



FACULTAD DE POSTGRADO

TESIS DE POSTGRADO

**“IDENTIFICACIÓN DE PATOLOGÍAS Y
REHABILITACIÓN EN ESTRUCTURAS METÁLICAS EN
HONDURAS”**

SUSTENTADO POR:

**RICARDO ANTONIO BUESO MORALES
JOSE FERNANDO HERNANDEZ GUILLEN**

**PREVIA INVESTIDURA AL TÍTULO DE
MÁSTER EN
INGENIERÍA EN ESTRUCTURAS**

TEGUCIGALPA M.D.C, F.M., HONDURAS C.A.

JULIO, 2018

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

UNITEC

FACULTAD DE POSTGRADO

PROYECTO DE TESIS

RECTOR

MARLON ANTONIO BREVÉ REYES

SECRETARIO GENERAL

ROGER MARTÍNEZ MIRALDA

VICERECTOR ACADÉMICO

DESIREE TEJADA CALVO

DECANO DE LA FACULTAD DE POSTGRADO

CLAUDIA MARÍA CASTRO VALLE

**“IDENTIFICACIÓN DE PATOLOGÍAS Y
REHABILITACIÓN EN ESTRUCTURAS METÁLICAS EN
HONDURAS”**

**TRABAJO PRESENTADO EN CUMPLIMIENTO DE LOS
REQUISITOS EXIGIDOS PARA OPTAR AL TÍTULO DE
MÁSTER EN:
INGENIERÍA DE ESTRUCTURAS**

**ASESOR METODOLÓGICO
CARLOS AUGUSTO ZELAYA OVIEDO**

**ASESOR TEMATICO
JOSE DUARTE**

**MIEMBROS DE LA TERNA
FREDY VIDES
KARLA UCLES
MINA GARCÍA**



FACULTAD DE POSTGRADO

“IDENTIFICACIÓN DE PATOLOGÍAS Y REHABILITACIÓN EN ESTRUCTURAS METÁLICAS EN HONDURAS”

NOMBRES DE LOS MAESTRANTES

RICARDO BUESO

JOSÉ HERNÁNDEZ

Resumen

Este documento surge de la necesidad de conservar las obras metálicas de ingeniería en Honduras, estas representan el crecimiento y desarrollo. Por consiguiente, al construir con un material con grandes bondades como es el acero, una de sus desventajas es el mantenimiento para su protección, ya que no puede resistir por sí mismo las inclemencias del clima. En Honduras existe un gran desconocimiento del cuidado de las estructuras metálicas, esta es una de las razones por cuales existen pocas construcciones de acero además del continuo mantenimiento, pero debido a la necesidad de construir obras de ingeniería cada vez más atrevidas y con mayores solicitaciones arquitectónicas y de estructurales su uso se ha incrementado, surgiendo la necesidad de protegerlas de los cambios atmosféricos. He ahí donde radica la verdadera necesidad de crear un manual técnico local para que los Ingenieros Civiles y Arquitectos tomen conciencia de los daños que sufrirá la estructura que construyeron y de qué manera se puede tratar y/o rehabilitar para que esté en condiciones de servicio capaz de resistir las fuerzas para las cual fue diseñada.

Palabras clave: Manual técnico local, mantenimiento, patología, acero, estructuras.



POSTGRADUATE FACULTY

**“IDENTIFY OF PATHOLOGY AND REHABILITY IN METALIC
STRUCTURES IN HONDURAS”**

POSTGRADUATE NAME:

RICARDO BUESO

JOSE HERNÁNDEZ

Abstract

This document arises from the need to preserve the engineering metallic works in Honduras, these represent growth and development. Therefore, when building with a material with great benefits such as steel, one of its disadvantages is the maintenance for its protection, since it cannot stand on its own the inclemency of the climate. In Honduras there is a great ignorance of the care of metal structures, this is one of the reasons why there are few steel constructions in addition to continuous maintenance, but due to the need to build increasingly daring engineering works and with greater architectural demands and its use has increased structural, emerging the need to protect them from atmospheric changes. This is where the real need is to create a local technical manual so that Civil Engineers and Architects become aware of the damage that the structure they built will suffer and how it can be treated and / or rehabilitated so that it is in capable service conditions. to resist the forces for which it was designed.

Keywords: Local technical manual, maintenance, pathology, steel, structures.

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedicamos a nuestras novias las que han estado presentes, durante las noches de desvelo, dándonos ánimos para poder llegar a este glorioso momento.

AGRADECIMIENTO

A todos los catedráticos que dedicaron un pedazo de su vida al dedicarse a la docencia y de esta manera poder transmitir sus conocimientos a estos nuevos profesionales en el área de la Ingeniería Estructural. A nuestros padres y hermanos que han tenido que sacrificarse en ayudarnos, comprendernos, ya que el tiempo que les dedicamos fue escasos, pero, aun así, siempre estuvieron presentes en cada momento para hacer posible este sueño.

Y al principal autor de este documento ya que sin él nunca hubiera sido posible nada de esto, a DIOS nuestro padre, gracias por las oportunidades que nos dio.

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	1
1.1 Introducción	1
1.2 Antecedente del Problema	2
1.3 Definición del Problema	3
1.3.1. Enunciado	3
1.3.2. Planteamiento del Problema	4
1.3.3. Preguntas de Investigación	5
1.4. OBJETIVOS	6
1.4.1. Objetivo General	6
1.4.2. Objetivos Específicos	6
1.5. Justificación	7
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	8
2.1 Análisis de la Situación Actual	8
2.1.1 Análisis de Macroentorno	8
2.1.2 Análisis de Microentorno	13
2.2 Teorías	16
2.2.1 Teorías de sustento	16
2.2.2 Conceptualización	17
2.3 Metodologías Aplicadas	21
2.3.1 Resistencia Nominal de los miembros a Tensión	21
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	19
3.1 Congruencia Metodológica	19
3.1.1. Matriz Metodológica	19
Tabla 2. La matriz metodológica	19

3.1.2 Esquema de Variables	22
Tabla 3.1.3 Operacionalización de las variables	22
3.2 Enfoque y Métodos de la Investigación	25
3.3 Diseño de la Investigación.....	26
3.3.1 Población	26
3.3.2 Muestra	26
3.4 Instrumento y Técnicas Aplicadas	27
3.4.1 Instrumentos.....	27
3.4.2 Técnicas.....	27
3.5 Fuentes de información	27
3.5.1. Fuentes primarias.....	27
3.6 Limitantes del estudio	28
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS	29
4.1 Resultados de la encuesta	29
4.2 Resultados de la entrevista.....	33
4.3 Diagrama de Ishikawa	35
4.3 Análisis Estadístico	36
4.4 Propuesta	37
4.4.1 Manual Técnico de Tratamiento de Patologías en Estructuras de Acero en Honduras.	37
4.4.1 Introducción	37
4.4.2 Descripción de la Propuesta	38
4.4 Presupuesto	53
4.5 Cronograma de actividades.....	54
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	55

5.1	Conclusiones.....	55
5.2	Recomendaciones.....	56
BIBLIOGRAFÍA		60
ANEXO 1. FORMATO DE ENTREVISTA		63
ANEXO 2. FORMATO DE ENCUESTA		64
ANEXO 3. FORMATO DE LA FICHA DE INSPECCIÓN		66
ANEXO 4. APROBACIÓN DE ASESOR TEMÁTICO		67
ANEXO 5. APROBACIÓN DE ASESOR LINGÜÍSTICO		68
ANEXO 6. APROBACIÓN DE ASESOR METODOLOGICO		69
ANEXO 7. CARTA DE APROBACIÓN DE TERNA DE APROBACIÓN		70

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de acero.....	12
Tabla 2. La matriz metodológica.....	19
Tabla 3. Presupuesto.....	53
Tabla 4. Concordancia de la tesis	56

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Carga axial	22
Ecuación 2. Carga axial factorizada.....	22
Ecuación 3. fractura por tensión	22
Ecuación 4. Fractura por tensión factorizada	22

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de Ishikawa, Causa y efecto negativo	4
Figura 2. Diagrama esfuerzo deformación	10
Figura 3. Perfil laminado de acero, según norma ASTM	12
Figura 4. Esquema de Variables.....	22
Figura 5. Diseño de la investigación	26

Figura 6. Profesión	29
Figura 7. Edad	30
Figura 8. Conocimiento de alguna estructura metálica	30
Figura 9. Patología más común	31
Figura 10. Nivel de conocimiento de tratamientos de patologías	32
Figura 11. Creación de un manual técnico local de patologías	33
Figura 12. Calculo de la muestra	36
Figura 13. Ejemplo de fatiga	40
Figura. 14. Fractura en una viga I	43
Figura 15. Viga I, con líneas Chevron para previo a la fractura	44
Figura 16. Grietas ocultas por oxido.	50
Figura 17. Fisura medida con el magnetómetro (mag)	51
Figura 18. Oxidación.	51
Figura 19. Corrosión.....	52
Figura 20. Pandeo	52
Figura 21. SandBlasting	53
Figura 22. Enderezado por calor	53
Figura 23. Plan de ejecución.....	54
Figura 24. Hoja de inspección	66

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

Debido a que existe una necesidad creciente del ser humano de crear estructuras cada vez más resistentes y a las cuales debemos cuidar de las inclemencias del clima, es que nos hemos enfocado en este capítulo, al dar una pequeña reseña de lo que ha pasado con las estructuras metálicas a lo largo de la historia humana.

1.1 Introducción

Desde el comienzo de la construcción de las Estructuras Metálicas, se ha conocido su gran desventaja que es su interacción con el oxígeno que al combinarse el hierro hace que se lleve un proceso químico que se denomina oxidación. Este proceso afecta en gran medida su capacidad de soporte estructural, y compromete la integridad de soportar de manera segura las cargas impuestas para las cuales fueron creadas.

En Honduras la construcción de estructuras metálicas ha ido creciendo exponencialmente esto gracias a la globalización y a la necesidad de hacer obras de ingeniería cada vez más grandes, ligeras y resistente; el acero se convirtió en el material ideal para poder suplir estas demandas.

Por esta razón es que surge la necesidad de brindar un estricto control del mantenimiento en estructuras hechas de perfiles metálicos, y por lo cual nos hemos dado cuenta de que en nuestro medio no existe un medio local que regule un procedimiento técnico para la prevención, detección y tratamiento de patologías en estructuras de metálicas y también en aquellas estructuras que necesitan rehabilitación ya que el daño ocasionado en las estructuras es demasiado extenso.

Este documento se enfocará en recopilar los daños climáticos y/o estructurales más comunes que las estructuras metálicas sufren a lo largo de su vida útil y de qué manera se pueden tratar, además se consultó una base muy importante y confiable de profesionales en el medio como

lo es el Colegio de Ingenieros Civiles de Honduras, entre ellos se encuentran Ingenieros de diversas ramas como ser Civiles, Mecánicos, Eléctricos y también Arquitectos.

1.2. Antecedente del Problema

Con el auge de la construcción de estructuras metálicas en el mundo, esto debido a sus grandes propiedades como: ser resistencia estructural alta en comparación al concreto, ligereza y facilidad de constructiva surgieron también los problemas de protección contra las inclemencias del medio ambiente las que cuales deberán resistir a lo largo de su vida útil para poder soportar las cargas impuestas de manera segura.

En los países del primer mundo se comenzaron a realizar investigaciones para poder mantener estas estructuras metálicas en condiciones aceptables, sin comprometer la integridad física de la estructura, ni tampoco dejando a un lado la estética de esta. Fue por esto que se fue introduciendo en los códigos de construcción las implementaciones de normas de protección, así como los manuales técnico-locales.

En Honduras poco a poco fue creciendo el uso de las estructuras metálicas, la razón principal al bajo crecimiento fue el alto costo y además de su manteniendo casi permanente pero debido a los retos de ingeniería y al crecimiento de nuestras metrópolis se han construido una variedad de estructuras metálicas, ya sea que en su totalidad este constituida de acero y/o hierro o combinada con elementos de concreto.

Las estructuras como edificios, antenas y puentes, son construidas con este tipo de materiales, siendo estas obras de gran importancia para el desarrollo del país, es de vital importancia que se defina un control y mantenimiento de estas estructuras, las que a lo largo del tiempo pueden sufrir deterioro por el tipo de clima, por corrosión, por oxidación, por fractura, etc.

1.3. Definición del Problema

1.3.1. Enunciado

En Honduras el crecimiento de las construcciones con estructuras metálicas ha ido creciendo poco a poco, durante las décadas de los ochenta y noventa tuvo un crecimiento poco acelerado, pero ya en la década del dos mil debido al crecimiento de la infraestructura en Tegucigalpa y San Pedro Sula se comenzó a utilizar la construcción combinada con acero y concreto, debido a la rapidez de su construcción.

Se comenzó el desarrollo de proyectos haciendo uso de perfiles hechos de acero, exportados desde Estados Unidos, India y China; y colocados en sitios sin pensar en el maltrato al que estarán expuestos por los cambios climáticos.

Es de hacer notar que durante el proceso de construcción estos perfiles se cortan, sueldan y/o atornillan, en este punto los perfiles si reciben cierto tratamiento para evitar su oxidación. Pero en la mayor parte de casos una vez construidos se nos olvida quien será el encargado de darle mantenimiento y el cómo hacerlo.

Por su constante mantenimiento, la obra una vez construida es olvidada y con los años esta estructura tiende a deteriorarse y a fallar. Se ha observado que no existe un manual técnico local, que indique el método a seguir para poder rehabilitar o darle mantenimiento, en caso de que se encuentre afectados por cualquier tipo de lesión a la que sean vulnerables, haciendo uso de los métodos disponibles en el medio.

Es por esto que nace la necesidad de crear un manual técnico local el cual deberá ser utilizado por todos los profesionales adscritos al Colegio de Ingenieros Civiles de Honduras.

1.3.2. Planteamiento del Problema

No existe en el medio local de la construcción un procedimiento técnico que describa la prevención, detección y tratamiento de patologías en estructuras de acero.

