



**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Evaluación técnica y económica del puente  
Noruega con acero estructural convencional y  
acero mejorado contra la corrosión en Junín

**TESIS**

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

**AUTORES**

Murillo Tongo, Juan Diego  
ORCID: 0000-0002-8020-0883

Huacanca Velarde, Paul Anthony  
ORCID: 0000-0002-1384-0215

**ASESOR**

Gárate Cáceres, Francisco Héctor  
ORCID: 0000-0003-0413-3399

**Lima, Perú**

**2022**

## **Metadatos Complementarios**

### **Datos del autor(es)**

Murillo Tongo, Juan Diego

DNI: 72387746

Huacanca Velarde, Paul Anthony

DNI: 72126652

### **Datos de asesor**

Gárate Cáceres, Francisco Héctor

DNI: 7640930

### **Datos del jurado**

JURADO 1

Carmenates Hernandez, Dayma Sadami

DNI: 2944620

ORCID: 0000-0001-5482-7562

JURADO 2

López Silva, Maiquel

DNI: 2646058

ORCID: 0000-0002-0946-6160

JURADO 3

Donayre Cordova, Oscar Eduardo

DNI: 06162939

ORCID: 0000-0002-4778-3789

### **Datos de la investigación**

Campo del conocimiento OCDE: 2.01.01

Código del Programa: 732016

# EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DEL PUENTE NORUEGA CON ACERO ESTRUCTURAL CONVENCIONAL Y ACERO MEJORADO CONTRA LA CORROSIÓN EN JUNÍN

## INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>24%</b>	<b>23%</b>	<b>1%</b>	<b>11%</b>
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>issuu.com</b> Fuente de Internet	<b>3%</b>
<b>2</b>	<b>docplayer.es</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>3</b>	<b>vsip.info</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>4</b>	<b>www.coursehero.com</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>www.docsity.com</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>repositorio.ug.edu.ec</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>7</b>	<b>1library.co</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>8</b>	<b>Submitted to Universidad Cesar Vallejo</b> Trabajo del estudiante	<b>1%</b>

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis a toda mi familia, que siempre han sido el soporte perfecto para no decaer y para inspirarme a siempre seguir buscando mi crecimiento personal y profesional.

Juan Diego Murillo Tongo

Esta tesis está dedicada a todos mis seres amados; quienes, en conjunto, han sido el soporte perfecto para nunca decaer y siempre mantenerme firme en cada etapa del proceso del desarrollo de esta tesis.

Paul Anthony Huacanca Velarde

## **AGRADECIMIENTO**

Nuestro sincero agradecimiento a nuestra alma mater, por habernos brindado los conocimientos de esta maravillosa carrera y a todas las personas que de alguna manera nos apoyaron en el desarrollo de la tesis, entre ellos amigos y familiares.

Juan Diego Murillo y Anthony Huacanca

# INDICE GENERAL

RESUMEN .....	i
ABSTRACT.....	ii
INTRODUCCIÓN.....	iii
<b>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA .....</b>	<b>1</b>
1.1. Formulación y delimitación del problema.....	1
1.2. Objetivo general y específico .....	2
1.2.1. Objetivo General .....	2
1.2.2. Objetivo específico.....	2
1.3. Delimitación de la investigación: temporal espacial y temática .....	3
1.3.1. Delimitación Temporal .....	3
1.3.2. Delimitación Espacial .....	3
1.3.3. Delimitación Temática .....	4
1.4. Importancia y Justificación .....	4
1.4.1. Justificación Práctica.....	4
1.4.2. Justificación Teórica .....	4
1.4.3. Justificación Social.....	4
1.4.4. Justificación Económica.....	5
1.4.5. Justificación Técnica.....	5
1.4.6. Importancia .....	5
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>6</b>
2.1. Antecedentes de la investigación .....	6
2.1.1. Investigaciones Internacionales .....	6
2.1.2. Investigaciones Nacionales .....	9
2.2. Bases teóricas vinculadas a las variables .....	11
2.2.1. Puentes de acero.....	11
2.2.2. Corrosión.....	15
2.2.3. Acero .....	23
2.2.4. Tipo de entorno .....	28
2.3. Estructura teórica y científica que sustenta el estudio.....	29
2.3.1. Filosofía y principios de diseño de puentes en el Perú .....	29
2.3.2. Análisis AASHTO LRFD .....	30

<b>CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS .....</b>	<b>32</b>
3.1. Hipótesis .....	32
3.1.1. Hipótesis General .....	32
3.1.2. Hipótesis Específicas .....	32
3.2. Variables de la investigación.....	32
3.2.1. Definición conceptual de las variables.....	32
<b>CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>34</b>
4.1. Tipo y nivel de investigación .....	34
4.1.1. Tipo .....	34
4.1.2. Nivel.....	34
4.2. Diseño de la investigación.....	34
4.3. Población y muestra .....	35
4.3.1. Población.....	35
4.3.2. Muestra.....	35
4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	35
4.4.1. Tipos de técnicas e instrumentos.....	35
4.4.2. Validez y confiabilidad de los instrumentos .....	36
4.4.3. Procedimientos para la recolección de datos .....	36
4.5. Técnicas para el procesamiento y análisis de la información .....	37
<b>CAPÍTULO V: ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL PUENTE NORUEGA .....</b>	<b>38</b>
5.1. Descripción general del puente .....	38
5.2. Características estructurales .....	38
5.2.1. Tipología estructural del puente.....	39
5.2.2. Descripción de la superestructura .....	40
5.3.1. Peso Propio (DC) .....	45
5.3.2. Carga Muerta (DW) .....	45
5.3.3. Sobrecarga de Uso (LL + BR + PL) .....	45
5.3.4. Viento (WL + WS).....	47
5.3.5. Acciones sísmicas (EQ) .....	49
5.4. Valores representativos de las acciones .....	53
5.4.1. Coeficientes parciales de seguridad .....	53
5.5. Modelamiento del puente Noruega en CSI Bridge .....	55
5.5.1. Geometría Puente Doble Arco Superior .....	56
5.5.2. Definición de cargas aplicadas.....	56

5.5.3. Combinación de acciones.....	62
5.5.4. Estados límite de servicio.....	63
5.6. Cálculo del Rating Factor a través de la metodología LRFD.....	64
<b>CAPÍTULO VI: ANÁLISIS DE COSTOS A NIVEL DE PREINVERSIÓN.....</b>	<b>66</b>
6.1. Descripción de costos de inversión del proyecto .....	66
6.1.1. Costos Directos .....	66
6.1.2. Costos por plan Covid-19 .....	66
6.1.3. Gastos Generales.....	66
6.2. Descripción de costos de mantenimiento por tiempo de vida útil.....	66
6.2.1. Mantenimiento Rutinario .....	66
6.2.2. Mantenimiento Periódico.....	67
6.3. Análisis de costos de inversión con una superestructura de acero A709Gr50.....	67
6.3.1. Análisis de costos de inversión con una superestructura de acero A709Gr50.....	67
6.3.2. Análisis de costos de inversión con una superestructura de acero A588..	68
6.4. Análisis de costos de mantenimiento del puente Noruega.....	68
6.4.1. Análisis de costos de mantenimiento con el acero A709Gr50.....	68
6.4.2. Análisis de costos de mantenimiento con el acero A588.....	69
<b>CAPÍTULO VII: DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>70</b>
7.1. Análisis de resultados técnicos y económicos.....	70
7.1.1. Resultados técnicos .....	70
7.1.2. Resultados económicos .....	72
7.2. Constatación de hipótesis .....	72
7.2.1. Hipótesis general.....	72
7.2.2. Hipótesis Específicas .....	72
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>74</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>75</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>76</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>79</b>
ANEXO 1: Matriz de Consistencia .....	79
ANEXO 2: Matriz de operacionalización de las variables .....	80
ANEXO 3: Cronograma de Actividades .....	81
ANEXO 4: Presupuesto .....	82



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de puentes de acero.....	12
Tabla 2: Atmospheric corrosivity categories to AS 4312 and AS/NZS 2312 .....	26
Tabla 3: Variables de la investigación .....	33
Tabla 4: Incremento de carga Viva por Efectos Dinámicos .....	46
Tabla 5: Factor de sobrecarga.....	46
Tabla 6: Valores para diferentes condiciones de la superficie contra el viento.....	48
Tabla 7: Valores de $V_0$ y $Z_0$ .....	48
Tabla 8: Valores de factor de sitio, $F_{pga}$ .....	51
Tabla 9: Valores de factor de sitio $F_a$ .....	51
Tabla 10: Valores de factor de sitio, $F_v$ .....	51
Tabla 11: Combinaciones de carga y factores de carga.....	53
Tabla 12: Factores de carga para cargas permanentes debidas a deformaciones superpuestas, $\Upsilon$ .....	54
Tabla 13: Presupuesto Puente Noruega con acero A709 .....	67
Tabla 14: Presupuesto Puente Noruega con acero A588.....	68
Tabla 15: Presupuesto del mantenimiento periódico .....	68

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Área de estudio del proyecto puente Noruega .....	3
Figura 2: Puente de las Américas .....	11
Figura 3: Puente Eads .....	12
Figura 4: Puente Coalbrookdale.....	13
Figura 5: Puente Combapata.....	13
Figura 6: Puente arco de la Vicaria.....	14
Figura 7: Puente de Luis I.....	14
Figura 8: Corrosión típica de una viga de acero en el alma y el ala .....	15
Figura 9: Tipo de material y tipo de fallas del puente colapsan debido a la degradación ambiental.....	16
Figura 10: a) Corrosión uniforme, b) Corrosión localizada.....	18
Figura 11: Corrosión por picadura.....	18
Figura 12: a) ejemplo de ducto con grieta, b) micrografía óptica de la zona fracturada .....	19
Figura 13: Perfiles laminados en acero.....	24
Figura 14: Capa de oxidación en la superficie de acero estructural sin alea y de aceros resistentes a la intemperie .....	26
Figura 15: Plante general del puente.....	38
Figura 16: Elevación general del puente.....	39
Figura 17: Sección tipo del puente .....	39
Figura 18: Arco inferior.....	40
Figura 19: Arco Superior .....	41
Figura 20: Montante.....	41
Figura 21: Vigas transversales superiores .....	42
Figura 22: Vigas transversales inferiores.....	42
Figura 23: Descripción de la superestructura .....	44
Figura 24: Mapa eólico del Perú.....	47
Figura 25: Mapa de isoaceleración espectral suelo tipo D. PGA .....	49
Figura 26: Mapa de isoaceleración espectral suelo tipo D. Ss.....	50
Figura 27: Mapa de isoaceleración espectral suelo tipo B. S1 .....	50
Figura 28: Espectro de diseño.....	52
Figura 29: Vista general del modelo en CSi Bridge .....	55

Figura 30: Vista general del modelo en Tekla Structures.....	56
Figura 31: Vista frontal del modelo en Tekla Structures.....	56
Figura 32: Carga distribuida "Encofrado perdido" .....	57
Figura 33: Carga distribuida "Peso del concreto" .....	57
Figura 34: Carga distribuida "Carga muerta" .....	58
Figura 35: Camión de diseño .....	59
Figura 36: Tándem de diseño.....	59
Figura 37: Carga de carril .....	59
Figura 38: Carga Peatonal.....	60
Figura 39: Carga de viento en barlovento.....	61
Figura 40: Carga de viento en sotavento .....	61
Figura 41: Carga de viento WS.....	62
Figura 42: Flecha-Sobrecarga uniforme usando A709 .....	63
Figura 43: Flecha-Camión de diseño usando A709 .....	64
Figura 44: Factores de reducción.....	64
Figura 45: Combinaciones de carga.....	65
Figura 46: Barra de colores del puente con el acero A709.....	65

## RESUMEN

El objetivo del presente trabajo de investigación fue evaluar de manera técnica y económica el puente Noruega y proponer un material resistente a la intemperie, su uso tiene como alternativa rentable en superestructuras ya que está asociado con el mantenimiento y reemplazo de capa de protección de pintura, acero Corten (ASTM 588) o acero mejorado contra la corrosión es un tipo de acero de baja aleación y alta resistencia (el porcentaje de carbono es mayor al 0,2% y la cantidad total de otros elementos es menor al 5%), esto nos permite exponer el material al ambiente sin ningún sistema de protección en un ambiente adecuado para el desarrollo adecuado de la pátina de protección.

Al comparar analizar el diseño del puente Noruega acero mejorado contra corrosión, obtuvimos de resultados técnicos que las flechas son de valores similares y las ratios se manejan en rangos 0.95 cumpliendo con lo establecido en el manual de puentes y en comparación con el acero convencional se observan los mismos resultados.

A nivel económico se analizó que con el acero convencional generaos costos de mantenimientos preventivos de hasta 20.27 % durante toda la vida útil del puente, frente al nulo costo de mantenimiento si el puente se fabricaría con acero mejorado contra la corrosión.

Por lo cual se concluye que el acero mejorado contra la corrosión resulta una opción válida técnicamente y que genera costos menores en la vida útil del puente en comparación con el acero convencional usado para puentes.

**Palabras claves:** acero mejorado, aleación, resistencia, capa de protección, vida útil.

## ABSTRACT

The objective of the present research work was to evaluate the bridge in a technical and economic way and to propose a weather resistant material, its has as a profitable alternative in superstructures since it is associated with the maintenance and replacement of the paint protection layer, Norway steel Corten (ASTM 588) or improved corrosion-resistant steel is a type of low-activity, high-strength steel (the percentage of carbon is greater than 0.2% and the total amount of other elements is less than 5%). allows the material to be exposed to the environment without any protection system in a suitable environment for the proper development of the protective patina.

When comparing the design of the Norway bridge improved steel against corrosion, we obtained from technical results that the arrows have similar values and the ratios are handled in ranges of 0.95, complying with what is established in the manual of bridges and in comparison with conventional steel, the same results.

At an economic level, it was analyzed that with conventional steel, preventive maintenance costs of up to 20.27% were generated during the entire useful life of the bridge, compared to the zero maintenance cost if the bridge would be manufactured with improved steel against corrosion.

Therefore, it is concluded that the improved steel against corrosion is a technically valid option and that it generates lower costs in the useful life of the bridge compared to the conventional steel used for bridges.

**Keywords:** improved steel, prevention, resistance, protection layer, useful life.

## INTRODUCCIÓN

En el Perú, la falta de normativas que ayuden a que el mantenimiento de las estructuras de acero contra la corrosión atmosférica nos lleva a pensar en nuevas alternativas contra este fenómeno, una de ellas es el de nuevos aceros desarrollados especialmente para combatir la corrosión atmosférica, el acero mejorado contra la corrosión ya se encuentra siendo utilizado en muchas edificaciones pues genera un impacto importante en los costos de la vida útil de la estructura en la que se use.

Los puentes de acero se encuentran directamente expuestos al ambiente y si es que no se realiza el constante mantenimiento que estos requieren, no podremos asegurar que se comporten de manera eficiente durante todo su tiempo de vida, en los estudios de pre-inversión de muchos puentes de acero se puede visualizar que los costos por mantenimiento de estos pueden llegar a ser un gran porcentaje del costo de la fabricación del puente, afectando directamente a la realización de un proyecto tan importante como un puente.

La presente tesis se desarrolla por capítulos.

El capítulo I se menciona el planteamiento del problema, objetivo general y específico, delimitación de la investigación, importancia y justificación.

El capítulo II se desarrolló el marco teórico, antecedentes, bases teóricas, estructura técnica como científica que sustenta el estudio.

El capítulo III se menciona la hipótesis tanto general como específicas y las variables de investigación.

El capítulo IV encontramos el tipo y método de investigación, población de estudio, relación entre variables, técnicas, instrumentos y procedimiento de recolección de datos como también técnicas de procesamiento y análisis de datos.

El capítulo V se presenta el análisis y resultados, descripción del puente, características estructurales, modelamiento del puente, esto con ayuda del Software CSI Bridge.

EL capítulo VI se desarrolló el análisis de costo a nivel de pre-inversión, costos de inversión del proyecto, costos de mantenimiento, costos de inversión con una superestructura y mantenimiento con acero A709 y con acero A588.

EL capítulo VII se presenta la interpretación de resultados.

# **CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA**

## **1.1. Formulación y delimitación del problema**

En el Perú, existen pueblos que tienen poca o casi nula comunicación con sus vecinos más cercanos, y si es que existe una carretera que los comunique el comercio no es explotado de forma adecuada debido al gran trayecto que se debe formar entre ambos pueblos. Los puentes representan una solución a la incomunicación de estos dos pueblos que se encuentran separados ya sea por el cauce de un río o de un relieve muy accidentado.

Asimismo, los puentes de acero son los que mejor desempeño estructural muestran debido a sus grandes límites de fluencia frente a las solicitudes de tracción requeridas en un puente; sin embargo, estos al encontrarse completamente expuestos contra el medio ambiente se ven afectados por la corrosión, la cual es un proceso espontáneo y continuo que afecta a los elementos estructurales debido a la exposición de estos al ambiente haciéndoles perder sus propiedades mecánicas.

Para evitar el problema de la corrosión se plantean tipos de mantenimientos de prevención, para evitar que esta se inicie en cualquier elemento estructural, de estos se afirma que: “En la ingeniería vial la conservación, el mantenimiento de puentes y estructuras son unas de las actividades más importantes entre las que hay que realizar, para llevar a cabo la conservación de una red de carreteras. Su objetivo final, como la de toda labor de conservación, es la del mantenimiento de todas las condiciones de servicio de la infraestructura en el mejor nivel posible”. (Pecho, 2017)

Sin embargo también se sabe que: “En el Perú, la falta de normativa nacional en lo que se refiere a sistemas de protección con pintura ante la corrosión atmosférica del acero estructural metálicas, ocasionando un problema estético en las estructuras y sobre costo por mantenimiento de estas, el cual es 3 o 4 veces más caro que el realizar un sistema de protección antes de que las estructuras sean montadas”. (Lopez Pasapera, 2020)

Frente a esto y a las diversas condiciones climáticas en el país, crear una normativa nacional referida a la protección de las estructuras de acero se vuelve muy compleja, por ende ya no se busca un nuevo método de mantenimiento más eficiente o viable,



si no se opta por buscar un nuevo material que reemplace al acero convencional y que no requiera del cuidado al cual debemos someter a este último; el acero mejorado contra la corrosión es un nuevo material surgido inicialmente para ser usado sobre todo en edificaciones, pero que se ha comenzado a usar en las superestructuras como lo son los puentes. De este se afirma que “El acero resistente a la intemperie es un acero estructural de alta resistencia, acero que, en ambientes adecuados se desarrolla una capa de óxido fuertemente adherida o ‘patina’, lo que reduce significativamente la velocidad de corrosión en comparación con el acero estructural convencional, se ha utilizado desde el 1930 en vagones de carbón de ferrocarril, puentes, edificios, fachadas y muchos elementos arquitectónicos características tales como esculturas y paisajismo. Se ha utilizado ampliamente en América del Norte, Europa y Japón desde hace más de 55 años; y más los últimos 10 años en Nueva Zelanda. Cuando diseñado y detallado correctamente, teniendo en cuenta los factores ambientales que gobiernan su uso, ha exhibido un excelente rendimiento”. (Ungermann & Hatke, 2021)

Este nuevo material tiene un desempeño estructural casi idéntico al de los aceros convencionales usados en puentes, y además ayuda a reducir los costos durante la vida útil estos últimos, y la razón por la que no son usados a nivel nacional es por el desconocimiento o la muy poca información de estos nuevos materiales que cada vez se desarrollan más.

En esta investigación se establecerá una comparación en el expediente del puente Noruega, que ya ha sido diseñado con acero convencional ASTM A709Gr50 y una simulación del mismo puente, pero con acero mejorado contra la corrosión (ASTM A588) para ver la incidencia de este en la factibilidad del proyecto.

## 1.2. Objetivo general y específico

### 1.2.1. Objetivo General

Realizar la evaluación técnica y económica del puente Noruega con acero estructural convencional y acero mejorado contra la corrosión en Junín

### 1.2.2. Objetivo específico

- a) Realizar la evaluación técnica y económica del puente Noruega con acero estructural convencional y acero mejorado contra la corrosión en Junín.

- b) Analizar estructuralmente la superestructura del puente Noruega, aplicando los sistemas con acero estructural convencional y acero mejorado contra la corrosión
- c) Realizar el análisis de costo beneficio del puente Noruega, aplicando los sistemas con acero estructural convencional y acero mejorado contra la corrosión.

### 1.3. Delimitación de la investigación: temporal espacial y temática

#### 1.3.1. Delimitación Temporal

La evaluación técnica económica se utilizará el expediente técnico del puente Noruega ya aprobado con un acero ASTM A709Gr50 y las características técnicas económicas del mismo puente, pero con un acero mejorado contra la corrosión (ASTM A588), los datos serán considerados para la realización de la investigación propuesta serán enmarcados dentro del periodo de mayo a noviembre del 2022. Anexo 1: Cronograma de actividades.

#### 1.3.2. Delimitación Espacial

La investigación estará delimitada espacialmente por la carretera Marginal de la Selva Sur o Ruta nacional PE-5S (475700.509 m E) y la Av. Salvador Coronado (8790162.13664 m N), en el inicio del puente; además por la localidad de Perené 847552.662 m E) y Psj. Máximo Camarena (8790187.461 m N).

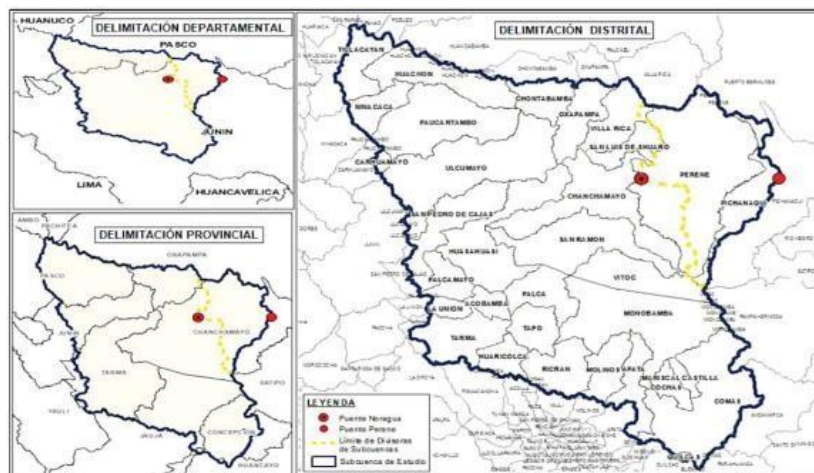


Figura 1: Área de estudio del proyecto puente Noruega

Fuente: (SIMA, 2019).

### 1.3.3. Delimitación Temática

La investigación estará delimitada temáticamente por el área de estructuras y de un análisis económico pues se busca implementar un nuevo material en los proyectos de puentes sin que se afecte la calidad estructural necesaria para la ejecución de este tipo de proyectos.

