementos químicos. La corrosión hace que los materiales en los cuales se invirtieron grandes cantidades de energía para su producción, vean

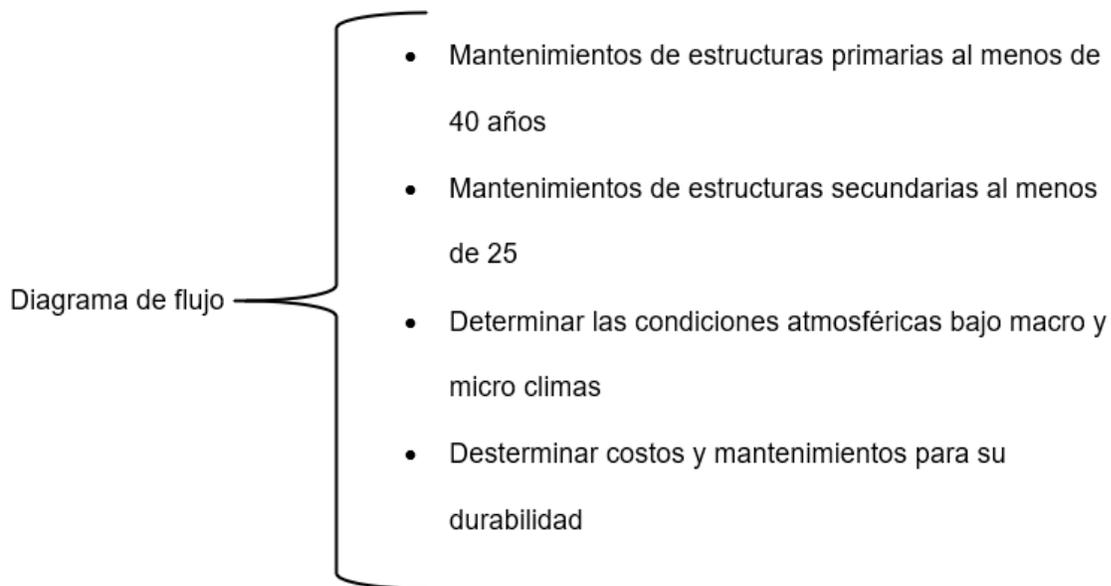
revertido este proceso al oxidarse naturalmente mediante un proceso electroquímico. Dentro de una misma superficie del acero existen zonas que actúan como ánodos y otras como cátodos, siendo usualmente el agua el medio conductor entre estas zonas, lo que permite que se transfieran partículas cargadas eléctricamente (iones) entre los ánodos y los cátodos.

Por otro lado, también se requiere de aire para proveer oxígeno y así se puedan formar óxido en los cátodos, la corrosión es muy lenta en el acero si está sumergida o enterrada, si hay agua en la superficie del metal aumentan las sales, y por lo tanto aumenta la corrosión, pero si la superficie se mantiene seca o libre de oxígeno, la corrosión cesará. Existen tres tipos de protección de utilizados en los recubrimientos: sacrificio, pasivo y barrera.

Se tiene como antecedente a este estudio las metodologías empleadas en otros países, por ejemplo, en Nueva Zelanda (NZ Transport Agency, 2020) se ha propuesto la siguiente metodología:

Figura 1

Diagrama de flujo



Nota. Fuente elaboración propia basado en autor, NZ Transport Agency, (2020, p. 7-15)

Determinar el tiempo de primer mantenimiento: todos los elementos estructuras primarios de difícil acceso, deben de estar protegidos contra la corrosión con un sistema capaz de lograr que el primer mantenimiento deba de ser al menos de 40 años y los elementos secundarios de 25 años para su primer mantenimiento. (NZ Transport Agency, 2020, p. 7).

Determinar la corrosividad atmosférica de los elementos del puente: se basan en las condiciones macro climáticas, sin embargo, por lo que se presenta en HERA R4-133(4) también los determina bajo condiciones de macro y micro climas. Los diseñadores de puentes deben de analizar ambas condiciones para poder proporcionar una valoración real de la corrosión expuestas en los puentes. (NZ Transport Agency, 2020, p. 8).

Determinar los requerimientos de servicio (SR) del cliente para el recubrimiento: estos requisitos deben de estar separados con los de durabilidad, ya que puede haber costos iniciales y de mantenimientos extras, estos costos están relacionados con el mantenimiento o la apariencia del inmueble, algunas de estas son: estética, color, resistencia a la decoloración, niveles de brillo, corrosión, pintado. (NZ Transport Agency, 2020, pp, 8-12).

Especificar el sistema más económico que dará TFM² requerido en el ACC³ y además cumplir: se deben de cumplir todos los mantenimientos requeridos de los recubrimientos especificados, y el diseñador o gerente, debe de comunicarse con los proveedores, para obtener información adicional u orientación sobre los sistemas de recubrimientos aplicados, sobre sus ventajas y desventajas. (NZ Transport Agency, 2020, pp. 12-15).

² TFM es el tiempo requerido para el primer mantenimiento, por sus siglas en inglés.

³ ACC es la categoría de corrosividad atmosférica, por sus siglas en inglés.

Justificación

La corrosión es un fenómeno natural, que siempre estará presente en el medio de servicio de las estructuras de acero. En cualquier industria y de manera particular en la construcción de obras civiles, está asociada a los agentes ambientales físicos, biológicos y químicos que lo rodea entre otros, es por eso que surge la necesidad de protegerlas y conservarlas mediante los recubrimientos de protección que para este trabajo se aborda la protección con pinturas.

Dentro del universo de las estructuras de acero un grupo importante lo forman los puentes que cuentan como parte esencial con estructuras de acero, que se emplean generalmente en su superestructura (parapetos, juntas de dilatación, trabes, armaduras, pilotes, etc.), uno de los procedimientos para proteger a las estructuras de acero en puentes es el empleo de pinturas, existiendo otras alternativas tales como: galvanizado del acero, aceros patinables, aceros inoxidable, así como métodos activos en los que se utilizan ánodos de sacrificio o corrientes impresas.

La presente investigación se enfocará en el estudio de los tipos de recubrimiento por pintura disponibles comercialmente en México y las características ambientales que generen preferencias por cada tipo de pinturas, concretando este análisis en un esquema metodológico general que permita la selección racional de pinturas comerciales para su uso en la protección de las estructuras de acero empleadas en puentes en México.

Planteamiento del Problema

Los altos costos que implica el deterioro de los puentes de acero obliga a generar procedimientos para la gestión adecuada de estas estructuras, optimizando los costos que envuelve el tener que brindar tratamientos correctivos a puentes que no fueron correctamente protegidos de la corrosión.

Dentro del esquema general del ciclo de vida de los puentes, una parte muy relevante es la que ocurre durante el diseño de los mismos que es donde se especifican los tipos de recubrimientos que deben aplicarse para su protección. Estos recubrimientos deseables dependen de las condiciones ambientales del sitio donde se vaya a construir la estructura, así como de las características de exposición a las que vaya a estar cada parte de la estructura de acero del puente.

Para lograr un diseño óptimo es necesario contar con una guía práctica para la selección del tipo de recubrimiento, evitando propuestas excesivamente costosas donde no se requiera. Actualmente se dispone de una amplia normativa referida a las pinturas que se deben emplear, modos de aplicación y características físicas y químicas de las pinturas, sin embargo, hace falta concretar, en una guía sencilla, el proceso para la adecuada y racional toma de decisiones en la selección de los recubrimientos, de modo que durante el proceso del diseño de los puentes en México se pueda proponer de manera simple el tipo de recubrimiento a aplicar a las superficies de las estructuras de acero que se han diseñado.

Objetivo General

Generar una metodología para la selección de la pintura adecuada a emplear para puentes en México.

Objetivos Específicos

- Clasificación y características de las pinturas.
- Revisión de las normativas vigentes de recubrimiento de protección con pinturas en México y Estados Unidos de América.
- Generación de esquema básico de selección de pinturas con base en las características ambientales y de exposición.

La presente investigación está dividida de la siguiente manera:

Se presenta una descripción de la introducción, antecedentes y objetivos de investigación de los recubrimientos de protección en puentes con pinturas.

En el Capítulo 1, se presenta el marco teórico, y está presentado por la importancia de los autores a las investigaciones de los recubrimientos de protección en puentes de acero, así como las normas vigentes y la importancia de la corrosividad de suelos y atmosférica.

En el Capítulo 2, se presenta la metodología, procedimientos, limitaciones, entre otras utilizadas en la recopilación de información que se utilizaran en la presente investigación.

En el Capítulo 3, se analizaron los resultados obtenidos en la investigación bajo las normas y la recopilación de documentos especializados, así como la discusión y explicación de la investigación bajo los autores presentados en el marco teórico.