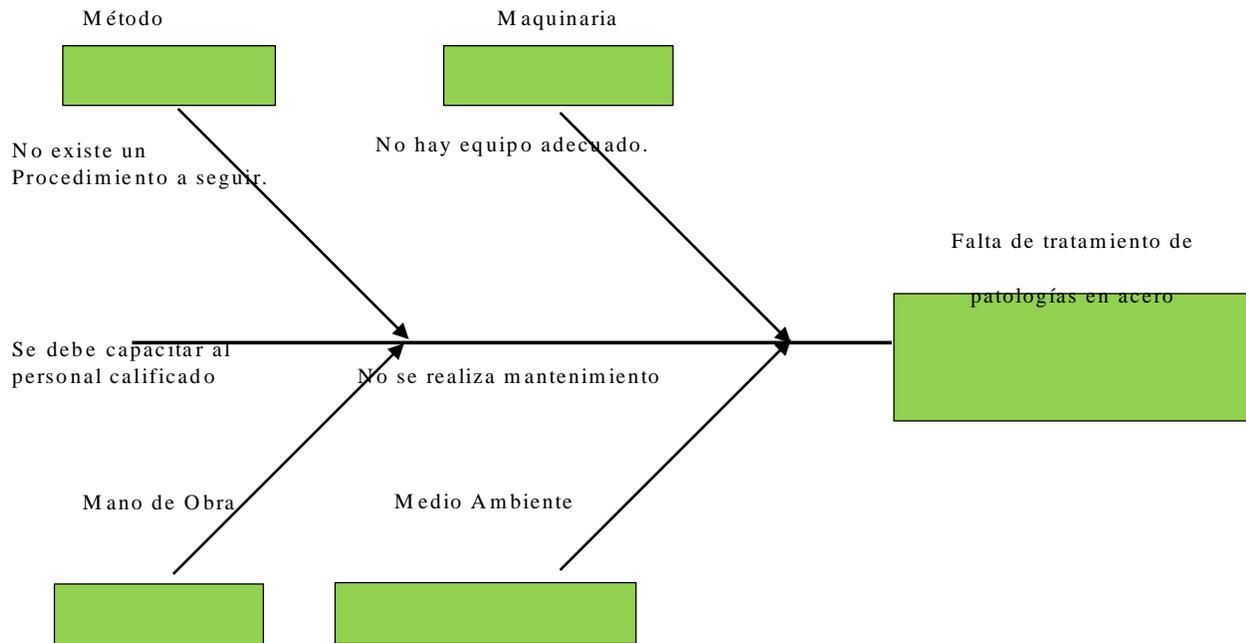


Figura 1. Diagrama de Ishikawa, Causa y efecto negativo

Método:

- No existe un procedimiento a seguir.
- Cuando se evaluó una estructura hecha de acero fue importante brindar un diagnóstico de cómo se encuentra la estructura y dar la posible solución a problema, pero en nuestro medio no existe una normativa estandarizada que nos ayude a realizar las soluciones más oportunas.

Maquinaria y herramientas:

- No hay herramientas que sirvan de prevención
- No existen las herramientas que nos instruyan al momento de prevenir estas patologías, y se desconoce cualquier tipo de control de estas.

Mano de obra:

- Se debe capacitar al personal calificado.
- Por parte de los entes encargados, como ser el colegio de Ingenieros Civiles de Honduras, no existe una capacitación continua sobre estas temáticas, hay desconocimiento sobre los tratamientos y rehabilitaciones que se les puede dar a las estructuras compuestas por elementos metálicos.

Medio ambiente:

- No se realizan mantenimientos a causas de efectos del ambiente.
- No existe un documento oficial que indique cual es el mantenimiento adecuado que se le debe realizar a las estructuras de acero, las que son muy vulnerable a efectos climáticos, principalmente las que se encuentran en zonas costeras del país, específicamente puentes o antenas de telecomunicación.

1.3.3. Preguntas de Investigación

1. ¿Existe en el medio un manual técnico-local para la identificación de patologías y rehabilitación de estructuras metálicas?
2. ¿Es viable implementar en el país un manual técnico que maneje el control y tratamiento de patologías en estructuras de acero?
3. ¿Qué tipos de patologías existen en una estructura metálica?

4. ¿Qué factores inciden en el deterioro de una estructura metálica?
5. ¿Qué tecnologías están disponibles para reparación y mantenimiento de estructuras metálicas en Honduras?

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo General

Desarrollar las técnicas de tratamiento y control de patologías en estructuras de acero conocidas a nivel internacional, por medio de la recopilación de las patologías y técnicas de rehabilitación más frecuentes en estructuras metálicas, mediante un manual técnico local para la prevención, detección, tratamiento y rehabilitación de patologías en estructuras de acero.

1.4.2. Objetivos Específicos

1. ¿Identificar si existe en el medio local un manual técnico local para la identificación de patologías y rehabilitación de estructuras metálicas?
2. Identificar los tipos de patologías que existen en las Estructuras de Acero más comunes dentro del territorio nacional, en base al estudio patológico realizado sobre el puente en el Río Guacirope ubicado en el departamento de Valle, Honduras.
3. Definir el tipo de tratamiento local que se deberá aplicar según su tipo de utilización, importancia y daño.
4. Definir qué factores inciden en el deterioro de una estructura metálica.
5. Proponer un manual técnico local de tratamiento de patologías en estructuras de acero en base a las tecnologías disponibles actualmente para la reparación y mantenimiento.

1.5. Justificación

Esta investigación nace de la necesidad de crear un manual técnico local o guía de tratamiento de patología de estructuras de acero, que permita ayudar a los ingenieros civiles y arquitectos a identificar los tipos de patología que se pueden presentar en las estructuras metálicas, aplicar soluciones adecuadas y también prevenirlas por medio de mantenimiento periódicos a lo largo de la vida útil de la estructura, para mantener su resistencia ante las cargas impuestas por el diseñador.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

En este capítulo explicaremos un poco de sustento de nuestra investigación desde el descubrimiento del bronce hasta el acero estructural se deben de cuidar estos materiales de las inclemencias de los cambios climáticos por lo que se ha hecho necesarias técnicas de tratamiento de patologías para poder mantener las condiciones iniciales de los materiales.

2.1 Análisis de la Situación Actual

2.1.1 Análisis de Macroentorno

Como parte del análisis del macroentorno podemos decir que:

Honduras es un país en el cual la construcción de Estructuras metálicas ha tenido un gran auge debido a su practicidad y grandes resistencias para soportar las cargas estáticas y dinámicas a las cuales estará sometida la estructura a lo largo de su vida útil, Los proyectos más comunes en los cuales se utilizan más las estructuras metálicas en Honduras son puentes, torres de iluminación, estacionamientos y otros tipos de estructuras que requieren mantenimientos para prolongar su vida de servicio. (González, 2006, p. 6)

Debido a las condiciones anteriores es por lo que el diseñador y constructor deben de tener sumamente cuidado con las estructuras metálicas y el Dr. Castillo nos dice en el Código Hondureño de la construcción que:

Los Edificios y otras estructuras, y todas sus partes, deberán diseñarse y construirse para sostener, dentro de las limitaciones especiales en este código, todas las cargas muertas y todas las otras cargas especificadas dentro de estas normas, en todas partes de este código. Las cargas de impacto deberán considerarse en el diseño de cualquier estructura donde ocurren cargas de impacto. (Castillo, 2008, p 1-4)

Además de las cargas estáticas es sumamente importante considerar que las estructuras deben de revisarse para que puedan soportar los sismos en donde nuestro código categoriza el tipo de aceleración que deberá ser soportado, por lo cual el Código Hondureño de la Construcción dice:

“Las Estructuras y sus partes deberán diseñarse y construirse para resistir, como mínimo, los efectos de movimientos sísmicos del terreno” (Castillo, 2008, p. 1-6).

En los códigos de construcción los Ingenieros siempre prevén que las estructuras deben de tener cierto grado de ductilidad, ya que esto permite ciertos desplazamientos, por lo tanto:

Los códigos requieren que las estructuras posean la ductilidad adecuada para permitirles disipar la mayor parte de la energía de los movimientos del suelo a través de inelásticas deformaciones. Este concepto evita que los edificios colapsen incluso si está seriamente dañado porque generalmente es antieconómico para diseñar la mayoría de los edificios para responder elásticamente a terremotos de moderados a fuertes. (Betar, SN, p.1)

Luego después de permitir la ductilidad cualquier estructura debe de ser diseñada para poder soportar los esfuerzos de cortantes producidos por las cargas super-impuestas a las estructuras por lo que en las construcciones modernas se analizan los esfuerzos cortantes:

En la construcción moderna, para todos los materiales se han desarrollado procedimientos que logran el trabajo integral de los diferentes elementos. Esto se obtiene de manera natural en estructuras de concreto fabricadas en sitio, mientras que en otras estructuras se requieren elementos de conexión con capacidad de transmitir esfuerzos cortantes horizontales. (GAMBHIR, 2008, p. 205)

Para lograr los tipos de conexiones que se necesitan en cualquier estructura principalmente en las estructuras metálicas se han descubiertos varios tipos de aceros capaces de soportar de mejor manera las cargas impuestas por el diseñador por lo que hacemos referencia a los tipos de aceros:

Los tipos de aceros utilizados en la construcción de estructuras de edificios tienen dos características principales: alta resistencia mecánica y alta ductilidad. En la figura 2 se muestra esquemáticamente el diagrama esfuerzo – deformación de un acero ASTM A572 Gr. 50, mismo que es comúnmente utilizado en el medio de la construcción de edificios. Según se puede observar en la figura 2, este acero estructural tiene un módulo de elasticidad, E de 200 GPA, una resistencia de fluencia mínima, F_y , de 345 MPa (50 Ksi) y una resistencia máxima, F_u de 450 MPa (65 Ksi). Así mismo, la ductilidad, medida como la máxima deformación unitaria, es de 33%. (Secretaría de Gestión de Riesgos, p. 17 2016)

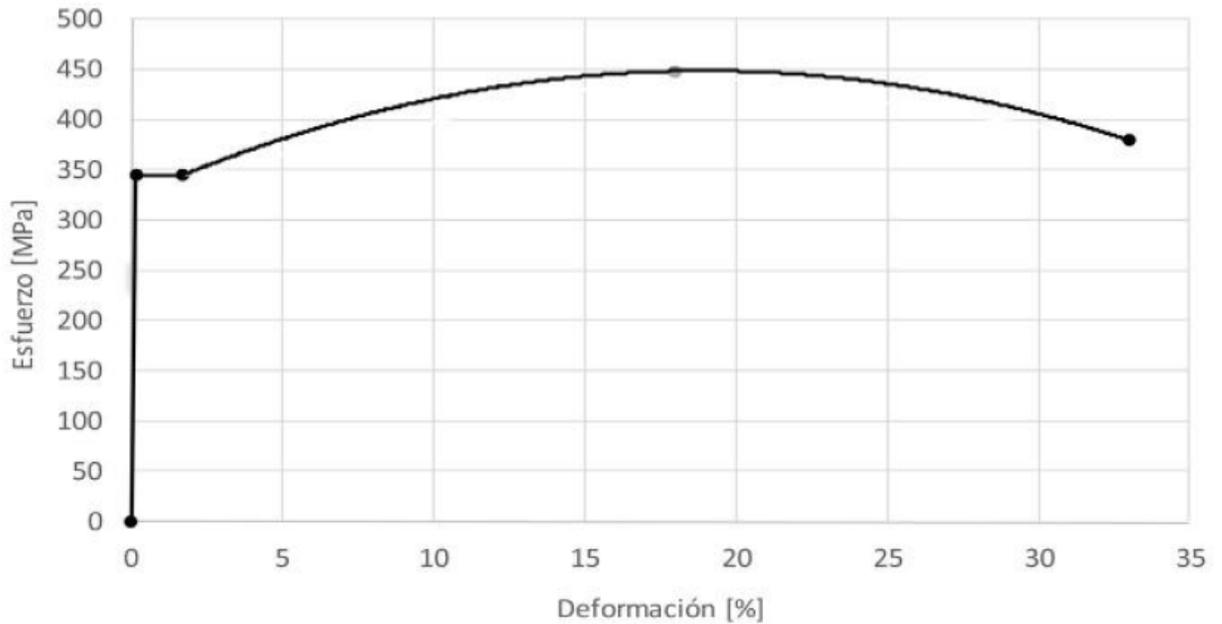


Figura 2. Diagrama esfuerzo deformación

Fuente: Secretaria de Gestión de Riesgos, 2016

Como podemos observar en la figura 2 el diagrama de esfuerzo deformación que a mayores esfuerzos la deformación que presentan estos aceros son mínimas en relación a aceros más dúctiles, y esto depende de las cantidades de carbono, por lo que su composición es sumamente importante en que:

Se puede afirmar que el acero constituye una combinación de hierro altamente refinado y carbono, ocupando éste entre 0.05% y el 2% del contenido conjunto. La incorporación de carbono, mediante el proceso de templado, es de suma importancia, ya que crea nudos internos en la estructura laminar del hierro impidiendo así su deslizamiento: de esta forma se consigue aumentar la resistencia mecánica del material. Algunas veces se agregan otros elementos de aleación específicos, como por ejemplo el níquel o el cromo: toda adición de este tipo se hace siempre con propósitos determinados. (INGNOVA, 2006, p. 5)

Una de las técnicas más utilizadas en estos tiempos para la unión de conexiones, alargamientos de elementos metálicos, ha sido la soldadura que ha revolucionado la construcción de estas, y en un grado mayor de resistencia por lo que es más probable que se quiere una placa de

unión a la soldadura misma; por lo delicado de composición es sumamente importante que se proteja de los efectos climatológicos:

“Las propiedades físicas y químicas de los metales, sumado a lo sencillo que resulta su manipulación y unión mediante soldadura, han extendido su uso en el campo de la construcción” (Broto C, 2005 p.16).