## 1.4.Importancia y Justificación

### 1.4.1. Justificación Práctica

Esta investigación busca realizar una comparación de las características técnicas y el impacto económico a nivel de factibilidad del proyecto, que generaría un acero estructural mejorado contra la corrosión, frente al acero convencional usado en los proyectos de puentes. De esta forma, se generará una nueva alternativa al momento de formular el diseño de un puente de acero, que genere menos costos en la vida útil de este y que pueda responder de manera eficiente a las solicitudes de cargas que se requiera un proyecto de su envergadura.

### 1.4.2. Justificación Teórica

El estudio se apoyará en las especificaciones estándar del acero ASTM A588 “Acero estructural de baja aleación y alta resistencia con un límite elástico mínimo de 5 ksi a 4 pulg.” Con estas especificaciones trabajaremos para que el mismo diseño estructural del puente, propuesto en el expediente técnico, cumpla con los requisitos mínimos estructurales propuestos por el manual de puentes, para justificar su uso de los aceros mejorados contra la corrosión en los proyectos de puentes.

### 1.4.3. Justificación Social

La construcción del puente Noruega ha beneficiado a la población de Perené, que asciende a más de 100 mil habitantes. Al igual que este puente que trae un mejor comercio a esta población, en el Perú hay muchos pueblos que necesitan de un puente para generar un progreso económico y social; sin embargo muchos de los proyectos de puentes se quedan en fase de estudios de pre-inversión debido a que el costo del proyecto es mayor al costo de los

beneficios que generaría a una población emergente. Ante esto, en esta investigación se realizará una comparación del puente Noruega diseñado con acero convencional y con acero mejorado contra la corrosión, haciendo enfoque en el aspecto técnico y económico, para determinar que el puente Noruega diseñado con acero mejorado contra la corrosión cumple con las solicitudes de carga y genera menos costos; sirviendo de ejemplo para que este nuevo material sea propuesto en los nuevos proyectos de puentes y pueda mejorar los estudios de pre-inversión para poder concretar los proyectos de puentes en poblaciones como las de Perené.

#### 1.4.4. Justificación Económica

Esta investigación se basa en establecer una comparación costo-beneficio de un puente con un acero convencional y un acero mejorado contra la corrosión para demostrar la incidencia de un nuevo material, cuya principal virtud la resistencia contra la corrosión, reduciendo así en un 10% del costo total en mantenimiento.

#### 1.4.5. Justificación Técnica

En esta investigación buscaremos indicar, mediante un modelamiento en un software de diseño de puentes, que un acero mejorado contra la corrosión cumple con los parámetros de diseños establecidos por el manual de puentes vigente; y se establecerá una comparación de un modelamiento con acero convencional para ver la confiabilidad del diseño con nuestro nuevo material.

#### 1.4.6. Importancia

La importancia de este estudio recae en el análisis de un nuevo material como alternativa a los ya convencionales para mejorar la factibilidad de los proyectos de puentes, sin que estos pierdan la calidad técnica requerida; logrando así ejecutar muchos más en un país como el nuestro que tiene una geografía tan variada y sobre todo garantizar el tiempo de vida de estos, ya que, ante una carencia política de mantenimiento de los puentes, tenemos a muchos en condiciones muy malas.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes de la investigación

#### 2.1.1. Investigaciones Internacionales

Coello L. (2021) en su investigación “Análisis estructural comparativo de vigas simplemente apoyadas de hormigón pretensado y vigas de acero para el puente Trobador ubicado en el Km 26-Naranjal/Guayas aplicando el Grillage Method”, en Ecuador; tuvo como objetivo el análisis técnico comparativo de las vigas hormigón y vigas de acero A588 apoyados en el método Grillage Method para los esfuerzos máximos por carga viva que puede provocar esfuerzos de flexión sobre las vigas. Dando como resultado que las vigas de hormigón armado en algunos requerimientos se encontraban trabajando casi al límite de los requerimientos de las normas, caso contrario ocurrió con las vigas de acero; dentro del análisis económico tenemos que a pesar del gran costo del acero este resulta más económico a lo largo del proceso constructivo pues reduce tiempos en las etapas de montaje e instalación. El autor concluyó que la comparación entre los 2 materiales ante cargas de servicio satisface lo suficiente según las normas AASHTO LRFD. Ante esta investigación, podemos concluir que en otros países ya se están utilizando los aceros mejorados contra la corrosión (Acero a588) y estos se comportan de una manera más eficiente en comparación con puentes de hormigón armado, haciendo de estos una alternativa más que atractiva para su uso en los proyectos de puentes.

J.T. Rupp (2020) en su investigación “Uncoated weathering Steel bridge data collection and performance assessment: bridge maintenance practices, deicing agent use, and field sampling” en Delaware, Estados Unidos; tuvo como objetivo desarrollar recomendaciones sobre las condiciones ambientales y las prácticas de mantenimiento que pueden ser el más adecuado para puentes de carretera con acero resistente a la intemperie (UWS). El trabajo previo incluyó el desarrollo de una base de datos nacional UWS GIS para cuantificar los entornos. Esta base de datos se utilizó para seleccionar

estratégicamente 21 puentes UWS para evaluaciones de campo en 7 estados con el fin de cualitativamente evaluar el rendimiento de las pátinas de óxido y recolectar muestras de óxido para su evaluación usando Métricas cuantificables. Parte de esta investigación también incluyó recopilar y analizar datos de mantenimiento recopilados de agencias estatales de carreteras a lo largo de los Estados Unidos. Estos datos incluyen información de 34 carreteras estatales, manuales de mantenimiento de puentes de agencias y prácticas de lavado de puentes de 33 carreteras estatales. También se obtuvieron datos de uso de agentes des congelantes de 39 agencias estatales de carreteras y bases de datos existentes. Las correlaciones entre los diferentes tipos de datos que se recolectaron fueron evaluadas para investigar cualquier tendencia en el rendimiento del puente UWS en función del entorno, condiciones y prácticas de mantenimiento. Como resultado se presentó diferencias en el rendimiento de UWS cuantificado por las concentraciones de cloruro y tamaños de partículas de óxido superficial basados en ubicaciones de vigas protegidas interiores y exteriores, ubicaciones de vigas expuestas. Los datos cuantificables obtenidos de esta investigación serán útiles para XX evaluar las tendencias de rendimiento del puente UWS con un conjunto de datos más grande para actualizar especificaciones y prácticas de mantenimiento que involucran puentes UWS. El autor concluyó que con los resultados se brindaron mejores oportunidades para actualizar y perfeccionar los protocolos de evaluación de campo en puente UWS. En conclusión, si los detalles estructurales tienen un proceso adecuado de diseño y el acero se encuentra expuesto en ambientes adecuados se formará una capa protectora de óxido lo cual ofrece ahorros potenciales durante su ciclo de vida de la estructura sin necesidad de aplicar una pintura.

Vít Křivý (2022) sobre “Corrosion Damage to Joints of Lattice Towers Designed from Weathering Steel”, tuvo como objetivo evaluar el rendimiento estático y frente a la corrosión de las uniones traslapadas atornilladas en operaciones a largo plazo, y también presentar y evaluar medidas de diseño que se pueden aplicar en el diseño de nuevas torres de celosía, o en la reconstrucción de estructuras ya en funcionamiento. Como

resultado el análisis y ensayos destructivos de uniones atornilladas muestran que el desarrollo de productos de corrosión en la grieta no tiene un efecto significativo de la capacidad portante de la junta, siempre que no haya un debilitamiento significativo por corrosión de los elementos estructurales y pernos de clase 8.8 o 10.9. El autor concluyo que el foco principal de daño por corrosión en las uniones atornilladas no afecta significativamente al elemento. En conclusión, el uso del acero mejorado contra la corrosión presenta ahorro de costos en comparación del acero convencional que son protegidos con un sistema de revestimiento.

Amanda Bao (2019) sobre su investigación “Structural Capacity Analysis of Corroded Steel Girder Bridges”, tuvo como objetivo investigar la capacidad estructural de estos materiales corroídos, ya que más del 9% de los puentes en los Estados Unidos fueron etiquetados como estructuralmente deficientes según el American 2017 Informede infraestructura de la Sociedad de Ingenieros Civiles. Dando como resultado que las principales causas del deterioro de los puentes son las cargas vehiculares repetidas y las exposiciones ambientales. La forma de deterioro más dominante para los puentes de acero es la corrosión, que se caracteriza por la pérdida de área de metal que resulta en una reducción de la capacidad estructural. La corrosión en puentes de vigas múltiples de acero es común en regiones frías debido al uso frecuente de productos químicos des congelantes durante la temporada de invierno, así como las fugas causadas por daños en las juntas del puente. El autor concluyo que el adelgazamiento del alma debido a la corrosión tiene un efecto significativo en la resistencia al corte y al pandeo de la viga. Desarrollo de la oxidación extensa puede reducir drásticamente la capacidad estructural de la viga. Una reducción del 10 % en el espesor efectivo de la red puede dar como resultado una pérdida de resistencia al pandeo del 25% o más debido a la disminución del área de sección transversal efectiva del alma, así como al aumento relación ancho-espesor de la red. En conclusión, la pérdida del espesor del alma debido a la corrosión tiene un efecto importante en la resistencia de la viga, ya que no se realiza un adecuado mantenimiento.

### 2.1.2. Investigaciones Nacionales

Montenegro (2019) en su investigación “Inspección de la superestructura y propuesta de un plan de mantenimiento preventivo del puente vehicular Sanchez Cerro, Ubicado entre los distritos Piura y Castilla, provincia de Piura, Perú” en Lima; con el objetivo de evaluar del puente vehicular Sanchez Cerro por medio de una inspección visual y un análisis estadístico de la condición de este, para luego proponer un plan de mantenimiento preventivo aplicado a la superestructura del puente. Dando como resultado que entre las patologías presentes en la superestructura se encuentra la corrosión de gran medida en los perfiles de acero; lo que lleva a proponer un cambio total en los elementos que presentan esta patología. El autor concluyo que las patologías encontradas en la superestructura fue de mayor frecuencia la pintura en mal estado. En conclusión, podemos tener una apreciación que los mantenimientos preventivos contra la corrosión deben estar bien planteados desde la fase de proyecto y se debe ir actualizando durante toda la vida útil de la superestructura, para lo cual se requiere una política de mantenimiento de puentes sólida, algo que en nuestro país aún no está implementado.

Pérez (2019) en su investigación “Acción erosiva del medio ambiente en estructuras metálicas de puentes peatonales entre km 6+792 km - 20+372 Panamericana Norte - Lima - 2019” en Lima; tuvo como objetivo de determinar la acción erosiva del medio ambiente, en la superestructura de los puentes peatonales en un sector de la Panamericana Norte. Como resultado, en esta zona del país la corrosión atmosférica está entre categoría media y alta y esto sumado a que las estructuras metálicas de estos puentes están expuestas directamente al medio ambiente, hace necesario que se aplique un recubrimiento anticorrosivo que tiene un significativo impacto en la vida útil de la estructura. El autor concluyo que un proceso de tratamiento superficial que tiene un efecto significativo en la vida útil del metal, pues es ahí donde se da la adherencia metal – pintura; además en el proceso de tratamiento superficial se da la rugosidad que también se le conoce como perfil de anclaje, factor que se puede medir, la norma peruana recomienda un perfil comprendido entre 1.5 a 2.5 mil, concluyendo que al no existir una



adherencia en la pintura con el metal, la pintura se puede desprender de la superficie en contacto, dejando a la estructura expuesta al medio ambiente. En conclusión, podemos determinar que los métodos de protección contra la corrosión en una estructura metálica son vitales para la vida útil de estas, sin embargo, también podemos saber que estos métodos muchas veces son ineficientes sin un buen planeamiento de mantenimiento.

Mañueco I. (2018) en su investigación “Evaluación de 4 puentes vehiculares tipo viga sobre el río Rímac utilizando el manual de inspección del MTC y software CSIBRIGDE” publicado Lima, Perú; tuvo como objetivo la evaluación de 4 puentes vehiculares apoyándose en el Manual de inspección del MTC además de usar el software CsiBrigde, calificando el estado de estos puentes y analizando los elementos estructurales de estos. Como resultado los aceros corten representa una alternativa conveniente en la construcción de puentes de acero en cuanto a funcionalidad y economía. El hecho de que los elementos de acero corten tengan resistencia a la corrosión sin necesidad de utilizar un sistema de protección de pintura conlleva a que tengan un menor costo inicial y de mantenimiento cuando son utilizados en un ambiente adecuado. Su uso se recomienda para estructuras donde el acceso es difícil o peligroso como pueden ser zonas montañosas o cuando se requiere minimizar la interrupción del tráfico. EL autor concluyo que el software CsiBrigde, permite analizar elementos estructurales de puentes existentes, para verificar si el acero de refuerzo colocado en vigas es suficiente para resistir los esfuerzo a flexión y a corte por la capacidad de carga vehicular, esto ayuda a verificar si puentes construidos en la actualidad se encuentran dentro de los parámetros permitidos por la norma y no sufrirían fallas por el alto tránsito vehicular a futuro. En conclusión, podemos tener una apreciación que los aceros mejorados contra la corrosión pueden ser usados en puentes para la reducción de costos en los mantenimientos de estos, asegurando la vida útil y funcionalidad de los puentes.

## 2.2. Bases teóricas vinculadas a las variables

### 2.2.1. Puentes de acero

El acero es uno de los materiales más empleados en el mundo de la construcción, velocidad para la construcción, adaptación ante cambios de diseño, ahorro de espacio y economía son las ventajas que posee el acero como material estructural (Carpio Utrilla, pág. 44)

En la actualidad existe un extenso abanico de opciones en cuanto a puentes, sin temor a equivocarse se puede decir que los puentes a lo largo de la historia han estado en constante desarrollo tanto en materiales con mejores propiedades mecánicas y menores costos. (Manterola, 1984)



Figura 2: Puente de las Américas

Fuente: (Ladret, 2011)

El primer puente en emplear el acero tal como es conocido en la actualidad fue el Puente Eads sobre el río Mississippi en los Estados Unidos. Toma su nombre del ingeniero que lo diseñó y construyó James Buchanan Eads. El puente tiene tres luces importantes de 153, 159 y 153 m en un arco con doble tablero, diseño sin precedentes para su época. La construcción del arco se realizó en el lugar y las fundaciones emplearon también el sistema caisson, por primera vez en los Estados Unidos. El máximo exponente del diseño en acero en Europa fue el ingeniero Gustave Eiffel, cuya obra más destacada en puentes se considera el Viaducto del Viaur en Francia, compuesto por un arco triarticulado de 220 m de luz realizado en voladizos de 95 m. El puente que tuvo récord de luz hasta hace muy poco tiempo de este grupo fue el Bayonne Bridge emplazado en el estado de New Jersey, cruza el río Kill van Kull uniendo la ciudad de Bayonne con Staten Island en New York. El puente

fue construido en 1931 y fue iniciado en época de la gran depresión como una obra pública del Puerto de New Cork con el fin de incrementar el empleo, tiene un arco parabólico biarticulado de 511 m de luz y 81 m de radio con una altura de 46m sobre el nivel del agua, en la parte superior del arco se anclan los cables que soportan el tablero. (Rosario, 2002)



Figura 3: Puente Eads

Fuente: (Domínguez, 2021)

Los puentes de acero pueden clasificarse según lo indicado en la tabla 1:

Tabla 1:  
Clasificación de puentes de acero.

Material	Estructura
Acero	Simplemente Apoyado
	Continuo
	Reticulado
	Arco
	Atirantado
	Colgante
	Especiales

Fuente: Elaboración Propia

### **Puentes de acero**

Es una estructura, cuyas vigas o armaduras tienen forma de arco y descansan sus extremos sobre apoyos o soportes. Están sometidos principalmente a esfuerzos de compresión. El esfuerzo de tensión es despreciable, sin embargo, a mayor grado de curvatura, la tensión incrementa (ICOTEC, 2012).



Figura 4: Puente Coalbrookdale

Fuente: (Wikipedia, 2022). Recuperado de: <https://es.wikipedia.org/wiki/Ironbridge>

### **Arco con tablero inferior:**

Los arcos con tablero inferior se caracterizan por tener vigas de apoyo conectadas a los arcos en los apoyos extremos, esta configuración es llamada usualmente arranque de arco, las vigas actúan como tirantes que impiden el desplazamiento relativo de los apoyos. (Lazo Domenack & Barba Estrada, 2019)



Figura 5: Puente Combapata

Fuente: (MTC, 2020)



**Arco con tablero intermedio:**

El paso vehicular se encuentra situado a una cota comprendida entre el ápice y los arranques del arco, de forma que la parte central del tablero queda colgada del arco.



Figura 6: Puente arco de la Vicaria

Fuente: (Pérez-Fadón Martínez & Beneít, 2010)

**Arco con tablero superior:**

El tablero se encuentra por encima de la estructura. (Valencia, 2022)



Figura 7: Puente de Luis I

Fuente: (Troyano, 2015)

### 2.2.2. Corrosión

El fenómeno de corrosión es tan antiguo como la propia historia de los metales y ha sido visto como una amenaza que destruye a los metales y las estructuras. Hay un registro histórico de la observación de la corrosión por varios escritores, filósofos y científicos. (Espinoza Vázquez, 2022)

Las contribuciones más importantes fueron realizadas por Faraday (1791-1867), que establece una relación cuantitativa entre la acción química y la corriente eléctrica. La primera y segunda ley de Faraday son la base para el cálculo de las velocidades de corrosión de los metales.

La mayoría de los metales se obtienen a partir de especies minerales estables en condiciones naturales. Por tanto, al exponerse a las condiciones ambientales tienden a estabilizarse química y energéticamente. El regreso espontáneo de estos materiales a su estado natural combinado es la corrosión. Por lo que este proceso puede definirse como la degradación paulatina de los materiales metálicos debido al medio exterior en el que estén expuestos, generando un deterioro en sus propiedades físicas y químicas. Uno de los factores que limitan la vida de las piezas metálicas en servicio es el ataque químico o fisicoquímico que sufren en el medio que les rodea. (Durán Olvera, 2017)

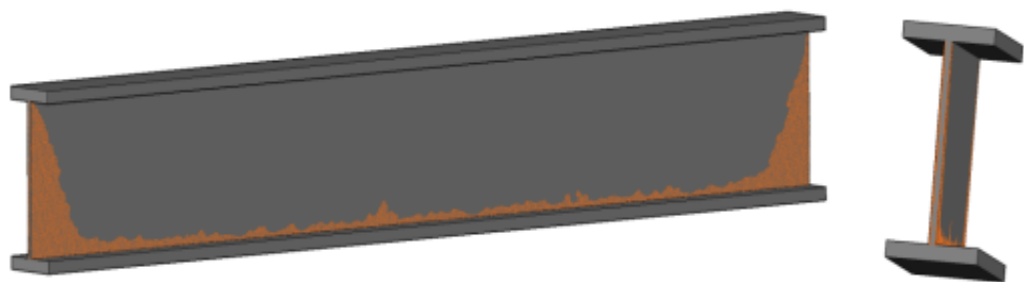


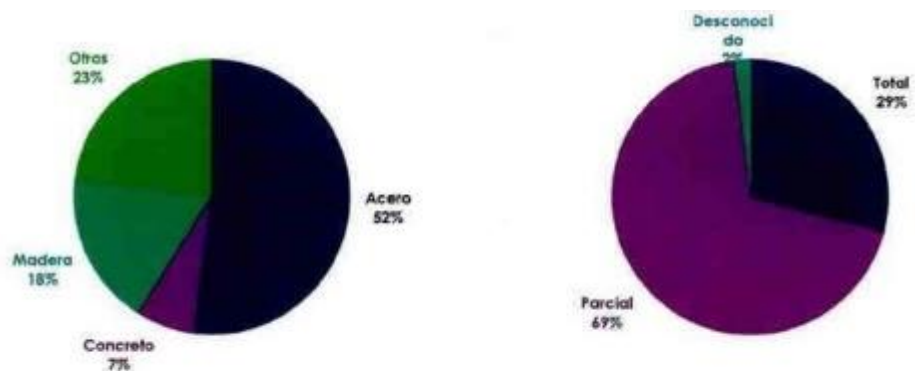
Figura 8: Corrosión típica de una viga de acero en el alma y el ala

Fuente: (Bao, 2019)

A nivel industrial esta degradación genera como consecuencia pérdidas millonarias. Al año se destruye hasta un 25% de la producción anual de acero por deterioro de estructuras, maquinaria, tuberías, etc.

Los materiales utilizados en los puentes son vulnerables a la degradación ambiental. En los puentes de acero, el metal primario utilizado es hierro y pueden ocurrir muchos problemas cuando este metal está en el medio ambiente.

La corrosión y la oxidación son dos problemas importantes, conocidos como “oxidación”, que pueden debilitar la capacidad de los puentes, sea lo que sea que se alimente, y parecen burbujear el metal. Los elementos estructurales del puente que contienen suficiente óxido pueden hacer que el puente se doble completa o parcialmente como se ve en la Figura 9 (b). En este estudio, 71 de los 1062 puentes colapsados debido a la degradación ambiental. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2019)



(a) Tipo de material de los puentes fallidos debido a la degradación ambiental (71 fallas)

(b) Tipo de falla debida a la degradación ambiental (71 fallas).

Figura 9: Tipo de material y tipo de fallas del puente colapsan debido a la degradación ambiental Fuente: (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2019)

## Tipos de corrosión

### Clasificación según el mecanismo

De acuerdo con la naturaleza del medio corrosivo, la corrosión metálica comprende la corrosión química y la corrosión electroquímica:

- La corrosión química; comprende el ataque por sistemas no electrolíticos, tales como gases y vapores a temperaturas que impiden su condensación sobre la superficie metálica o por líquidos no conductores de la corriente eléctrica.

- La corrosión electroquímica; comprende la corrosión atmosférica en aire húmedo, la producida en suelos, y la provocada por medios electrolíticos (agua de mar, soluciones ácidas, sales y álcalis) y por sales fundidas. (Durán Olvera, 2017)

### **Clasificación según su morfología**

Distintos autores clasifican la corrosión utilizando diferentes criterios, uno de ellos es de acuerdo con su aspecto (morfología). La forma más común de clasificar la corrosión de acuerdo con su morfología es en corrosión uniforme y localizada. A su vez la corrosión localizada se diversifica en varias formas, aunado a ello dos o más modos de corrosión pueden presentarse en un solo proceso de corrosión. Normalmente se establece la clasificación de la corrosión según el aspecto externo de la superficie afectada y las alteraciones que causan en las propiedades físicas del material. (Durán Olvera, 2017)

- Corrosión general o uniforme

La corrosión generalizada, también nombrada corrosión uniforme, ocurre sobre toda la superficie del material de forma homogénea, deteriorándolo completamente. Este tipo de corrosión es el que mayor pérdida de material provoca, pero es relativamente fácil de predecir y controlar, por lo que un accidente producido por este es de rara ocurrencia. Se puede observar comúnmente en materiales, sobre todo en la industria de la construcción, a base de hierro no aleado con metales inoxidables, como el níquel y el cromo. (Tello Gonzáles, Martínez Barrera, Viguera Santiago, & Varela Guerrero, 2022)

Las condiciones necesarias para que se lleve a cabo este tipo de corrosión son las siguientes:

- a) La corrosión electroquímica es el único mecanismo de deterioro.
- b) Las reacciones anódica y catódica se llevan a cabo por toda la superficie del electrodo, pero no al mismo tiempo en el mismo lugar, es decir, las reacciones anódica y catódica cambian de lugar constantemente.



