

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA



FACULTAD DE INGENIERÍA

TESIS:

“ÍNDICE DE CONFIABILIDAD DEL PUENTE EL TINGO – DISTRITO DE SAN JUAN– PROVINCIA DE CAJAMARCA - CAJAMARCA”

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

Bach. Danny Pastor Burga Guerrero

ASESOR:

Dr. Miguel Ángel Mosqueira Moreno

CAJAMARCA – PERÚ 2024



CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

- Investigador:** DANNY PASTOR BURGA GUERRERO
DNI: 45575117
Escuela Profesional: INGENIERÍA CIVIL
- Asesor:** Dr. Ing. MIGUEL ANGEL MOSQUEIRA MORENO
Facultad: DE INGENIERÍA
- Grado académico o título profesional**
 Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor
- Tipo de Investigación:**
 Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico
- Título de Trabajo de Investigación:** "ÍNDICE DE CONFIABILIDAD DEL PUENTE EL TINGO – DISTRITO DE SAN JUAN – PROVINCIA DE CAJAMARCA – CAJAMARCA"
- Fecha de evaluación:** 16/09/2024
- Software antiplagio:** TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)
- Porcentaje de Informe de Similitud:** 24%
- Código Documento:** oid:3117:381929348
- Resultado de la Evaluación de Similitud:**
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 19/09/2024

	
FIRMA DEL ASESOR	FIRMA DIGITAL
Dr. Ing. MIGUEL MOSQUEIRA MORENO DNI: 26733060	Firmado digitalmente por: FERNANDEZ LEON Yvonne Katherine FAU 20148258001 soft Motivo: Soy el autor del documento Fecha: 18/09/2024 22:25:34-0500
	UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI

* En caso se realizó la evaluación hasta agosto de 2024

COPYRIGHT © 2024 by
DANNY PASTOR BURGA GUERRERO
Todos los Derechos Reservados

AGRADECIMIENTO

A mi familia

Expresar mi más profundo agradecimiento a mi familia, que me ha apoyado incondicionalmente durante todo el proceso de elaboración de esta tesis. A mis padres, que me han brindado una educación de calidad y me han transmitido los valores del esfuerzo, la perseverancia y la honestidad. A mi esposa, que ha sido mi compañera y mi inspiración, y que ha sabido comprender y respetar los momentos de dedicación y sacrificio que este trabajo ha requerido. A mis hermanos, que siempre han estado ahí para animarme y ayudarme en lo que necesitara. Y a mis hijos, que son mi mayor orgullo y motivación, y que me han llenado de alegría y esperanza con sus sonrisas y sus abrazos. A todos ellos, les agradezco ya que he realizado este trabajo con todo mi amor y gratitud.

A mis amigos

Por la confianza depositada en mí, para poder llegar juntos a muchas metas.

A mi asesor

Por las enseñanzas y el gran apoyo brindado en este proyecto y en mi formación universitaria.

DEDICATORIA

*A mi Padre Gilberto Burga, por la paciencia y la confianza depositada en mí, y
por ser esa maravillosa persona, el cual sigo como ejemplo.*

*A mi Madre Haydee Guerrero, por cada enseñanza brindada para guiarme para
ser una persona de grandes valores.*

CONTENIDO

AGRADECIMIENTO	iii
DEDICATORIA	iv
CONTENIDO	v
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.2.1. Problema general	3
1.3 HIPÓTESIS	3
1.3.1. Hipótesis General	3
1.4 Definición de Variables	3
1.4.1 Variables Independientes	3
1.4.2 Variables dependientes	3
1.5 Operacionalización de variables	3
1.5.1. Matriz de Operacionalización	3
1.5.2. Matriz de Consistencia	4
1.6 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	5
1.7 ALCANCES, DELIMITACIONES Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	6
1.7.1. Alcances y Delimitaciones	6
1.7.2. Limitaciones.	6
1.8 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	7
1.8.1. Objetivo General	7
1.8.2. Objetivos Específicos	7
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	8
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS	8
2.1.1. Antecedentes Internacionales	8
2.1.2. Antecedentes Nacionales	9
2.1.3. Antecedentes Locales	10
2.2. MARCO CONCEPTUAL	11
2.2.1. Definición de Puente	11
2.2.2 Partes de un puente.	11
2.2.3 Clasificación de puentes	12

2.3.	FILOSOFÍA DE DISEÑO PARA PUENTES DE CONCRETO ARMADO SEGÚN LRFD	15
2.3.1	Fundamentos de la filosofía diseño por esfuerzos admisibles (ASD)	15
2.3.2	Fundamentos de la filosofía diseño por factores de carga LFD	16
2.3.3	Fundamentos de la filosofía de diseño AASHTO-LRFD 2012	16
2.4.	SEGURIDAD ESTRUCTURAL	17
2.4.1.	ÍNDICE DE CONFIABILIDAD (β)	19
2.4.2.	MARGEN DE SEGURIDAD (M)	19
2.5.	SEGURIDAD ESTRUCTURAL DESDE EL PUNTO DETERMINÍSTICO Y PROBABILÍSTICO	20
2.6.	CARGAS Y FACTORES DE CARGAS	22
2.6.1.	Clasificación de Cargas	22
2.7.	CARGAS PARA LA EVALUACIÓN	26
2.8.	FACTORES DE CARGA Y COMBINACIONES DE CARGAS	28
2.9.	ESTADOS LÍMITES	29
2.9.1	Estado Límite de Servicio:	29
2.9.2	Estado Límite de Fatiga y Fractura:	29
2.9.3	Estado Límite de Esfuerzo:	29
2.9.4	Estados Límites correspondientes a Eventos Extremos:	30
2.10.	DUCTILIDAD	30
2.11.	LIMITACIONES DE LAS DEFLEXIONES:	30
2.12.	LARGUEROS Y VIGAS TRANSVERSALES DE PISO:	31
2.13.	EVALUACIÓN DE PUENTES	31
2.13.1.	Guía para inspección de puentes, 2006	31
2.13.2.	Métodos Descriptivos – MTC	31
2.13.3.	Equipos y Herramientas para la Inspección	32
2.13.4.	Procedimiento de Inspección	34
2.14.	SOFTWARE CSiBridge	37
2.15.	ESCALA DE SEGURIDAD	38
2.16.	DEFINICIONES BÁSICAS	39

CAPITULO III.	MATERIALES Y MÉTODOS	45
3.1.	UBICACIÓN	45
3.2.	PROCESO DE LA INVESTIGACIÓN	47
3.3.	TIPO DE INVESTIGACIÓN	47
3.4.	NIVEL DE INVESTIGACIÓN	48
3.5.	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	48
3.6.	POBLACIÓN DE ESTUDIO	48
3.7.	MUESTRA	48

3.8.	UNIDAD DE ANÁLISIS	48
3.10.	UNIDAD DE OBSERVACIÓN	49
3.10.	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	49
3.10.1.	ACTIVIDADES REALIZADAS	49
3.10.2.	ESTADO SITUACIONAL ACTUAL	51
3.10.3.	PROPIEDADES DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES DEL PUENTE	52
3.10.3.1.	CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LOS MATERIALES	52
3.10.3.2.	GEOMETRÍA DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES	53
3.10.3.3.	RESISTENCIA DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES	55
3.10.3.4.	SOLICITACIONES DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES	56
3.10.3.5.	PARÁMETROS ESTADÍSTICOS DE CARGA	57
3.10.3.6.	DESEMPEÑO ACTUAL DE LA ESTRUCTURA	59
3.10.3.7.	FUNCIONES DE PROBABILIDAD DE CARGA	60
3.10.3.8.	MODELO MATEMÁTICO DE CARGA	61
3.10.3.9.	FUNCIONES QUE HAN SIDO DESARROLLADAS CON AYUDA DEL SOFTWARE CRYSTAL BALL.	61
3.10.4.	ÍNDICE DE CAPACIDAD ESTRUCTURAL	62
3.10.4.1.	Análisis de carga:	62
3.10.4.2.	Capacidad estructural (C)	62
3.10.4.3.	Factores de Carga (Y)	62
3.10.4.4.	Factores de Resistencia (φ)	62
3.10.4.5.	Análisis de capacidad estructural (RF)	64
3.11.5.	ÍNDICE DE CONFIABILIDAD ESTRUCTURAL	65
3.11.	RECOLECCIÓN DE DATOS Y ANÁLISIS DE DATOS	65
3.11.01.	GEOMETRÍA DEL PUENTE	65
3.11.02.	RESISTENCIA DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES	67
3.11.03.	ESTUDIO DE TRÁFICO	71
3.12.	RESULTADOS DEL PROYECTO	75
3.12.01.	MOMENTOS Y CORTES NOMINALES	75
3.12.02.	MODELAMIENTO EN SOFTWARE	77
3.12.03.	EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE CONFIABILIDAD	87
A.	Evaluación del módulo de resistencia (R)	87
B.	Evaluación del módulo de sollicitación (S)	90
C.	Análisis de confiabilidad	92

	D. Escala de Seguridad	96
CAPITULO IV.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	98
	4.1. ÍNDICE DE CONFIABILIDAD	98
	4.2. CONSTRATACIÓN DE HIPÓTESIS	99
CAPITULO V.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	100
	5.1. CONCLUSIONES	100
	5.2. RECOMENDACIONES	100

ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla N° 01:** Matriz de Operacionalización
- Tabla N° 02:** Matriz de Consistencia
- Tabla N° 03:** Unidades de Peso por material
- Tabla N° 04:** Carga de impacto móvil
- Tabla N° 05:** Condición global del puente
- Tabla N° 06:** Escala de Seguridad en referencia al índice de Confiabilidad β
- Tabla N° 07:** Coordenadas UTM WGS84 DATUM del puente El Tingo
- Tabla N° 08:** Actividades de elaboración de tesis
- Tabla N° 09:** Características mecánicas
- Tabla N° 10:** Características Técnicas del Puente
- Tabla N° 11:** Dimensiones de elementos estructurales
- Tabla N°12:** Parámetros estadísticos para cargas estáticas
- Tabla N° 13:** Parámetros estadísticos seleccionados para cargas móviles
- Tabla N°14:** Factores de condición
- Tabla N°15:** Factores de sistema
- Tabla N°16:** Factores de reducción de resistencia
- Tabla N°17:** Factores de carga y clasificación para evaluación de cargas de diseño
- Tabla N° 18:** Datos geométricos del Puente El Tingo – San Juan - Cajamarca
- Tabla N° 19:** Datos de Resistencias según expediente técnico
- Tabla N° 20:** Resumen de Resistencias del Concreto de los elementos
- Tabla N° 21:** Resumen de conteo vehicular en una semana
- Tabla N° 22:** Resumen en porcentajes del conteo vehicular
- Tabla N° 23:** Cantidad de vehículos y cargas.
- Tabla N° 24:** Momentos Nominales (M_n) y Cortes Nominales (V_n) Resistentes
- Tabla N° 25:** Resumen de resultados obtenidos
- Tabla N° 26:** Resumen de resultados obtenidos
- Tabla N° 27:** Parámetros estadísticos de Resistencia
- Tabla N° 28:** Cálculo de valores para resistencias
- Tabla N° 29:** Parámetros estadísticos para resistencia a compresión del concreto elaborado en obra.
- Tabla N°30:** Parámetros estadísticos para el acero de refuerzo pasivo

- Tabla N° 31:** Parámetros estadísticos para la resistencia – desempeño actual
- Tabla N°32:** Variables de sollicitación (S) – Viga Exterior
- Tabla N°33:** Variables de sollicitación (S) – Viga Interior
- Tabla N°34:** Variables de sollicitación (S) – Losa
- Tabla N°35:** Variables de sollicitación (S) – Arco
- Tabla N°36:** Variables de sollicitación (S) – Columna
- Tabla N°37:** Variables de sollicitación (S) – Viga amarre
- Tabla N° 38:** Valores Estadísticos del Momento Flector (Mn)
- Tabla N° 39:** Valores Estadísticos de Fuerza Cortante
- Tabla N° 40:** Resultados de los índices de Confiabilidad (β) – Momento Flector
- Tabla N° 41:** Resultados de los índices de Confiabilidad (β) – Fuerza Cortante
- Tabla N° 42:** Resumen de resultados de los índices de Confiabilidad (β)
- Tabla N° 43:** Escala de Seguridad en referencia al índice de Confiabilidad β
- Tabla N° 44:** Escala de Seguridad del índice de Confiabilidad β del Momento Flector
- Tabla N°45:** Escala de Seguridad del índice de Confiabilidad β de la Fuerza Cortante

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura N°01:** Vehículo HL-93 y vehículo T3S3
- Figura N° 02:** Partes de un puente tipo viga losa
- Figura N° 03:** Partes de un puente arco (Adecuado del Expediente Técnico)
- Figura N° 04:** Exigencias de la Seguridad Estructural
- Figura N°05:** Trem de cargas tipo HS20-44
- Figura N°06:** Cargas en Eje tandem
- Figura N°7.** Comparación de los métodos (Fuente ICEET, 1992)
- Figura N°08:** Camión de diseño HL-93
- Figura N° 09:** Vehículo T3S3 de mayor circulación de la vía en estudio
- Figura N°10:** Modelado de un Puente en CSiBridge
- Figura N°11:** Vista de la ventana de la herramienta Bridge Wizard
- Figura N°12:** Ubicación del estudio a nivel Departamental (Cajamarca), Provincial (Cajamarca) y Distrital (San Juan)
- Figura N°13:** Ubicación de la Ruta Eje Transversal PE-08 (línea amarilla), donde se encuentra el Puente Tingo
- Figura N°14:** Vista satelital de la ubicación del Puente El Tingo
- Figura N°15:** Vista panorámica del puente El Tingo
- Figura N° 16:** Mediciones de la estructura
- Figura N° 17:** Mediciones con Esclerómetro
- Figura N° 18:** Vista de las estructuras del puente
- Figura N° 19:** Vista de las fallas en pavimento
- Figura N° 20:** Sección transversal del puente
- Figura N° 21:** Secciones transversales de elementos estructurales del puente
- Figura N° 22:** Camiones para evaluación de cargas de diseño. (AASHTO 2017).
- Figura N° 23:** Factor bias (λ) para cargas vehiculares. (Nowak, A. 1993).
- Figura N° 24:** Coeficiente de variación (CV) para cargas vehiculares (Nowak, A. 1993, p281).
- Figura N° 25:** Sección transversal del Puente El Tingo (*Fuente: E. T.*)
- Figura N° 26:** Diagrama para toma de lecturas esclerométricas
- Figura N° 27:** Ubicación de ensayos de esclerometría de acuerdo a los Ejes longitudinales

- Figura N° 28:** Ubicación de ensayos de esclerometría en Eje 01
- Figura N° 29:** Vista cuadrícula dibujada en la estructura para toma de lectura
- Figura N° 30:** Cargas de un camión de diseño HL-93
- Figura N° 31:** Vehículo T3S3 con sus cargas por Eje
- Figura N° 32:** Sección transversal de la Viga con acero
- Figura N° 33:** Ventana inicial de plantilla para nuevo proyecto
- Figura N° 34:** Ventana para ingresar líneas referenciales en los 3 ejes
- Figura N° 35:** Ventana para ingreso de eje central de puente
- Figura N° 36:** Ventana de ingreso de carriles
- Figura N° 37:** Ventana para ingreso de materiales
- Figura N° 38:** Ventana de ingreso de elementos estructurales
- Figura N° 39:** Ventana para ingreso de cargas vehiculares
- Figura N° 40:** Ventana para ingreso de tipos de cargas
- Figura N° 41:** Ventana para importar las cargas ingresadas al puente
- Figura N° 42:** Ventana para Análisis de puente
- Figura N° 43:** Modelamiento de la Superestructura del Puente El Tingo
- Figura N° 44:** Modelamiento de la Superestructura del Puente El Tingo
- Figura N° 45:** Vista del Puente luego del análisis de cargas
- Figura N° 46:** Vista del Puente luego del análisis de cargas
- Figura N° 47:** Vista de las deformaciones de pórticos del puente luego del modelamiento
- Figura N° 48:** Momento Flector en Viga interior de Caga muerta (Elaboración propia en software)
- Figura N° 49:** Momento Flector en Losa de Carga Vehicular (Elaboración propia en software)

ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo N° 01:** Vista del Puente EL Tingo
- Anexo N° 02:** Corroboración de medidas
- Anexo N° 03:** Vista de Falla de la plataforma de acceso
- Anexo N° 04:** Lijado de Superficie con Piedra para pruebas esclerométricas
- Anexo N° 05:** Dibujo de plantilla para lecturas con cuadrícula de 1" de ancho
- Anexo N° 06:** Dibujo de plantilla para lecturas con cuadrícula de 1" de ancho
- Anexo N° 07:** Lecturas de Ensayo de Esclerometría
- Anexo N° 08:** Lecturas de Ensayo de Esclerometría en Zapata, la cual arrojo una buena lectura
- Anexo N° 09:** Vista de la parte inferior del Puente El Tingo
- Anexo N° 10:** Resultados de ensayo en Arco 01
- Anexo N° 11:** Resultados de ensayo en Arco 02
- Anexo N° 12:** Resultados de ensayo en Arco 03
- Anexo N° 13:** Resultados de ensayo en Arco 04
- Anexo N° 14:** Resultados de ensayo en Viga 01
- Anexo N° 15:** Resultados de ensayo en Viga 02
- Anexo N° 16:** Resultados de ensayo en Viga 03
- Anexo N° 17:** Resultados de ensayo en Viga 04
- Anexo N° 18:** Resultados de ensayo en Pórtico 1
- Anexo N° 19:** Resultados de ensayo en Pórtico 2
- Anexo N° 20:** Resultados de ensayo en Pórtico 3
- Anexo N° 21:** Resultados de ensayo en Pórtico 1'
- Anexo N° 22:** Resultados de ensayo en Pórtico 2'
- Anexo N° 23:** Resultados de ensayo en Pórtico 3'
- Anexo N° 24:** Resultados de ensayo en Losa
- Anexo N° 25:** Resultados de ensayo en Losa
- Anexo N° 26:** Cálculo de resultados de los ensayos de Esclerometría
- Anexo N° 27:** Cuatro de roturas de probetas Arco - Pórtico
- Anexo N° 28:** Cuatro de roturas de probetas Arco – Vigas de Amarre
- Anexo N° 29:** Plano de Ubicación
- Anexo N° 30:** Plano de Elevación Puente Tingo
- Anexo N° 31:** Plano de Tablero Puente Tingo

RESUMEN

En el puente El Tingo se logró identificar una variación en las cargas actuantes actuales (trailer T3S3) y las cargas bajo las cuales se realizó el diseño de la estructura (camión HL-93), siendo este uno de los puntos en los cuales se basó la problemática para fundamentar el presente estudio donde se ha logrado calcular el índice de confiabilidad de uno de los puentes de mayor envergadura de la vía principal, que une a Cajamarca con la zona costera de nuestro país. Por ello se ha calculado índice de confiabilidad, el cual se ha realizado por el método de confiabilidad estructural, estudio que estuvo delimitado por elementos estructurales de la superestructura, como losa, vigas, arco y pórticos, cuyos elementos fueron evaluados teniendo en cuenta dos situaciones distintas. La primera fue desarrollada considerando todos los datos mostrados en el Expediente técnico, tanto características físicas como mecánicas de todos los elementos estructurales mencionados, además de las cargas consideradas y vehículos tomados en cuenta para el diseño del proyecto. El segundo escenario se ha tomado en cuenta propiedades físicas y mecánicas de los elementos estructurales mediante ensayos realizados in situ, como la resistencia del concreto que se obtuvo mediante ensayos de esclerometría ASTM C805, los vehículos que se consideraron, fueron el resultado de un estudio de tráfico en el Puente, para luego ser procesados en gabinete y determinando así las cargas vehiculares que hacían uso del Puente. Todas aquellas características y datos obtenidos, sirvieron para poder realizar el modelamiento de la superestructura en el Software CSi Bridge, programa que luego del proceso realizó el cálculo de Momentos Flectores y Fuerzas Cortantes para luego ser desarrollados estadísticamente con el objetivo de determinar el índice de Confiabilidad, según la metodología de la confiabilidad estructural nos dio un valor de $\beta=4.90$ en momentos flectores que indican un nivel bueno de seguridad y un valor de $\beta=5.32$ en fuerzas cortantes que nos indican un nivel de seguridad alto. Llegando a la conclusión que el nivel de seguridad del puente está muy por encima del promedio según el Diseño ASSHTO LRFD.

Palabras claves: Evaluación de puentes, Modelamiento Estructural, Solicitación, Resistencia, Esclerometría, Seguridad estructural, Índices de confiabilidad.

ABSTRAC

In the El Tingo bridge, it was possible to identify a variation in the acting loads and the loads under which the design of the structure was carried out, this being one of the points on which the problem was based to base the present study , we were able to calculate the reliability index of one of the most significant bridges on the main road connecting Cajamarca to Peru coastal area, the "El Tingo" bridge..The reliability index was determined using the reliability method, determining how far a bridge is from the limit state, presented as standard deviation from the mean. This study focused on structural elements of the superstructure such as the slab, beams, arch, and frames. These elements were evaluated considering two different scenarios. The first one was based on all the data from the technical file, including physical and mechanical characteristics of all the mentioned structural elements, as well as the considered loads and vehicles used for the project's design.

The second scenario took into account the physical and mechanical properties of the structural elements through in-situ tests, including concrete strength determined by ASTM C805 sclerometer tests. The vehicles considered were the result of a traffic study on the Bridge, which were then processed to determine the vehicular loads using the Bridge. All these characteristics and data obtained, were used for modeling the superstructure in the CSi Bridge Software. This program, after processing, calculated the Bending Moments and Shear Forces and then statistically developed them to determine the Reliability Index of the bridge. According to the structural reliability methodology, we received a value of $\beta=4.90$ in bending moments, indicating a good level of safety, and a $\beta=5.32$ in shear forces, showing a high level of safety.

We concluded that the bridge's safety level is well above average based on AASHTO LRFD Bridge Design Specifications.

Keywords: Bridge evaluation, structural reliability modeling, Resistance, Sclerometry, Structural safety, Reliability indices.

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los puentes son las estructuras de gran importancia, gracias a ellos en complemento con las vías de comunicación se pueden concretar actividades mercantiles, turísticas, entre otras, además de ello según la evaluación del MTC (2012) el estado de funcionalidad de los puentes que conforman la Red Vial Nacional, tiene una variación considerable debido a que muchas de las estructuras por lo general sufren daños por la falta de un correcto mantenimiento, más que por su antigüedad. En algunos casos ciertas estructuras presentan un estado crítico con respecto a su estabilidad estructural y capacidad de carga y, en esas condiciones, la seguridad del tránsito posee muy altos niveles de incertidumbre asociados a riesgos crecientes, sumando a ello los puentes, se ven afectados, entre otros aspectos, por las sobre cargas, influencia del ambiente, fenómenos naturales, tales como terremotos, inundaciones, fuertes precipitaciones, lo que concluye a originar su deterioro.

En nuestra región los puentes poseen estructuras que están en correctas condiciones para el servicio vehicular, así como también hay muchos que han sido remplazados para poder cumplir con las necesidades de la demanda de tráfico existentes, tales como los que se encuentran en la vía principal de Cajamarca – Ciudad de Dios, vía de gran importancia, que conecta nuestra región con la zona costera de nuestro país, uno de ellos es el puente El Tingo, que es uno de los de mayor envergadura de la vía en mención, localizado en el Km 133 de la vía Cajamarca – Ciudad de Dios, estructura que permite el tránsito vehicular y peatonal, que se construyó en el año 2018, que beneficia a más de 14,000.00 habitantes del distrito de San Juan y a los más de 200,000.00 habitantes de la ciudad de Cajamarca, este puente es el único en su clase en la región, y uno de los pocos a nivel nacional con su compleja estructura de concreto armado, que consta de arcos de concreto, vigas de concreto, pórticos (columnas y vigas), además de la losa del mismo materiales que todos los elementos mencionados.

El puente hoy en día brinda servicio con normalidad, a una simple inspección visual, todos los elementos estructurales no presentan fallas, pero en uno de los accesos se observan fallas en la carpeta asfáltica, sin embargo no se ha realizado una evaluación del comportamiento estructural o de la seguridad estructural del puente, de esta manera poder concluir con la aprobación del índice de confiabilidad del puente. Para ello se realizó la evaluación cualitativa del puente, tomando como base la normativa peruana del MTC, tal como es la Directiva N° 01-2006-MTC/14 “Guía para inspección de puentes”, sumado a ello, se determinaron los índices de confiabilidad según la normativa americana ASSHTO LRFD y la AASHTO MBE: The Manual for Bridge Evaluation, con las cuales apoyaron en la determinación de las solicitaciones (S) y la resistencia (R) y así llegar al cálculo del índice de confiabilidad estructural de los elementos, y con todo esto poder concluir con la seguridad estructural del puente.

En el Puente en mención se ha logrado identificar una variación en las cargas actuantes y las cargas bajo las cuales se realizó el diseño de la estructura, siendo este uno de los puntos en los cuales se basó la problemática para fundamentar el presente estudio, ya que el vehículo con el que diseñó la estructura es un HL-93 y el vehículo de mayor circulación que se ha identificado es el T3S3, ambos con cargas distintas.

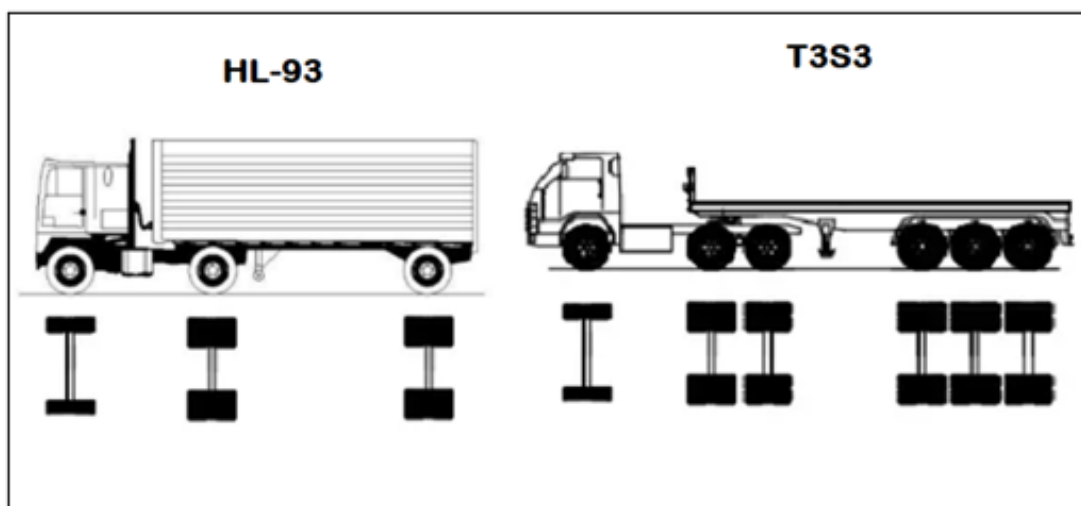


Figura N°01: Vehículo HL-93 y vehículo T3S3

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema general

¿Cuál es el índice de confiabilidad del puente el Tingo, del distrito de San Juan, Provincia de Cajamarca - Cajamarca?

1.3 HIPÓTESIS

1.3.1. Hipótesis General

La superestructura del puente El Tingo – Distrito de San Juan, provincia Cajamarca - Cajamarca tiene un bajo índice de confiabilidad.