Debido a la gran cantidad de aceros necesitamos saber su composición ya sea por medio de los planos o a un análisis físico y químico para determinarlo, principalmente en aquellas estructuras antiguas que no se tiene ninguna información por lo que:

Cuando sea preciso acometer la rehabilitación de una estructura metálica, es necesario saber si el acero utilizado es soldable o no. En la práctica, esta característica se determina mediante la realización de ensayos que permitan establecer la equivalencia resistente y la composición química de los aceros utilizados en su construcción frente a los aceros estructuras. (INGNOVA, 2006, p. 15)

Actualmente los aceros A36 han decaído en su uso como principal elemento de resistencia y han sido reemplazado por aceros de mayor resistencia tal como:

Hasta hace aproximadamente una década, el acero ASTM A36 fue el mayormente utilizado para naves industriales, edificios residenciales y de oficinas. Sin embargo, este ha sido reemplazado por el ASTM A572 Gr. 50 debido a sus mejores propiedades mecánicas. De esta manera, el ASTM A36 ha quedado relegado, siendo principalmente utilizado para ángulos laminados en caliente y placas de conexión. (Secretaria de Gestión de Riesgos, p 18, 2016)

Tabla 1. Tipos de acero

Tipo de Acero	F_y (MPa)	F_u (MPa)
ASTM A36	250	400-550
ASTM A572 Gr. 50	345	450
ASTM A588	345	450

Fuente: Secretaria de Gestión de Riesgos, 2016

Si bien el ASTM A588 ha sido utilizado en todo tipo de estructuras a nivel mundial y es un material que tiene las propiedades adecuadas para su uso en puentes, está siendo reemplazado por materiales de mejores características, Los High Performance Steels (HPS) o aceros de alto performance, son actualmente utilizados en otros lugares para la construcción de puentes, Estos aceros, entre los que se hallan el ASTM A709 Gr. HPS 50W y el ASTM A709 Gr. HPS 70W, tienen mejores propiedades en cuanto a ductilidad, soldabilidad, resistencia a la corrosión y a la tenacidad que el ASTM A588. En este contexto, el ASTM A709 Gr. HPS 50 W y el ASTM A588 tienen las mismas propiedades mecánicas (F_y y F_u), pero el resto de las propiedades mencionadas más arriba son significativas mejores que el primero. (Secretaria de Gestión de Riesgos, p.19, 2016)

Como podemos observar en la tabla1, los tipos de aceros son sumamente importante ya que de ellos dependerán su capacidad estructural y su capacidad de tolerar por si solos los efectos climatológicos.



Figura 3. Perfil laminado de acero, según norma ASTM

Fuente: Secretaria de Gestión de Riesgos, 2016

Al conocer los tipos de aceros y perfiles se podrá estudiar que:

“Generalmente en estructuras metálicas los principales problemas patológicos se pueden resumir en corrosión y deformabilidad. Que pueden ser muchas veces detectados en una primera inspección a simple vista” (Padilla L, 2009, p.10).

Es por eso que el mantenimiento que es importante para la conservación de las estructuras y es más importante el mantenimiento rutinario más que el correctivo:

El mantenimiento rutinario de las estructuras metálicas en cada parte del mundo se rige por normativas y códigos de construcción, basados en numerosas pruebas de laboratorio, que han permitido identificar las diferentes clases de lesiones y tratamientos a seguir.

Cada proyecto diseñado y ejecutado en base a perfiles metálicos, ya sea por instituciones públicas o privadas debe establecer un plan de mantenimiento rutinario para garantizar el correcto funcionamiento de la estructura, procurando evitar daños por falta de mantenimiento y/o desgaste de la estructura por las condiciones a las cuales se encuentra sometida.

2.1.2 Análisis de Microentorno

Dentro del análisis del microentorno se realizó un Manual de Patologías que tiene como objetivo tratar las patologías más comunes, ya que en nuestro medio se han incrementado el número de estructuras metálicas las cuales requieren ciertos tratamientos

El número de obras hechas de metal en Tegucigalpa es cada vez más común, siendo necesario la elaboración de un manual que indique la forma de proceder, para brindar tratamiento a patologías en estructuras metálicas lo que de gran ayuda al no existir el mismo.

Con ayuda del Colegio de Ingenieros Civiles de Honduras se procurará llegar a todas aquellas empresas o contratistas que se dediquen a rehabilitación de obras de Ingeniería principalmente en el área de las estructuras metálicas.

“El daño causado por sobrecarga, vehículos o terremotos es un problema perenne asociado a puentes de acero. Por medio siglo, técnicas de enderezado por calor han sido aplicadas a dobleces, con objetivo de restaurar la forma original de elementos” (Avent R, 1998, p.7).

Este tipo de patología causada por la sobrecarga se conoce como pandeo la cual fue explicada dentro del manual técnico local producto de esta investigación.

“Dependiendo del tamaño y la importancia del puente, el monitoreo por inspección visual debe ser evaluado en comparación al costo de reemplazar los elementos de la cubierta” (Connor R, 2012, p.158).

Para las evaluaciones estructurales de las patologías se deberá tomar en cuenta la importancia de la misma y dependiendo de esto la periodicidad con las que se levantarán las fichas técnicas de mantenimiento implica que:

En el proceso de rehabilitación de estructuras metálicas, en casos críticos, se podrían reforzar los elementos dañados, mejorando por ejemplo el esquema de análisis cuando se disminuye la luz, reforzar las uniones para hacerlas más resistentes, adicionar elementos que disminuyan la posibilidad de pandeo o pérdida de estabilidad, o que pongan a trabajar elementos en conjunto. (González, 2006, p.45)

Patologías estructurales detectadas más comunes son las siguientes:

Patologías de secciones en vigas, perdidas de recubrimientos (grave) en una columna de planta baja, que pudiera indicar un fallo estructural, caída de la parte inferior de las losas, muros deprendidos, pérdida de sección generalizada en los perfiles del sistema viga y losa.

Como parte del tratamiento de las patologías el objetivo de este manual es:

Garantizar la seguridad es además lo primero en orden cronológico, cuando se requiere una acción de carácter temporal. Puede requerirse una acción urgente en el caso de estructuras que se han vuelto poco seguras, debido a los daños accidentales, cargas excesivas o simplemente deterioro prolongado y no verificado. Quizás también sean necesarios los trabajos temporales antes de iniciar cualquier otra actividad de construcción permanente. En todos los casos, el objetivo es conseguir una adecuada seguridad a corto plazo tanto para las personas como para la obra. (ITEA, 2008, p. 5)

Los tipos de conexiones o uniones es a lo que se le debe de prestar mucha atención en las estructuras metálicas por lo que:

En todos los casos se deben estudiar minuciosamente uniones atornilladas, la unión entre lo nuevo y lo existente. Si se va a utilizar atornilladora, será necesario tener en cuenta la pérdida inicial de resistencia de la barra existencial mientras se realizan los orificios de los tornillos, ya que esta condición temporal puede resultar crítica. Si se usa la alternativa de la soldadura, entonces las especificaciones de la técnica de soldadura deben ser compatible con el material existente. (ITEA, 2008, p. 16)

Este manual técnico local surge de varias necesidades una es:

La reforma de edificios cada vez se hace más frecuente, para permitir que los edificios antiguos puedan contar con modernas instalaciones, para conservar los edificios de mérito arquitectónicos y debido a que puede ser menos cara que una nueva construcción. El grado de reforma puede variar enormemente desde la simple reparación a la modificación de la estructura existente, incluida la ampliación tanto hacia arriba como lateralmente. Debe prestarse atención a las necesidades especiales de programación, diseño y construcción de los proyectos de reforma. Se describen los principios de estas necesidades y se ilustran con diversos estudios de casos reales. Se destaca el papel concreto de la construcción metálica en estas actividades. (Sistemas Estructurales: Rehabilitación y reparación, 2008, p. 21)

El análisis interno se desarrollará bajo una serie de patologías comunes y de esta manera tratar de identificarlas en nuestro medio para así poder brindarle al Colegio de Ingenieros Civiles de Honduras una guía práctica de soluciones a dichos problemas.

2.2 Teorías

2.2.1 Teorías de sustento

Diagrama de Ishikawa

Según UNIT Instituto Uruguayo de Normas Técnicas, (2009):

El diagrama de causas-efecto de Ishikawa, así llamado en reconocimiento a Kaouru Ishikawa ingeniero japonés que lo introdujo y popularizó con éxito en el análisis de problemas en 1943 en la Universidad de Tokio durante una de sus sesiones de capacitación a ingenieros de una empresa metalúrgica explicándoles que varios factores pueden agruparse para interrelacionarlos. Este diagrama es también conocido bajo las denominaciones de cadena de causas-consecuencias, diagrama de espina de pescado o “fish-bone”. El diagrama de Ishikawa es un método gráfico que se usa para efectuar un diagnóstico de las posibles causas que provocan ciertos efectos, los cuales pueden ser controlables. Se usa el diagrama de causas-efecto para: analizar las relaciones causas-efecto comunicar las relaciones causas-efecto y facilitar la resolución de problemas desde el síntoma, pasando por la causa hasta la solución. (P.22)

Martínez I., (2015) menciona:

El diagrama de Ishikawa, también llamado diagrama de espina de pescado es una de las diversas herramientas surgidas a lo largo del siglo XX para facilitar el análisis de problemas y sus soluciones en esferas como lo son; calidad de los procesos, los productos y servicios.

El diagrama de Ishikawa fue una herramienta muy importante en nuestra investigación ya que nos permitió enfocarnos en la creación de nuestro manual técnico local sin desviar nuestros esfuerzos hacia otras áreas, ya que teníamos el panorama más claro.

El método de factores de carga y resistencia

El método de factores de carga y resistencia son los que rigen en su mayoría los códigos internacionales ya que se brindan factores de seguridad a todas las estructuras diseñadas para que sean capaces de soportar de manera seguras las carga sobre impuestas.

“Dimensiona las estructuras de modo tal que no se sobrepase ningún estado límite aplicable cuando la estructura que sujeta a las combinaciones de cargas mayoradas, Los estados límites pueden ser de resistencia o de servicio” (Acero, 2001, p. 17).

2.2.2 Conceptualización

Solicitaciones de Carga: Toda Estructura y cada uno de sus miembros deben diseñarse para cualquier estado límite de falla posible ante las combinaciones de acciones más desfavorables que se puedan presentar durante la vida útil de la estructura, no rebasando ningún estado límite de servicio ante las combinaciones de acciones que corresponden a condiciones normales de operación (Bautista, 2003, p. 15).

Patología: “La palabra conforme al diccionario de la Real Academia procede de las palabras griegas “pathos”, que quiere decir enfermedad o afección y “logos” que significa estudio o tratamiento y en castellano... el estudio de enfermedades” (Monjo J. y Maldonado L. 2001, p. 16).

Patología Estructural: Sartortí, A. y Mascia, N., (2011) señalan que “El estudio de la patología estructural involucra el análisis detallado del problema, describiendo sus causas, formas manifiestas, mecanismos de ocurrencia, mantención estructural y profilaxis” (p. 8).

Daño por fractura: “puede ser definido como la ruptura en tensión o rápida expansión de una rajadura, llevando a la deformación bruta del elemento metálico, pérdida de la función o servicio, o la completa separación del elemento” (Dexter R. J, 2013, p.19).

Acero: Según Broto C., (2010) “Constituido por una mezcla de hierro y carbono, que le confiere diversas propiedades según su contenido, que puede oscilar entre 0,005 y 1.7 %” (Broto C., (2010).

Enderezamiento con calor: “es un procedimiento de reparación de acero en que se aplica calor controlado con patrones, en las regiones deformadas plásticamente del acero dañado con calefacción repetitiva y ciclos de enfriamiento para enderezar gradualmente el material” (Avent R., 2008).

La fatiga “es la formación de una grieta debido a cargas de servicio cíclicas” Dexter R., (2013).

Protección catódica “es un tipo de protección consistente en el uso de corriente eléctrica para prevenir o reducir la velocidad de corrosión de un metal en un electrolito, haciendo que el acero actúe como cátodo y no se corroe” (Padilla L., 2009).

Oxidación: Es un proceso químico por el cual la superficie de un metal reacciona con el oxígeno del aire que tiene a su alrededor y se transforma en óxido. Esto se debe a que los metales, normalmente, son inestables químicamente y tienden a convertirse en óxido, que es más estable. En el fondo, el proceso que sufre el metal no es más que una recuperación de su estado natural. En efecto, los metales no se hallan en la naturaleza en estado puro (excepto los denominados ‘metales puros’, como el oro o el platino), sino que se encuentran en los minerales combinados en distintas formas químicas, entre ellas los óxidos. Para transformar el mineral en metal es necesario aplicar una energía y, por ello, este última muestra una propensión espontánea a tomar moléculas de oxígeno, es decir, a convertirse de nuevo en óxido.

En la mayoría de los metales, la oxidación forma una película superficial de óxido que tiene una función protectora, ya que impide que el metal se siga oxidando por debajo de su superficie. La oxidación crece más lentamente cuando la atmósfera es seca y su grado de protección de la capa que se forma depende de su adherencia al metal. En este sentido, la escasa adherencia de la

película que se forma sobre el hierro y la mayoría de sus aleaciones se debe a que el óxido férrico es muy poroso y tiene escasa adherencia al metal. Estas dos características favorecen la acumulación de agua y suciedad que, a su vez, facilitan el avance de la oxidación e incluso el paso a la corrosión. De hecho, el hierro es el único metal en el que la película superficial que se forma por oxidación no actúa de protección para el resto del metal.

En cambio, los elementos constructivos de zinc, cobre o aluminio, metales muy empleados en las fachadas de los edificios, al oxidarse forman una película superficial de alta resistencia. El único aspecto negativo de esta lesión es que el elemento afectado adquiere un aspecto y un tacto desagradables. Por ello, cuando se trata de barandillas o carpinterías metálicas de ventanas es casi obligado aplicar algún tratamiento superficial que impida que el elemento se oxide. Por lo que respecta a los elementos constructivos constituidos por metales férricos (hierro y aceros), puesto que la capa de óxido que se forma no es resistente, se intenta evitar su aparición aplicando distintos tipos de protectores. En definitiva, hay que concluir que la oxidación es una lesión elemental, de fácil prevención o reparación, y que su parte negativa se halla en el aspecto desagradable que pueden adoptar los elementos constructivos metálicos afectados. (Broto, 2005, p. 177-178)

Corrosión: Es un ataque que implica una reacción química acompañada del paso de corriente eléctrica. Por esta razón, la corrosión suele denominarse también oxidación electrolítica. A diferencia de la oxidación propiamente dicha, la corrosión no afecta sólo a la capa superficial del metal, sino que el ataque continúa hasta la destrucción total del mismo. Este fenómeno se desarrolla entre dos zonas determinadas de la superficie del metal, zonas que reciben el nombre de ánodo y cátodo, y por medio de un fluido conductor (electrolito) capaz de conducir una corriente eléctrica.