Estrechamente relacionado con este comportamiento dinámico se asume que:

- c) No hay diferencias de concentración macroscópicas significativas en el electrolito a lo largo de la superficie del metal, y la composición y microestructura del metal es bastante homogénea. (Durán Olvera, 2017)

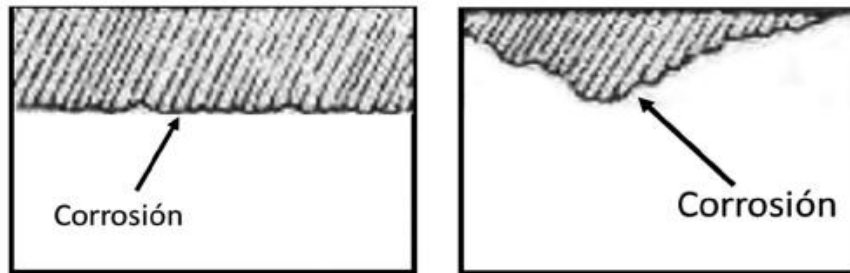


Figura 10: a) Corrosión uniforme, b) Corrosión localizada

Fuente: (Tello Gonzáles, Martínez Barrera, Viguera Santiago, & Varela Guerrero, 2022)

- Corrosión por picadura

La corrosión por picadura, conocida también como pitting se presenta en materiales pasivados, debido a las características geométricas del sistema, existe una acumulación de agentes oxidantes y un incremento del pH del medio, lo que propicia el deterioro de la capa pasivada, permitiendo que la corrosión se desarrolle en estas zonas puntuales. (Tello Gonzáles, Martínez Barrera, Viguera Santiago, & Varela Guerrero, 2022)

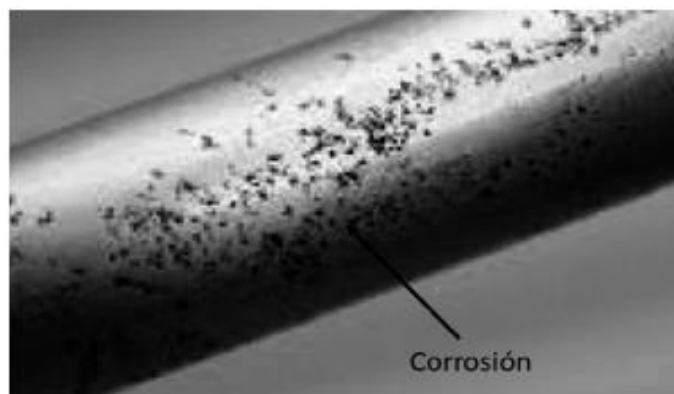


Figura 11: Corrosión por picadura

Fuente: (Tello Gonzáles, Martínez Barrera, Viguera Santiago, & Varela Guerrero, 2022)

- Corrosión por fisura

Este tipo de corrosión es similar a la corrosión galvánica, que se produce en zonas estrechas donde la concentración de oxígeno es mucho menor que en el resto del sistema, y cuyo efecto induce a que estas zonas de menor concentración de oxígeno actúen como un ánodo, propiciando el proceso de corrosión, en las fisuras.

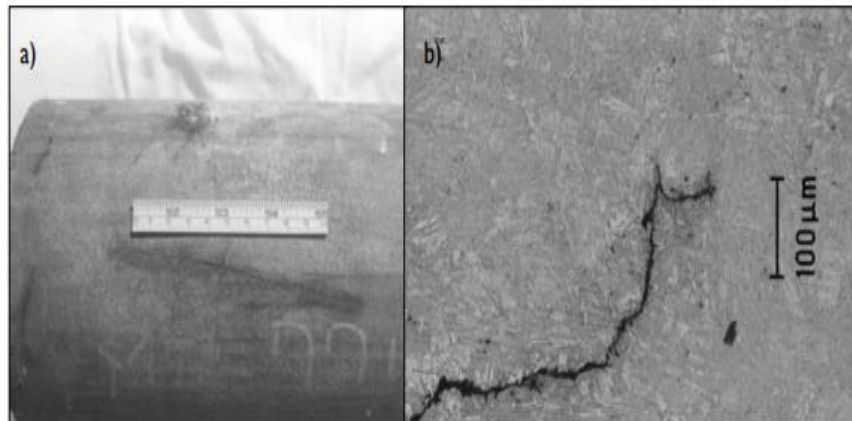


Figura 12: a) ejemplo de ducto con grieta, b) micrografía óptica de la zona fracturada  
Fuente: (Espinoza Vázquez, 2022)

- Corrosión combinada con un fenómeno físico

Este tipo de corrosión también se puede incluir dentro de la clasificación de corrosión localizada, pero la diferencia con estos es que se encuentran condicionados por la presencia de un fenómeno físico, que funciona como iniciador del proceso de corrosión.

- Corrosión - erosión

Este tipo de corrosión se observa en sistema de transportes de fluidos hechos con materiales pasivados, donde existen partículas de mayor dureza que la capa de pasivación. Estas partículas al estar en movimiento erosionan la capa pasivada, permitiendo que el proceso de corrosión se desarrolle. (Javagerdashti, 2008)

- Corrosión - tensión

Ocurre cuando en un material, sometido a esfuerzo de tensión, ya sea de forma interna o externa, se forman pequeñas fisuras, que dan inicio al proceso de corrosión. El material que permanece en ambos fenómenos se deteriora con mayor rapidez, que, si estuviese bajo el efecto individual de cada uno, ya que la corrosión debilita el material, lo cual permite que la tensión tenga mayor impacto, fracturando en mayor medida el material, lo cual a su vez incita a que la corrosión se propague en un área mayor, y así, sucesivamente. (Revie & Uhlig, 2011)

- Corrosión - fatiga

Este proceso se desarrolla en materiales, sujetos a esfuerzos externos, similar al de tensión, con la diferencia de que estos esfuerzos son cíclicos o fluctuantes. De igual forma que con el proceso de tensión, el material se deteriora en mayor medida mediante la combinación de los dos fenómenos, comparado a cada uno por separado. (Revie & Uhlig, 2011)

#### Otros tipos de corrosión

También existen muchos tipos de corrosión que no caen dentro de las categorías anteriores. Algunos de estos son, la desaleación, la corrosión filiforme y la oxidación.

- Desaleación

La desaleación es un proceso de corrosión que actúa sobre aleaciones metálicas, en donde uno de los elementos, de mayor afinidad con el oxígeno, se separa de la aleación y dejan una estructura porosa de pobres propiedades conformada por el resto de las constituyentes. El proceso se nombra alternativamente respecto al elemento que se separa de la aleación como, por ejemplo, la descalcificación para el latón, aleación que sufre comúnmente de este tipo de corrosión, en la cual se separa el zinc de la matriz de cobre.

- Filiforme

La corrosión filiforme se presenta en ambientes de alta humedad sobre materiales con recubrimientos orgánicos (pinturas), los cuales, al ser rayados, se induce el desarrollo de la corrosión, que se propaga como filamentos delgados. (Revie & Uhlig, 2008)

- Oxidación

La oxidación es un tipo de corrosión que se desarrolla en procesos de alta temperatura, en la presencia de algún gas oxidante, como el oxígeno, azufre y elementos halógenos. Las reacciones relacionadas son meramente químicas al no existir un electrolito de por medio, por lo que también se conoce como corrosión seca. Las moléculas del gas oxidante reaccionan con el material involucrado, donde, por efecto de la temperatura, el compuesto formado se difunde al interior del material, permitiendo que el proceso continúe, fragilizando el material. (Tello Gonzáles, Martínez Barrera, Vigueras Santiago, & Varela Guerrero, 2022)

### **Control de la corrosión y protección de materiales**

Debido a las implicaciones económicas, de seguridad y de conservación de materiales, que envuelven los efectos negativos de los procesos de corrosión actualmente se ha investigado y desarrollado diferentes tipos de métodos para el control de este fenómeno, permitiendo proteger los materiales expuestos a este. (Schweitzer & García, 2010)

La selección de un material resistente a la corrosión siempre es el primer tipo de control que se debe considerar. Esto en muchas ocasiones no es posible, ya que este es limitado por (1) las condiciones del medio circundante; (2) las condiciones dimensionales y geométricas necesarias en el material en función de la aplicación requerida; y (3) un costo económico elevado. Lo cual hace que la selección de un material resistente no sea factible y/o posible, por lo que se deben considerar otros tipos de métodos para esto.

A continuación, se presentan algunos métodos de control de la corrosión, para la protección de los materiales afectados. Estos son los que más se emplean a nivel comercial.

### **Inhibidores**

Un inhibidor es una sustancia química que, al añadirse al medio corrosivo, disminuye la velocidad de corrosión. Existen varios tipos de estas sustancias; los más conocidos son los anódicos y catódicos. Revie, R.W. and Uhlig, H.H. (2008) Corrosion and Corrosion Control. An Introduction to Corrosion Science and Engineering. 4th Edition, John Wiley & Sons, New Jersey.

- **Inhibidores anódicos (pasivadores)**

Los inhibidores anódicos, también llamados pasivadores son sustancias oxidantes, por lo general, inorgánicas, que aumentan el potencial electroquímico del material por proteger, volviéndolo más noble. (Revie & Uhlig, 2011)

- **Inhibidores catódicos**

Los inhibidores catódicos controlan el pH del medio corrosivo, que impide que las reacciones de reducción ocurran, Estos evitan la reducción ya sea, de iones de hidrógeno en (1) moléculas de hidrógeno, en medios ácidos, o (2) de oxígeno, en medios alcalinos. (Revie & Uhlig, 2011)

### **Recubrimientos orgánicos**

Los recubrimientos orgánicos son de sustancias a base de polímeros (pinturas), resistentes a la degradación, que se emplean para recubrir el material por proteger. Estos actúan mediante ya sea, (1) la formación de una barrera, que impide en gran medida la penetración de oxígeno y agua, o (2) la inhibición del proceso de corrosión, al incrementar tanto la resistividad eléctrica como la iónica, cortando el ciclo de corrosión. (Schweitzer, Becker, Schachner, Nave, & Werner, 2006)

### **Recubrimientos metálicos**

Consiste en recubrir el material a proteger con algún metal que tenga mayor resistencia a la corrosión. Existen diferentes métodos para efectuar estos recubrimientos, y los más utilizados son el electroplating y el galvanizado. (Revie & Uhlig, 2008)

- **Electroplating**

Es un proceso de protección en el que se utiliza una corriente eléctrica externa para depositar un material con mayor resistencia a la corrosión sobre su superficie.

- **Galvanizado**

El material por proteger se sumerge sobre un baño del metal de recubrimiento, el cual tienen un mayor potencial electroquímico.

#### 2.2.3. Acero

El acero se define como una combinación de hierro y pequeñas cantidades de carbono, generalmente menos del 1%. También contiene pequeños porcentajes de algunos otros elementos. Aunque se ha fabricado acero desde hace 2 000 o 3 000 años, no existió realmente un método de producción económico sino hasta la mitad del siglo xix. (JACK C. McCORMAC, 2012) Los primeros perfiles estructurales hechos en Estados Unidos, en 1819, fueron ángulos de hierro laminados. Las vigas I de acero se laminaron por primera vez en ese país en 1884 y la primera estructura reticular (el edificio de la Home Insurance Company de Chicago) fue montada ese mismo año. El crédito por inventar el “rascacielos” se le otorga generalmente al ingeniero William LeBaron Jenny, que ideó esta estructura, aparentemente durante una huelga de albañiles. Hasta ese momento los edificios altos en Estados Unidos se construían con muros de carga de ladrillos de varios pies de espesor. (JACK C. McCORMAC, 2012)

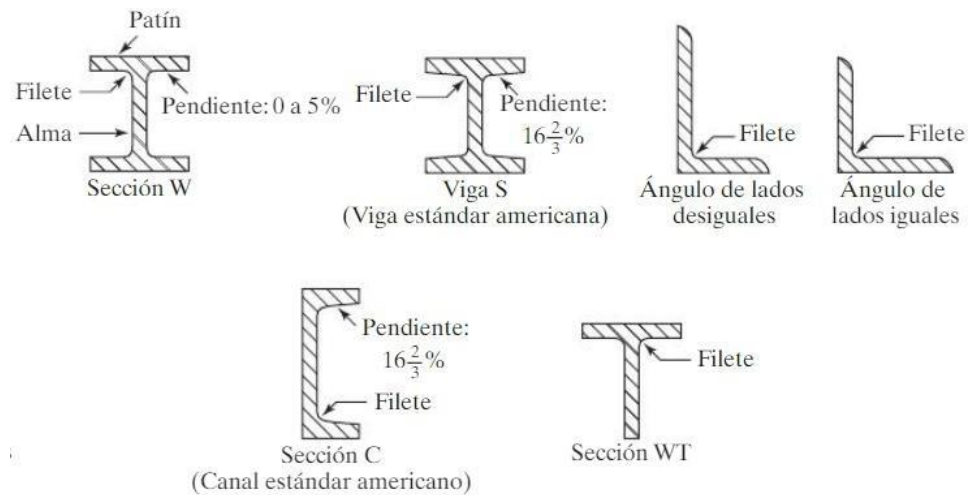


Figura 13: Perfiles laminados en acero

Fuente: (JACK C. McCORMAC, 2012)

### Acero Convencional:

Según Flores (2019) presenta las siguientes ventajas y desventajas del acero convencional.

#### A. Ventajas del acero convencional

- El acero es un material de alta resistencia, de este modo, sin utilizar grandes secciones es capaz de soportar cargas importantes sin tener que cargar a la estructura con valores de peso propio altos.
- Es un material dúctil, lo que le permite absorber daño a la estructura y en caso de colapso da oportunidad de evacuar la estructura.
- Si bien es cierto, para el concreto armado y para el acero consideramos un modelo bilineal donde hasta cierto punto el material es elástico. Pero el acero estructural tiene propiedades elásticas que lo hacen cumplir de manera más real ese comportamiento idealizado.
- La facilidad con la que se puede montar y desmontar una estructura de acero supera muy fácilmente a la velocidad con la que se trabajan muchos otros materiales, ahorrando de este modo grandes costos en mano de obra, alquiler de equipos y permisos a

las distintas municipalidades donde se dispone a realizar la estructura. Esto es una ventaja realmente importante si el tiempo viene a ser un factor determinante, es decir, si la construcción de la estructura es de carácter urgente.

#### B. Desventajas del acero convencional

- Requiere mayor mantenimiento y recubrimientos especiales en caso de que exista algún incendio en la estructura.
- Es un material relativamente costoso para el medio, donde la mano de obra para una obra en concreto podría resultar más módica.
- Las secciones de acero estructural tienden a ser más susceptibles al pandeo, debido a su esbeltez y los tipos de perfiles que se utilizan.

#### **Acero mejorado contra la corrosión:**

Acero estructural de alta resistencia y baja aleación que puede ser expuesto al medio ambiente normal (no marino) sin ningún tipo de pintura protectora. (ANSI/AISC, 2010)

El acero A588 contiene menos fósforo y es una versión más delgada del acero A242. Es menos corrosivo y también es más fácil soldar. El acero A588 enumeró inicialmente los grados A, B, C, D, E, F, G, H, J y K, sin embargo, muchos grados también se eliminaron cuando las empresas siderúrgicas entraron en quiebra o fueron compradas por otras empresas siderúrgicas. La última edición de La especificación A588 ASTM enumera solo cuatro grados, A a C y K.

#### A. Propiedades del acero mejorado contra la corrosión

Cuando el acero resistente a la intemperie se expone a la atmósfera ambiente se desarrolla una primera capa de óxido de hierro de la misma manera que el carbono acero. La velocidad de oxidación depende de cómo mucho oxígeno, humedad y atmósfera. Los contaminantes pueden acceder a la superficie del metal. En las etapas iniciales, una mezcla compleja de óxidos de hierro cubre la superficie para crear una capa de



óxido. A medida que avanza el proceso, la capa de óxido forma una barrera contra el agente corrosivo y la velocidad de corrosión lento. (ACAUM, 2015)

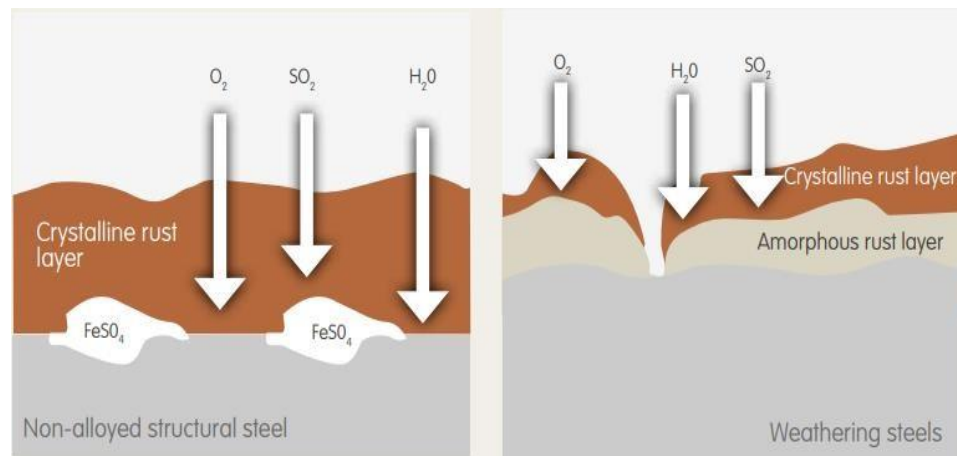


Figura 14: Capa de oxidación en la superficie de acero estructural sin aleación y de aceros resistentes a la intemperie

Fuente: (ACAUM, 2015).

### B. Donde utilizar el acero mejorado contra la corrosión

Al igual que con otras formas de materiales de construcción, hay ciertos ambientes que pueden conducir a problemas de durabilidad. El desempeño de acero resistente a la intemperie en estos entornos puede no ser satisfactoria y su uso en estos deben evitarse los ambientes. (Raed El Sarraf, 2017)

Tabla 2:

Atmospheric corrosivity categories to AS 4312 and AS/NZS 2312

Corrosivity Categories	Description	Corrosion Rate for Steel ( $\mu\text{m}/\text{year}$ )	Typical Exterior Environment
C1	Very Low	<1.3	Alpine Areas
C2	Low	1.3 to 25	Rural/urban
C3	Medium	25 to 50	Coastal
C4	High	50 to 80	Sea-shore (calm)
C5	Very High	80 to 200	Sea-shore (surf)/offshore

Fuente: (Raed El Sarraf, 2017). Atmospheric corrosivity categories to AS 4312 and AS/NZS 2312 and description of typical environments.

### C. Ventajas del acero mejorado contra la corrosión

- Una de las principales ventajas de UWS es el ahorro que puede proporcionar en términos de costos de construcción. M. Morcillo (2013) afirma que el acero Cor-Ten proporcionó el 30% mejora en las propiedades mecánicas en comparación con el acero al carbono (CS). Esto es debido a mayor contenido de fósforo en el acero Cor-Ten temprano, lo que elevó el rendimiento y la tracción. Por lo tanto, el espesor y el peso del acero podrían ser reducidos para proporcionar ahorros en costos de materiales.
- En términos de costos de mantenimiento, Albrecht (1989) señala que UWS puede eliminar la necesidad de pintura inicial y periódica de la superestructura debido a su mayor Resistencia a la corrosión atmosférica. Evitar pintar y volver a pintar puentes también elimina la necesidad de cerrar carriles e interrumpir el tráfico durante las operaciones de pintura. La resistencia de UWS es aproximadamente igual a dos veces la del cobre que lleva CS, que es equivalente a cuatro veces CS sin cobre (Albrecht, 1989). M. Morcillo (2013) menciona que los puentes UWS son más económicos que los puentes CS pintados después alrededor de 15 años en ambientes moderadamente agresivos debido a que UWS no requiere pintura para prevenir la corrosión.

#### D. Desventajas del acero mejorado contra la corrosión

- Aunque UWS puede ser beneficioso en términos de ahorro de costos y resistencia a la corrosión, también hay algunas desventajas. Al considerar TOW y la humedad que contiene cloruros, los detalles estructurales de los puentes UWS se convierten en una preocupación. Se sabe que las juntas de expansión tienen problemas de fugas. Por lo tanto, UWS dentro de la proximidad de juntas de dilatación con fugas tiende a funcionar mal y, por lo tanto, se recomienda pintar los extremos de las vigas (FHWA, 1989). Albrecht y Naeemi (1989) menciona cómo hacer crecer los extremos a cada lado de las juntas de expansión han sido pintados para evitar la corrosión progresiva de UWS en estas áreas.