Finalmente, en la conclusión, bajos las normas nacionales e internacionales se establecen criterios generales para la selección de tipos de pinturas en estructuras de puentes más óptimas para el Estado de Chiapas.

Capítulo 1. Marco Teórico

El objetivo principal de esta investigación, es generar una metodología para la selección de pinturas para puentes en México, con el objetivo de revisar las normativas vigentes de recubrimientos de protección con pinturas en México y Estados Unidos de América, generando un esquema básico de selección de pinturas con base en las características ambientales y de exposición.

NZ Transport Agency (2020) Protective Coatings for Steel Bridges. Una guía para ingenieros de puentes y mantenimiento.

En este documento se describe desde los procesos básicos de la corrosión del acero, el diseño por durabilidad y consideraciones del detallado, selección de pinturas para puentes nuevos, selección de pinturas para mantenimiento de puentes existentes, costos de ciclo de vida usando valor presente neto, guía para extender los períodos de mantenimiento de sistemas de pintura, control de calidad y otras opciones para resistir la corrosión. (NZ Transport Agency, 2020).

Este documento es de carácter eminentemente práctico y basado en evidencia científica, por lo que resulta de gran interés.

En esta investigación llevada a cabo en Reino Unido se analizan los diferentes tipos de pintura que emplean en ese sitio, así como los procesos que llevan a su deterioro, analizando diversos modelos de deterioro que pueden tomar en cuenta diversos factores tales como la salinidad en el aire, la presencia de dióxido de azufre (SO_2), temperatura del aire, la tasa de deposición de cloruros, etc. La metodología para la evaluación de perfiles de desempeño de deterioro de puentes metálicos presentada por los autores fue evaluada mediante un caso de estudio y concluyen en la posibilidad de su empleo en Reino Unido por la flexibilidad de los factores considerados. (Bowman, 2022).

El documento anterior presenta valor para la actual investigación en tanto que evalúa los tipos de pinturas que emplean en el sitio en investigación, dando pauta a un proceso similar a seguir para el Estado de Chiapas, además de poder evaluar otras posibilidades de pintura que tal vez no se han considerado de manera local.

Basado en Bowman (2022) “los sistemas de recubrimientos para los puentes de aceros son cruciales para impedir la corrosión, por lo tanto, es importante contar con métodos de estrategias de mantenimientos rentables para los recubrimientos” por lo que debe haber una “metodología clara y detallada, con el fin de planificar estratégicamente los proyectos y presupuestos para optimizar la integridad de los puentes de acero”, una buena estrategia de mantenimiento con las pinturas puede prolongar la vida útil del acero.

De acuerdo a Bowman (2022) “una de las facetas más importantes de los aceros para el mantenimiento es la pintura, y tiene el potencial de ampliar la vida útil del acero, pero se requiere de una inversión de tiempo y dinero”.

1.1. Análisis de Recubriendo de Protección (Pintura)

Un recubrimiento es un revestimiento que se utiliza en el área de un objeto, al que se le conoce como sustrato con la finalidad de uso decorativo y funcional. Sus principales funciones son proteger a las construcciones de los factores ambientales físicos y químicos entre otros, para conservar sus propiedades y que duren más tiempo ante “cualquier modificación a la química o física de una superficie” (Porcayo et al., 2014, p. 1).

“La textura y rugosidad de la superficie del recubrimiento son importantes respecto a sus características de desgaste. Las características superficiales del recubrimiento están influenciadas por el tamaño de partícula de alimentación (para polvos), parámetros de aplicación del recubrimiento y método de aplicación”. (Porcayo et al., p. 11). Sin embargo, se puede dar una capa barrera de protección de manera física con pinturas. Con respecto a la modificación

química, para dicho autor refiere la “rugosidad del sustrato” como un “factor determinante” que de no cumplir con los requisitos se debe adecuar a los requerimientos o bien rectificar.

1.1.1. Inspección para Recubrimientos

La inspección “normalmente se refiere a la evaluación de la calidad de alguna característica en relación con una norma o una especificación”. dentro de los parámetros de su diseño. En los últimos años este rubro ha crecido de acuerdo a los sistemas y sus procesos de producción de los materiales y componentes que lo conforman, la inspección consta de lo siguiente: “interpretación de las especificaciones; medición y comparación con una especificación; juzgar la conformidad; clasificación de los casos conformes: clasificación de casos no conformes; y registrar y reportar los datos obtenidos” (Pierre, 2007, p. 84).

El autor puntualiza en la importancia de los costos, “la selección de los componentes, piezas o sistemas que debe ser inspeccionado es de suma importancia”, debido a que las formas “geométricas de sistemas y componentes” son factores relacionados a la corrosión, en este mismo sentido conocer el proceso de fabricación, los sistemas aplicados, la preparación de los elementos así como los tiempos para la inspección de los mismos debe ser contemplado, es decir, debe haber una planeación en todo el proceso para conocer los puntos vulnerables de las piezas, así como los factores externos en caso de montaje posterior, por otro lado, en caso de estructuras ya hechas se debe conocer su “registro histórico”. (Pierre, 2007, p. 91-92).

Existen indicadores que ayudan a optimizar la necesidad y la secuencia de la inspección y otras actividades de mantenimiento llamadas *Key performance indicators* (KPI). En general el autor señala que “se requiere información de gestión sobre costos previstos para los problemas, los riesgos involucrados, la vida útil restante del equipo afectado y lo que se puede hacer para mejorar y erradicar estos problemas”. Señala para los KPI los siguientes indicadores: “costos de corrosión, nivel de inhibición de la corrosión, mantenimiento completado, selección de KPI: métricas de rendimiento de activos, perspectivas tácticas”. (Pierre, 2007, pp. 99-105).

En otras palabras, la inspección inicia con la observación del material en el caso del acero, se debe tomar en cuenta la corrosión, debido a que es un factor que afecta la vida útil del material, siendo este un proceso de degradación, generado por un proceso electroquímico, por lo que se requiere de mantenimiento esto conlleva un costo, es necesario contextualizar que la aplicación de recubrimientos (protección catódica pasiva o activa), no va a detener la corrosión, ni que esta se genere, lo que hace es retrasar su efecto en el material. Los sistemas de recubrimiento son protecciones de barrera, inhibidora y catódica, buscan contener la llegada al sustrato de los factores electroquímicos (zona anódica, zona catódica, oxígeno, electrolito, ruta metálica) al metal base o el material que se busca proteger.

1.1.2. Recubrimiento Pintura

“Un recubrimiento o pintura líquida es una mezcla heterogénea de productos que una vez aplicada y seca se transforma en una película continua sin pegajosidad y con las características para las que ha sido concebida” (Calvo, 2009, p. 3). De forma cotidiana, es decir, en nuestra vida diaria la encontramos en nuestro entorno como acabados de protección. Las pinturas son variadas de acuerdo a su composición y acabado que se requiera obtener, así como las técnicas de aplicación y los tiempos de secado.

Calvo (2009) enlista que la composición de la pintura, señalando que no todas contienen las mismas sustancias: pigmentos, cargas (no es imperativo), ligante o resina, disolvente (no es imperativo) y aditivos. Las pinturas de acuerdo al autor se clasifican al “tipo de ligante o resina”, así como del lugar donde van a ser aplicadas. Por mencionar algunos tipos se encuentran como aplicación en decoración (pinturas de emulsión, imprimaciones y esmaltes, barnices y lasures, productos auxiliares), las pinturas industriales son las que se aplican de acuerdo a ciertas especificaciones de proyecto, su aplicación es “mediante sistemas especiales, en condiciones específicas” de acuerdo a lo que se requiere, pintura para suelos, pintura de protección industrial que son las que se ocupan como prevención de “agentes atmosféricos y de los contaminantes

industriales”, dentro de esta clasificación se encuentran las “ignífugas e intumescentes” (Calvo, 2009, p. 8).

De acuerdo al autor “Las pinturas son una mezcla de partículas insolubles de pigmento suspendidas en un vehículo orgánico o acuoso continuo” (Winston, 2008, p. 290). Y consisten en óxidos de hierro, ejemplo: (TiO₂, Pb₃ O Pb₄, Fe₂ O Fe₃, u otros compuestos, ZnCrO₄, PbCO₃, BaSO₄, arcillas, etcétera). Unos de los tratamientos a desarrollar para la protección de los materiales (acero), son los barnices y las lacas:

- Los barnices: “consisten generalmente de una mezcla de aceite secante, resinas disueltas y un diluyente volátil” (Winston, 2008, p. 290).
- Las lacas: “consisten en resinas disueltas en un diluyente volátil; a veces contienen pigmentos también” (Winston, 2008, p. 290).

Debido a la contaminación atmosférica, los países tienen la necesidad de recurrir al uso de las pinturas más ecológicas y sostenibles, empleando disolventes orgánicos y así mejorar la calidad de aire.