Tanto en los ánodos como en los cátodos se producen una serie de reacciones, pero la corrosión se produce como resultado de la interacción de los procesos que tienen lugar en ambos, en ánodos y cátodos. En concreto, en el ánodo, que es la zona donde se hallan los potenciales más bajos, los átomos se disuelven para formar iones y dejan libres a los electrones, los cuales se desplazan a través del metal hasta el cátodo, zona donde están los potenciales más altos y donde los electrones son utilizados para la reducción de otros iones o de oxígeno. En definitiva, en el metal se forma una pila electroquímica y la migración de electrones del ánodo al cátodo se materializa en la corrosión del metal (que se produce en la zona del ánodo).

De todos modos, para que se cree la pila electroquímica (también llamada circuito galvánico) es necesario que haya una diferencia de potencial entre el ánodo y el cátodo y que exista un fluido conductor, que normalmente es el agua, cuya acción se ve potenciada por la presencia de sales contaminantes que facilitan el desplazamiento de los electrones. Una peculiaridad importante de la corrosión es que el metal, o elemento metálico, corroído ocupa más espacio que antes de verse afectado por esta patología.

Por ejemplo, el óxido de hierro suele ocupar más volumen que el que ocuparía el hierro que contiene. Es algo que debe tenerse muy en cuenta en la construcción, especialmente cuando un metal se halla en el interior de otro material, ya que al corroerse y aumentar de volumen puede provocar fisuras, grietas e incluso roturas. Un ejemplo bastante frecuente de este fenómeno son el deterioro de las paredes de hormigón debido a la corrosión de los elementos de hierro que tienen en su interior. Por tanto, queda claro que los procesos patológicos de la oxidación y la corrosión son muy distintos, aunque ambos son procesos químicos y se producen en los mismos materiales, es decir, en los metales. (Broto, 2005, p. 179-180)

Tipos de Corrosión:

Broto Carles (2005) Afirma:

- a. Clasificación según la forma de ataque: Corrosión uniforme, corrosión en placas o selectiva, corrosión por picadura, corrosión en resquicio, corrosión intergranular, corrosión bajo tensión, corrosión fisurante, corrosión fatiga.
- b. Clasificación según el mecanismo: Heterogeneidad del metal, heterogeneidad del medio, heterogeneidad de las condiciones físicas.
- c. Clasificación según el medio: Corrosión directa, corrosión atmosférica, corrosión en contacto con agua dulce, corrosión marina, corrosión en terrenos.
(p. 33-47)

2.3 Metodologías Aplicadas

2.3.1 Resistencia Nominal de los miembros a Tensión

Según McCormac J., (2013).

Un miembro dúctil de acero, sin agujeros y sometido a una carga de tensión puede resistir, sin fracturarse, una carga mayor que la correspondiente al producto del área de su sección transversal por el esfuerzo de fluencia del acero, gracias al endurecimiento por deformación. Sin embargo, un miembro a tensión cargado hasta el endurecimiento se alarga considerablemente antes de la fractura; un hecho que muy probablemente le restará utilidad, pudiendo además causar la falla del sistema estructural del que forma parte el miembro.

Por otra parte, si tenemos un miembro a tensión con agujeros para tornillos, éste puede fallar por fractura en la sección neta que pasa por los agujeros. Esta carga de falla puede ser más pequeña que la carga requerida para plastificar la sección bruta sin considerar los agujeros. Se debe tener en cuenta que la parte del miembro que tiene un área transversal reducida por los agujeros es muy corta comparada con su longitud total. Aunque la condición de endurecimiento por deformación se alcanza rápidamente en la porción de área neta del miembro, la plastificación en esta zona no es realmente un estado

límite de importancia, ya que el cambio total en la longitud del miembro, debido a esa plastificación en esta parte tan corta, puede ser despreciable.

Se estipula que la resistencia nominal de un miembro a tensión, P , será la más pequeña de los valores obtenidos sustituyendo en las dos expresiones siguientes:

Para el estado límite de fluencia en la sección bruta (con la idea de prevenir un alargamiento excesivo del miembro),

$$P_n = F_y A_g \quad (1)$$

Ecuación 1. Carga axial

$$\phi P_n = \phi F_y A_g, \quad \phi = 0.9 \quad (2)$$

Ecuación 2. Carga axial factorizada

Para fractura por tensión en la sección neta en la que se encuentren agujeros de tornillos o remaches,

$$P_n = F_u A_e \quad (3)$$

Ecuación 3. fractura por tensión

$$\phi P_n = \phi F_u A_e, \quad \phi = 0.75 \quad (4)$$

Ecuación 4. Fractura por tensión factorizada

Fuente: McCormac J., (2013).

En las expresiones anteriores, F_y y F_u son los esfuerzos mínimos de fluencia y de tensión especificados, respectivamente, A_g es el área bruta del miembro, y A_n es el área neta efectiva que se supone resiste la tensión en la sección a través de los agujeros. Esta área puede ser más pequeña que el área neta real, A_n , debido a las concentraciones de esfuerzo. (P. 65-66)

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

En este capítulo explicamos mediante una matriz metodológica la parte toral de nuestra investigación y esto nos sirvió de guía para enfocarnos en nuestro primer borrador de un manual técnico local en Honduras.

3.1 Congruencia Metodológica

3.1.1. Matriz Metodológica

Tabla 2. La matriz metodológica

Título	Problema	Preguntas de Investigación	Objetivo		Conclusiones	Recomendaciones	Aplicabilidad
			General	Específico			
Identificación de patologías y rehabilitación en estructuras metálicas en Honduras	No existe en el medio local de la construcción un procedimiento técnico que describa la prevención, detección y tratamiento de patologías	1) ¿Existe en el medio local un manual técnico-local para la identificación de patologías y rehabilitación de estructuras metálicas?	Desarrollar las técnicas de tratamiento y control de patologías en estructuras de acero conocidas a nivel internacional, por medio	¿Identificar si existe en el medio local un manual técnico local para la identificación de patologías y rehabilitación de estructuras metálicas?	Esta investigación da a conocer los tipos de patologías más comunes en el país como ser oxidación, corrosión y fractura, y el tratamiento adecuado	Se recomienda ampliar las patologías mediante un equipo de investigación además de investigar más de los nuevos procesos de rehabilitación de estructuras metálicas	Manual Técnico local

Continuación tabla 2. La Matriz metodología

	<p>en estructuras de acero.</p>		<p>de la recopilación de las patologías y técnicas de rehabilitación más frecuentes en estructuras metálicas, mediante un manual técnico local para la prevención, detección, tratamiento y rehabilitación de patologías en estructuras de acero, el cual servirá para orientar a todos los profesionales del área de la ingeniería y</p>		<p>para cada tipo, así como también un control de mantenimiento de las estructuras metálicas.</p>		
		<p>2) ¿Es viable implementar en el país un manual técnico que maneje el control y tratamiento de patologías en estructuras de acero?</p>	<p>de la recopilación de las patologías y técnicas de rehabilitación más frecuentes en estructuras metálicas, mediante un manual técnico local para la prevención, detección, tratamiento y rehabilitación de patologías en estructuras de acero, el cual servirá para orientar a todos los profesionales del área de la ingeniería y</p>	<p>Identificar los tipos de patologías que existen en las Estructuras de Acero más comunes dentro del territorio nacional, en base al estudio patológico realizado sobre el puente en el Río Guacirope ubicado en el departamento de Valle, Honduras.</p>	<p>Se tendrá un manual local, que se puede determinar la mejor forma de dar tratamiento a una lesión estructural en una estructura metálica, haciendo uso de medios disponibles en Honduras.</p>		

Continuación tabla 2. La Matriz metodología

			arquitectura en mantener sus obras en condiciones aceptables de servicio.			
		4) ¿Qué tecnologías están disponibles para reparación y mantenimiento de estructuras metálicas en Honduras?		Proponer un manual técnico local de tratamiento de patologías en estructuras de acero en base a las tecnologías disponibles actualmente para la reparación y mantenimiento.	Se propuso un primer borrador de un manual, el cual deberá ampliarse conforme se vayan descubriendo nuevas patologías.	Se deben hacer pruebas de laboratorio más exhaustivas para poder tener una mejor comprensión de las mismas.

3.1.2 Esquema de Variables



Figura 4. Esquema de Variables

Tabla 3.1.3 Operacionalización de las variables

Variable Independiente	Definición		Dimensión	Indicador	Ítem	Unidades	Escala
	Conceptual	Operacional					
Tipo de edificación	Tipo de estructura compuesta por perfiles metálicos.	Categorización de la estructura del diseñador	Identificación	Estructural	Importancia de diseño	Iw	1 1.5 2

Continuación tabla 3.1.2

	(Puente, edificio, etc.)						
Ubicación	Lugar de localización de la estructura en el país.	Importancia según el CHOC-08		Mapa de Honduras	Exposición	adimensional	1 1.5 2
Condiciones	Exposición a las condiciones atmosféricas donde se encuentra la edificación	Tipo de exposición		Según clima de la zona	Exposición	adimensional	1 2 3
Resistencia	Capacidad de la estructura de soportar las cargas y solicitaciones a las que se encuentra sometida.	Características De diseño		Según planos de diseño	Memoria de Cálculo Planos	Kg/cm2	Alta Media Baja
Tipo de falla	Patología encontrada en						

Continuación tabla 3.1.2

	la estructura (Corrosión, oxidación, fractura, pandeo)	Identificación de campo	Según manual	Gravedad de la falla.	Según álbum fotográfico	Tipo de severidad	Grave Media Baja
Manual Técnico Local	Investigaciones en lecturas de libros, códigos, etc.	Según las investigaciones de campo	Según el alcance de nuestra investigación	La cantidad de patologías conocidas por los momentos	Tipo de patología	Según su clasificación	Oxidación Corrosión Pandeo

3.2 Enfoque y Métodos de la Investigación

El principal enfoque metodológico empleado en la realización de esta investigación está basado en un enfoque cualitativo, analizando la experiencia que han tenido en el tratamiento de patologías de estructuras de acero, a los profesionales que le aplicaremos la muestra y midiendo su grado de conocimiento en el tema.

- a. **El método analítico:** Ya que se cuenta con experiencia y se conocen las variables que pueden incidir en el problema. Para analizar si realmente existe o no un daño en la estructura e identificar el tipo de patología que existe y definir su reparación
- b. **Método de la observación científica:** Ya que se basa en que se conoce el problema y el objeto de investigación, estudiando su orden natural, siendo nuestro caso la identificación de las patologías en las estructuras de acero a rehabilitar luego se investigó cuáles serían sus posibles soluciones.
- c. **Método de la medición:** debido a que se basa en la experiencia y las variables son verificables en estadísticas. en algunos casos hubo que medir los daños ocasionados a la estructura y de esta manera obtener los materiales necesarios para su reparación.
- d. **Método Histórico:** Ya que se basa en la evolución y desarrollo del objeto de investigación.
- e. **Método Sintético:** Ya que reúne racionalmente varios elementos dispersos en una totalidad.

3.3 Diseño de la Investigación

Es importante identificar la manera en la cual se responderán las preguntas de investigación, con el propósito de cumplir los objetivos planteados. Es por esa razón que se presente la siguiente

figura ya que con ella fue mucho más fácil entender como fue el diseño de esta investigación

y se explica paso a paso cada una de las etapas que se desarrollaron.

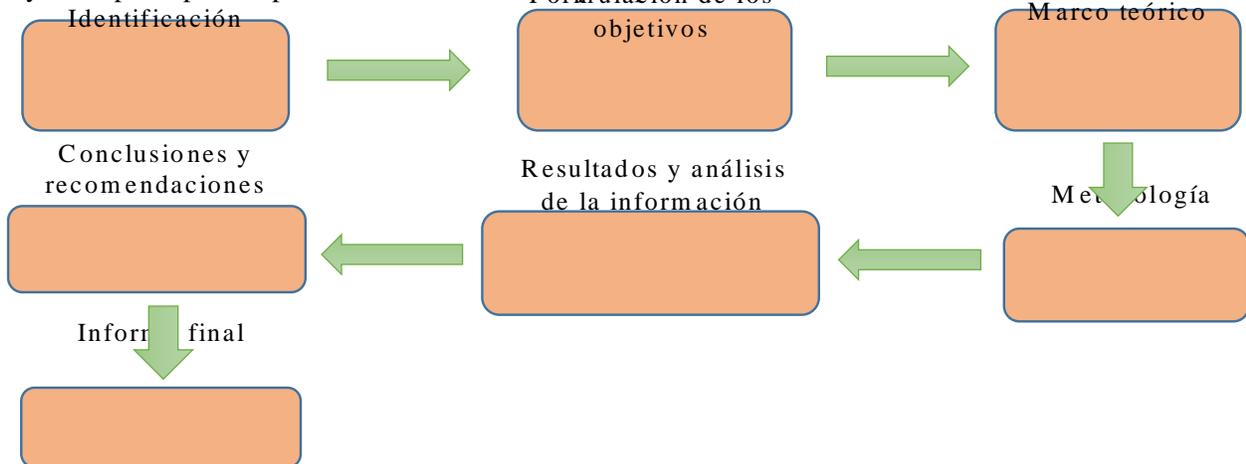


Figura 5. Diseño de la investigación

3.3.1 Población

La población a quien se dirigió la investigación, son todos los ingenieros civiles y arquitectos de Honduras debidamente colegiados y que se dediquen al rubro de la construcción principalmente en estructuras metálicas, debido a que son quienes están calificados para poder intervenir en este tipo de obras. El número de profesionales suman aproximadamente 1000 profesionales entre ambos rubros actualmente estando vivos y activos.

3.3.2 Muestra

Para el cálculo de la muestra se implementó el método de muestreo probabilístico para poblaciones finitas, tomando como base muestra para la encuesta a los 1,000 colegiados vivos del Colegio de Ingenieros Civiles de Honduras y del Colegio de Arquitecto de Honduras.

3.3.3. Unidad de análisis

Para la presente investigación se definió como unidad de los colegiados registrados y vivos en el Colegio de Ingeniero Civiles de Honduras y Colegio de Arquitectos de Honduras.