Albrecht (1989) también advierte que, para evitar estos problemas creados por fugas en las juntas, los puentes deben tener una superestructura continua, fija o cojinetes integrales en pilas y estribos, y sin juntas de expansión de la cubierta del puente. Porque de estos problemas que involucran fugas en las uniones con puentes UWS, las limitaciones de diseño deben ser considerado y puede dificultar el uso de UWS en ciertos escenarios. Cabe señalar que estas preocupaciones de detalles estructurales no son específicas de los puentes UWS y pueden afectar a todos los tipos de puentes. Una de las principales desventajas es la incertidumbre con respecto al rendimiento de UWS. Puentes basados en las condiciones de exposición más severo, se ha descubierto que causan problemas con el rendimiento de la pátina de óxido incluyen ambientes donde hay altas concentraciones de cloruro, como la costa ambientes y ambientes donde se utilizan agentes descongelantes. Esta tesis se centra en intentar resolver estas incertidumbres con respecto al desempeño del puente UWS en la costa y entornos de deshielo. (Rupp, 2020)

#### 2.2.4. Tipo de entorno

Los puentes pueden estar expuestos en ambientes rurales, industriales y marinos, entornos que se describen a continuación:

##### A. Entorno Rural

Los entornos rurales están relacionados con el campo en contraposición a la ciudad: por ejemplo, la mayoría de las zonas residenciales tienen fincas. El aire normalmente contiene pequeñas cantidades de óxidos de azufre ( $\text{SO}_x$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) respectivamente, de residuos industriales, productos de combustión y descomposición de fertilizantes o excrementos animales. Por lo tanto, el campo los ambientes no son generalmente agresivos contra el acero. (Park, 2004)

## B. Entorno Industrial

Muchas fábricas ubicadas en ambientes industriales emiten contaminantes como óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y varios gases industriales. Los óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>) son los causantes de la lluvia ácida. Los entornos industriales son a veces llamados semi-industrial o industrial severo, dependiendo de la corrosividad de la atmósfera. (Park, 2004)

## C. Entorno Marino

Los ambientes marinos a lo largo de las áreas costeras contienen sal en el aire liberado a la atmósfera por las olas que rompen en la costa o por el viento y la niebla en tierra. La agresividad de un medio marino depende de la naturaleza de la acción de las olas en la línea de rompiente, la dirección predominante del viento, topografía de la costa y humedad relativa. La severidad de la corrosión aumenta rápidamente a medida que disminuye la distancia desde la costa. Las tormentas severas pueden llevar sal rocío tierra adentro. (Park, 2004)

## 2.3. Estructura teórica y científica que sustenta el estudio

### 2.3.1. Filosofía y principios de diseño de puentes en el Perú

En el Perú, el Manual de Puentes (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2018), nos indica, las pautas necesarias para el planeamiento, el análisis y el diseño, de puentes carreteros. Se especifican en cada caso los requisitos mínimos, quedando a criterio del ingeniero estructural utilizar los límites más estrictos o complementar estas especificaciones en lo que resulte pertinente. Este además presenta los aspectos de diseño que son, en gran parte, una adaptación del AASHTO en su versión LRFD BRIDGE DESIGN SPECIFICATIONS del año 2014, séptima Edición. Asimismo, la entidad y/o propietario podrá considerar las actualizaciones de la AASTHO LRFD BRIDGE DESIGN. El formato adoptado para este Manual es el de “Cargas y Resistencias Factoradas” (LRFD), lo que permite la consideración adecuada de la variabilidad tanto en las cargas como en las propiedades de los elementos resistentes. Los puentes se diseñan para satisfacer una serie de condiciones, límite de

seguridad y de servicio, todas ellas de igual importancia, teniendo en cuenta, también aspectos constructivos, de posibilidad de inspección, de estética y de economía. El formato LRFD es más racional que el tradicional diseño en condiciones de servicio, lo que explica la tendencia mundial hacia la adopción de códigos en ese formato.

### 2.3.2. Análisis AASHTO LRFD

Las disposiciones de estas Especificaciones están destinadas al diseño, evaluación y rehabilitación de puentes carreteros tanto fijos como móviles. Sin embargo, no se cubren los aspectos mecánicos, eléctricos y de seguridad especial para vehículos y peatones de los puentes móviles. Las provisiones no son incluidas para puentes utilizados únicamente para ferrocarril, tránsito ferroviario o utilidades públicas. Para los puentes que no se cubren completamente en este documento, él se pueden aplicar las disposiciones de estas Especificaciones, como aumentado con criterios de diseño adicionales cuando sea necesario.

#### A. Estructuras Metálicas

Las disposiciones de LRFD no tienen límite de tramo. Ha habido un historial de problemas de construcción asociados con puentes curvos con tramos mayores de aproximadamente 350 pies. El peso propio de las vigas grandes puede causar tensiones y deflexiones críticas durante el montaje cuando el trabajo de acero está incompleto. Las grandes deflexiones laterales y las rotaciones de vigas asociadas con luces más largas tienden a dificultar el montaje de travesaños. Se han construido con éxito grandes puentes de acero curvo; sin embargo, estos puentes merecen consideraciones especiales como la posible necesidad de más de un apoyo temporal en grandes luces. La mayoría de las disposiciones para dosificación principal.

Los elementos se agrupan por acción estructural:

- Tracción y tracción y flexión combinadas (Artículo 6.8)
- Compresión y compresión y flexión combinadas (Artículo 6.9)
- Flexión, cortante por flexión y torsión:

- Secciones I Cajones
- Secciones misceláneas.

#### B. Estados Límites

Se investigará el comportamiento estructural de los componentes de acero o acero en combinación con otros materiales para cada etapa que pueda ser crítica durante la construcción, manipulación, transporte y montaje, así como durante la vida útil de la estructura de la que forman parte.

Los componentes estructurales deben estar dimensionados para satisfacer los requisitos en los estados límite de resistencia, eventos extremos, servicio y fatiga.

## CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS

### 3.1. Hipótesis

#### 3.1.1. Hipótesis General

La evaluación técnica y económica del puente Noruega con acero mejorado contra la corrosión, obtiene mejores resultados que la evaluación con un acero convencional.

#### 3.1.2. Hipótesis Específicas

- El puente Noruega resulta con una tipología de puente de doble arco superior, donde las derivas cumplen con lo establecido dentro del manual de puentes; además de que se determinó los costos de fabricación y de mantenimiento periódicos y rutinarios.
- La propuesta técnica del puente Noruega con acero mejorado contra la corrosión ofrece mejores ventajas estructurales que el sistema con acero convencional.
- La propuesta económica del puente Noruega con acero mejorado contra la corrosión ofrece mejores ventajas de mantenimiento que el sistema con acero convencional.

### 3.2. Variables de la investigación

#### 3.2.1. Definición conceptual de las variables

##### A. Variable Independiente

Según Hernández Sampieri, (2014). La variable independiente es aquella que es susceptible de ser manipulada durante el proceso de investigación. De hecho, se pretende evaluar el efecto de esta manipulación en la variable dependiente. Si la variable es compleja esta puede ser definida en términos de variables más simples o dimensiones.

Mis variables independientes son:

- Acero Convencional
- Acero mejorado contra la corrosión

## B. Variable Dependiente

Según Hernández Sampieri, (2014). La variable dependiente no se manipula, sino que se mide para ver el efecto que la manipulación de la variable independiente tiene en ella. Esto se esquematiza de la siguiente manera:

Tabla 3:

Variables de la investigación

Manipulación de la variable independiente	Medición del efecto sobre la variable dependiente
$X_A$	$Y$
$X_B$	

Fuente: (Hernández Sampieri, 2014)

Se utiliza la letra “X” para simbolizar una variable independiente o tratamiento experimental. Las letras o subíndices “A, B...” indican distintos niveles de variación de la independiente y la letra “Y” se utiliza para representar una variable dependiente.

Mis variables dependientes son:

- Puente Noruega

### 3.1.2. Operacionalización de las variables

Según Borja (2012) La operacionalización de las variables “es el proceso mediante el cual se explica cómo se medirán las variables formuladas en la hipótesis, para lo cual en muchos casos habrá que descomponerlas en indicadores susceptibles de poder medirse”.

En la tabla mostrada se describe la operacionalización de la variable independiente y dependiente (Ver Anexo 2)



## **Capítulo IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### 4.1. Tipo y nivel de investigación

#### 4.1.1. Tipo

Según Borja (2012), una investigación aplicada: “está más interesada en la aplicación inmediata sobre una problemática antes que el desarrollo de un conocimiento de valor universal” (pág. 10).

Según Borja (2012), una investigación cuantitativa: “plantea que una forma confiable para conocer la realidad es a través de la recolección y análisis de datos, con lo que se podría contestar las preguntas de la investigación y probar las hipótesis” (pág. 11).

La investigación fue de tipo aplicada con enfoque cuantitativo.

#### 4.1.2. Nivel

Según Borja (2012), una investigación descriptiva: “investigan y determinan las propiedades y características más representativas de los objetos de estudio” (pág. 13).

Según Borja (2012), una investigación correlacional: “una investigación correlacional es aquella en que se analiza la relación entre ciertos sucesos, proporcionando indicios de la relación que podría existir entre dos o más cosas, o de que también uno o más datos podrían predecir un resultado específico.” (pág. 13).

La investigación tuvo nivel descriptivo-correlacional.

### 4.2. Diseño de la investigación

Según Borja (2012), se denomina investigación no experimental: “Se basan en la obtención de información sin manipular los valores de las variables, es decir tal y como se manifiestan las variables en la realidad”. (pág. 29).

Según Hernández, Fernández y Baptista (2014), se denomina diseño longitudinal: “Analizar cambios al paso del tiempo en determinadas categorías, conceptos, sucesos, variables, contextos o comunidades, o bien, de las relaciones entre estas. Aún más, a veces ambos tipos de cambios”. (pág. 159).

La presente investigación fue no experimental con diseño longitudinal.

#### 4.3. Población y muestra

##### 4.3.1. Población

Según Borja (2012), se denomina población: “al conjunto de elementos o sujetos que serán motivo de estudio” (pág. 30).

La población para esta investigación fueron todos los puentes de doble arco superior ubicados a nivel nacional.

##### 4.3.2. Muestra

Según Borja (2012), se denomina muestra a: “un subgrupo representativo de la población sobre la cual se habrán de recolectar datos”. (pág. 32).

La muestra de la investigación fue el puente doble arco superior con tirante inferior que posee 150 m de luz entre estribos con un tablero de ancho variable de 14.60 m en la sección central y de 15.25 m en sus extremos. El puente se ubica entre las comunidades de Perené y Pichanaqui cruzando el río Perené en la región Junín.

El tipo de muestreo para la selección de muestra fue no probabilístico por conveniencia.

#### 4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

##### 4.4.1. Tipos de técnicas e instrumentos

###### A. Técnicas

Las técnicas que se usaron para la investigación son la recolección de datos del puente mediante informes técnicos, estudio de mecánica de suelos y planos estructurales, y el análisis documental con el cual se consiguió la información de varias fuentes bibliográficas sobre el tema a investigar, estas fueron: libros, manuales, normativas vigentes, tesis de investigación, artículos especializados, fichas técnicas y páginas web de internet. Adicionalmente se utilizaron normativas de cargas nacionales e internacionales para realizar el análisis comparativo.

###### B. Instrumentos

El presente estudio empleará variables cuantitativas y cualitativas, las principales técnicas e instrumentos utilizados son:

- Artículos, Tesis
- Planos del Puente
- Expediente técnico
- Norma de diseño sísmoresistente E-030
- Norma de estructuras metálicas E-090
- Norma de cargas E-020
- Hojas de cálculo
- Specification for structural Steel building ANSI/AISC 360-16
- Revista de costos
- Software CSI Brigde
- Software Tekla Structures

#### 4.4.2. Validez y confiabilidad de los instrumentos

Se verificó que los instrumentos utilizados fueron válidos y confiables para ser utilizados en la presente investigación, ya que se está trabajando bajo los parámetros de calidad que exige las normas actuales vigentes E-020 “Cargas”, E-030 “Sismorresistente” E-090 “Estructuras Metálicas”. En cuanto al modelo y simulación estructural se definió previamente en el software CSI Brigde para el análisis de la estructura.

#### 4.4.3. Procedimientos para la recolección de datos

##### A. Obtención de datos iniciales

Al realizar la evaluación del expediente técnico del puente Noruega obtendremos la tipología de puente que se usará para el proyecto, el clima al cual estará expuesta la superestructura. Además, se usarán las normas ASTM A709 Gr50 para obtener las características técnicas del acero convencional y la norma ASTM A588 para las características técnicas del acero mejorado contra la corrosión. En el caso de los costos de inversión y mantenimiento; para el acero convencional se usarán los costos indicados en el expediente técnico y para el acero mejorado se cotizará con proveedores locales.

#### B. Modelamiento de la superestructura

Con los datos de la tipología del puente, así como la luz que comprenderá el puente, se procedió a hacer un modelamiento en el programa CSI BRIGDE con las características técnicas de cada acero; de donde se obtendrán desplazamientos horizontales y verticales, estos se procederán a evaluar con el manual de puentes y se establecerá una comparación entre ambos.

#### C. Evaluación de costos

Con los datos del costo de inversión y mantenimiento de cada acero se realizará una comparación entre estos aceros en todo el tiempo de vida del puente.

#### 4.5. Técnicas para el procesamiento y análisis de la información

Revisar la documentación existente para obtener un mejor diseño de trabajo, objetivos, hipótesis y variables, y adaptarlos a la realidad en la que se desarrolla el estudio, con el fin de obtener datos reales y confiables.

Los métodos para procesar la información fueron tomados del manual de puentes. Los datos se procesaron mediante un modelo numérico implementado en el software CSI Bridge.

Como primer paso se investigó los planos estructurales, luego se realizó el modelamiento matemático de nuestro puente en el software CSI Bridge, considerando las dimensiones originales de los elementos estructurales en los planos.

El segundo paso fue hacer la comparación de los resultados del modelo matemático con los dos tipos de acero ASTM 709 y ASTM 588. Estos resultados obtenidos son similares a nivel estructural.

Como tercer paso se estudió la pre-inversión del proyecto utilizando los dos tipos de acero a nivel de superestructura, dando como resultado que el acero ASTM 588 es viable ante la vida útil del puente.

# CAPÍTULO V: ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL PUENTE NORUEGA

## 5.1. Descripción general del puente

Para salvar la luz entre ambas márgenes del río Perene se define un puente arco superior, un sistema estructural muy eficaz, ya que el empuje horizontal del arco es resistido por un tirante constituido por el propio tablero. De esta manera, solo se transmiten cargas verticales al terreno mediante una cimentación profunda.

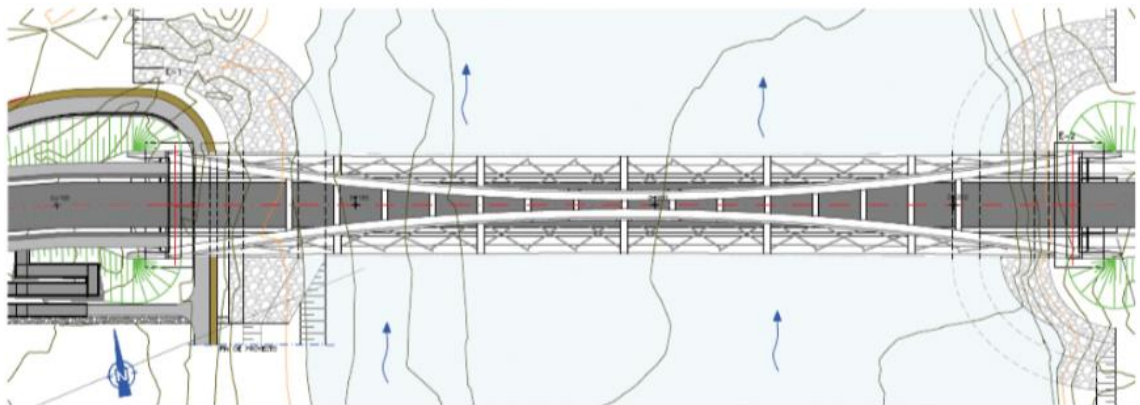


Figura 15: Plante general del puente  
Fuente: (SIMA, 2019)

## 5.2. Características estructurales

Para la fabricación del arco, el empleo del acero estructural conduce a la solución más económica. Las secciones transversales se eligen de forma que sus características sean compatibles con la función estructural de cada elemento. La compatibilidad entre los elementos y las uniones también es un aspecto importante en la selección de las secciones transversales. En esta selección tampoco se desprecian los aspectos estéticos, ya que la percepción de la estructura por parte del usuario depende fuertemente de las secciones transversales.

El elemento principal del puente es un doble arco superior con tirante inferior, de 150 m de luz, con una relación flecha/luz de 1/12, los cuales están situados en sendos planos inclinados hacia el interior y arriostrados entre sí, para dotarlos de mayor estabilidad frente al pandeo fuera del plano. El tablero de ancho variable de 14,60 m en la sección central a 15,25 m en sus extremos es mixto, formado por una losa de concreto sobre placa colaborante que se apoya en vigas transversales unidas a los tirantes inferiores de los arcos.

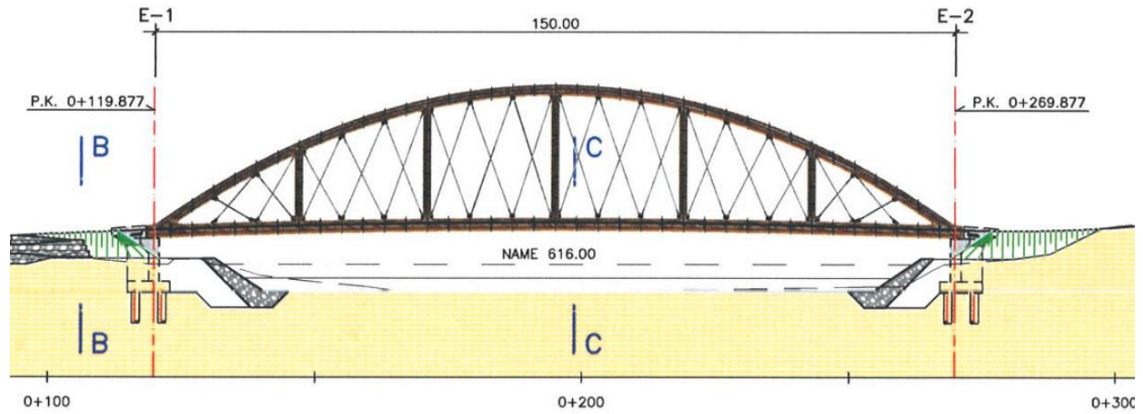


Figura 16: Elevación general del puente  
Fuente: (SIMA, 2019)

### 5.2.1. Tipología estructural del puente

Los arcos con tablero inferior se caracterizan por tener vigas de apoyo conectadas a los arcos en los apoyos extremos, esta configuración es llamada usualmente arranque de arco, las vigas actúan como tirantes que impiden el desplazamiento relativo de los apoyos. (Lazo Domenack & Barba Estrada, 2019)

Las cargas verticales se transfieren del tablero al doble arco superior mediante cinco montantes formados por una sección cajón metálica y entre estos, diagonales constituidas por 32 pares de péndolas, formando una triangulación.

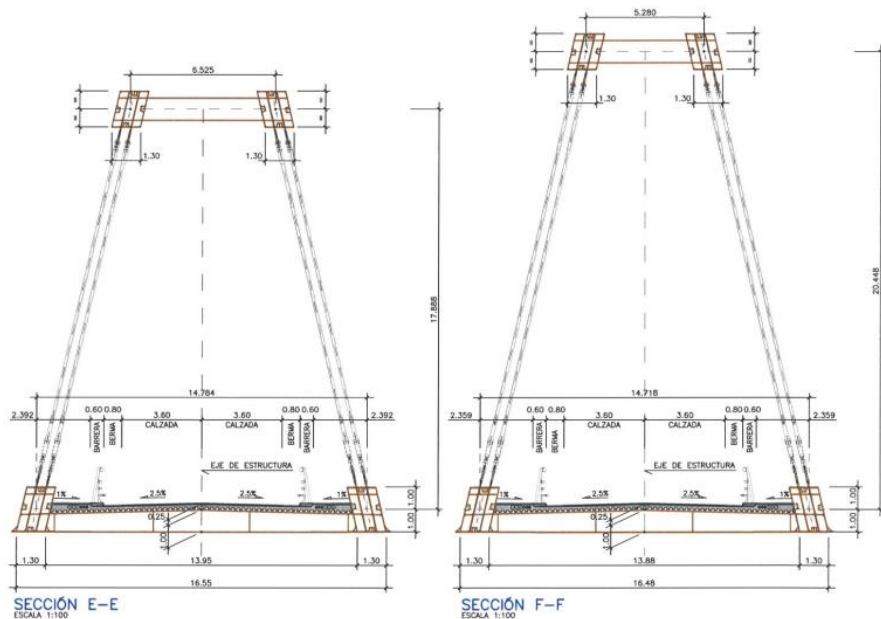


Figura 17: Sección tipo del puente  
Fuente: (SIMA, 2019)

### 5.2.2. Descripción de la superestructura

Las características del puente son las siguientes:

- Longitud: 150 m entre ejes de estribos.
- Números de tramos: 1
- Tipo: Doble arco superior

Sección transversal mixta, formada por losa de concreto sobre placa colaborante que apoya sobre vigas transversales que se unen a los cordones inferiores del arco.

- N° de vías: 2
- Ancho total del tablero: Variable de 15,25 m en la sección central a 14,60 m en los estribos
- Ancho de rodadura: 7,2 m (2 carriles de 3,6 m cada uno) Bermas: 2 x 0,8 m
- Veredas: 2 de ancho variable de 2,35 a 2,675 m
- Vigas longitudinales: Cajón metálico de 1300 mm de ancho de platabanda superior; 1700 mm de ancho de platabanda inferior y almas inclinadas  $77^\circ$  hacia el centro de la sección. El canto total del cajón es de 2000 mm. Cartelas inferiores desde platabanda inferior a almas.

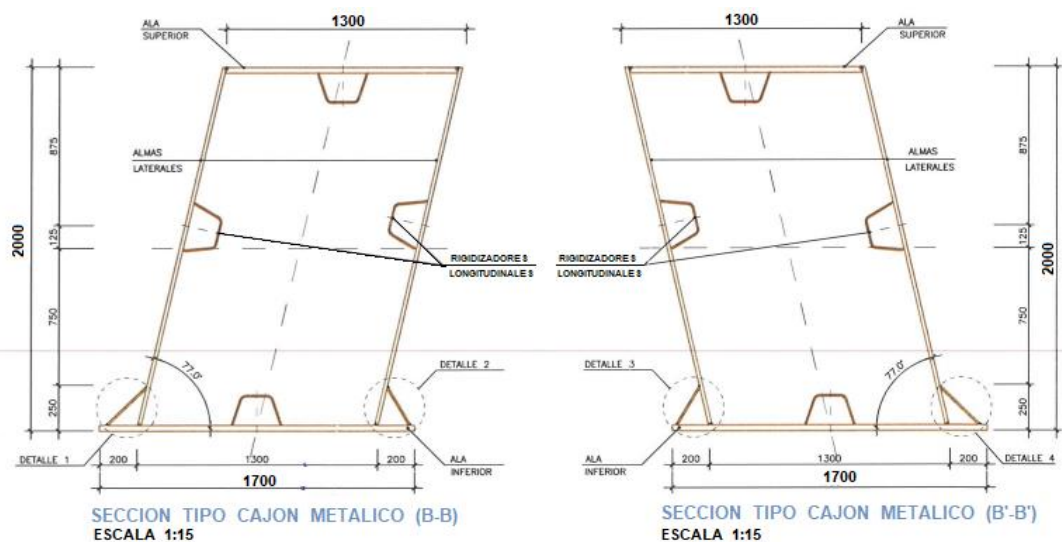


Figura 18: Arco inferior  
Fuente: (SIMA, 2019)

- Arco superior: Cajón metálico de 1600 mm de canto, con platabandas superior e inferior de 1300 mm de ancho y almas inclinadas hacia el interior de la sección con un ángulo de  $77^\circ$ .

