

UNIVERSIDAD DE HUANUCO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA CIVIL



TESIS

**“Propuesta de diseño de la superestructura del puente
Huancanyacu aplicando el método LRFD como mejora del
comportamiento estructural, San Francisco de Cayrán –
Huánuco – 2023”**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

AUTOR: Pereyra Vasquez, Jhan Piero

ASESOR: Valdivieso Echevarria, Martin Cesar

HUÁNUCO – PERÚ

2024

U

TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

- Tesis (X)
- Trabajo de Suficiencia Profesional ()
- Trabajo de Investigación ()
- Trabajo Académico ()

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Estructuras

AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN (2020)

CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub área: Ingeniería civil

Disciplina: Ingeniería civil

DATOS DEL PROGRAMA:

Nombre del Grado/Título a recibir: Título

Profesional de Ingeniero Civil

Código del Programa: P07

Tipo de Financiamiento:

- Propio (X)
- UDH ()
- Fondos Concursables ()

DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 74713175

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 22416570

Grado/Título: Maestro en gestión pública

Código ORCID: 0000-0002-0579-5135

DATOS DE LOS JURADOS:

N°	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Jacha Rojas, Johnny Prudencio	Doctor en medio ambiente y desarrollo sostenible	40895876	0000-0001-7920-1304
2	Taboada Trujillo, William Paolo	Maestro en medio ambiente y desarrollo sostenible, mención en gestión ambiental	40847625	0000-0002-4594-1491
3	Trujillo Ariza, Yelen Lisseth	Maestro en medio ambiente y desarrollo sostenible, mención en gestión ambiental	70502371	0000-0002-5650-3745

D

H



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

Facultad de Ingeniería

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO (A) CIVIL

En la ciudad de Huánuco, siendo las 14:00 horas del día **jueves 09 de mayo de 2024**, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron los **Jurados Calificadores** integrado por los docentes:

- | | |
|--------------------------------------|--------------|
| ❖ DR. JOHNNY PRUDENCIO JACHA ROJAS | - PRESIDENTE |
| ❖ MG. WILLIAM PAOLO TABOADA TRUJILLO | - SECRETARIO |
| ❖ MG. YELEN LISSETH TRUJILLO ARIZA | - VOCAL |

Nombrados mediante la RESOLUCIÓN No 0960-2024-D-FI-UDH, para evaluar la Tesis intitulada: **"PROPUESTA DE DISEÑO DE LA SUPERESTRUCTURA DEL PUENTE HUANCANYACU APLICANDO EL MÉTODO LRFD COMO MEJORA DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL, SAN FRANCISCO DE CAYRÁN – HUÁNUCO – 2023"**, presentado por el (la) Bachiller. Bach. **Jhan Piero PEREYRA VASQUEZ**, para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Civil.

Dicho acto de sustentación se desarrolló en dos etapas: exposición y absolución de preguntas: procediéndose luego a la evaluación por parte de los miembros del Jurado.

Habiendo absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del Jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias, procedieron a deliberar y calificar, declarándolo(a) **A.PROBADO**... por **UNANIMIDAD**... con el calificativo cuantitativo de **11**... y cualitativo de **SUFICIENTE**. (Art. 47).

Siendo las **14:55** horas del día 09 del mes de mayo del año 2024, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.

DR. JOHNNY PRUDENCIO JACHA ROJAS
DNI: 40895876
ORCID: 0000-0001-7920-1304
Presidente

MG. WILLIAM PAOLO TABOADA TRUJILLO
DNI: 40847625
ORCID: 0000-0002-4594-1491
Secretario

MG. YELEN LISSETH TRUJILLO ARIZA
DNI: 70502371
ORCID: 0000-0002-5650-3745
Vocal

DIRECTIVA N° 006- 2020- VRI-UDH PARA EL USO DEL SOFTWARE TURNITIN DE LA UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

Resolución N° 018-2020-VRI-UDH 03JUL20 y modificatoria R. N° 046-2020-VRI-UDH, 19OCT20



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

Yo, **M.Sc. Ing. MARTIN CESAR VALDIVIESO ECHEVARRIA**, asesor del PA Ingeniería Civil y designado mediante documento **RESOLUCION N°953-2023-D- FI-UDH** del estudiante **Bach. PEREYRA VASQUEZ JHAN PIERO**, de la investigación titulada **“PROPUESTA DE DISEÑO DE LA SUPERESTRUCTURA DEL PUENTE HUANCANYACU APLICANDO EL METODO LRFD COMO MEJORA DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL SAN FRANCISCO DE CAYRAN – HUÁNUCO - 2023”**.

Puedo constar que la misma tiene un índice de similitud del **21%** verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el Software Turnitin.

Por lo que concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio y cumple con todas las normas de la Universidad de Huánuco.

Se expide la presente, a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Huánuco, 05 de noviembre del 2023


.....
Ing. Martín C. Valdivieso Echevarría,
INGENIERO CIVIL
Reg. del Colegio de Ingenieros N° 40444

M.Sc. Ing. Martin Cesar Valdivieso Echevarria
DNI N° 22416570

PROPUESTA DE DISEÑO DE LA SUPERESTRUCTURA DEL PUENTE HUANCANYACU APLICANDO EL MÉTODO LRFD COMO MEJORA DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL, SAN FRANCISCO DE CAYRÁN - HUÁNUCO - 2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

21 %	22 %	3 %	9 %
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	5 %
2	repositorio.udh.edu.pe Fuente de Internet	4 %
3	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	4 %
4	distancia.udh.edu.pe Fuente de Internet	1 %
5	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	1 %
6	repositorio.ug.edu.ec Fuente de Internet	1 %
7	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	1 %

pdfcookie.com


Ing. Martín C. Valdivieso Echevarría
INGENIERO CIVIL
Reg. del Colegio de Ingenieros N° 40443

M.Sc. Ing. Martin Cesar Valdivieso Echevarria
DNI N° 22416570

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres, por su amor, paciencia y constante aliento además que han sido mi apoyo incondicional a lo largo de mi carrera profesional, a mis compañeros que me comprendieron y acompañaron en este gran viaje, gracias a ellos que nunca dudaron de mi capacidad y ahora pueda cumplir mis sueños.

AGRADECIMIENTO

Agradecimiento al Mg. Valdivieso Echevarría Martin César, en su asesoría constante para esta investigación, A mis padres que siempre me apoyaron y nunca dudaron de mí. A mis maestros por sus enseñanzas y conocimientos y a la Universidad de Huánuco

ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
ÍNDICE.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
RESUMEN.....	IX
ABSTRACT.....	X
INTRODUCCIÓN.....	XI
CAPÍTULO I.....	12
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	12
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	12
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	13
1.2.1. PROBLEMA GENERAL	13
1.2.2. PROBLEMA ESPECÍFICO	13
1.3. OBJETIVOS	13
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	13
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	14
1.4.1. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA.....	14
1.4.2. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA.....	14
1.4.3. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA.....	14
1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	15
1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN.....	15
CAPÍTULO II.....	16
MARCO TEÓRICO	16
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	16
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES	16
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES.....	17
2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES	18
2.2. BASES TEÓRICAS	18
2.2.1. PUENTE	18
2.2.2. PARTES DEL PUENTE	19

2.2.3. CLASIFICACIÓN DE PUENTE	19
2.2.4. PUENTE TIPO LOSA.....	26
2.2.5. MÉTODO LRFD (LOAD AND RESISTENCE FACTOR DESIGN).....	28
2.2.6. ESTADOS LÍMITE	29
2.2.7. DUCTILIDAD	30
2.2.8. REDUNDANCIA.....	30
2.2.9. IMPORTANCIA OPERATIVA.....	31
2.2.10. ETAPAS DE ELABORACIÓN DE LOS MAPAS DE RIESGO	32
2.2.11. CARGAS PERMANENTES.....	33
2.2.12. CARGAS VARIABLES	34
2.2.13. CARGAS DE FATIGA	39
2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES.....	39
2.4. HIPÓTESIS	40
2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL.....	40
2.5. VARIABLES.....	41
2.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE	41
2.5.2. VARIABLE INDEPENDIENTE	41
2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	42
CAPÍTULO III.....	43
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	43
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	43
3.1.1. ENFOQUE	43
3.1.2. ALCANCE O NIVEL.....	43
3.1.3. DISEÑO	43
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	43
3.2.1. POBLACIÓN	43
3.2.2. MUESTRA	44
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	44
3.3.1. PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS	44
3.3.2. PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS	45
3.3.3. PARA EL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS.....	46

CAPÍTULO IV.....	47
RESULTADOS.....	47
4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS.....	47
4.1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	47
4.1.2. DISEÑO DEL PUENTE.....	47
4.2. Contrastación de hipótesis y prueba de hipótesis.....	61
CAPÍTULO V.....	62
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	62
5.1. PRESENTAR LA CONTRASTACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.....	62
CONCLUSIONES.....	63
RECOMENDACIONES.....	64
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65
ANEXOS.....	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Pesos específicos de algunos materiales	33
Tabla 2 Factor de presencia múltiple	37
Tabla 3 Operacionalización de variables	42
Tabla 4 Resumen de momentos flectores y criterios LRFD en la franja interior y de borde	45
Tabla 5 Resumen de efectos de aplicación de carga viva.	45
Tabla 6 Resumen de reacciones máximas	45
Tabla 7 Resumen de momento de carga muerta y carga de asfalto.....	50
Tabla 8 Resumen de momento de carga muerta y carga de asfalto	51
Tabla 9 Resumen de efectos de aplicación de carga viva	57
Tabla 10 Resumen de reacciones máximas	57
Tabla 11 Tabla de momentos de franja central.....	59
Tabla 12 Momentos de franja de borde	60
Tabla 13 Resumen de momentos de franja de borde	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Elevación: Nivel de aguas máximas extraordinarias.....	21
Figura 2 Sección transversal: Tablero con Viga I.....	21
Figura 3 Sección transversal: viga cajón	22
Figura 4 Arco de tablero superior.....	23
Figura 5 Arco de tablero intermedio.....	23
Figura 6 Arco de tablero inferior	23
Figura 7 Pórtico de columnas incluidas	24
Figura 8 Puente tipo pórtico.....	24
Figura 9 Puente suspendido	24
Figura 10 Sección transversal de viga de rigidez tipo celocia	25
Figura 11 Sección transversal de viga de rigidez tipo cajón	25
Figura 12 Elementos del puente tipo losa.....	27
Figura 13 Vista isométrica del puente tipo losa	27
Figura 14 Características del camión de diseño	35
Figura 15 Geometría del puente losa.....	48
Figura 16 Sección transversal del puente.....	48
Figura 17 Camión de diseño.....	52
Figura 18 Cálculo de X en el camión de diseño.....	52
Figura 19 Cálculo de reacciones de apoyos.....	53
Figura 20 Cálculo del momento máximo.....	53
Figura 21 Tandem de diseño	54
Figura 22 Cálculo de X en el tándem de diseño	54
Figura 23 Cálculo de reacciones de apoyos.....	55
Figura 24 Cálculo del momento máximo.....	55
Figura 25 Carril de diseño.....	56
Figura 26 Cálculo de reacciones de apoyos.....	56
Figura 27 Cálculo del momento máximo.....	56
Figura 28 Vista longitudinal de acero de refuerzo del puente	61

RESUMEN

En esta tesis se realizó el diseño de la superestructura del puente Huancanyacu aplicando el método LRFD el cual se encuentra a 5km de la Plaza Mayor del distrito de San Francisco de Cayrán sobre el río Huancachupa con un ancho de cauce de 12.00 m. Se planteó como problema general: ¿Cómo realizar el diseño de la superestructura del puente Huancanyacu aplicando el método LRFD como mejora del comportamiento estructural, San Francisco de Cayrán - Huánuco - 2023? Por tal motivo se propuso para mejorar el desempeño estructural, diseñar la superestructura del puente Huancanyacu utilizando la técnica LRFD, San Francisco de Cayrán - Huánuco - 2023. El área del proyecto es plana, pero existe una pendiente pronunciada debajo del puente, por lo que el análisis y diseño de la losa del puente se realizó con una metodología meticulosa. El estudio presenta una investigación de tipo no experimental con un enfoque cuantitativo y un alcance descriptivo. Dado que cada paso del diseño se siguió cuidadosamente y se tuvieron en cuenta los factores de carga y resistencia especificados en el libro LRFD BRIDGE DESIGN SPECIFICATIONS, que son valores aceptados internacionalmente, nuestro diseño mostrará un mejor comportamiento estructural como resultado de este método.

PALABRAS CLAVES: Método LRFD, puente losa, diseño de puente, cargas permanentes, cargas variables.

ABSTRACT

In this thesis, the design of the superstructure of the Huancanyacu bridge was carried out applying the LRFD method, which is located 5 km from the Main Square of the district of San Francisco de Cayrán on the Huancachupa River with a channel width of 12.00 m. The general problem was: How to design the superstructure of the Huancanyacu bridge using the LRFD method to improve structural performance, San Francisco de Cayrán - Huánuco - 2023? For this reason, it was proposed to design the superstructure of the Huancanyacu bridge using the LRFD technique, San Francisco de Cayrán - Huánuco - 2023, in order to improve the structural performance. The project area is flat, but there is a steep slope under the bridge, so the analysis and design of the bridge slab was carried out with a meticulous methodology. The study presents a non-experimental type of research with a quantitative approach and a descriptive scope. Since each step of the design was carefully followed and the load and resistance factors specified in the LRFD BRIDGE DESIGN SPECIFICATIONS book, which are internationally accepted values, were taken into account, our design will show better structural behavior as a result of this method.

KEY WORDS: LRFD method, slab bridge, bridge design, permanent loads, variable loads.

INTRODUCCIÓN

Dado que sus objetivos son minimizar las distancias, reducir los tiempos de viaje y transportar el consumo y los alimentos de los residentes, los puentes de la infraestructura viaria del país desempeñan un papel crucial en los enlaces regionales en relación con la topografía del país, los puentes desempeñan un papel crucial en la actividad turística del país porque proporcionan conexiones más rápidas y asequibles entre el sector y las principales áreas metropolitanas al crear y mejorar los enlaces regionales pertinentes (Almirón, 2021).

En la tesis se usará el enfoque LRFD se utilizará para crear la superestructura del puente Huancanyacu, que se entrega a la Universidad de Huánuco. Esto mejorará el comportamiento estructural del diseño en el distrito de San Francisco de Cayran.

Se presenta en el capítulo I el problema de investigación, objetivos, limitaciones y justificación de la tesis.

Se presenta en el capítulo II el marco teórico que será necesario en el diseño con el método LRFD.

Se presenta en el capítulo III la metodología de la investigación que resulta beneficioso en el desarrollo del problema.

Se presenta en el capítulo IV los resultados del diseño mediante el método LRFD manualmente y el diseño del acero de refuerzo que está incluido en los anexos.

En el capítulo V comprende la discusión de resultados donde se analiza los datos obtenidos mediante el método LRFD.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La ingeniería civil es un campo especializado de la ingeniería que se dedica a desarrollar, solucionar y mejorar la calidad de vida de los habitantes, la evaluación y diseño estructural es un campo clásico de la ingeniería civil que se ocupa del diseño y cálculo de elementos estructurales de puentes, muros, edificios, etc.

En el diseño de puentes se determinan los requisitos mínimos o fundamentales para la viabilidad del proyecto, así como el análisis de las cargas sobre las estructuras, la longevidad de los materiales que las componen, las deformaciones resultantes y las técnicas analíticas para evaluarlas, así como su comportamiento seguro y su estabilidad a lo largo de su vida útil (Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC], 2003).

Abad (2017) afirma que desde hace 40 años se construyen puentes en lugares de zona vulnerable por el fenómeno del Niño, especialmente a lo largo de la costa, no se habrían planificado adecuadamente, provocando su colapso. De los 242 puentes que colapsaron a causa de El Niño Costero, casi el 70% se debió a un diseño inadecuado, mientras que el resto se debió a la falta de un buen mantenimiento.

Nuestra área de estudio se ubica específicamente en el distrito de San Francisco de Cayrán, provincia y región de Huánuco. El puente mencionado tiene errores en su diseño, lo que podría afectar negativamente a la población si aumenta el caudal del río, lo que resultaría en un aumento de pasajes y pérdidas económicas, además de la inseguridad de tener puentes inestables.

En este caso, la solución es crear nuevos puentes utilizando una mejor técnica basada en la filosofía LRFD.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cómo realizar el diseño de la superestructura del puente Huancanyacu aplicando el método LRFD como mejora del comportamiento estructural, San Francisco de Cayrán - Huánuco - 2023?

1.2.2. PROBLEMA ESPECÍFICO

¿Cómo evaluar las cargas permanentes y variables para el puente tipo losa, San Francisco de Cayrán – Huánuco – 2023?

¿Cómo diseñar las cargas vivas de vehículos para el análisis del puente tipo losa, San Francisco de Cayrán – Huánuco - 2023?

¿Cómo realizar la distribución de acero del puente tipo losa, San Francisco de Cayrán – Huánuco - 2023?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar el diseño de la superestructura del puente Huancanyacu aplicando el método LRFD como mejora del comportamiento estructural, San Francisco de Cayrán - Huánuco – 2023.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Evaluar las cargas permanentes y variables para el puente tipo losa, San Francisco de Cayrán – Huánuco - 2023

Diseñar las cargas vivas de vehículos para el análisis del puente tipo losa, San Francisco de Cayrán – Huánuco – 2023.

Realizar la distribución de acero del puente tipo losa, San Francisco de Cayrán – Huánuco – 2023.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

El proyecto se justifica ya que en el método LRFD se garantiza la seguridad estructural, eficiencia de diseño, uniformidad, idoneidad y aceptación de las autoridades. Estas razones respaldan su uso en el diseño de puentes para garantizar estructuras seguras y eficientes y cumplir con los estándares requeridos.

1.4.2. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA

Se justifica el proyecto ya que además de su función fundamental de superar obstáculos geográficos, un diseño de puente bien pensado puede ayudar a reducir el tiempo de viaje, lo que estimula el turismo y el comercio. Fomenta la interacción cultural y el intercambio de conocimientos al conectar regiones previamente aisladas. Este tipo de infraestructura también puede afectar el medio ambiente al permitir rutas más eficientes, reduciendo la congestión y las emisiones de gases contaminantes. Incluso los puentes icónicos pueden servir como símbolos de una comunidad, atrayendo inversión y promoviendo el orgullo local. Es esencial tener en cuenta la sostenibilidad y la resiliencia en el diseño para asegurar la durabilidad de la estructura y reducir los impactos ambientales adversos.