3.3.4. Unidad de respuesta

Para la presente investigación se definió como unidad de respuesta: unidades y porcentajes

3.4 Instrumento y Técnicas Aplicadas

3.4.1 Instrumentos

Se realizó un cuestionario en forma de entrevista y encuesta, el cual fue utilizado como instrumento para obtener datos de interés para la investigación del tratamiento de patologías en estructuras metálicas en Honduras.

3.4.2 Técnicas

El propósito de las técnicas es la obtención de datos para el estudio de un problema planteado, estas técnicas se aplicaron por medio de entrevistas y encuestas realizadas a grupos con personas especializadas, de las cuales obtuvimos los datos para formular las conclusiones y recomendaciones (Ver anexo 1).

3.5 Fuentes de información

3.5.1. Fuentes primarias

La información primaria se obtuvo por medio de encuestas y entrevista de la base de datos de las personas colegiadas en el Colegio de Ingenieros Civiles de Honduras y Colegio de Arquitectos de Honduras.

3.5.2. Fuentes secundarias

Para la presente investigación y como fuentes secundarias se utilizaron: Libros, revistas, páginas web, tesis en relación con las variables de estudio.

3.6 Limitantes del estudio

El tiempo para desarrollar la investigación.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se analizaron los resultados de los instrumentos de recolección de información, aplicando la estadística descriptiva de cada elemento, se aplicó la entrevista y la encuesta a un total de 67 colegiados Ingenieros y Arquitectos para poder conocer sus conocimientos acerca de las patologías estructurales.

4.1 Resultados de la encuesta

Con el objetivo de conocer la cantidad de agremiados del Colegio de Ingenieros Civiles de Honduras, se procedió con la aplicación de la encuesta. A continuación, se presenta el resumen del instrumento aplicado:

1. Profesión:

70 respuestas

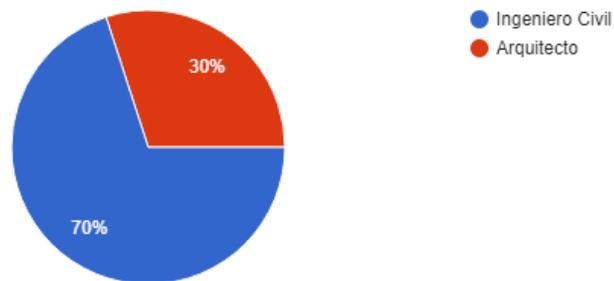


Figura 6. Profesión

En la figura 4 podemos observar que la mayor parte de profesionales encuestados pertenecen al gremio de Ingeniero, esto denota la afluencia de profesionales más del campo de ingeniería.

Esto nos indica el tipo de profesionales en la que debemos enfocarnos más, y denota la preferencia por la mayor parte de estudiantes al ejercer la carrera de Ingeniería.

2. Edad:

70 respuestas

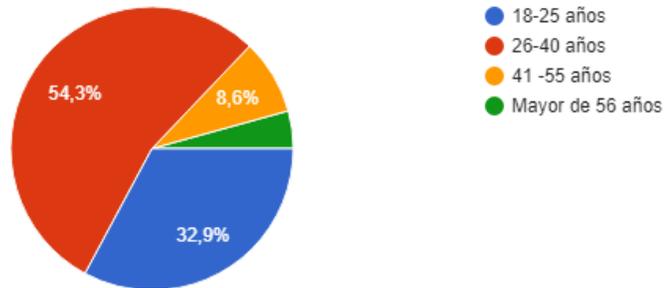


Figura 7. Edad

En la figura 5, podemos notar que acorde a la muestra existen muchos profesionales entre 26 a 40 años, que son profesionales totalmente jóvenes a los cuales se les puede enseñar la importancia de conocer las patologías que existen en las estructuras metálicas.

En el rubro de los encuestados entre 18 a 25 años, estos en su mayoría son estudiantes a los cuales desde la Universidad podemos inculcarles la importancia de conocer sus patologías y como rehabilitar las estructuras metálicas

3. ¿Ha participado en algún proyecto elaborado en base a perfiles de metal?

70 respuestas

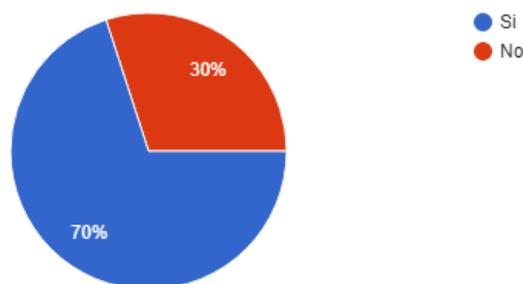


Figura 8. Conocimiento de alguna estructura metálica

La mayor parte de los agremiados tiene conocimiento de las construcciones de las estructuras metálicas por lo tanto tienen conocimiento de las posibles patologías que se presentarán en las estructuras metálicas que se van a construir dentro del territorio nacional.

Esta es una de las razones más importantes que nos ha motivado para crear un Manual Técnico Local ya que el auge de las estructuras metálicas va aumentando cada vez más en el territorio Nacional

4. ¿Cuál considera usted que es la patología más común que se puede presentar en estructuras metálicas?

70 respuestas

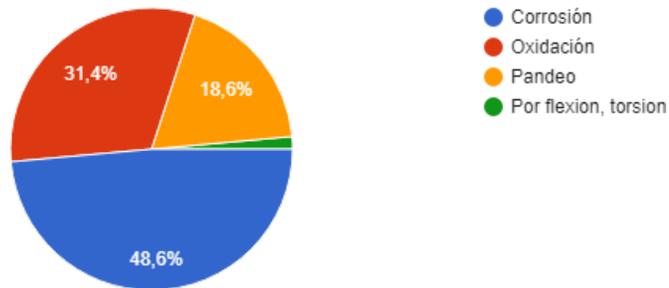


Figura 9. Patología más común

Las patologías de las cuales los agremiados tienen más conocimientos, en primer lugar, es la corrosión, luego la oxidación, estas dos primeras son similares, pero no iguales, por lo que pudimos notar que la mayoría de los agremiados no tiene una definición clara de que significa cada una.

Las otras patologías tanto como pandeo, torsión o flexión no tenían conocimiento que se presentaban como patologías sino más bien como daños estructurales que se dan por un mal diseño o a cargas de las cuales no estaban dispuestas en el cálculo del diseño.

En conclusión, este punto es sumamente importante y es un punto clave para aclarar estas patologías más comunes en el manual técnico local hondureño.

5. ¿Conoce algún tipo de tratamiento que se pueda aplicar en las patologías descritas anteriormente?

70 respuestas

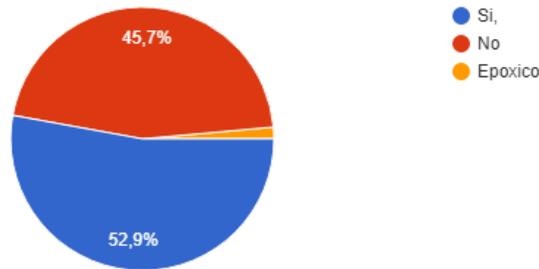


Figura 10. Nivel de conocimiento de tratamientos de patologías

Aquí tenemos una figura que nos muestra casi un empate entre el conocimiento de cómo tratar o no las patologías en las estructuras metálicas, lo que se pudo observar mediante la encuesta es que los agremiados no sabían exactamente como tratar una patología, pero si tenían una posible idea de cómo tratarla.

Como la patología más común fue la oxidación la respuesta más común fue ligarla y volverla a pintar, por lo tanto, nos dimos cuenta de una necesidad de ayudar a los agremiados para

identificar y tratar las patologías que se dan en nuestro medio, así como también la rehabilitación de estas.

6. ¿Considera necesaria la creación de un manual hondureño para el mantenimiento de patologías en estructuras metálicas?

70 respuestas

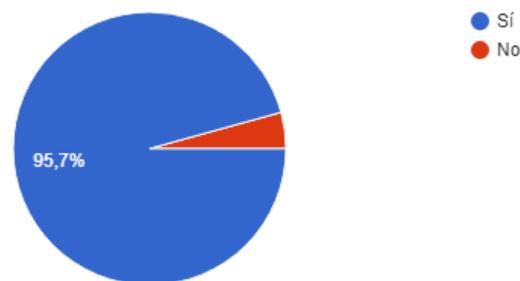


Figura 11. Creación de un manual técnico local de patologías

Casi el 100% de los agremiados están de acuerdo en la creación de un manual para la identificación de patologías y de rehabilitación de estas en las estructuras metálicas, por lo observado anteriormente nos damos cuenta de lo útil que sería para los agremiados el conocimiento que tendrá el manual técnico local.

4.2 Resultados de la entrevista

1. ¿Considera importante el mantenimiento rutinario de un proyecto elaborado con estructuras metálicas? ¿Por qué?

La importancia del mantenimiento rutinario en un proyecto elaborado con estructuras metálicas es sumamente importante porque alarga la vida útil de una estructura; pero en

nuestro medio solo se elabora el proyecto y se olvidan de brindarle un mantenimiento periódico

2. ¿Cuáles considera usted que son las principales lesiones que pueden darse en una estructura de metal?

Las principales lesiones obtenidas mediante la aplicabilidad de la encuesta fueron la corrosión y la oxidación en la Estructuras Metálicas.

3. ¿Tiene conocimiento de algún tipo de procedimiento de tratamiento para lesiones en estructuras de metal?

Eliminar el óxido y la corrosión mediante la limpieza de la superficie con materiales abrasivos y prepararla para aplicarle de nuevo base y pintura corrosiva.

4. ¿Considera importante el establecimiento de un manual hondureño para identificar y dar tratamiento a patologías en estructuras de metal?

Si, fuera una guía la cual ayudará a todos los Ingeniero y Arquitectos a tener conocimiento de la importancia del mantenimiento que se le debe brindar a las Estructuras Metálicas para alargar su vida útil, además de como rehabilitar aquellas estructuras las cuales por el tiempo y falta de mantenimiento se han ido deteriorando.

4.3 Diagrama de Ishikawa

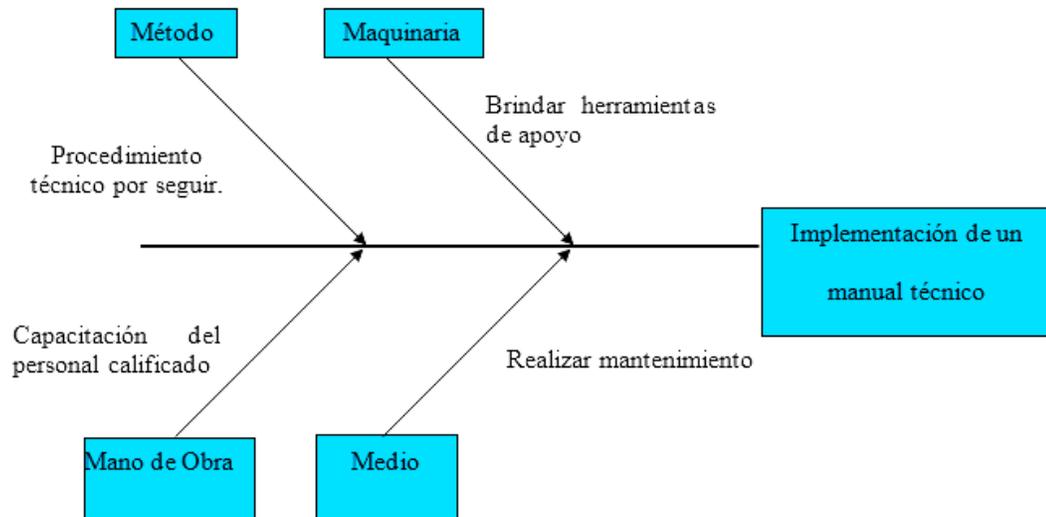


Figura 5. Diagrama de Ishikawa: efecto positivo

a. Método:

- Procedimiento técnico por seguir.
- Implementación de un procedimiento técnico para el tratamiento de patologías en acero

b. Maquinaria y herramientas:

- Brindar herramientas de apoyo
- Creación de herramientas que nos instruya al momento de prevenir estas patologías, y definir que tratamiento se usan en base a la patología identificada.

c. Mano de obra:

- Capacitación del personal calificado.
- El colegio de Ingeniero Civiles de Honduras, a través de seminarios técnicos apoyará para realizar capacitaciones continuas a los profesionales y empresas que se dediquen a este sector.

d. Medio ambiente:

- Definir un control de mantenimiento, según la ubicación del proyecto, para identificar que lesiones puede presentar la estructura debido a condiciones climáticas.

4.3 Análisis Estadístico

Se analizarán los datos que sean recopilados con base a la técnica y métodos de la investigación, que permitan resolver el problema planteado.

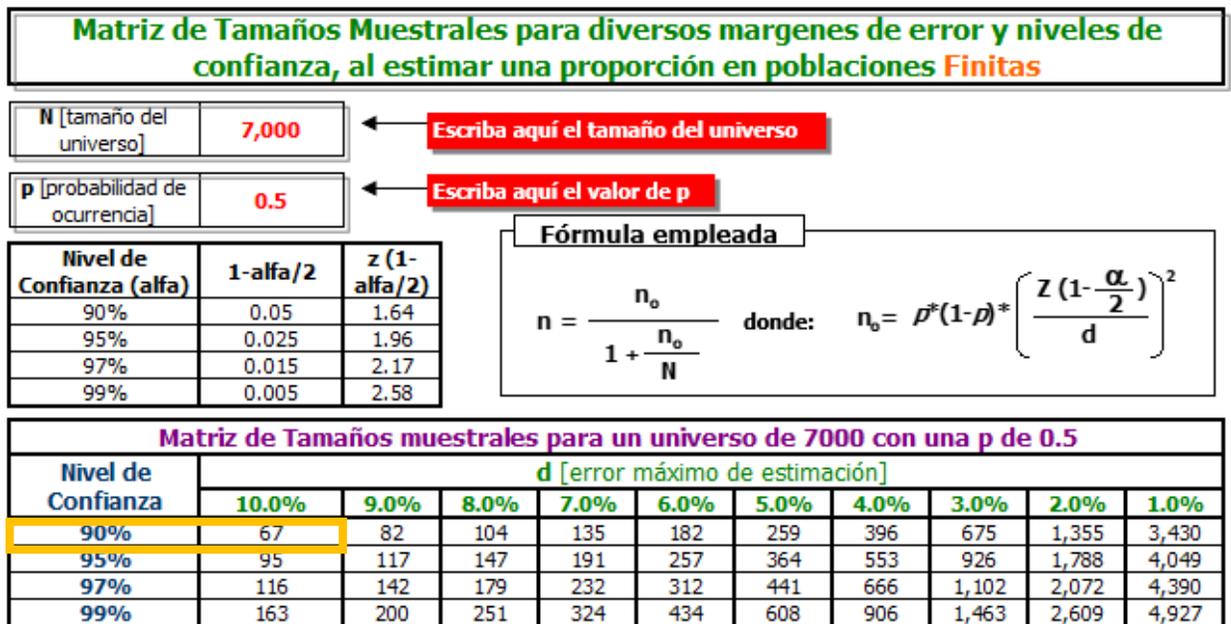


Figura 12. Calculo de la muestra

En el cálculo de la muestra se utilizó un promedio de 7000 agremiados del Colegio de Ingenieros Civiles de Honduras y Colegio de Arquitecto de Honduras pero los que tienen conocimiento de trabajan en estructuras metálicas son aproximadamente unos 1000 agremiados,

para lo cual nos da una muestra de 67 agremiados con un nivel de confianza del 90% y un error máximo de 10%.