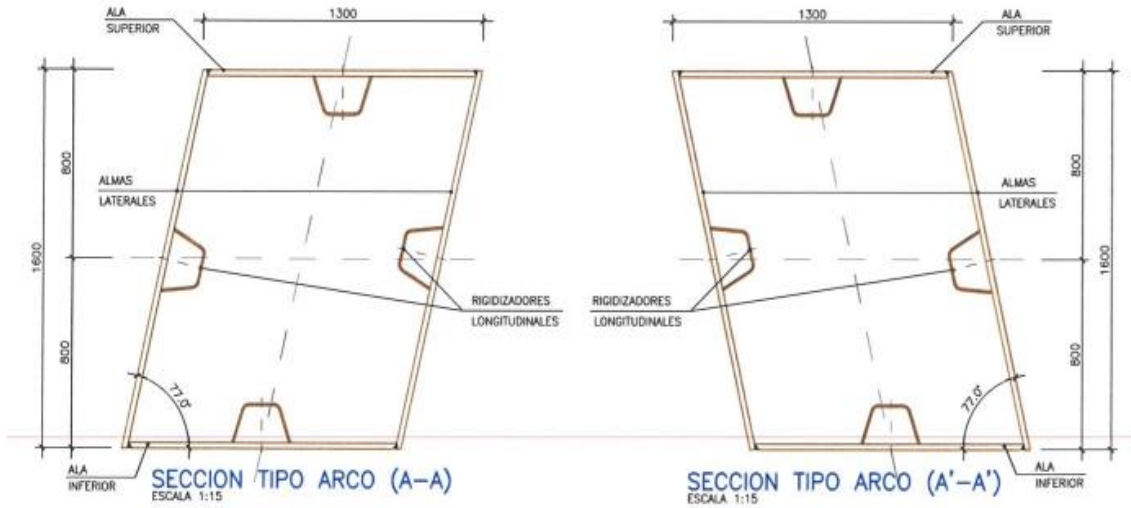


Figura 19: Arco Superior  
Fuente: (SIMA, 2019)

- Diagonales: Tirantes de acero de alta resistencia en “X”
- Montantes: Sección cajón metálico de 1300x1200 mm con platabandas superior e inferior horizontal y almas inclinadas.



Figura 20: Montante  
Fuente: (SIMA, 2019)



- Vigas trans. superiores: Sección cajón metálico de 1000x1000 mm con platabandas superior e inferior inclinadas y almas verticales.



Figura 21: Vigas transversales superiores  
Fuente: (SIMA, 2019)

- Vigas trans. inferiores: Sección metálica doble T, con ala superior de 300 mm de ancho e inferior de 400 mm. El canto es variable, en vientre de pez, desde los 1000 mm en el centro de la sección disminuyendo hacia su unión con los cordones inferiores, en donde el canto dependerá de la sección.

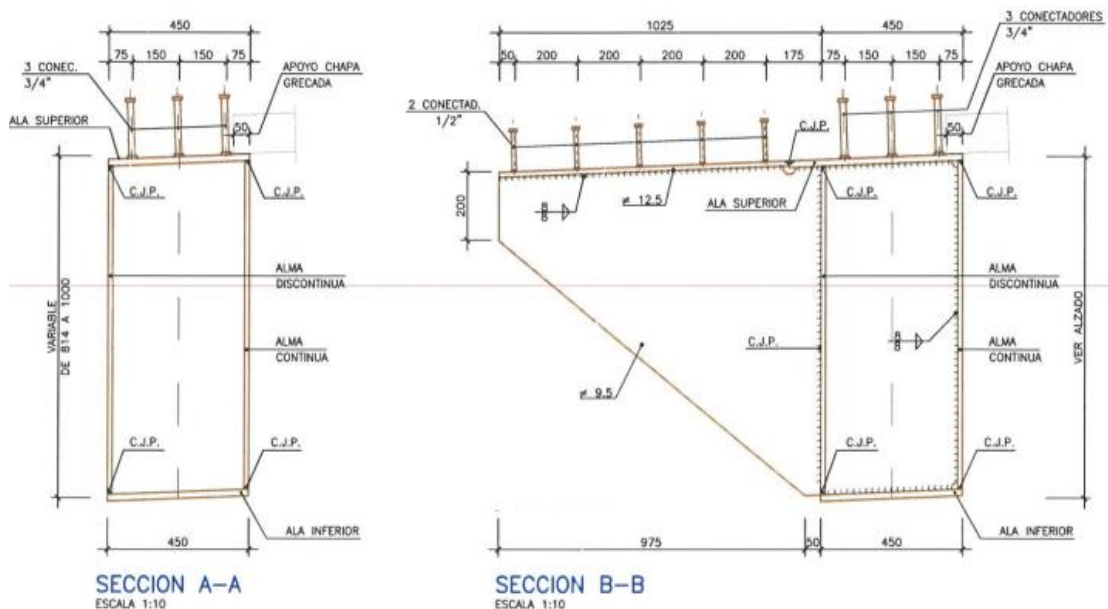


Figura 22: Vigas transversales inferiores  
Fuente: (SIMA, 2019)

- Losa de concreto: Canto de 0,25 m bajo calzada con canto variable de 0,4 a 0,42 m en veredas.

- Placa colaborante: Límite elástico:  $f_y \geq 320 \text{ N/mm}^2$   
 Espesor:  $t \geq 1,2 \text{ mm}$   
 Inercia (Sección eficaz)  
 $\geq 382,25 \times 10^4 \text{ mm}^4/\text{m}$

- Acero estructural:

Acero Estructural A709Gr50

Se consideran los siguientes valores:

- Módulo de elasticidad  $E_a = 210.000 \text{ N/mm}^2$
- Módulo de elasticidad transversal  $G_a = 81.000 \text{ N/mm}^2$
- Coeficiente de Poisson  $\nu = 0,3$
- Coeficiente de dilatación térmica  $D = 12 \times 10^{-6} [^\circ\text{C}]^{-1}$
- Densidad  $U = 78,5 \text{ kN/m}^3$
- Módulo de elasticidad  $E_a = 210.000 \text{ N/mm}^2$
- Módulo de elasticidad transversal  $G_a = 81.000 \text{ N/mm}^2$
- Coeficiente de Poisson  $\nu = 0,3$
- Coeficiente de dilatación térmica  $D = 12 \times 10^{-6} [^\circ\text{C}]^{-1}$
- Densidad  $U = 78,5 \text{ kN/m}^3$

A efectos de cálculo, se idealiza el diagrama tensión-deformación, adoptando el correspondiente a un material elastoplástico.

Para la fabricación de la estructura metálica se emplearán chapas y perfiles de acero del tipo ASTM A709Gr50. Siendo su límite elástico y tensión de rotura iguales a:

- Límite elástico  $f_y = 345 \text{ N/mm}^2$
- Tensión de rotura  $f_u = 450 \text{ N/mm}^2$

- Acero estructural A588

Se consideran los siguientes valores:

- Módulo de elasticidad  $E_a = 210.000 \text{ N/mm}^2$
- Módulo de elasticidad transversal  $G_a = 81.000 \text{ N/mm}^2$
- Coeficiente de Poisson  $\nu = 0,3$
- Coeficiente de dilatación térmica  $D = 12 \times 10^{-6} [^\circ\text{C}]^{-1}$
- Densidad  $U = 79 \text{ kN/m}^3$

A efectos de cálculo, se idealiza el diagrama tensión-deformación,

adoptando el correspondiente a un material elastoplástico.

Para la fabricación de la estructura metálica se emplearán chapas y perfiles de acero del tipo ASTM A709Gr50. Siendo su límite elástico y tensión de rotura iguales a:

- Límite elástico  $f_y = 345 \text{ N/mm}^2$
  - Tensión de rotura  $f_u = 485 \text{ N/mm}^2$
- Acero Diagonales: A416MGr1860(270) según ASTM;  $f_u = 1860 \text{ MPa}$
  - Conectores de corte: Límite elástico mínimo: 350 MPa  
Tensión mínima de rotura: 450 MPa  
Alargamiento mínimo de rotura: 15%
  - Losa de tablero  
Concreto  
Losa  $f'_c = 28 \text{ MPa}$  ( $280 \text{ kg/cm}^2$ )  
Acero de refuerzo ASTM A615Gr60;  $f_y = 420 \text{ MPa}$

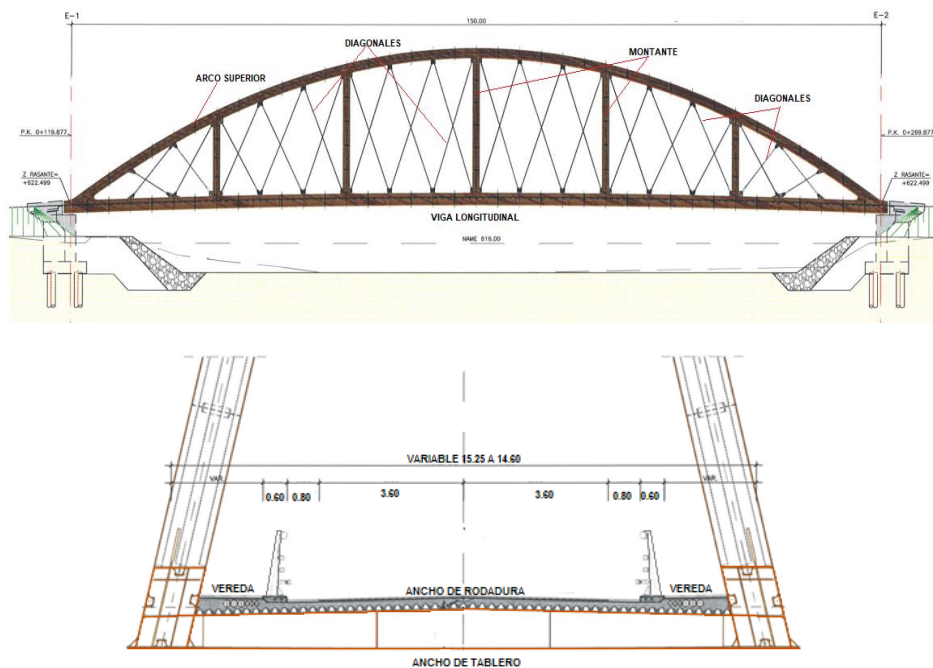


Figura 23: Descripción de la superestructura  
Fuente: (SIMA, 2019)

### 5.3. Asignación de cargas: DC, DW, HL-93

#### 5.3.1. Peso Propio (DC)

La carga se deduce de la geometría teórica de la estructura, considerando para la densidad los siguientes valores:

- Concreto 25,0 kN/m<sup>3</sup>
- Acero estructural 78,5 kN/m<sup>3</sup>

#### 5.3.2. Carga Muerta (DW)

Son las debidas a los elementos no resistentes y que, en este caso, se corresponden con el pavimento y las barreras.

- Placa Colaborante  $p = 0,20 \text{ kN/m}^2$
- Pavimento  $p_{e \text{ min}} = 0,05 * 24,0 = 1,44 \text{ kN/m}^2$
- Barreras interiores  $p = 6,5 \text{ kN/m}$  por barrera
- Recrecido veredas  $p = 0,235 * 24 = 5,7 \text{ kN/m}$  por acera

#### 5.3.3. Sobrecarga de Uso (LL + BR + PL)

##### A. Tren de Carga (LL)

Se ha adoptado para el cálculo del tablero la carga definida en el manual de diseño de puentes. Esta carga está compuesta por dos tipos de carga.

- Un camión tipo de tres ejes y peso total de 325 kN, repartido según se indica en la siguiente figura.
- Un tándem de diseño formado por un conjunto de 2 ejes con una carga de 110 kN cada uno de ellos y separados 1,20 m en la dirección longitudinal del puente. La separación entre las dos ruedas de cada eje en sentido transversal al puente se considera igual a 1.8 m.
- Una sobrecarga uniforme de 9,3 kN/m distribuida en un ancho de 3,0 m en dirección transversal.

Tabla 4:

Incremento de carga Viva por Efectos Dinámicos

Componente	Porcentaje
Elementos de unión en el tablero (para todos los estados límites)	75 %
Para otros elementos	
• Estados límite de fatiga y fractura	15%
• Otros estados límite	33%

Fuente: AASHTO 2017

Los efectos máximos de las sobrecargas se determinarán en función del número de vías cargadas multiplicando las cargas por los factores siguientes.

Tabla 5:

Factor de sobrecarga

Número de vías cargadas	Factor Presencia múltiple, m
1	1.20
2	1.00
3	0.85
> 3	0.65

Fuente: AASHTO, 2017

A efectos de obtener el factor por multiplicidad de cargas se considera la sobrecarga de la vereda como un carril adicional

#### B. Frenado (BR)

El esfuerzo de frenado se estima en una fuerza horizontal cuyo valor resulta igual al máximo de los siguientes valores:

- Un 25% de la sobrecarga del camión
- Un 25% de la sobrecarga del tándem
- Un 5% de la sobrecarga uniforme más el camión
- Un 5% de la sobrecarga uniforme más el tándem

A las fuerzas anteriores se les aplica el factor de simultaneidad de vías cargadas, pero no el coeficiente de amplificación dinámica.

#### 5.3.4. Viento (WL + WS)

Estas cargas se han tomado según las indicaciones 3.8. “Especificaciones AASHTO para el diseño de puentes por el método LRFD”. La velocidad de diseño, correspondiente a una altura de 10 m y 35 m, se ha tomado del plano del Anexo 2 de la Norma de Cargas E.020 y para la ubicación del puente nos da un valor de 65 Km/h. El cálculo de la carga lineal de viento se estimó de la siguiente manera:

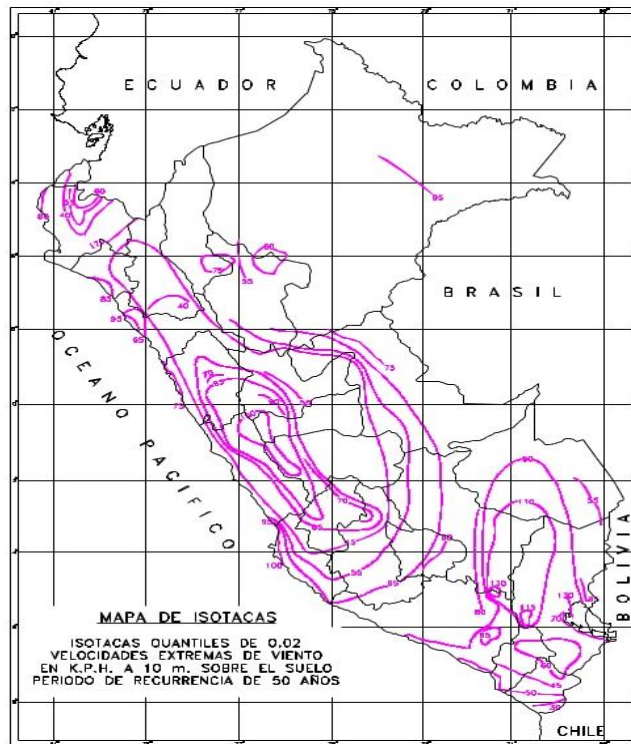


Figura 24: Mapa eólico del Perú  
Fuente: (NORMA E020, 2020)

- Viento sobre la estructura (WL)

Se considera una velocidad del viento igual a:

$$V_{z,tablero} = 2.5V_0 \left( \frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left( \frac{z}{z_0} \right) = 163 \text{ km/h}$$

$$V_{z,clave} = 2.5V_0 \left( \frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left( \frac{z}{z_0} \right) = 205 \text{ km/h}$$

Dónde:

$$V_{10} = \text{Velocidad de referencia a } 10 \text{ m} = 160 \text{ km/h}$$

$$V_B = V_{10} = 160 \text{ km/h}$$

$z = \text{altura sobre el nivel del agua}$

(10m tablero, 35 m la clave)

$$V_0 = 8.20 \text{ mph} = 13.2 \text{ km/h}$$

$$Z_0 = 0.23 \text{ ft} = 70 \text{ mm}$$

Tabla 6:

Valores para diferentes condiciones de la superficie contra el viento

CONDICIÓN	TERRENO ABIERTO	ÁREA SUBURBANA	ÁREA URBANA
$V_0$ (km/h)	13.2	17.5	19.3
$Z_0$ (m)	0.07	1.00	2.50

Fuente: AASHTO, 2017

Presion del viento resulta igual a:

$$P_{z, \text{tablero}} = P_B \left( \frac{V_z}{160} \right)^2 = 1.04 P_B$$

$$P_{z, \text{clave}} = P_B \left( \frac{V_z}{160} \right)^2 = 1.64 P_B$$

Los valores de  $P_B$  se obtienen de la tabla siguiente:

Tabla 7:

Valores de  $V_0$  y  $Z_0$

COMPONENTE ESTRUCTURAL	PRESIÓN POR BARLOVENTO (KG/M2)	PRESIÓN POR SOTAVENTO (KG/M2)
Reticulados, columnas y arcos	245	122
Vigas	245	No Aplicable
Grandes superficies planas	195	No Aplicable

Fuente: AASHTO, 2017

Resultando una carga total sobre la estructura igual a:

$$P_{\text{viga long inferior barlovento}} = 2,00 \times 1,04 \times 245 = 509,60 \text{ kg/m}$$

$$P_{\text{viga long inferior sotavento}} = 2,00 \times 1,04 \times 122 = 253,76 \text{ kg/m}$$

$$P_{\text{viga long superior barlovento en apoyo}} = 1,60 \times 1,04 \times 245 = 407,68 \text{ kg/m}$$

$$P_{\text{viga long superior sotavento en apoyo}} = 1,60 \times 1,04 \times 122 = 203,01 \text{ kg/m}$$

$$P_{\text{viga long superior barlovento en clave}} = 1,60 \times 1,64 \times 245 = 642,88 \text{ kg/m}$$

$$P_{\text{viga long superior barlovento en clave}} = 1,60 \times 1,64 \times 122 = 320,13 \text{ kg/m}$$

- Viento sobre la sobrecarga (WS)

Se considera una presión de viento igual a 152.96 kg/m aplicada a una altura de 1.8 m sobre la rasante.

#### 5.3.5. Acciones sísmicas (EQ)

Se toma los siguientes valores, como se aprecia en las ilustraciones 14, 15 y 16.

- De acuerdo con la ilustración 14, se tiene que el PGA es 0.32g.
- De acuerdo con la ilustración 15, se tiene que el Ss es 0.78g.
- De acuerdo con la ilustración 16, se tiene que el S1 es 0.28g.



Figura 25: Mapa de isoaceleración espectral suelo tipo D. PGA  
Fuente: (SIMA, 2019)





Figura 26: Mapa de isoaceleración espectral suelo tipo D. Ss  
Fuente: (SIMA, 2019)



Figura 27: Mapa de isoaceleración espectral suelo tipo B. S1  
Fuente: (SIMA, 2019)

Los factores de Sitio  $F_{pga}$ ,  $F_a$ , y  $F_v$  especificados son usados en el periodo-zero, en el rango de periodo corto y en el rango de periodo largo, respectivamente. Esos factores son determinados usando la clase de sitio definido y los valores de los coeficientes  $PGA$ ,  $S_s$  y  $S_1$  que se encuentren en las ilustraciones 17, 18 y 19.

- De acuerdo con la Ilustración 17, se tiene que el factor  $F_{pga}$  es 1.20
- De acuerdo con la Ilustración 18, se tiene que el factor  $F_a$  es 1.20
- De acuerdo con la Ilustración 19, se tiene que el factor  $F_v$  es 1.80

Tabla 8:

Valores de factor de sitio, F<sub>pga</sub>

Clase de Sitio	Coeficiente Aceleración Pico del Terreno (PGA)				
	PGA < 0.10	PGA = 0.2	PGA = 0.3	PGA = 0.4	PGA > 0.50
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F <sup>2</sup>	*	*	*	*	*

Notas:

1. Usar línea recta de interpolación para valores intermedio de PGA
2. Llevar a cabo investigaciones geotécnicas específicas del sitio y análisis de respuesta dinámica de sitio, para todos los sitios en sitio clase F

Fuente: (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2018)

Tabla 9:

Valores de factor de sitio F<sub>a</sub>

Clase de Sitio	Coeficiente Aceleración Espectral en Periodo 0.2 sec (S <sub>s</sub> ) <sup>1</sup>				
	S <sub>s</sub> < 0.25	S <sub>s</sub> = 0.50	S <sub>s</sub> = 0.75	S <sub>s</sub> = 1.00	S <sub>s</sub> > 1.25
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F <sup>2</sup>	*	*	*	*	*

Notas:

1. Usar línea recta de interpolación para valores intermedio de S<sub>s</sub>
2. Llevar a cabo investigaciones geotécnicas específicas del sitio y análisis de respuesta dinámica de sitio, para todos los sitios en sitio clase F

Fuente: (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2018)

Tabla 10:

Valores de factor de sitio, F<sub>v</sub>

Clase de Sitio	Coeficiente Aceleración Espectral en Periodo 1.0 sec (S <sub>1</sub> )				
	S <sub>1</sub> < 0.1	S <sub>1</sub> = 0.2	S <sub>1</sub> = 0.3	S <sub>1</sub> = 0.4	S <sub>1</sub> > 0.5
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
F <sup>2</sup>	*	*	*	*	*

Notas:

1. Usar línea recta de interpolación para valores intermedia de S<sub>1</sub>
2. Llevar a cabo investigaciones geotécnicas específicas del sitio y análisis de respuesta dinámica de sitio, para todos los sitios en sitio clase F

Fuente: (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2018)

Se ha considerado terreno tipo “D” para la obtención del espectro de diseño:

- $S_s$  = 0.78
- $S_1$  = 0.28
- $F_{nga}$  = 1.20
- $A_s$  = 0.384
- $F_a$  = 1.20
- $F_y$  = 1.80
- $PGA$  = 0.32
- $S_{ds}$  = 0.936
- $S_{d1}$  = 0.504
- $T_0$  = 0.108
- $T_s$  = 0.538

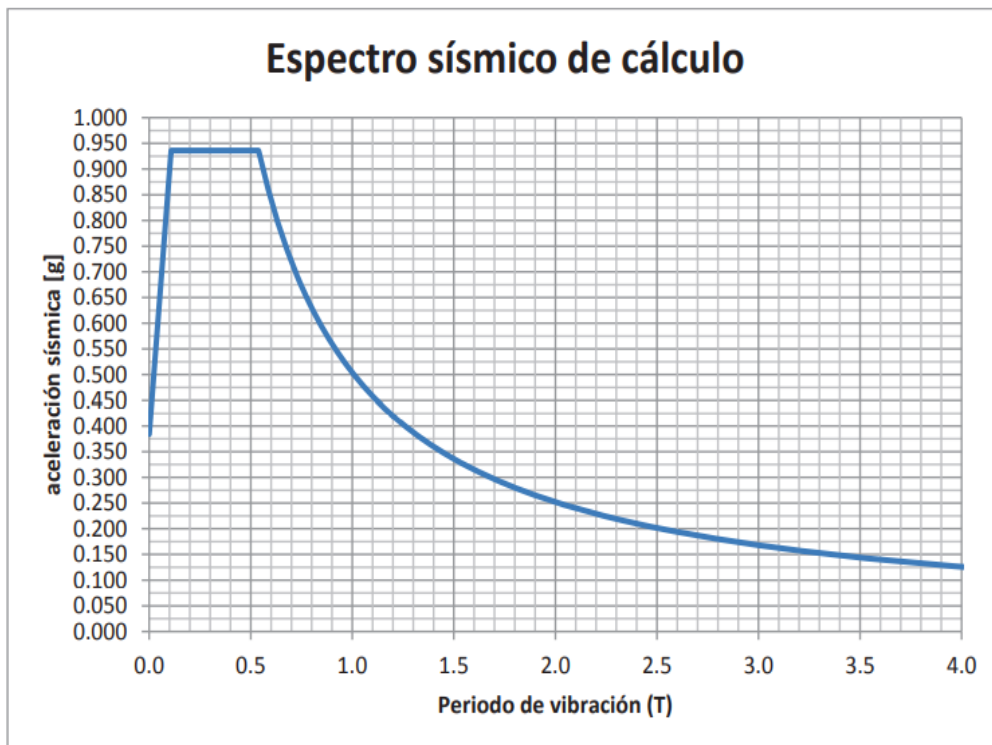


Figura 28: Espectro de diseño  
Fuente: (SIMA, 2019)