1.4.3. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA

El método LRFD para evaluar la estructura de un puente requiere personal de inspección capacitado para aplicar cargas y factores de seguridad correctos. Esta investigación mejora la calidad de la evaluación, prolonga la vida útil de puente, reduce los costos a largo plazo y reduce el riesgo de colapso. La precisión de las evaluaciones tiene un impacto directo en la seguridad de las personas y los vehículos, además de contribuir al crecimiento económico al mantener la funcionalidad de las principales rutas de transporte y comercio.

1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

En la investigación se presenta la siguiente limitación:

Variabilidad en los factores de carga, ya que dichos factores usados en el método LRFD se basa en estimaciones y/o modelos probabilísticos que pueden generar un margen de error en los resultados.

El método LRFD implica realizar varios cálculos y análisis detallados para determinar las cargas de diseño y capacidad de carga del puente lo que lo hace muy complejo.

1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación es viable ya que el método LRFD considera tanto las cargas de servicio como las cargas de resistencia y reduce así las incertidumbres en el diseño. Además, este método tiene en cuenta la variabilidad de las cargas y resistencias, lo que lo hace más preciso y seguro.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Chávez y Lozano (2021) en su tesis titulado: “*Comparativo de diseño de puentes de viga-losa en concreto y estructura de acero*”; presentada a la Universidad Piloto de Colombia, el objetivo de esta investigación es comparar dos modelos de puentes diferentes utilizando variables importantes como la separación entre soportes, dimensiones generales, carga estática por peso estructural y carga de tráfico, este método innovador ofrece una alternativa a los puentes de vigas cercanas y reemplaza el diseño tradicional, el diseño sugerido cumple con los códigos de Colombia y ofrece sugerencias para una comparación estructural

Delgado et. al (2018) en su artículo científico titulado: “*Propuesta de puente aplicando el método de diseño AASHTO LRFD para la ciudad de Manta*”; presentada a la revista científica *Dominio de las ciencias*, se refirió a que debido a que Ecuador carece de una norma técnica actualizada para el diseño de ejes, debe basarse en normas internacionales, en este caso, normas americanas emitidas por la AASHTO, la investigación utiliza técnicas cuantitativas, el enfoque del método cognitivo es lógico racional, el alcance del estudio es no experimental, y estos datos fueron analizados a través de un análisis explicativo de los datos obtenidos durante la revisión bibliográfica de la población de Manta y las características viales; como resultado, es necesario recomendar un proyecto para estudiantes de otras ciudades con características comparables, la estructura que compone el puente de losa puede tener un buen tamaño, pero esto dependerá totalmente del proyecto que se esté realizando, incluida la longitud del puente y el canto de la losa.

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

Flores y More (2020) en su tesis titulada “*Reconstrucción del puente San José tipo viga - losa en mejora de la conectividad entre los caseríos Tablazo Norte de la Unión y El Alto de la Cruz, Piura -2020*” presentada a la Universidad César Vallejo, donde se señala que el Estrecho de Melizo se inunda con frecuencia, esto afecta a la población en agricultura, ganadería y educación, se decidió utilizar la norma AASTHO LRFD para el diseño del puente, lo cual trae muchas ventajas, como el ahorro de tiempo y dinero, para ello, se diseñó un puente de viga plana de 15 metros de luz para mejorar la comunicación entre las ciudades de Tablazo y Alto La Cruz de la Arena, en Piura, se diseñó como un monograma, se realizaron estudios de topografía, suelos, hidrología, hidráulica y evaluaciones preliminares de tráfico para adquirir datos y aplicarlos al diseño de acuerdo a las recomendaciones del Manual de Puentes 2018.

Aronés y Cortés (2018) presentaron su tesis titulado “*Evaluación estructural del puente Huaracane con las Especificaciones de Diseño de Puentes LRFD 2012 y la Norma Técnica Peruana Sismorresistente E.030 2016*” presentada a la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, evaluó un puente de concreto armado según normas y directrices vigentes de 2018, a su vez compararon el proyecto resultante con el plano obtenido del análisis del puente con las normas que estaban en vigor en el momento de la construcción, llegan a la conclusión de que el grado de regularidad de un puente es la característica que tiene un impacto significativo en su comportamiento estructural y sísmico, según esta característica, el elemento es simple, simétrico e integridad.

Macedo (2018) presentaron en su tesis titulado “*Evaluación estructural mediante el método LRFR en puentes de concreto y reforzamiento en el puente Chancay, distrito de Chancay, 2018*”; presentada a la Universidad César Vallejo, el objetivo es realizar una evaluación estructural y reforzamiento del Puente Chancay mediante el método LRFR. Los resultados del estudio cuantitativo de diseño no

experimental que utilizaron son los siguientes: De acuerdo con la observación y evaluación de campo, las vigas deben reforzarse a un valor de RF inicial de 0,97 y un valor de RF con refuerzo final de 1,31, finalmente, se puede concluir que el Puente Chancay está en mal estado, con fallas por flexión y corte, por lo que el análisis de FRP requiere refuerzo con fibras de carbono, que es efectivo y fácil de instalar y aumenta la resistencia flexible.

2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES

Cabello y Gonzáles (2021) presentaron en su tesis titulado *“Comportamiento Estructural de un puente en arco con tablero superior ante la variación de la relación flecha/luz del puente - Huánuco 2021”*; presentada a la Universidad Nacional Hermilio Valdizán; examinaron el comportamiento estructural de un puente de arco de cubierta superior con dos carriles, una relación de luz de 1/4,5 a 1/11 y una luz constante ($L = 80$ m). El Manual del puente de 2018, así como el estándar AASHTO LRFD, sirvieron como base para todos los criterios que se consideraron en el análisis del puente. Se demostró que los arcos elásticos altos aumentaban la variabilidad de las fuerzas axiales y disminuían la variabilidad; además, se encontró que la relación óptima arco/cuerda era entre 1/5 y 1/6,5.

Finalmente, se aconsejó no bajar el arco para que iniciar el arco no fuera tan difícil.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. PUENTE

Un puente es una estructura que se construye para superar un obstáculo y permitir una continuidad de la vía, se utiliza con frecuencia para mantener caminos, carreteras o vías férreas, pero también puede transportar tuberías y líneas de distribución de energía (Rodríguez, 2018).

2.2.2. PARTES DEL PUENTE

a) Superestructura

Se compone de una losa de concreto la cual recibe directamente las cargas móviles de los vehículos y las transmite a la estructura portante (Apaza, 2000).

b) Subestructura

Los apoyos en los extremos del puente se conocen como estribos, tienen la capacidad de soportar el relleno del terreno y transmitir las cargas desde el puente a la cimentación (Apaza, 2000).

Los apoyos intermedios del puente se denominan pilares, estos reciben las fuerzas de carga de ambos tramos del puente y las envían a la cimentación (Apaza, 2000).

c) Cimentación

En la cimentación superficial, las cargas del puente se transmiten al terreno a través de zapatas, este método se utiliza cuando es posible excavar lo suficiente para alcanzar niveles con suficiente capacidad portante. En la cimentación profunda el estrato resistente se encuentra a gran profundidad bajo la superficie, que puede implicar el uso de pilotes, cimentaciones compuestas o cajones de cimentación para transmitir las cargas del puente al terreno (Apaza, 2000).

2.2.3. CLASIFICACIÓN DE PUENTE

a) Naturaleza de los caminos apoyados

Los puentes en un aeropuerto se clasifican en función de los caminos que los sustentan, estos incluyen puentes viales, puentes ferroviarios, puentes para vehículos eléctricos, puentes acuáticos, pasarelas peatonales y puentes para aeronaves, los puentes polivalentes, que pueden utilizarse para una variedad de propósitos, también están disponibles (MTC, 2018).

b) Clasificación según material

Los puentes se construyen utilizando una amplia gama de materiales, incluida la piedra, la madera, la cuerda, el hierro, el acero, el concreto armado, el concreto pretensado y, más recientemente, los compuestos como las fibras, esta clasificación se basa en los componentes principales de carga de la estructura del puente (MTC, 2018).

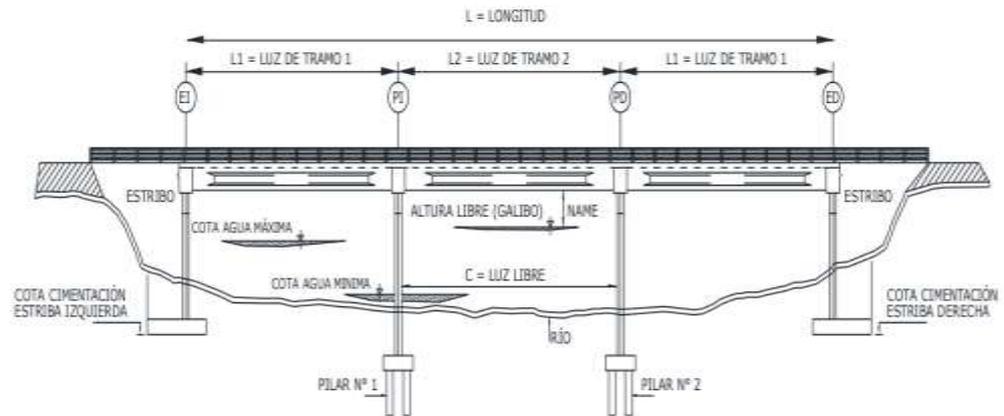
c) Sistema estructural principal

Los puentes están divididos en 3 categorías principales según su diseño estructural principal: puentes de viga, puentes de arco y puentes colgantes o suspendidos, cada categoría tiene su propio diseño y forma de resistir las cargas (MTC, 2018).

El puente de tipo viga, esta categoría abarca una amplia gama de configuraciones y comportamientos estructurales, incluidos voladizos, tramos isostáticos de Gerber, tramos apoyados y tramos simples o continuos, los componentes principales de este tipo de puente soportan principalmente tensiones de flexión y corte, si el comportamiento de la losa es diferente al de las vigas o grupo de vigas, se denomina puente de viga, esto significa que, a pesar de las diferencias en la respuesta estructural de las losas y las vigas, los puentes de viga se clasifican según su disposición general y cómo se transmiten y resisten las cargas en la estructura (MTC, 2018).

Figura 1

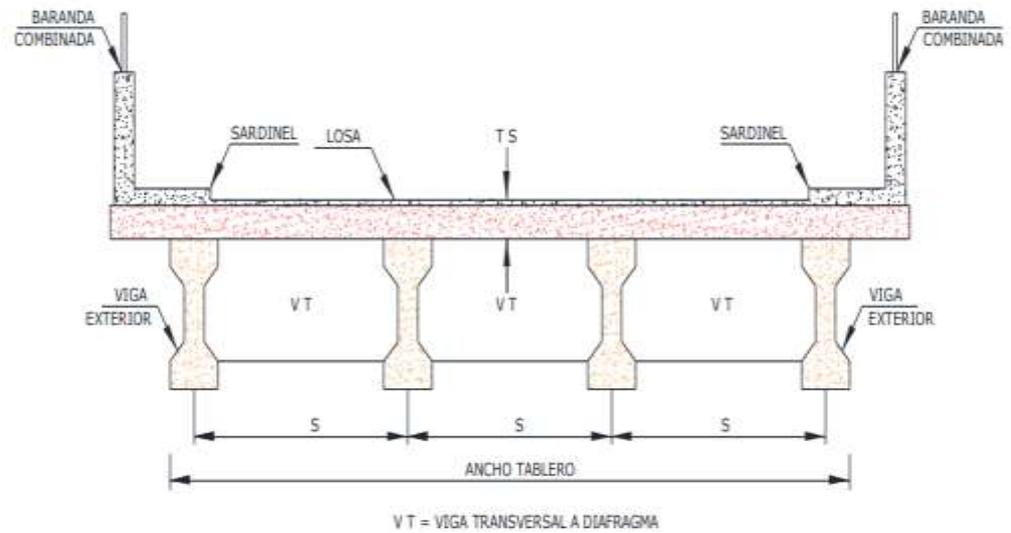
Elevación: Nivel de aguas máximas extraordinarias



Nota. Adaptada del Manual de Puentes (2018).

Figura 2

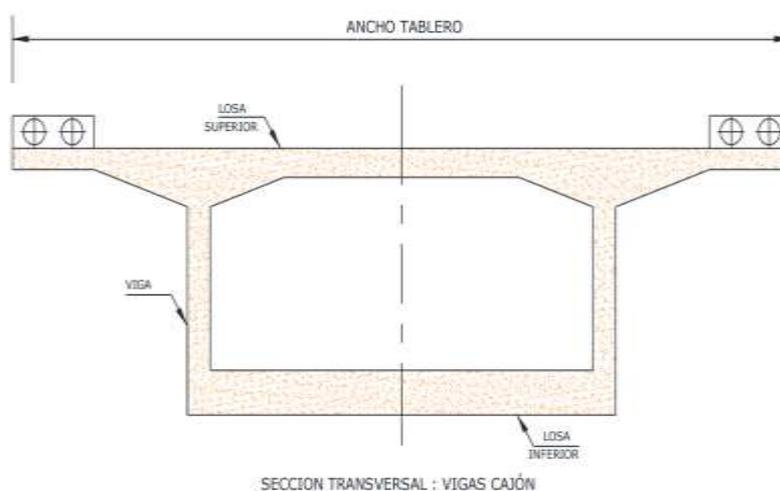
Sección transversal: Tablero con Viga I



Nota. Adaptada del Manual de Puentes (2018).

Figura 3

Sección transversal: viga cajón

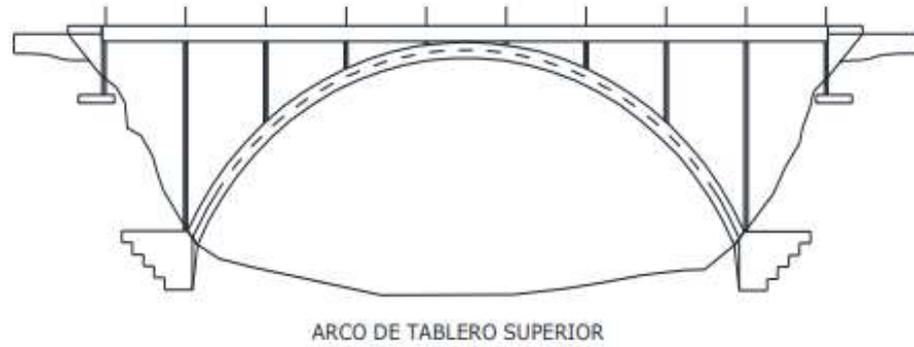


Nota. Adaptada del Manual de Puentes (2018).

Puente en arco, los puentes pueden presentar una amplia variedad de formas y características en su diseño, pueden tener diferentes configuraciones en su parte superior, media e inferior, la forma de la membrana timpánica, que es la parte estructural que cubre el espacio entre los elementos de soporte, también puede variar, pudiendo ser transparente, acolchada o abovedada, existe una clasificación especial conocida como puente de puerta, que se considera un caso particular de puente de arco, este tipo de puente cuenta con columnas verticales y columnas inclinadas, lo que le confiere características distintivas en términos de su diseño y apariencia estructural (MTC, 2018).

Figura 4

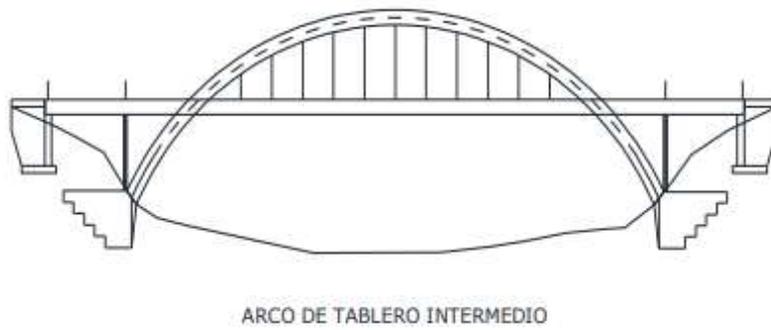
Arco de tablero superior



Nota. Adaptada del Manual de Puentes (2018).

Figura 5

Arco de tablero intermedio



Nota. Adaptada del Manual de Puentes (2018).

Figura 6

Arco de tablero inferior



Nota. Adaptada del Manual de Puentes (2018).

Figura 7

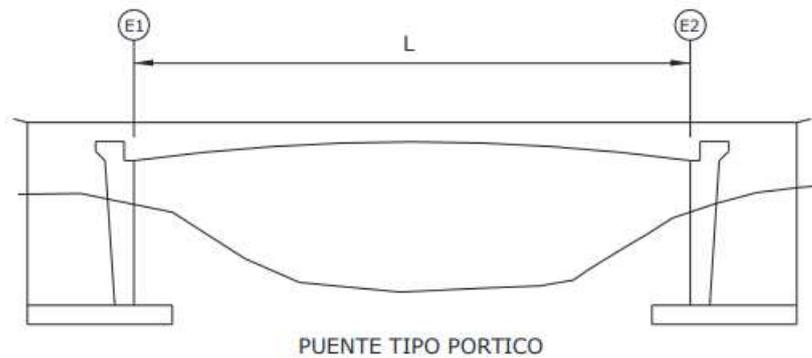
Pórtico de columnas inclinadas



Nota. Adaptada del Manual de Puentes (2018).

Figura 8

Puente tipo pórtico

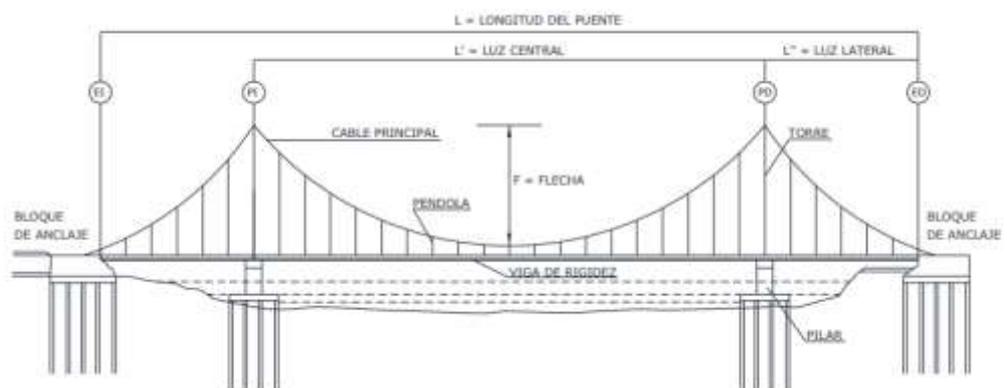


Nota. Adaptada del Manual de Puentes (2018).