1.4 Definición de Variables

1.4.1 Variables Independientes

Resistencia (R) y Carga o Solicitación (S) en un sistema estructural.

1.4.2 Variables dependientes

Índice de confiabilidad (β)

1.5 Operacionalización de variables

1.5.1. Matriz de Operacionalización

Tabla N° 01: Matriz de Operacionalización

HIPÓTESIS	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL		
		Variables	Indicadores	Factores De Recolección De Datos
La superestructura del Puente El Tingo – Distrito de San Juan, provincia Cajamarca - Cajamarca	<p>* Resistencia (R): Es la capacidad de un material para resistir esfuerzos y fuerzas aplicadas sin romperse, adquirir deformaciones permanentes o deteriorarse de algún modo.</p> <p>* Carga o Solicitación (S): se define como la carga máxima</p>	<p>Variable Independiente:</p> <p>* Resistencia (R)</p> <p>* Carga o Solicitación (S)</p>	<p>- Resistencia a la compresión del concreto.</p> <p>- Límite de fluencia del acero</p> <p>- Índice medio vehicular</p>	<p>- Tipo de sección</p> <p>- Espesores</p> <p>- área de acero</p> <p>- recubrimientos</p> <p>- límites elásticos de acero.</p> <p>- Proceso Constructivo.</p>

tiene un alto índice de confiabilidad	que va a ocurrir durante la vida de una estructura es incierta.			- Esquema estructural de cargas, peso propio, cargas muertas
	* Índice de confiabilidad: Es una medida de la seguridad estructural, que explica el desempeño de una estructura en términos de la probabilidad inversa de la función	Variable dependiente: * Índice de confiabilidad (β)	- Factor Rating - Cargas para evaluación - Estados límites	- Ensayos esclerométricos

1.5.2 Matriz de Consistencia

Tabla N° 02: Matriz de Consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	Variable Independiente
¿Cuál es el índice de confiabilidad del puente el Tingo, del distrito de San Juan, Provincia de Cajamarca - Cajamarca?	Determinar el índice de confiabilidad del puente el Tingo – distrito de San Juan– provincia de Cajamarca – Cajamarca.	La superestructura del Puente El Tingo – Distrito de San Juan, provincia Cajamarca - Cajamarca tiene un bajo índice de confiabilidad.	Resistencia (R) y Carga o Solicitación (S) en un sistema estructural.
	OBJETIVOS ESPECÍFICOS		Variable Dependiente
	Determinar el índice de confiabilidad de las vigas del puente el Tingo		Índice de confiabilidad (β)
	Determinar el índice de confiabilidad de la Losa del puente el Tingo		
	Determinar el índice de confiabilidad de las vigas arco de puente el Tingo		
	Determinar el índice de confiabilidad de las vigas diafragmas del Puente el Tingo		
	Determinar el índice de confiabilidad de las vigas amarre del puente el Tingo		
	Determinar el índice de confiabilidad de los pórticos del puente el Tingo.		
	Determinar el índice de confiabilidad del puente el Tingo por el método de la confiabilidad estructural.		
	Descripción de los contenidos de los capítulos.		

1.6 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación se justifica y es importante por las siguientes razones:

- El puente El Tingo representa una de las estructuras más importantes en la vía de comunicación entre Cajamarca y la zona costera del Perú, y desde su construcción no se ha realizado ningún mantenimiento o mejoramiento de la estructura, también que estando en servicio desde el 2018 se ha visto una variación en las solicitaciones de las cargas que actúan sobre él puente, es decir se ha identificado que el vehículo que predomina es el T3S3, que difiere del HL-93 que es el vehículo de diseño del puente, que pudo haberse dado desde la pandemia, ya que el comercio con la región de Cajamarca ha incrementado y sumando a ello las inclemencias del clima que hoy en día vivimos, es necesario determinar una evaluación del puente y así concluir con el índice de confiabilidad del mismo, y aportará la presente investigación como un referente al conocimiento de la funcionalidad de la estructura.
- Relevancia Académica: Los resultados de la presente investigación serán útiles para instituciones de educación superior (Universidades), empresas privadas, Municipalidades, Gobiernos regionales, etc. quienes pudieran trabajar en el diseño de puentes de concreto armado.
- Implicaciones prácticas: Al determinar el índice de seguridad con ambos trenes de carga, tanto para el vehículo que predomina, y el vehículo de diseño del expediente técnico, nos permitió determinar que tipo tren de cargas nos da un mejor nivel de seguridad.
- Valor teórico: El presente estudio nos permite adquirir mejores conocimientos sobre los diferentes trenes de carga en las diferentes normativas, y su efecto en el análisis de diseño de puentes.

1.7 ALCANCES, DELIMITACIONES Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

1.7.1. Alcances y Delimitaciones

- El presente trabajo de tesis cuenta con el Expediente Técnico del proyecto: CONSTRUCCIÓN DEL PUENTE EL TINGO Y ACCESOS, información proporcionada por la empresa contratista.
- El trabajo se realizó con la guía de metodologías propuestas por la Norma Americana AASHTO, siendo éstas el método de confiabilidad estructural (β).
- Se tomó como referencia el Manual de Puentes del MTC (2018), así como la AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, para la determinación de cargas o solicitaciones (S). Para determinar el índice de confiabilidad por las diferentes metodologías se utilizó The Manual Bridge Evaluation de la AASHTO, 2013; además de estudios y códigos presentados por Nowak, entre otros.
- Los trenes de cargas dados por la Normativa AASTHO
- La resistencia está dada por los Ensayos Obtenidos en Campo por ensayos de esclerometría.
- La delimitación se da por la metodología aplicada, ya que es válida para el estudio de la estructura tipo arco, aporticada y monolítica, y no se podrá realizar el análisis de las cimentaciones

1.7.2. Limitaciones.

- Se realizó la evaluación de los elementos estructurales que componen la superestructura del Puente el Tingo, arcos, pórticos, vigas.

- Nuestro país no cuenta con estudios o normativas sobre seguridad estructural de puentes, y nos limitamos a la Normativa AASHTO para la determinación del índice de confiabilidad.

1.8 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.8.1 Objetivo General

- Determinar el índice de confiabilidad del puente el Tingo – distrito de San Juan– provincia de Cajamarca – Cajamarca.

1.8.2 Objetivos Específicos

- Determinar el índice de confiabilidad de las vigas del puente el Tingo
- Determinar el índice de confiabilidad de la Losa del puente el Tingo
- Determinar el índice de confiabilidad de las vigas arco de puente el Tingo
- Determinar el índice de confiabilidad de las vigas diafragmas del Puente el Tingo
- Determinar el índice de confiabilidad de las vigas amarre del puente el Tingo
- Determinar el índice de confiabilidad de los pórticos del puente el Tingo.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Bach. Henry Paul Cain Guambo y Lenin Marcelo Arcos Armijos, sustentaron en el año (2016) su tesis: Evaluación estructural y funcional del puente cebadas, ubicado en el kilómetro 32 del tramo Guamoto macas (ruta e46), aplicando la metodología del sistema de administración de estructuras de puentes (S.A.E.P.), para su rehabilitación y conservación, a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Chimborazo, con la finalidad de optar el Grado Académico de ingeniero civil.

Se concluyó que mediante estas evaluaciones se determinó que puente es susceptible a la degradación de los estribos, a la pérdida parcial de apoyo de las vigas principales sobre la viga cabezal del estribo y asentamiento de los accesos del puente, de ahí la importancia de realizar las reparaciones necesarias al puente para asegurar su buen funcionamiento y comportamiento estructural ante cargas de servicio y minimizar el nivel de riesgo asociado ante eventos extremos.

Considerando el grado de daño, las patologías y su vez analizando la condición general del puente Cebadas se determinó de que este debe ser intervenido mediante un plan de reparación y reforzamiento estructural aplicando refuerzos a flexión en vigas las de hormigón mediante la colocación de polímeros reforzados con fibras de carbono, asimismo este plan contara con un modelo económico referencial para su rehabilitación, conservación y mantenimiento.

Honorato (2015), en su tesis “Análisis de Confiabilidad y Riesgo de un Puente Expuesto a Corrosión Ubicado en el Valle de Toluca”, por la Universidad Autónoma de México, para obtener el grado de Ingeniero Civil, analizó la superestructura de un puente vehicular, construido de concreto reforzado afectado por corrosión en el valle de Toluca, a fin de encontrar el índice de confiabilidad de Cornell, el índice de confiabilidad óptimo y el tiempo donde se le debe dar mantenimiento para ubicarlo siempre en los límites que no afecten su funcionamiento. Asimismo,

concluyó que las travesas del tablero del puente fallarían por momento flexionante, puesto que, éste es el que presenta el valor de índice de confiabilidad $\beta = 2.0$ en un tiempo mínimo; también llegó a concluir que la estructura del puente en estudio es segura y confiable porque el índice de confiabilidad real es mayor al índice de confiabilidad óptimo.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Bach. Jorge Antonio Umpire Portocarrero, sustentó el año (2018) su Informe de Suficiencia: Evaluación estructural del Puente Nochoz en el Tramo II, Villa Rica –Puerto Bermúdez, Oxapampa, a Universidad Nacional de Ingeniería, con la finalidad de optar el Grado Académico de ingeniero civil.

Se concluyó que los procedimientos para la clasificación de carga computarizada de puentes de concreto están basados en suposiciones que los materiales y construcción son de una buena calidad y que no hay pérdida de resistencia del diseño del material, o, cuando es garantizado, la resistencia del material ha sido establecido por pruebas, y otras reducciones en áreas debido a la deterioración han sido consideradas. Esta revisión es llevada a cabo usando la combinación de Servicio I donde todas las cargas son tomadas en sus valores teóricos normales. Debe ser notado que, en el diseño, el Servicio I no es usado para investigar la tensión de tracción del acero en componentes de concreto. Respecto a esto, constituye una salida de las Especificaciones de Diseño de Puentes AASHTO LRFD.

Bach. Reyme Gonzalo Salas Müller, sustentó el año (2018) su tesis: Revisión y análisis crítico del diseño estructural del puente peatonal Solidaridad ubicado en el Malecón Checa, límite entre los distritos de San Juan de Lurigancho y el Agustino (Lima), a la Pontificia Universidad Católica del Perú, con la finalidad de optar el Grado Académico de ingeniero civil.

La tesis llegó a la conclusión: De la evaluación del diseño estructural de los elementos, hemos obtenido que en las secciones A-A, B-B y C-C de la torre las fuerzas por Evento Extremo I superan a las fuerzas resistentes

de las secciones por un margen mínimo. Sin embargo, cabe recalcar que para las fuerzas de Resistencia I si cumplen los diseños de los elementos. Por otro lado, en el análisis de la resistencia de los cables, las fuerzas axiales para cada estado límite no superan el esfuerzo admisible (54.1 ton), a excepción del estado límite de Evento Extremo I. Sin embargo, las fuerzas últimas se encuentran por debajo de la fuerza última de rotura (90.8 ton). Finalmente, en la evaluación de la viga de acero se obtuvo que por Evento Extremo I la viga metálica en la sección B-B donde se apoya en la torre no satisface los requerimientos de diseño ($\phi Mn < Mu$). Es allí donde se ubicó la falla local luego de que ocurriera el desastre natural.

2.1.3. Antecedentes Locales

Becerra L. (2021), en su tesis de pregrado “ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE CONFIABILIDAD (B) DE LAS VIGAS DE LOS PUENTES VENECIA, LOS SHILCOS Y SHUDAL-CAJAMARCA, USANDO CONTEOS DE TRÁFICO REAL MEDIANTE SIMULACIÓN”, realizó el estudio de la superestructura de los puentes Venecia, Los Shilcos y Shudal de Cajamarca, donde busca determinar el nivel de confiabilidad β , mediante el estudio de tráfico y Simulación de Monte Carlo, aplicando la metodología de la confiabilidad estructural. Determinando que los índices de confiabilidad son mayores a los sugeridos en el diseño $\beta=3.5$ y sobrepasan el $\beta=2.5$ indicado por la normativa AASHTO; mientras que la clasificación según Army Corps of Engineers se obtiene que el puente Venecia tiene un nivel de confiabilidad Alto, los puentes Shudal y Los Shilcos presentan un nivel de confiabilidad entre bueno y arriba del promedio.

Silva J. (2018), en su tesis titulada “ÍNDICES DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL EN PUENTES DE LA CARRETERA LONGITUDINAL DE LA SIERRA PROVINCIA DE CHOTA”; en donde para evaluar la funcionalidad y la operación de estos puentes emplea la “Guía para inspección de puentes” (2006) del MTC, la cual es complementada con la metodología propuesta por la Normativa Americana AASHTO 2013. Empleándose la metodología de confiabilidad estructural, los puentes

Potrero, Chotano, Retama y Cullacmayo, presentan un gran nivel de seguridad estructural, en cambio los puentes Trancamayo, El Tayal y Santa Isolina, tiene un grado de seguridad bueno. Y para la metodología de capacidad estructural, la mayoría de puentes tienen alto grado de seguridad; en cambio, para el puente Potrero su grado de seguridad es regular.

2.2. MARCO CONCEPTUAL

2.2.1. Definición de Puente

Un puente es una obra que se construye para salvar un obstáculo dando así continuidad a una vía. Suele sustentar un camino, una carretera o una vía férrea, pero también puede transportar tuberías y líneas de distribución de energía.

Los puentes que soportan un canal o conductos de agua se llaman acueductos. Aquellos construidos sobre terreno seco o en un valle, viaductos. Los que cruzan autopistas y vías de tren se llaman pasos elevados.” (Arturo Rodríguez Serquén, 2017).

Según el MTC, Ministerio de Transportes y Comunicaciones (Manual de puentes, 2018), un puente es una estructura para atravesar un accidente o un obstáculo natural o artificial, cuya luz libre es mayor o igual a 6.00 m (20 ft) y forma parte o constituyen un tramo de una carretera o está localizado sobre o por debajo de ella.

Podemos concluir que un puente es una estructura con una luz libre no menor a 6.0 metros; que permite atravesar accidentes geográficos ya sean naturales o artificiales y dan continuidad a las carreteras para una correcta transitabilidad vehicular

2.2.2 Partes de un puente.

Superestructura: Parte en contacto con el tráfico, se encuentra formado por la losa que se apoya o integra monólicamente con las vigas longitudinales o armaduras. Tanto las vigas como las armaduras pueden ser de distintos tipos (Aranis, 2006).

Subestructura: Soportan a la superestructura. Tiene como función servir de apoyo y transferir las cargas solicitantes a las cimentaciones. Se tienen dos tipos (Aranis, 2006):

a) Estribos

Son las subestructuras soportes en los extremos del puente. Generalmente de concreto ciclópeo o armado o también sistemas de tierra armada o reforzada.

b) Pilares

Son las subestructuras de soporte interior en el lecho o cerca al lecho del río. Son de concreto armado o de estructura metálica o una combinación de ambos.

2.2.3 Clasificación de puentes

Se pueden clasificar de la siguiente manera (Aranis, 2006):

A. Por el material usado.

- Puentes de acero: de vigas, armaduras, arcos, colgantes o atirantados.
- Puentes de concreto: de concreto armado o presforzado, arcos o atirantados.
- Puentes de madera: vernaculares de troncos.
- Puentes de aleación de aluminio (titanio)

B. Por sus objetivos funcionales

- Puentes carreteros.
- Puentes ferroviarios
- Puentes combinados.
- Puentes peatonales.
- Puentes acueductos. (canal)

En forma alternativa pueden ser móviles o fijos y de uso permanente o temporal.

C. Por su sistema estructural.

- Tipo losa: maciza o de concreto armado o presforzado
- De viga T: Un número de vigas longitudinales de sección T de concreto armado o postensado.
- De sección compuesta: Losa de concreto armado sobre vigas longitudinales soldadas de acero o sobre vigas postensadas.
- De armaduras: estructuras reticulares, se moldean considerando que sus elementos se conectan en los nudos con pasadores sin fricción para formar triángulos. Cada elemento resiste fuerzas axiales de tracción o compresión.

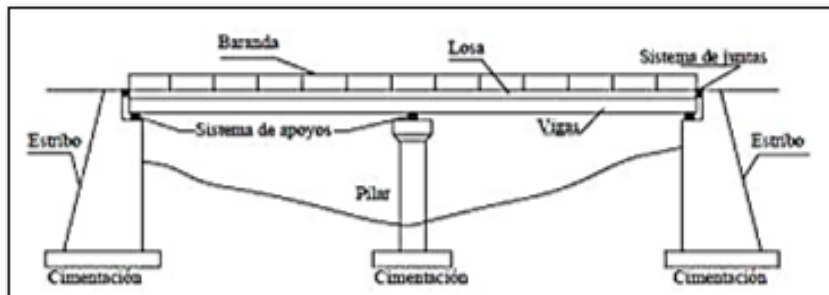


Figura N° 02: Partes de un puente tipo viga losa

- Tipo arco: El arco es una estructura que resiste las cargas principalmente en compresión axial. Hay una variedad de tipos según la posición del tablero.

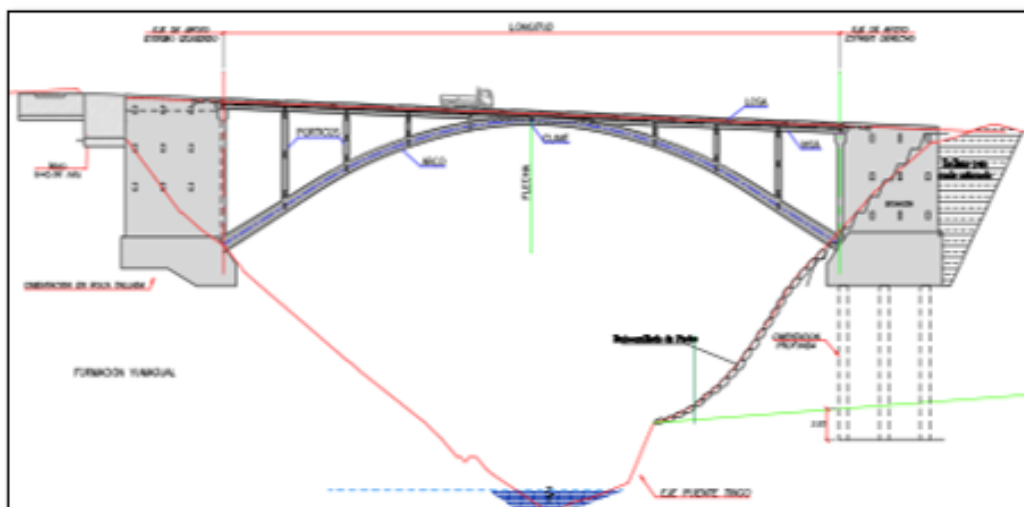


Figura N° 03: Partes de un puente arco (Adecuado del Expediente Técnico)

- Atirantados: La viga de rigidez es el elemento principal del tablero es soportada por tramos directamente por medio de cables o tirantes, los que se sujetan en las torres o pilones.
- Colgantes: Son los de mayor luz. La viga de rigidez se cuelga por medio de péndolas de cables portante el cual están suspendidos de las torres. Las cargas se transmiten principalmente por tracción en el cable portante.

D. Por las condiciones de apoyo.

- Puentes simplemente apoyados: las vigas longitudinales o armaduras se apoyan en aparatos tipo articulación fija en un extremo y móvil en el otro, por lo que se analizan como vigas isostáticas simplemente apoyadas.
- Puentes continuos: Las vigas longitudinales o armaduras son continuas y se apoyan en tres o más apoyos, por lo que se constituyen sistemas hiperestáticos. El modelo sencillo de análisis es el de viga continua.
- Puentes Gerber (en voladizo): El puente continuo hiperestático se hace isostático introduciendo articulaciones entre apoyos, una por cada grado de indeterminación estática.
- Puentes aporticados: El tablero es solidario y monolítico generalmente con los pilares y estribos formando pórticos (espaciales). El modelo sencillo de pórtico plano se consigue asimilando la sección del tablero a la sección de una viga y las secciones de pilares a las secciones de las columnas del pórtico, constituyendo entonces un pórtico plano.

También podríamos tomar como referencia el Manual de Puentes del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, que hace una clasificación de puentes de la siguiente manera:

- A.** Según la Naturaleza de la Vía Soportada
- B.** Según el Material
- C.** Según el Sistema Estructural Principal

- D. Según la Forma de la Geometría en Planta
- E. Según su Posición Respecto a la Vía Considerada
- F. Según el Tiempo de Vida Previsto
- G. Según la Demanda de Tránsito y Clase de la Carretera
- H. Clasificación de Acuerdo a la Importancia Operativa
- I. Clasificación para Fines del Diseño Sísmico
- J. Según el Sistema de Construcción

2.3. FILOSOFÍA DE DISEÑO PARA PUENTES DE CONCRETO ARMADO SEGÚN LRFD

Para el diseño de puentes carreteros se tienen las siguientes tres filosofías de diseño, la de diseño por esfuerzos admisibles (ASD), diseño por factores de carga (LFD) y diseño por factores de carga y resistencia (LRFD), en la presente tesis se hace un enfoque más detallado en esta última, que es en la que se basa el reglamento de la AASHTO LRFD 2012

2.3.1 Fundamentos de la filosofía diseño por esfuerzos admisibles (ASD)

Este procedimiento de diseño fue desarrollado en un principio para estructuras metálicas.

El método ASD no reconoce la incertidumbre que presentan las cargas. Es decir, las cargas vivas, muertas de sismo o viento son tratadas de forma igual. El factor de seguridad en el método ASD se determina (Ramírez & León, 2010):

$$\frac{\text{Resistencia}}{\text{Factor de seguridad}} \geq \text{efecto de carga} \dots\dots\dots (1)$$

Para el método ASD las cargas de diseño son valores fijos y son seleccionados de un código de diseño, no se considera el grado de variación en la predicción de los diferentes tipos de carga.

Finalmente, el factor de seguridad escogido es basado en la experiencia y el criterio, por tanto, las medidas cuantitativas de riesgo no pueden ser determinados por la ASD. Solo la tendencia es conocida. Si el factor de

seguridad es alto el número de fallas es bajo. Sin embargo, si el factor de seguridad es incrementado por una cierta cantidad, no se conoce en cuanto es incrementada la probabilidad de que la estructura no falle o la probabilidad de supervivencia de la estructura (Ramírez & León, 2010).

2.3.2 Fundamentos de la filosofía diseño por factores de carga LFD

El diseño por Factores de Carga (LFD) realizó un esfuerzo preliminar al reconocer que la carga viva, en particular, era altamente más variable que el peso muerto. Por ejemplo, se tiene la siguiente relación (Ramírez & León, 2010):

$$1.3M_D + 2.17M_{L+I} \leq \phi M_u \quad \dots\dots\dots (2)$$

Donde:

M_D = Momento de peso muerto

M_{L+I} = Momento de carga viva e impacto

M_u = Resistencia

ϕ = Factor de reducción de resistencia

En el caso de LFD, las cargas están multiplicadas por factores mayores a la unidad y añadido a otras cargas factorizadas para producir combinaciones de carga para propósitos de diseño. La desventaja del diseño por factores de carga visto desde el punto de vista del diseño probabilístico es que la carga factorizada y los factores de resistencia no fueron calibrados sobre una base que toma en cuenta la variabilidad estadística de parámetros naturales de diseño. (Ramírez & León, 2010)

2.3.3 Fundamentos de la filosofía de diseño AASHTO-LRFD 2012

La filosofía de diseño AASHTO LRFD realiza el análisis de solución empleando cargas y resistencias facturadas. Para esto, se aplican coeficientes estructurales establecidos en la norma referida. Con esta consideración, esta filosofía de diseño evalúa la variabilidad del comportamiento de los elementos estructurales. Todo esto se resume en el hecho de que el diseño se realiza bajo el concepto denominado Estados Límites. Se definen como Estados Límite aquellas situaciones para las que, de ser superadas, puede considerarse que la estructura no cumple

alguna de las funciones para las que ha sido proyectada. (Ramírez & León, 2010)

Dicho concepto debe ser considerado para el diseño de la estructura con la finalidad de cumplir con los objetivos básicos presentados a continuación (Ramírez & León, 2010):

- Factibilidad
- Constructibilidad
- Seguridad
- Serviciabilidad
- Economía
- Funcionalidad
- Estética

Para los diseños modernos, nuevos criterios son necesarios incluir entre los antes mencionados. Estos son los siguientes:

- Impacto ambiental
- Sostenibilidad y mantenimiento
- Manejable para una demolición futura
- Reemplazable

Tomando una revisión histórica para el diseño de puentes se tiene: en 1931 la AASHO, en EEUU para el diseño de puentes. Desde 1970 a 1986 la AASHTO publica la filosofía de diseño por factores de carga (LRD). Desde 1986 a 1994 se busca desarrollar una especificación de estados límites con base probabilística. A partir de octubre de 2007 se hace obligatorio el uso del Reglamento "AASHTO LRFD Bridge Design Specifications".

2.4. SEGURIDAD ESTRUCTURAL

Según el art. 10 del Código Técnico de la edificación (CTE), parte I: "El objetivo del requisito básico de "Seguridad estructural" consiste en asegurar que el edificio tiene un comportamiento estructural adecuado

frente a las acciones e influencias previsibles a las que pueda estar sometido durante su construcción y uso previsto.



Figura N° 04: Exigencias de la Seguridad Estructural

En la investigación realizada por la Universidad de Sevilla en el 2016, hace referencia a seguridad estructural como un comportamiento adecuado a que cumpla las exigencias de resistencia, estabilidad y rigidez.

- **Rigidez:** La estructura debe permanecer rígida bajo las acciones a las que puede estar sometida a lo largo de su vida útil. En este contexto, una estructura es suficientemente rígida si las deformaciones o desplazamientos que sufre son tan pequeñas que no afectan al uso (servicio) del edificio. La rigidez depende del módulo de Elasticidad, forma de la sección, además de considerarse la Inercia y la longitud del elemento. (Universidad de Sevilla, 2016)

- **Resistencia:** La estructura debe resistir las acciones a las que puede estar sometida a lo largo de su vida útil. En otras palabras, debe de soportar las tensiones a las que se ve sometida sin romperse. La resistencia depende de las propiedades mecánicas de los materiales empleados (Resistencia, módulo de elasticidad, etc), del tamaño, forma y tipo de la sección de los elementos que conforman la estructura. (Universidad de Sevilla, 2016)

- **Estabilidad (Equilibrio):** La estructura debe permanecer en equilibrio estable, bajo las acciones a las que puede estar sometida a lo largo de su vida útil. La estructura debe mantenerse estable en su posición original

sin desmoronarse o caerse al verse sometida a esfuerzos. La estabilidad está relacionada claramente con el centro de gravedad. (Universidad de Sevilla, 2016)

2.4.1. ÍNDICE DE CONFIABILIDAD (β)

Podemos mencionar a la teoría de confiabilidad como un método basado en la matemática estadística, donde las propiedades de los materiales y el proceso de carga que varía con el tiempo y modelos inciertos, se describen como variables aleatorias ajustadas a cualquier curva estadística.