## 5.4. Valores representativos de las acciones

### 5.4.1. Coeficientes parciales de seguridad

Para los coeficientes de mayoración de acciones se tomarán las siguientes hipótesis, de acuerdo con el manual de diseño de puentes y la AASHTO

Tabla 11:

Combinaciones de carga y factores de carga

Combinación de Cargas	DC		Usar sólo uno por vez																						
	DD	LL	DW	IM	EH	CE	EV	BR	TU	ES	PL	CR	EL	LS	WA	WS	WL	FR	SH	TG	SE	EQ	IC	CT	CV
RESISTENCIA I (a menos que se especifique lo contrario)	$\gamma_p$	1.75	1.00	-	-	1.00	0.50/1.20	$\gamma_{IE}$	$\gamma_{SE}$	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	0.50/1.20	$\gamma_{IE}$	$\gamma_{SE}$	-	-	-	-
RESISTENCIA II	$\gamma_p$	1.35	1.00	-	-	1.00	0.50/1.20	$\gamma_{IE}$	$\gamma_{SE}$	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	0.50/1.20	$\gamma_{IE}$	$\gamma_{SE}$	-	-	-	-
RESISTENCIA III	$\gamma_p$	-	1.00	1.40	-	1.00	0.50/1.20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	0.50/1.20	$\gamma_{IE}$	$\gamma_{SE}$	-	-	-	-
RESISTENCIA IV - Sólo EH, EV, DW, DC	$\gamma_p$ 1.5	-	1.00	-	-	1.00	0.50/1.20	$\gamma_{IE}$	$\gamma_{SE}$	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	0.50/1.20	$\gamma_{IE}$	$\gamma_{SE}$	-	-	-	-
RESISTENCIA V	$\gamma_p$	1.35	1.00	0.40	1.00	1.00	0.50/1.20	$\gamma_{IE}$	$\gamma_{SE}$	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	0.50/1.20	$\gamma_{IE}$	$\gamma_{SE}$	-	-	-	-
EVENTO EXTREMO I	$\gamma_p$	$\gamma_{EQ}$	1.00	-	-	1.00	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	1.00	0.50/1.20	$\gamma_{IE}$	$\gamma_{SE}$	-	-	-	-
EVENTO EXTREMO II	$\gamma_p$	0.50	1.00	-	-	1.00	-	-	-	-	-	1.00	1.00	1.00	-	-	-	1.00	0.50/1.20	$\gamma_{IE}$	$\gamma_{SE}$	-	-	-	-
SERVICIO I	1.00	1.00	1.00	0.30	1.00	1.00	1.00/1.20	$\gamma_{IE}$	$\gamma_{SE}$	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	0.50/1.20	$\gamma_{IE}$	$\gamma_{SE}$	-	-	-	-
SERVICIO II	1.00	1.30	1.00	-	-	1.00	1.00/1.20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	0.50/1.20	$\gamma_{IE}$	$\gamma_{SE}$	-	-	-	-
SERVICIO III	1.00	0.80	1.00	-	-	1.00	1.00/1.20	$\gamma_{IE}$	$\gamma_{SE}$	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	0.50/1.20	$\gamma_{IE}$	$\gamma_{SE}$	-	-	-	-
SERVICIO IV	1.00	-	1.00	0.70	-	1.00	1.00/1.20	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	0.50/1.20	$\gamma_{IE}$	$\gamma_{SE}$	-	-	-	-
FATIGA - Sólo LL, IM Y CE	-	0.75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	0.50/1.20	$\gamma_{IE}$	$\gamma_{SE}$	-	-	-	-

Fuente: (ESPECIFICACIONES AASHTO PARA EL DISEÑO DE PUENTES POR EL MÉTODO LRFD, 2017).

Tabla 12:

Factores de carga para cargas permanentes debidas a deformaciones superpuestas, Y

Tipo de carga	Factor de Carga	
	Máximo	Mínimo
DC: Elemento y accesorios	1.25	0.90
DD: Fricción negativa (downdrag)	1.80	0.45
DW: Superficies de rodamiento e instalaciones para servicios públicos	1.50	0.65
EH: Empuje horizontal del suelo		
* Activo	1.50	0.90
* En reposo	1.35	0.90
EL: Tensiones residuales de montaje	1.00	1.00
EV: Empuje vertical del suelo		
* Estabilidad global	1.00	N/A
* Muros de sostenimiento y estribos	1.35	1.00
* Estructura rígida enterrada	1.30	0.90
* Marcos rígidos	1.35	0.90
* Estructuras flexibles enterradas u otras, excepto alcantarillas	1.95	0.90
metálicas rectangulares		
* Alcantarillas metálicas rectangulares flexibles	1.50	0.90
ES: Sobrecarga de suelo	1.50	0.75
Bridge Component	PS	CR, SH
Superstructures - Segmental	1.00	See Yp for DC, Table 3.4.1-2
Concrete Substructure supporting Segmental Superstructures (see 3.12.4,3.12.5)		
Concrete Superstructures - non -segmental	1.00	1.00
Substructures supporting non-segmental Superstructures		
* using Ig	0.50	0.50
* using I effective	1.00	1.00
Steel Substructures	1.00	1.00

Fuente: (ESPECIFICACIONES AASHTO PARA EL DISEÑO DE PUENTES POR EL MÉTODO LRFD, 2017).

Donde:

DC = Pesos Propios elementos estructurales y no estructurales

DW = Cargas muertas.

EH = Empujes horizontales del terreno.

EL = Cargas debidas al pretensado

ES = Cargas debidas a la acumulación del terreno

EV = Presión vertical debida al relleno de tierras.

BR = Fuerza de frenado

CE = Fuerza centrífuga

CR = Fluencia

CT = Impacto de vehículos  
CV = Impacto de embarcaciones  
EQ = Sismo  
FR = Rozamiento  
IC = Empuje debido al hielo  
IM = Coeficiente de impacto vehicular  
LL = Sobrecarga vehicular  
LS = Sobrecarga no vehicular  
PL = Sobrecarga de peatones  
SE = Asiento de los apoyos  
SH = Retracción  
TG = Gradiente térmico  
TU = Diferencia uniforme de temperatura  
WA = Carga de agua sobre el tablero  
WL = Viento sobre la sobrecarga  
WS = Viento sobre la estructura

### 5.5. Modelamiento del puente Noruega en CSI Bridge

A continuación, se incluye la definición del modelo de cálculo empleado para la verificación del tablero.

En este modelo se consideran todos los elementos del puente, tablero, arco, tirantes y montantes, apoyos mediante muelles lineales.

Adicionalmente, para acercar más el comportamiento del modelo de cálculo al comportamiento real de la estructura, se considera el proceso constructivo real, en el que el peso propio de acero y concreto actúan sobre la estructura metálica y el resto de las cargas actúan sobre la estructura mixta.

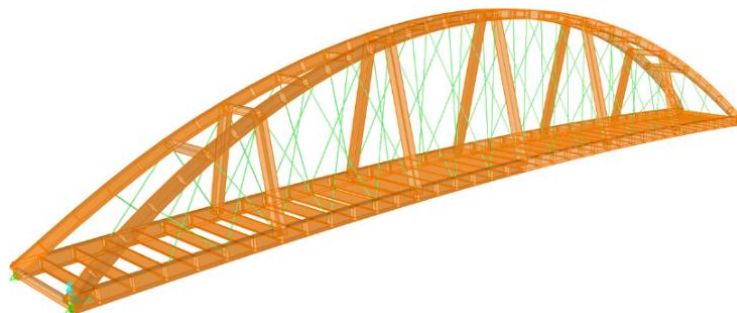


Figura 29: Vista general del modelo en CSI Bridge  
Fuente: Propia

### 5.5.1. Geometría Puentes Doble Arco Superior

A continuación, se muestran algunos gráficos con el modelo realizado.

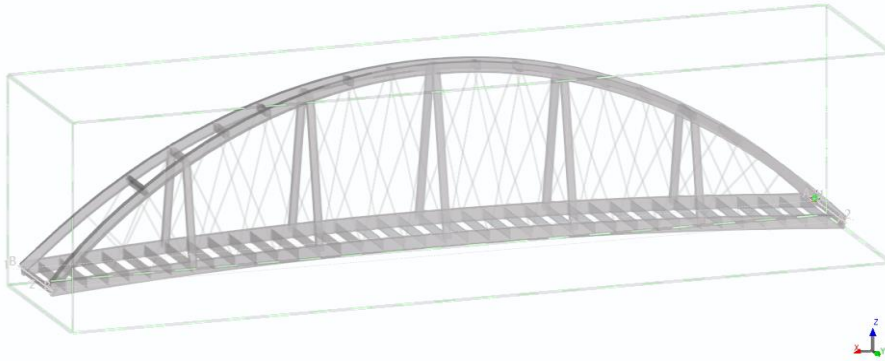


Figura 30: Vista general del modelo en Tekla Structures  
Fuente: Propia



Figura 31: Vista frontal del modelo en Tekla Structures  
Fuente: Propia

### 5.5.2. Definición de cargas aplicadas

#### A. Encofrado perdido PPS (DC)

La carga se introduce en las vigas transversales del tablero separadas 4.0 m entre sí, por lo que carga considera en el modelo de cálculo resulta igual a:

- $q_1 = 20.394 \text{ kg/m}^2 \times 4 \text{ m} = 81.576 \text{ kg/m}$
- $q_2 = 20.394 \text{ kg/m}^2 \times 3.5 \text{ m} = 71.379 \text{ kg/m}$

- $q_3 = 20.394 \text{ kg/m}^2 \times 1.5 \text{ m} = 30.591 \text{ kg/m}$

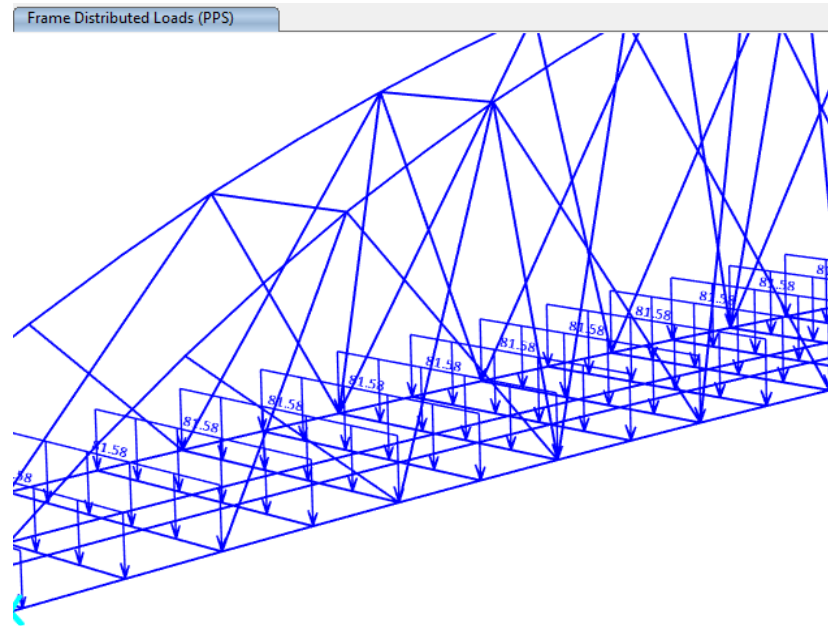


Figura 32: Carga distribuida "Encofrado perdido"  
Fuente: Propia

#### B. Peso propio del concreto PPC (DC)

La carga se introduce en las vigas transversales del tablero separadas 4.0 m entre sí, por lo que carga considera en el modelo de cálculo, teniendo en cuenta la sección de concreto y su densidad, resulta igual a:

- $q_1 = 2500 \text{ kg/m}^3 \times 0.25 \text{ m} \times 4 \text{ m} = 2500.00 \text{ kg/m}$
- $q_2 = 2500 \text{ kg/m}^3 \times 0.25 \text{ m} \times 3.5 \text{ m} = 2187.50 \text{ kg/m}$
- $q_3 = 2500 \text{ kg/m}^3 \times 0.25 \text{ m} \times 1.5 \text{ m} = 937.50 \text{ kg/m}$

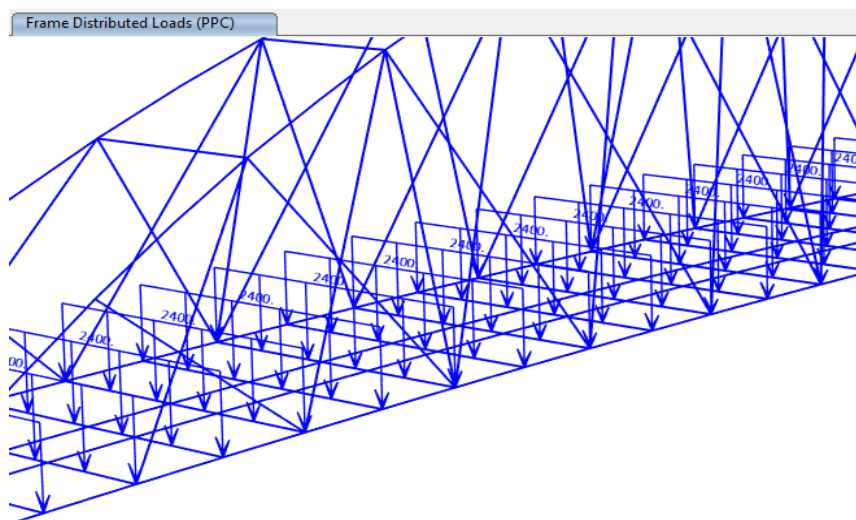


Figura 33: Carga distribuida "Peso del concreto"  
Fuente: Propia



### C. Carga muerta CM (DW)

Es el valor de la carga correspondiente al pavimento y a las barreras, por lo que las cargas a aplicar son:

Pavimento:

- $q_1 = 0,05 \times 2400 \times 4,0 = 480\text{kg/m}$
- $q_2 = 0,05 \times 2400 \times 3,5 = 420\text{kg/m}$
- $q_3 = 0,05 \times 2400 \times 1,5 = 180\text{kg/m}$

Recercido concreto veredas:

- $q = 0.10 \times 2500 \times 4.0 = 1000 \text{ kg/m}$
- $q = 0.10 \times 2500 \times 3.5 = 875 \text{ kg/m}$
- $q = 0.10 \times 2500 \times 1.5 = 375 \text{ kg/m}$

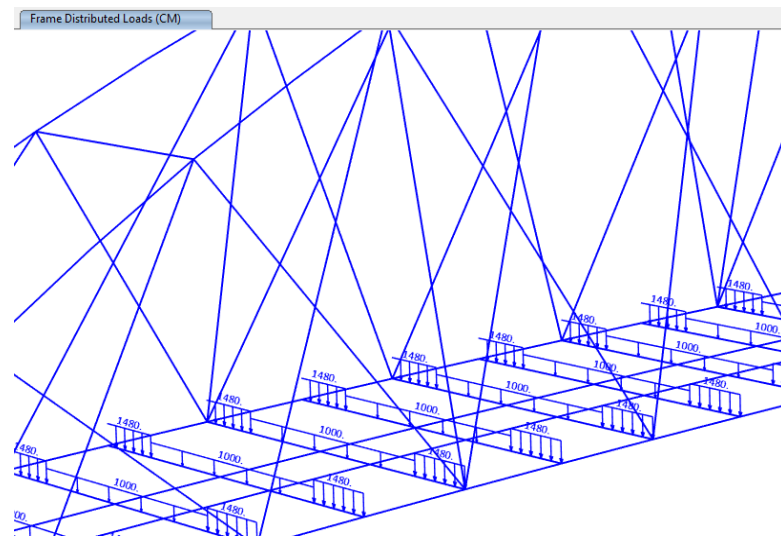


Figura 34: Carga distribuida "Carga muerta"  
Fuente: Propia

### D. Sobrecarga de uso SC (LL + PL)

La carga se introduce en las vigas transversales del tablero separadas 4.0 m entre sí, por lo que carga considera en el modelo de cálculo resulta igual a:

- Sobrecarga uniforme (LL)

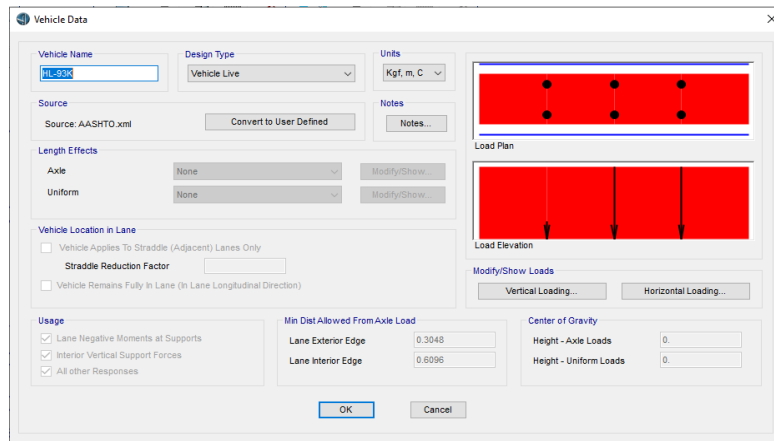


Figura 35: Camión de diseño  
Fuente: Propia

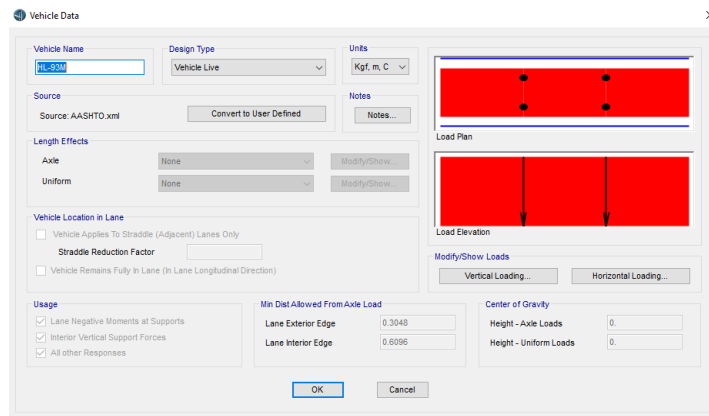


Figura 36: Tándem de diseño  
Fuente: Propia

$$q = (950/3) \times 4.0 = 1266.67 \text{ kg/m (aplicada en el ancho de la vereda)}$$

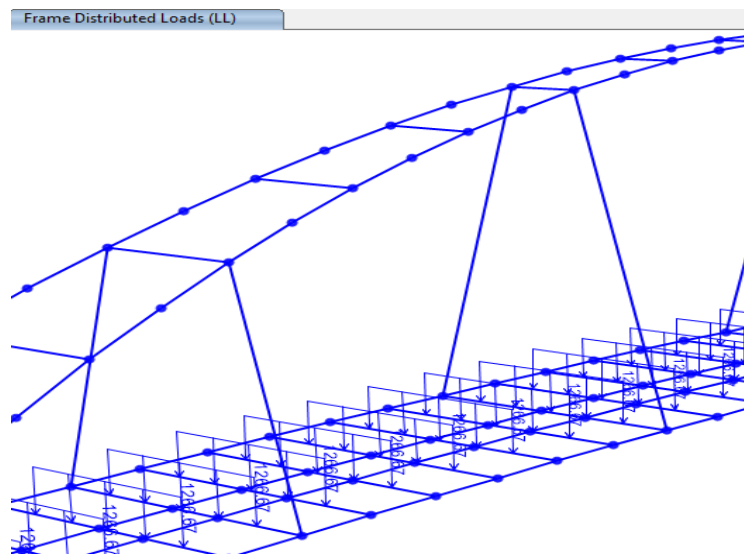


Figura 37: Carga de carril  
Fuente: Propia

- Sobrecarga en veredas (PL)
  - $q = 360 \times 4.0 = 1440 \text{ kg/m}$  (aplicada en el ancho de la vereda)
  - $q = 360 \times 3.5 = 1260 \text{ kg/m}$  (aplicada en el ancho de la vereda)
  - $q = 360 \times 1.5 = 540 \text{ kg/m}$  (aplicada en el ancho de la vereda)

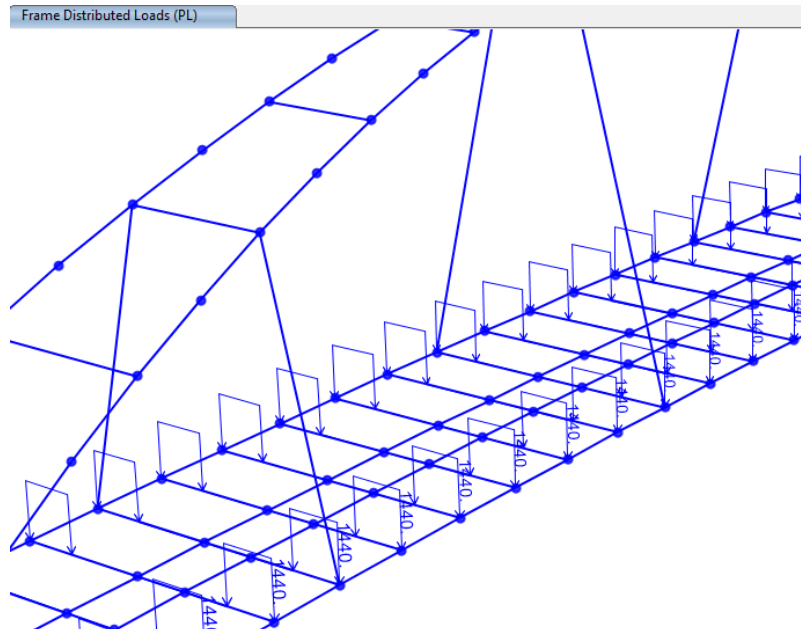


Figura 38: Carga Peatonal  
Fuente: Propia

- Viento (WL + WS)  
Se adoptan las siguientes acciones equivalentes para el viento sobre la estructura:

$$P_{\text{viga long inferior barlovento}} = 2,00 \times 1,04 \times 245 = 509,60 \text{ kg/m}$$

$$P_{\text{viga long inferior sotavento}} = 2,00 \times 1,04 \times 122 = 253,76 \text{ kg/m}$$

$$P_{\text{viga long superior barlovento en apoyo}} = 1,60 \times 1,04 \times 245 = 407,68 \text{ kg/m}$$

$$P_{\text{viga long superior sotavento en apoyo}} = 1,60 \times 1,04 \times 122 = 203,01 \text{ kg/m}$$

$$P_{\text{viga long superior barlovento en clave}} = 1,60 \times 1,64 \times 245 = 642,88 \text{ kg/m}$$

$$P_{\text{viga long superior sotavento en clave}} = 1,60 \times 1,64 \times 122 = 320,13 \text{ kg/m}$$