Tabla 1.

Propiedades requeridas en sistemas de recubrimiento.

Propiedad.	Recubrimientos.
Resistencia a la corrosión y oxidación.	<ul style="list-style-type: none"> • Formación inicial rápida de una película delgada de óxido uniforme, adherente y protector. • Velocidad de crecimiento lenta de la capa. • Capa altamente estable y adherente • Alta concentración de los elementos que forman la capa. • Velocidad de corrosión-oxidación aceptable.
Resistencia a la oxidación.	<ul style="list-style-type: none"> • Capa de óxido adherente y dúctil.

	<ul style="list-style-type: none"> • Ductilidad del recubrimiento moderada.
Estabilidad interfacial recubrimiento sustrato.	<ul style="list-style-type: none"> • Baja velocidad de difusión a través de la interfase. • Cambios mínimos en composición, particularmente con referencia a la formación de fases frágiles.
Adhesión del recubrimiento.	<ul style="list-style-type: none"> • Propiedades similares del sustrato y recubrimiento.
Propiedades mecánicas.	<ul style="list-style-type: none"> • Habilidad para resistir los ciclos temperatura-deformación encontrados por el componente durante el servicio. • Ductilidad del recubrimiento adecuada. • Efectos mínimos sobre las propiedades del sustrato.
Proceso de rociado.	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad para recubrir formas complejas. • Optimizado para obtener un recubrimiento uniforme en composición, estructura, espesor y distribución del espesor. • Coste aceptable.
Proceso de rociado.	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad para recubrir formas complejas. • Optimizado para obtener un recubrimiento uniforme en composición, estructura, espesor y distribución del espesor. • Coste aceptable.

Nota. “Que el material base esté desarrollado con propiedades mecánicas óptimas, mientras el recubrimiento superficial se selecciona una máxima protección en el ambiente”, Porcayo et al., (2014).

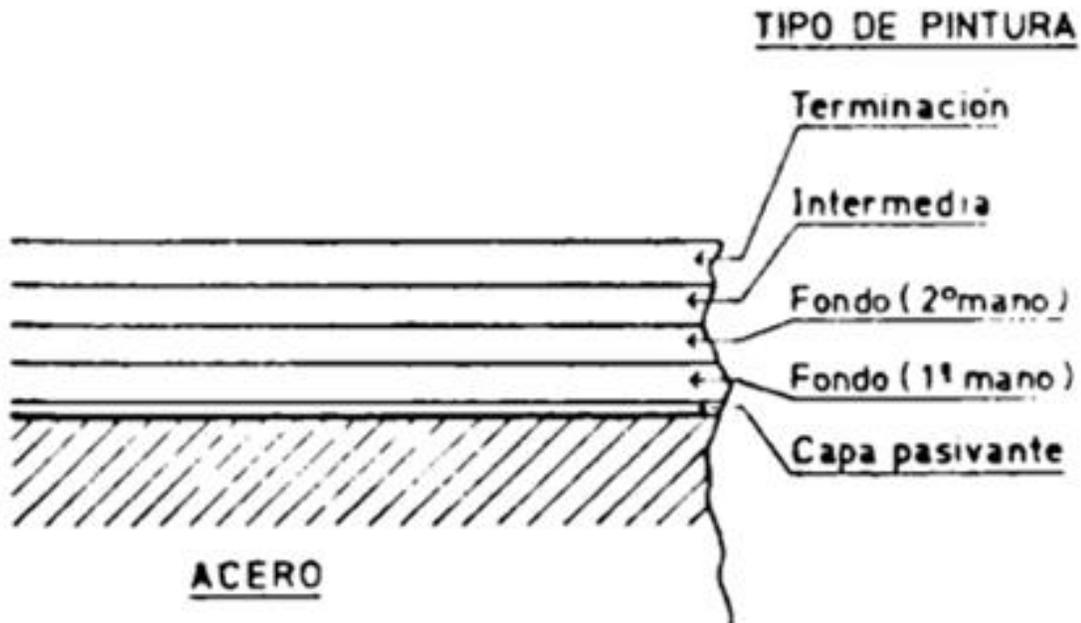
En el desarrollo de esta investigación es necesario abordar algunos conceptos centrales de los cuales se derivan otras variables de estudio que permiten delimitar y puntualizar la investigación, generando el esquema estructural de la misma.

1.1.3. Clasificación de las Pinturas de Acuerdo con el Espesor

El espesor de la pintura depende del número de capas aplicadas en el área del objeto y del tipo de pintura a aplicar, esta misma debe aumentar dependiendo de la zona del ambiente que lo rodea y del material que se desea proteger, destinada a evitar el deterioro del material. Para nuestro tema de investigación el elemento a proteger es el acero.

Figura 2.

Sistemas de pinturas.



Nota. “Conjunto de capas de diferentes pinturas, cuyo objetivo es proteger una superficie de la acción de un medio agresivo”, Rascio et al., (1989).

1.1.3.1. Pinturas Convencionales (no Tixotrópicas). Son las que se “suministran con una viscosidad adecuada para ser aplicadas [...] con los procedimientos [...] normales como él (pincel o rodillo), proporcionando un espesor [...] de 20-25 μm . Aplicadas a soplete, con previa dilución, el espesor final puede ser menor (15 μm)”. (Rascio et al., 1989, p. 20).

1.1.3.2. Pinturas Tixotrópicas. Son las que se emplean en sistemas de alto espesor. “Por las características que les imparten ciertos componentes pueden proporcionar espesores por mano del orden de 100-125 μm , sin que se produzcan chorreaduras o corrimientos [...]. Requieren un equipo especial para su aplicación (soplete sin aire comprimido o Airless)”. (Rascio et al., 1989, p. 20).

1.1.3.3. Pinturas Cromato de Zinc. La pintura de cromato de zinc es un recubrimiento de protección de superficies, que su principal función es proteger los metales, acero o fierro de la corrosión aprovechando las propiedades electroquímicas del zinc. Las marcas más reconocidas en México son: Comex, Alvamex, Sherwin Williams, berel, entre otras, ver tablas en anexo 1, anexo 2, anexo 3, anexo 4, anexo 5 anexo,6, de las marcas más comerciales.

1.1.3.4. Pintura de Esmalte Epóxico. Mientras el esmalte epoxico es un recubrimiento para brindar una alta protección y durabilidad para proteger las superficies expuestas, que necesitan una máxima protección. Las marcas más reconocidas en México son: Comex, Alvamex, Sherwin Williams, berel, entre otras, ver tablas en anexo 7, anexo 8, anexo 9, anexo 10, anexo 11, anexo 12, anexo 13, de las marcas más comerciales.

1.2. Normas para Recubrimientos

Se analizarán las normas de Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (SICT), Petróleos Mexicanos (PEMEX), *American Society for Testing and Materials* (ASTM) aplicadas para pinturas y recubrimientos, *Steel Structures Painting Council* (SSPC), aplicadas a métodos de preparación de superficie para superficies metálicas y NACE, en el tema de pinturas en estructuras de acero de México y E.U.A. para el estudio de los datos. Estas normas se encargan de regular la calidad y los procesos de elaboración, siendo estas las más importantes para la investigación (acero para nuestro caso de estudio) a desarrollar.

Las normas ASTM y SSPC con las que se rigen los metales, como las láminas de acero, perfiles, alambres, entre muchas otras, son reconocidas y aceptadas en la mayoría de las

industrias del mundo, esto se debe a las investigaciones a las que están sometidos los aceros y a las pruebas que se les realizan, dado que el acero es uno de los materiales más empleados en la industria de la construcción.

1.2.1. Norma SICT

El propósito de esta norma en el sector del transporte, es que cuente con una normativa técnica permanente, con avances tecnológicos y jurídicos en el país y en el extranjero, planteando criterios, métodos para su correcta ejecución de los trabajos a realizar para el transporte, en las áreas de: carreteras, ferrocarriles, puentes, edificaciones, aeropuertos, etc.

1.2.2. Normas PEMEX

Estas normas tienen como objetivo la contratación de los servicios para la aplicación de protección anticorrosiva, aplicándola en superficies de hierro y acero en diferentes condiciones ambientales y establecen los requisitos técnicos mínimos para la preparación de superficies, aplicación e inspección.

1.2.3. Normas ASTM

Son fundamentales para determinar las propiedades físicas y químicas de las pinturas y recubrimientos que se aplican a los materiales, para mejorar sus propiedades superficiales. También se proporcionan métodos apropiados para su aplicación de estos recubrimientos que incluyen esmaltes, barnices, pigmentos y solventes. Estas normas ayudan a los fabricantes de pinturas y a los usuarios en una correcta aplicación.