Puentes suspendidos, los puentes colgantes pueden diseñarse suspendidos, atirantados o con un híbrido de ambos sistemas (MTC, 2018).

Figura 9

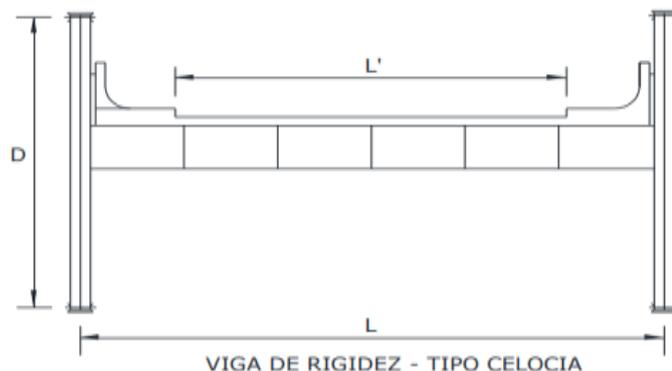
Puente suspendido



Nota. Adaptada del Manual de Puentes (2018).

Figura 10

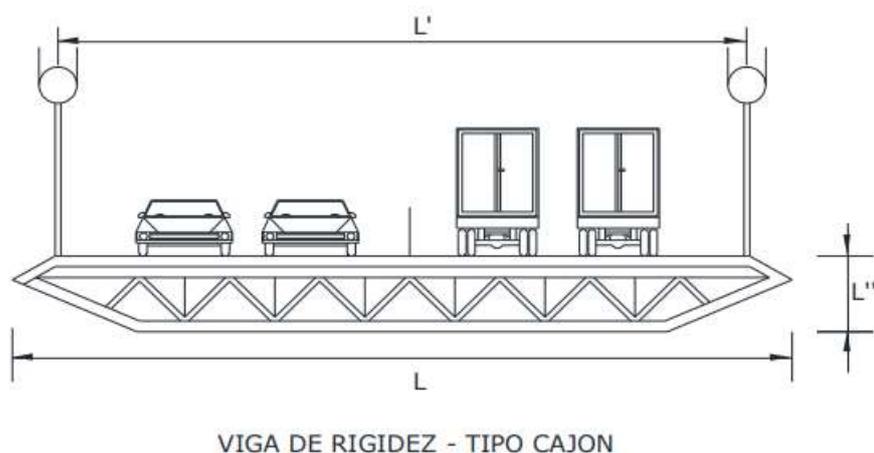
Sección transversal de viga de rigidez tipo celocia



Nota. Adaptada del Manual de Puentes (2018).

Figura 11

Sección transversal de viga de rigidez tipo cajón



Nota. Adaptada del Manual de Puentes (2018).

d) Según la geometría en planta

Pueden tener distintas formas, como rectos, curvos o con una configuración en forma de S.

e) Según el tiempo de vida

Los puentes definitivos debes ser diseñado considerando una vida útil de 75 años (MTC, 2018).

Los puentes temporales son los puentes cuya vida útil se limita a un máximo de 5 años, en el caso de estos puentes, se pueden emplear otras soluciones estructurales con menos redundancia como apoyo

simple, siempre y cuando se considere el factor de redundancia, los materiales utilizados en estos puentes deben cumplir con las especificaciones establecidas por la entidad correspondiente en cada caso (MTC, 2018).

f) Según el diseño sísmico

Se deben clasificar los puentes en 3 categorías según la importancia (MTC, 2018).

Los puentes esenciales están destinadas principalmente al paso de vehículos de emergencia o con fines de seguridad y defensa, y deben activarse rápidamente tras un terremoto (MTC, 2018).

Los puentes críticos deben mantenerse accesibles para permitir el paso de todos los vehículos tras un terremoto, estos puentes están diseñados para proporcionar una vía de emergencia en situaciones de seguridad y defensa inmediatamente después de un terremoto significativo, con un periodo de recuperación estimado en 2500 años (MTC, 2018).

Se menciona como otros puentes los que no se consideran esenciales ni críticos deben ser evaluados en función de los efectos provocados por los sismos (MTC, 2018).

2.2.4. PUENTE TIPO LOSA

El puente tipo losa se refiere a una estructura de puente que utiliza una losa de concreto armado como elemento principal de carga, la losa se extiende a lo largo del ancho del puente y se apoya en vigas o pilares para distribuir el peso de la carga vehicular, este tipo de puente es comúnmente utilizado en carreteras y vías férreas, llegando a cubrir entre 10 a 12 metros. (MTC, 2018)

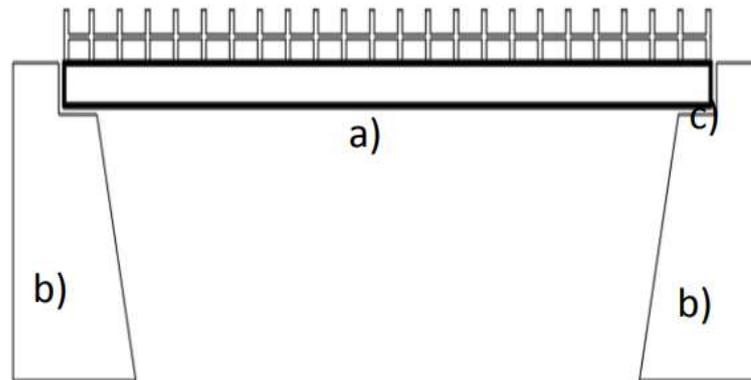
Está conformado por 3 elementos:

- a) Tablero

- b) Estribos
- c) Cajuela

Figura 12

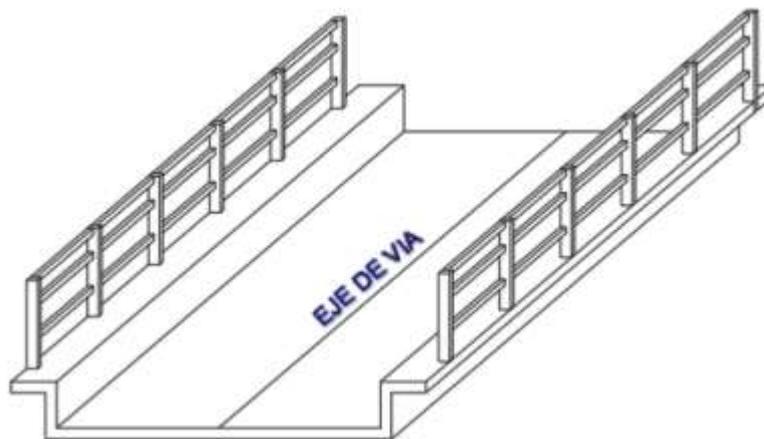
Elementos del puente tipo losa



Nota. Adaptada de “Diseño de un puente tipo losa y un puente viga losa hasta 20m de luz, en el distrito de Chilca-2017”, Rodríguez, M. 2019. Universidad Continental. p33.

Figura 13

Vista isométrica del puente tipo losa



Nota. Adaptada de “Diseño de un puente tipo losa y un puente viga losa hasta 20m de luz, en el distrito de Chilca-2017”, Rodríguez, M. 2019. Universidad Continental. p33.

Cada diseño de puente tiene un comportamiento estructural diferente, pero en este caso, la losa realiza la función vital de soporte de carga y sólo se apoya en los estribos de los extremos del puente, como estos estribos distribuyen uniformemente el peso, asumiendo la mitad de

la carga cada uno, y luego transmiten estas cargas al suelo, es crucial que el suelo tenga suficiente capacidad portante para soportar todo el peso de la estructura (Rodríguez, 2019).

Según Apaza (2000) existen tres clasificaciones principales para los puentes tipo losa, los puentes de losa simple se apoyan únicamente en sus estribos o pilas, y están formados por una o varias secciones de losa, puentes de losa continua atraviesan tres o más puntos de apoyo sin apoyarse en ellos, pueden ser de espesor uniforme o variable y losas de pórtico, que tienen una losa ininterrumpida que está firmemente unida a sus apoyos, el espesor de la losa de este tipo de puentes puede variar, a excepción de las situaciones en las que las luces son inferiores a 6 metros, en cuyo caso se aplica un espesor estándar.

2.2.5. MÉTODO LRFD (LOAD AND RESISTENCE FACTOR DESIGN)

Es un enfoque de diseño utilizado en el Manual de Puentes del MTC, que se basa en el método LRFD (Load and Resistance Factor Design). Esta metodología, publicada por primera vez en junio de 1994, utiliza factores de carga y resistencia para el diseño de puentes.

El análisis elastoplástico se utiliza para determinar los componentes estructurales en los estados límite de resistencia y en relación con otros sucesos graves en este método de diseño basado en probabilidades. Este enfoque pretende reducir los costes de construcción aprovechando al máximo la ductilidad del material. El objetivo es disminuir la resistencia mediante un factor de reducción de la resistencia mientras se aumentan las cargas aplicadas mediante un factor de modificación de la carga.

La mejor descripción de este principio de la filosofía LRFD es la siguiente:

$$n * \sum y_i * Q_i \leq \phi * R_n = R_r$$

Para garantizar un alto grado de seguridad constante en el diseño de nuevos puentes, los factores de carga se han modificado mediante pruebas de diseño (MTC, 2018)

2.2.6. ESTADOS LÍMITE

Se requiere que cada componente y conexión de un puente satisfaga la ecuación $\sum \eta_i \gamma_i Q_i \leq \phi R_n = R_r$ para cada estado límite. En los estados límite de servicio y eventos extremos, a excepción de los tornillos y columnas de hormigón, se considera un coeficiente de resistencia de 1.0. Los requisitos de las normas actuales se aplican en función de la zona sísmica, y todos los estados límite tienen la misma importancia.

En el margen de seguridad de un puente influyen significativamente la ductilidad, la redundancia y la importancia operativa; la ductilidad y la redundancia están estrechamente relacionadas con la resistencia física, mientras que la importancia operativa se refiere a lo que ocurre si el puente está fuera de servicio (American Association of State Highway and Transportation Officials [AASHTO], 2020).

2.2.6.1. ESTADOS LÍMITES DE SERVICIO

Según AASHTO (2020) en circunstancias típicas de servicio, los estados límite de servicio se tomarán como restricciones de tensión, deformación y anchura de fisura.

2.2.6.2. ESTADOS LÍMITES DE FATIGA Y FRACTURA

Según AASHTO (2020) el estado límite de fatiga debe leerse como los límites del rango de esfuerzos debidos a un único vehículo de diseño que sucede en el número previsto de ciclos del rango de esfuerzos, y los parámetros de tenacidad del material de las normas de materiales AASHTO deben interpretarse como el estado límite de fractura.

2.2.6.3. ESTADOS LÍMITES DE RESISTENCIA

Según AASHTO (2020) para que un puente pueda soportar las combinaciones de carga estadísticamente significativas que se prevé que experimente a lo largo de su vida útil de diseño, se debe proporcionar resistencia y estabilidad tanto local como global.

2.2.6.4. ESTADOS LÍMITES DE EVENTO EXTREMO

Según AASHTO (2020) cuando un puente colisiona con un vehículo, un buque o un témpano de hielo, tal vez en circunstancias de socavación, debe utilizarse el estado límite de evento severo para garantizar su supervivencia estructural.

2.2.7. DUCTILIDAD

Según AASHTO (2020) explica cómo los elementos estructurales o las conexiones pueden comportarse de una de estas dos maneras tras alcanzar el límite elástico frágil o dúctil, el comportamiento frágil es indeseable porque implica una pérdida repentina de la capacidad de carga, el comportamiento dúctil se caracteriza por una deformación inelástica significativa, que indica la capacidad de la estructura para soportar cargas reducidas sin colapsarse.

Según las especificaciones de AASHTO (2020) para piezas y conexiones no dúctiles, n_D debe ser mayor o igual a 1.05, n_D debe ser igual a 1.00 para los diseños y detalles convencionales que cumplan las normas, n_D debe ser mayor o igual a 0.95 para piezas y conexiones que superen los requisitos de las normas para la mejora de la ductilidad y el valor de n_D para todos los demás estados límites se fijan en 1.00.

2.2.8. REDUNDANCIA

Según AASHTO (2020) es la capacidad de la estructura de un puente para seguir soportando cargas, aunque una o varias de sus partes se dañen o fallen.

En las directrices de la AASHTO (2020) se establecen los siguientes valores para el estado límite de resistencia, para elementos no redundantes, el valor de nR debe ser mayor o igual a 1.05, se requiere que nR sea igual a 1.00 para niveles estándar de redundancia, nR debe ser mayor o igual a 0.95 para niveles extremos de redundancia y el valor de nR se fija en 1.00 para todos los demás estados límite.

2.2.9. IMPORTANCIA OPERATIVA

Según AASHTO (2020) deben clasificar las personas encargadas de la red de transporte afectada y familiarizadas con sus requisitos de explotación, diferentes propietarios y redes pueden tener diferentes definiciones de prioridad operativa.

Inmediatamente después del evento de diseño, los puentes que deban utilizarse con fines de defensa, económicos y de seguridad vital secundaria también deben ser accesibles a los vehículos de emergencia, después de una inspección, todo el tráfico debe poder utilizar los puentes (AASHTO, 2020).

Puentes que, como mínimo, deben estar disponibles para todo el tráfico pocos días después del suceso de diseño, así como para los vehículos de emergencia y otros vehículos necesarios por motivos de seguridad, defensa o económicos. disponibles para todo el tráfico pocos días después del suceso de diseño (AASHTO, 2020).

Las siguientes normas para el estado límite de resistencia se definen de acuerdo con las recomendaciones de la AASHTO (2020) en el caso de puentes importantes o cruciales, nI debe ser mayor o igual a 1.05, normalmente, nI se fija en 1.00 para los puentes, nI debe ser mayor o igual a 0.95 para puentes sustancialmente menos significativos y el valor de nI se fija en 1.00 para todos los demás estados límite.

2.2.10.ETAPAS DE ELABORACIÓN DE LOS MAPAS DE RIESGO

Se clasifican en tres:

2.2.10.1. CARGAS PERMANENTES

Estas acciones son las que, o bien permanecen en gran medida invariables en toda la estructura, o bien cambian exclusivamente en un sentido hasta un punto determinado, este grupo de comportamientos incluye el peso propio de los componentes estructurales, así como las tensiones estáticas adicionales provocadas por el peso de las superficies de rodadura, el balasto, los carriles y las traviesas, también se consideran cargas permanentes el empuje de tierras, la sobrecarga de tierras y la fricción superficial negativa. (AASHTO, 2020).

2.2.10.2. CARGAS VARIABLES

Estas cargas presentan variaciones frecuentes y grandes con respecto a su valor medio, además del peso de los vehículos y las personas, las cargas variables también incluyen variaciones en la presión del agua y la presión secundaria, cambios de temperatura, actividad sísmica, acción del viento y fuerzas aplicadas durante la construcción, los efectos dinámicos como las fuerzas de frenado y aceleración, la fuerza centrífuga y las fuerzas laterales de la carretera también se incluyen en esta categoría (AASHTO, 2020).

2.2.10.3. CARGAS EXCEPCIONALES

Se refieren a sucesos poco probables que el diseñador debe tener en cuenta en algunas circunstancias a pesar de su baja probabilidad de ocurrir, estos sucesos pueden estar causados por llamas, explosiones o choques (AASHTO, 2020).

2.2.11.CARGAS PERMANENTES

2.2.11.1. CARGAS MUERTAS: DC, DW Y EV

Las partes no estructurales, como aceras, escalones, balasto, barandillas, muelles, tuberías y cables, se incluyen en la carga muerta (DW), el peso propio (DC) debe calcularse y la carga estática utilizando las medidas indicadas en la figura siguiente, debe tenerse en cuenta el valor medio del peso específico asociado para cada ejemplo (AASHTO, 2020).

Tabla 1

Pesos específicos de algunos materiales

Material		Unidad de peso (Kcf)
Aleaciones de aluminio		0.175
Superficies de desgaste bituminosas		0.140
Hierro fundido		0.450
Relleno de ceniza		0.060
Arena, limo o arcilla compactado		0.120
	Ligero	0.110
	Liviano	0.120
Concreto	Con peso normal $f'c \leq 5.0 \text{ ksi}$	0.145
	Con peso normal $5.0 < f'c \leq 15.0 \text{ ksi}$	$0.140 + 0.001f'c$
Área, 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	0.064
Artículo		peso por unidad de longitud (klf)
Rieles de tránsito, unión y fijación por pista		0.200

Nota. Adaptada del Manual de Diseño de Puentes (2018).

2.2.12.CARGAS VARIABLES

2.2.12.1. CARGAS DURANTE LA ETAPA DE CONSTRUCCIÓN

Para reducir la posibilidad de efectos positivos no deseados, es importante planificar la colocación de todas las cargas permanentes o temporales en cada fase del proceso de construcción para tener en cuenta posibles errores o imprecisiones, también debe prever reducciones parciales de la carga estática durante la construcción o debido a trabajos de reconstrucción posteriores, la documentación técnica debe ofrecer una secuencia de construcción precisa e inequívoca si así lo requieren las especificaciones de diseño (AASHTO, 2020).

2.2.12.2. CARGAS VIVAS DE VEHÍCULOS

a) Número de carriles

El diseño de carril suele determinarse teniendo en cuenta diversas condiciones, como la anchura libre del carril ($w/12$) entre bordillos, aceras y obstáculos, medida en pies, es importante tener en cuenta los posibles cambios futuros en las características físicas o funcionales de los vehículos que utilizarán la carretera, cuando el ancho del carril de tráfico es inferior a 12 pies, el número de carriles de diseño debe ser igual al ancho del carril de diseño y al ancho del tráfico (AASHTO, 2020).