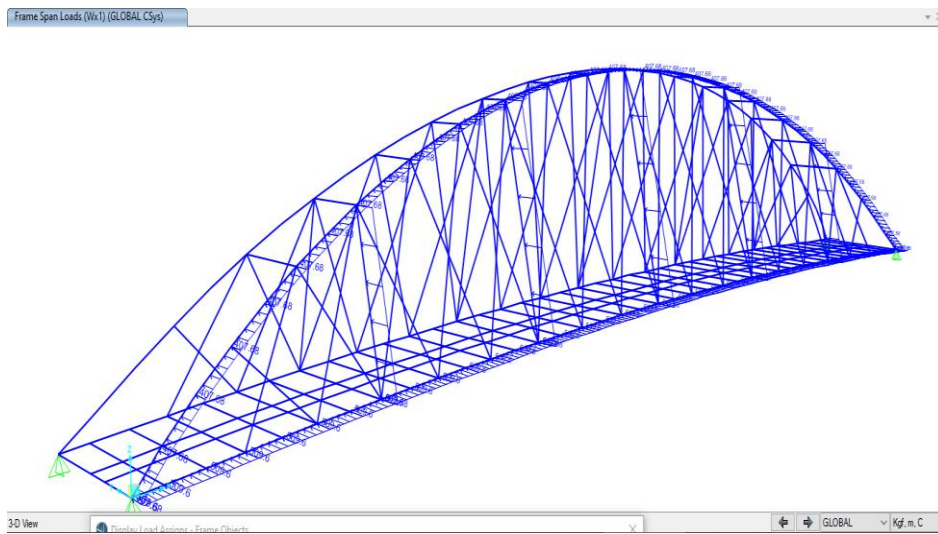


Figura 39: Carga de viento en barlovento

Fuente: Propia

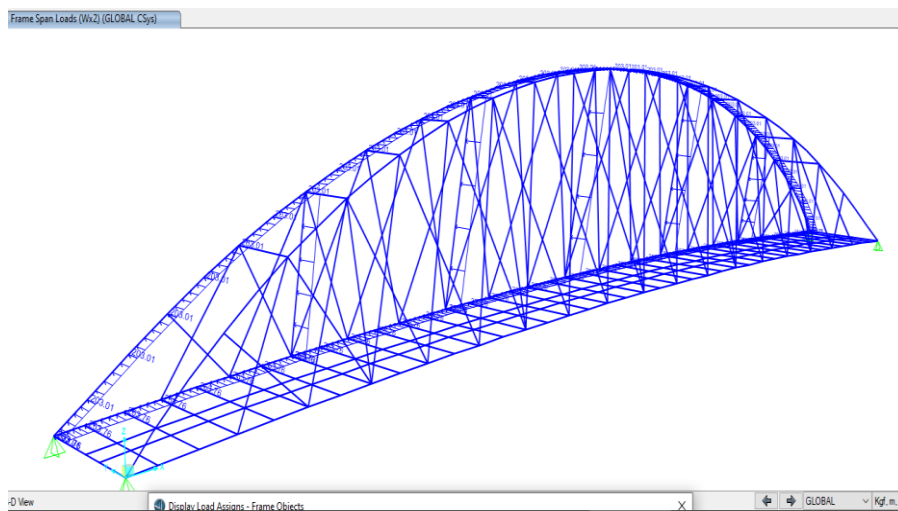
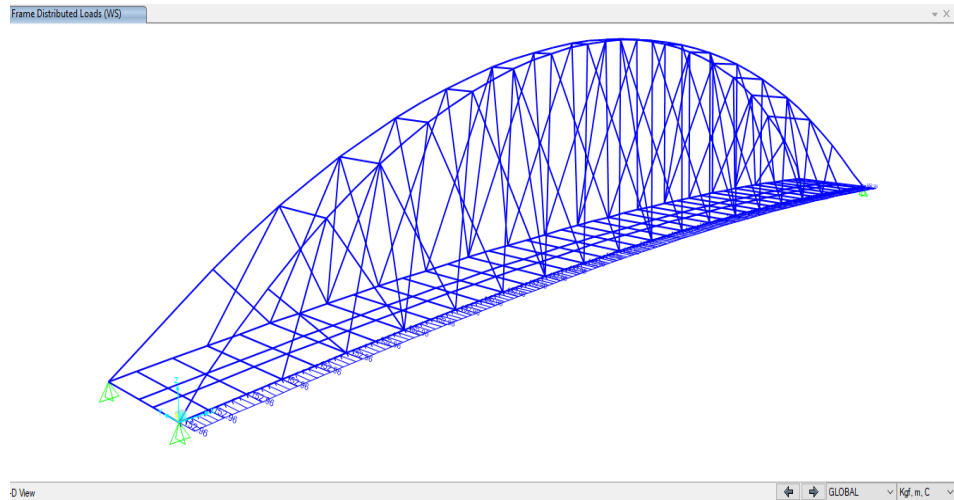


Figura 40: Carga de viento en sotavento

Fuente: Propia

- Viento sobre la sobrecarga (WS)  
Se considera una presión de viento igual a 152.96 kg/m aplicada a una altura de 1.8 m sobre la rasante.



*Figura 41: Carga de viento WS*  
Fuente: Propia

### 5.5.3. Combinación de acciones

Las combinaciones por considerar son las siguientes:

- Resistencia I: Combinación básica relativa al uso de la estructura sin considerar viento
- Resistencia III: Combinación en situación de vientos superiores a 90 km/h
- Resistencia V: Combinación relativa al uso de la estructura en situaciones de viento inferiores a 90 km/h
- Evento Extremo I: Combinación con sismo
- Servicio I: Combinación básica de servicio referida al uso de la estructura en situaciones de viento a 90 km/h, se empleará para todas las comprobaciones en servicio relativas al control de deformaciones de la estructura y a la figuración del concreto.
- Servicio II: Combinación de referencia para la verificación de deformaciones plásticas en elementos metálicos.

#### 5.5.4. Estados límite de servicio

El límite considerado para la flecha correspondiente a la parte de las sobrecargas de la combinación servicio I es igual a  $L/1000$ . Siendo  $L$  el claro del vano objeto de estudio. Las hipótesis por verificar, de acuerdo con el artículo [1]3.6.1.3.2, son las siguientes:

- Camión de diseño
- Sobrecarga uniforme de diseño + 25% del camión de diseño

La flechas o deformaciones obtenidas en el centro del vano resultan iguales

a: Sobrecarga uniforme  $f = 15.56$  mm

Camión de diseño  $f = 17.31$  mm

Resultando, por tanto, la verificación:

$$f_1 = 15.56 + 0.25 \cdot 17.31 = 19.89 \text{ mm} \leq L/1000 = 150000/1000 = 150 \text{ mm}$$

$$f_2 = 15.56 \text{ mm} < f_1 = 19.89 \text{ mm}$$

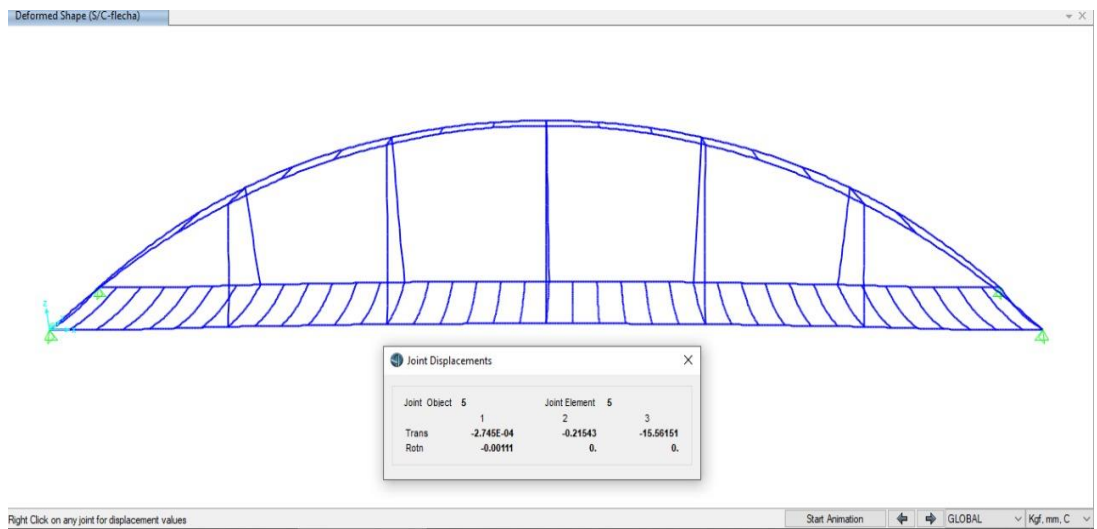


Figura 42: Flecha-Sobrecarga uniforme usando A709

Fuente: Propia

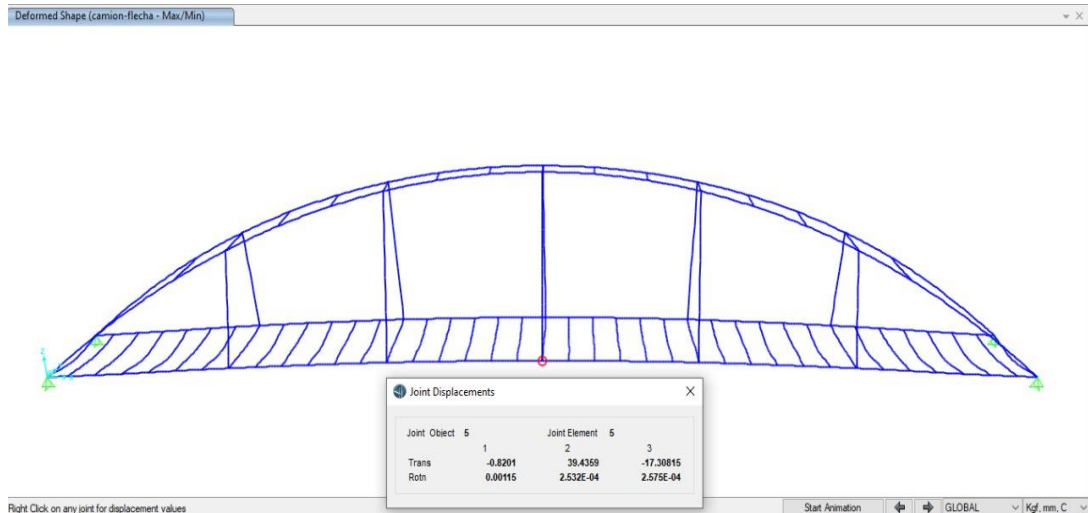


Figura 43: Flecha-Camión de diseño usando A709  
Fuente: Propia

### 5.6. Cálculo del Rating Factor a través de la metodología LRFD.

Se configura y cambia los valores de ser necesario para el análisis en este software, luego se realizó la adición de nuestras combinaciones y así evitar que lo haga con la norme elegida.

Steel Frame Design Preferences for AISC 360-10

Item	Value
1 Design Code	AISC 360-10
2 Multi-Response Case Design	Envelopes
3 Framing Type	OMF
4 Seismic Design Category	D
5 Importance Factor	1.
6 Design System Rho	1.
7 Design System Sds	0.5
8 Design System R	3.
9 Design System Omega0	3.
10 Design System Cd	5.5
11 Design Provision	LRFD
12 Analysis Method	Direct Analysis
13 Second Order Method	General 2nd Order
14 Stiffness Reduction Method	Tau-b Fixed
15 Phi(Bending)	1.
16 Phi(Compression)	0.9
17 Phi(Tension-Yielding)	0.9
18 Phi(Tension-Fracture)	0.75
19 Phi(Shear)	1.
20 Phi(Shear-Short Webed Rolled I)	1.
21 Phi(Torsion)	0.9
22 Ignore Seismic Code?	No
23 Ignore Special Seismic Load?	No

Figura 44: Factores de reducción  
Fuente: Propia

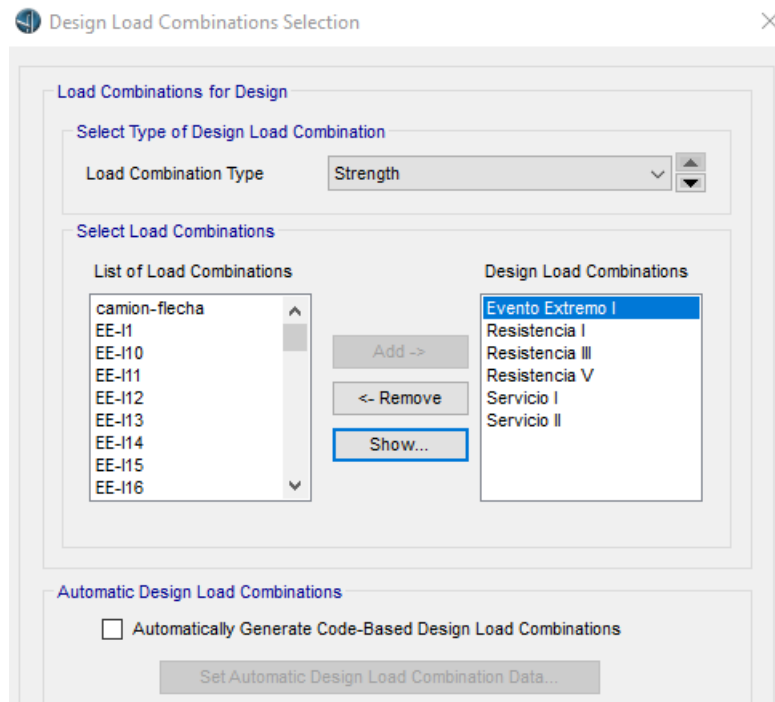


Figura 45: Combinaciones de carga  
Fuente: Propia

Mediante el uso del comando Design > Steel design frame > Start design/ Check of structure, nos permite evaluar gráficamente que elemento estructural se encuentra en una zona crítica (color rojo) y que necesariamente debe ser reemplazado, o que elemento estructural esta sobre diseñado (color plomo).

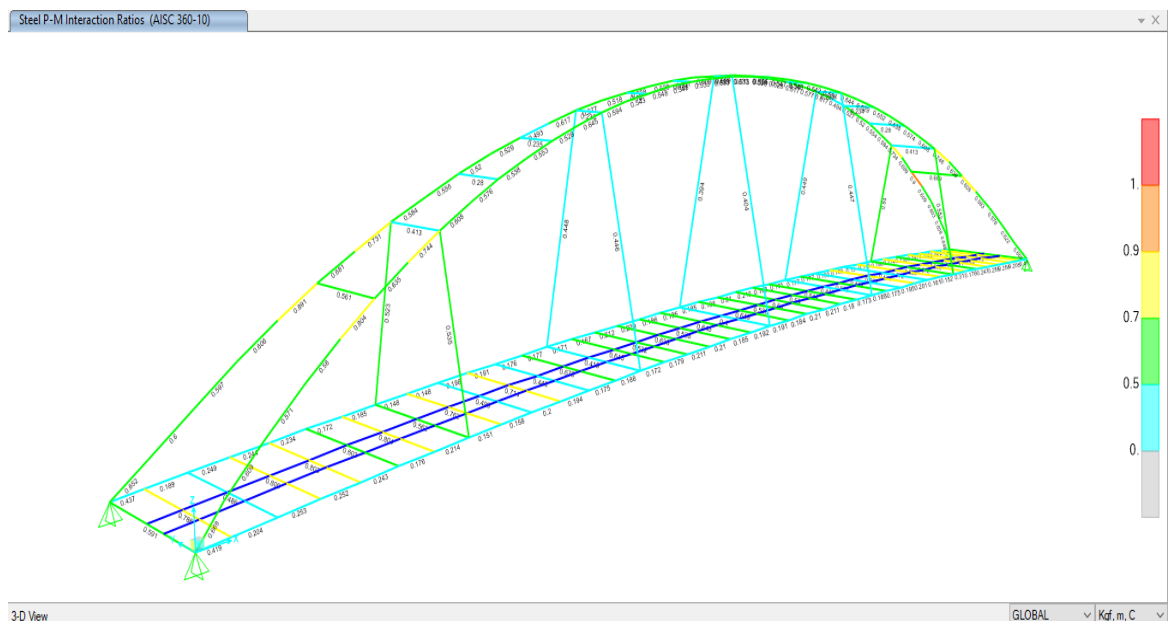


Figura 46: Barra de colores del puente con el acero A709  
Fuente: Propia



## **CAPÍTULO VI: ANÁLISIS DE COSTOS A NIVEL DE PREINVERSIÓN**

### 6.1. Descripción de costos de inversión del proyecto

El resultado de la suma de los costos directos, plan covid -19, gastos generales e IGV, asciende al monto de S/.75,202,102.43 (SETENTA Y CINCO MILLONES DOSCIENTOS DOS MIL CIENTO DOS Y 43/100 SOLES) incluido IGV para todo el proyecto.

#### 6.1.1. Costos Directos

Estos gastos tienen una relación directa a la realización y producción de la obra, estos afectan de manera directa al presupuesto del proyecto. Para esta investigación se evaluará solo la incidencia de los costos de los elementos estructurales de la superestructura, que son de acero, dejando que todas las demás partidas sean las mismas.

#### 6.1.2. Costos por plan Covid-19

Al encontrarnos con el estado de emergencia decretado por el estado peruano, se tiene que tomar en cuenta los costos por plan de Covid-19 para evitar la propagación de dicha enfermedad.

#### 6.1.3. Gastos Generales

Son todos aquellos gastos que no están considerados como costos directos del proyecto, pero que son necesarios para la ejecución de este.

### 6.2. Descripción de costos de mantenimiento por tiempo de vida útil

#### 6.2.1. Mantenimiento Rutinario

Son los mantenimientos que se realizan al proyecto durante su etapa de funcionamiento anualmente, son principalmente para las necesidades básicas del funcionamiento del proyecto.

### 6.2.2. Mantenimiento Periódico

Son los mantenimientos que se realizan al proyecto durante su etapa de funcionamiento cada 5 años, esta investigación nos enfocaremos en los costos de las partidas que se realicen en este mantenimiento respecto a las estructuras de acero.

### 6.3. Análisis de costos de inversión con una superestructura de acero A709Gr50

El costo para la fabricación del puente Noruega con acero A709Gr50 llegó a la cifra de S/. 35,016,979.30 (TREINTA Y CINCO MILLONES DIESISEIS MIL NOVECIENTOS SETENTA Y NUEVE Y 30/100 SOLES). Para nuestra investigación se analizó la partida de la superestructura donde tenemos a los elementos estructurales de acero. Dejando a todas las demás partidas de igual forma a como se expresan en el expediente técnico.

#### 6.3.1. Análisis de costos de inversión con una superestructura de acero A709Gr50

De la partida 01.03.03.01 del expediente técnico aprobado del puente Noruega se obtuvo que para la adquisición del acero ASTM A709-11 GRADE 50 se necesitó una inversión de S/. 4,929,437.50,

Tabla 13:  
Presupuesto Puente Noruega con acero A709

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
<b>01</b>	<b>PUENTE</b>				35,016,979.30
<b>01.03</b>	<b>SUPERESTRUCTURA</b>				22,136,554.62
01.03.03	ESTRUCTURA METALICA DE TABLERO				4,929,437.50
01.03.03.01	FRABRICACIÓN DE ESTRUCTURA METÁLICA ASTM A709-11 GRADE 50	TN	1,516.75	3,250.00	4,929,437.50

Fuente: (SIMA, 2019)

### 6.3.2. Análisis de costos de inversión con una superestructura de acero A588

Analizando la misma partida 01.03.03.01 del expediente técnico del puente Noruega, pero con el precio unitario del acero ASTM A588 se obtiene que se necesita una inversión de S/. 5,884,990.00.

Tabla 14:

Presupuesto Puente Noruega con acero A588

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
<b>01</b>	<b>PUENTE</b>				35,972,531.80
<b>01.03</b>	<b>SUPERESTRUCTURA</b>				23,092,107.12
	ESTRUCTURA METALICA DE				
01.03.03	TABLERO				5,884,990.00
	FRABRICACIÓN DE ESTRUCTURA				
01.03.03.01	METÁLICA ASTM A588	TN	1,516.75	3,880.00	5,884,990.00

Fuente: Propia

### 6.4. Análisis de costos de mantenimiento del puente Noruega

#### 6.4.1. Análisis de costos de mantenimiento con el acero A709Gr50

Los mantenimientos que se analizara para la investigación serán los mantenimiento periódicos (cada 05 años) donde se debe hacer un mantenimiento a todos los elementos metálicos de la superestructura.

Tabla 15:

Presupuesto del mantenimiento periódico

ITEM	DESCRIPCION	METRADO (m2)	PRECIO (S/.)	PARCIAL (S/.)
01.00.00	COSTOS DE MANTENIMIENTO PERIODICO			
01.03.00	MANTENIMIENTO SUPERESTRUCTURA			
01.03.03	ESTRUCTURA METALICA			
01.03.03.02	ARENADO Y PINTADO DE VIGAS METALICAS	22,175.63	80.00	1,774,050.40

Fuente: (SIMA, 2019)

De la partida de arena y pintado de vigas metálicas del estudio de pre-inversión del proyecto puente Noruega se puede estimar que se gastara S/.

1,774,050.40 en el mantenimiento periódico de los elementos estructurales de la superestructura. Durante todo el tiempo de vida del proyecto esta suma alcanzará la cifra de S/. 7,096,201.60 lo cual representa que solo en mantenimiento del puente se realizara un gasto de 20.27% del costo total de la fabricación del puente.

#### 6.4.2. Análisis de costos de mantenimiento con el acero A588

Debido a las propiedades químicas de este acero, este no necesita un mantenimiento para evitar la corrosión de sus partes. Llevando a que nuestros costos de mantenimiento sean cero.

## CAPÍTULO VII: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 7.1. Análisis de resultados técnicos y económicos

#### 7.1.1. Resultados técnicos

a. El estado límite de servicio que se indica en el expediente técnico resulta un  $f_{max}=21\text{mm}$  y en la presente investigación resulta  $f_{max}=19.89\text{ mm}$ , lo cual, estamos por debajo de los resultados del expediente técnico y cumplimos con la combinación de servicio I es igual a  $L/1000$ , siendo L el claro del vano objeto de estudio.

b. Resultados de estado límite de servicio

De acuerdo con los resultados obtenidos en la figura N°42 y N°43 podemos afirmar que la flecha de la superestructura se encuentra dentro de la combinación de servicio I.