1.2.4. Normas SSPC y NACE

La norma SSPC, la principal función es proteger la superficie del concreto y del acero, a través de los procedimientos adecuados de la limpieza y preparación de la superficie, aplicaciones y recubrimientos de alto rendimiento. La norma NACE, la misión es la prevención de la corrosión.

1.3. Estructura de Acero

Las estructuras de acero son aquellas que están conformadas por un conjunto de perfiles, unidas entre sí con diversos tipos de soldaduras o uniones, elementos que son considerados el alma de una edificación o construcción, que forman parte de un sistema constructivo. Debido al uso del acero, estas estructuras poseen características de resistencia, durabilidad y versatilidad en sus elementos, y facilita su montaje acortando los tiempos en obra. Esto permite que adquieran formas diversas de acuerdo al proyecto a desarrollar. Siendo esta una razón de gran importancia para alargar la vida útil de la estructura de acero, proporcionando un adecuado mantenimiento de las obras.

Una protección óptima para los recubrimientos se logra con la selección de una pintura adecuada de acuerdo a las características del elemento de acero que se necesite mejorar. Por otro lado, es conveniente seguir las indicaciones de lo estableciendo de las especificaciones en manuales o contratista de los espesores ya que dicho espesor debe ser de acuerdo a las condiciones de agresividad del medio y entorno, como se indica a continuación en la tabla 2:

Tabla 2.

Espesores a película seca, en contacto con la atmosfera.

Medio.	Espesor en μm.
Atmósfera no contaminada.	40-50 μm .
Atmósfera medianamente contaminada.	75-100 μm .
Atmósfera altamente contaminada (industrial y marina).	100-150 μm .
Inmersión continua en agua de mar.	250-350 μm .
Contacto permanente con líquidos agresivos.	350-500 μm .

Nota. Espesor parcial y total, se utilizan en obra medidores magnéticos y en laboratorio aparatos electromagnéticos, Rascio et al., (1989).

Al aumentar el espesor total se incrementa el “efecto barrera” de acuerdo al autor, que para el caso de estudio se tomaran los rangos encontrados para un ambiente marino, considerado como el más agresivo, ver tabla 3, por lo que se intuye, el aumento en el coeficiente para este medio, “al margen de las propiedades inhibidoras que en particular puedan aportar el pretratamiento (“*wash-primer*”) o el fondo anticorrosivo” (Rascio et al., 1989, p. 23).

El autor indica que los rangos que se presentan en el listado son tomados cuando la aplicación de pintura se ha secado, dicho en otras palabras, los solventes se han evaporado. Existen en el mercado diferentes instrumentos medidores de espesor de revestimiento, ver en anexo 14, anexo 15, anexo 16, anexo 17, anexo 18, los ejemplos de mayor venta actualmente.

Tabla 3.

Clasificación de pinturas marinas de acuerdo a su empleo.

Ubicación.	Características.
Pinturas para superestructura.	Resistencia a los agentes atmosféricos se utilizan en la superestructura del barco.
Pinturas para casco.	Resistencia al exterior con satisfactorio comportamiento en con tacto eventual con el agua.
Pinturas para línea de flotación.	Resistencia a la intemperie y al agua.
Pinturas antiincrustantes.	Se emplean para la protección de la carena y deben tener efecto tóxico sobre los organismos incrustantes (“ <i>fouling</i> ”), evitando su fijación y posterior desarrollo.

Nota. Fuente elaboración propia basado en autor, Rascio et al., (1989, p. 21-22).

1.3.1. Corrosividad de Suelo y Atmosférica

El concepto de corrosión “es el deterioro de un material a consecuencia de un ataque electroquímico por su entorno” (Chávez, 2017, p.8). “Siempre que la corrosión esté originada por una reacción electroquímica (oxidación), la velocidad a la que se tiene lugar dependerá en alguna

medida de la temperatura, de la salinidad del fluido en contacto con el metal y de las propiedades”. (Garcés, 2008; como se citó Chávez, 2017). Existen diferentes tipos de corrosión debido a que los factores que los provocan no son los mismos, el autor refiere los siguientes: “corrosión por picaduras, intergranulada, por esfuerzo, galvánica, por fatiga y por fricción” (Chávez, 2017, p.9). Para efectos de esta investigación se enfatiza en la corrosividad de suelo y atmosférica.

1.3.1.1. Corrosión de Suelos. De acuerdo a, Gómez, (2008). El suelo como medio corrosivo se considera como el medio más complejo, es considerado de tipo electroquímico, que por las características de humedad posee “cierta conductividad térmica (humedad)”. Se consideran de acuerdo al autor las siguientes variables: “Naturaleza y tamaño de partícula, humedad, contenido en sales solubles, aireación, acidez y alcalinidad totales, materia orgánica, presencia de bacterias anaerobias”. (Gómez, 2008, p. 143).

Los niveles de corrosión van de “despreciable (suelos porosos secos) a muy importante (suelos húmedos con gran salinidad y actividad bacteriana). En general: intermedia entre atmosférica y en solución”. (Gómez, 2008, p. 143).

1.3.1.2. Corrosión Atmosférica. De acuerdo a los autores “es un proceso por el cual los metales y aleaciones reaccionan con especies presentes en el ambiente dando lugar a la formación de diversos tipos de productos de corrosión tales como óxidos, hidróxidos, sales, etc.” (Morcillo y Feliú, 1993; Rosales, 1997; Santana, Santana y González, 2003; como se citó en Vera et al., 2012).

Como el autor señala “la acción de la atmósfera sobre los metales o aleaciones constituye uno de los mayores problemas planteados por la corrosión”. (Vera et al., 2012, p. 63), de ahí la importancia de realizar los estudios más óptimos a ese tema de investigación.

De acuerdo a esta información, bajo las normas que se analiza, uno de los factores importantes a conocer para brindar una adecuada protección a los elementos es “conocer el tiempo de vida útil”. (Vera et al., 2012, p. 63). En otras palabras, acorta la vida útil de los elementos de acero o de otros metales, creando deficiencias en sus funciones que, en caso de no atenderlas los costos de reparación, reemplazo o bien otro tipo de soluciones a considerar son significativas, que en casos extremos puede ocasionar la pérdida total del elemento.

Capítulo 2. Metodología

1. Revisión de las normativas internacionales y nacionales relativas a la pintura para acero estructural.
2. Revisión de los manuales para pinturas de puentes de acero empleados internacionalmente y en México.
3. Identificar las características ambientales y de exposición que pueden influir en los requerimientos de protección con pintura.
4. Generar un proceso para la selección del tipo de pintura con base en la revisión documental.

En el presente trabajo de investigación se desarrolla una metodología para seleccionar el tipo de pintura a emplear para proteger puentes de acero en México, particularmente en el Estado de Chiapas. Para generar la metodología básica se parte de la recopilación de los datos de estudio de la literatura especializada en recubrimientos de protección con pinturas y el análisis comparativo de las normativas en el tema de inspección de pinturas, particularmente de la SICT, teniendo como apoyo las normas de PEMEX, ASTM, SSPC, Y NACE.

2.1. Método

El método consta de revisar información sobre la referente a pinturas de protección para puentes de acero en México y en algunos países de mundo, haciendo énfasis en las condiciones de exposición y clima a los que pudiera estar sujeta la estructura.

Se considera como punto de partida los tipos de pintura para estructuras de acero en puentes que se emplean actualmente en el Estado de Chiapas, México, por lo que se revisarán los catálogos de conceptos de obra pública que se emplean en la zona de estudio. La estructura de la metodología que se pretende definir se basará en la metodología desarrollada por la Agencia de Transporte de Nueva Zelanda, adecuando los parámetros a las condiciones locales del Estado de Chiapas.

2.2. Proceso

El proceso a seguir será:

- Recopilación de información documental sobre el tema.
- Revisión de metodologías para la selección de los tipos de recubrimientos de pinturas para puentes que se emplean en diversos países.
- Análisis de las condiciones climáticas que se pueden tener en el Estado de Chiapas.
- Análisis de las características de las pinturas que actualmente se recomiendan para su empleo en la obra pública para la construcción de puentes en el estado de Chiapas.
- Síntesis de los resultados obtenidos de los análisis, presentados en un diagrama breve y claro, con las explicaciones de los pasos requeridos para definir los tipos de pintura que se deben emplear.

2.3. Limitaciones

Este estudio se acota espacialmente al Estado de Chiapas, México, considerando las opciones comerciales de pinturas disponibles en el país, para protección de estructuras de acero para puentes. Debido a que existen continuamente nuevos materiales y procesos, esta investigación se circunscribe a procesos con los que se han estado realizando las obras en los últimos diez años, dejando fuera aquellos materiales y procesos que aún se encuentra en fase de desarrollo o prueba.