Luego del cálculo de la muestra se procedió aplicar la encuesta a 70 agremiados dando como resultado lo siguiente.

- La media de la patología más conocida es la corrosión.
- La moda de las patologías más conocidas es la oxidación.

4.4 Propuesta

4.4.1 Manual Técnico de Tratamiento de Patologías en Estructuras de Acero en Honduras.

4.4.2. Introducción

4.4.3. Descripción de la propuesta

4.4.3.1 Actividades preliminares

4.4.3.2 Evaluación de la patología existente sobre la estructura

4.4.3.3 Identificación del tipo de patología

4.4.3.4 Tratamiento por aplicar sobre la estructura

4.4.1 Introducción

Ante la necesidad o falta de conocimiento en el tratamiento de patologías de estructuras de acero en Honduras, se propone la implementación de una manual técnico para profesionales del área, que brinde las ayudas para identificar, rehabilitar y tratar una patología en este tipo de material.

Haciendo un análisis exhaustivo de la situación de las estructuras metálicas en Honduras, se puede decir que un manual técnico local de tratamiento de patologías en Estructuras de Acero llenaría ese vacío de conocimiento en el área, otorgando así las facultades necesarias a los profesionales nacionales para brindar el tratamiento según la afectación encontrada en la estructura.

La presente propuesta ha sido desarrollada con base a la metodología utilizada por los desarrolladores de la presente tesis, para realizar la evaluación y propuesta de rehabilitación del puente elaborado en estructura metálica ubicado sobre el río Guacirope, departamento de Valle, Honduras.

El manual propuesto estará sujeto a cambios de las autoridades competentes para incorporar contenido adicional que enriquezca la literatura que forma el mismo.

4.4.2 Descripción de la Propuesta

4.4.2.1 Actividades preliminares

Elaboración de un manual técnico de tratamiento de patologías en Estructuras Metálicas en Honduras, en el cual se encuentren los diferentes tipos de patologías y la forma de proceder a su tratamiento haciendo uso de técnicas disponibles en el país.

El primer paso a seguir antes de brindar tratamiento a una estructura metálica es realizar un mapa de identificación de los tipos de elementos metálicos que componen la estructura, cada miembro estructural debe estar debidamente detallado con su nombre según la norma American Association of Steel Construction (AISC) o por los catálogos de identificación de la Federal Highway Administration (FHWA), normativas norteamericanas, utilizadas ampliamente en Honduras, la norma posee un catálogo que contiene todos los elementos de acero disponibles actualmente en el

mercado y los que han sido fabricados con antigüedad, pero que ya no se producen en la actualidad, el material principal que se utiliza en los perfiles de acero en Honduras son fabricadas con acero A36.

En caso de que la estructura metálica posea conexiones hechas con placas con pernos y también posea secciones compuestas, deberá realizarse un detalle con todas las especificaciones y dimensiones de las placas y diámetros de los pernos utilizados en la conexión. Para la identificación de la patología sobre el elemento metálico será necesaria una evaluación y llenar una ficha correspondiente a la patología en la que deberá estar estipulado el nombre del elemento, tipo de patología y cualquier otra información adicional que se observe sobre el mismo.

4.4.2.2 Evaluación de la patología existente sobre la estructura

El formato de la ficha de evaluación se puede encontrar en la parte de anexos del presente documento.

4.4.2.3 Identificación del tipo de patología.

Una vez que se ha realizado una exhaustiva evaluación de los miembros metálicos afectados en la estructura, se procederá a identificar el tipo de patología que está presente sobre el elemento.

Los tipos de patologías más comunes sobre una estructura metálica son los siguientes:

- a. Corrosión
- b. Oxidación
- c. Fractura
- d. Pandeo
- e. Pérdida de sección

f. Pérdida de elementos en uniones (Tornillos, deterioro de la soldadura).

En el presente documento se han añadido imágenes en la sección de anexos, de los diferentes tipos de patologías que pueden afectar una estructura de metal para ayudar al evaluador a la identificación de estas, así como una descripción a continuación de otros tipos de patologías que pueden afectar una estructura metálica.

Fatiga

Cuando se descubren grietas en los elementos del puente (miembros o conexiones) en servicio, la fatiga suele ser la causa. La fatiga es la formación de una grieta debido a las cargas cíclicas de servicio. La Figura 11 muestra la superficie de una fatiga crack Esta grieta se originó en la punta de una soldadura a tope de reparación en la brida de una viga en I soldada (de ahí el agujero de acceso cortado en la tela). La aparición de una grieta por fatiga suele ser suave y sedosa, como se muestra en la Figura 11. Ejemplo de Fatiga

Las superficies generalmente muestran distintas estriaciones que describen la forma de la grieta a medida que creció (como se ve en Figura 11) y estos apuntan al punto de origen de la grieta

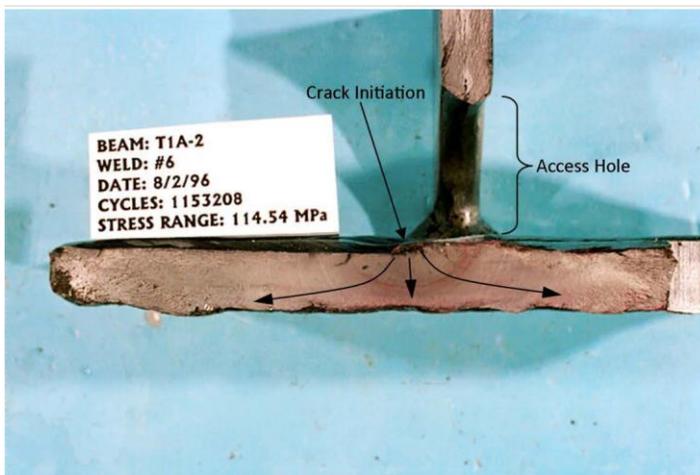


Figura 13. Ejemplo de fatiga

Fuente: Robert J. Dexter, 2002

Fractura

La fractura se puede definir como rotura en tensión o extensión rápida de una grieta, lo que lleva a deformación gruesa, pérdida de función o utilidad, o separación completa del componente. La fatiga y la fractura son diferentes, aunque relacionadas, límite estados. La fatiga puede o no provocar una fractura. Además, la fractura puede ser o no el resultado de la fatiga. Es urgente evaluar el potencial de fractura siempre que haya una grieta en algún elemento de tensión (miembro de tensión, o brida de tensión o porción de la banda de un elemento de flexión). Sin embargo, la presencia de grietas por fatiga no necesariamente significa que la estructura es insegura. De hecho, en algunas estructuras redundantes, una grieta por fatiga puede dejar de propagarse sin intervención alguna debido a la redistribución de las tensiones. Por lo general, sin embargo, una grieta de fatiga se propagará y eventualmente causará una fractura si no se mitiga.

Si un sistema de puente no es redundante y no puede desarrollar rutas de carga alternativas ante la pérdida de la continuidad del miembro, entonces la fractura de un miembro en particular podría provocar el colapso parcial o total de la estructura. Tal miembro se define como un Miembro Crítico de Fractura (FCM). El desarrollo de una grieta de fatiga en un FCM debería garantizar una acción inmediata, como el cierre de uno o más carriles, colocando el puente solo para automóviles, o completa el cierre del puente hasta que se puedan hacer las reparaciones.

La mayoría de los puentes modernos son redundantes y pueden desarrollar rutas de carga alternativas. Si un miembro con una fisura no es crítico para la fractura, las consecuencias de la fractura son menos graves; por lo tanto, mantener el puente abierto puede estar justificado. Aunque es improbable que cause colapso, cualquier fractura es indeseable, y se debe realizar una evaluación de la fractura para asegurar que la posibilidad de fractura en cargas de servicio sea

aceptablemente pequeña en cualquier elemento de tensión. Si la evaluación de la fractura indica que la posibilidad de fractura es inaceptablemente alta, puede ser necesario cerrar carriles, colocar el puente o cerrar completamente el puente.

Una evaluación de la fractura se realiza utilizando los principios de la mecánica de fractura. En ausencia de otros procedimientos establecidos, se recomienda realizar una evaluación de la fractura según British Standard, BS 7910: 1999 "Guía sobre métodos para evaluar la aceptabilidad de defectos en las estructuras metálicas. " Actualmente no existe una norma comparable de los Estados Unidos; sin embargo, la BS 7910 es ampliamente utilizada por algunas industrias de EE. UU. (principalmente la industria del petróleo y el gas).

Una evaluación de fractura requiere conocimiento de la tenacidad a la fractura del acero y o metal de soldadura, que puede estimarse a partir de la energía de Charpy o los resultados de la prueba CVN. A diferencia de la fatiga, la susceptibilidad a la fractura depende en gran medida del tipo de material e incluso del calor particular del acero o del lote de metal de soldadura. Resultados CVN puede obtenerse de los informes del molino para el acero y de las certificaciones para el metal de soldadura, si se conservaron los registros. Los requisitos mínimos de Charpy se incluyeron por primera vez en la especificación ASTM A709 para aceros de puente en 1974, por lo tanto, se puede suponer que las propiedades CVN para la placa de acero y el metal de soldadura son al menos iguales a los valores mínimos especificados para puentes diseñados después de 1974, si los registros no están disponibles.

Se debe tener cuidado de no considerar la firma de 1974, y se puede requerir algún trabajo para asegurar que las especificaciones de diseño hacen referencia a la norma de 1974 ya que hay instancias donde el diseño comenzó antes de 1974, pero la construcción se produjo mucho después de 1974. Para las estructuras más antiguas, o para casos en los que los valores mínimos supuestos

no son suficientes, puede ser necesario realizar un núcleo de muestras de acero, luego maquinar y analizar especímenes Charpy. Se debe probar un mínimo de tres muestras de cada placa o forma estructural de acuerdo con la especificación ASTM apropiada. La evaluación de la fractura no se discutirá más ya que está documentada en otra parte y no es el énfasis de este manual.

Si un detalle o material es particularmente susceptible, generalmente ocurrirá una fractura cuando las cargas se apliquen por primera vez durante o poco después de la construcción. Un ejemplo es la fractura que ocurrió cuando se construyó en 1970 el Puente Caltrans Workers Memorial (anteriormente conocido como Bryte Bend Bridge en Sacramento, CA). La fractura, que se muestra en la Figura 2, se atribuyó al uso de acero A514 de baja tenacidad en un detalle de esquina reentrante (entre un miembro de arriostamiento transversal y la brida de tensión primaria de la viga tubular) en combinación con una grieta de punta de soldadura preexistente como resultado de los procesos de fabricación y envío. El acero A514, a veces comercializado bajo el nombre de acero T1, se temple y se temple con una tensión de fluencia mínima especificada (MSYS) de 100 ksi (690 MPa).



Figura. 14. Fractura en una viga I

Fuente: Robert J. Dexter, 2002

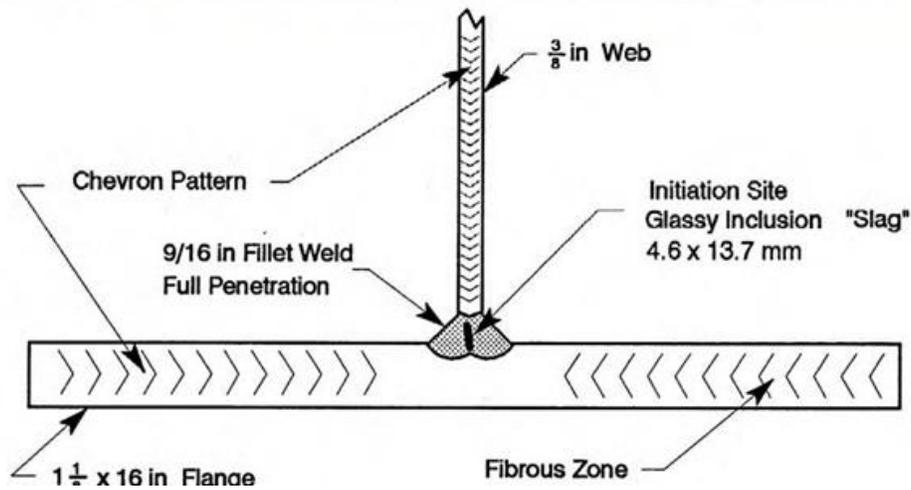


Figura 15. Viga I, con líneas Chevron para previo a la fractura

Fuente: Robert J. Dexter, 2002

4.3.3.4 Tratamiento por aplicar sobre la estructura según el tipo de patología

Habiendo identificado el tipo de patología sobre la estructura, dependerá de la gravedad de estas sobre la forma en la que se le brindará tratamiento, esto debido a una serie de factores ya sea como la importancia del elemento metálico en el conjunto de la estructura, así como la gravedad y estado de la patología identificada en el mismo.

Es importante resaltar que se debe hacer un modelo estructural de la edificación a evaluar mediante el cual se pueda hacer el respectivo análisis estructural de la obra, para poder llegar a la conclusión descrita anteriormente y saber cuándo será posible reemplazar piezas en caso de ser necesario, haciendo uso de la normativa estructural vigente en el país.