El índice de confiabilidad β es un parámetro utilizado para estimar la seguridad de una estructura o un elemento de esta durante su etapa de diseño o servicio. Este parámetro, definido en otros códigos del mundo (European Committee for Standardisation (Eurocode) (Venegas, 2014)

El índice de confiabilidad β es el parámetro más usado para medir el nivel de seguridad de un sistema. Cuando las variables tanto de resistencia (R) como de sollicitación (S) están distribuidas normalmente. (Venegas,2014)

2.4.2. MARGEN DE SEGURIDAD (M)

- SOLICITACIONES:

Podemos mencionar las cargas permanentes o muertas que se refieren al peso propio de la estructura, postes, pasamanos, señalización, ductos, capa de rodadura, empuje del terreno, subpresión, etc.

Las cargas vivas vehiculares tienen el parámetro de partida del HS 20-44 que se refiere a los vehículos con el siguiente tipo de eje.

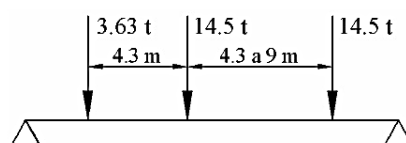


Figura N°05: Trem de cargas tipo HS20-44

Pero existe un nuevo tipo de carga de la AASHTO que se utiliza para vanos menores de 12 m que es el eje tándem que representamos a continuación.

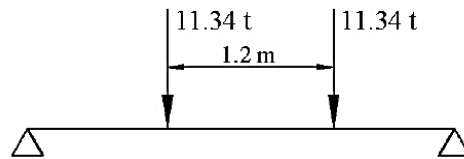


Figura N°06: Cargas en Eje tandem

La carga de vía o también llamada equivalente adoptado por la AASHTO, denominada "High way load 93" o HL 93 significa la desviación Standard del tráfico vehicular y se ha determinado usando una calibración de los factores de carga es racional y no representa a ningún tipo de vehículo, este asemeja a una caravana de ellos. Esta carga de vía es de 9.3 KN/m repartido en un ancho de 3 a 3.6 m.

Es necesario mencionar que en nuestro medio a veces se hacen modificaciones de estas cargas vivas, como ejemplo se utiliza el HS 25 que corresponde a la misma configuración del HS 20, pero incrementada en un 25 % el peso de los ejes, en algunos estados de USA se eleva a usar el HS 30, en este caso incrementando un 50 % el peso de los ejes.

- **RESISTENCIA (R):**

La resistencia de una estructura está dada por la resistencia de los materiales que la conforman, pero muchas veces estas no se conocen de manera precisa; por lo que, también es considerada una variable aleatoria. Aún más la resistencia de la estructura depende también del cuidado que se tenga en la construcción, lo cual a su vez refleja la calidad de la supervisión y de la inspección (Nillson, A 2001).

2.5. SEGURIDAD ESTRUCTURAL DESDE EL PUNTO DETERMINÍSTICO Y PROBABILÍSTICO

Carrasco E., (2005), en su investigación para la UPC, determina que no es posible hallar la seguridad estructural con el método determinístico ya que necesita de un estudio riguroso ante los problemas habituales de los

puentes existentes, es por lo que es necesario la utilización de métodos probabilísticos con los requisitos o exigencias que se supone. A continuación, se presenta un TABLA comparativo de estos dos métodos.

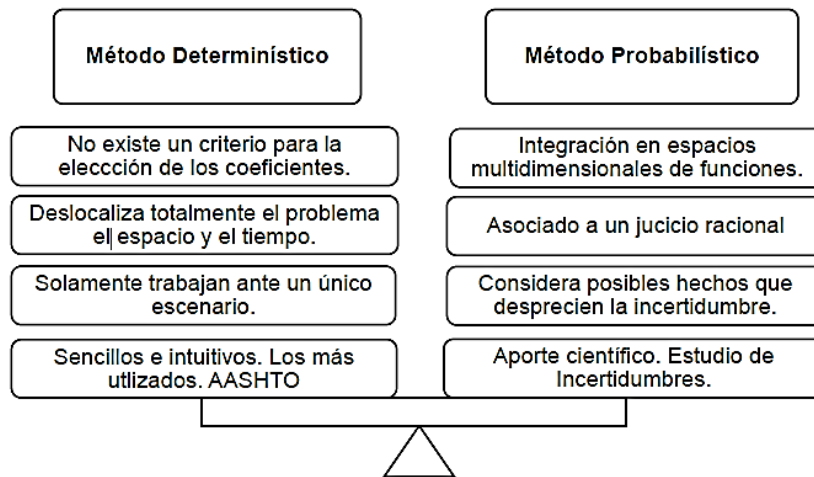


Figura N°7. Comparación de los métodos (Fuente ICEET, 1992)

Para Carrasco E., (2005); una simplificación habitual y perfectamente válida en muchos casos es la de considerar que al estado límite le corresponde la diferencia entre Resistencia y Solicitación ($R - S = 0$) y que R y S son variables aleatorias independientes. Como ya se refirió en el ítem anterior R y S dependen de multitud de variables aleatorias básicas. A continuación, se enumeran las variables básicas asociadas a la resistencia (R) y a las cargas y solicitaciones (S) de un puente existente:

- **Asociadas a Resistencia (R):** Tipo de sección, canto de la sección, espesores, área de acero de armar, área de acero pretensado, recubrimientos, resistencia a compresión y a tracción del hormigón, límites elásticos de los aceros de armar y pretensado, proceso constructivo, etc.

- **Asociadas a Cargas y Solicitaciones (S):** Esquema estructural, cargas exteriores, peso propio, cargas muertas, etc.

Una variable aleatoria queda satisfactoriamente caracterizada con gran número de datos disponibles conocida su media muestral, desviación estándar de la muestra y, por último, la función densidad de probabilidad

teórica que más se ajusta a esta. (Normal, LogNormal, etc.) (Carrasco E., 2005)

Aunque las variables básicas no puedan desprenderse del carácter de variable aleatoria, les corresponde un valor nominal o característico de carácter determinista que proviene de los datos de proyecto, resultado del diseño mediante las correspondientes normativas. Dichos valores nominales pueden extraerse, por ejemplo, directamente de los planos de proyecto: dimensiones de la sección, cantos útiles, áreas de acero, resistencias características de los materiales, etc. (Carrasco E., 2005)

2.6. CARGAS Y FACTORES DE CARGAS

En el ítem 2.4 del Manual de puentes del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), tenemos las especificaciones para realizar las combinaciones de cargas y encontrar la más crítica, de manera que se pueda diseñar el respectivo puente con el mayor rango de seguridad.

2.6.1. Clasificación de Cargas

Según el Manual de Puentes del MTC se clasifica de la siguiente manera:

- Permanentes
- Variables
- Excepcionales

Definición de Cargas Permanentes

Son aquellas que actúan durante toda la vida útil de la estructura sin variar significativamente, o que varían en un solo sentido hasta alcanzar un valor límite. Corresponden a este grupo el peso propio de los elementos estructurales y las cargas muertas adicionales tales como las debidas al peso de la superficie de rodadura o al balasto, los rieles y durmientes de ferrocarriles. También se consideran cargas permanentes el empuje de tierra, sobrecarga de tierra, la fricción superficial negativa, y otros que figuran en Artículo 2.4.5.2 (3.3.2 AASHTO)

Definición de Cargas Variables

Son aquellas para las que se observan variaciones frecuentes y significativas en términos relativos a su valor medio. Las cargas variables incluyen los pesos de los vehículos y personas, así como los correspondientes efectos dinámicos, las fuerzas de frenado y aceleración, las fuerzas centrífugas, las fuerzas laterales sobre rieles. También corresponden a este grupo las fuerzas aplicadas durante la construcción, las fuerzas debidas a empuje de agua y subpresiones, los efectos de variaciones de temperatura, las acciones de sismo y las acciones de viento. (3.6 AASHTO)

Definición de Cargas Excepcionales

Son aquellas acciones cuya probabilidad de ocurrencia es muy baja, pero que en determinadas condiciones deben ser consideradas por el proyectista, como por ejemplo las debidas a colisiones, explosiones o incendio.

Determinación de Cargas Permanentes

- **Cargas Muertas: DC, DW, y EV**

El peso propio (DC) se determinará considerando todos los elementos que sean indispensables para que la estructura funcione como tal. Las cargas muertas (DW) incluirán el peso de todos los elementos no estructurales, tales como veredas, superficies de rodadura, balasto, rieles, durmientes, barandas, postes, tuberías, ductos y cables.

El peso propio y las cargas muertas serán estimados sobre la base de las dimensiones indicadas en planos y en cada caso considerando los valores medios de los correspondientes pesos específicos.

A falta de una información precisa, podrán usarse los pesos específicos de la tabla siguiente: (3.5.1 AASHTO)

Tabla N° 03: Unidades de Peso por material

MATERIAL		Unidad de Peso (kcf)
Aleaciones de aluminio		0.175
Superficies de desgaste bituminoso		0.140
Hierro fundido		0.450
Relleno de ceniza		0.060
Arena, limo o arcilla compactado		0.120
Concreto	Ligero	0.110
	Liviano	0.120
	Con peso normal $f_c \leq 5.0 \text{ ksi}$	0.145
	Con peso normal $5.0 < f_c \leq 15.0 \text{ ksi}$	$0.140 + 0.001f_c$
Arena, limo o grava suelto		0.100
Arcilla blanda		0.100
Laminados grava, macadam o de lastre		0.140
Acero		0.490
Mampostería de piedra		0.170
Madera	Dura	0.060
	Blanda	0.050
Agua	Dulce	0.062
	Salada	0.062
Artículo		peso por unidad de longitud (kif)

- **Cargas de Suelo: EH, ES, y DD**

Las cargas que inciden en los estribos y otras partes de la estructura que retienen tierra deberán diseñarse para resistir las correspondientes presiones del empuje del suelo (EH), sobrecarga del suelo (ES) y fricción superficial negativa (DD) (Downdrag), las mismas que serán calculadas de acuerdo con los principios de la mecánica de suelos.

Las características supuestas para el material de relleno deberán ser verificadas con el material en obra y, en caso sea necesario, deberán hacerse los ajustes necesarios para corregir cualquier discrepancia. (3.5.2 AASHTO)

En todos los casos el diseño incluirá un sistema de drenaje del material de relleno. No obstante, deberá considerarse la posibilidad que el suelo se sature total o parcialmente, a uno o a ambos lados de la estructura de contención.

Cuando se prevea tráfico a una distancia horizontal, medida desde la parte superior de la estructura, menor o igual a la mitad de su altura, las presiones serán incrementadas añadiendo una sobrecarga vertical no menor que la equivalente a 0.60 m de altura de relleno. Cuando se diseñe una losa de aproximación soportada en un extremo del puente, no será necesario considerar dicho incremento de carga.

En caso la estructura de contención forme parte de un pórtico rígido, solamente podrá considerarse en el diseño de losas o vigas hasta el 50% de cualquier efecto favorable debido al empuje de tierra.

Cargas Variables

Cargas Durante la Construcción

El proyectista considerará todas las cargas debidas a pesos de materiales y equipos requeridos durante la construcción, así como las cargas de peso propio u otras de carácter permanente que se apliquen en cada etapa del proceso constructivo. Deberá preverse la ubicación de todas las cargas permanentes o temporales en cada etapa, dejando margen para posibles imprecisiones o errores.

Deberá considerarse la posibilidad que, durante el proceso constructivo o como resultado de una posterior modificación, la carga muerta sea retirada parcialmente, pudiendo reducirse un posible efecto favorable.

Cuando las condiciones de diseño lo requieran, el expediente técnico deberá indicar claramente la secuencia constructiva.

Cargas Vivas de Vehículos

Número de Vías: En general, el número de carriles de diseño se debería determinar tomando la parte entera de la relación $w/12.0$ ($w/3.60$ en m.),

siendo w el ancho libre de calzada entre sardineles, cordones y/o barreras, en ft; (mm). También se deberían considerar posibles cambios futuros en las características físicas o funcionales del ancho libre de calzada.

En aquellos casos en los cuales los carriles de circulación tienen menos de 12.0 ft (3.60 m.) de ancho, el número de carriles de diseño deberá ser igual al número de carriles de circulación, y el ancho del carril de diseño se deberá tomar igual al ancho del carril de circulación.

Los anchos de calzada comprendidos entre 20.0 a 24.0 ft (6.00 y 7.20 m.) deberán tener dos carriles de diseño, cada uno de ellos de ancho igual a la mitad del ancho de calzada.

Vehículos autorizados en carreteras peruanas

Son todos los vehículos autorizados por el Reglamento Nacional de vehículos (2003, p 78-84), aprobado mediante D.S. N°508-2003-MTC, detallándose en su Anexo IV: Pesos y medidas, en la que presenta la configuración vehicular, dimensiones de este, peso máximo y bruto en Tn.

2.7. CARGAS PARA LA EVALUACIÓN

a) Carga muerta DC y DW: Valor nominales presentados en la Tabla N°4: Pesos de materiales extraídos del manual de diseño de puentes de la AASHTO, 2020 y el Manual de Puentes del MTC,2018.

b) Otras Cargas permanentes P: Corresponden a cargas permanentes secundarias como la de preesforzado.

c) Carga Viva LL: de acuerdo a la sección 2.2.10.1. Factor Rating, tenemos las siguientes cargas a considerar:

- Carga de diseño: Camión HL-93 de Diseño (36 Tn) de puentes LRFD

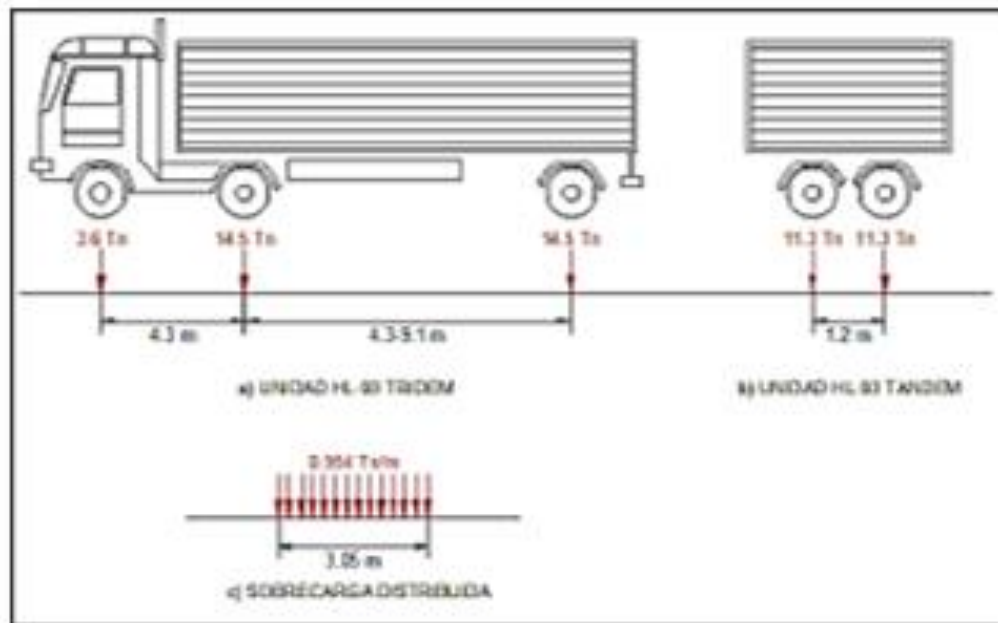


Figura N°08: Camión de diseño HL-83

- Carga predominante del puente El Tingo: ~~Trailer~~ T3S3 (49 Tn)

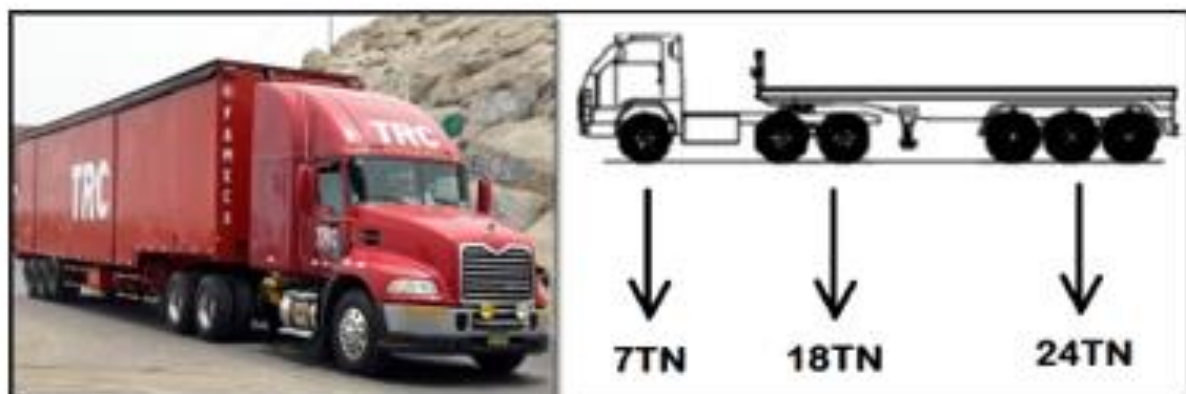


Figura N° 09: Vehículo T3S3 de mayor circulación de la vía en estudio

d) Carga de impacto:

Tabla N° 04: Carga de impacto móvil

Componente	Porcentaje
Elementos de unión en el tablero (todos los estados límite)	75%
Para otros elementos:	
a) Estado límite de fatiga y fractura	15%

e) Carga Peatonal PL: carga que no es necesaria adjuntar a la carga vehicular. Para el Manual de Puentes, MTC 2018; considera que se deberá aplicar una carga peatonal de 0.075 ksf o un Valor Nominal de 367 Kg/m².

2.8. FACTORES DE CARGA Y COMBINACIONES DE CARGAS

La siguiente ecuación constituye la base de la metodología del Diseño por Factores de Carga y Resistencia (LRFD). (A2010 Ec.1.3.2.1- 1)

$$\sum \eta_i \gamma_i Q_i \leq \phi R_n = R_r$$

..... (3)

Los componentes y conexiones de un puente deberán satisfacer la siguiente ecuación para las combinaciones aplicables de solicitaciones extremas mayoradas según se especifica para cada uno de los Estados Límites descritos en el A2010 Artículo 3.4.1.

Para el cálculo del factor de modificación de las cargas (η_i), se toman en cuenta los factores relacionados con la ductilidad, redundancia e importancia operativa.

$$\eta_i = \eta_D \eta_R \eta_I \geq 0.95$$

..... (4)

γ_i = Factor de carga: multiplicador de base estadística aplicado a los efectos de las fuerzas

ϕ = Factor de resistencia: multiplicador de base estadística aplicado a la resistencia nominal, como se especifica en las secciones 5, 6, 7, 8, 10, 11 y 12

η_i = Modificador de carga: un factor relacionado con la ductilidad, redundancia y clasificación operacional

η_D = Un factor relacionado con la ductilidad, como se especifica en el Artículo 1.3.3

ηR = Un factor relacionado con la redundancia, como se especifica en el Artículo 1.3.4

ηI = Un factor relacionado con la clasificación operacional, como se especifica en el Artículo 1.3.5

Q_i = Efectos de las fuerzas

R_n = Resistencia nominal

R_r = Resistencia Factorada: ϕR_n

2.9. ESTADOS LÍMITES

2.9.1 Estado Límite de Servicio:

El Estado Límite de Servicio se debe considerar como restricciones impuestas a las tensiones, deformaciones y anchos de fisura bajo condiciones de servicio regular. (A2010 Arto. 1.3.2.2)

El Estado Límite de Servicio proporciona ciertos requisitos basados en la experiencia que no siempre se pueden derivar exclusivamente a partir de consideraciones estadísticas o de resistencia. (A2010 C.1.3.2.2)

2.9.2 Estado Límite de Fatiga y Fractura:

El Estado Límite de Fatiga se debe considerar como restricciones impuestas al rango de tensiones que se da como resultado de un único camión de diseño ocurriendo el número anticipado de ciclos del rango de tensión. (A2010 Arto. 1.3.2.3)

La intención del Estado Límite de Fatiga es limitar el crecimiento de las fisuras bajo cargas repetitivas, a fin de impedir la fractura durante el período de diseño del puente. (A2010 C1.3.2.3)

2.9.3 Estado Límite de Esfuerzo:

Se debe considerar el Estado Límite de Resistencia para garantizar que se provee resistencia y estabilidad, tanto local como global, para resistir las combinaciones de cargas estadísticamente significativas especificadas que se anticipa que el puente experimentará durante su período de diseño. (A2010 Arto.1.3.2.4)

2.9.4 Estados Límites correspondientes a Eventos Extremos:

Se debe considerar el Estado Límite correspondiente a Eventos Extremos para garantizar la supervivencia estructural de un puente durante una inundación o sismo significativo, o cuando es embestido por una embarcación o un vehículo. (A2010 Arto. 1.3.2.5)

2.10. DUCTILIDAD

Se debe de considerar que la ductilidad de un puente deberá ser proporcionada y detallada para asegurar el desarrollo deformaciones inelásticas significativas y visibles por el esfuerzo y el estado límite de evento extremo antes de la falla. (A2010 Arto. 1.3.3)

2.11. LIMITACIONES DE LAS DEFLEXIONES:

Estos requerimientos permiten usar las prácticas tradicionales para el control de las deflexiones. Se debe utilizar la porción correspondiente a la sobrecarga viva de la Combinación de Cargas de Servicio I del A2010 Tabla 3.4.1-1, incluyendo el incremento por carga dinámica, IM. Para las construcciones de acero, aluminio y/u hormigón se pueden considerar los siguientes límites de deflexión: (A2010 Arto. 2.5.2.6.2)

Carga vehicular, general.....	Longitud / 800,
Cargas vehiculares y/o peatonales.....	Longitud / 1000,
Carga vehicular sobre voladizos.....	Longitud / 300, y
Cargas vehiculares y/o peatonales sobre voladizos.....	Longitud / 375

Carga para la evaluación opcional de la deflexión por sobrecarga:

La deflexión se deberá tomar como el mayor de los siguientes valores:
(A2010 Arto. 3.6.1.3.2)

- La deflexión debida al camión de diseño solamente, o
- La deflexión debida al 25 por ciento del camión de diseño considerado juntamente con la carga del carril de diseño.

2.12. LARGUEROS Y VIGAS TRANSVERSALES DE PISO:

Los largueros son vigas que generalmente van paralelas al eje longitudinal del puente, o sea en la dirección del tráfico. A menudo, dichos largueros deben entramarse con las vigas transversales de piso, pero si están apoyados en las aletas superiores de estas vigas, es conveniente que sean continuos en dos o más paneles.

Las vigas transversales de piso preferiblemente deben ser perpendiculares a las armaduras o vigas principales. Además, las conexiones a estos miembros deben colocarse de modo que permita la unión de arrostro lateral tanto a las vigas transversales de piso como a las armaduras o vigas principales.

2.13. EVALUACIÓN DE PUENTES

2.13.1. Guía para inspección de puentes, 2006

- Finalidad: La finalidad de la Guía para inspección de puentes, es la constatar el estado de los componentes de los mismos que permita la toma de decisiones orientados a mantener continuidad de la transitabilidad de la infraestructura vial en forma eficiente y segura.
- Objetivo: El objetivo de la Guía es proporcionar pautas para realizar la inspección apropiada de los componentes de los puentes del Sistema Nacional de Carreteras del Perú a través de procedimientos técnicos estandarizados.
- Alcances: La presente Directiva será de cumplimiento y aplicación obligatoria por los entes ejecutores y/o gestores de la red vial correspondiente, a través de los Ingenieros responsables de las Inspecciones de los Puentes.

2.13.2. Métodos Descriptivos – MTC

Se entiende por inspección al conjunto de acciones de gabinete y campo, desde recopilación de información (historia del puente, expedientes técnicos del proyecto, planos post construcción, inspecciones previas, etc.), hasta la toma de datos en campo, a fin de conocer el estado del puente en un instante dado. (Guía para inspección de puentes 2006)

Los objetivos de la inspección de un puente son dos, una es para asegurar el tráfico sin riesgo sobre la estructura, y la segunda es la de detectar las deficiencias existentes, para así poder recomendar las acciones para corregirlas. Una es inspección de seguridad y la otra para mantenimiento del puente.

Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones recomienda realizar una evaluación del puente una vez al año por lo menos, y los componentes sumergidos cada tres años, se recomienda siempre realizarlo al finalizar las épocas de lluvias.

La Inspección a realizar debe ser visual y física, existiendo otras técnicas avanzadas (destruictivas y no destruictivas), para inspección específicas de concreto, acero y madera

2.13.3. Equipos y Herramientas para la Inspección

Para realizar trabajos de inspección de puentes, debemos ser muy minuciosos, además de no ser limitativos, en cuando a los equipos y herramientas, pero éstas dependerán del tipo de puente que se va a inspeccionar.

A continuación, presentamos una lista de equipos y herramientas según la Guía para Inspección de Puentes:

a. Herramientas para Limpieza

- Cepillo de Alambre
- Cinturón de herramientas
- Pala plana
- Chalecos reflectantes
- Casco
- Botas
- Gafas

b. Herramientas para ayuda visual

- Binoculares
- Flexómetro de 5m

- Wincha de 30m
- Plomadas
- Nivel de carpintero de 1m
- Lupas micrométricas
- Vernier
- Medidor de grietas óptico
- Medidor de espesor de Pintura
- Termómetro
- Crayola o tiza
- Espejos de inspección
- Tinte penetrante
- Endoscopio

c. Herramientas para documentación

- Cámara fotográfica
- Libreta de campo
- Video cámara

d. Herramientas para acceso

- Escaleras
- Pasarelas
- Canastillas
- Arneses
- Tirfor
- Poleas
- Chalecos salvavidas
- Correa de seguridad

e. Herramientas para misceláneas

- Caja de herramientas (llaves)
- Botiquín de primeros auxilios
- Radios (walkie-talkies)
- Linterna
- Martillo, pala plana, destornillador, navaja

f. Equipo de señalamiento para inspección de calzadas

- Conos de plástico
- Triángulos
- y demás señales de seguridad

g. Equipos para la verificación de los niveles del puente

- Teodolito
- Nivel
- Mira
- Winchas
- Jalones
- Libreta de campo

2.13.4. Procedimiento de Inspección

La Guía para inspección de puentes recomienda realizar siempre procedimientos sistemáticos, es decir una rutina para todos los puentes, además de tener todo documentado, ya que es esencial en toda inspección para determinar requerimientos de mantenimiento y dar recomendaciones prácticas, sugiriendo acciones de corrección o para impedir el crecimiento de los defectos presentados.

Al realizar una inspección se deben de realizar los siguientes pasos según la Guía para inspección de puentes:

A. Acciones previas de trabajos de campo

Se deben revisar inventarios e informes de inspecciones anteriores, a fin de tomar conocimiento de hechos especiales, como daños o elementos estructurales que requieran de una inspección más detallada.

Todo puente debe contar con un historial documentado, y así facilitar las inspecciones futuras.

B. Acciones en el campo Propiamente dichas

- a) Se debe verificar la ubicación y nombre del puente programado para su inspección.
- b) Se debe tomar las medidas de seguridad necesarias.

- c) Se debe iniciar la inspección tomando una foto de identificación del puente.
- d) Se debe tomar una fotografía del acceso al Puente.
- e) Se debe inspeccionar y calificar la condición de cada uno de los componentes del puente (estribos, pilares, alas, tablero, losas, vigas, etc).
- f) Se debe inspeccionar y calificar taludes y obras de protección en los extremos del puente.
- g) Se debe tomar fotografías en los diferentes tipos de estribos y pilares.
- h) Se debe revisar y calificar los pilares, apoyos, el cauce, y la parte de la superestructura.
- i) Se debe tomar una foto de la elevación del puente, en la que se pueda apreciar la subestructura y la superestructura
- j) Al final se debe calificar la condición del puente en general.