2.4. Participantes

Siendo una investigación documental, el trabajo lo realizará el tesista, bajo la dirección y asesoramiento de los docentes asignados como comité tutorial. La información obtenida de fichas técnicas, documentos especializados, normas, permite abordar la información que se requiere para la aplicación del método, siendo el estudiante quien ordena la información para el análisis de los datos recopilados.

2.5. Muestra

Se delimita a los recubrimientos de protección con pinturas en estructuras de acero para puentes, bajo condiciones atmosféricas que se pueden encontrar en el Estado de Chiapas.

2.6. Técnicas, Materiales y Herramientas

La principal fuente de datos se obtendrá de fuentes secundarias, en la investigación se consultan diferentes documentos especializados, revistas, publicaciones, tesis, libros, páginas de internet y normas que contienen información referente a la protección con pinturas de estructuras de puentes.

2.7. Materiales

Se examinaron las pinturas disponibles comercialmente para protección de estructuras de acero para puentes que se emplean en el Estado de Chiapas, de acuerdo con los Tabuladores que se emplean para la obra pública.

Capítulo 3. Resultados y Discusión

De la revisión de la literatura científica y técnica relativa a las pinturas de protección de estructuras de acero en puentes, se pudo determinar que el procedimiento general establecido consiste en:

- A. Determinar las condiciones del clima en el sitio donde se construirá el puente, tanto en lo macro como en lo micro climático.
- B. Determinar las condiciones de exposición de las partes de la estructura de acero del puente a pintar, discriminando por nivel de exposición las diferentes partes del puente.
- C. Determinar las alternativas de pinturas disponibles y espesor mínimo de la pintura seca que sean adecuadas al clima y condiciones de exposición, para un tiempo de primer mantenimiento especificado.

Las condiciones de clima que se han descrito consideran la agresividad del ambiente, por ejemplo, Rascio et al (1989) consideraron espesores de pintura seca requeridos según las características del medio ambiente que varía desde atmósfera no contaminada hasta una situación de inmersión continua en agua de mar, proponiendo espesores de pintura que van desde 40 μm hasta 500 μm .

Por otra parte, un enfoque muy completo realizó el Gobierno de Nueva Zelanda al categorizar, mediante una tabla, las condiciones macro climáticas que dependen, para su caso, de la distancia al mar o a fuentes de azufre, mientras que categorizan las condiciones de exposición considerando si el elemento de acero se encuentra expuesto externamente en un ambiente expuesto, protegido o húmedo, o bien si se trata de un elemento interior puede estar seco o húmedo. Recomiendan emplear diferentes tipos de pintura y un número de capas de pintura que dependen de su categoría de corrosividad atmosférica. Para el caso más extremo de estructuras de acero para puentes en las vecindades del mar (distancias menores a 200 m), en la que categorizan como CM5, sugieren el empleo de pinturas de 85% zinc y 15% de aluminio,

en dos capas. Un resumen de las sugerencias para pinturas según su categoría de corrosividad es el siguiente, ver tabla 4:

Tabla 4.

Recubrimientos para categorías de corrosividad atmosférica.

Categoría de corrosividad.	Tipo de pintura.	Período en años al primer mantenimiento.	Número de manos.
C1. Para elementos interiores y secos.	No se especifica.	-	-
C2. No cercana al mar ni a fuentes geotérmicas (ácido sulfídrico).	Pintura inorgánica de silicato de zinc (100 µm por capa).	25	3
	Pintura de poliuretano convencional o primario rico en zinc con una capa exterior de pintura de esmalte epóxico o pintura de acrílico elastomérico.	40	3
C3. Entre 1 y 20 km dependiendo de los vientos dominantes.	Pintura primario rico en zinc con una capa de poliuretano o pintura polsioxano.	25	3
	Pintura inorgánica de silicato de zinc (125 µm).	40	2
C4. Entre 50 m y 500 m de la orilla del mar, pudiendo incrementarse esta distancia según los vientos dominantes.	Pintura primario rico en zinc con una capa de epóxico, capa poliuretano o pintura polsioxano (125 µm).	25	3
	Pintura primario rico en zinc.	40	2
C5. De 0 a 200 m de la orilla del mar, pudiendo incrementarse esta distancia según los vientos dominantes.	Pintura de (85% zinc y 15% aluminio).	25	2
		40	2

Nota. Fuente elaboración propia basado en autor, NZ Transport Agency, (2020, p. 13-15).

De acuerdo con el Manual Soluciones para marítimo y offshore, una referencia de espesores de pinturas que se emplean para estructuras de acero en contacto con el agua se presenta resumida en la Tabla 5.

Tabla 5.

Cuadro comparativo de revestimientos anticorrosivos para estructuras de acero en contacto con el agua.

Características	LACKPOXI 76 WET	WEG FREE 2851	TAR 712 N	WEGPOXI WET SURFACE HT	WEGPOXI WET SURFACE 88 PW	WEGPOXI BLOCK GFD 362
Espesor por camada (µm).	150	270		375	225	500
Método de aplicación.	Pistola airless, rodillo y brocha.	Pistola convencional, pistola airless, rodillo y brocha.		Pistola convencional, pistola airless, rodillo y brocha.	Pistola convencional, pistola airless, rodillo y brocha.	Pistola airless, rodillo y brocha.
Principales usos.	Costados abajo y arriba de la línea de agua, cubierta, de máquinas y equipos, cuadernas, tanques de lastro y off agua potable. Tuberías externas y estructuras metálicas en general en estructuras costa afuera.	Costados abajo y arriba de la línea de agua, cubierta, máquinas y equipos, cuadernas.		Costados abajo y arriba de la línea de agua, cubierta, máquinas y equipos, cuadernas, tanques de lastro y agua potable. Tuberías externas e internas, y estructuras metálicas en general en estructuras costa afuera.	Costados abajo y arriba de la línea de agua, cubiertas, cuadernas, tanques de agua potable. Estructuras metálicas en general en preparaci3n de superficie con herramientas manuales y/o mecánicas.	En offshore, se puede utilizar en decks, plataformas de exploraci3n de petróleo y gas natural, maquinaria de a bordo, tuberías.

Nota. Basado en productos anticorrosivos y anti incrustantes. WEG. (2021).

En esta misma fuente se presentan alternativas de protección de estructuras de acero para condiciones climáticas diferentes a las permanentemente húmedas. Los resultados resumidos se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6.

Soluciones para estructuras metálicas.

Clasificación	Ambiente	Tipo de pintura	Numero de manos	Durabilidad
C1. muy baja C2. baja por encima a los 30 km de la orilla, sin agresividad y sin maresia.	Interno. Externo.	Resina Alquídica fenolada (35 μ m).	1	Baja 5 años
	Interno. Externo.	Resina Alquídica (100 μ m).	2	Media 5-15 años.
C3. medio Baja agresividad y ambientes con altos índices de condensación y sin maresia, por encima a los 30 km de la orilla.	Interno.	Primer epoxi poliamida bicomponente a base de fostato de zinc (160 μ m).	1	Media 5-15 años.
	Externo.	Primer epoxi poliamida bicomponente a base de fosfato de zinc y De acabamiento poliuretano acrílico alifático (170 μ m).	2	Media 5-15 años.
C4. alto De alto índice de contaminación atmosférica de baja a media agresividad y maresina moderada de 10 a 30 km de la orilla.	Interno.	Primer epoxi poliamida bicomponente (240 μ m).	2	Media 5-15 años.
	Externo.	Primer epoxi poliamida bicomponente y De acabamiento poliuretano acrílico alifático (250 μ m).	3	Alta de 15 años.
C5. Sin agresividad química cercana a la costa de 0 a 10 km.	Interno.	Primer epoxi poliamida bicomponente rico en zinc, con pigmentación de fosfato de zinc (365 μ m).	3	Alta de 15 años.
	Externo.	Primer epoxi poliamida bicomponente rico en zinc, acabado acrílico alifático (330 μ m).	3	Alta de 15 años.

Nota. Basado en soluciones para pintado de estructuras metálicas. WEG (2020).

En el Estado de Chiapas se cuenta con una costa, ubicada al suroeste del estado, con una longitud aproximada (medida de manera gruesa) de 227 km, por lo que la consideración de estructuras cercanas a la costa es relevante. De la misma manera, existen algunas fuentes geotérmicas o de aguas termales, con contenidos de azufre que resultan altamente corrosivas en el ambiente inmediato cercano. Las fuentes termales más comunes son:

- Baños de Carmen.
- Arroyo el Azufre.
- Balneario los otates.
- Aguas termales Cacahoatan.

Figura 3.

Mapa de fuentes de corrosividad por azufre del Estado de Chiapas.



Nota. Mapa de lugares del Estado de Chiapas de fuentes termales. Google. (s. f.).

Tipos de pinturas para protección de estructuras de acero en puentes considerados en los tabuladores de precios unitarios en Chiapas.