Los tipos de tratamientos más comunes a patologías metálicas en Honduras son los siguientes:

a. Sandblasting. Este tipo de tratamiento se aplica principalmente en elementos que son afectados por la corrosión y la oxidación, dependiendo del grado de daño que causen este tipo de patologías sobre dichos miembros de la estructura. Consiste en la aplicación de un chorro de arena en alta presión en la superficie del elemento afecta y su función principal es retirar la capa de óxido y corrosión presente para poder aplicar posteriormente las capas de pintura anticorrosiva necesarias para extender la vida útil de los miembros estructurales, es importante mencionar que previo a la aplicación de este tratamiento se debe analizar el grado de deterioro, procedimiento que se puede realizar con la ayuda de una pulidora para lograr determinar qué tan profundamente se encuentra afectado el elemento y así cerciorarse que no existe una pérdida de sección en el mismo que comprometa las capacidades de resistencia y condiciones de servicio, lo cual llevaría el tratamiento a un nivel más serio. En Honduras existen varias empresas que pueden brindar dicho servicio, el cual no es difícil de conseguir en el medio.

b. Sustitución de elementos afectados. Más que un tipo de tratamiento se considera una decisión tomada en base a un análisis estructural de la situación actual de la obra cuando existen miembros afectados por patologías tipo fractura, en ocasiones se ha logrado observar que algunos miembros que se encuentran fracturados es factible su reparación mediante soldadura, pero en casos en los cuales el proyectista determine que la función estructural del elemento en el conjunto que conforma ya no se desarrolla de la misma forma en la cual fue diseñado y es imposible alargar su vida útil, se determina la sustitución del mismo. El cambio de los elementos debe seguir un procedimiento trazado cuidadosamente por el evaluador estructural y siguiendo todas las recomendaciones según la norma.

Este tratamiento también se aplica en las uniones estructurales o en elementos compuestos, los cuales a lo largo de su vida útil hayan extraviado pernos o remaches que comprometan su comportamiento, esto implica hacer una investigación completa que permita la determinación correcta de los miembros que serán reemplazados mediante los catálogos a disposición del público que han sido mencionados en el presente trabajo, en los que se encuentran los elementos que han sido utilizados en el país.

c. Enderezamiento por calor. Este tipo de tratamiento se aplica principalmente en elementos estructurales afectados por pandeo que ha sido causado por un impacto o por el fallo de miembros conectados al mismo. Dicho procedimiento posee de forma clara y ordenada los pasos a seguir en un manual establecido por la Federal Highway Administration (FHWA), el cual se debe seguir para lograr un tratamiento satisfactorio de la patología.

d. Soldadura. Esta solución se aplica como una forma temporal de extender la vida de la estructura, puede ser aplicado en miembros fracturados o en placas y uniones que requieran refuerzo mientras se desarrolla una solución definitiva a las patologías anteriormente descritas que puedan afectarla.

e. Sustitución de micropartes. Entiéndase por micropartes los elementos como ser pernos, remaches o placas de pequeñas dimensiones, es importante señalar que las mismas forman una parte esencial en el conjunto de la estructura al mantener unidos miembros de sección compuesta y por lo tanto al dañarse o perderse algunos de estos deben ser reemplazados inmediatamente por elementos de las mismas características de tamaño y especificaciones del material o superiores en caso de haber sido dañado por fallas de momento cortante o fallas súbitas debido a una carga extraordinaria. En ningún caso en miembros del tipo placa deben ser soldadas al perder sus pernos

o remaches ya que podría producir efectos de rigideces que pueden ser negativos para la estructura que conforman.

Una vez evaluado el tratamiento que se aplicara sobre la estructura, es muy importante que el proyectista defina un orden constructivo adecuado y las precauciones que se deben seguir, para proceder a la rehabilitación de la estructura, en el caso del estudio que se utilizó como sustento para la presente investigación se ha diseñado un plan de medidas a tomar en cuenta en la zona donde se localiza el proyecto, tales como ser:

- a. Interrupción del tráfico sobre el puente a la hora de sustituir los elementos afectados.
- b. Cronograma de trabajo.
- c. Presupuesto de la intervención a realizar.
- d. Planos constructivos de la solución de rehabilitación de la estructura.
- e. Medidas de mitigación y seguridad ocupacional sobre la obra.

A continuación, se detallan prácticas que sirven para la prevención e identificación temprana de patologías que pueden afectar una estructura metálica, su aplicación ayudara a un mejor control de daños y lograr así un correcto plan de mantenimiento para la obra:

Inspección

La inspección periódica en el servicio brinda otra oportunidad para garantizar la seguridad detectando grietas antes de que alcancen un tamaño crítico. La Administración Federal de Carreteras ha ordenado un intervalo de inspección de veinticuatro meses para todos los puentes de carretera ubicados en vías públicas que está destinado a detectar problemas antes de que se vuelvan críticos para el rendimiento estructural. Los puentes con FCM y / o aquellos con un historial de problemas de fatiga a veces se inspeccionan más a menudo si se determina que tienen un mayor

riesgo de fractura. Mediante la regulación federal, los puentes con FCM reciben una inspección práctica para garantizar que los inspectores se encuentren cerca de los problemas de manera efectiva. Desde su inicio, el programa de inspección ha demostrado ser un medio exitoso para garantizar la seguridad en los puentes de acero.

Debido a la repetición de detalles en un puente, cuando se encuentra una grieta, es probable que los detalles similares también exhiban condiciones similares. Por lo tanto, el primer y más urgente paso en la planificación de reparaciones y actualizaciones es llevar a cabo una inspección especial en profundidad para inspeccionar minuciosamente el puente en busca de otras grietas. Esta inspección normalmente se realiza de forma visual, pero a veces integra tecnologías de evaluación no destructivas, como pruebas de partículas magnéticas, pruebas de penetrante de tinte u otras técnicas, especialmente para miembros críticos para la fractura. El foco de la inspección para las grietas de fatiga adicionales debe estar en los elementos en tensión similar a la que se agrietó, con prioridad dada a los detalles con rangos de tensión de carga elevada y / o los que están en funcionamiento.

No es necesario inspeccionar de cerca los elementos para los cuales el rango de esfuerzo aplicado permanece en compresión debido a grietas por fatiga, ya que la extensión de la grieta lejos del detalle o la fractura completa generalmente no es posible. Debido a las tensiones residuales de tensión de la soldadura, todavía puede producirse una grieta en un elemento estructural que se somete a carga cíclica incluso si el rango de tensión aplicada permanece en compresión. Sin embargo, estas grietas se detendrán a medida que crecen lejos de las soldaduras

porque la punta de la grieta entrará en una zona de tensión de compresión.

Técnicas de detección de grietas

La detección de grietas a veces puede ser un proceso difícil de manejar y, a veces, puede parecer un arte negro. Identificar grietas en estructuras pintadas u oxidadas puede ser muy difícil, algunas veces requiere técnicas complementarias para exponerlas. Esta sección describirá brevemente los métodos comunes de detección de grietas, como se mencionarán más adelante en este manual. Un buen ojo es la mejor herramienta para encontrar grietas. Cuando las grietas se abren y cierran, las superficies de la grieta se frotan entre sí, creando un polvo fino de acero que se oxida fácilmente cuando se expone al ambiente. Esto a menudo conduce a manchas de óxido o decoloración, ya que el material oxidado sangra por las grietas. Esto puede ofrecer una detección visual rápida de áreas problemáticas, pero no debe usarse como el único medio de detección. Para ayudar aún más al ojo humano, dos técnicas comunes no destructivas que se utilizan para exponer grietas son la penetración del tinte y la inspección de partículas magnéticas.

Tinte penetrante es un sistema de tres partes aplicado a un área donde se sospecha una grieta. Cada componente generalmente está contenido en pequeñas latas presurizadas que pueden transportarse fácilmente en el campo. El primer paso es limpiar/desengrasar el área para eliminar los contaminantes de la superficie, use un cepillo de alambre para eliminar la corrosión, pero evite moler, ya que tiende a manchar la grieta. Luego se rocía un colorante líquido (comúnmente de color rojo) sobre la superficie, y este tinte se filtra en las grietas. Después de un tiempo específico (60-90 segundos), el exceso de tinte se elimina de la superficie. Luego se rocía un revelador blanco en la misma área donde se aplicó el tinte. El colorante dentro de la grieta es extraído por el revelador blanco.

La inspección de partículas magnéticas, a menudo denominada inspección de partículas "mag", utiliza un yugo electromagnético de mano para encontrar grietas. El yugo induce un campo magnético en el área de interés utilizando el principio físico de que los campos magnéticos no pueden abarcar las discontinuidades. El campo magnético se rompe en una grieta y las líneas de flujo deben fluir alrededor de la grieta. Esto crea una concentración del campo magnético alrededor de la grieta. Un polvo de relleno de hierro fino se rocía en el área de interés mientras se magnetiza el yugo, y el polvo solo se atrae a las áreas con una concentración magnética.

La técnica es buena para encontrar grietas expuestas y, en algunas circunstancias, grietas que aún no se han propagado a la superficie. La prueba de partículas magnéticas puede funcionar a través de la pintura, pero no de manera confiable y no se recomienda. La pintura debe eliminarse para proporcionar resultados óptimos.

Se pueden usar otras técnicas no destructivas, pero la disponibilidad se vuelve más limitada y el costo aumentará sobre la prueba de partículas penetrantes y partículas magnéticas. Por lo general, esto se debe a que otras técnicas requerirán el uso de transductores y productos electrónicos caros y operadores altamente capacitados. Otras técnicas que se han implementado sucesivamente son corrientes parásitas, pruebas ultrasónicas (manuales o automáticas) y difracción tiempo-vuelo.

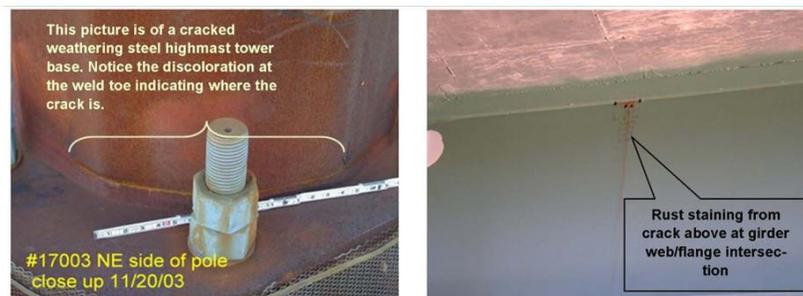


Figura 16. Grietas ocultas por oxido.

Fuente: Robert J. Dexter, 2002

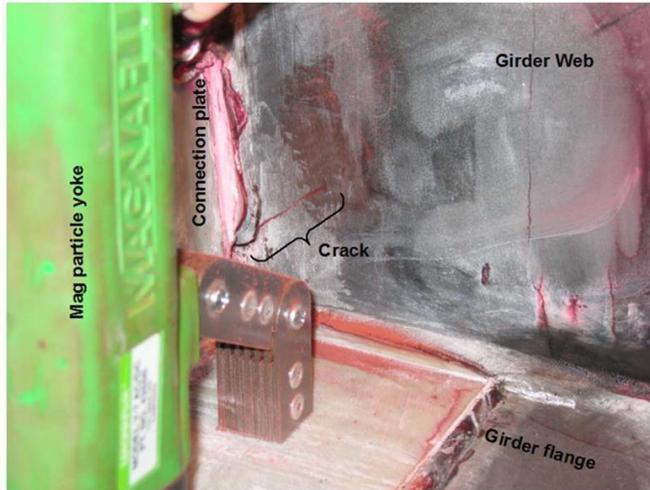


Figura 17. Fisura medida con el magnetómetro (mag)

Fuente: Robert J. Dexter, 2002

Se han incluido imágenes de los tratamientos que se pueden aplicar sobre estructuras metálicas en los anexos del presente documento.

4.3.3.5 Ejemplos de patologías

Estas patologías fueron tomadas de la investigación realizada sobre el puente metálico sobre el río Guacirope, departamento de Valle, Honduras. Las cuales tienen como objetivo ayudar a identificar ciertos tipos de patologías.

Tipo de Patología: Oxidación.



Figura 18. Oxidación.

Nótese que la capa de óxido solamente es de carácter superficial sobre el elemento estructural de la fotografía superior, sin embargo, en la foto inferior puede observarse el daño físico producido por la corrosión, deteriorando el elemento.

Tipo de patología: Corrosión



Figura 19. Corrosión

Tipo de patología: Pandeo



Figura 20. Pandeo

Nótese en la parte encerrada en rojo, la lesión que pudo haber sido causada por un impacto o por cargas extraordinarias sobre el elemento.

Tipo de tratamiento: Sandblasting



Figura 21. SandBlasting

Fuente: Robert J. Dexter, 2002

En el sandblasting como se observa en la imagen anterior, se aplica un chorro de arena en alta presión removiendo las impurezas sobre el miembro estructural

Tipo de tratamiento de rehabilitación: Enderezado por calor

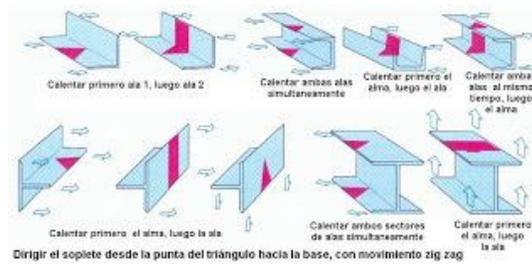


Figura 22. Enderezado por calor

Fuente: Robert J. Dexter, 2002

En el enderezado por calor se debe seguir la normativa de la FHWA (Federal Highway Administration).