De acuerdo con las siguientes figuras N°47 la flecha-sobrecarga uniforme usando el material A588 resulta  $f_1=15.56\text{mm}$  y la figura N°48 la flecha-camión de diseño usando el acero A588 resulta  $f_2=17.31\text{mm}$ , prácticamente los resultados son similares usando el material A709.

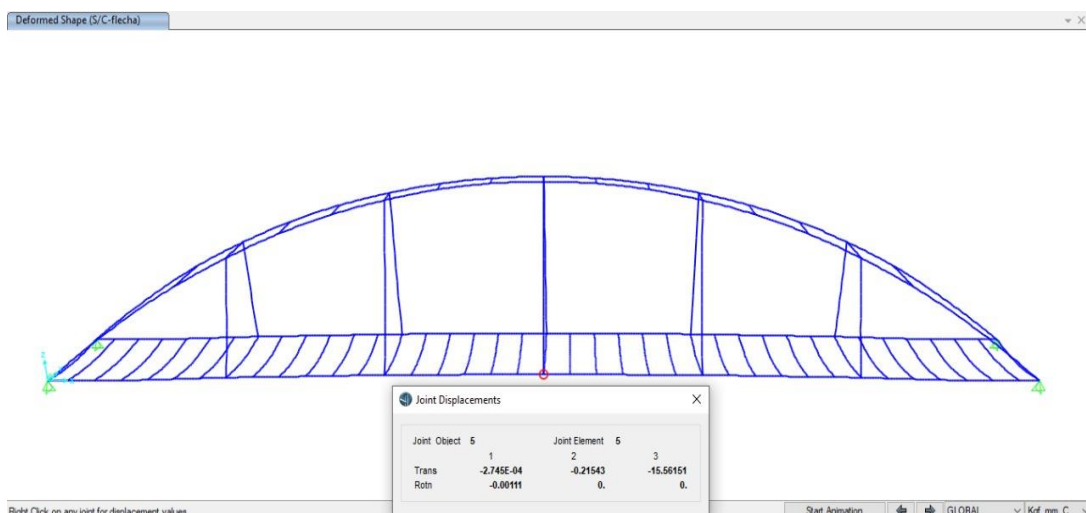


Figura 47: Flecha-sobrecarga uniforme usando A588.

Fuente: Propia.

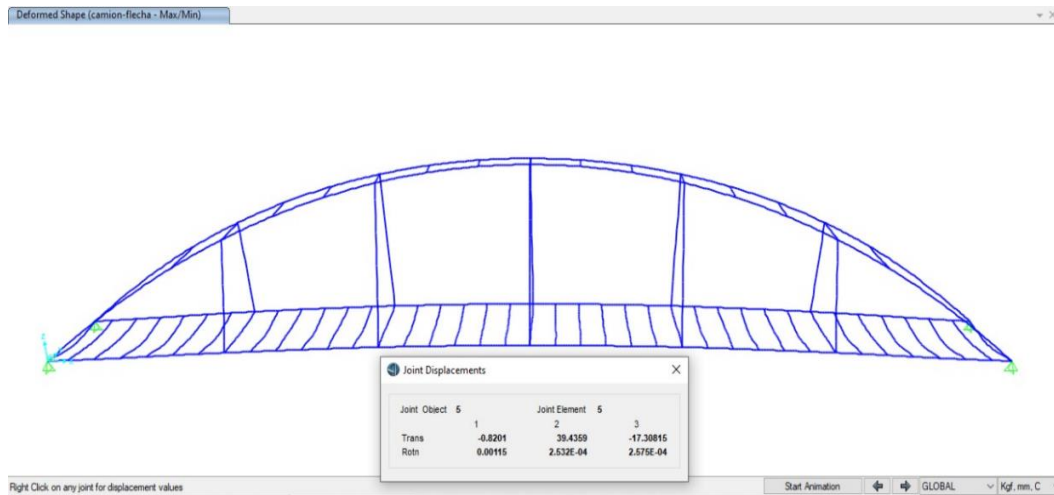


Figura 48: Flecha-camión de diseño usando A588.

Fuente: Propia.

### c. Resultado del Rating Factor

Los resultados de las ratios del expediente técnico resultan a nivel de arco inferior y arco superior es menores a 1, a nivel de montantes menores a 0.75, a nivel de vigas de conexión de arco superior menores a 0.60 y a nivel de vigas longitudinales de conexión del arco inferior no cuenta con la información. En la presente investigación el resultado del modelado se puede observar en la figura N° 46 resultan a nivel de arco inferior menores a 0.50 y arco superior es menores a 1, a nivel de montantes menores a 0.55, a nivel de vigas de conexión de arco superior menores a 0.60 y a nivel de vigas longitudinales de conexión del arco inferior menores a 0.90.

Luego de haber realizado el análisis y diseño de la superestructura con el acero A588 se demuestra prácticamente que se tiene el mismo comportamiento ante cargas de servicio que se muestra en la siguiente figura 49:

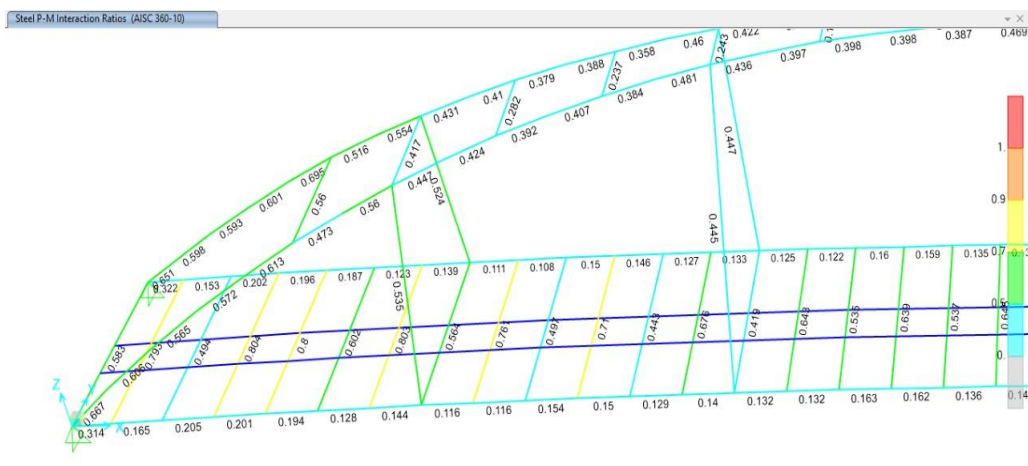


Figura 49: Barra de colores del puente con el acero A588.

Fuente: Propia.

### 7.1.2. Resultados económicos

- a. De las tablas 13 y 14 podemos analizar que la implementación de un puente con acero mejorado contra la corrosión resulta mayor que la de un puente con acero convencional pues, los costos de importación juegan un papel importante ya que aumenta en un 19.38% a nivel de adquisición del material.
- b. Los costos de mantenimiento durante todo el tiempo de vida del puente Noruega asciende hasta el 20.27% del costo total del puente. Mientras que con el acero mejorado contra la corrosión no obtenemos mayores costos.

## 7.2. Constatación de hipótesis

### 7.2.1. Hipótesis general

La evaluación técnica y económica del puente Noruega con acero mejorado contra la corrosión, obtiene mejores resultados que la evaluación con un acero convencional.

Se puede confirmar y concluir que después de haber desarrollado el análisis y diseño de la superestructura, el Puente Noruega diseñado con el acero mejorado, soportará las condiciones de servicio. El comportamiento estructural obtenido del modelamiento bajo las cargas establecidas en los estándares LRFD, señala que las secciones diseñadas cumplen con los estados límites último y de servicio. Todos los límites fueron comprobados y se confirma la hipótesis asumida como verdadera. Se confirma la hipótesis.

### 7.2.2. Hipótesis Específicas

- a. El puente Noruega resulta con una tipología de puente de doble arco superior, donde las derivas cumplen con lo establecido dentro del manual de puentes; además de que se determinó los costos de fabricación y de mantenimiento periódicos y rutinarios.

Se valida valor de las derivas según lo permitido, se utilizó un modelo matemático para la tipología del puente, asignando los dos diferentes materiales, obteniendo los mismos resultados en el puente de doble arco superior

- b. La propuesta técnica del puente Noruega con acero mejorado contra la corrosión ofrece mejores ventajas estructurales que el sistema con acero convencional.

La propuesta técnica del puente Noruega con acero mejorado contra la corrosión no ofrece mejores ventajas estructurales que el sistema con acero convencional.

- c. La propuesta económica del puente Noruega con acero mejorado contra la corrosión ofrece mejores ventajas de mantenimiento que el sistema con acero convencional.

La propuesta económica del puente Noruega con acero mejorado contra la corrosión si ofrece mejores ventajas de mantenimiento que el sistema con acero convencional.



## CONCLUSIONES

1. Se concluye que el expediente técnico del puente Noruega ofrece un buen diseño acorde a lo establecido en el manual de puentes al cumplir con los ratios y flechas permitidas.
2. El análisis estructural basados en el diseño presentado en el expediente técnico del puente Noruega, con acero A588, nos resulta en parámetros iguales al del A709, negando así la hipótesis que el acero a588 nos provee un comportamiento estructural. Sin embargo, este acero al tener resultados iguales al a709 se puede concluir que puede ser usado la elaboración de puentes.
3. Se concluye que los costos de inversión del puente Noruega con acero a588 son mayores debido a que estos no se encuentran en mercados cercanos y el costo de importación es un extra en su adquisición.
4. Los costos de mantenimiento del puente Noruega con un acero a709 representan un 20.27% del valor de la fabricación del puente, concluyendo así que, en pequeñas comunidades, el análisis económico resultará no factible por los altos costos de mantenimiento frente a los bajos costos de beneficios, haciendo así que los proyectos de puentes no se aprueben.
5. Se concluye que el balance económico de la fabricación del puente Noruega con acero a588 resulta más eficiente que si fuera elaborado con el acero a709, que su costo extra de inversión de (restar el costo de inversión del 709-588) se compensado en el nulo costo de mantenimiento que se necesitará.

## **RECOMENDACIONES**

1. Para el análisis, diseño y construcción del puente con acero mejorado contra la corrosión, se recomienda elaborar normativas y manuales para poder incorporarlas en las normativas nacionales, el cual contenga criterios para desarrollar de manera óptima este tipo de material en temas de diseño y construcción.
2. Se recomienda realizar un análisis con elementos finitos para tener mejores resultados a nivel estructural en comparación con los dos materiales.
3. Se recomienda realizar un estudio de mercado de tal manera poder analizar cómo se manejan los precios de importación de este acero, ya que al haber muy pocos proveedores de este, suben mucho los costos.
4. Se recomienda realizar ensayos in situ del ambiente al cual se ejecutará el puente pues el acero mejorado contra la corrosión necesita un proceso de adaptación al ambiente, el cual se determina por el tipo de ambiente ante el cual está expuesto.
5. Se recomienda realizar investigaciones y ensayos del acero mejorado contra la corrosión de tal forma sea mejor el uso en estructuras de acero a comparación del acero convencional.

## BIBLIOGRAFÍA

- ANSI/AISC. (2010). *Construcciones de acero*. Santiago de Chile: Asociacion Latinoamericana de Acero.
- Bao, A. (2019). *Structural Capacity Analysis of Corroded Steel Girder Bridges*. Rochester Institute of Technology .
- Borja Suárez, M. (2012). *Metodología de la Investigación Científica para ingeniería Civil*. Chiclayo.
- Carpio Utrilla, C. J. (2005). Las estructuras metálicas, el arquitecto y la supervisión. En C. J. Carpio Utrilla, *Anuario 2005* (pág. 44). UAM Azcapotzalco.
- Coello Brito, L. A. (2021). *Análisis estructural comparativo de vigas simplemente apoyadas de hormigon pretensada y vigas de acero para el puente Trobador ubicado en el KM 26-Naranjal/Guayas aplicando el Grillage Method*. Guayaquil: Universidad de Guayaquil.
- Durán Olvera, J. M. (2017). *Análisis electroquímico del proceso de corrosión del composito TiC-Ni en agua de mar sintética*. Veracruz: Universidad Veracruzana.
- Espinoza Vázquez, A. (2022). *Evaluación electroquímica de TrasarTrac I02 como inhibidor de la corrosión en el acero API 5L X65 y su estudio teórico*. Veracruz: Universidad Veracruzana.
- Hernández Sampieri, R. (2014). *Metodología de la investigación*. México D.F.: McGrawHill Education.
- Javagerdashti, R. (2008). Microbiologically influenced corrosion "An engineering insight. En *Microbiologically influenced corrosion "An engineering insight* (págs. 1-35).
- Křivý, V., Vacek, M., & Mynarzová, L. (2022). *Corrosion Damage to Joints of Lattice Towers Designed from Weathring Steels*. Republic Czech: Technical University of Ostrava.
- Ladret, P. (2011). Rehabilitación del Puente de las Américas en Panamá. *Hormigón y acero*, págs. 7-44.
- Lazo Domenack, P. M., & Barba Estrada, L. J. (2019). *Análisis del proceso constructivo del Puente Chinchipe con el sistema de atirantamiento provisional*. Lima: Universidad Ricardo Palma.

- Lopez Pasapera, S. E. (2020). *Propuesta de un sistema de protección con pintura para evitar la corrosión de estructuras metálicas en la ciudadde Piura - 2020*. Piura: Universidad Nacional de Piura.
- Manterola, J. (1984). Evolución de los puentes en la historia reciente. *Informes de la construcción*, 1-31.
- Mañueco Navarro, I. E. (2018). *Evaluación de 4 puentes vehiculares tipo viga sobre el rio Rìmac utilizando el manual de inspección del MTC y software csibridge, Lima , 2018*. Lima: Universidad César Vallejo.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2018). *Manual de Puentes*. MTC.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2019). *Guía para inspección de puentes*. MTC.
- Montenegro Seminario, M. M. (2019). *Inspección de la superestructura y propuesta de un plan de mantenimiento preventivo del puente vehicular Sanchez Cerro, ubicado entre los distritos Piura y Castilla, provincia de Piura, Peru-2019*. Piura: Universidad Nacional de Piura.
- MTC. (09 de enero de 2020). [www.gob.pe](http://www.gob.pe). Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/mtc/noticias/76590-mtc-construyo-12-puentes-definitivos-en-cusco-durante-el-2019-para-contribuir-a-la-transitabilidad-de-la-region>
- Park, K. (2004). CORROSION RESISTANCE OF WEATHERING STEELS. 108.
- Pecho, Y. (2017). *Importancia del Mantenimiento Preventivo de Puentes en el Perú*. Lima: Universidad de Piura.
- Pérez Alejandría, N. (2019). *Acción erosiva del medio ambiente en estructuras metálicas de puentes peatonales entre km 6+792 km - 20+372 Panamericana Norte - Lima - 2019*. Lima: Universidad Cesar Vallejo.
- Pérez-Fadón Martínez, S., & Beneít, H. (2010). Puente arco de la Vicaría. *Hormigon y acero*, 1.
- Revie, R., & Uhlig, H. (2008). *Corrosion and Corrosion Control. An Introduction to Corrosion Science and Engineering*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Revie, R., & Uhlig, H. (2011). *Manual de corrosión de Uhlig*. John Wiley & Sons, Hoboken.
- Rupp, J. T. (2020). *Uncoated weathering steel bridgge data collection and performance assesment: brigde maintenance practices, deicing agent use, and field sampling*. Delaware: University of Delaware.

- Salazar Jiménez, J. A. (2015). Introducción al fenómeno de corrosión: tipos, factores que influyen y control para la protección de materiales (Nota técnica). *Tecnología en marcha Vol.26*, págs. 127-136.
- Schweitzer, F., & García, D. (2010). Un modelo basado en agentes de emociones colectivas en comunidades en línea. En *The European Physical Journal B: Materia Condensada y sistemas complejos* (págs. 533-545).
- Schweitzer, J., Becker, T., Schachner, M., Nave, K., & Werner, H. (2006). Evolución de las proteínas de proteolípidos de mielina: duplicación genes en teleósteos y diverfencia del patrón de expresión. En T. Becker, M. Schachner, & J. Schweitzer, *Neurociencias moleculares y celulares* (págs. 161-177).
- SIMA. (2019). *ELABORACION DEL EXPEDIENTE TECNICO DEFINITIVO "AMPLIACIÓN Y MEJORAMIENTO DEL PUENTE NORUEGA"*. Junín: Sima.
- Tello Gonzáles, J. A., Martínez Barrera, G., Viguera Santiago, E., & Varela Guerrero, V. (2022). Recubrimiento orgánicos a base de aceite de linaza como inhibidor de la corrosión. En J. A. Tello Gonzáles, G. Martínez Barrera, E. Viguera Santiago, & V. Varela Guerrero, *Materiales avanzados y nanomateriales: Aprovechamiento de fuentes naturales y sus beneficios al medio ambiente* (pág. 19). Toluca: Universidad Autónoma del estado de México.
- Troyano, L. F. (2015). Estructura y forma de los puentes arco metálicos. *HISTORIA DE LOS PUENTES ARCO*, 16.
- Ungermann, D., & Hatke, P. (2021). *European design guide for the use of weathering steel in bridge construction*. European Convention for Constructional Steelwork.

## ANEXOS

### ANEXO 1: Matriz de Consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLE GENERAL	DIMENSIÓN	INDICADOR	INDICE	INSTRUMENTO	Método
Problema General	Objetivos Generales	Hipótesis General						
¿Cómo realizar la evaluación técnica y económicamente del puente noruega con acero estructural convencional y acero mejorado contra la corrosión en Junín?	Realizar la evaluación técnica y económica del puente Noruega con acero estructural convencional y acero mejorado contra la corrosión en Junín.	La evaluación técnica y económica del puente Noruega con acero mejorado contra la corrosión, obtiene mejores resultados que la evaluación con un acero convencional	PUENTE NORUEGA	Análisis por factores de carga y resistencia Análisis de costos	Desplazamientos horizontales y verticales Costos de Mantenimiento	Centímetros (cm) Soles (s/.)	Software CSI BRIGDE	Cuantitativo ; transversal
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas	VARIABLES ESPECIFICAS					
¿Cómo realizar la evaluación del expediente técnico del puente Noruega, el diseño estructural con acero ASTM A709Gr50?	Realizar la evaluación del expediente técnico del puente Noruega, el diseño estructural con acero ASTM A709Gr50.	El puente Noruega resulta con una tipología de puente de doble arco superior, donde las derivas del cumplen con lo establecido dentro del manual de puentes; además de que se determinó, con el acero ASTM A709Gr50, que los costos de fabricación y de mantenimiento periódicos y rutinarios.	ACERO ESTRUCTURAL CONVENCIONAL	Parámetros de fabricación	Resistencia a la tracción Punto de fluencia Alargamiento	Megapascal s (Mpa) Megapascal s (Mpa) Pulgadas (")	NORMA ASTM A709Gr50.	Cuantitativo ; transversal
¿Cómo realizar el modelamiento del desempeño estructural del puente Noruega con el CSI BRIGDE para ambos tipos de aceros?	Analizar estructuralmente la superestructura del puente Noruega, aplicando los sistemas con acero estructural convencional y acero mejorado contra la corrosión	La propuesta técnica del puente Noruega con acero mejorado contra la corrosión ofrece mejores ventajas estructurales que el sistema con acero convencional.	ACERO MEJORADO CONTRA LA CORROSION	Parámetros de fabricación	Resistencia a la tracción Punto de fluencia Alargamiento	Megapascal s (Mpa) Megapascal s (Mpa) Pulgadas (")	Norma ASTM A588	Cuantitativo ; transversal

## ANEXO 2: Matriz de operacionalización de las variables

Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicador	Instrumento
Acero estructural convencional (variable independiente)	La siguiente variable se define como un acero estructural de bajo contenido de carbono y de alta resistencia usado para elaborar perfiles, placas y barras de acero aleado estructural y acero templado y revenido, aleación para placas estructurales destinadas al uso en puentes. (ASTM International, 2013)	Parámetros de fabricación	Resistencia a la tracción Punto de fluencia Alargamiento	Norma ASTM A709Gr50
Acero mejorado contra la corrosión (variable independiente)	La siguiente variable se define como un acero estructural de bajo contenido de carbono y de alta resistencia usado para perfiles, placas y barras de acero aleado estructural y acero templado y revenido, aleación para placas estructurales destinadas al uso en puentes soldados y edificios donde el ahorro de peso o durabilidad adicional son importantes. La resistencia a la corrosión atmosférica de este acero en la mayoría de los ambientes es sustancialmente mejor que la de los aceros estructurales al carbono con o sin adición de cobre. Cuando se expone adecuadamente a la atmósfera, este acero es adecuado para muchas aplicaciones en estado desnudo (sin pintar). (ASTM International, 2004)	Parámetros de fabricación	Resistencia a la tracción Punto de fluencia Alargamiento	Norma ASTM A588

ANEXO 3: Cronograma de Actividades

EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DEL PUENTE NORUEGA CON ACERO ESTRUCTURAL CONVENCIONAL Y ACERO MEJORADO CONTRA LA CORROSIÓN EN JUNÍN		Plan de desarrollo de Investigación							
		Año	2022						
		Meses	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE
CAPITULO 1	Planteamiento del problema								
	Formulación y delimitación del problema								
	Objetivos e Hipótesis								
CAPITULO 2	Marco Teórico								
	Estructura Teórica que sustenta la investigación								
CAPITULO 3	Marco Metodológico								
	Selección de Población y muestra de estudio								
	Planteamiento de técnicas, instrumentos y procesamiento de información								
CAPITULO 4	Evaluación de expediente técnico del puente Noruega								
	Modelamiento de la propuesta con acero ASTM A709Gr50								
	Modelamiento de la propuesta con acero ASTM A588								
	Análisis de costos								
	Comparación de resultados								
CAPITULO 5	Conclusiones y Recomendación								
	Análisis y discusión de los resultados obtenidos								
	Elección de la propuesta más favorable								
	Entregable Final								



ANEXO 4: Presupuesto

<b>Ítem</b>	<b>Descripción</b>	<b>Und.</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Parcial S/.</b>	<b>Precio Total S/.</b>	<b>Financiamiento</b>
<b>1</b>	<b>Recursos Físicos</b>					
1.01	Útiles de escritorio	Glb	1	100.00	100.00	Propio
1.02	Impresiones	Glb	1	150.00	150.00	Propio
1.03	Empastados	Glb	1	60.00	60.00	Propio
<b>2</b>	<b>Recursos Humanos</b>					
2.01	Curso TITES 2022	Und.	2	6,000.00	12,000.00	Propio
<b>3</b>	<b>Servicios</b>					
3.01	Adquisición de Softwares	Mes	6	220.00	1320.00	Propio
3.02	Acceso a Internet	Mes	6	160.00	960.00	Propio
<b>Total</b>					<b>14,590.00</b>	