En el caso de la Secretaría de Obra Pública y Comunicaciones (2018), presenta un solo concepto relativo a la pintura en protección de estructuras de acero en puentes, que textualmente dice: “Recubrimiento con pintura, de superficies, p.u.o.t., metálicas: por superficie, una (1) mano anticorrosivo con cromato zinc y dos (2) manos esmalte epóxico”.

Para el caso Comisión de Caminos e Infraestructura Hidráulica. (2020), del Tabulador de Carreteras Alimentadoras, Caminos y Puentes 2020, nos indica que el “recubrimiento con pintura, de superficies, p.u.o.t., metálicas: por superficie, una (1) mano anticorrosivo con cromato zinc y dos (2) manos esmalte epóxico”. Nos indica color: amarillo para boyas.

En el caso de Comisión de Caminos e Infraestructura Hidráulica. (2022), en el “Tabulador de Precios Preferenciales a Costo Directo de Carreteras Alimentadoras, Caminos y Puentes versión pública 2022”. No se encontraron indicaciones de tipo de pintura, ni mano de obra, solo color (amarillo).

Para el caso de Secretaria de Comunicaciones y Transporte. (2021), en el “Tabulador de Precios Referenciales a Costo Directo para la Construcción, Modernización y Conservación de Obras para la Infraestructura Carretera 2021”. según la norma: recubrimiento con pintura: n-ctr-car-1-02-012/00 nos dice en la tabla 7:

Tabla 7.

Protección de estructura con pintura.

Tipo de pintura.	Primaria.	Acabado.
Vinílica.	✓	✓
Acrílica.	✓	✓

Esmalte.	✓	
Epóxica catalizada.	✓	
Composición con uretanos.	✓	
Zinc.	✓	
Alquidálica.		✓

Nota. Basado Secretaria de Comunicaciones y Transporte. (2021). en el Tabulador de Precios Referenciales a Costo Directo para la Construcción, Modernización y Conservación de Obras para la Infraestructura Carretera (2021).

Las condiciones climáticas del Estado de Chiapas incluyen situaciones similares a las de Nueva Zelanda, en tanto que tenemos ambientes marinos, zonas muy húmedas (4500 mm de lluvia anual en la zona cercana al volcán Tacaná), zonas de poca humedad (1000 mm al año de lluvia) en la zona de Tuxtla Gutiérrez y Chiapa de Corzo, por ejemplo, con un amplio mosaico de climas que incluyen zonas que van de cálido-húmedo a semicálido-semihúmedo. Se tienen también pequeñas zonas de fuentes termales en el estado, que en general no representan áreas de relevancia, sin embargo, se pueden considerar para efectos de caracterización. Debido al parecido en las condiciones se propone un sistema similar de clasificación, haciendo énfasis solamente en la protección especial de las zonas que alternadamente se encuentran húmedas y secas.

Se propone para el Estado de Chiapas considerar tres categorías de corrosividad atmosférica, de manera similar a como categoriza el Gobierno de Nueva Zelanda, quienes consideran cinco categorías. Esta consideración de emplear tres categorías solamente obedece a un afán de simplificar la toma de decisiones en la elección de pinturas para protección de estructuras de acero en puentes. Véase en la tabla 8.

Tabla 8.*Recubrimientos para categorías de corrosividad atmosférica para el Estado de Chiapas.*

Categoría de corrosividad.	de	Tipo de pintura.	Período en años al primer mantenimiento.	Espesor total de pintura (µm).	Número de de manos.
C1-C2. Para elementos interiores secos y no cercanos al mar ni a fuentes geotérmicas (ácido sulfídrico).	Para y no	Una mano de pintura de poliuretano convencional o primario rico en zinc, con una capa exterior de pintura de esmalte epóxico o pintura de acrílico elastomérico.	20	230	2
C3. Entre 1 y 20 km de la orilla del mar dependiendo de los vientos dominantes.	Entre 1 y 20 km de la orilla del mar dependiendo de los vientos dominantes.	Dos manos de pintura inorgánica de silicato de zinc (125 mm), más una mano de esmalte epóxico.	20	300	3
C4-C5. Entre 0 m y 500 m de la orilla del mar, pudiendo incrementarse esta distancia según los vientos dominantes.	Entre 0 m y 500 m de la orilla del mar, pudiendo incrementarse esta distancia según los vientos dominantes.	Dos manos de pintura primario rico en zinc y una mano de pintura de (85% zinc y 15% aluminio).	20	300	3

Nota. Fuente elaboración propia basado en autor, NZ Transport Agency, (2020, p. 13-15).

3.1. Discusión.

Actualmente en el estado de Chiapas la pintura propuesta de manera general para protección de estructuras en puentes es solamente específica en el Tabulador de Precio Unitarios de la Comisión de Caminos e Infraestructura Hidráulica, mientras que en los tabuladores de la Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transportes (SICT) no se especifican las características de los tipos de pintura que se deben considerar, dejando a los proyectistas, o bien, a los residentes de obra y supervisores, la tarea de elegir los tipos y espesores de pinturas a emplear.

Por otra parte, las normas vigentes de la SICT especifican características de las pinturas tales como su contenido de sólidos, tiempos de secado, flexibilidad y resistencia a rayos ultravioleta, dejando los espesores de pintura sin especificar. Con la propuesta efectuada, con base en experiencias en otros sitios del mundo, así como en recomendaciones de fabricantes, se espera lograr que los trabajos de protección con pinturas a las estructuras de acero en puentes alcancen tiempos de primer mantenimiento que se acerquen a los tiempos de costo óptimo.

Al ser esta una primera aproximación al problema, carece de evidencia experimental o de campo para poder ajustar las características de los recubrimientos y los espesores deseados, siendo, sin embargo, una mejor propuesta a la consideración de un solo tipo de pintura general o a dejar este aspecto al criterio de quien fabrica las estructuras.

Conclusiones

Con base en la revisión de las normativas nacionales e internacionales, así como de la identificación de las categorías de corrosividad del Estado de Chiapas, se pudieron establecer criterios generales para la selección de los tipos de pintura que son recomendables para la protección de las estructuras de acero en puentes, considerando como base los tipos de pintura que tradicionalmente se han empleado y que se encuentran plasmados en los tabuladores de precios unitarios que se emplean para la construcción de puentes en Chiapas.

La propuesta que se generó permite, de manera sencilla, definir la categoría de corrosividad ambiental y la exposición a la que pueden estar sujetas algunas partes de la estructura de acero, para que con base en estos parámetros se definan los tipos de pinturas a emplear, el número de capas que debe tener la protección, así como el espesor de la película seca. Esta propuesta espera lograr el equilibrio entre la inversión inicial y los costos de mantenimiento, buscando la optimización de los recursos.

Estas recomendaciones son de carácter general por lo que en casos especiales se deben analizar cuidadosamente, considerando que, además de la protección con pinturas existen otros métodos de protección que resultan adecuados para casos específicos.

Las normas existentes en México relativas a las características de las pinturas y modos de aplicación son parte fundamental de un proceso que permita alcanzar el tiempo de vida al primer mantenimiento.

Es necesario generar registros del comportamiento de la pintura en puentes nuevos para que sirvan de base a futuros ajustes en los tipos y número de manos de pinturas.

La adecuada inspección periódica de los puentes es imprescindible para detectar daños que pudieran acortar el tiempo de vida de los mismos, tales como zonas de corrosión localizadas

generadas por flujos de agua en juntas rotas, daños por vandalismo, daños por fuego, que frecuentemente son causados en las zonas sobre apoyos accesibles a las personas.

Referencias.