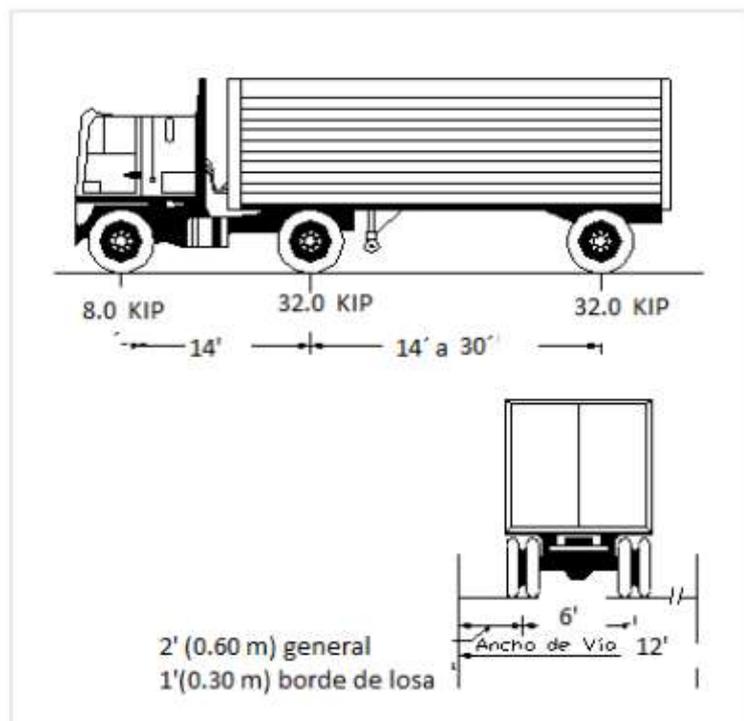
b) El camión de diseño

Para determinar la deflexión se utilizará el mayor valor determinado únicamente por el camión de diseño o el total de la sobrecarga distribuida más el 25% del camión de diseño, se lleva a cabo utilizando la carga viva especificada HL-93, que consta de las combinaciones de diseño del camión, diseño de la carga en tándem y diseño de la carga distribuida, sólo se tiene en cuenta la carga adecuada al diseño del vehículo en el caso del estado límite de fatiga (AASHTO, 2020).

La carga por eje y la separación entre los ejes se representan en el diagrama siguiente. La distancia máxima de colisión entre las limitaciones de 14 pies (4,27 m) y 30 pies (9,14 m) se determinará como 32,0 kips (14,55 tn) entre los dos ejes. Para tener en cuenta los impactos dinámicos, se ampliará el diseño de la carga del camión (AASHTO, 2020).

Figura 14

Características del camión de diseño



Nota. Adaptada del Manual de diseño de puentes MTC (2018).

c) Tandem de diseño

La serie de diseño debe tener dos ejes, cada uno con una capacidad de carga de 25 kip (11,4 tn), colocados a 1,2 m (4 pies) de distancia, la distancia lateral entre las ruedas de cada eje debe ser de 1,8 m (AASHTO, 2020).

d) Carril de diseño

En aquellas zonas del puente en las que se produzca un impacto indeseable, deberá imponerse una sobrecarga uniformemente distribuida de 954 kgf/m en la dirección longitudinal,

esta sobrecarga se considerará uniformemente distribuida a lo largo de una anchura de 3,00 m en la dirección transversal, en las regiones en las que se sitúe el camión o el tándem de diseño, también deberá utilizarse esta sobrecarga; en este caso no deberán tenerse en cuenta los efectos dinámicos (AASHTO, 2020).

e) Área de contacto de neumáticos

Independientemente de que una rueda tenga un neumático o dos, se considerará que la zona de contacto tiene forma rectangular y mide 20 pulgadas (0,5 m) de ancho y 10 pulgadas (0,25 m) de largo entre los ejes, la presión aplicada al neumático por esta área de contacto será uniforme, y se considerará que la distribución de la presión del neumático es la siguiente, se supondrá que la rueda delantera tiene una forma rectangular recta con una anchura y una longitud de 10 pulgadas, especificándose el área de contacto real en función de la relación entre el área de contacto, para la superficie ortotrópica, y el área de contacto prescrita, en una superficie continua, la presión debe distribuirse uniformemente a lo largo del área de contacto prescrita; en una superficie discontinua, la presión debe distribuirse uniformemente a lo largo del área de contacto real de la banda de rodadura, lo que aumenta la presión (AASHTO, 2020).

f) Presencia múltiple de sobrecargas

El estado límite de fatiga del camión previsto está exento de este requisito, el esfuerzo límite correspondiente a cada posible combinación de carriles de carga debe multiplicarse por el factor de presencia múltiple, independientemente del número de carriles diseñados, cuando la condición de carga incluya una combinación de carga peatonal y uno o más carriles de sobrecarga, la carga peatonal podrá considerarse como un carril de carga a la hora de determinar el número de carriles (AASHTO, 2020).

Tabla 2*Factor de presencia múltiple*

Número de vías cargados	Factor de presencia múltiple, m
1	1.20
2	1.00
3	0.85
>3	0.65

Nota. Adaptada del Manual de diseño de puentes MTC (2018).

2.2.12.3. APLICACIÓN DE LAS CARGAS VIVAS VEHICULARES

a) Ubicación de cargas en dirección longitudinal

La ubicación de la carga en dirección longitudinal implica una carga continua o intermitente en el puente, ya que es más crítica para el efecto de investigación (AASHTO, 2020).

Según AASHTO (2020), se utilizará el tándem de diseño más la carga distribuida y los camiones se diseñarán considerando cargas distribuidas., la distancia entre ejes de 32,0 kips (14,55 tn) se tomará como la distancia que produce los efectos adversos más significativos en cada caso.

El momento flector negativo entre los puntos de inversión de flexión bajo la carga uniforme de cada sección y la fuerza de reacción de los pilares interiores representa el 90% de la tensión generada por los dos camiones de diseño (AASHTO, 2020).

Se colocarán dos camiones de diseño en vanos vecinos para proporcionar la mayor tensión para cada camión de 32,0 kip (14,55 tn), con una distancia de 4,27 m (14 pies) entre ejes, además del 90% del peso aportado por el carril de diseño, el eje final del primer vehículo se encuentra a una distancia mínima de 15 m (50 pies) del eje del camión siguiente (AASHTO, 2020).

b) Ubicación de las cargas en dirección transversal

Según AASHTO (2020) en cuanto a la colocación de las cargas laterales, los carriles de diseño con un ancho de carga de 3,00 m (10,0 pies) por carril deben colocarse de forma que provoquen cargas severas, el camión y el tándem de diseño deben colocarse horizontalmente de forma que el centro de la carga de las ruedas no sea inferior.

Para el diseño de un voladizo de tablero, la distancia desde la superficie de la barandilla o sardinel debe ser 0,30 m, y para todos los demás componentes, la distancia debe ser de 0,60 m, a menos que se especifique lo contrario, la longitud del carril de diseño o el segmento del carril de diseño que causa la tensión excesiva en cuestión debe ser capaz de soportar la carga del carril de diseño (AASHTO, 2020).

2.2.12.4. CARGA PARA LA EVALUACIÓN OPCIONAL DE LA DEFLEXIÓN POR SOBRECARGA

Según AASHTO (2020) para calcular la deformación se utilizará la mayor entre la producida sólo por los camiones de diseño y el resultado obtenido teniendo en cuenta el 25% del camión de diseño y la carga del carril de diseño.

2.2.12.5. CARGAS DE DISEÑO PARA TABLERO

Según AASHTO (2020) sólo se aplicará a la losa superior del tablero del puente o de la alcantarilla rectangular la carga del camión de cálculo o del eje de la serie de cálculo cuando la losa esté sometida principalmente a cargas en dirección transversal, o cuando la losa esté sometida principalmente a cargas en dirección longitudinal, en todos los casos en que se utilice el método de la banda aproximada para analizar el tablero del puente y la losa de una alcantarilla rectangular.

2.2.13.CARGAS DE FATIGA

2.2.13.1. MAGNITUD Y CONFIGURACIÓN

Según AASHTO (2020) independientemente del número de carriles, se considerará la carga vertical de un único camión de diseño en la condición límite de fatiga; la carga es de 32,0 kips (14,55 tn) y la distancia fija entre los dos ejes es de 30,0 pies (9,14 m), para una variedad de fuerzas, incluidos los efectos dinámicos, el camión debe colocarse de forma que genere el mayor y el menor impacto sobre los elementos de carga verticales y horizontales, así como para tener en cuenta las condiciones de tráfico de los vehículos.

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

Puente tipo losa

Es un componente estructural donde el espesor es menor que sus otras dimensiones, las cargas aplicadas a la placa, incluido el peso de la placa misma, actúan perpendicularmente a su plano medio (Godínez, 2010).

Losa de tablero

Se refieren a las estructuras planas y horizontales que forman la superficie superior de un puente o plataforma elevada, estas losas son los principales componentes estructurales que dan soporte y carga a los vehículos y peatones en el puente (Godínez, 2010).

Estribos

Los estribos del puente son estructuras de soporte ubicados en ambos extremos del puente, cuya tarea principal es el soporte y la estabilidad de la superestructura del puente (Foster y Atran, 2001).

Pilares

Los pilares de puente son elementos estructurales verticales que se utilizan para soportar y transferir la carga desde la superestructura del puente hasta el suelo o los pilotes de cimentación. También conocidos como pilares

o pilares, aportan un papel crucial en la estabilidad y resistencia general del puente (Foster y Atran, 2001).

Calzada del puente

Una calzada de puente es la superficie de la estructura del puente que permite el paso de vehículos, peatones u otros medios de transporte. Es la parte superior del puente que está diseñada para transportar cargas y proporcionar una superficie segura y cómoda para correr (Foster y Atran, 2001).

Longitud del tablero

La longitud del tablero del puente se refiere a la distancia total medida a lo largo de la estructura del puente desde un extremo del tablero hasta el otro (Foster y Atran, 2003).

Luz de cálculo

La luz de cálculo del puente es la luz entre dos puntos de apoyo o la luz de un puente sobre la que se aplican cargas y se calculan los esfuerzos internos y las deformaciones de la estructura (Foster y Atran, 2003).

Luz del tramo del puente

La luz del tramo de un puente se refiere a la distancia horizontal entre los pilares del puente o los pilares que soportan una determinada parte del tablero del puente (Foster y Atran, 2003).

2.4. HIPÓTESIS

2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL

Hi: La propuesta del diseño de la superestructura del puente Huancanyacu aplicando el método LRFD mejora el comportamiento estructural, San Francisco de Cayrán - Huánuco - 2023

Ho: La propuesta del diseño de la superestructura del puente Huancanyacu aplicando el método LRFD no mejora el comportamiento estructural, San Francisco de Cayrán - Huánuco - 2023

2.5. VARIABLES

2.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE

Comportamiento estructural

Indicadores

- Longitud del puente
- Tipo de estructura
- Altura y ancho de tablero
- Configuración estructural
- Cargas permanentes
- Cargas variables
- Efectos de carga

2.5.2. VARIABLE INDEPENDIENTE

Método LRFD

Indicadores

- Factor de carga
- Estados límites
- Ductilidad
- Redundancia
- Importancia operativa

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 3

Operacionalización de variables

VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADOR	TIPO DE VARIABLE	ESCALA DE MEDICIÓN
V. independiente Método LRFD	Manual de puentes	<ul style="list-style-type: none"> • Factor de carga • Estados límites • Ductilidad • Redundancia • Importancia operativa 	Cuantitativa.	Discreta
V. dependientes Comportamiento Estructural	Geometría del puente	<ul style="list-style-type: none"> • Longitud del puente • Tipo de estructura • Altura y ancho de tablero • Configuración de apoyos 	Cuantitativa.	Discreta
	Cargas de diseño	<ul style="list-style-type: none"> • Cargas permanentes • Cargas variables • Efectos de carga 		Discreta

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. ENFOQUE

En el presente proyecto se utilizará un enfoque cuantitativo ya que, según Hernández et al. (2014), este método parte de una noción claramente definida a partir de la cual se crean los objetivos y preguntas de investigación, después de revisar la literatura, se establece un marco teórico o punto de vista, a partir de las preguntas se generan hipótesis, se eligen variables, se crea una estrategia para probarlas, se miden las variables en un entorno específico, se establece la mensurabilidad de los resultados y se presentan los resultados.

3.1.2. ALCANCE O NIVEL

El proyecto presenta un alcance o nivel descriptivo, dado que se va a describir los principios y procedimientos que se usan en el método LRFD para el diseño del puente losa.

3.1.3. DISEÑO

El proyecto presenta un diseño no experimental, ya que según Hernández et. al (2014) la investigación no puede dirigirse a una variable independiente cuyas expresiones son esencialmente no manipulables.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. POBLACIÓN

Según Arias (2012) menciona que es una característica del conocimiento científico, y como se trata de obtener conclusiones de forma adecuada, la investigación requiere una recopilación de elementos, personas e incluso documentos para el estudio de la investigación.

La población para esta investigación será el puente Huancanyacu en el distrito de San Francisco de Cayrán.

3.2.2. MUESTRA

La muestra de la investigación será representada por el puente Huancanyacu en el distrito de San Francisco de Cayrán, Provincia y Departamento de Huánuco.

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS.

3.3.1. PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

Según Mejía (2005) la forma más aceptable de medir suele ser la observación directa y metódica del comportamiento, el investigador selecciona el comportamiento de interés y desarrolla un método sistemático para localizarlo, clasificarlo y documentarlo en un entorno planificado o no planificado.

Con la definición realizada, se optará por la técnica de observación directa, esta técnica permite observar directamente el puente losa durante su funcionamiento, lo que permite una comprensión más profunda de su comportamiento estructural y las cargas que soporta.

Según Pineda et. al (1994) menciona que el instrumento es herramienta utilizada para recoger y registrar los datos adquiridos.

Para realizar una observación directa precisa y confiable, se utilizarán una variedad de instrumentos de medición y dispositivos especializados.

- Plantillas de Excel
- Plano de localización y ubicación
- Manual de puentes
- Manual de la norma AASHTO-LRFD
- Ficha de observación
- Laptop

3.3.2. PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS

Se hizo la visita al lugar de estudio, el cual está ubicado en el centro poblado Huancanyacu del distrito de San Francisco de Cayrán. Para la presentación de todos los datos se hizo uso de plantillas en el software Excel.

Tabla 4

Resumen de momentos flectores y criterios LRFD en la franja interior y de borde

Carga	Mo(+) ton-m	Factores de carga		
		Resistencia - I	Servicio - I	Fátiga - I
DC				
DW				
LL+IM				

Tabla 5

Resumen de efectos de aplicación de carga viva.

Efectos de aplicación de carga viva
Momento de camión de diseño
Momento de tandem de diseño
Momento de carril de diseño

Tabla 6

Resumen de reacciones máximas.

Reacción máxima
Reacción de camión de diseño
Reacción de tandem de diseño
Reacción de carril de diseño

3.3.3. PARA EL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS

Se utilizará la norma AASHTO LRFD para analizar e interpretar los datos recopilados durante la observación directa. Esta norma ha sido establecida como un estándar reconocido en el diseño y evaluación de puentes para garantizar la mayor seguridad y eficiencia estructural de las obras viales.

Se utilizarán plantillas creadas en Microsoft Excel para facilitar el análisis y presentación de los resultados. Estas plantillas permitirán realizar cálculos y simulaciones que cumplan con los estándares AASHTO LRFD. Además, se utilizarán tablas de resúmenes de Microsoft Excel para destacar los elementos clave del análisis realizado y presentar los resultados obtenidos para cada etapa del diseño del puente losa de manera clara y concisa.

Se cree que el software Microsoft Excel es especialmente adecuado para este proyecto porque puede procesar grandes cantidades de datos, realizar cálculos complejos y presentar resultados gráficos de manera organizada. Esto facilitará la toma de decisiones informadas en el proceso de diseño y garantizará una evaluación adecuada del comportamiento estructural del puente de losa bajo diferentes condiciones de carga.

La combinación de la norma AASHTO LRFD y las herramientas de Microsoft Excel proporcionará un enfoque completo para el análisis y diseño del puente de losa, garantizando su seguridad, durabilidad y eficiencia ante las cargas y demandas reales a las que estará expuesto durante su vida útil. Además, esta metodología permitirá realizar comparativas y optimizaciones para obtener una solución estructural ideal que cumpla con los requisitos técnicos y normativos establecidos.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS

4.1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El puente de Huancanyacu se encuentra actualmente a 5km de la Plaza Mayor del distrito de San Francisco de Cayrán sobre el río Huancachupa con un ancho de cauce de 12.00 m, el área del proyecto es una superficie plana, pero con una fuerte pendiente por debajo del puente.

Los meses donde ocurre una mayor precipitación son enero, febrero y marzo, cuando la cantidad de precipitaciones varía entre 100 a 690 mm.

Actualmente, el puente Huancanyacu está situado sobre el río Huancachupa, que tiene un ancho de cauce de 12,00 m, a 5 km de la plaza central del distrito de San Francisco de Cayrán. Aunque la zona del proyecto es llana, la pendiente bajo el puente es bastante pronunciada. Los tres meses con mayor precipitación donde el total oscila entre 100 y 690 mm son enero, febrero y marzo.

4.1.2. DISEÑO DEL PUENTE

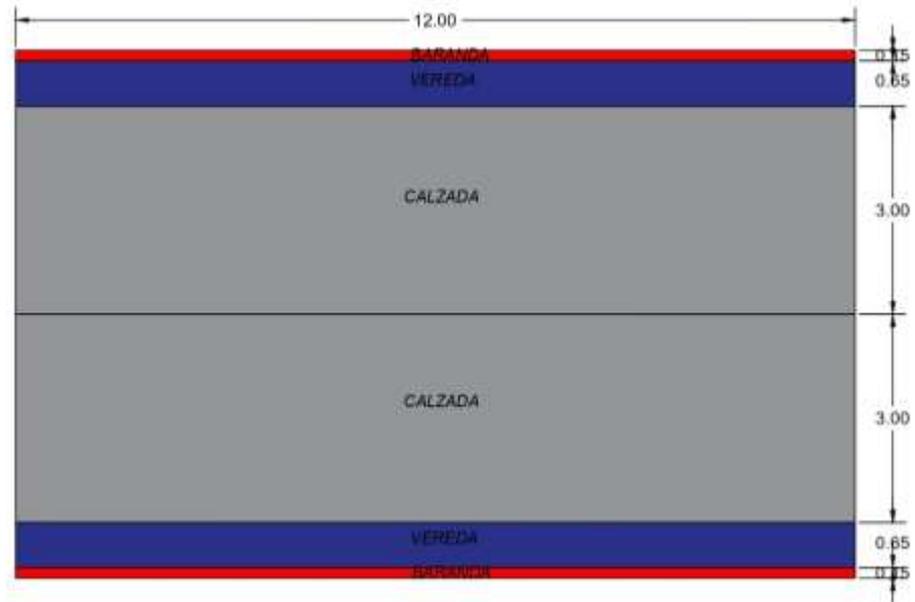
➤ Geometría del puente

Se detallará las características geométricas principales del diseño del puente losa.