4.4 Presupuesto

Tabla 3. Presupuesto

N°	Actividad	Precio	Unidad	Cantidad	total
----	-----------	--------	--------	----------	-------

1	Impresión del manual técnico local	L 250.00	U	7000	L. 1,750,000.00
2	Distribución	L 50.00	U	7000	L. 175,000.00
3	Personal administrativo	L 12,500.00	U	5	L. 62,500.00
4	Total				L. 1,987,500.00

4.5 Cronograma de actividades

Id	Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras	24 '18	Jul '18	Jul '18
1	★	Manual Técnico local	111 días	dom 7/1/18	vie 11/30/18		L M X J V S	P L M X J V S	P L M X J V S
2	★	Contratación de personal	30 días	dom 7/1/18	jue 8/9/18				
3	★	Revisión del Manual Técnico	30 días	mié 8/1/18	mar 9/11/18				
4	★	Impresión del Manual Técnico local	15 días	dom 8/12/18	jue 8/30/18				
5	★	Distribución del manual	44 días	jue 8/30/18	mar 10/30/18				
6	★	Socializarlo	24 días	mar 10/30/18	vie 11/30/18				

Figura 23. Plan de ejecución

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se describen los resultados finales de esta investigación y que ha concluido en la elaboración de un manual técnico local para las patologías y rehabilitación en las estructuras metálicas.

5.1 Conclusiones

- Esta investigación da a conocer los tipos de patologías más comunes en el país como ser oxidación, corrosión y fractura, y el tratamiento adecuado para cada tipo, así como también un control de mantenimiento de las estructuras metálicas.
- Se tendrá un manual local, que se puede determinar la mejor forma de dar tratamiento a una lesión estructural en una estructura metálica, haciendo uso de medios disponibles en Honduras.
- Se identificó y se describió en el manual los distintos tipos de patologías más comunes en Honduras.
- Se analizaron los posibles procedimientos que se realizarán para rehabilitar una estructura de acero.
- Se describieron los tratamientos locales más usuales y con materiales del lugar.
- Se definieron los procesos de soldadura, sandblasting, y enderezado por calor.
- Se propuso un primer borrador de un manual, el cual deberá ampliarse conforme se vayan descubriendo nuevas patologías y tratamientos disponibles localmente.

5.2 Recomendaciones

- Hacer una evaluación en todas las estructuras de acero potencialmente dañadas, para evaluar el grado de daño que posee, y proceder a una posible rehabilitación, con base al manual técnico propuesto.
- Se recomienda ampliar las patologías mediante un equipo de investigación, además de investigar más de los nuevos procesos de rehabilitación de estructuras metálicas
- Se necesitan estudios en las zonas costeras y húmedas del país.
- Se deben de realizar ensayos de posiciones de soldadura para saber cuál es la más efectiva, al igual si necesita ser previamente calentado.
- Se deben hacer pruebas de laboratorio más exhaustivas, para poder tener una mejor comprensión de estas.
- Con la creación del Manual Técnico Local, los arquitectos e Ingenieros deberán ser capaces de tener el conocimiento básico de la importancia del mantenimiento en las Estructuras metálicas y de sus diferentes patologías, además de como rehabilitarlas.

Tabla 4. Concordancia de la tesis

Título	Problema	Preguntas de Investigación	Objetivo		Variables	
			General	Específico	Independiente	Dependientes
ión de patologías y rehabilitación en estructuras metálicas en Honduras	No existe en el medio local de la construcción un procedimiento técnico que describa la prevención, detección y tratamiento de patologías en estructuras de acero.	1) ¿Existe en el medio local un manual técnico-local para la identificación de patologías y rehabilitación de estructuras metálicas?	Desarrollar las técnicas de tratamiento y control de patologías en estructuras de acero conocidas a nivel internacional, por medio de la recopilación de las patologías y técnicas de rehabilitación más frecuentes en estructuras metálicas, mediante un manual técnico local para la prevención, detección, tratamiento y rehabilitación de patologías en estructuras de acero, el cual	¿Identificar si existe en el medio local un manual técnico local para la identificación de patologías y rehabilitación de estructuras metálicas?	Esta investigación da a conocer los tipos de patologías más comunes en el país como ser oxidación, corrosión y fractura, y el tratamiento adecuado para cada tipo, así como también un control de mantenimiento de las estructuras metálicas.	Manual Técnico Local

Continuación tabla 3. Concordancia de la tesis

		2) ¿Es viable implementar en el país un manual técnico que maneje el control y tratamiento de patologías en estructuras de acero?	servirá para orientar a todos los profesionales del área de la ingeniería y arquitectura en mantener sus obras en condiciones aceptables de servicio.	Identificar los tipos de patologías que existen en las Estructuras de Acero más comunes dentro del territorio nacional, en base al estudio patológico realizado sobre el puente en el Río Guacirope ubicado en el departamento de Valle, Honduras.	Se tendrá un manual local, que se puede determinar la mejor forma de dar tratamiento a una lesión estructural en una estructura metálica, haciendo uso de medios disponibles en Honduras.
		3) ¿Qué factores inciden en el deterioro de una estructura metálica?		Definir el tipo de tratamiento local que se deberá aplicar según su tipo de utilización, importancia y daño	Se describieron los tratamientos locales más usuales y con materiales del lugar
		4) ¿Qué tecnologías están		Definir que otras alternativas que existen al momento de rehabilitar una estructura de acero.	Se definieron los procesos de soldadura, sandblasting, y enderezado por calor
				Proponer un manual técnico local de	Se propuso un primer borrador de un manual, el

Continuación tabla 3. Concordancia de la tesis

		disponibles para reparación y mantenimiento de estructuras metálicas en Honduras?		tratamiento de patologías en estructuras de acero en base a las tecnologías disponibles actualmente para la reparación y mantenimiento.	cual deberá ampliado conforme se vayan descubriendo nuevas patologías	
--	--	---	--	---	---	--

BIBLIOGRAFÍA

- Acero, I. C. (2001). *Libro de diseño para Estructuras de Acero*. Chile: Imprenta Colorama S.A.
- Avent Richard. (2008). Guide for Heat Straightening of damaged Steel Bridge Members. FHWA-IF-08-999
- Avent Richard (1998). Heat straightening repairs of damaged steel bridges. A technical guide and manual of practice. FHWA-IF-99-004.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica – AIS. (2004). GUÍA DE PATOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS, ESTRUCTURALES Y NO ESTRUCTURALES
- Bautista, J. C. (2003). Losas Colaborantes. En J. C. Bautista, *Tesis para obtener el título de Ingreso Civil* (págs. 7-15). Mexico: ESIA.
- Broto, Carles. (2010). Enciclopedia Broto de Patologías de la Construcción.
- Castillo, D. R. (2008). Normas Técnicas. En D. R. Castillo, *Código Hondureño de Construcción* (págs. 1-1,2-167). Tegucigalpa, Honduras: LITHOGRAF S. de R.L.
- Connor Robert. (2012). Manual for design, construction and maintenance of orthotropic steel deck bridges
- Dexter Robert J. y Ocel Justin M (2013). Manual of Repair and Retrofit of Fatigue Cracks in Steel Bridges. FHWA-IF-13-020
- González, A. M. (2006). *Metodología para la rehabilitación de Estructuras Metálicas con Edades Superiores a los 70 años*. La Habana: XVII Forum de Ciencia y Técnica.

Hamby Gary. (2012). High performance steel designers guide

INGNOVA, A. (2006). *academia.ingova.es*. Obtenido de https://academia.ingnova.es/recursos/apuntes_demo/patologias.pdf

ITEA. (2008). *Sistemas Estructurales: Rehabilitación y reparación*. España: ITEA.

Lizarza, J. T. (2008). *Método de ñps elementos finitos para Análisis Estructural*. España: UNICOPIA C.B.

Lopez Fernando. (2004). Manual de patologías en las edificaciones. Tomo 3 Lesiones debidas a las humedades. Patologías en cubiertas y fachadas. [https://www.edificacion.upm.es/personales/santacruz-old/Docencia/cursos/ManualPatologiaEdificacion_Tomo-3.pdf](http://www.edificacion.upm.es/personales/santacruz-old/Docencia/cursos/ManualPatologiaEdificacion_Tomo-3.pdf)

McCormac, Jack. (2013). Diseño de Estructuras de Acero, P. 65-66.

Mascia, Nilson Tadeu, & Sartorti, Artur Lenz. (2011). Identificación y análisis de patologías en puentes de carreteras urbanas y rurales. *Revista ingeniería de construcción*, 26(1), P. 05-24. En la página [HYPERLINK "https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732011000100001"](https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732011000100001) <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732011000100001>

Monjo Carrió, Juan & Maldonado Ramos, Luis. (2001). Patología y Técnicas de Intervención en Estructuras Arquitectónicas, P. 16

MUÑOZ HIDALGO, M. (2012). Manual de Patología de la Edificación

Secretaria de Gestión de Riesgos, S. (2016). *Guía práctica para el diseño de estructuras de acero*. Quito - Ecuador: Diseño, diagramación e Impresión.

Robert J. Dexter, a. J. (2002). *Manual for Repair and Retrofit of Fatigue Crack in Steel Bridges*.
Minneapolis: Federal Highway Administration.

UNIT (Instituto Uruguayo de Normas Técnicas. (2009). *Herramientas para la Mejora de la
Calidad*, P. 22

ANEXO 1. FORMATO DE ENTREVISTA

Somos estudiantes de la facultad de postgrado, cursando la Maestría de Ingeniería en Estructuras de la Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC). El objetivo de la presente entrevista es conocer la opinión de los profesionales de la ingeniería civil y arquitectura involucrados en proyectos elaborados en base a estructuras metálicas.

Agradeciendo de antemano, le rogamos favor contestar las siguientes preguntas.

5. ¿Considera importante el mantenimiento rutinario de un proyecto elaborado con estructuras metálicas? ¿Por qué?
6. ¿Cuáles considera usted que son las principales lesiones que pueden darse en una estructura de metal?
7. ¿Tiene conocimiento de algún tipo de procedimiento de tratamiento para lesiones en estructuras de metal?
8. ¿Considera importante el establecimiento de un manual hondureño para identificar y dar tratamiento a patologías en estructuras de metal?

ANEXO 2. FORMATO DE ENCUESTA

Somos estudiantes de la facultad de postgrado, cursando la Maestría de Ingeniería en Estructuras de la Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC). El objetivo de la presente encuesta es conocer la opinión de los profesionales de la ingeniería civil y arquitectura involucrados en proyectos elaborados en base a estructuras metálicas y su grado de conocimiento en el tratamiento a patologías presentes en las mismas.

6. Profesión:

- a. Ingeniero civil
- b. Arquitecto

7. Edad:

- a. 18-25
- b. 25-40
- c. 40-55
- d. Mayor de 55

8. ¿Ha participado en algún proyecto elaborado en base a perfiles de metal?

- a. Si
- b. No

9. ¿Cuál considera usted que es la patología más común que se puede presentar en estructuras metálicas?

- a. Corrosión
- b. Oxidación

c. Pandeo

d. Otros: Descríbalo _____

10. ¿Conoce algún tipo de tratamiento que se pueda aplicar en las patologías descritas anteriormente?

a. Si. Descríbalo _____

b. No

11. ¿Considera necesaria la creación de un manual hondureño para el mantenimiento de patologías en estructuras metálicas?

a. Si

b. No

ANEXO 4. APROBACIÓN DE ASESOR TEMÁTICO

Seguro | <https://outlook.office.com/owa/projection.aspx>

 Responder a todos |  Eliminar Correo no deseado | 

VoBo



Jose Duarte <josdu2121@gmail.com>

Ayer, 17:30

JOSE FERNANDO HERNANDEZ GUILLEN; RICARDO ANTONIO BUESO MORALES; ZELAYA OVIEDO CARLOS AUGUSTO



Responder a todos | 

Bandeja de entrada

Estimados Ingenieros Ricardo y Fernando

Por este medio doy por recibidas la realización de las correcciones solicitadas, por ende, damos VoBo a sus tesis de maestría.

Saludos Cordiales
José Duarte

ANEXO 5. APROBACIÓN DE ASESOR LINGÜÍSTICO

Tesis corregida

Recibidos x



Ricardo Bueso

13:41 (hace 27 minutos) ☆

Estimada Licenciada: Adjunto la tesis con las correcciones liguisticas realiz...



leyla suyapa flores zelaya

13:48 (hace 21 minutos) ☆

para mí ▾

Estimado Ingeniero Ricardo:

Por este medio doy por recibidas, la realización de las correcciones a su tesis de maestría.

Saludos cordiales,

Leyla Flores

De: Ricardo Bueso <ricardobueso@gmail.com>

Enviado: miércoles 04 de julio de 2018 13:41

Para: leyla suyapa flores zelaya

Asunto: Tesis corregida

...

ANEXO 6. APROBACIÓN DE ASESOR METODOLOGICO

Vo Bo Tesis



ZELAYA OVIEDO CARLOS AUGUSTO

vie 06/07, 10:54

RICARDO ANTONIO BUESO MORALES; JOSE FERNANDO HERNANDEZ GUILLEN; PG Postgrado

Responder a todos



2 archivos adjuntos (5 MB) Descargar todo Guardar todo en OneDrive - Universidad Tecnologica Centroamericana

Estimados Maestranter Bueso Morales y Hernandez Guillén.

Después de haber finalizado su tesis de postgrado "**IDENTIFICACIÓN DE PATOLOGÍAS Y REHABILITACIÓN EN ESTRUCTURAS METÁLICAS EN HONDURAS**", cumplir con los requerimientos y haber realizado la pre defensa, les doy el **Vo Bo** correspondiente que los autoriza para continuar con los trámites en la facultad de postgrado. Deben proceder a imprimir el documento revisado y que de nuevo les adjunto, a doble cara incluyendo (después de los anexos) el VoBo del asesor temático, constancia de lectura y este VoBo del asesor metodológico. Deben entregar en postgrado los tres ejemplares entre el 2 y el 11 de julio. Recomiendo que la síntesis la entreguen al momento de la defensa a cada miembro de la terna.

Saludos y les deseo muchos éxitos en su defensa.

Carlos A. Zelaya Oviedo
Asesor metodológico PG

ANEXO 7. CARTA DE APROBACIÓN DE TERNA DE APROBACIÓN

Tegucigalpa 3 de agosto 2018

Estimados:

RICARDO ANTONIO BUESO MORALES

JOSE FERNANDO HERNANDEZ GUILLEN

Una vez concluida la etapa final de revisiones y constatado que el documento de tesis está conforme a las mejoras indicadas en el proceso de presentación a la Terna de Examen, me permito aprobar su documento para iniciar trámites de graduación,

Deseándoles suerte en este proceso reciban mis felicitaciones por haber alcanzado esta meta,

Att.

Dra. Mina Cecilia Garcia Lezcano

Presidente de Terna

Departamento de Posgrado UNITEC