- Al, M., Lyashenko, V., Edaan, E., Sotnik, L. (2018). Corrosion of Metal Construction Structures. *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 9 (6). (p. 437-446).
https://www.researchgate.net/publication/326082955_Corrosion_of_Metal_Construction_Structures
- Alvamex. (2023). Am 150. <https://www.alvamex.com.mx/wp-content/uploads/2023/06/FTAm150.pdf>
- Alvamex. (2023). Am 500. <https://www.alvamex.com.mx/wp-content/uploads/2023/06/FTAM500.pdf>
- Alvamex. (2023). Primario anticorrosivo cromato de zinc pe607. <https://www.alvamex.com.mx/wp-content/uploads/2023/06/FTCromatodeZinc.pdf>
- Axalta. (s. f.). Primario alquidal cromato de zinc. <https://www.axalta.com/content/dam/LA/Axalta/Mexico/Public/Documents/automotriz/primarios/ficha-tecnica/617SM-Cromato-de-Zinc.pdf>
- Berel. (2024). Esmalte epóxico catalizado. https://www.berel.com.mx/sites/default/files/Fichas_Tecnicas/88-89_esmalte_epoxico_catalizado.pdf
- Berel. (2024). Noxid fondo anticorrosivo. https://www.berel.com.mx/sites/default/files/Fichas_Tecnicas/77_fondo_noxid.pdf
- Bowman, M., Hagan, B. y Hurdle, W. (2022). *Steel bridge coating evaluation and rating criteria*. <https://docs.lib.purdue.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=3357&context=jtrp>

- Calvo, J. (2009). *Pinturas y recubrimientos, introducción a su tecnología*. E. Díaz de Santos.
https://books.google.com.ec/books?id=sH3K_xGpHggC&printsec=copyright#v=onepage&q&f=false
- Chávez Marquina, E. P. (2017). *Evaluación de la capacidad corrosiva del suelo, mediante el método steinrath en postes deteriorados en la urbanización Enace – Ayacucho*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga].
https://repositorio.unsch.edu.pe/bitstream/UNSCH/5210/1/TESIS%20Q519_Cha.pdf
- Comex. (2017). Comex ind zr-70. <https://www.comex.com.mx/getattachment/f7e36dc8-2910-4b5c-8edb-8635353158c8/.aspx/>
- Comex. (2017). Pimex. <https://www.comex.com.mx/getattachment/8b22838c-9b7f-42b5-a948-a3db62978fad/.aspx/>
- Comisión de Caminos e Infraestructura Hidráulica. (2020). Tabulador de carreteras alimentadoras, caminos y puentes 2020.
<https://www.ccih.chiapas.gob.mx/descargas/tabuladores/TAB%20CAMINOS%202020%20COSTO%20DIRECTO%20VERSI%C3%93N%20PUBLICA.pdf>
- Comisión de Caminos e Infraestructura Hidráulica. (2022). Tabulador de precios preferenciales a costo directo de carreteras alimentadoras, caminos y puentes versión pública 2022.
<https://www.ccih.chiapas.gob.mx/descargas/tabuladores/TAB%20CAMINOS%202022%20COSTO%20DIRECTO%20VERSI%C3%93N%20PUBLICA.pdf>
- Correa Borroel, A. L. (2010). *Desarrollo de materiales anticorrosivos a base de polímeros conductores y capas autoensambladas*. [Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Madrid y Universidad de Guanajuato]. <https://repositorio.uam.es/handle/10486/10092>

DuPont. (s. f.). Epoximastic alto sólidos.

https://www.pinturasaxalta.com/fichas_tecnicas/EPOXIMASTIC%20de%20Altos%20Sólidos.pdf

Gómez, R. y Lana, T. (2008). *Corrosión (ingeniería química)*.

<https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/8235/1/CorrTema9.pdf>

González, J. (1984). *Teoría y práctica de la lucha contra la corrosión*. E. CSIC - CSIC Press.

https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=mShw6d_su3oC&oi=fnd&pg=PR22&dq=teorias+de+recubrimientos+de+acero&ots=IB8ht_Yb70&sig=4GIqdmQIS5Tj5C9_D1-dxeBOFNy#v=onepage&q=teorias%20de%20recubrimientos%20de%20acero&f=false

González, J. (1989). *Control de la corrosión: estudio y media por técnicas electroquímicas*. E.

Grafipren, S.A. https://books.google.com.mx/books?id=nh-6LvqnMS8C&printsec=frontcover&hl=es&source=gbg_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

Google. (s. f.). [Mapa de fuentes por azufre del estado de Chiapas]. Recuperado marzo 21, 2024,

desde https://www.google.com.mx/maps/@16.1595597,-91.7770224,431796m/data=!3m1!1e3!4m3!11m2!2spZvXnXgrsiPxJX_HgWnKWcLLISMMyw!3e2?entry=ttu

GreenTech Instruments. (2024). Medidor de espesor en pinturas 0-1250 μm . [fotografía].

<https://greentechmexico.com/shop/medidores-de-espesores/medidor-de-espesor-en-pinturas-0-1250um/>

Kallias, A. N., Imam, B., y Chryssanthopoulos, M. K. (2018). Performance profiles of metallic

bridges subject to coating degradation and atmospheric corrosion. *In Bridge Design, Assessment and Monitoring*. (pp. 24-37).

<https://doi.org/10.1080/15732479.2016.1164726>

- Lugo Islas, G. (2015). *Evaluación electroquímica de recubrimientos anticorrosivos en condiciones de alta presión*. [Tesis de maestría, Universidad Veracruzana].
<https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/41527/LugolslasGabriela.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- NZ Transport Agency. (2020). *Protective coating for steel bridges*. (1ª edit)
<https://www.nzta.govt.nz/assets/resources/protective-coatings-steel-bridges/docs/nzta-protective-coatings-for-steel-bridges.pdf>
- Pierre R. (2007). *Corrosion Inspection and Monitoring*. E. WILEY-INTERSCIENCE.
https://books.google.com.cu/books?id=42jC6uy-URgC&printsec=frontcover&source=gbs_vpt_read#v=onepage&q&f=false
- Pinturas Tonner. (2019). Primer cromato de zinc. <https://www.pinturastonner.com/wp-content/uploads/2020/08/FT-03-PRIMER-CROMATO-DE-ZINC.pdf>
- Pinturas Tonner. (2020). Esmalte epóxico. <https://www.pinturastonner.com/wp-content/uploads/2021/02/FT-02.-ESMALTE-EPOXICO-CATALIZADOR.pdf>
- Porcayo, J., Martínez, A., Chacón, J., Martínez, L. (2014). *Aspectos de interés relacionados con la seguridad y la prevención de riesgos en procesos tecnológicos*. E. Compañía Española de Reprografía y Servicios S.A. <https://www.researchgate.net/publication/282636191>
- Proconsa México. (2020). Medidor de espesor de pintura en base FE y no FE. [fotografía].
https://proconsamexico.com/productos/medidores-de-espesor/recubrimientos/medidor-espesor-recubrimiento-ut343d/?gad_source=1&gclid=CjwKCAiAi6uvBhADEiwAWiyRdo7UpFPvsF_zbWcWY7nz5bGpemu-bXrb-HFbv0PsBZswuVg7MLsQSB0CKjYQAvD_BwE

Proconsa México. (2020). Medidor de espesor ultrasonico discrimina pintura. [fotografía].
<https://proconsamexico.com/productos/medidores-de-espesor/ultrasonico/medidor-espesor-ultrasonico-discrimina-pintura-um1d/>

Rascio, V., Caprari, J., Giúdice, C., Amo, B., Di Sarli, A., Pérez, R. (1989). *Propiedades y control de calidad de pinturas y recubrimientos*. E. OEA.
<https://core.ac.uk/download/pdf/200295379.pdf>

Sautu, R. Boniolo, P. Dalle, P. y Elbert, R. (2005). *Manual de metodología. Construcción del marco teórico, formulación de los objetivos y elección de la metodología*. E. CLACSO.
https://eva.fic.udelar.edu.uy/pluginfile.php/29590/mod_resource/content/1/Manual-de-Metodologia-R-Sautu.pdf

Secretaria de Comunicaciones y Transporte. (2021). Tabulador de precios referenciales a costo Directo para la construcción, modernización y conservación de obras para la infraestructura carretera 2021.
<https://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Tabulador/TabuladorPR-SCT-2021.pdf>

Secretaria de Obra Pública y Comunicaciones. (2018). Tabulador de precios referenciales a costo directo de caminos versión pública.
https://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Tabulador/Tabulador_SCT_2018.pdf

Sherwin Williams. (2016). Anticorrosivo cromato de zinc.
<https://www.sherwinca.com/tienda/industria/kem-anticorrosivo-cromato-zinc/>

Sherwin Williams. (2019). Promax acabado epóxico. <https://www.sherwin.com.mx/wp-content/uploads/sites/13/2022/09/B63-Promax-Acabado-Ep%E0%B8%82xico.pdf>

- Sosa Domínguez, A. (2017). Estudios de corrosión de recubrimientos negros Ni-P con propiedades absorbentes para concentración solar. [Tesis de doctorado, centro de investigación y desarrollo tecnológico en electroquímica]. <https://cideteq.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1021/194/1/Estudio%20de%20corrosi%C3%B3n%20de%20recubrimientos%20negros%20Ni-P%20con%20propiedades%20absorbentes%20para%20concentraci%C3%B3n%20solar..pdf>
- Suarez, J. y Pinilla, P. (2015). Corrosión. *Publicaciones ETSIN*. (p. 1-2). <https://www.etsin.upm.es/sfs/E.T.S.I.%20Navales/Servicio%20de%20Publicaciones/REPOSITORIO%20DE%20DOCUMENTOS/CUARTO%20CURSO/32-Corrosi%C3%B3n.pdf>
- Vera, R., Puentes, M., Araya, R. Rojas, P., Carvajal, A. (2012). Mapa de corrosión atmosférica de Chile: resultados después de un año de exposición. *Revista de la construcción*. (p. 61-72). <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-915X2012000200007>
- WEG. (2020). *Soluciones para pintado de estructuras metálicas*. (rev. 21). <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h51/h31/WEG-pinturas-soluciones-para-estructuras-met-licas-50025567-catalogo-es.pdf>
- WEG. (2021). *Soluciones para marítimo y offshore*. (rev:12) <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/hef/hf7/WEG-pinturas-soluciones-para-mar-tima-y-offshore-50022427-catalogo-es.pdf>