Finalmente debe asegurarse que todas las partes visibles del puente fueron inspeccionadas y que la documentación del levantamiento de información se encuentra completa y correctamente formulada

(Guía para Inspección de Puentes, MTC 2006)

Tabla N° 05: Condición global del puente

Clasificación	Descripción de la condición
0	Muy Bueno: No se observan problemas
1	Bueno: hay problemas menores. Algunos elementos muestran deterioro son importancia
2	Regular: Los elementos primarios están en buen estado, pero algunos secundarios muestran deterioro, algo de pérdida de sección, grietas, descascaramiento, o socavación pérdida de sección avanzada
3	Malo: La pérdida de sección, deterioro o socavación afectan seriamente a los elementos estructurales primarios, hay posibilidad de fracturas locales, pueden presentarse rajaduras en el concreto o fatigas en el acero

4	<p>Muy Malo: Avanzado deterioro de los elementos estructurales primarios.</p> <ul style="list-style-type: none"> -Grietas de fatiga en acero o grietas de corte en el concreto. - La socavación compromete el apoyo que da la infraestructura. Conviene cerrar el puente a menos que este monitoreado
5	<p>Pésimo: Gran deterioro o pérdida de sección presente en elementos estructurales críticos.</p> <ul style="list-style-type: none"> -Desplazamientos horizontales o verticales afectan la estabilidad de la estructura. - El puente se cierra al tráfico, pero con acciones correctivas se puede restablecer el tránsito de unidades ligeras

Fuente: Guía de inspección de puentes, 2006

C. Acciones para detectar daños más comunes

Se deben realizar inspecciones en los componentes de madera, acero, concreto, componentes sumergidos, tableros, juntas y apoyos.

Los daños en los componentes de concreto incluyen agrietamientos, escamas, delaminación, descascaramiento, afloramientos, desgaste o abrasión, daños de colisión, pulido y sobrecarga. Estos pueden ser inspeccionados por exámenes visuales y físicos:

La inspección visual permite observar los deterioros primarios, como son las grietas y las manchas de óxido. Se debe reconocer el hecho que no todas las grietas son de igual importancia ya que dependen de la longitud, dirección, localización y extensión de las grietas y manchas de óxido. Para el desarrollo de esta investigación, en la inspección física se realizará el ensayo no destructivo ASTM C805 de esclerometría, el cual nos brindará la actual resistencia del concreto que presenta los elementos que conforman la superestructura del puente.

2.14. SOFTWARE CSiBridge

CSiBridge es un software completamente independiente que combina modelado, análisis y dimensionamiento de estructuras de puentes en un único modelo para satisfacer las necesidades de los ingenieros.

Lo que este programa ofrece al usuario es la facultad de realizar modelado, análisis, diseño, programación, clasificación de carga e informes de los proyectos que se realicen.

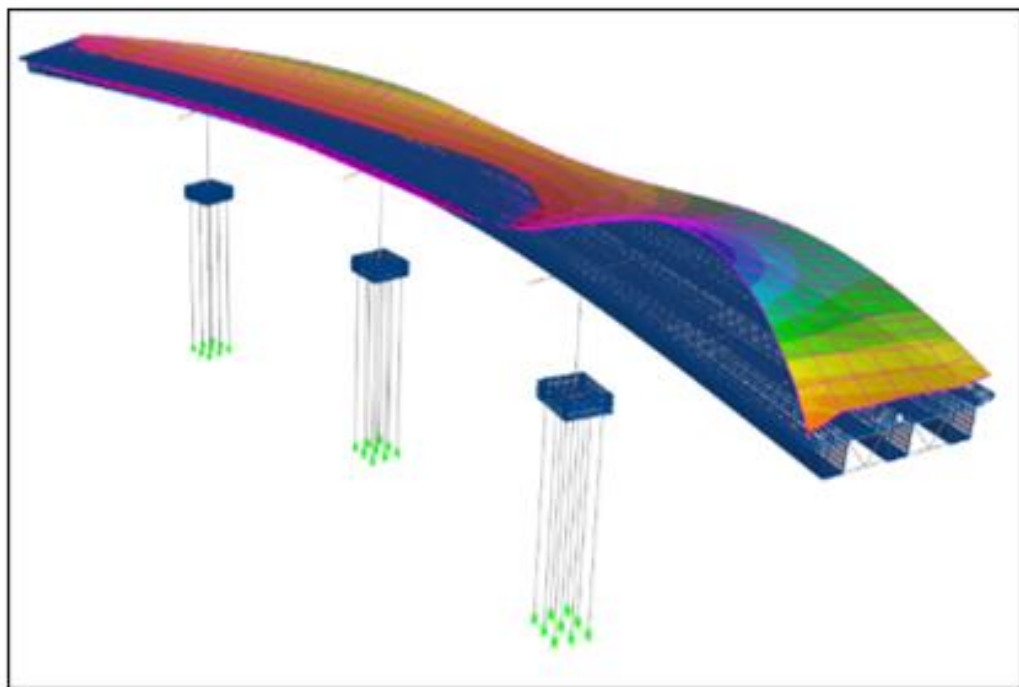


Figura N°10: Modelado de un Puente en CSiBridge

En sus últimas versiones posee una herramienta llamada Bridge Wizard que es una poderosa herramienta que guía al usuario paso a paso a través de la creación de un modelo de puente completo con instrucciones en cada paso para garantizar que todos los componentes necesarios estén definidos en el modelo.

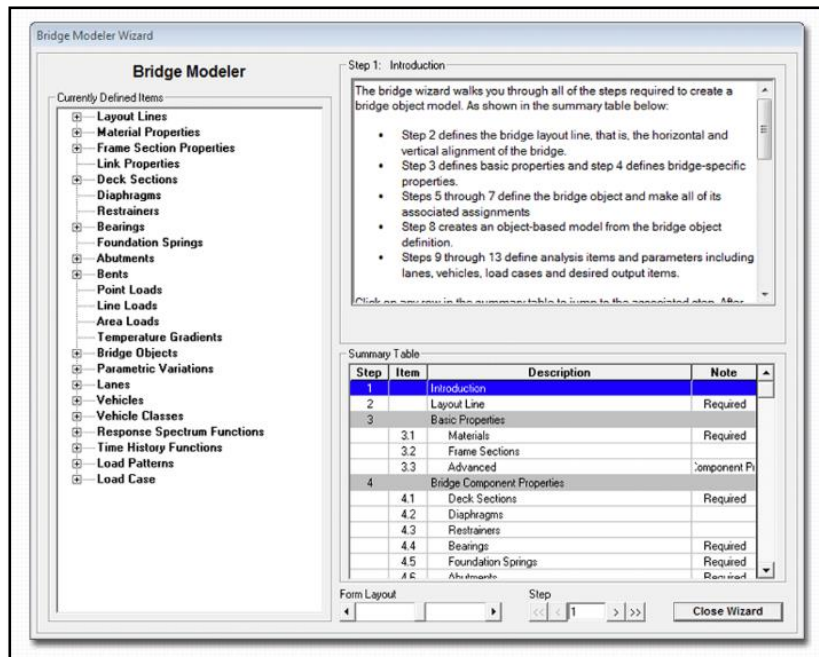


Figura N°11: Vista de la ventana de la herramienta Bridge Wizard

Además, la construcción por etapas es un tipo de análisis no lineal en CSiBridge que le permite al usuario definir una secuencia de etapas en las que puede agregar o eliminar partes de la estructura, aplicar cargas selectivamente a partes de la estructura y considerar el comportamiento del material dependiente del tiempo, como el envejecimiento, fluencia y contracción.

Para este proyecto, se usa el programa para el modelamiento del puente en estudio, con los datos recogidos en campo, y así poder corroborar como actúa la estructura ejecutada, comparada con el proyecto plasmado en el Expediente Técnico.

2.15 ESCALA DE SEGURIDAD

Viene a ser un valor calculado β (índice de confiabilidad) según la investigación de Zlatko Šavor y Marta Šavor (2014), y que nos da los niveles de confianza para una estructura, y así ver desde una posibilidad cercana a la falla, hasta un nivel de seguridad alto, la escala de propuesta por Army Corps of Engineers (1997), contiene 8 niveles; para los valores,

los niveles van desde el valor 0 hasta el 5, y se divide de acuerdo al siguiente cuadro

Tabla N° 06: Escala de Seguridad en referencia al índice de Confiabilidad β

$\beta = 3.5$ Límite mínimo Diseño AASHTO LRFD	ESCALA DE SEGURIDAD		
	Nivel	índice β	
		Mínimo	Máximo
	Alto	5.00	-
	Bueno	4.00	5.00
	Arriba del Promedio	3.50	4.00
		3.00	3.50
$\beta = 2.5$ Límite mínimo de Evaluación	Bajo del Promedio	2.50	3.00
	Pobre	2.00	2.50
	Insatisfactorio	1.50	2.00
	Peligroso	1.00	1.50
	Cercano a la falla	0.00	1.00

Fuente: Army Corps of Engineers (1997)

El código de la LRFD USA determina que el valor β mínimo para evaluación a nivel de expediente técnico es un índice de confiabilidad (β) =3.50 y para evaluación a nivel de desempeño actual un índice de confiabilidad (β)=2.50.

2.16. DEFINICIONES BÁSICAS

- **Abrasión:** Desgaste que sufre una superficie debido a las fuerzas de fricción que experimenta en el transcurso del tiempo.
- **Aguas abajo:** Llamado también río abajo. Es cuando un punto avanza en la dirección de la corriente.

- **Aguas arriba:** Llamado también río arriba. Es cuando el punto avanza en dirección contraria a la corriente.
- **Ancho de vía:** se refiere al espacio por donde transitan los vehículos. Llamada también calzada.
- **Ancho total del puente:** referido a la suma de los anchos de la vía, aceras, barandas y algún otro espacio como ciclovías o sardineles.
- **Acera:** se refiere a la superficie por donde transitan los peatones. Llamada también vereda.
- **Carga permisible:** Referido a la carga máxima de operación, de acuerdo a la distribución y la carga por ejes.
- **Capacidad portante:** Máxima presión en contacto entre la fundición y el terreno.
- **Combinación de carga de un puente:** Se refiere a la combinación más desfavorable en cuanto a la capacidad que pueda soportar la estructura, esto sin alcanzar un estado límite y cuidando el nivel de seguridad.
- **Calzada:** Se refiere a la superficie por donde transitan los automóviles, bicicletas y demás vehículos, este incluye todos los carriles en ambos sentidos y los sardineles.
- **Carga muerta:** Peso propio de todos los elementos de la estructura.
- **Carga viva:** Peso aproximado producido por la circulación de vehículos livianos y pesados en la calzada y la circulación peatonal en las aceras de los puentes.

- **Claro hidráulico:** Distancia vertical real entre la parte inferior de la superestructura y la distancia máxima del agua.
- **Distancia vertical libre o gálibo:** El gálibo se refiere a la distancia vertical real entre el componente más bajo de la superestructura, generalmente las vigas, y la parte más profunda del afluente de agua o nivel de la vía o cota de línea férrea, en el caso de que la estructura se ubique sobre una carretera o circuito de trenes.
- **Defectos funcionales:** Son aquellos errores o fallas que comprometen la estructura y propician el deterioro progresivo del puente.
- **Depreciación:** Pérdida de la seguridad y eficiencia de la construcción por deterioro o por la obsolescencia de su tecnología o diseño.
- **Deterioro:** Desgaste, daño o rotura progresivo o inmediato de algún elemento construido.
- **Diagnóstico:** Análisis de la condición en la que se encuentra el elemento en observación.
- **Durabilidad:** Facultad de los elementos para conservar sus características básicas a lo largo del tiempo.
- **Estado límite:** Más allá de la cual el puente o elemento deja de satisfacer los requisitos para los cuales fue diseñado.
- **Estado límite de servicio:** Estados límites relacionados con las tensiones, deformaciones y fisuración.
- **Evaluación:** Análisis técnico realizado con los datos obtenidos que permite interpretar el estado real de un elemento o estructura, para que perdure su funcionalidad en el tiempo.

- **Evaluación determinística:** metodología que determina la capacidad estructural de la carga viva de puentes, por medio de factores de carga y su clasificación
- **Evaluación probabilística:** método que permite la verificación de la seguridad estructural de puentes en servicio, bajo condiciones reales de la estructura que combina resultados experimentales, con el cálculo estructural y simulaciones estadísticas, se busca aproximar la condición de trabajo del puente a la realidad.
- **Factor de capacidad:** son expresiones que son usadas para determinar la capacidad segura de carga, que relacionan la resistencia sobre la sollicitación
- **Factor de carga:** las cargas nominales multiplicadas por los factores de carga apropiados especificados para la combinación de carga bajo consideración.
- **Funcionalidad:** Capacidad de un elemento o estructura de cumplir con las características establecidas para su uso.
- **Índice de confiabilidad:** es una medida de la seguridad estructural, que explica el desempeño de una estructura en términos de la probabilidad inversa de la función.
- **Inspección parcial:** Inspección que cubre uno o varios elementos componentes de la construcción.
- **Inspección total:** Inspección que cubre todos los elementos componentes de la construcción.
- **Longitud del puente:** Comprende la medida total desde el inicio (entrada) y el final (salida) de la estructura. Referido también a la

distancia total de la plataforma antes de que comiencen las losas de aproximación.

- **Longitud de acceso:** Se refiere a la distancia total de las losas de aproximación al puente.
- **Longitud total del puente:** Es el espacio que abarca desde los bordes exteriores del estribo derecho al estribo izquierdo de la estructura en el mismo nivel.
- **Longitud total del tramo:** Es el espacio total que se encuentra entre juntas de dilatación de la superestructura.
- **Luz de tramo:** Es la distancia entre los ejes de los apoyos que sirven para soportar el peso de la plataforma del puente.
- **Luz libre:** Es la distancia entre los ejes de los estribos y los pilares.
- **Losa de aproximación:** Las losas de aproximación forman parte de la superficie de rodadura como acceso al puente, estas se apoyan en los estribos por medio de una ménsula ubicada en la parte superior de la viga cabezal. Generalmente son construidas con concreto reforzado para evitar posibles asentamientos en la parte del relleno, los cuales son provocados por el continuo traqueteo de los vehículos al transitar por la vía.
- **Patología:** Problemas o defectos que aparecen en determinados momentos a lo largo de la vida útil de la estructura.
- **Pedestal:** Referido a columnas de corta dimensión que sirve como apoyo a los principales elementos que conforman la superestructura. Estos pueden tener alturas variables y esto genera un bombeo en la plataforma.

- **Pendiente:** Es la división de las diferencias de altura sobre las diferencias de distancia.

- **Resistencia nominal:** resistencia de un componente o conexión a los efectos de la fuerza, según lo indicado por las dimensiones especificadas en los documentos del diseño y por las tensiones, deformaciones o resistencia especificada de los materiales permisibles

CAPITULO III. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1. UBICACIÓN

La siguiente investigación se ha realizado en el puente El Tingo, en el distrito de San Juan, Provincia de Cajamarca, Departamento de Cajamarca. Puntualmente ubicado en la carretera PE-08, Ciudad de Dios – Cajamarca en el km 133+100.00.

Teniendo una ubicación con los siguientes datos

- Latitud: -7.276709°
- Longitud: -78.528647°

Tabla N° 07: Coordenadas UTM WGS84 DATUM del puente El Tingo

PUNTO	COORDENADAS UTM WGS-84		COTA
	ESTE	NORTE	
A	772878.13m	9194914.03m	1914msnm

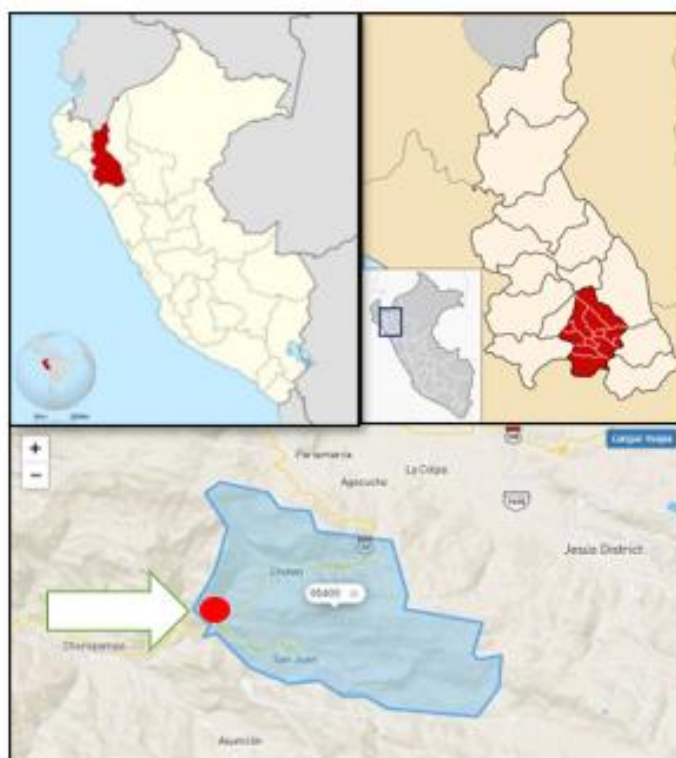


Figura N°12: Ubicación del estudio a nivel Departamental (Cajamarca), Provincial (Cajamarca) y Distrital (San Juan)

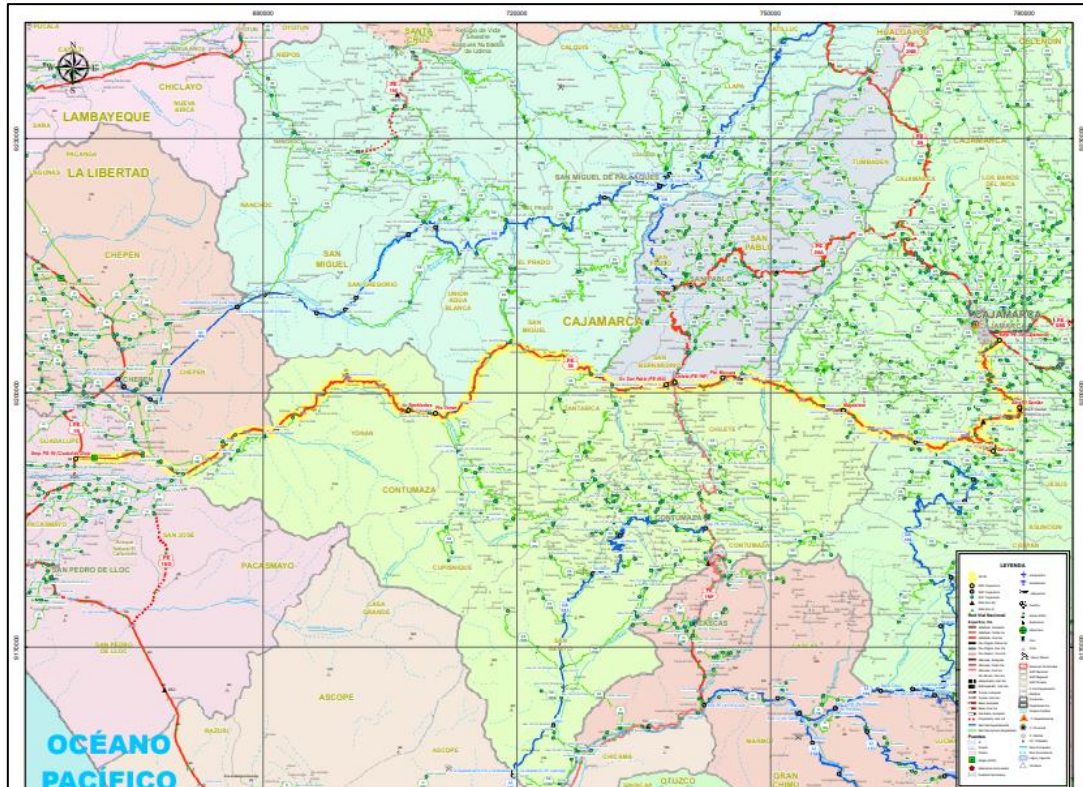


Figura N°13: Ubicación de la Ruta Eje Transversal PE-08 (línea amarilla), donde se encuentra el Puente Tingo



Figura N°14: Vista satelital de la ubicación del Puente El Tingo



Figura N°15: Vista panorámica del puente El Tingo

3.2. PROCESO DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación se realizó entre los meses de mayo a Julio del 2023, período que se detalle en el siguiente TABLA:

Tabla N° 08: Actividades de elaboración de tesis

PERIODO	ACTIVIDAD
Mayo	Presentación y aprobación plan de Tesis.
Junio Semana 01	Recolección de documentación del proyecto: Construcción del Puente El Tingo y Accesos, ejecutado por la Empresa Torres Cámara.
Junio Semana 02	Estudios de campo: ensayos de esclerometría y mediciones de la estructura
Junio Semana 03	Estudio de tráfico
Junio Semana 04	Procesamiento de datos en gabinete
Julio	Desarrollo de la investigación

3.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El presente estudio corresponde a una investigación APLICADA, ya que utilizaremos teorías y normativas referente al diseño, estudio y mantenimiento de puentes. Considerándose para tal un enfoque teórico metodológico Probabilístico y Determinístico.

3.4. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El nivel de investigación es DESCRIPTIVO porque describiremos la condición en la que se encuentra el puente El Tingo.

3.5. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

EL presente estudio reúne las características de una investigación NO EXPERIMENTAL. Además, reúne las características de un diseño TRANSVERSAL, ya que la recolección de datos es en un determinado tiempo, como es el caso para el conteo de vehículos y cálculo del IMD, o toma de medidas y datos en la inspección visual de la estructura.

3.6. POBLACIÓN DE ESTUDIO

La población de estudio se encuentra constituida por los puentes tipo arco de concreto armado de la Ruta PE-08, siendo la muestra única en sus características el puente el Tingo, del distrito de San Juan, Provincia de Cajamarca – Cajamarca.

3.7. MUESTRA

La muestra de estudio, es el puente El Tingo, ubicado en el sector El Tingo, Distrito de San Juan, Provincia y departamento de Cajamarca.

3.8. UNIDAD DE ANÁLISIS

La unidad de análisis para este estudio serán los elementos estructurales que conforman la superestructura como la viga principal, arcos, pórticos, losa del puente El Tingo, ubicado en el sector El Tingo, Distrito de San Juan, Provincia de Cajamarca.

3.9. UNIDAD DE OBSERVACIÓN

La unidad de observación del presente estudio son las cargas aplicadas a los elementos estructurales que conforman el puente.

3.10. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

3.10.1. ACTIVIDADES REALIZADAS

- Se contactó a los profesionales que participaron en la ejecución del proyecto: “**CONSTRUCCIÓN DEL PUENTE EL TINGO Y ACCESOS**”, tanto como al residente de obra, asistente del residente, especialista de calidad y administración, quienes proporcionaron toda la información posible que sirva de apoyo para esta investigación, información que complementó al proceso de la investigación con los datos de diseño, medidas, consideraciones, resistencia y solicitudes que presentan los elementos estructurales de la superestructura del puente.
- Se realizaron los trabajos de campo como la corroboración de medidas según los datos del expediente técnico antes mencionado, verificando que los planos coincidan con las estructuras ejecutadas, complementándose esta información con una evaluación cualitativa basándose en la Guía de inspección para puentes propuesta por el MTC, la que determinó la condición en la que se encuentra el puente.



Figura N° 16: Mediciones de la estructura

- Los ensayos realizados para esta investigación fueron no destructivos, tal cual fue el ensayo de Esclerometría ASTM C 805 para determinar la resistencia del concreto en los elementos de su

superestructura como lo es la viga principal, la losa, arco de concreto y pórticos.



Figura N° 17: Mediciones con Esclerómetro

- Sumado a esto se realizó el estudio de tráfico vehicular por una semana para identificar los vehículos que más transitan por el puente y así tener las cargas que actúan sobre la estructura.
- Todos los datos obtenidos del ensayo de esclerometría como los del estudio de tráfico fueron necesarios para completar las condiciones del segundo escenario (desempeño actual) propuesto para esta investigación.
- Concluyendo, con la recolección de los datos mencionados anteriormente se realizó la modelación de la superestructura de este puente en el software CSI Bridge, con los valores del Momento Flector y Fuerzas Cortantes obtenidos del modelamiento se calculó los índices de confiabilidad con ayuda del Software Microsoft Excel y su extensión Oracle Crystal Ball para determinar los valores estadísticos. Todo este proceso se desarrolló en base a la Normativa Peruana brindada por el MTC (determinación de cargas y sollicitaciones) y considerando la Normativa Americana de la ASSHTO LRFD para la determinación de los índices de confiabilidad por las dos metodologías.

3.10.2. ESTADO SITUACIONAL ACTUAL

El puente en estudio está ubicado en la Red Vial Nacional PE-08, sobre el Río Choten, en el tramo Ciudad de Dios - Cajamarca, en el distrito de San Juan, Provincia y departamento de Cajamarca. La estructura posee una luz libre de 75m, con un tablero tipo losa de concreto armado, además 04 vigas de tablero, y 4 vigas tipo arco de concreto armado empotrado en los estribos en cada lado.



Figura N° 18: Vista de las estructuras del puente

La estructura es de gran importancia, ya que está ubicado en una de las vías principales que conecta a Cajamarca con la zona costera de nuestro país, facilitando el comercio.

El puente ya tiene casi 5 años ya que se ejecutó en el 2018 al presente año, y luego de una inspección visual, la parte estructural, no posee ningún tipo de falla, a excepción de la carpeta asfáltica de uno de los accesos, en la cual se pueden observar asentamientos.

Se han hallado fallas en la plataforma del primer acceso (dirección hacia Magdalena), para ser más específicos; la plataforma de asfalto se encuentra asentada, en una gran área, tal como se puede observar en la siguiente imagen:



Figura N° 19: Vista de las fallas en pavimento

Estas fallas causan gran molestia a los conductores, ya sea de transporte liviano o pesado, ya que es muy accidentado, se verá también la causa de dicha falla y se dará una recomendación para la subsanación.

3.10.3. PROPIEDADES DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES DEL PUEENTE

3.10.3.1. CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LOS MATERIALES

Las características más importantes del concreto y acero para los elementos de la superestructura del Puente El Tingo, fueron obtenidos del expediente técnico, de lo cual se puede resaltar lo siguiente:

- Capacidad de Carga última (estribo derecho): 1273 Ton x pilote Ø1.50m
- Capacidad de Carga última (estribo izquierdo): 13.74 kg/cm²
- Capacidad de Carga admisible (estribo derecho): 336.5 Ton x pilote Ø1.50m
- Capacidad de Carga admisible (estribo izquierdo): 4.58 kg/cm²
- Resistencia de Concreto de zapatas de los estribos: 210 kg/cm²
- Resistencia de Concreto de vigas tirante de estribos: 280kg/cm²
- Resistencia de Concreto de vigas de tablero, losa, pórticos y vigas tipo arco: 280kg/cm²

Las resistencias del concreto dadas por el expediente técnico fueron verificadas con los datos obtenidos de los ensayos de ESCLEROMETRÍA o Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete ASTM C805 realizados a los elementos estructurales que conforman la superestructura del puente.