- Longitud del puente : 12 m
- Ancho de puente : 8 m
- Barandas : 0.15 m
- Veredas : 0.65 m
- Barrera : 0.2 m

Figura 15

Geometría del puente losa

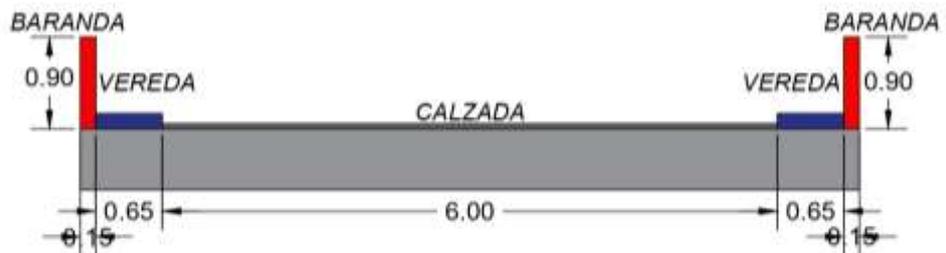


Comentario

En la figura 15 se muestra la vista en planta de la geometría del puente que se diseñará detalladamente aplicando el método LRFD.

Figura 16

Sección transversal del puente



Comentario

En la figura 16 se observa la sección transversal del puente que será diseñado mediante el método LRFD.

➤ **Factor de modificación de cargas**

El factor de modificación de cargas (n) está relacionado con la importancia operativa (n_i), la ductilidad (n_D) y la redundancia (n_R).

$$n = n_i n_D n_R \geq 0.95$$

Se tomarán los siguientes estados límites.

$$n_i = 1.00$$

$$n_D = 1.00$$

$$n_R = 1.00$$

$$n = 1.00 \geq 0.95$$

Por lo tanto, el factor de modificación de cargas es igual a 1.00.

➤ **Propiedades de los materiales**

Los materiales que se emplearán tienen las siguientes propiedades:

- f'_c : 280 kg/cm²
- f'_y : 4200 kg/cm²
- Espesor de la carpeta asfáltica : 0.05 m
- Espesor de vereda : 0.15 m
- Peso específico del asfalto γ_a : 2200 kg/m³
- Peso específico del concreto γ_c : 2400 kg/m³
- Módulo de elasticidad (E_c) : 2.1x10⁶ kg/cm²

➤ **Predimensionamiento de losa**

Según el Manual de Puentes recomienda pre-dimensionar las losas de tramos simples según se detalla a continuación:

$$t_{min} = \frac{1.2(L + 3000)}{30} = 0.6m$$

➤ **Efectos de carga permanente**

La franja o banda interior y la franja o banda de borde, que se comportan como una losa maciza unidireccional, son dos partes de la superestructura de un puente de los que se describen en el marco teórico, para medir la carga, se utilizará una longitud de aproximadamente 1 m.

a) Efectos de carga permanente en la franja interior

• **Metrado de cargas**

Carga muerta (W_{dc})

$$W_{dc} = 1 \times 0.6 \times 2.4 = 1.44 \text{ ton/m}$$

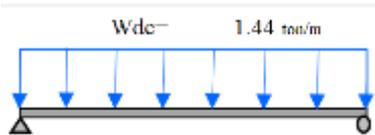
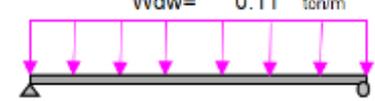
Carga asfalto (W_{dw})

$$W_{dw} = 1 \times e \times Pe \text{ (s.r)} = 0.11 \text{ ton/m}$$

• **Determinación de momentos**

Tabla 7

Resumen de momento de carga muerta y carga de asfalto

Idealización	Cortante	Momento
	<p>Carga muerta:</p> $V_{dc} = \frac{wl}{2} = 8.64 \text{ ton}$	<p>Carga muerta:</p> $M_{dc} = \frac{wl^2}{8} = 25.92 \text{ ton}$ <p style="text-align: right;">– m</p>
	<p>Carga asfalto:</p> $W_{dc} = \frac{wl}{2} = 0.66 \text{ ton}$	<p>Carga Asfalto:</p> $M_{dc} = \frac{wl^2}{8} = 1.97 \text{ ton}$ <p style="text-align: right;">– m</p>

Comentario

En la tabla 7 se tendrá el resumen de momentos de carga muerta y asfalto aplicado en la franja interior del puente.

b) Efectos de carga permanente en la franja de borde

• **Metrado de cargas**

Carga muerta (Wdc)

$$P.losa = 1 \times 0.6 \times 2.4 = 1.44 \text{ ton/m}$$

$$P.baranda = 1 \times 0.9 \times 2.4 = 2.16 \text{ ton/m}$$

$$P.vereda = 1 \times 0.15 \times 2.4 = 0.36 \text{ ton/m}$$

Peso de baranda más vereda distribuido en Eb

$$P.(baranda + vereda)/Eb = 1.4 \text{ ton/m}$$

$$P.(losa + baranda + vereda) = 2.84 \text{ ton/m}$$

Carga Muerta por peso propio de asfalto (Carpeta Asfáltica)

$$P.losa = 1 * 0.05 * Pe = 0.11 \text{ ton/m}$$

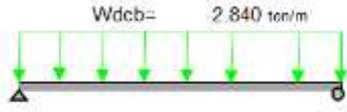
Peso de carpeta asfáltica

$$P(Asfalto) = 0.061 \text{ ton/m}$$

• **Determinación de momentos**

Tabla 8

Resumen de momento de carga muerta y carga de asfalto

Idealización	Cortante	Momento
	<p>Carga muerta:</p> $V_{dc} = \frac{wl}{2} = 17.04 \text{ ton}$	<p>Carga muerta:</p> $M_{dc} = \frac{wl^2}{8} = 51.12 \text{ ton} - m$
	<p>Carga asfalto:</p> $W_{dc} = \frac{wl}{2} = 0.37 \text{ ton}$	<p>Carga Asfalto:</p> $M_{dc} = \frac{wl^2}{8} = 1.1 \text{ ton} - m$

Comentario

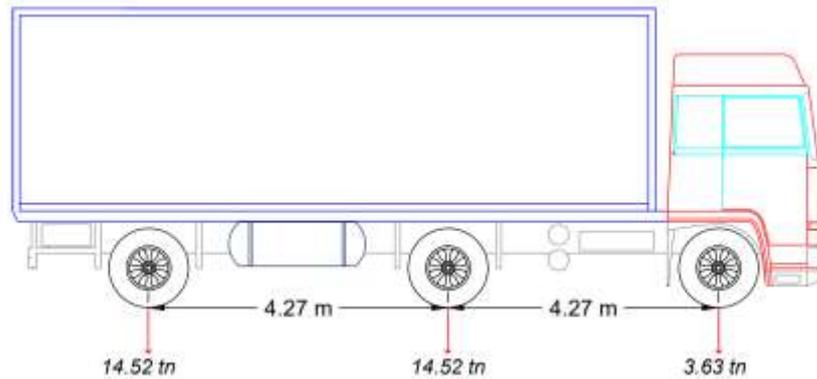
En la tabla 8 se tendrá el resumen de momentos de carga muerta y asfalto aplicado en la franja de borde del puente.

➤ **Cargas Variables**

a) Camión de diseño

Figura 17

Camión de diseño



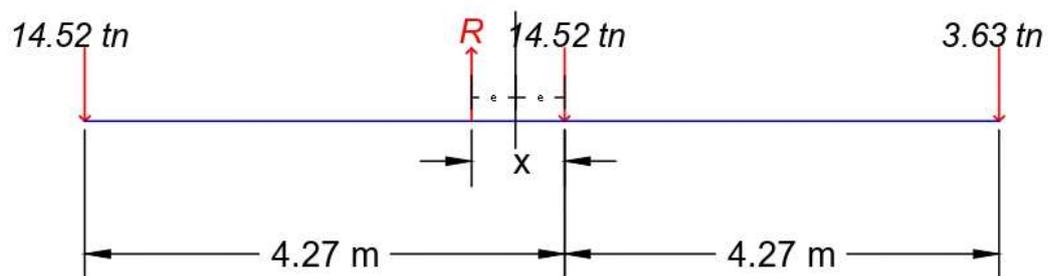
Comentario

En la figura 17 se observa la distribución de cargas del camión de diseño, el peso total del camión es $P_{total} = 32.67 \text{ tn}$.

Estimación del momento flector máximo: La distancia "x" del camión HL-93 se determina del siguiente modo:

Figura 18

Cálculo de X en el camión de diseño



Aplicando momentos en el extremo derecho.

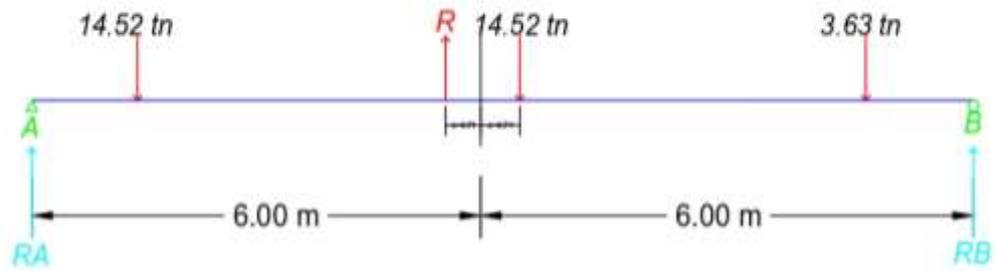
$$\sum M_0: 8.54(14.52) + 11.52(4.27) = R(4.27 + x))$$

$$x = 1.41$$

$$e = 0.71$$

Figura 19

Cálculo de reacciones de apoyos



Sumatoria de fuerzas.

$$R_A + R_B = 32.67$$

Aplicando momentos en A.

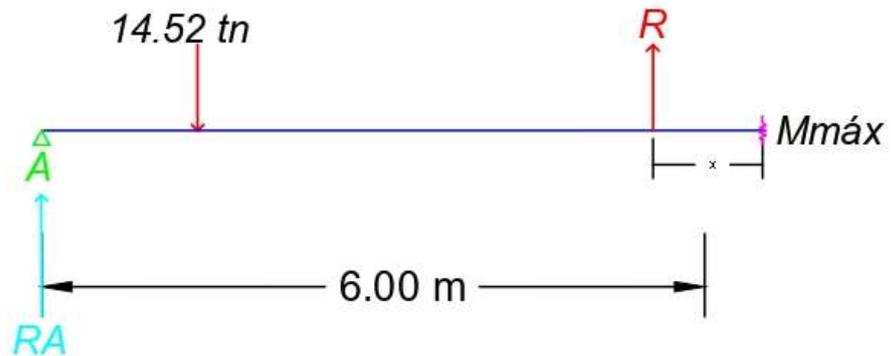
$$\sum M_A: 12R_B = 32.67(6 - 0.71)$$

$$R_B = 14.4 \text{ tn}$$

$$R_A = 18.27 \text{ tn}$$

Figura 20

Cálculo del momento máximo



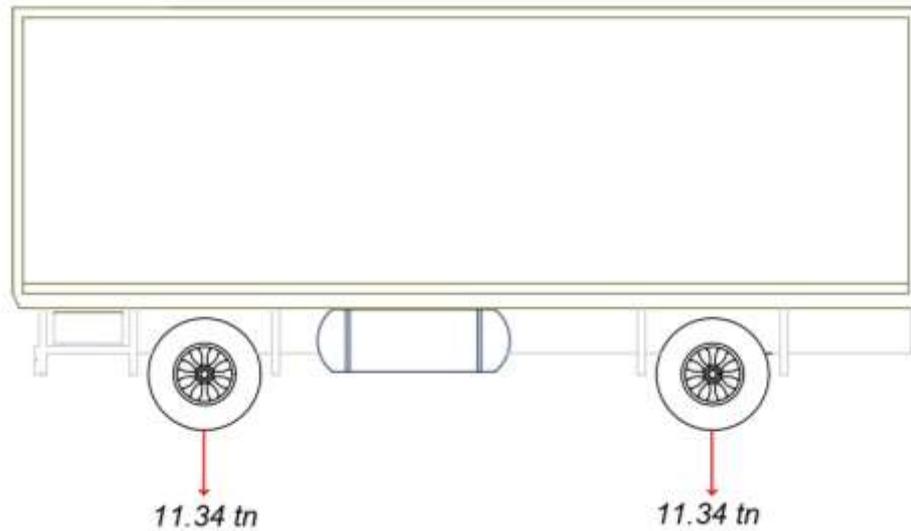
$$\sum M_{máx} = -M_{máx} + 18.27(6 + 0.71) - 14.52(4.27)$$

$$M_{máx} = 60.59 \text{ tn} - m$$

b) Tandem de diseño

Figura 21

Tandem de diseño



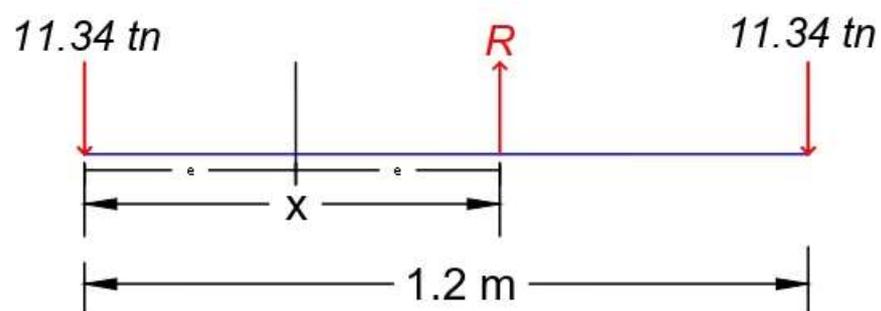
Comentario

En la figura 21 se observa la distribución de cargas del tandem de diseño, el peso total del tandem es de $P_{total} = 22.68 \text{ tn}$.

Estimación del momento flector máximo: La distancia "x" del tandem de diseño se determina del siguiente modo:

Figura 22

Cálculo de X en el tandem de diseño



Aplicando momentos en el extremo izquierdo.

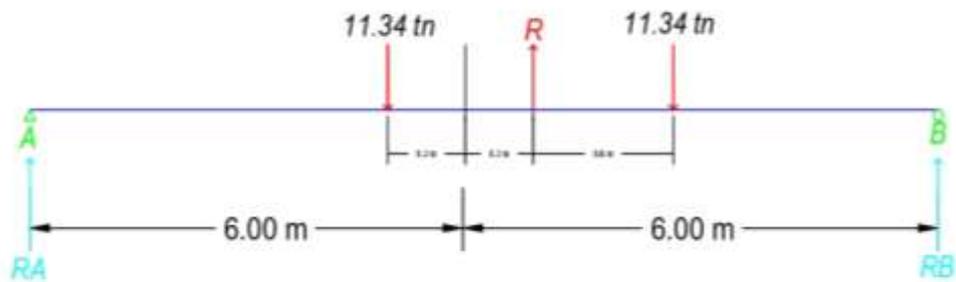
$$\sum M_0: x(R) = 1.2(11.34)$$

$$x = 0.6$$

$$e = 0.3$$

Figura 23

Cálculo de reacciones de apoyos



Sumatoria de fuerzas.

$$R_A + R_B = 22.68$$

Aplicando momentos en A.

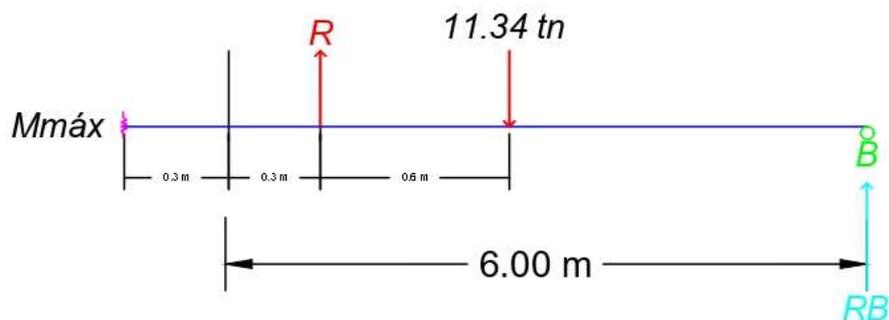
$$\sum M_A: 12R_B = 22.68(6 + 0.3)$$

$$R_B = 11.91 \text{ tn}$$

$$R_A = 10.78 \text{ tn}$$

Figura 24

Cálculo del momento máximo



$$\sum M_{máx}: M_{máx} = 11.91(6.3) - 11.34(1.2)$$

$$M_{máx} = 61.43 \text{ tn} - m$$

c) Carril de diseño

Figura 25

Carril de diseño

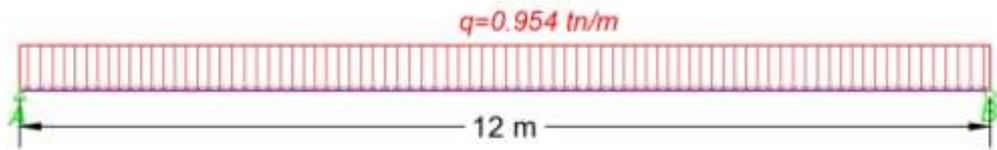
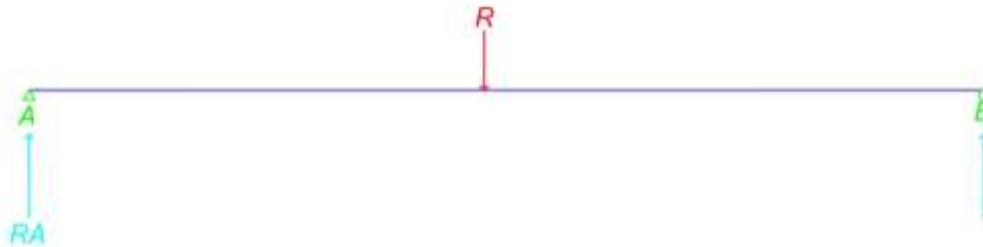


Figura 26

Cálculo de reacciones de apoyos



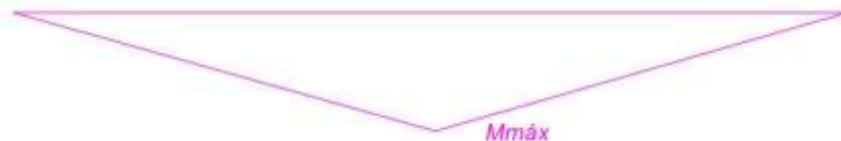
Se tiene del gráfico.

$$R_B = 5.72 \text{ tn}$$

$$R_A = 5.72 \text{ tn}$$

Figura 27

Cálculo del momento máximo



Se tendrá que el momento máximo se aplica en la mitad de la luz del puente

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{0.954(12)^2}{8}$$

$$M_{m\acute{a}x} = 17.17 \text{ tn} - m$$

Tabla 9

Resumen de efectos de aplicación de carga viva

Efectos de aplicación de carga viva	
Momento de camión de diseño	60.59 <i>tn - m</i>
Momento de tandem de diseño	61.43 <i>tn - m</i>
Momento de carril de diseño	17.17 <i>tn - m</i>

Comentario

En la tabla 9 se tendrá el resumen de momentos máximos de la carga viva, que servirán para el diseño.