Winston R., Uhlig, H. (2008). *Corrosion and corrosion control an introduction to corrosion science and engineering*. E. WILEY-INTERSCIENCE.

https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=HJHMhOgrEiwC&oi=fnd&pg=PR5&dq=Corrosion+and+corrosion+control+an+introduction+to+corrosion+science+and+engineering.+E.+WILEY-INTERSCIENCE&ots=vwmcCZpDx1&sig=FD9_c-gPJLNe3jJJsJadtUx5V-

[Y#v=onepage&q=Corrosion%20and%20corrosion%20control%20an%20introduction%20to%20corrosion%20science%20and%20engineering.%20E.%20WILEY-INTERSCIENCE&f=false](https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=HJHMhOgrEiwC&oi=fnd&pg=PR5&dq=Corrosion+and+corrosion+control+an+introduction+to+corrosion+science+and+engineering.+E.+WILEY-INTERSCIENCE&ots=vwmcCZpDx1&sig=FD9_c-gPJLNe3jJJsJadtUx5V-#v=onepage&q=Corrosion%20and%20corrosion%20control%20an%20introduction%20to%20corrosion%20science%20and%20engineering.%20E.%20WILEY-INTERSCIENCE&f=false)

Anexo.

BaSO₄: sulfato de bario.

Fe₂, Fe₃: óxido de hierro.

SO₂: Dióxido de azufre.

TiO₂: Dióxido de titanio.

Pb₃: óxido de plomo.

PbCO₃: carbonato de plomo.

ZnCrO₄: cromato de zinc.

µm: micra o micrómetro, unidad de medida del metro.

Anexo 1.

Pintura cromato de Zinc marca Alvamex PE607.

Características	alvamex
Contiene	No especifica
Espesor (µm)	No especifica
Rendimiento	8-9 m ² /L
Secado al tacto	20-30 min
Secado duro	24 hrs.
Viscosidad	3,000-3,500 cps
Temperatura	10°C – 45°C

Nota. Fuente elaboración propia basado en Alvamex. (2023).

Anexo 2.

Pintura cromato de Zinc marca Axalta 6175M.

Características	Axalta
Contiene	Primario alquidial cromato de zinc
Espesor de película seca (μm)	15.24 a 25.4 en 2 manos
Rendimiento	16 m ² /L
Secado al tacto	1-2 hrs
Secado duro	24 hrs.
Viscosidad	18-20
Temperatura	No especifica

Nota. Fuente elaboración propia basado en Axalta. (s. f.)

Anexo 3.

Pintura cromato de Zinc marca Sherwin Williams.

Características	Sherwin Williams
Contiene	Anticorrosivo alquídico con pigmentos de cromato de Zinc
Espesor de película seco (μm)	38.2-50.8
Rendimiento	16 m ² /L
Secado al tacto	1-2 hrs
Secado duro	18 hrs.
Viscosidad	No especifica
Temperatura	15°C – 38°C

Nota. Fuente elaboración propia basado Sherwin Williams. (2016).

Anexo 4.

Pintura cromato de Zinc marca Tonner, EA-505 y EA-513.

Características	Tonner
Contiene	Anticorrosivo alquídico modificado con cromato de Zinc
Espesor de película húmedo (μm)	No especifica
Rendimiento	7-8 m^2/L
Secado al tacto	1-2 hrs
Secado duro	2-4 hrs.
Viscosidad	85-90 KU
Temperatura	25°C

Nota. Fuente elaboración propia basado en Pinturas Tonner. (2019).

Anexo 5.

Pintura cromato de Zinc marca Comex IND ZR-70.

Características	Comex
Contiene	Primario epóxico rico en Zinc
Espesor de película seca (μm)	75-125
Rendimiento	8.66 m^2/L
Secado al tacto	No especifica
Secado duro	8 hrs.
Viscosidad	No especifica
Temperatura	10°C - 45°C

Nota. Fuente elaboración propia basado en Comex. (2017).

Anexo 6.

Pintura cromato de Zinc marca Berel serie 550.

Características	Berel
Contiene	Primario anticorrosivo a base de resinas alquidálicas y cromato de zinc
Espesor de película húmedo (μm)	76.2-101.6
Rendimiento	10-13 m^2/L
Secado al tacto	4 hrs.
Secado duro	24 hrs.
Viscosidad	100-130 seg
Temperatura	10°C - 25°C

Nota. Fuente elaboración propia basado en Berel. (2024).

Anexo 7.

Pintura esmalte epóxico marca Alvamex AM 500.

Características	Alvamex
Contiene	Esmalte alquidálico anticorrosivo a base de resina alquidial
Espesor (μm)	No especifica
Rendimiento	12-14 m^2/L
Secado al tacto	3-4 hrs.
Secado duro	7 días
Viscosidad	3,000-3,500 cps
Temperatura	10°C - 45°C

Nota. Fuente elaboración propia basado en Alvamex. (2023).

Anexo 8.

Pintura esmalte epóxico marca Alvamex AM 150 y 151.

Características	Alvamex
Contiene	Esmalte alquidálico anticorrosivo a base de resina alquidial
Espesor de película seca (µm)	No especifica
Rendimiento	6-8 m ² /L
Secado al tacto	3-4 hrs
Secado duro	7 días
Viscosidad	3,000-3,500 cps
Temperatura	10°C - 45°C

Nota. Fuente elaboración propia basado en Alvamex. (2023).

Anexo 9.

Pintura esmalte epóxico marca Sherwin Williams.

Características	Sherwin Williams
Contiene	Epóxico poliamida
Espesor de película seca (µm)	127-152
Rendimiento	24 m ² /L
Secado al tacto	30-60 min
Secado duro	24 hrs.
Viscosidad	No especifica
Temperatura	10°C - 43°C

Nota. Fuente elaboración propia basado en Sherwin Williams. (2019).

Anexo 10.

Pintura esmalte epóxico marca Tonner, EP-203 a EP-213 y EP-230 a EP-277.

Características	Tonner
contiene	Epóxico poliamida
Espesor de película húmedo (μm)	No especifica
Rendimiento	14.5-16m ² /L
Secado al tacto	4-5 hrs
Secado duro	6-12 hrs.
Viscosidad	90-95 KU
Temperatura	10°C - 25°C

Nota. Fuente elaboración propia basado en Pinturas Tonner. (2020).

Anexo 11.

Pintura esmalte epóxico marca Comex Pimex.

Características	Comex
contiene	Esmalte y libre de metales pesados
Espesor de película seca (μm)	25.4-76.2
Rendimiento	m ² /L
Secado al tacto	4-5 hrs.
Secado duro	24 hrs.
Viscosidad	No especifica
Temperatura	21°C - 35°C

Nota. Fuente elaboración propia basado en Comex. (2017).

Anexo 12.

Pintura esmalte epóxico marca Berel serie 5900.

Características	Berel
Contiene	A base de resina epóxica con adicción de resina poliamida.
Espesor de película seco (μm)	50.8-76.2
Rendimiento	5.0 m ² /L
Secado al tacto	2-4 hrs.
Secado duro	24 hrs.
Viscosidad	90-100 U Kerbs
Temperatura	10°C -45°C

Nota. Fuente elaboración propia basado en Berel. (2024).

Anexo 13.

Pintura esmalte epóxico marca DuPont 25P.

Características	DuPont
Contenido	Con poliamida modificado con amina
Espesor de película seca (μm)	5-304.8
Rendimiento	27.5 m ² /L
Secado al tacto	2-3 hrs.
Secado duro	4 hrs.
Viscosidad	65-100Ku's
Temperatura	7°C -43°C

Nota. Fuente elaboración propia basado en DuPont. (s. f.)

Anexo 14.

Medidor de Espesor Ultrasónico Discrimina Pintura, \$22,500.00.



Nota. Medidor de alta precisión. Proconsa México. (2020).

Anexo 15.

Medidor de Espesor de recubrimiento Ut343d, \$2,649.00.



Nota. Medidor para medir recubrimientos no magnéticos. Proconsa México. (2020).

Anexo 16.

Medidor de Espesor de pintura, \$6,598.00.



Nota. Instrumento para medir pintura no magnética, cerámica, esmalte, plástico, revestimiento GreenTech Instruments. (2024).