Tabla N° 09: Características mecánicas

CONCRETO ARMADO	F'C EN kg/cm ²			Kg/cm ²
	175	210	280	
MASA	245	245	245	Kgs ² /m
PESO	2400	2400	2400	kg
MODULO E	210000	230000	270000	Kg/cm ²
MODULO POISSON	0.15	0.15	.015	
COEFICIENTE DE DILATACIÓN	1.0E-05	1.0E-05	1.0E-05	l°C

Fuente: Expediente Técnico Construcción Puente Tingo

3.10.3.2. GEOMETRÍA DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

El puente en estudio posee una luz libre de 75m, con un tablero tipo losa de concreto armado de 0.25m de espesor, con 04 vigas de concreto armado de 0.50m de ancho y 0.85m de peralte distribuidas a 3.2m de separación, y 4 arcos de concreto armado de 0.70m de ancho y de peralte variable empotradas en los estribos en cada lado. Posee además 2 estribos, uno con una zapata apoyada en terreno firme, es decir con la capacidad portante adecuada, y el otro estribo sobre una zapata apoyada en 15 pilotes de concreto armado de 1.5m de diámetro y con profundidades variables desde los 31.55m hasta los 40.65 m

Tabla N° 10: Características Técnicas del Puente

Número de vías	2
Ancho de Calzada	6.60m
Bombeo	2.5%
Pendiente	3.655%

Fuente: Expediente Técnico Construcción Puente Tingo

Tabla N° 11: Dimensiones de elementos estructurales

Elemento	Cantidad	h	b
Viga Principal	4	0.85 m	0.50 m
Viga Diafragma	10	0.70 m	0.25 m
Arco	4	1.20 m	0.70m
Viga Amare	8	0.70 m	0.30 m
Losa	1	0.25 m	-

Fuente: Expediente Técnico Construcción Puente Tingo

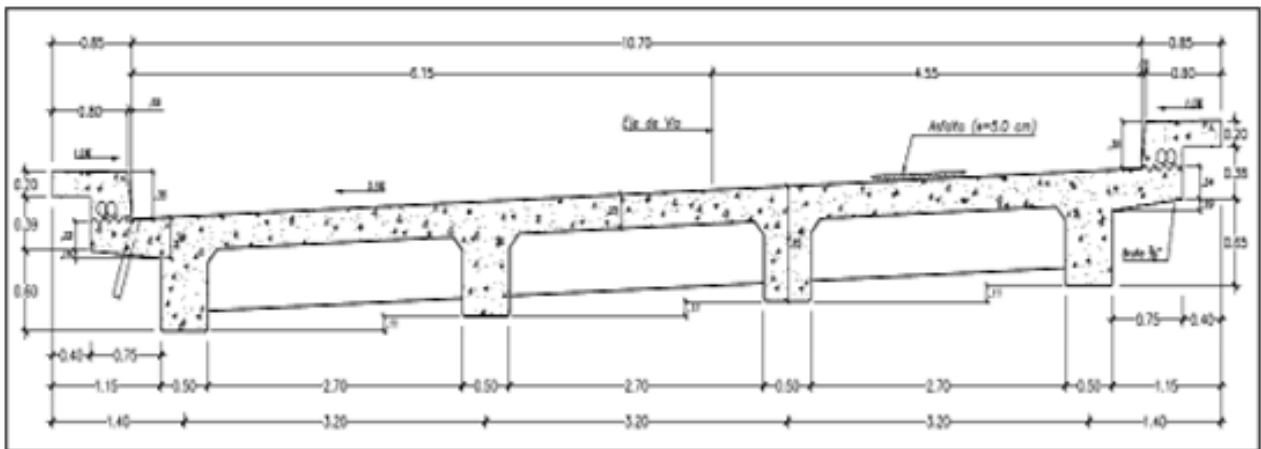


Figura N° 20: Sección transversal del puente

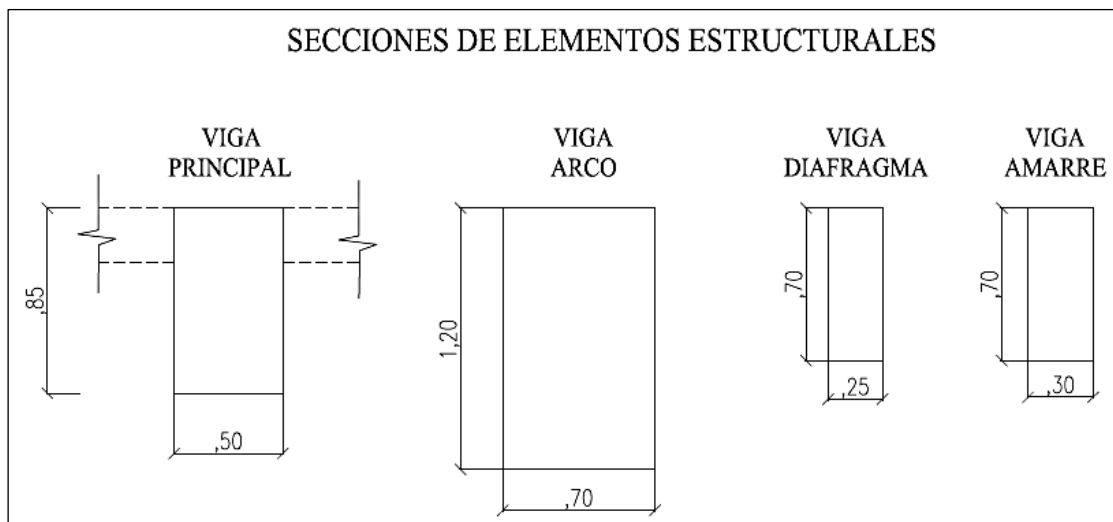


Figura N° 21: Secciones transversales de elementos estructurales del puente

3.10.3.3. RESISTENCIA DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

a) Elementos en evaluación: Se realizará el estudio de los elementos estructurales que conforman la superestructura del puente El Tingo, como lo es las vigas exteriores, la losa, pórticos y arcos, se seguirá la normativa de la AAHSTO LRFD, 2020.

b) Estado límite de resistencia: El puente El Tingo es una estructura tipo arco, por lo que las ecuaciones para su cálculo según la AASHTO LRDF y las citadas anteriormente, son:

Resistencia Nominal a la flexión para Vigas de concreto reforzado:

$$M_n = A_s f (d_s - a_2) + 0.85 f'_c b h f (a_2 - t_2) \quad (5)$$

Resistencia a Fuerza Cortante Nominal para vigas de concreto reforzado

$$V_c = 0.53 \sqrt{f'_c} b d \quad (6)$$

c) Momento flector y Fuerzas cortantes calculados por el Software CSI Bridge: Se realizó el modelamiento de los elementos de la superestructura en el software CSI Bridge V23.3.1., con ayuda de la información presentada en los planos y especificaciones técnicas del expediente técnico (sección geométrica, propiedades físicas). Para el desarrollo de su análisis estructural se asignó las cargas correspondientes según la normativa de la AASHTO. También se crea una envolvente con los vehículos más representativos identificados en el estudio de tráfico, el cual sirvió para la evaluación de su desempeño actual. Finalmente se calculó el Momento flector y Fuerza cortante correspondiente a cada carga para los elementos de la viga exterior principal y para la losa, así como para la envolvente.

d) Resistencia determinada por el ensayo de Esclerometría ASTM C-805: Para realizar la evaluación del segundo escenario (desempeño actual), fue necesario realizar ensayos de

Esclerometría ASTM C805 en los elementos estructurales, tales como las vigas de concreto, vigas principales de la losa, y los pórticos. Los ensayos se realizaron en los elementos en los que se pudo acceder.

Se realizó los ensayos en las caras internas de las vigas principales ubicadas bajo el tablero de la losa, según accesibilidad a esta parte. Otro factor importante es que se realizó los ensayos en áreas donde no se encuentra ninguna área de tarrajeo, teniendo en cuenta que el tipo de encofrado fue de caravista, además fueron indispensable los planos, para tomar medidas y ubicar los puntos de manera que no choquemos con las áreas de acero, siendo el caso que salga un rebote mayor y por ende una resistencia alta, estos valores serán descartados y proceder a tomar una mejor ubicación para la toma del ensayo.

Otra consideración que se tuvo en cuenta para la ubicación de los puntos de ensayos, en las vigas principales y en las vigas arco fue realizar los ensayos en las los primeros tramos.

3.10.3.4. SOLICITACIONES DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

A. Asignación de cargas

a) Cargas estáticas:

- Peso Propio de concreto armado (DC): 2400 Kg/m^3
- Peso propio de las Barandas (DC): 350 Kg/m
- Carga peatonal (PL): 367 Kg/m^2

b) Cargas móviles:

- **Escenario 01** - Cargas de diseño según su expediente técnico:
Según la memoria de cálculo estructural adjunta en el expediente técnico del puente, se ha utilizado la carga vehicular tipo HL-93,

- **Escenario 02** - Desempeño actual:

Se realizó el estudio de tráfico del puente El Tingo por una semana, para determinar los vehículos representativos que transitan para

este periodo de investigación, no tomando en cuenta los casos excepcionales como que haya podido pasar un vehículo con más carga al de su diseño, del cual se ha obtenido que el vehículo de mayor transitabilidad T3S3.

B. Modelo y análisis estructural

El modelado de la superestructura del puente El Tingo se realizó en el software CSI Bridge para obtener valores de momento y fuerza cortante para los elementos de placa de viga de la superestructura del puente.

- La superestructura del puente fue evaluada en dos casos. El primer escenario utilizó datos del caso técnico, como las propiedades físicas del concreto y el acero, y también consideró el vehículo de diseño HL-93. El segundo caso es la evaluación de sus características operativas actuales, teniendo en cuenta la resistencia del hormigón obtenido en los ensayos de dureza, en relación con el acero - las prestaciones especificadas en la documentación técnica y las cargas del vehículo - las cargas a las que está sometido. Se realizó estudio de tráfico para determinar los vehículos más representativos durante el período de la encuesta.

3.10.3.5. PARÁMETROS ESTADÍSTICOS DE CARGA

La clasificación de parámetros estadísticos para cargas, figuran las posibles variaciones que actúan en los puentes, por lo que el modelo de solicitaciones o cargas se clasificó en:

Carga Estática: Para esta determinación son necesarios las variables estadísticas (distribución, factor bias y coeficiente de variación), recomendados por Nowak y Collins (2000), los que también tienen apoyo en el código AASHTO (2017), aplicado para diseño y evaluación estructural de puentes, estando los siguientes valores previstos.

Tabla N°12: Parámetros estadísticos para cargas estáticas

COMPONENTE	NOMINAL	DISTRIBUCIÓN	FACTOR BIAS	COEFICIENTE DE VARIACIÓN
Concreto hecho in situ	2400 kg/m ³	Normal	1.05	0.10
Superficie de Rodadura	2200 kg/m ³	Normal	1.05	0.25
Otros elementos	350 kg/m	Normal	1.05	0.10
Carga peatonal	367 kg/m ²	Lognormal	1.00	0.18

Carga Móvil: para saber las cargas pesadas que actúan en un puente, se realiza el aforo de tránsito vehicular, por esta razón se requiere un estudio local in situ de los vehículos que transitan en la zona. Para la presente investigación se utilizaron los vehículos pesados reconocidos en el estudio de tráfico.

También, es importante conocer la distribución de los ejes y cargas de los tipos de vehículos, y conocer los vehículos legales permitidos para transitar en los caminos. Por lo que en la presente investigación se empleó lo dispuesto en el Reglamento Nacional de Vehículos (2009).

Se evalúa el diseño de la estructura, se evaluó con el vehículo de diseño HL 93, en concordancia: (National Cooperative Highway Research Program, 2003 citado por Silva, J. 2018), la carga viva para puentes está considerados los siguientes parámetros estadísticos:

- Distribución de probabilidad: Lognormal
- Factor Bias (λ): 1.20
- Coeficiente de Variación (CV): 18%

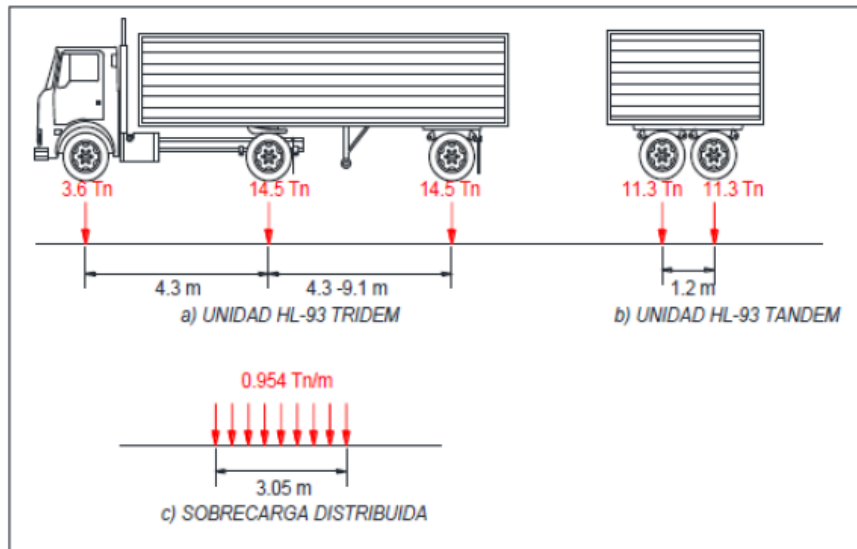


Figura N° 22: Camiones para evaluación de cargas de diseño. (AASHTO 2017).

3.10.3.6. DESEMPEÑO ACTUAL DE LA ESTRUCTURA

Se contemplan los vehículos que transitan por el Puente El Tingo en la carretera Ciudad de Dios - Cajamarca, y según a Nowak, A. (1993), los estadísticos se obtienen de la interpolación de las siguientes figuras, para el período de análisis y tipo de estructura, estos son:

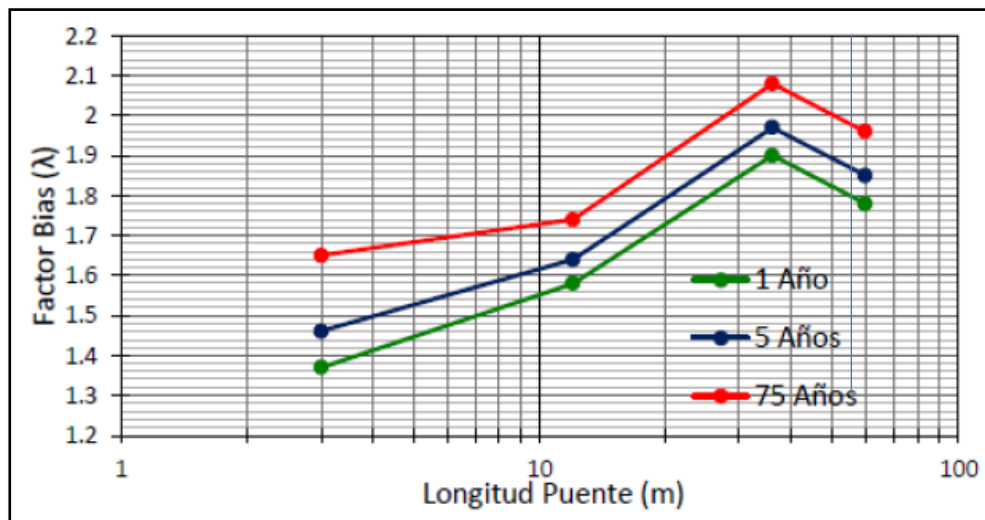


Figura N° 23: Factor bias (λ) para cargas vehiculares. (Nowak, A. 1993).

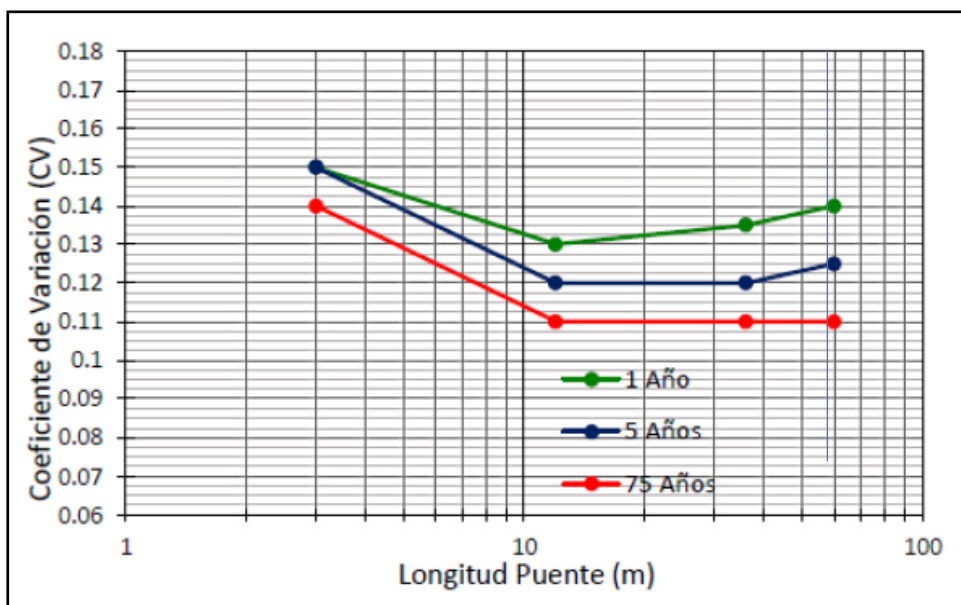


Figura N° 24: Coeficiente de variación (CV) para cargas vehiculares (Nowak, A. 1993, p281).

Tabla N° 13: Parámetros estadísticos seleccionados para cargas móviles

Puente	Periodo	Longitud (m)	Distrib. Probabilidad	Bias (λ)	C.V. (%)
Puente el Tingo	5 años	75	Lognormal	1.8	0.13

3.10.3.7. FUNCIONES DE PROBABILIDAD DE CARGA

Para las siguientes funciones se ha considerado la metodología tratada por Nowak, A. y Collins, K. (2000), por medio de las siguientes relaciones:

$$\mu = \lambda * S \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$\sigma = C.V. * \mu \quad \dots\dots\dots (8)$$

Donde:

- S: Valor nominal obtenido del Análisis estructural.
- λ : Factor bias considerado para el análisis.
- C.V.: Coeficiente de variación considerado para el análisis.
- μ : Media de la función de probabilidad.
- σ : Desviación estándar de la función de probabilidad.

Además de conocerse la Distribución de Probabilidad y con los estadísticos de media y desviación estándar se construyen las funciones, esto se realizó con la ayuda del Software Crystal Ball, citado por Silva, J. 2018.

3.10.3.8. MODELO MATEMÁTICO DE CARGA

El modelo matemático de carga, es descrito por la suma de todas las variables que perfeccionan la función de probabilidad de Solicitación o Carga, en tal sentido se adecuo al modelo recomendado por (Hyo - Kim. Et al. 2016 citado por Silva, J. 2018)

$$p(Di, LL, \dots) = DC + DW + PL + LL + IM \dots\dots\dots (9)$$

Donde:

- $p(S)$: probabilidad de solicitudes o cargas
- DC : probabilidad debida al peso propio de elementos estructurales
- DW : probabilidad debido al peso de la superficie de rodadura
- PL : probabilidad debido a la carga peatonal
- LL : probabilidad debido a la carga viva
- IM : probabilidad debido a la carga de impacto

3.10.3.9. FUNCIONES QUE HAN SIDO DESARROLLADAS CON AYUDA DEL SOFTWARE CRYSTAL BALL.

Escenario 02 - Evaluación de su desempeño actual: Según lo citado por Silva J., 2018 en su tesis de pregrado, Muñoz et al (2002) plantea que el modelo resistente consta en operar la expresión resistente con sus parámetros estadísticos, tal y como:

- Resistencia Nominal (R_n): su expresión matemática se va a basar según el tipo de elemento estructural y lo expuesto en los anteriores ítems.
- Dimensiones presentadas en los planos del expediente técnico.
- Propiedades mecánicas: valores estadísticos presentados en la Tabla N°23.

La metodología utilizada en el análisis de confiabilidad de la estructura es el Método de Simulación de Montecarlo, requiriendo del apoyo del Software Crystall Ball.

3.10.4. ÍNDICE DE CAPACIDAD ESTRUCTURAL

Procedimiento basado en la normativa de la AASHTO, Manual Evaluation of Bridge (2013), el cuál presenta los siguientes requerimientos:

3.10.4.1. Análisis de carga:

Para el análisis de la superestructura del puente se considerará las mismas cargas utilizadas para el método de confiabilidad estructural, tomando como referencia la AASHTO (2013), las que son presentadas a continuación:

- Carga muerta de los elementos estructurales parte de la superestructura (DC)
- Carga Peatonal (PL)
- Carga viva y de impacto (LL y IM)

Posteriormente se realizará el análisis en el Software CSI Bridge.

3.10.4.2. Capacidad estructural (C)

La capacidad estructural de la superestructura del puente está definida por las ecuaciones matemáticas presentadas en la sección

3.10.4.3. Factores de Carga (Y)

Para determinar los factores de carga empleados en este análisis se ha seguido las restricciones del Manual de evaluación de Puentes (MBE), AASHTO 2013

3.10.4.4. Factores de Resistencia (φ)

- Factor de sistema (φ_s): complejidad del sistema estructural del puente.

Tabla N°14: Factores de condición

Condición estructural de miembros	ϕ_c
Buena o satisfactoria	1
Regular	0.95
Pobre	0.85

Fuente: MBE, AASHTO - 2013

- Factor de condición (ϕ_c): de acuerdo a las especificaciones técnicas presentadas en el expediente técnico y los datos obtenidos tras el ensayo de esclerometría.

Tabla N°15: Factores de sistema

Tipo de superestructura	ϕ_s
Miembros soldados en puentes de dos vigas/ celosía / arco	0.85
Miembros soldados en puentes de dos vigas/ celosía / arco	0.90
Nudos múltiples en miembros de puentes de celosía	0.90
Puentes de tres vigas con espaciamiento 6ft (1.80 m)	0.85
Puentes de cuatro vigas con espaciamiento <4 ft (1.20 m)	0.95
Todas las otras vigas y losas de puentes	1.00
Vigas de piso con espaciamiento > 12 ft y viguetas no continuas	0.85
Subsistemas de largueros redundantes entre vigas de piso	1.00

Fuente: MBE, AASHTO – 2013

- Factor de reducción de resistencia (ϕ): de acuerdo al tipo de elemento y condiciones de fuerza que requiera dicha estructura. (AASHTO, 2020)

Tabla N°16: Factores de reducción de resistencia

Criterios para factores de reducción de resistencia	ϕ
Para tracción controlada para secciones concreto armado	0.90
Para tracción controlada para secciones concreto preesforzado	1.00
Para corte y torsión	-
Para concreto de densidad normal	0.90
Para concreto de densidad baja	0.80

Fuente: AASHTO LRFD - 2020

Tabla N°17: Factores de carga y clasificación para evaluación de cargas de diseño

Tipo de puente	Estado límite	Carga Muerta YDC	Carga Muerta YDW	Carga de diseño	
				Inventario Y_u	Operación Y_u
Acero	Resistencia I	1.25	1.50	1.75	1.35
	Resistencia II	1.25	1.50	-	-
	Servicio II	1.00	1.00	1.30	1.00
	Fatiga	0.00	0.00	0.75	-
Concreto armado	Resistencia I	1.25	1.50	1.75	1.35
	Resistencia II	1.25	1.50	-	-
	Servicio I	1.00	1.00	-	-
Concreto pre - esforzado	Resistencia I	1.25	1.50	1.75	1.35
	Resistencia II	1.25	1.50	-	-
	Servicio III	1.00	1.00	0.80	-
	Servicio I	1.00	1.00	-	-
Madera	Resistencia I	1.25	1.50	1.75	1.35
	Resistencia II	1.25	1.50	-	-

Fuente: MBE, AASHTO - 2013

3.10.4.5. Análisis de capacidad estructural (RF)

Para determinar el índice de capacidad estructural, fue necesario relacionar diferentes variables como la capacidad resistente, cargas y factores para cumplir con los requerimientos de este parámetro. (Silva J.,2018) teoría avalada por el MBE de la AASHTO (2013), referenciando la ecuación 45.

$$RF = \frac{C - (\gamma_{DC})(DC) - (\gamma_{DW})(DW) \pm (\gamma_P)(P)}{(\gamma_{LL})(LL + IM)} \dots\dots\dots (10)$$

3.10.5. ÍNDICE DE CONFIABILIDAD ESTRUCTURAL

Para determinar el índice de confiabilidad estructural como un sistema estructural fue necesario seguir las siguientes consideraciones: (Silva J.,2018)

- Definir el sistema estructural (paralelo o serie).
- Calculo de probabilidad de falla de la estructura.
- Calculo de la inversa de la distribución, para obtener el índice de confiabilidad del sistema.
- Se obtuvo un promedio de valores de los elementos de la superestructura (vigas y losa), para representar una seguridad media del sistema.

3.11. RECOLECCIÓN DE DATOS Y ANÁLISIS DE DATOS

3.11.01. GEOMETRÍA DEL PUENTE

El puente en estudio posee una luz libre de 75m, con un tablero tipo losa de concreto armado de 0.25m de espesor, con 04 vigas de concreto armado de 0.50m de ancho y 0.85m de peralte distribuidas a 3.2m de separación de eje a eje, y 4 arcos de concreto armado de 0.70m de ancho y de peralte variable empotradas en los estribos en cada lado.

Posee además 2 estribos, uno con una zapata apoyada en terreno firme, es decir con la capacidad portante adecuada, y el otro estribo sobre una zapata apoyada en 15 pilotes de concreto armado de 1.5m de diámetro y con profundidades variables desde los 31.55m hasta los 40.65 m.

Además de ello posee una calzada de 10.70 m de ancho, con una capa de asfalto de 5 cm de espesor.

Todas estas dimensiones fueron extraídas del Expediente Técnico, además de corroboradas en campo.

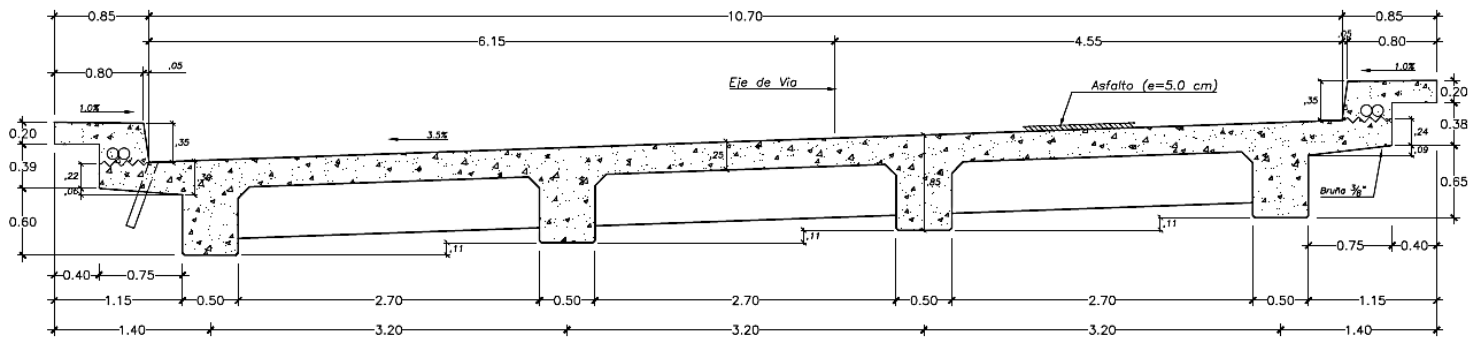


Figura N° 25: Sección transversal del Puente El Tingo (*Fuente: E.T.*)

A continuación, se muestra los datos generales con los que nos agenciaremos para el estudio realizado, mediante la toma de medidas de formas directas, algunas de los datos fueron verificados, y otros basados en la información proporcionada por el Expediente Técnico:

Tabla N° 18: Datos geométricos del Puente El Tingo – San Juan - Cajamarca

Elemento	Descripción	Cantidad	Dimensiones
LOSA	N° de carriles	2	
	Luz libre		75.00 m
	Espesor de losa		25.00 cm
	Espesor de asfalto		5.00 cm
	Luz libre entre vigas		2.70
	Recubrimiento superior		5.00cm
	Recubrimiento inferior		3.00 cm
VIGA	N° de vigas	4	
	Luz de cálculo		3.20 m
	Peralte de viga		85.00 cm
	Ancho de viga		50.00 cm
	Recubrimiento medido al estribo		5.00 cm
	Distancia entre ejes de vigas		3.20 m

3.11.02. RESISTENCIA DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Escenario 01 - Según el expediente técnico:

A continuación, se presenta los datos que han sido obtenidos del Expediente Técnico de todos los elementos estructurales del Puente El Tingo:

Tabla N° 19: Datos de Resistencias según expediente técnico

Elemento	f'c (kg/cm ²)	f'y (kg/cm ²)	Recubrimiento (cm)
Viga	280	4200	3.00
Arco	280	4200	4.00
Losa	280	4200	3.00
Diafragma	280	4200	3.00
Vereda	280	4200	3.00
Pórticos	280	4200	4.00

Fuente: Expediente Técnico

Escenario 02 - Según desempeño in situ:

Para esta verificación se realizó la evaluación en situ a cada elemento estructural a la cual se pudo tener acceso, consistió del ensayo de Esclerometría ASTM C 805, realizando 16 lecturas por elemento, el procedimiento que se consideró para la toma de estas lecturas fue el siguiente:

- Lijado de la superficie donde se tomarán las lecturas, cabe recalcar que deben ser superficies de concreto no revestidas.
- Dibujo en la superficie preparada, de una cuadrícula de 1" de ancho de cada TABLA, en este caso se hicieron cuadrículas de 4x4, tomando las lecturas en el centro de cada TABLA, es decir se hicieron cuadrículas de 4" de ancho por 4" de alto, divididas en 4 filas y 4 columnas, tal como se muestra en la siguiente figura:

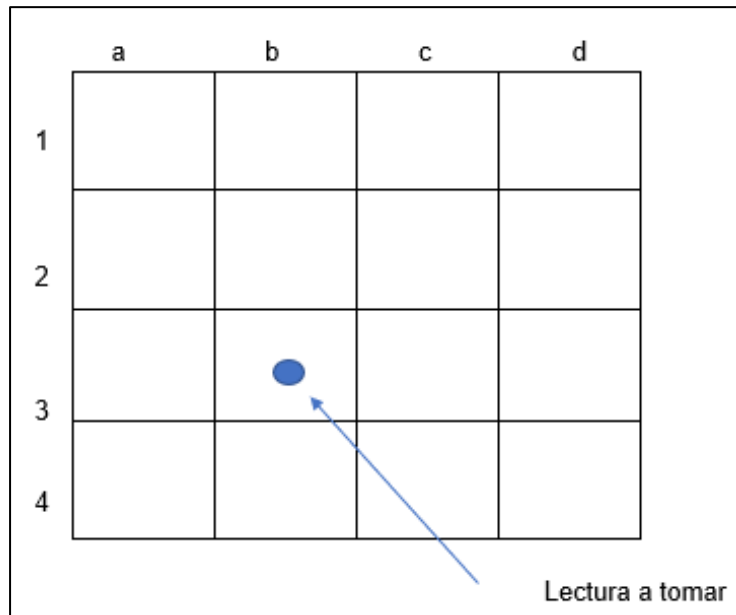


Figura N° 26: Diagrama para toma de lecturas esclerométricas

A continuación, se muestran las tablas con las mediciones con los valores obtenidos, teniendo en cuenta que “ α ” es el ángulo con respecto del esclerómetro con la superficie en la cual se ha tomado la lectura, valor que nos ayudó a obtener los resultados en el diagrama y tabla que corresponden al ensayo.

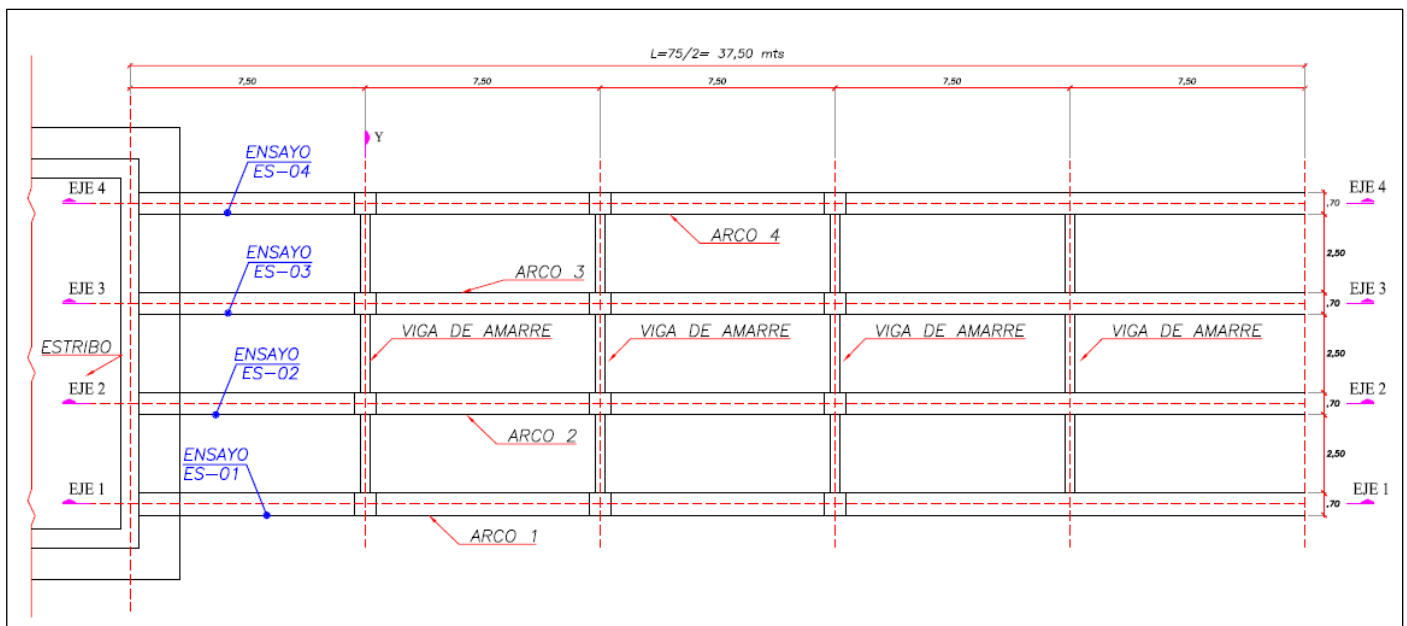


Figura N° 27: Ubicación de ensayos de esclerometría de acuerdo a los Ejes Longitudinales

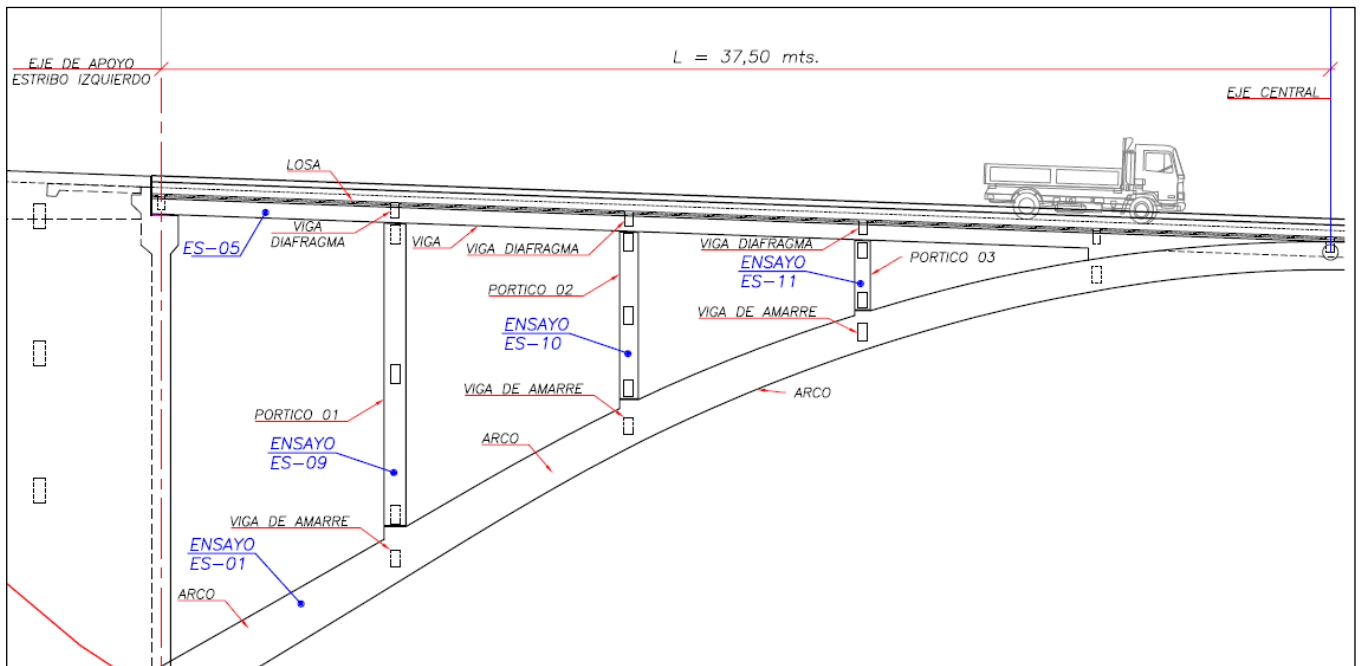


Figura N° 28: Ubicación de ensayos de esclerometría en Eje 01

Se debe tomar en cuenta que en el Eje 02, Eje 03 y Eje 04, se han dado los mismos ensayos que se han realizado en el Eje 01



Figura N° 29: Vista cuadrícula dibujada en la estructura para toma de lectura

Tabla N° 20: Resumen de Resistencias del Concreto de los elementos

Ensayo	Elemento	F'C	PROMEDIO
ES-01	Arco-01	340	325 kg/cm ²
ES-02	Arco-02	320	
ES-03	Arco-03	320	
ES-04	Arco-04	320	
ES-05	Viga P-01	340	342.5 kg/cm ²
ES-06	Viga P.-02	340	
ES-07	Viga P-03	340	
ES-08	Viga P-04	350	
ES-09	Pórtico 1	320	322 kg/cm ²
ES-10	Pórtico 2	290	
ES-11	Pórtico 3	310	
ES-12	Pórtico 2'	340	
ES-13	Pórtico 3'	350	290 kg/cm ²
ES-14	Losa	290	
ES-15	Losa	290	
ES-16	Losa	290	

Una vez registrados todas las lecturas se procedió a procesar todos los datos, tomando en cuenta los siguientes pasos según Esclerometría ASTM C 805:




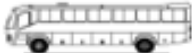








- Sacar el promedio del total de las lecturas
- Eliminar las lecturas que difieran por 6 unidades de la lectura promedio
- En el caso de que las lecturas eliminadas sean más de 20%, el ensayo se descarta, en este caso son máximo 3 lecturas eliminadas, de ser el caso de que haya una cuarta lectura eliminada, se descarta el ensayo

3.11.03. ESTUDIO DE TRÁFICO

Para el estudio de tráfico realizado se tomó como estación de estudio el Puente El Tingo – San Juan, todo el conteo vehicular se realizó en ambos sentidos, cabe recalcar que dicho conteo se realizó tomando en cuenta los vehículos con cargas representativas desde el auto en adelante, es decir los vehículos como mototaxis, motocargueras o motos lineales no se tomaron en cuenta en el presente estudio, ya que son vehículos que no poseen una carga representativa para el diseño de las estructuras.

A continuación, se muestran los siguientes TABLAS con los datos de los conteos realizados en la estación definida en el Puente El Tingo:

Tabla N° 21: Resumen de conteo vehicular en una semana

TIPO DE VEHÍCULO		IMAGEN	LUN	MAR	MIER	JUEV	VIER	SÁB	DOM
Auto			155	141	156	172	184	180	168
Combi			21	15	18	22	25	22	18
Camioneta			215	205	220	245	263	255	250
BUS	B2		65	62	69	73	85	81	79
	B3-1		58	51	58	68	75	73	67
	B4-1		7	5	8	9	11	9	9
CAMION	C2		85	80	98	117	125	118	111
	C3		36	32	30	37	35	42	41
	C4		6	3	7	5	6	5	5
SEMITRÁILER	T2S1 - T2S2		3	2	2	3	5	3	4
	T2S3		19	15	10	22	25	20	18
	T3S1 - T3S2		21	16	19	15	22	18	20




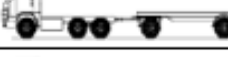













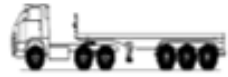
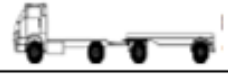
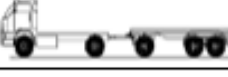
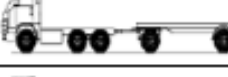
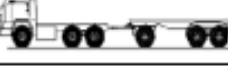
	T3S3		189	184	195	199	210	203	190
TRÁILER	C2R2		1	0	0	1	0	0	1
	C2R3		14	12	15	13	17	15	15
	C3R2		7	5	8	9	9	9	7
	C3R3		3	1	2	2	4	2	2
TOTAL			905	829	915	1012	1101	1055	1005

Tabla N° 22: Resumen en porcentajes del conteo vehicular

TIPO DE VEHÍCULO		IMAGEN	TOTAL	PORCENTAJE
Auto			1156	16.95%
Combi			141	2.07%
Camioneta			1653	24.23%
BUS	B2		514	7.53%
	B3-1		450	6.60%
	B4-1		58	0.85%
CAMION	C2		734	10.76%
	C3		253	3.71%
	C4		37	0.54%
SEMITRÁILER	T2S1 - T2S2		22	0.32%
	T2S3		129	1.89%
	T3S1 - T3S2		131	1.92%

	T3S3		1370	20.08%
TRÁILER	C2R2		3	0.04%
	C2R3		101	1.48%
	C3R2		54	0.79%
	C3R3		16	0.23%
	TOTAL			6822

Tomando en consideración el estudio realizado con los datos presentados se procede a un análisis de las cargas que actúan sobre la estructura en estudio, es por ello que, analizando al primer caso a nivel de Expediente Técnico, se puede observar que el vehículo de diseño es el HL-93 perteneciente a AASHTO LRFD, la cual es representado según sus cargas en el siguiente grafico:

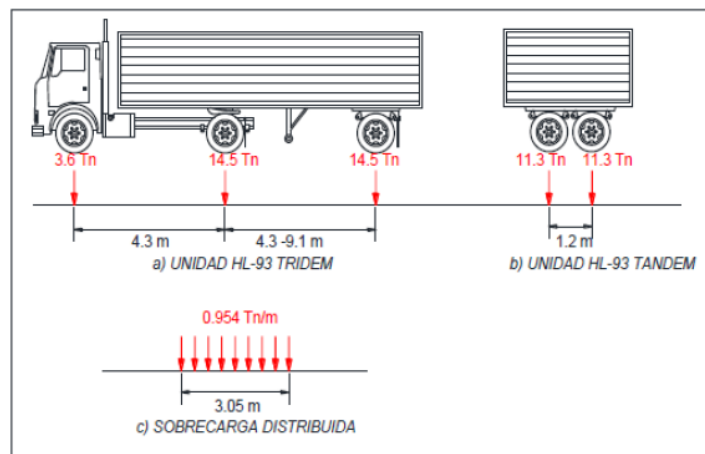



















Figura N° 30: Cargas de un camión de diseño HL-93

Continuando con el análisis de cargas, procedemos a la obtención de los datos de los vehículos presentado en el estudio de tráfico, y basándonos en el Reglamento Nacional de Vehículos – Decreto supremo N°058-2003-MTC, Anexo IV. Pesos y medidas, podemos verificar que las cargas de los vehículos observados son los siguientes:

Tabla N° 23: Cantidad de vehículos y cargas.

TIPO DE VEHÍCULO		IMAGEN	TOTAL	PORCENTAJE	PESO BRUTO (Tn)
Auto			1156	16.95%	1.2
Combi			141	2.07%	3.2
Camioneta			1653	24.23%	2.71
BUS	B2		514	7.53%	18
	B3-1		450	6.60%	23
	B4-1		58	0.85%	30
CAMION	C2		734	10.78%	18
	C3		253	3.71%	25
	C4		37	0.54%	30
SEMITRÁILER	T2S1 - T2S2		22	0.32%	29 / 36
	T2S3		129	1.89%	43
	T3S1 - T3S2		131	1.92%	36 / 43
	T3S3		1370	20.08%	48
TRÁILER	C2R2		3	0.04%	40
	C2R3		101	1.48%	48
	C3R2		54	0.79%	48

	C3R3		18	0.23%	48
TOTAL			6822	100.00%	

Podemos recalcar que el vehículo que predomina es el Semitrailer T3S3, el cual posee mayor carga que el camión de Diseño HL-93, es por ello que para el análisis con las solicitaciones actuantes actuales se usó el vehículo T3S3.

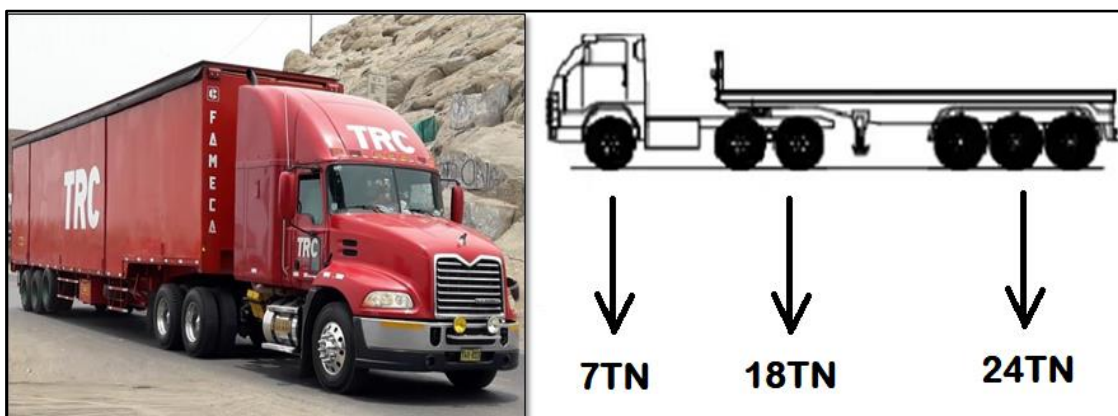


Figura N° 31: Vehículo T3S3 con sus cargas por Eje

3.12. RESULTADOS DEL PROYECTO

3.12.01. MOMENTOS Y CORTES NOMINALES

Para esta sección necesitamos evaluar los elementos estructurales involucrados en el estudio, tales como vigas, arco, pórticos (columnas y vigas) es por ello que nos la desarrollaremos en base a las siguientes ecuaciones

Resistencia Nominal a la Fricción (Mn):

$$M_n = A_{ps}f_{ps}\left(d_p - \frac{a}{2}\right) + A_s f_y \left(d_s - \frac{a}{2}\right) - A'_s f'_y \left(d'_s - \frac{a}{2}\right) + 0.85f'_c(b - b_w)\beta_1 h_f \left(\frac{a}{2} - \frac{h_f}{2}\right) \dots\dots\dots (11)$$

Resistencia Nominal al corte (Vn):

$$V_c = \phi 0.53 \sqrt{f'_c} b v d v \dots\dots\dots (12)$$

Usaremos la gráfica de una viga para la representación de los valores a obtener:

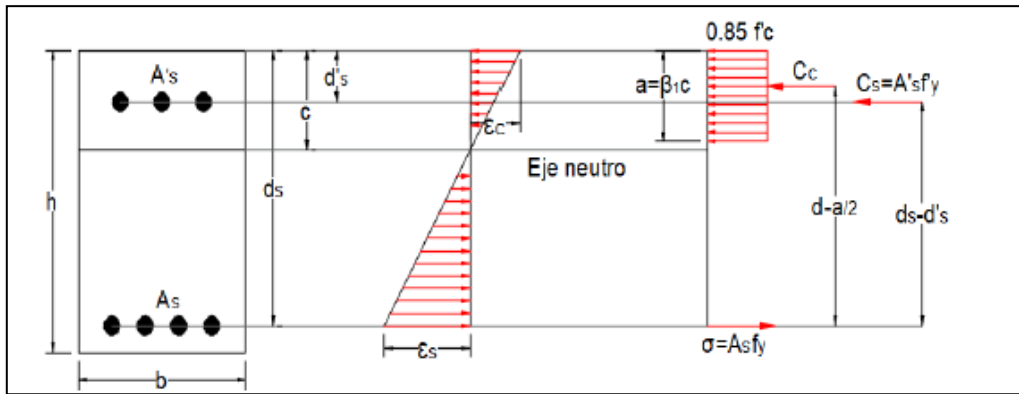


Figura N° 32: Sección transversal de la Viga con acero

Donde:

- A_{ps} = área de acero pretensado.
- A_s = área de la armadura de tracción no pretensada.
- A'_s = área de la armadura de compresión.
- $a = c \beta_1$; altura del diagrama de tensiones equivalente.
- b = ancho de la cara comprimida del elemento.
- b_w = ancho del alma o diámetro de una sección circular.
- c = distancia entre el eje neutro y la cara comprimida.
- d_p = distancia de la fibra extrema comprimida y el baricentro de los tendones de pretensado.
- d_s = distancia de la fibra extrema comprimida y el baricentro de la armadura de tracción de pretensado.
- d'_s = distancia de la fibra extrema comprimida y el baricentro de la armadura de compresión.
- f_{ps} = tensión media en el acero de pretensado a la resistencia nominal a la flexión.
- f_{pu} = resistencia a la tracción específica del acero de pretensado.
- f_{py} = tensión de fluencia del acero de pretensado.
- f_y = tensión de fluencia especificada de las barras de armadura.
- f'_y = tensión de fluencia especificada de la armadura de compresión.
- f'_c = resistencia a la compresión especificada del hormigón a 28 días.
- h_f = altura del ala comprimida de un elemento sección T o doble T.
- β_1 = factor para el diagrama de tensiones. (AASHTO LRFD, 2020)

- b_v = ancho del alma efectivo tomado como el mínimo ancho del alma dentro de la altura d_v (cm).
- d_v = altura de corte efectiva (cm).
- S = separación de los estribos (cm).
- $\phi = 0.90$ (factor de resistencia por corte)
- A_v = área de la armadura de corte en una distancia s (cm)
- V_c = cortante resistente nominal del concreto (kg)
- V_s = cortante resistente nominal del acero (kg)
- V_p = componente de la fuerza de pretensado efectiva en la dirección del corte aplicado; positiva si se opone al corte aplicado (kg). (AASHTO LRFD, 2020)

Usando las ecuaciones (11) y (12) hemos podido obtener los siguientes valores:

Tabla N° 24: Momentos Nominales (M_n) y Cortes Nominales (V_n) Resistentes

Descripción	VIGA P.	VIGA	VIGA	PORTICO	ARCO	LOSA
	EXT.	INT.	AM.			
M_n (E.T.)	185.00	135.24	45.60	135.60	138.75	7.03
M_n (Calc.)	174.00	134.90	41.50	132.50	137.25	7.04
V_n (E.T.)	110.00	95.40	25.00	68.90	71.85	30.50
V_n (Calc.)	111.50	94.50	24.50	65.80	70.95	31.50

3.12.02. MODELAMIENTO EN SOFTWARE

Con los datos obtenidos en campo, tales como geometría, conteo vehicular, resistencia de concreto y demás características, se realizó la evaluación del puente haciendo un modelamiento en Software, para esta oportunidad se ha usado el CSI Bridge V23.

A continuación, se realiza una descripción de forma resumida de la forma como se ha usado el Programa CSiBridge V23 para el modelamiento de nuestro Puente.

- Iniciamos abriendo un Nuevo archivo, tomando una plantilla vacía para poder iniciar con el modelamiento del puente:

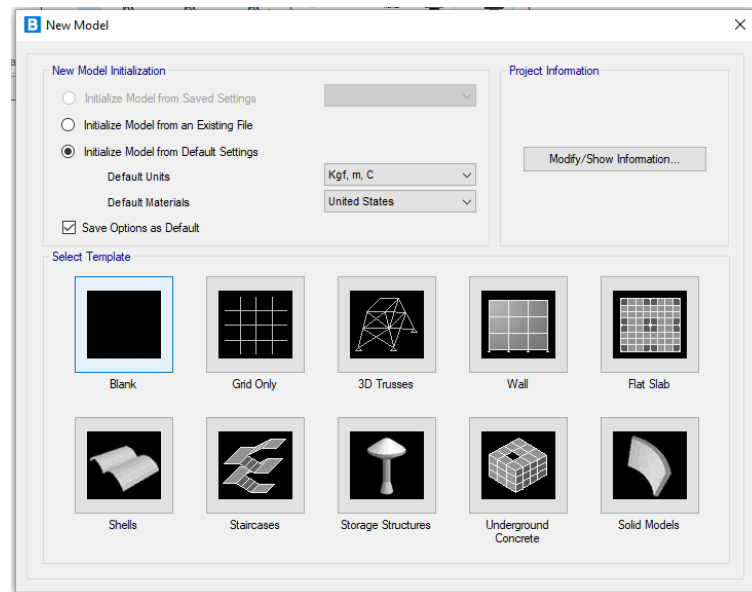


Figura N° 33: Ventana inicial de plantilla para nuevo proyecto

- Luego de ello pasamos a colocar nuestras líneas de referencia (Grid data) las cuales nos harán delimitar el espacio de trabajo, así como también ubicar los elementos del puente en un espacio tridimensional, basado en los 3 ejes: X, Y, Z, referenciando longitud del puente, altura de arco, posición de vigas, pórticos y demás dimensiones.

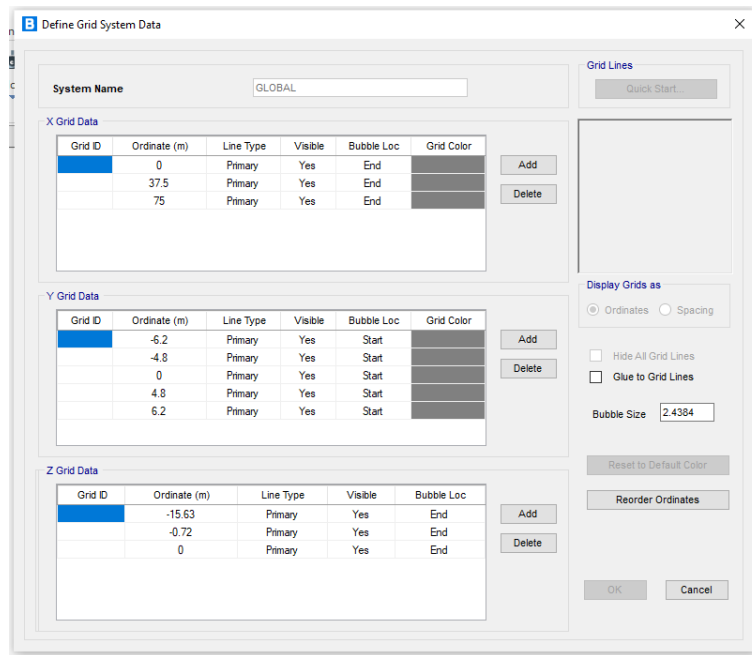


Figura N° 34: Ventana para ingresar líneas referenciales en los 3 ejes

- Como siguiente paso se procede a colocar el eje del puente, definiendo la longitud total del puente

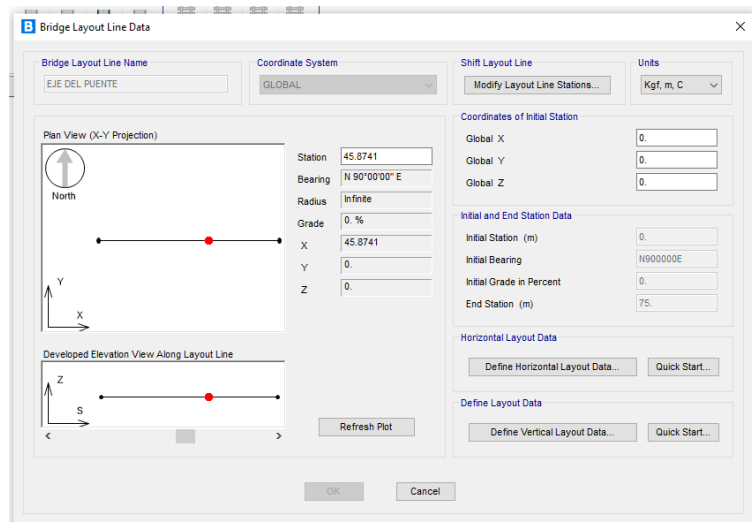


Figura N° 35: Ventana para ingreso de eje central de puente

- Luego se definen los carriles, plasmando las dimensiones tanto de la longitud como del ancho del carril, tomando como referencia el eje del puente.

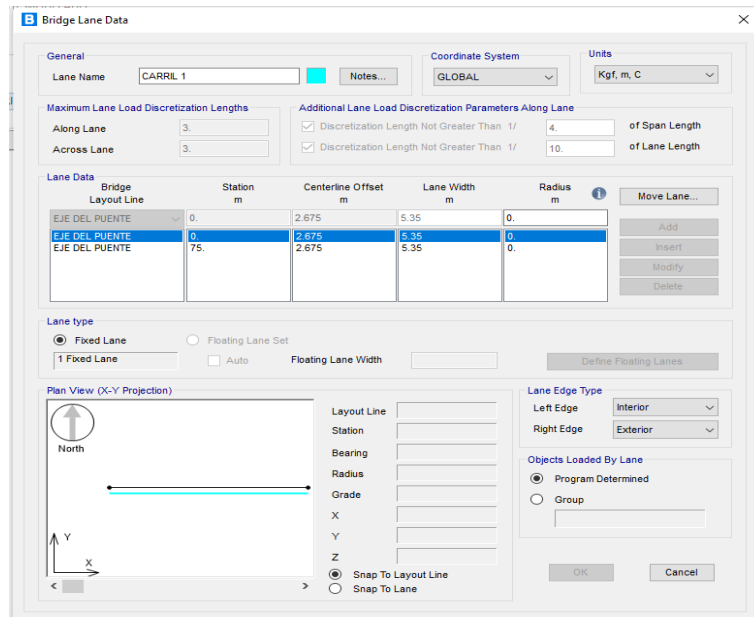


Figura N° 36: Ventana de ingreso de carriles

- Se procede a definir los materiales que se van a usar en el proyecto, teniendo en cuenta el material, módulo de elasticidad, resistencia, etc.

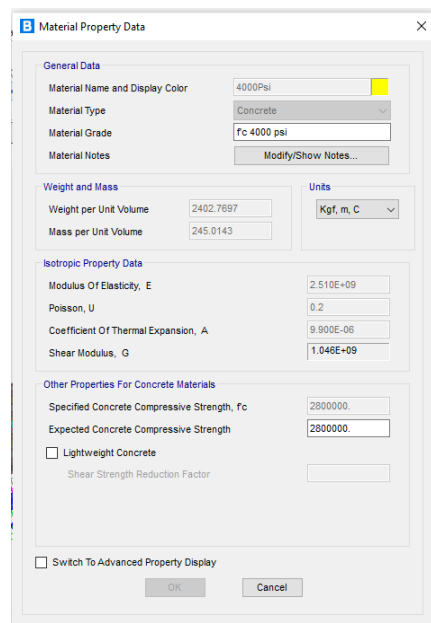


Figura N° 37: Ventana para ingreso de materiales

- Luego se definen las secciones de cada elemento a usar, vigas, columnas, teniendo en cuenta tanto las dimensiones de la sección como el refuerzo si fueran elementos de concreto armado.

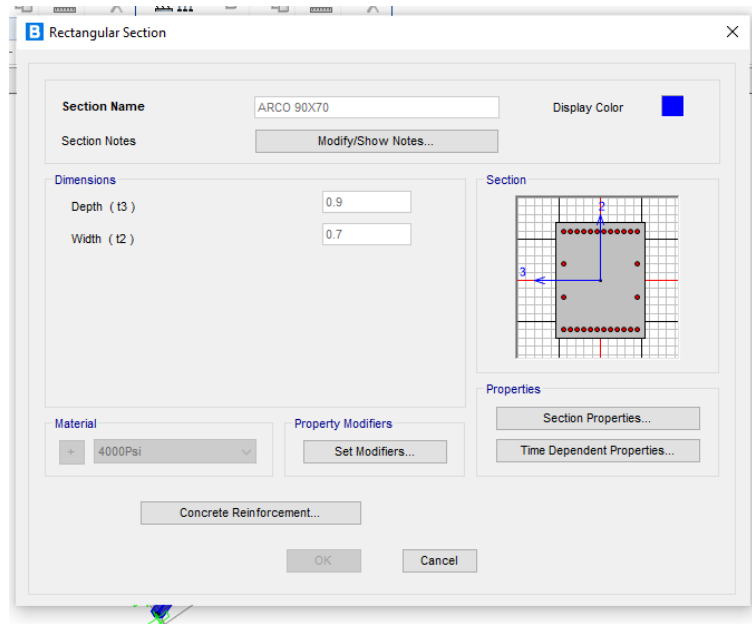


Figura N° 38: Ventana de ingreso de elementos estructurales

- Seguimos con la importación de los vehículos a usar, en este caso se usó el camión HL-93

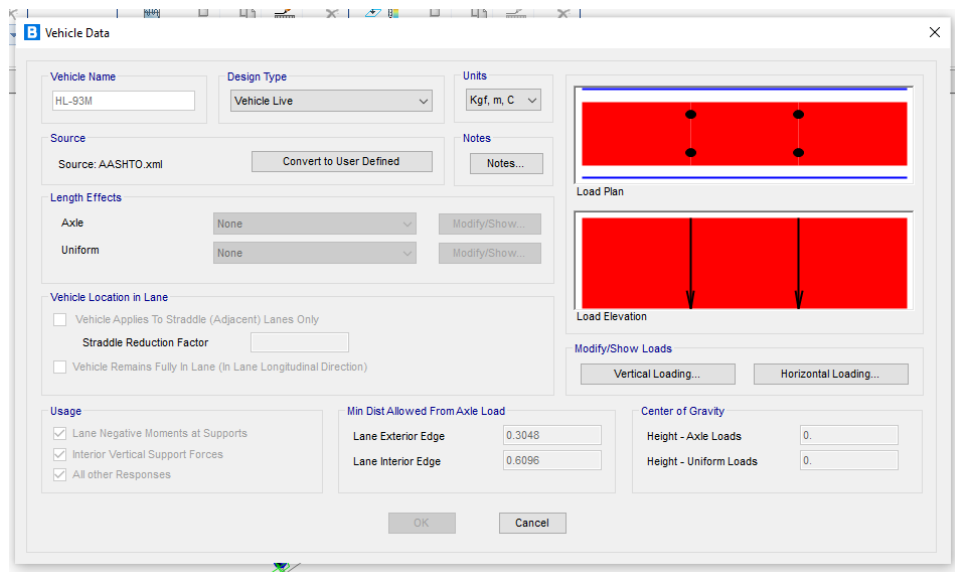


Figura N° 39: Ventana para ingreso de cargas vehiculares

- Luego se procede a agregar las cargas que actúan sobre la estructura, tal como se muestra en la siguiente imagen

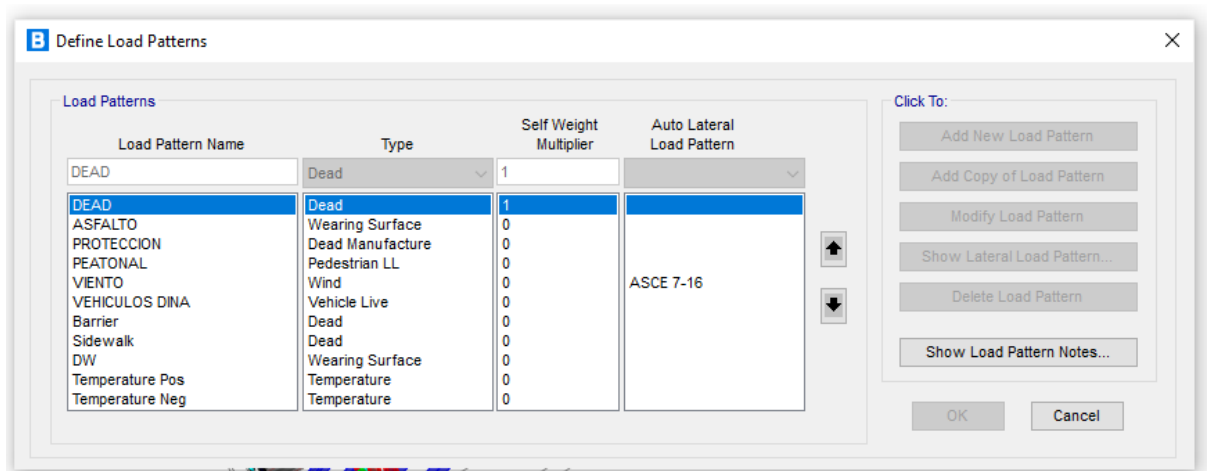


Figura N° 40: Ventana para ingreso de tipos de cargas

- Se agregan las cargas al Puente que se está modelando

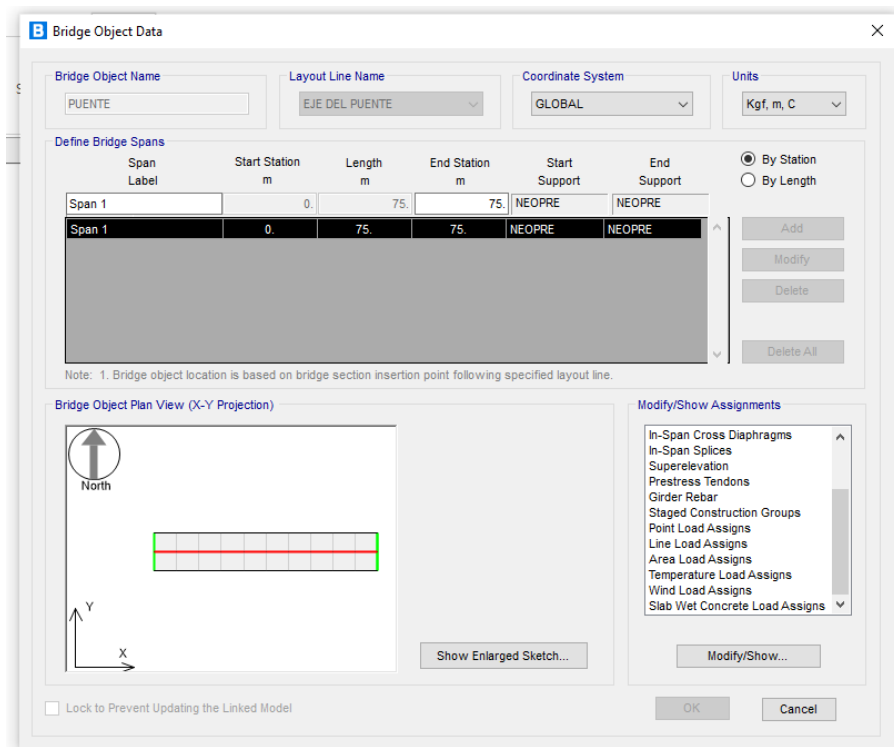


Figura N° 41: Ventana para importar las cargas ingresadas al puente

- Finalmente se realiza el análisis del puente que se ha diseñado

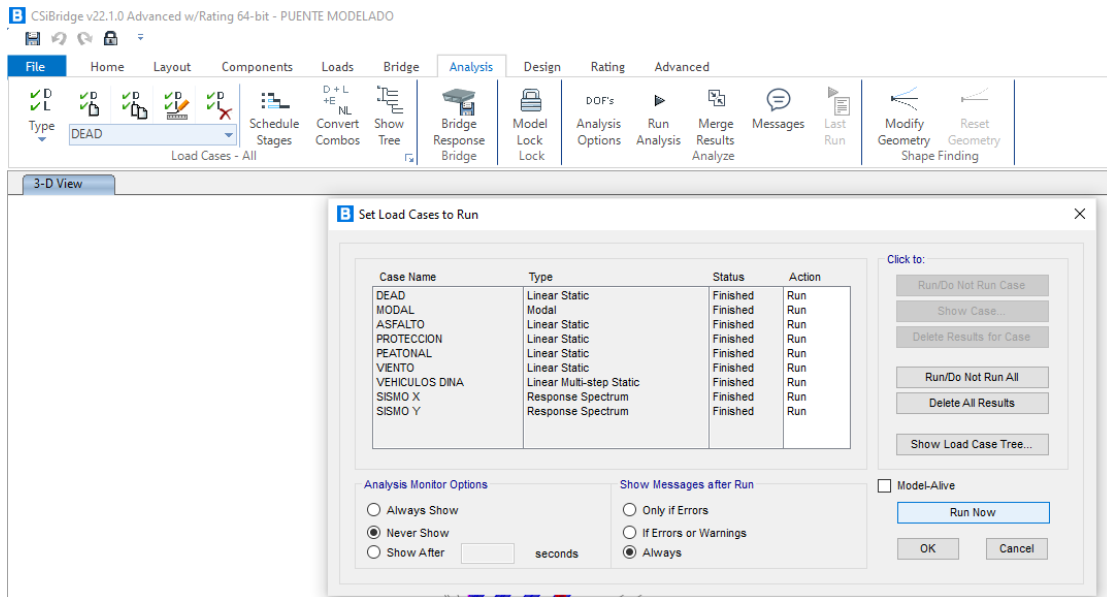


Figura N° 42: Ventana para Análisis de puente

- Cabe recalcar que para el inicio del modelamiento se ha tomado en cuenta que las unidades es en kgf,m,C
- A continuación se muestra como se ha logrado ingresar todos los datos del puente el Tingo para poder realizar su modelamiento, y así poder observarlo en un modelamiento 3D, visualizando todos los elementos que componen a la superestructura del puente.

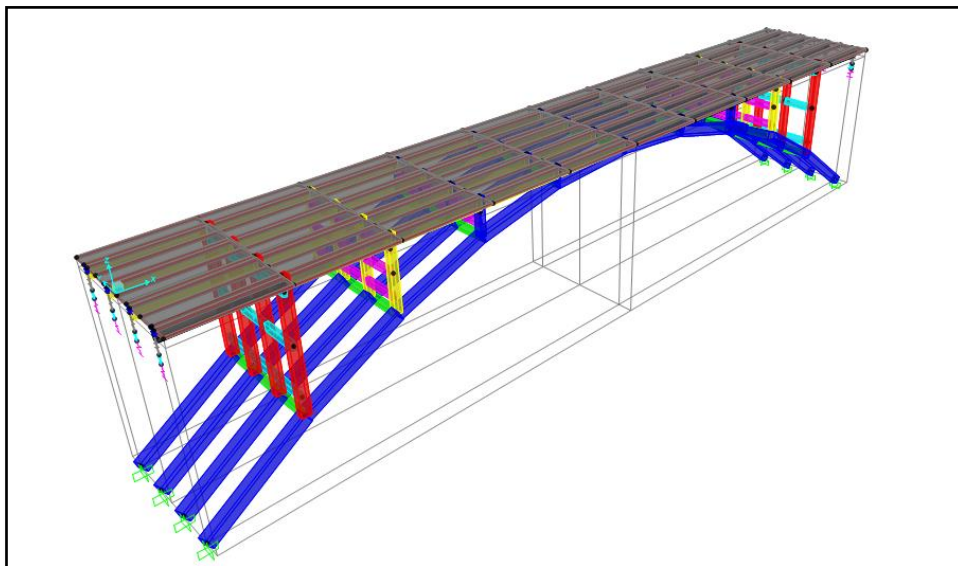


Figura N° 43: Modelamiento de la Superestructura del Puente El Tingo

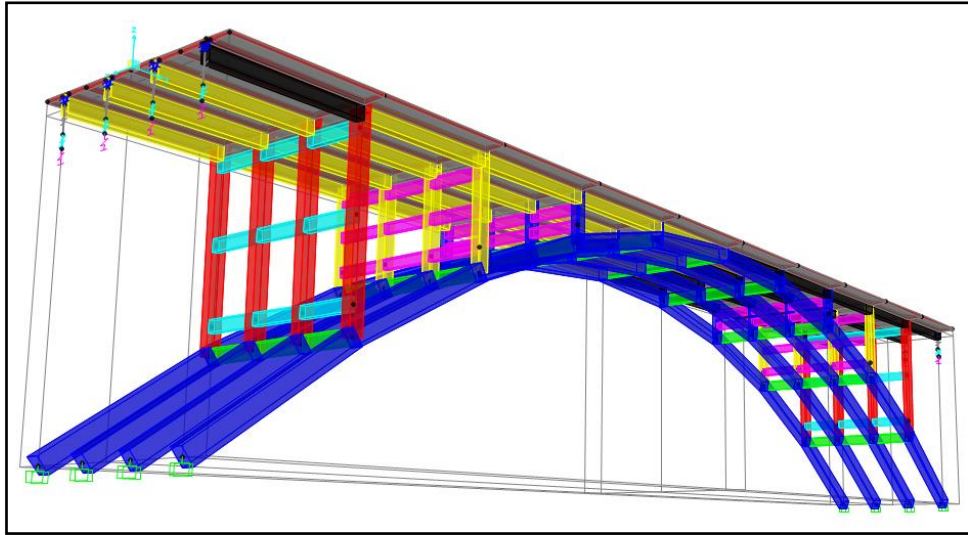


Figura N° 44: Modelamiento de la Superestructura del Puente El Tingo

- Se usaron las solicitaciones mencionadas en la sección 03.10.03, así se pudo realizar el modelamiento de toda la superestructura, tanto de vigas, arco, pórticos y losa. Los resultados se pueden visualizar en la siguiente tabla.

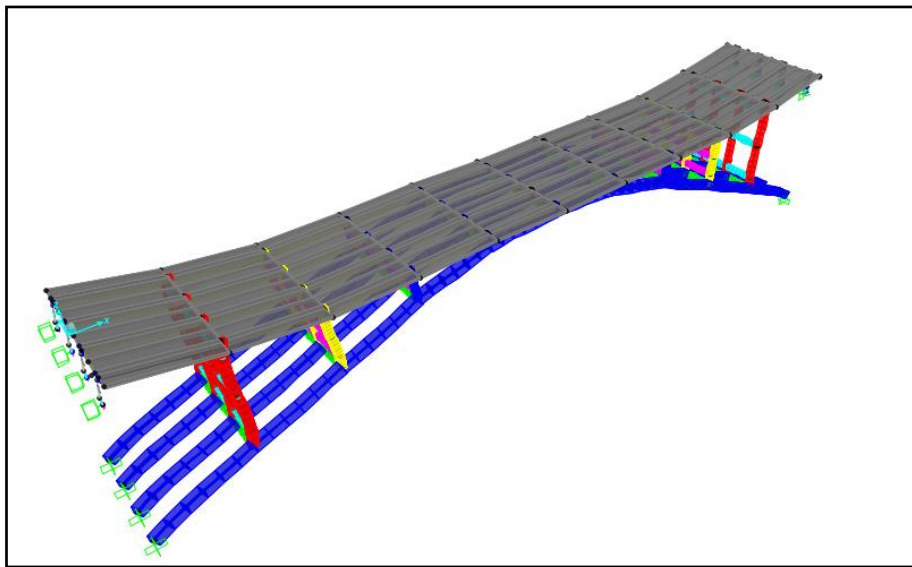


Figura N° 45: Vista del Puente luego del análisis de cargas

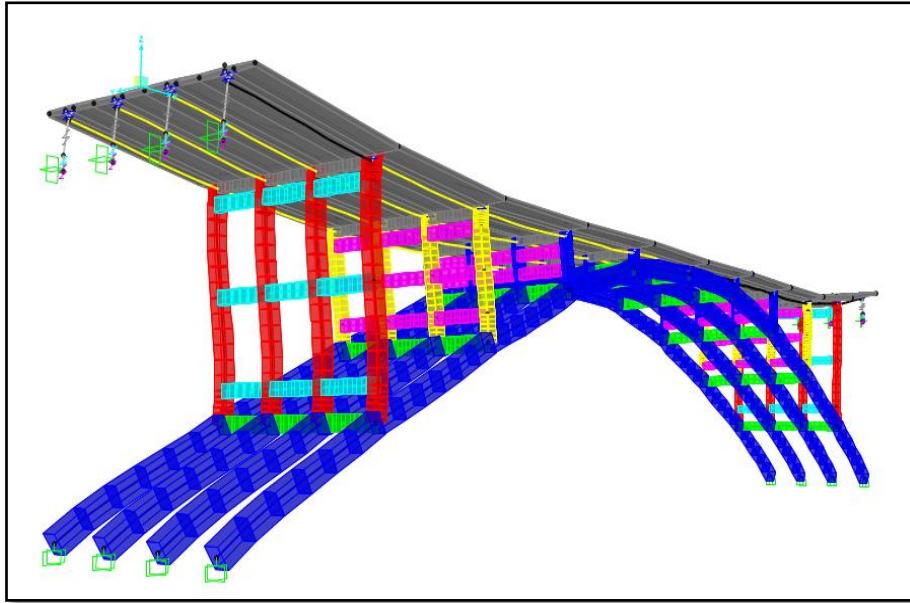


Figura N° 46: Vista del Puente luego del análisis de cargas

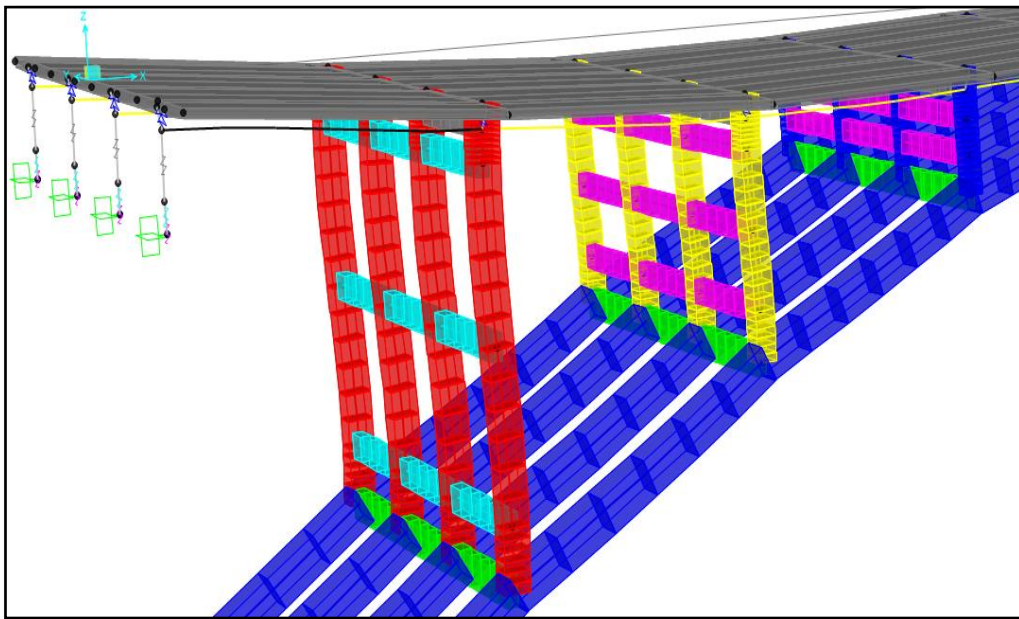


Figura N° 47: Vista de las deformaciones de pórticos del puente luego del modelamiento

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del modelamiento del puente en el Software CSiBridge V23.

Tabla N° 25: Resumen de resultados obtenidos

TIPO	CARGA	Momento Flector (Tn-m)					
		Viga exterior	Viga interior	Losa	ARCO	PORTICO	V AMARRE
CARGA MUERTA	2400 kg/m ³	36.89	37.8	0.5	12.81	24.58	0.35
CARGA PROTECCIÓN	350 kg/m	2.8	1.8	0.5	0.85	1.23	1.01
CARGA PEATONAL	365 kg/m ²	6.8	9.2	0.15	3.49	4.18	0.49
CARGA VEHICULAR (Diseño Ac)	HL-93	17.9	15.8	1.5	12.4	10.82	0.25
CARGA VEHICULAR	HL-94	8.06	7.11	1.12	5.58	4.87	0.11

Tabla N° 26: Resumen de resultados obtenidos

TIPO	CARGA	Fuerza Cortante (Tn)					
		VIGA EXTR.	VIGA INT.	LOSA	ARCO	PORTICO	VIGA AMARRE
CARGA MUERTA	2400 kg/m ³	16.5	23.9	3.2	8.34	4.97	0.45
CARGA PROTECCIÓN	350 kg/m	10.09	9.7	0.12	0.16	0.26	0.67
CARGA PEATONAL	365 kg/m ²	2.9	3.4	0.5	0.72	0.92	0.3
CARGA VEHICULAR (Diseño Ac)	HL-93	18.25	11.78	7.5	1.78	2.08	0.15
CARGA VEHICULAR	HL-94	12.59	8.13	2.00	1.23	1.42	0.10

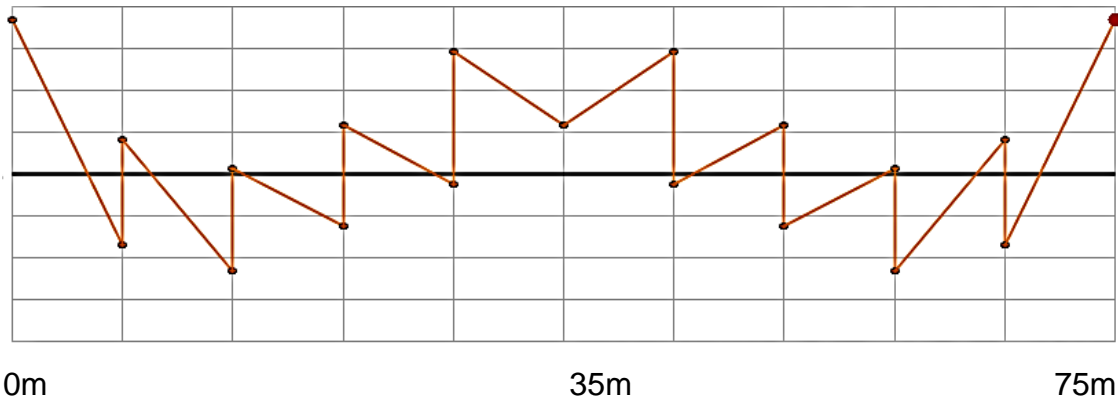


Figura N° 48: Momento Flector en Viga interior de Carga muerta (Elaboración propia en software)

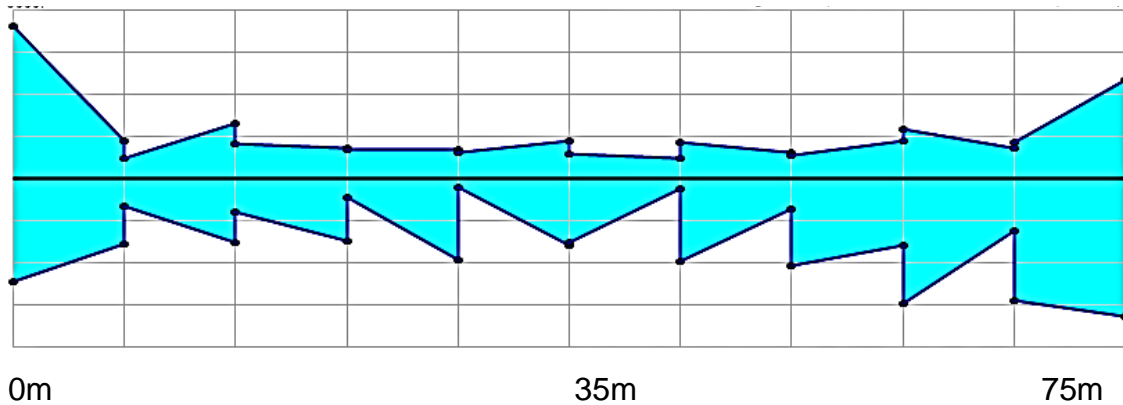


Figura N° 49: Momento Flector en Losa de Carga Vehicular (Elaboración propia en software)

3.12.03. EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE CONFIABILIDAD

A. Evaluación del Módulo de Resistencia (R)

Para la evaluación del módulo de resistencia, nos basamos en los parámetros estadísticos sugeridos por Nowak y Collins (2000):

Tabla N° 27: Parámetros estadísticos de Resistencia

Tipo de estructuras	Resistencia	
	λ	C.V.
Concreto reforzado		
Momento	1.14	0.13

Cortante	1.2	0.155
-----------------	-----	-------

Fuente: Nowak A., 1999

- **Según Expediente Técnico:** Se calcula los valores de los resultados según las consideraciones del Expediente Técnico, los cuales se han visto reflejados en el TABLA N° 20, donde λ : factor bias, CV: coeficiente de variación.

Tabla N° 28: Cálculo de valores para resistencias

Descripción	VIGA P. EXT.	VIGA P. INT.	VIGA AM.	PORTICO	ARCO	LOSA
Momento Flector (tn-m)	185.00	135.24	45.60	135.60	138.75	7.03
$\lambda = 1.14, CV = 0.13$						
Media (μ)	210.90	154.17	51.98	154.58	158.18	8.01
Estándar (σ)	27.42	20.04	6.76	20.10	20.56	1.04
Fuerza Cortante (Tn)	110.00	95.40	25.00	68.90	71.85	30.50
$\lambda = 1.20, CV = 0.155$						
Media (μ)	132.00	114.48	30.00	82.68	86.22	36.60
Estándar (σ)	17.05	14.79	3.88	10.68	11.14	4.73

- **Según Desempeño actual:** Se calcula los valores de los resultados según las consideraciones actuales, los cuales se han visto reflejados en el TABLA N° 34: TABLA de resumen de Resistencias del Concreto de los elementos, donde λ : factor bias, CV: coeficiente de variación.

Además, usamos parámetros estadísticos, los cuales figuran en el estudio elaborado por Silva J. 2018, quien hace un resumen de resultados de investigaciones de varios países para los modelos de resistencia a compresión del concreto y para el acero.

Tabla N° 29: Parámetros estadísticos para resistencia a compresión del concreto elaborado en obra.

Lugar de investigación	Valor Nominal f_c (Mpa)	Factor Bias λ	Desviación estándar σ_s (Mpa)	Coefficiente de variación V (%)
US, Canadá y Europa (Mirza et 1979)	$f_c < 27$	-	-	10 - 20
	$f_c \geq 27$	-	2.7 - 5.4	-
Suencia (Thelandersson 1993)	$f_c = 35$	1.24	-	8.5
Alemania (Sobrino 1993)	$25 \leq f_c \leq 45$	-	-	9 - 20
España (Sobrino 1993)	$25 \leq f_c \leq 40$	1.09 - 1.39	2.6 - 4.2	8 - 11
Canadá (Bartlett y McGregor 1998)	$f_c = 55$	1.25	-	10
Portugal (Henriques 1998)	$20 \leq f_c \leq 35$	1.23 - 1.55	3.9 - 6.6	9 - 17
Estados Unidos (Nowak y Szerszen 2003)	$21 \leq f_c \leq 41$	1.12 - 1.35	-	4 - 15
	$48 \leq f_c \leq 83$	1.04 - 1.19	1.5 - 4.9	9 - 12
Perú (Coronel 2003)	$21 \leq f_c \leq 35$	1.24	5.4 - 9.0	19.8
Colombia (Venegas 2014)	$21 \leq f_c \leq 35$	1.27	3.5	16.67
México (Tellez, G 2005)	$f_c = 20$	1.15	3.85	16.7
	$f_c = 25$	1.072	4.46	16.6
	$f_c = 30$	1.07	41.3	12.9

Fuente: Silva J., 2018

Tabla N°30: Parámetros estadísticos para el acero de refuerzo pasivo.

Propiedad	Grado	Factor Bias λ	Coef. Variación C_v (%)
Estados Unidos (Nowak y Collins 2000)	40	1.11	11.6
	60	1.11	9.8
Perú (Coronel 2003)	60	1.12	11.2
Colombia (Venegas 2014)	60	1.11	10.7

México (Téllez, G2005)	60	1.1	3.7
------------------------	----	-----	-----

Fuente: Silva J., 2018

Tabla N° 31: Parámetros estadísticos para la resistencia – desempeño actual

Elemento	Resistencia f'c (kg/cm2)	Función de Distribución	Factor Bias λ		C.V.	
Arco	325.00	Normal	1.12	364.00	0.04	13.00
Viga	342.50	Normal	1.12	383.60	0.04	13.70
Pórtico	322.00	Normal	1.12	360.64	0.04	12.88
Losa	290.00	Normal	1.13	327.70	0.04	11.60
Acero	4200.00	Normal	1.11	4662.00	0.098	411.60

B. Evaluación del Módulo de Solicitación (S)

Para la evaluación del módulo de solicitaciones trabajamos con los datos del TABLA N°24 y N°25, para lo cual se realizó la evaluación para los distintos elementos.

Tabla N°32: Variables de sollicitación (S) – Viga Exterior

TIPO DE CARGA	L.P.	Estadísticos		Momento Flector		Fuerza Cortante	
		λ	C. V.	Tn-m	Tn		
Carga Muerta	N	1.05	0.10	38.73	3.87	17.33	1.73
Peso Baranda	N	1.05	0.10	2.94	0.29	10.59	1.06
Carga Peatonal	LN	1.00	0.18	6.80	1.22	2.90	0.52
Carga viva (Diseño Actual)	LN	1.20	0.18	21.48	3.87	21.90	3.94
Carga viva (E.T.)	LN	1.20	0.18	9.67	1.74	15.11	2.72

Tabla N°33: Variables de sollicitación (S) – Viga Interior

TIPO DE CARGA	L.P.	Estadísticos		Momento Flector		Fuerza Cortante	
		λ	C. V.	Tn-m		Tn	
Carga Muerta	N	1.05	0.10	39.89	3.97	25.10	2.51
Peso Baranda	N	1.05	0.10	1.89	0.19	10.19	1.02
Carga Peatonal	LN	1.00	0.18	9.20	1.66	3.40	0.61
Carga viva (Diseño Actual)	LN	1.20	0.18	18.96	3.41	14.14	2.54
Carga viva (E.T.)	LN	1.20	0.18	8.53	1.54	9.75	1.76

Tabla N°34: Variables de sollicitación (S) – Losa

TIPO DE CARGA	L.P.	Estadísticos		Momento Flector		Fuerza Cortante	
		λ	C. V.	Tn-m		Tn	
Carga Muerta	N	1.05	0.10	0.53	0.05	3.36	0.34
Peso Baranda	N	1.05	0.10	0.53	0.05	0.13	0.01
Carga Peatonal	LN	1.00	0.18	0.15	0.03	0.50	0.09
Carga viva (Diseño Actual)	LN	1.20	0.18	1.80	0.32	9.00	1.62
Carga viva (E.T.)	LN	1.20	0.18	1.34	0.24	2.40	0.43

Tabla N°35: Variables de sollicitación (S) – Arco

TIPO DE CARGA	L.P.	Estadísticos		Momento Flector		Fuerza Cortante	
		λ	C. V.	Tn-m		Tn	
Carga Muerta	N	1.05	0.10	13.45	1.35	8.76	0.88
Peso Baranda	N	1.05	0.10	0.89	0.09	0.17	0.02
Carga Peatonal	LN	1.00	0.18	3.49	0.63	0.72	0.13
Carga viva (Diseño Actual)	LN	1.20	0.18	14.88	2.68	2.14	0.38
Carga viva (E.T.)	LN	1.20	0.18	6.70	1.21	1.47	0.27

Tabla N°36: Variables de sollicitación (S) – Columna

TIPO DE CARGA	L.P.	Estadísticos		Momento Flector		Fuerza Cortante	
		λ	C. V.	Tn-m		Tn	
Carga Muerta	N	1.05	0.10	25.79	2.58	5.22	0.52
Peso Baranda	N	1.05	0.10	1.29	0.13	0.27	0.03
Carga Peatonal	LN	1.00	0.18	4.18	0.75	0.92	0.17
Carga viva (Diseño Actual)	LN	1.20	0.18	12.98	2.34	2.47	0.44
Carga viva (E.T.)	LN	1.20	0.18	5.84	1.05	1.71	0.31

Tabla N°37: Variables de sollicitación (S) – Viga amarre

TIPO DE CARGA	L.P.	Estadísticos		Momento Flector		Fuerza Cortante	
		λ	C. V.	Tn-m		Tn	
Carga Muerta	N	1.05	0.10	0.37	0.04	0.47	0.05
Peso Baranda	N	1.05	0.10	1.06	0.11	0.70	0.07
Carga Peatonal	LN	1.00	0.18	0.49	0.09	0.30	0.05
Carga viva (Diseño Actual)	LN	1.20	0.18	0.30	0.05	0.18	0.03
Carga viva (E.T.)	LN	1.20	0.18	0.14	0.02	0.12	0.02

C. ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD

La evaluación a nivel del expediente técnico y desempeño actual de la estructura se realiza teniendo en cuenta los TABLAS anteriores, de donde obtendremos los Valores Estadísticos (V.E.) de Sollicitación y Resistencia

Tabla N° 38: Valores Estadísticos del Momento Flector (Mn)

Elemento	DESCRIPCIÓN Tipo de Diseño	V.E. DE SOLICITACIÓN (S)		V.E. DE RESISTENCIA (R)	
		μ (media)	σ (desv. Est.)	μ (media)	σ (desv. Est.)
VIGA EXT.	Diseño actual	69.95	16.26	198.36	25.79
	Diseño de E.T.	58.14	16.37	210.9	27.42
VIGA INT.	Diseño actual	69.74	16.4	154.17	20.04
	Diseño de E.T.	59.31	16.9	153.79	19.99
LOSA	Diseño actual	3.00	0.72	8.01	1.04
	Diseño de E.T.	2.54	0.50	8.03	1.04

ARCO	Diseño actual	32.71	7.02	158.18	20.56
	Diseño de E.T.	24.53	5.43	156.47	20.34
PORTICO	Diseño actual	44.24	11.01	154.58	20.10
	Diseño de E.T.	37.1	11.17	151.05	19.64
VIGA DE AMARRE	Diseño actual	2.22	0.35	51.98	6.76
	Diseño de E.T.	2.05	0.39	47.31	6.15

Tabla N° 39: Valores Estadísticos de Fuerza Cortante

DESCRIPCIÓN		V.E. DE SOLICITACIÓN (S)		V.E. DE RESISTENCIA (R)	
Elemento	Tipo de Diseño	μ (media)	σ (desv. Est.)	μ (media)	σ (desv. Est.)
VIGA EXT.	Diseño actual	52.72	8.28	133.80	17.28
	Diseño de E.T.	45.93	6.37	132.00	17.05
VIGA INT.	Diseño actual	52.82	9.08	113.40	14.65
	Diseño de E.T.	48.43	9.20	114.48	14.79
LOSA	Diseño actual	12.99	4.10	37.80	4.88
	Diseño de E.T.	6.39	1.54	36.60	4.73
ARCO	Diseño actual	11.78	3.96	85.14	11.00
	Diseño de E.T.	11.12	4.02	86.22	11.14
PORTICO	Diseño actual	8.88	2.20	78.96	10.20
	Diseño de E.T.	8.12	2.21	82.68	10.68
VIGA DE AMARRE	Diseño actual	1.66	0.23	29.40	3.80
	Diseño de E.T.	1.60	0.25	30.00	3.88

- **CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CONFIABILIDAD:** Tomando Los valores de los Tablas anteriores, calculamos el índice de Confiabilidad (β), tanto para el Momento Flector y Fuerza Cortante, en sus Diseños del Expediente Técnico y del Diseño Actual.

Tabla N° 40: Resultados de los índices de Confiabilidad (β) – Momento Flector

Elemento	Tipo de Diseño	μ (media)	σ (desv. Est.)	índice β
VIGA EXT.	Diseño actual	128.41	30.49	4.21
	Diseño de E.T.	152.76	31.93	4.78
VIGA INT.	Diseño actual	84.43	25.90	3.26
	Diseño de E.T.	94.47	26.18	3.61
LOSA	Diseño actual	5.01	1.27	3.96
	Diseño de E.T.	5.48	1.16	4.73
ARCO	Diseño actual	125.46	21.73	5.77
	Diseño de E.T.	131.94	21.05	6.27
PORTICO	Diseño actual	110.34	22.91	4.82
	Diseño de E.T.	113.95	22.59	5.04
VIGA DE AMARRE	Diseño actual	49.77	6.77	7.35
	Diseño de E.T.	45.26	6.16	7.34

Donde obtenemos un promedio del índice de Confiabilidad (β) = 5.30, para Diseño de Expediente Técnico y un promedio del índice de Confiabilidad (β) = 4.90 para el diseño Actual

Tabla N° 41: Resultados de los índices de Confiabilidad (β) – Fuerza Cortante

Elemento	Tipo de Diseño	μ (media)	σ (desv. Est.)	índice β
VIGA EXT.	Diseño actual	81.08	19.16	4.23
	Diseño de E.T.	86.07	18.20	4.73
VIGA INT.	Diseño actual	60.58	17.24	3.52
	Diseño de E.T.	66.05	17.41	3.79
LOSA	Diseño actual	24.81	6.37	3.89
	Diseño de E.T.	30.21	4.97	6.08
ARCO	Diseño actual	73.36	11.69	6.28
	Diseño de E.T.	75.10	11.84	6.34
PORTICO	Diseño actual	70.08	10.43	6.72
	Diseño de E.T.	74.56	10.90	6.84
VIGA DE AMARRE	Diseño actual	27.74	3.80	7.29
	Diseño de E.T.	28.40	3.88	7.31

Donde obtenemos un promedio del índice de Confiabilidad (β) = 5.85, para Diseño de Expediente Técnico y un promedio del índice de Confiabilidad (β) = 5.32 para el diseño Actual

+

Tabla N° 42: Resumen de resultados de los índices de Confiabilidad (β)

Elemento	Tipo de Diseño	índice β (Momento Flector)	índice β (Fuerza Cortante)
VIGA EXT.	Diseño actual	4.21	4.23
	Diseño de E.T.	4.78	4.73
VIGA INT.	Diseño actual	3.26	3.52
	Diseño de E.T.	3.61	3.79
LOSA	Diseño actual	3.96	3.89
	Diseño de E.T.	4.73	6.08
ARCO	Diseño actual	5.77	6.28
	Diseño de E.T.	6.27	6.34
PORTICO	Diseño actual	4.82	6.72
	Diseño de E.T.	5.04	6.84
VIGA DE AMARRE	Diseño actual	7.35	7.29
	Diseño de E.T.	7.34	7.31

D. ESCALA DE SEGURIDAD

En la escala de Seguridad tomamos como referencia los niveles de seguridad propuestos por Army Corps of Engineers (1997), este estudio considera los niveles de confiabilidad y los coloca en una escala de 8 niveles; además, se referencia los valores límites para β según la investigación de Zlatko Šavor y Marta Šavor (2014).

El código de la LRFD USA determina que el valor β mínimo para evaluación a nivel de expediente técnico es un índice de confiabilidad (β) =3.50 y para evaluación a nivel de desempeño actual un índice de confiabilidad (β)=2.50, a continuación, se muestra en la siguiente tabla y los resultados obtenidos.

Tabla N° 43: Escala de Seguridad en referencia al índice de Confiabilidad β

	ESCALA DE SEGURIDAD		
	Nivel	índice β	
		Mínimo	Máximo
$\beta = 3.5$ Límite mínimo Diseño AASHTO LRFD	Alto	5.00	-
	Bueno	4.00	5.00
	Arriba del Promedio	3.50	4.00
		3.00	3.50
$\beta = 2.5$ Límite mínimo de Evaluación	Bajo del Promedio	2.50	3.00
	Pobre	2.00	2.50
	Insatisfactorio	1.50	2.00
	Peligroso	1.00	1.50
	Cercano a la falla	0.00	1.00

Fuente: Army Corps of Engineers (1997)

Tabla N° 44: Escala de Seguridad del índice de Confiabilidad β del Momento

Flector

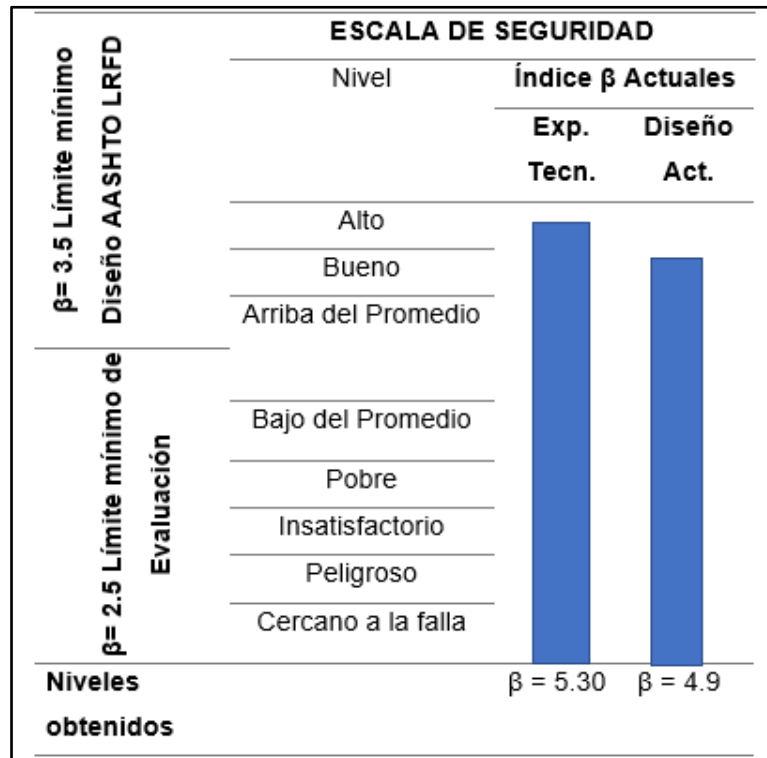
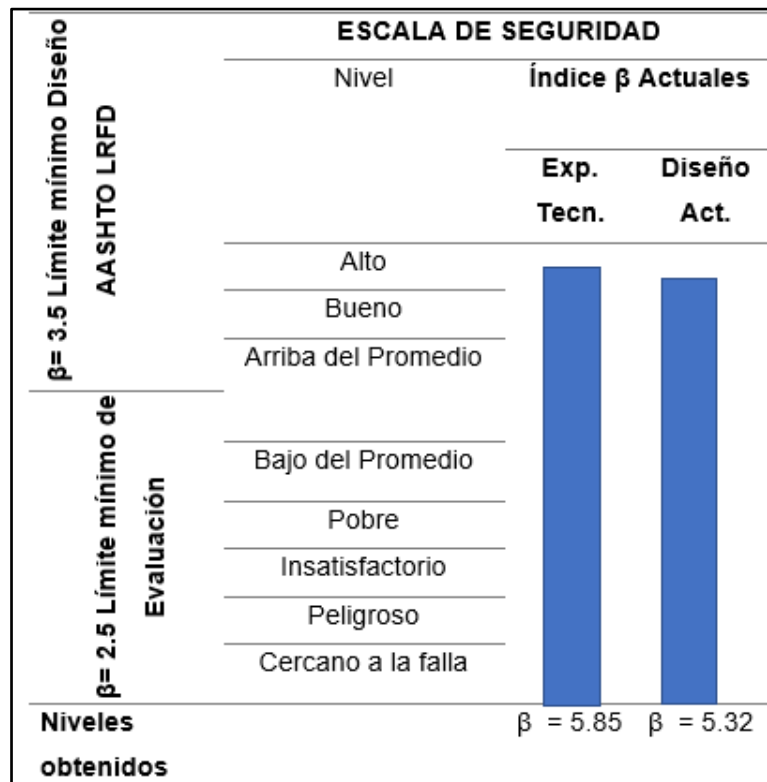


Tabla N°45: Escala de Seguridad del índice de Confiabilidad β de la Fuerza

Cortante



CAPITULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. ÍNDICE DE CONFIABILIDAD

- Se logró determinar los índices de confiabilidad (β) del Puente El Tingo, en el caso del Diseño según Expediente Técnico el valor que nos arrojó es de $\beta=5.30$ para la evaluación del Momento Flector, y según la escala de seguridad para el diseño ASHTO se encuentra en un **Nivel Alto**.
- En el caso del Diseño según los parámetros actuales, el valor que nos arrojó es de $\beta=4.90$ para la evaluación del Momento Flector, y según la escala de seguridad para el diseño ASHTO se encuentra en un **Nivel Bueno**, muy cercano al **Nivel Alto**.
- Se determinó el índice de confiabilidad (β) para el caso del Diseño según Expediente Técnico el valor que nos arrojó es de $\beta=5.85$ para la evaluación de la Fuerza Cortante, y según la escala de seguridad para el diseño ASHTO se encuentra en un **Nivel Alto**.
- Se determinó el índice de confiabilidad (β) para el caso del Diseño según los parámetros actuales, el valor que nos arrojó es de $\beta=5.32$ para la evaluación de la Fuerza Cortante, y según la escala de seguridad para el diseño ASHTO se encuentra en un **Nivel Alto**.
- Se puede observar que los índices están sobre Límite mínimo de Diseño AASHTO LRFD; es decir, no se halla ningún valor que nos dé alguna alerta de una posible falla del Puente el Tingo a Nivel de la super estructura, por lo tanto, se puede mencionar que en base a los índices determinados se tiene un $\beta=5.34$ promedio, y se tiene un **Nivel Alto** de seguridad

4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

Luego de haber realizado la evaluación del Puente El Tingo, podemos contrastar nuestra hipótesis “La superestructura del Puente El Tingo – Distrito de San Juan, provincia Cajamarca - Cajamarca tiene un bajo índice de confiabilidad”, con los resultados obtenido, podemos mencionar que:

Por el índice de confiabilidad obtenido el Puente el Tingo tiene un Nivel Alto de seguridad, por el cual rechaza la hipótesis planteada.

CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- El índice de confiabilidad de las vigas principales es 4.22
- El índice de confiabilidad de la Losa del puente es 3.93
- El índice de confiabilidad de las vigas arco es de 6.03
- El índice de confiabilidad de las vigas amarre es de 7.32
- El índice de confiabilidad de los pórticos es de 5.77
- El índice de confiabilidad del puente el Tingo por el método de la confiabilidad estructural es de 5.34
- El Nivel de seguridad del Puente El Tingo es de un Nivel Alto.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar otros estudios que considere el análisis de la cimentación y el efecto iteración suelo estructura
- Se recomienda realizar una evaluación de los accesos del Puente, losas de aproximación y otros, que no han sido considerados en el presente estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, L; Castillo, R; & Vargas, L. (2014). Evaluación de la Capacidad de Carga Viva Vehicular de Puentes en Costa Rica. San José, Costa Rica: Publicaciones Congreso Nacional de Ingeniería.
- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). (2013). The Manual Bridge Evaluation. 2 ed Rev. Washington DC, Estados Unidos.
- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). (2020). AASHTO LRFD Bridge Design Specifications. 9th ed. Setiembre. Washington, Estados Unidos.
- Army Corps of Engineers. 1997. Engineering and design: Introduction to probability and reliability methods for use in geotechnical engineering. Washington, DC. Estados Unidos. 15 p.
- Becerra L. (2021). "Estimación del índice de confiabilidad (β) de las vigas de los Puentes Venecia, Los Shilcos y Shudal – Cajamarca, usando conteos de tráfico real mediante simulación" (tesis de pregrado). Universidad Privada del Norte, Carrera de Ingeniería Civil. Cajamarca- Perú.
- Carrasco E. (2005). Evaluación de la vulnerabilidad sísmica del puente Warth. UPC. Barcelona.
- CTE. (2019). Documento Básico Seguridad Estructural. SE. España
- Gongkang Fu. 2012. Bridge Design and Evaluation. Ed. reprint. LRFD and LRFR. New Jersey, Estados Unidos. John Wiley & Sons. 456 p.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). (2003). Reglamento Nacional de Vehículos. Lima, Perú.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). (2006). Directiva N°01-2006-MTC/14 " Guía para Inspección de Puentes". Marzo. Lima, Perú.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). (2018). Manual de Puentes. Ed. rev. Diciembre. Lima, Perú.

Núñez Escobar, J. A. (2014). Comportamiento y Seguridad Estructural de Puentes Vehiculares Mediante el Análisis y Comparación del Diseño por Factores de Carga y Resistencia Versus el Diseño por Esfuerzos Permisibles. Ambato,Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.

Rogriguez Serquén, A. (2012). Puentes con AASHTO-LRFD 2010. Perú.

Sanchez Silva, M. (2005). Introducción a la confiabilidad y evaluación de riesgos. Bogotá: Ediciones Uniandes.