Seleccionamos el resultado del momento crítico entre el camión de diseño y el tándem de diseño combinados, que se ve afectado por la fuerza de impacto adicional del 33% en el momento del carril (ya que es conservador).

$$M_{LL} = 1.33 * (61.43) + 17.17$$

$$M_{LL} = 98.87 \text{ tn} - m$$

Tabla 10

Resumen de reacciones máximas

Reacción máxima	
Reacción de camión de diseño	18.27 <i>tn</i>
Reacción de tandem de diseño	11.91 <i>tn</i>
Reacción de carril de diseño	5.72 <i>tn</i>

Comentario

En la tabla 10 se observa el resumen de momentos máximos de la carga viva, que servirán para el diseño.

➤ **Ancho de franja central**

Antes de comenzar el diseño, es importante conocer la anchura equivalente por carril, también conocida como anchura efectiva, que es la distancia que se reduce y sufre el impacto de la carga de las ruedas del camión. Para calcularla se evalúan dos condiciones, suponiendo que las fuerzas longitudinales se distribuyen uniformemente y producen la misma fuerza.

• **Ancho de franja para un carril cargado**

$$L = 12 \text{ m}$$

$$W = 7.6 \text{ m}$$

$$L_1: \text{Min}(12 \text{ m}, 60 \text{ ft}) = 12 \text{ m}$$

$$W_1: \text{Min}(7.6 \text{ m}, 30 \text{ ft}) = 7.6 \text{ m}$$

$$E = 10 + 5\sqrt{L_1 * W_1} = 166.66 \text{ in} = 4.2 \text{ m}$$

$$1.2E = 5.04$$

• **Ancho de franja para más de un carril cargado**

$$L = 12 \text{ m}$$

$$W = 7.6 \text{ m}$$

$$L_1: \text{Min}(12 \text{ m}, 60 \text{ ft}) = 12 \text{ m}$$

$$W_1: \text{Min}(7.6 \text{ m}, 30 \text{ ft}) = 7.6 \text{ m}$$

$$E = 84 + 1.44\sqrt{L_1 * W_1} = 129.12 \text{ in} = 3.3 \text{ m}$$

$$E \leq \frac{12W}{L} \text{ OK}$$

El ancho equivalente crítico es $E = 3.3 \text{ m}$

Por lo tanto, el momento de la carga viva es:

$$MLL + IM = \frac{98.87}{3.3} \text{ tn} - \text{m}$$

$$MLL + IM = 29.96 \text{ tn} - \text{m}$$

➤ **Ancho de franja de borde**

La estimación de ancho de borde el Manual de Diseño de Puentes recomienda aumentar 12 in (0.3 m) para puentes tipo losa y E/4, a su vez este ancho de borde debe ser menor o igual que 1.8m.

Sabiendo que $E=3.3$ m.

$$Eb = 0.15 + 0.65 + 0.3 + \frac{3.3}{4} = 1.93 \leq 1.8 \text{ m}$$

Por lo tanto:

$$Eb = 1.8 \text{ m}$$

Por lo tanto, el momento de la carga viva es:

$$MLL + IM = 1.2 * 0.5 * \left(\frac{98.87}{1.8}\right)tn - m$$

$$MLL + IM = 32.96 \text{ tn} - m$$

➤ Momentos de franja

Tabla 11

Tabla de momentos de franja central

Cargas	M(tn-m)	Yp (Factores de carga)		
		Resistencia-I	Servicio-I	Fatiga-I
DC	25.92	1.25	1.00	0.00
DW	1.97	1.5	1.00	0.00
LL+IM	29.96	1.75	1.00	1.5

Comentario

En la tabla 11 se presenta el resumen de momentos de franja central que fueron hallados anteriormente y los factores de carga que serán multiplicados.

- Resistencia - I

$$Mu = n(1.25DC + 1.5DW + 1.75(MLL + IM))$$

- Servicio - I

$$Mu = n(DC + DW + (MLL + IM))$$

- Fatiga - I

$$Mu = n(1.5(MLL + IM))$$

Tabla 12*Momentos de franja de borde*

Cargas	M(tn-m)	Yp (Factores de carga)		
		Resistencia-I	Servicio-I	Fatiga-I
DC	51.12	1.25	1.00	0.00
DW	1.1	1.5	1.00	0.00
LL+IM	32.96	1.75	1.00	1.5

Comentario

En la tabla 12 se presenta el resumen de momentos de franja de borde que fueron hallados anteriormente y los factores de carga que serán multiplicados.

- Resistencia - I

$$M_u = n(1.25DC + 1.5DW + 1.75(MLL + IM))$$

- Servicio - I

$$M_u = n(DC + DW + (MLL + IM))$$

- Fatiga - I

$$M_u = n(1.5(MLL + IM))$$

➤ **Diseño de tablero**

Para el diseño del tablero se encuentra en el Anexo 4, que fue diseñado mediante hojas de cálculo de Excel.

Tabla 13*Resumen de momentos de franja de borde*

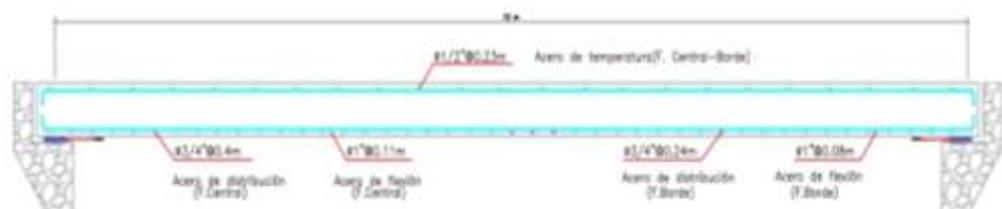
Refuerzo	Franja Central	Franja de borde
Acero de temperatura	Ø 1/2" @ 0.23 m	Ø 1/2" @ 0.23 m
Acero de distribución	Ø 3/4" @ 0.40m	Ø 3/4" @ 0.24 m
Acero a flexión	Ø 1" @ 0.11 m	Ø 1" @ 0.08 m

Comentario

En la tabla 13 se presenta el resumen del diseño de refuerzo de acero que se presenta en el anexo 4.

Figura 28

Vista longitudinal de acero de refuerzo del puente



Comentario

En la figura 28 se muestra la vista longitudinal de los refuerzos de acero que fueron calculados.

4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS

H₁: La propuesta del diseño de la superestructura del puente Huancanyacu aplicando el método LRFD mejora el comportamiento estructural, San Francisco de Cayrán - Huánuco - 2023

En el momento del diseño del puente aplicando el método LRFD, se determinaron las cargas máximas que inciden sobre el puente y se aseguró que las resistencias de los componentes estructurales cumplen los requisitos de seguridad y mantenimiento establecidos. A su vez se establecieron las dimensiones, los materiales y la información de diseño correctos para que la estructura sea segura y pueda soportar las cargas esperadas durante su vida útil. Este método proporcionó un enfoque más racional y consistente en el diseño del puente, lo que permitió una mejor comprensión de las incertidumbres y los riesgos asociados con la carga y la resistencia, además contribuyó a la seguridad y confiabilidad de la construcción, por lo que definitivamente existe un mejoramiento en el comportamiento estructural, lo cual valida la hipótesis.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. PRESENTAR LA CONTRASTACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

La presente tesis titulada “PROPUESTA DE DISEÑO DE LA SUPERESTRUCTURA DEL PUENTE HUANCANYACU APLICANDO EL MÉTODO LRFD COMO MEJORA DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL, SAN FRANCISCO DE CAYRÁN – HUÁNUCO – 2023” donde el objetivo principal es utilizar el método LRFD para diseñar la superestructura del puente Huancanyacu.

Rodríguez (2019) en su tesis establece los estados límites de diseño, se utiliza la técnica AASTHO-LRFD para el análisis y diseño de ambos puentes, y se propone un vehículo denominado HL-93 como carga de diseño para la construcción de carreteras en Estados Unidos y otros países como Perú, en la investigación se utiliza la técnica LRFD, con los mismos estados límite, y sigue las mismas pautas y especificaciones que nuestro diseño, lo que conduce a un diseño preciso de la superestructura del puente.

Almirón (2021) menciona dado que el puente de Kitamayo es curvo, se diseñó siguiendo la forma de la carretera para que la transición no fuera brusca y no ocupara superficies mayores para su ubicación, dado que se siguió el procedimiento del método LRFD, se concluye que su diseño es adecuado, el puente Kitamayo está ubicado en el km 5+510 de la carretera Pisaq, se determinaron, predimensionaron y diseñaron sus cargas permanentes, según la norma AASHTO, el diseño aceptable de este tipo de estructuras tiene un ciclo de vida de 75 años, y nuestro proyecto demuestra un diseño adecuado, ya que se sigue al pie de la letra.

CONCLUSIONES

La determinación de las cargas permanentes y variables permitió realizar las comprobaciones oportunas, aplicando el diseño adecuado y produciendo un excelente comportamiento estructural.

Lograr un análisis y diseño correcto para el puente losa, es esencial seguir una metodología meticulosa, el Manual de Diseño de Puentes presenta aspectos que fueron adaptados del libro de LRFD BRIDGE DESIGN SPECIFICATIONS, el cual viene siendo usada en el Perú desde hace más de 70 años y por tal razón se usó en nuestro diseño de la superestructura del puente Huancanyacu.

Se obtuvieron las siguientes dimensiones de los elementos de xla superestructura del puente: espesor de losa de 0.6 m, ancho de calzada de 6 m, espesor de carpeta asfáltica 0.05m, altura de baranda 0.9 m, también se obtuvieron mediante cálculos manuales los momentos flectores de carga viva actuantes en el tablero dando un valor de momento máximo del camión de diseño de 60.59 tn-m, un momento máximo del tándem de diseño de 61.43 tn-m y un momento máximo de carril de diseño de 17.17 tn-m.

El diseño del refuerzo de acero se realizó mediante plantillas de Excel debido a que son cálculos muy laboriosos, siendo la parte central la zona más crítica dando un acero de temperatura $\varnothing 1/2'' @ 0.23\text{m}$, acero de distribución $\varnothing 3/4'' @ 0.4\text{m}$ y acero a flexión $\varnothing 1'' @ 0.11\text{m}$.

RECOMENDACIONES

Se recomienda para un diseño mediante el método LRFD considerar plenamente los factores de carga y de resistencia que están establecidos en el Manual de Diseño de Puentes que son valores establecidos internacionalmente en el libro de LRFD BRIDGE DESIGN ESPECIFICATIONS que harán que nuestro diseño presente un mejor comportamiento estructural, además siguiendo con totalidad hará que el puente cumple con su objetivo el cual es la intercomunicación entre los anexos del Centro Poblado de Huancanyacu para una vida de servicio de 75 años.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almirón Panti, L. (2021). *Propuesta de diseño bajo el método AASHTO- LRFD del puente Kitamayo en el km 5+510 de la carretera Písaq –Cusco, 2021*. Lima: Universidad César Vallejo.
- Apaza Herrera, P. (2000). *Introducción Al Diseño de Puentes en Concreto*. D´Luis.
- Arias, F. G. (2012). *El proyecto de investigación: Introducción a la metodología científica*. Episteme.
- Aronés Villavicencio, Á. P., & Cortés Anderson, C. V. (2018). *Evaluación estructural del puente Huaracane con las Especificaciones de Diseño de Puentes AASHTO LRFD 2012 y Norma Técnica Peruana Sismorresistente E.030 2016*. Moquegua: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Balestrini Acuña, M. (1997). *Como se Elabora el Proyecto de Investigación*. Caracas, Venezuela: BI Consultores Asociados.
- Cabello Carlos, C., & Gonzáles Martel, E. O. (2021). *Comportamiento Estructural de un puente en arco con tablero superior ante la variación de la relación flecha/luz del puente - Huánuco 2021*. Huánuco: Universidad Nacional Hermilio Valdizán.
- Chávez Espinel, J. F., & Lozano Novoa, H. M. (2021). *Comparativo de diseño de puentes de viga-losa en concreto y estructura de acero*. Bogotá: Universidad Piloto de Colombia.
- COMPUTERS & STRUCTURES inc. (2013). *CSi Analysis Reference Manual*. Estados Unidos: CSi.
- Delgado Castro, C., Rodríguez Rivas, R., & Verá Ávila, W. (2018). *Propuesta de puente aplicando el método de diseño AASHTO LRFD para la. Dominio de las Ciencias, 23*.
- Flores Peña, R., & More Durand, P. F. (2020). *Reconstrucción del puente San José tipo viga - losa en mejora de la conectividad entre los caseríos Tablazo Norte de la Unión y El Alto de la Cruz. La Arena - Piura. 2020*. Piura: Universidad César Vallejo.
- Foster, C., & Atran, T. (2001). *BRIDGE ENGINEERING HANDBOOK: SEISMIC DESIGN*. CRC Press.

- Foster, C., & Atran, T. (2003). *Bridge Engineering Handbook: Construction and Maintenance*. CRC Press.
- Godinez Melgares, G. (2010). *Diseño de losas de concreto armado para puentes carreteros*. México: Universidad Autónoma de Chihuahua.
- Gutiérrez Riveros, J. S., Rivera Hernández, F. N., & Trujillo Rodríguez, D. G. (2021). *Propuesta de diseño estructural del puente "Flandes - Parque Central" en el municipio de Pasca Cundinamarca mediante un diseño en losa maciza en concreto con vigas fundamentado en la Norma CCP-14*. Colombia: Universidad Piloto de Colombia.
- Hernandez Sampieri, R. (2014). *Metodología De La Investigación*. México.
- IGP. (2021). *Instituto Geofísico del Perú*. Obtenido de Instituto Geofísico del Perú: <https://www.gob.pe/igp>
- INDECI. (s.f.). *Instituto Nacional De Defensa Civil*.
- Latorre, A., Arnal Agustín, J., & Del Rincón, D. (2003). *Bases metodológicas de la investigación educativa*. España: Dialnet.
- Macedo Blas, K. N. (2018). *Evaluación estructural mediante el método LRFR en puentes de concreto y reforzamiento en el puente Chancay, distrito de Chancay, 2018*. Lima: Universidad César Vallejo.
- Martín Martín, H. (2021). *Comparativa de cálculo estructural entre dos softwares: ETABS Y SAP2000*. España-Valladolid: Universidad de Valladolid.
- Mejía, E. (2005). *Técnicas e instrumentos de investigación*. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Méndez Mena, H. A., & Torres Jarquín, J. A. (2017). *Diseño de superestructura y subestructura del puente La Vainilla por el método AASHTO LRFD 2010 con las cargas HS20- 44 + 25%*. Nicaragua: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2018). *Manual de puentes*. Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Ministerio de Vivienda, C. y., & SENCICO. (2019). *Reglamento Nacional de Edificaciones*. Lima-Perú.
- Rivera Hernández, F. N., Gutiérrez Riveros, J. S., & Trujillo Rodríguez, D. G. (2021). *Propuesta de diseño estructural del puente "Flandes – Parque Central" en el municipio de Pasca Cundinamarca mediante un diseño*

en losa maciza en concreto con vigas fundamentado en la norma CCP-14. Bogotá: Universidad Piloto de Colombia.

RNE. (2019). *NORMA E.020.* Obtenido de NORMA E.020: <https://ww3.vivienda.gob.pe/DGPRVU/docs/RNE/T%C3%ADtulo%20II%20Edificaciones/50%20E.020%20CARGAS.pdf>

RNE. (2019). *NORMA E.030.* Obtenido de NORMA E.030: <http://www3.vivienda.gob.pe/dgprvu/docs/RNE/T%C3%ADtulo%20III%20Edificaciones/51%20E.030%20DISENO%20SISMORRESISTENTE.pdf>

Rodriguez Hinojosa , M. K. (2019). *Diseño de un puente tipo losa y un puente viga losa hasta 20m de luz, en el distrito de Chilca-2017.* Huancayo: Universidad Continental.

Rodriguez Hinojosa, M. K. (2019). *Diseño de un puente tipo losa y un puente viga losa hasta 20m de luz, en el distrito de Chilca-2017.* Huancayo: Universidad Continental.

Rodriguez Serquén, A. (2016). *Puentes con AASHTO-LRFD (7th Edition).* Prometeo Desencadenado.

Tamayo y Tamayo, M. (2004). *El proceso de la investigación científica.* Limusa.

COMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Pereyra Vasquez, J. (2024). *Propuesta de diseño de la superestructura del puente Huancanyacu aplicando el método LRFD como mejora del comportamiento estructural, San Francisco de Cayrán – Huánuco – 2023* [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional UDH. <http://...>

ANEXOS

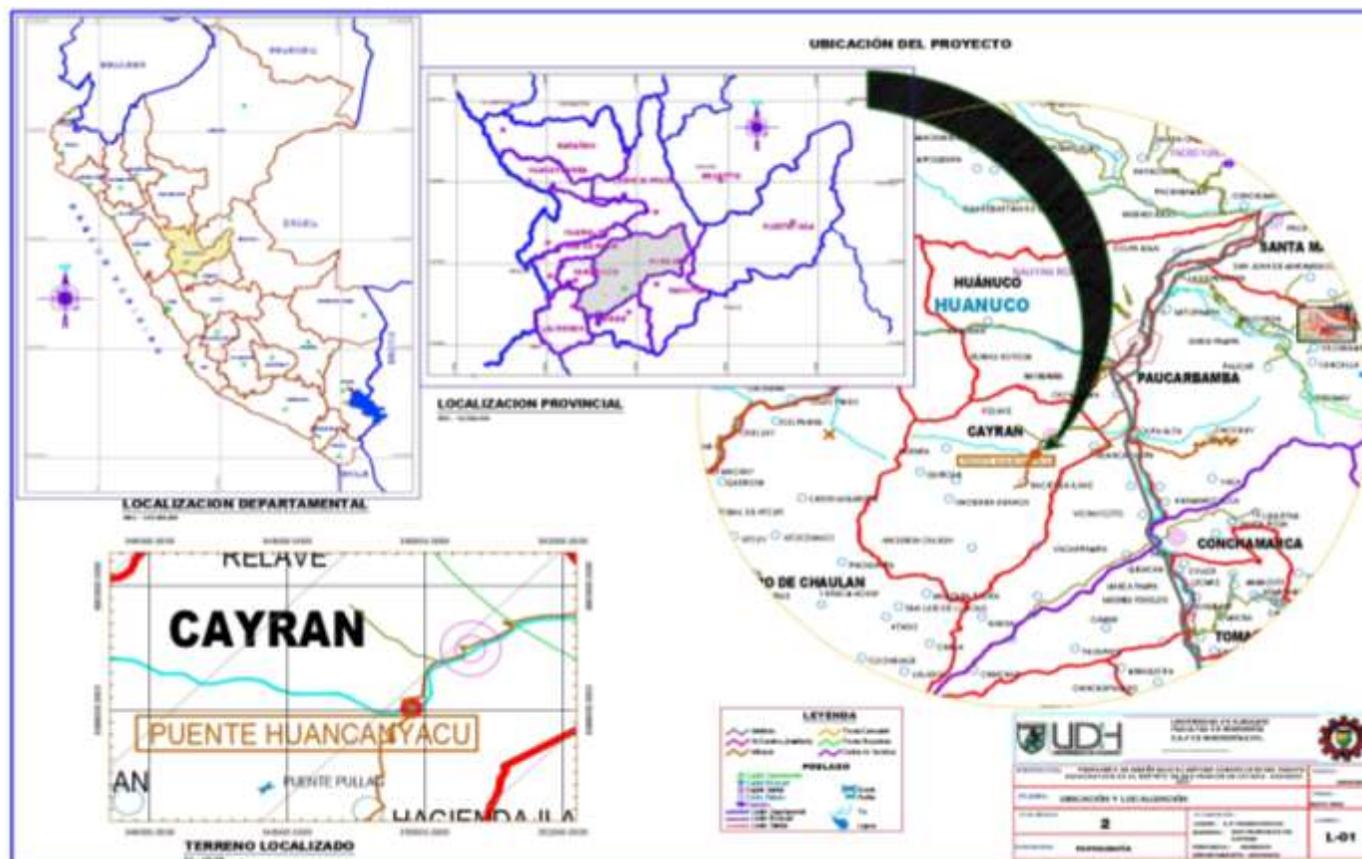
ANEXO 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA

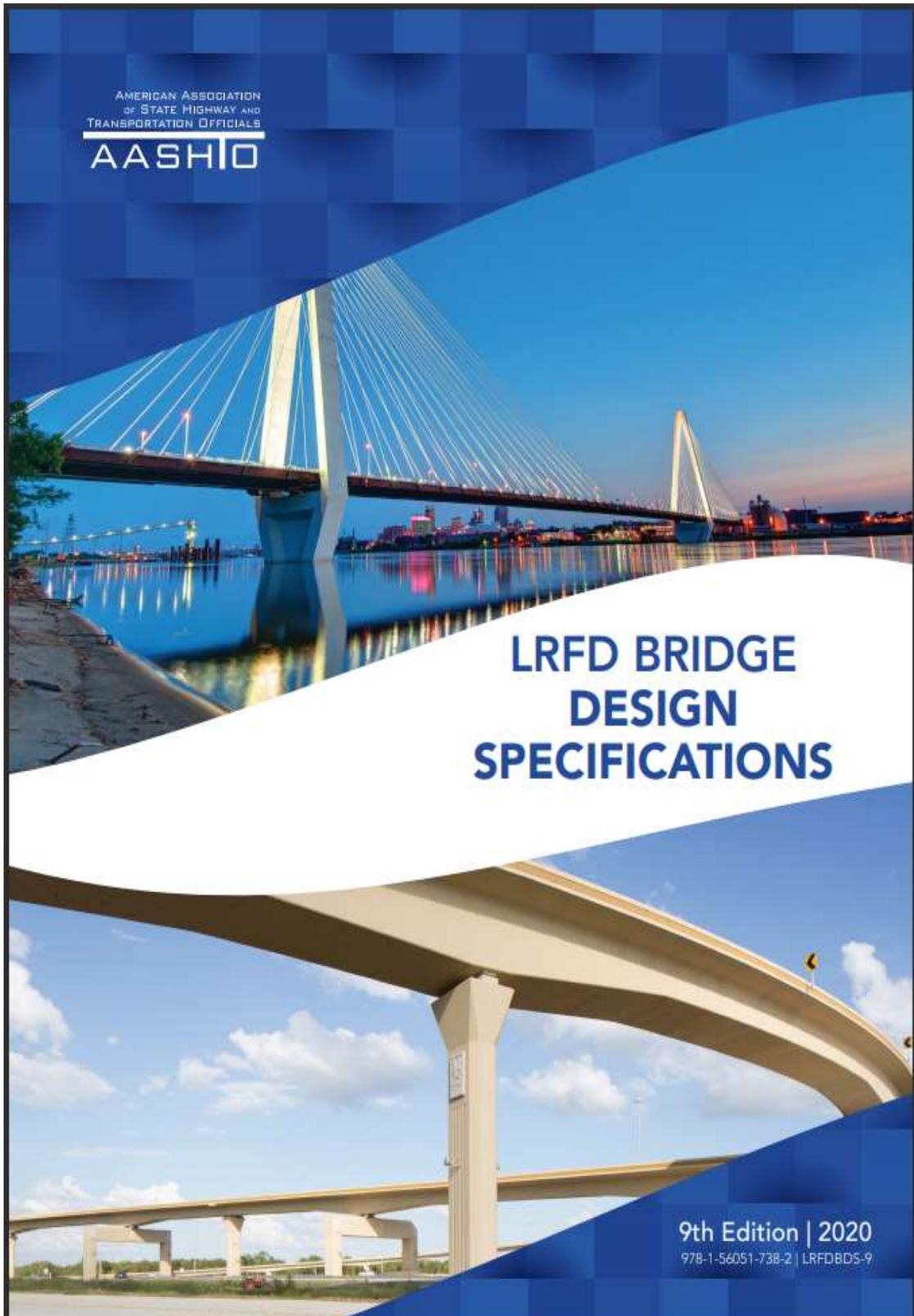
TÍTULO: PROPUESTA DE DISEÑO DE LA SUPERESTRUCTURA DEL PUENTE HUANCANYACU APLICANDO EL MÉTODO LRFD COMO MEJORA DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL. SAN FRANCISCO DE CAYRÁN – HUÁNUCO – 2023					
Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología	Población y muestra
<p>Problema general: ¿Cómo realizar el diseño de la superestructura del puente Huancanyacu aplicando el método LRFD como mejora del comportamiento estructural, San Francisco de Cayrán - Huánuco - 2023?</p> <p>Problema específico:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cómo evaluar las cargas permanentes y variables para el puente tipo losa, San Francisco de Cayrán – Huánuco – 2023? • ¿Cómo diseñar las cargas vivas de vehículos para el análisis del puente tipo losa, San Francisco de Cayrán – Huánuco - 2023? • ¿Cómo realizar la distribución de acero del puente tipo losa, San Francisco de Cayrán – Huánuco - 2023? 	<p>Objetivo General Realizar el diseño de la superestructura del puente Huancanyacu aplicando el método LRFD como mejora del comportamiento estructural, San Francisco de Cayrán - Huánuco – 2023.</p> <p>Objetivos específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Evaluar las cargas permanentes y variables para el puente tipo losa, San Francisco de Cayrán – Huánuco – 2023. • Diseñar las cargas vivas de vehículos para el análisis del puente tipo losa, San Francisco de Cayrán – Huánuco - 2023 • Realizar la distribución de acero del puente tipo losa, San Francisco de Cayrán – Huánuco – 2023. 	<p>Hipótesis General Hi: La propuesta del diseño de la superestructura del puente Huancanyacu aplicando el método LRFD mejora el comportamiento estructural, San Francisco de Cayrán - Huánuco – 2023</p> <p>H0: La propuesta del diseño de la superestructura del puente Huancanyacu aplicando el método LRFD no mejora el comportamiento estructural, San Francisco de Cayrán - Huánuco – 2023</p>	<p>Variable dependiente: Comportamiento estructural</p> <p>Variable independiente: Método LRFD</p>	<p>Enfoque Será cuantitativo</p> <p>Alcance o nivel El alcance del proyecto es aplicado.</p> <p>Diseño Es no experimental</p>	<p>Población Para la presente investigación se tomará como población a los puentes pertenecientes al distrito de San Francisco de Cayrán.</p> <p>Muestra La muestra de la investigación será representada por el puente Huancanyacu. Esta estructura estará ubicada en el distrito de San Francisco de Cayrán, Provincia y Departamento de Huánuco.</p>

ANEXO 2

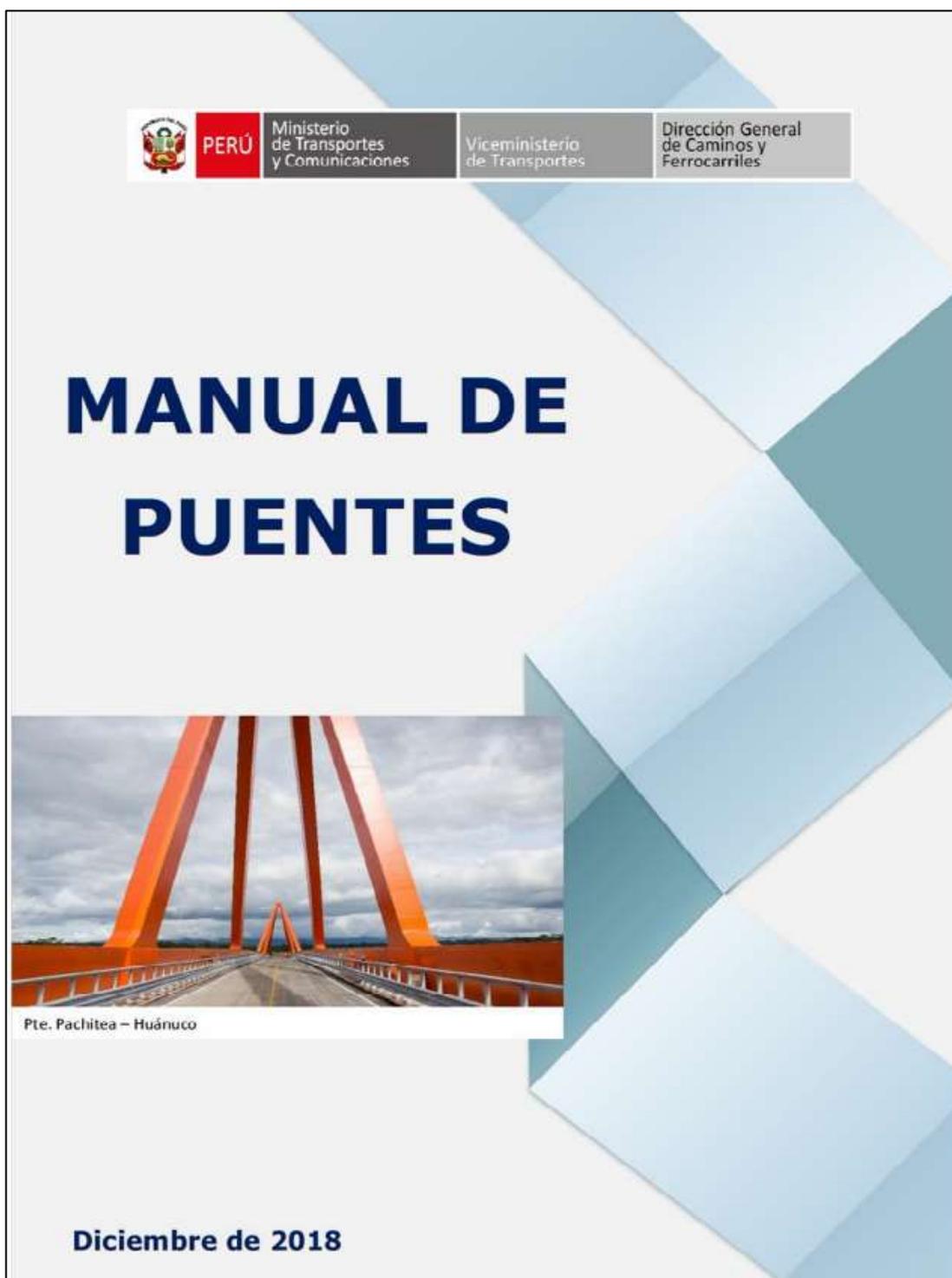
PLANO DE UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO



ANEXO 3
NORMA AASHTO LRFD



ANEXO 4
MANUAL DE DISEÑO DE PUENTES



ANEXO 5

FICHA DE OBSERVACIÓN

	TESIS: PROPUESTA DE DISEÑO DE LA SUPERESTRUCTURA DEL PUENTE HUANCANYACU APLICANDO EL MÉTODO LRFD COMO MEJORA DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL, SAN FRANCISCO DE CAYRÁN – HUÁNUCO – 2023				
FICHA DE OBSERVACIÓN					
I. DATOS GENERALES					
Tesisista	Bach. Pereyra Vasquez Jhan Piero				
Fecha	Julio - 2023				
Lugar	C.P Huancanyacu				
Distrito	San Francisco de Cayrán	Provincia	Huánuco	Región	Huánuco
Longitud del puente	12 m				
Tipo de puente	Tipo Losa				
Ductilidad	1				
Redundancia	1				
Importancia operativa	1				
Norma					
Manual de Diseño de Puentes, LRFD BRIDGE DESIGN SPECIFICATIONS					
Plano de Ubicación					

ANEXO 6

DISEÑO DE ACERO DE REFUERZO

RESÚMEN DE MOMENTOS FLECTORES Y CRITERIOS LRFD (FRANJA INTERIOR)

Carga	Mo(+) ton-m	Yp (Factores de carga)		
		Resistencia - I	Servicio - I	Fátiga - I
DC	$M_{DC} = 25.92$	1.25	1.00	0.00
DW	$M_{DW} = 1.97$	1.50	1.00	0.00
LL+IM	$M_{LL+IM} = 29.96$	1.75	1.00	1.50

- ▶ Resistencia - I: $M_u = n(1.25D_c + 1.50D_w + 1.75M_{LL+IM})$
- ▶ Servicio - I: $M_u = n(1D_c + 1D_w + 1M_{LL+IM})$
- ▶ Fátiga - I: $M_u = n(1.50M_{LL+IM})$

ESTADO LÍMITE POR RESISTENCIA

$$M_{U=1} \sum \gamma p = 1.00(1.25 M_{DC} + 1.50 M_{DW} + 1.75 M_{LL+IM}) \quad n = 1 \quad \mu = 87.7892 \text{ ton-m}$$

Franja Interior:

Usamos $\varnothing 1"$ 2.54 cm

$f_c =$	280	kg/cm ²	$h =$	60	cm
$f_y =$	4200	kg/cm ²	$d =$	56.23	cm
$\beta_1 =$	0.9		$b =$	100	cm
	0.85		$\mu =$	87.789	ton-m

▶ Parámetro mínimo de diseño

Cuantía mínimo	$\rho_{min} = 14/f_y$	$\rho_{min} =$	0.00333
Área de acero mínimo	$A_{smin} = \rho_{min} \cdot b \cdot d$	$A_{smin} =$	18.7433 cm ²
Altura min del bloque de compr.	$a_{min} = \frac{A_{smin} \cdot f_y}{0.85 \cdot f_c \cdot b}$	$c_{min} = \frac{a_{min}}{\beta_1}$	$a_{min} = 3.30765$ cm
			$C_{min} = 3.89135$ cm

▶ Parámetro balanceado de diseño

Cuantía balanceada	$\rho_b = \beta_1 \cdot 0.85 \cdot \frac{f_c}{f_y} \cdot \left(\frac{6000}{6000 + f_y} \right)$	$A_b = \rho_b \cdot b \cdot d$	$\rho_b = 0.02833$
Área de acero balanceado			$A_b = 159.318$ cm ²

▶ Parámetro máximo de diseño:

Cuantía máxima	$\rho_{max} = 0.75 \cdot \rho_b$	$\rho_{max} =$	0.02125
Área de acero máximo	$A_{smax} = \rho_{max} \cdot b \cdot d$	$A_{smax} =$	119.489 cm ²
Altura máx del bloque de compr.	$a_{max} = \frac{A_{smax} \cdot f_y}{0.85 \cdot f_c \cdot b}$	$c_{max} = \frac{a_{max}}{\beta_1}$	$a_{max} = 21.0863$ cm
			$C_{max} = 24.8074$ cm
Momento resistente máximo	$M_{U_{Rmax}} = \phi \cdot A_{smax} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a_{max}}{2} \right)$		$M_{U_{Rmax}} = 206.353$ ton-m
verificación	$M_{U_{Rmax}} > M_u \Rightarrow D.S.R$	$M_{U_{Rmax}} < M_u \Rightarrow D.D.R$	Tipo D.S.R

▶ Armadura de diseño:

$0.59w^2 - w + \frac{M_u}{\phi \cdot f_c \cdot b \cdot d^2} = 0$	$w = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$	$w_1 = 1.57646$	
		$w_2 = 0.11846$	
Cuantía de diseño	$\rho_d = w \cdot \frac{f_c}{f_y}$	$\rho_d < \rho_b \dots$ falla dúctil	$\rho_d = 0.0079$ Falla dúctil
Área de acero de diseño	$A_{sd} = \rho_d \cdot b \cdot d$		$A_{sd} = 44.4066$ cm ²
	$a_d = \frac{A_{sd} \cdot f_y}{0.85 \cdot f_c \cdot b}$	$M_{U_d} = \phi \cdot A_{sd} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a_d}{2} \right)$	$a_d = 7.83646$ cm
			$M_{U_d} = 87.809$ ton-m

▶ Distribución de acero:

Espaciamento de aceros	$S_{rep} = \frac{A_{SD} \cdot b}{A_{SD}}$	$\varnothing 1"$	$S_{rep} = 11$ cm
------------------------	---	------------------	-------------------

$\varnothing 1"$ @ 0.11 m

▶ Armadura mínima:

Módulo de la sección:	$S_{nc} = \frac{b \cdot h^3}{6}$	$S_{nc} =$	60000 cm ³
Módulo de rotura Fr:	$f_r = 2.00 \sqrt{f_c}$	$F_r =$	33.4664 kg/cm ²
Momento de figuración Mcr	$M_{cr} = S_{nc} \cdot f_r$	$M_{cr} =$	20.0798 ton-m

a) mínimo control de rotura	1.20 Mcr:	1.20Mcr	24.096	ton-m
b)	1.33 Mu:	1.33Mu:	116.786	ton-m
Verificación	1.20Mcr < 1.33Mu	Resiste Asd=	44.4066	Conforme

► Distribución de armadura transversal

Verificación $\frac{1750}{\sqrt{L}} \leq 50\%$ 15.98 % ≤ 50.0 % OK

Área acero de repartición	As rep =	0.15975 * Asd	As rep=	7.09406	cm ²
Selección de varilla	Ø 3/4"	Ø= 1.91 cm	AsØ=	2.85023	cm ²
	$S = \frac{As\delta * b}{As\ rep}$		S=	40.1777	cm
	Ø 3/4" @ 0.40 m				

► Distribución de Acero de contracción o temperatura

Selección de varilla	Ø 1/2"	Ø= 1.27 cm	AsØ=	1.26677	cm ²
Área de acero de temperatura:	$As_t = 0.0018 * b * h$		Ast=	10.8	cm ²
Área de acero de temperatura/2			Ast/2=	5.4	cm ²
Espaciamiento de acero temperatura	$S = \frac{As\delta * b}{As\ t}$		S=	23.4587	cm
	Ø 1/2" @ 0.235 m				

ESTADO LÍMITE POR SERVICIO:

Ø 1" As = 5.0671 cm² Ø= 2.54 cm

Durabilidad

Recubrimiento del refuerzo superior:	4.00 cm
Recubrimiento del refuerzo inferior:	4.00 cm

Peralte efectivo	$d = h - r - \delta/2$	d=	54.73	cm
factor n	$n = n_d = n_r = n_1 =$		1	
$M_{interior} = n \sum r p = 1.0(1.0 M_{DC} + 1.0 M_{DW} + 1.0 M_{LL+IM})$		M interior=	57.8526	ton-m
Para un ancho tributario de 0.11 m	Ms= 57.853 x 0.11 m	Ms=	6.36379	ton-m

► Módulos de Elasticidad:

Módulo de elasticidad del acero	2x10 ⁶	Es =	2000000	kg/cm ²
Módulo de elasticidad del concreto	15300*raiz(f'c)	Ec =	256018	kg/cm ²

► Relacion del módulo de elasticidad:

$n = E_s/E_c$ 7.812 n= 8

► Recubrimiento Efectivo (dc):

$dc = rec + \delta/2$ dc= 5.27 cm

Área e acero transformada $Ast = n (As)$ Ast= 40.5366 cm²

► Momento con respecto al eje neutro: determinar "y"

$11 y (\frac{y}{2}) = Ast (d - y)$

$11 y (\frac{y}{2}) = 40.54 (54.73 - y)$

$5.5 y^2 + 40.54 y - 2218.57 = 0$

$y = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$

y= 16.7344 cm

$jd = d - y/3$ jd= 49.1519 cm

► Esfuerzode tensión del acero bajo cargas de servicio

$F_{ss} = \frac{Ms}{jd * As}$

Fss= 2555.16 kg/cm²

0.60Fy= 2520.0 kg/cm²

Verificación	2555.16 > 2520.0		Correcto
--------------	------------------	--	----------

► Separación máxima de armadura (Límite de figuración mediante distribución de armadura)

fe: Factor exposición

fe= 1 Condición exposición clase 1

fe= 0.75 Condición exposición clase 2

$\beta_s = 1 + \frac{dc}{0.70(h-dc)}$

βs= 1.13756 cm

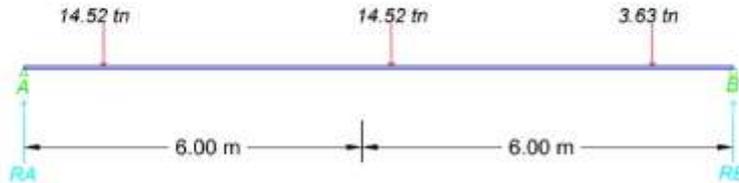
Espaciamiento máximo:

$S_{m\acute{a}x} = \frac{125000 * f_e}{\beta_s * F_{ss}} - 2dc$

Smáx= 32.4649 cm

Verificación:	32.4649 > 11		Correcto
---------------	--------------	--	----------

K. ESTADO LÍMITE DE FÁTIGA:



Considerando factor de impacto		IM=	0.15
► Momento por sobrecarga:	$M_{LL} = \frac{P(a+b)}{L} + \frac{PL}{4}$	$M_{LL} =$	43.56 ton-m
Momento por sobrecarga + factor de impacto		$M_{LL+IM} =$	50.094 ton-m
► Momento por fatiga: (Mfat)	$M_{fat} = n(1.50 \cdot M_{LL+IM})$	Mfat=	75.141 ton-m
Considerando el ancho efectivo crítico		E=	3.300 m
	75.141 / 3.3	Mfat=	22.77

11.6045

► Sección fisurada

Tensión a la tracción del concreto:	$F_{trac} = 0.80 \cdot \sqrt{f'c}$	$F_{trac} =$	13.3866 kg/cm ²
Momentos debido a cargas no mayoradas mas la combinación de carga de fatiga franja interior:			
	$M'_{fat} = M_{dc} + M_{dw} + M_{fat}$	Mfat=	50.66 kg/cm ²
Módulo de sección:	$S = \frac{b \cdot h^2}{6}$	S=	60000.0 cm ³
Esfuerzo fátiga	$F_{fat} = \frac{M'_{fat}}{S}$	$F_{fat} =$	84.4357 kg/cm ²
Verificación: Se usará como unas sección fisurada	$F_{fat} > F_{trac}$		OK

► Verificación de esfuerzos:

Ø 1" 5.07 cm ² / 0.11 m		$F_{LL} = \frac{M_{fat}}{As \cdot jd}$	As=	46.0643 cm ² /m
a. Esfuerzo debido a carga viva: F _{LL}			F _{LL} =	1005.68 kg/cm ²
b. Esfuerzo debido a carga permanente: F _{DL}		$F_{DL} = \frac{M_{DC} + M_{DW}}{As \cdot jd}$	F _{DL} =	1231.87 kg/cm ²
► Rango de esfuerzos	$F = F_{máx} - F_{mín}$	F=	1005.68 kg/cm ²	
a. Esfuerzo mínimo: F _{mín}	$F_{mín} = F_{mín} + F_{DL}$	F _{mín} =	1231.87 kg/cm ²	
b. Esfuerzo máximo: F _{máx}	$F_{máx} = F_{LL} + F_{DL}$	F _{máx} =	2237.55 kg/cm ²	
► Rango de limite	$F_{lim} = 1687 - 0.33F_{mín}$	F _{lim} =	1280.48 kg/cm ²	
Verificación:		F _{lim} > F	Correcto	

RESÚMEN DE MOMENTOS FLECTORES Y CRITERIOS LRFD (FRANJA DE BORDE)

Carga	Mo(+) ton-m	Factores de carga		
		Resistencia - I	Servicio - I	Fátiga - I
DC	$M_{dc} = 51.12$	1.25	1.00	0.00
DW	$M_{dw} = 1.10$	1.50	1.00	0.00
LL+IM	$M_{LL+IM} = 32.96$	1.75	1.00	1.50

- ▶ Resistencia - I: $M_u = n(1.25D_c + 1.50D_w + 1.75M_{LL+IM})$
- ▶ Servicio - I: $M_u = n(1.00D_c + 1.00D_w + 1.00M_{LL+IM})$
- ▶ Fátiga - I: $M_u = n(1.50M_{LL+IM})$

ESTADO LÍMITE POR RESISTENCIA

$M_u = n \sum \gamma p = 1.0(1.25 M_{DC} + 1.50 M_{DW} + 1.75 M_{LL+IM})$	n= 1
	Mu= 123.218 ton-m

I.1. Franja Borde:

Usaremos: Ø 1" 2.54 cm

$f_c = 280$	kg/cm ²	$h = 60$	cm
$f_y = 4200$	kg/cm ²	$d = 56.23$	cm
$\phi = 0.9$		$b = 100$	cm
$\beta_1 = 0.85$		$M_u = 123.22$	ton-m

▶ **Parámetro mínimo de diseño**

Cuantía mínima	$\rho_{min} = 14/f_y$	$\rho_{min} = 0.00333$
Área de acero mínimo	$A_{smin} = \rho_{min} \cdot b \cdot d$	$A_{smin} = 18.7433$ cm ²
Altura mín del bloque de compr.	$a_{min} = \frac{A_{smin} \cdot f_y}{0.85 \cdot f_c \cdot b}$ $c_{min} = \frac{a_{min}}{\beta_1}$	$a_{min} = 3.30765$ cm
		$C_{min} = 3.89135$ cm

▶ **Parámetro balanceado de diseño**

Cuantía balanceada	$\rho_b = \beta_1 \cdot 0.85 \cdot \frac{f_c}{f_y} \cdot \left(\frac{6000}{6000 + f_y} \right)$	$\rho_b = 0.02833$
Área de acero balanceado	$A_b = \rho_b \cdot b \cdot d$	$A_b = 159.318$ cm ²

▶ **Parámetro máximo de diseño:**

Cuantía máxima	$\rho_{max} = 0.75 \cdot \rho_b$	$\rho_{max} = 0.02125$
Área de acero máximo	$A_{smax} = \rho_{max} \cdot b \cdot d$	$A_{smax} = 119.489$ cm ²
Altura máx del bloque de compr.	$a_{max} = \frac{A_{smax} \cdot f_y}{0.85 \cdot f_c \cdot b}$ $c_{max} = \frac{a_{max}}{\beta_1}$	$a_{max} = 21.0863$ cm
Momento resistente máximo	$M_{uRmax} = \phi \cdot A_{smax} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a_{max}}{2} \right)$	$M_{uRmax} = 206.353$ ton-m
verificación	$M_{uRmax} > M_u \Rightarrow D.S.R$ $M_{uRmax} < M_u \Rightarrow D.D.R$	tipo D.S.R

▶ **Armadura de diseño:**

$0.59w^2 - w + \frac{M_u}{\phi \cdot f_c \cdot b \cdot d^2} = 0$ $x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$	$w1 = 1.52279$
	$w2 = 0.17213$
Cuantía de diseño	$\rho_d = w + \frac{f'_c}{f_y}$ $\rho d < \rho_b \dots$ falla dúctil
Área de acero de diseño	$A_{sd} = \rho_d \cdot b \cdot d$
	$\alpha d = 11.3866$ cm
	$M_{uRd} = \phi \cdot A_{sd} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{\alpha d}{2} \right)$
	$M_{uRd} = 123.26$ ton-m

▶ **Distribución de acero:**

Espaciamiento de aceros	$S_{rep} = \frac{A_s \phi \cdot b}{A_{sd}}$	Ø 1" Srep= 8 cm
-------------------------	---	----------------------

▶ **Armadura mínimo:**

Módulo de la sección:	$S_{nc} = \frac{b \cdot h^3}{6}$	$S_{nc} = 60000$ cm ³
Módulo de rotura Fr:	$f_r = 2.00 \cdot \sqrt{f'_c}$	$f_r = 33.4664$ kg/cm ²
Momento de figuración M _{cr}	$M_{cr} = S_{nc} \cdot f_r$	$M_{cr} = 20.0798$ ton-m

a) mínimo control de rotura	1.20 Mcr:	1.20Mcr	24.096	ton-m
b)	1.33 Mu:	1.33Mu:	163.936	ton-m
Verificación	1.20Mcr < 1.33Mu	Resiste Asd=	64.5242	Conforme

► Distribución de armadura transversal

Verificación $\frac{1750}{\sqrt{L}} \leq 50\%$ 18.30 % ≤ 50.0 % OK

Área acero de repartición	As rep = 0.18305 *Asd	As rep=	11.811	cm ²
Selección de varilla	Ø 3/4"	Ø= 1.91 cm	AsØ=	2.85023
	$S = \frac{AsØ \cdot b}{As \text{ rep}}$		S=	24.1319
	Ø 3/4" @ 0.24 m			

► Distribución de Acero de contracción o temperatura

Selección de varilla	Ø 1/2"	Ø= 1.27 cm	AsØ=	1.26677
Área de acero de temperatura:	As _t = 0.0018 * b * h	As _t =	10.8	cm ²
Área de acero de temperatura/2		As _t /2=	5.4	cm ²
Espaciamiento de acero temperatura	$S = \frac{AsØ \cdot b}{As \text{ t}}$	S=	23.4587	cm
	Ø 1/2" @ 0.235 m			

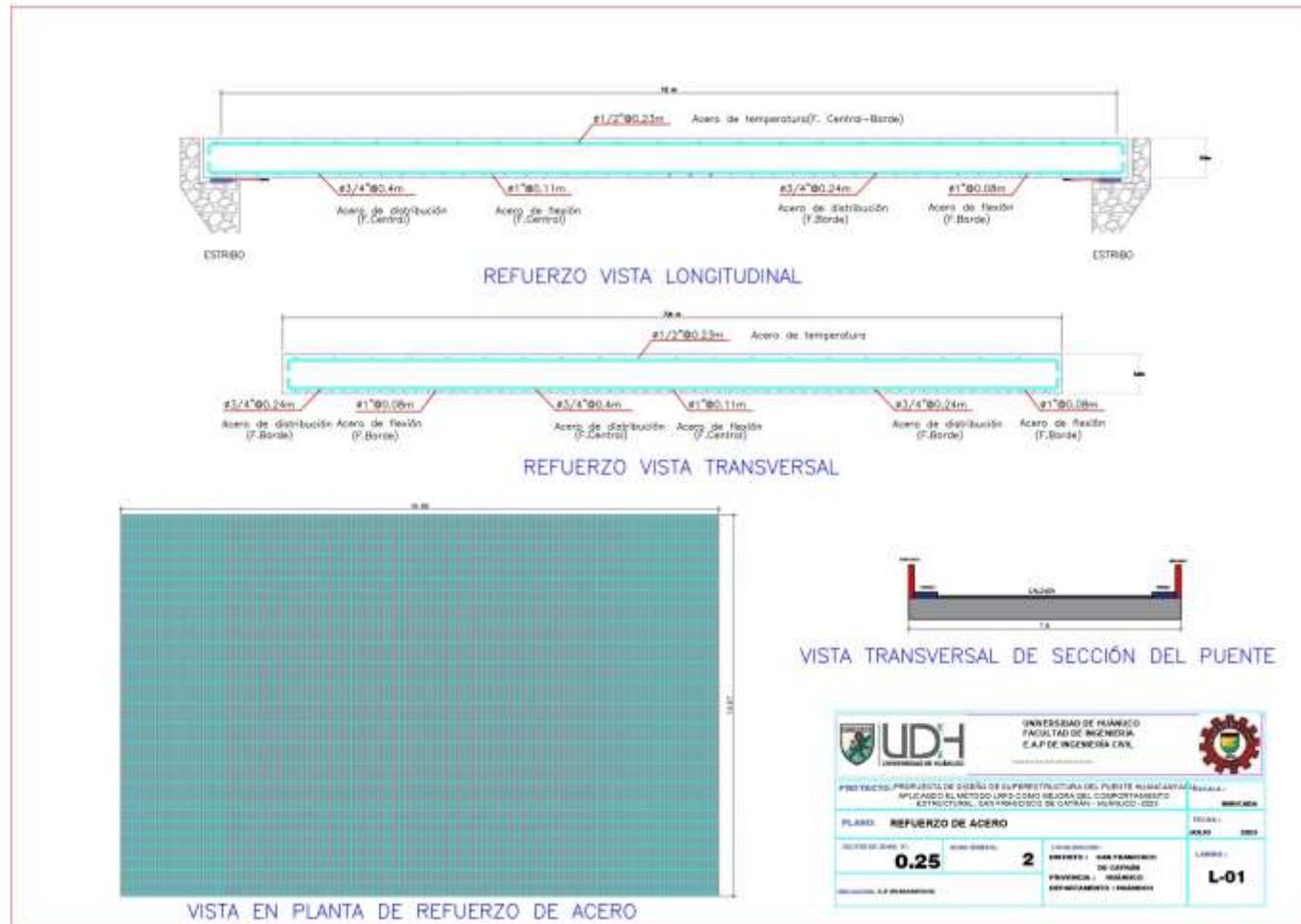
DETALLE DE ARMADURA



Resumen de Refuerzo de acero

Refuerzo	Franja Central	Franja de borde
Acero de temperatura	Ø 1/2" @ 0.23 m	Ø 1/2" @ 0.23 m
Acero de distribución	Ø 3/4" @ 0.40 m	Ø 3/4" @ 0.24 m
Acero a flexión	Ø 1" @ 0.11 m	Ø 1" @ 0.08 m

ANEXO 7 REFUERZO DE ACERO



	UNIVERSIDAD DE HUANCAYO FACULTAD DE INGENIERIA C.A.P. DE INGENIERIA CIVIL		
	PROYECTO: PROYECTO DE DISEÑO DE LA PERIFONESTACION DEL PUENTE HUANCAYO APLICANDO EL METODO LINDO COMO MEJORA DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL, LOS INGENIEROS DE CIVIL (HUANCAYO - 2021)		
PLANO: REFUERZO DE ACERO	ESCALA:	FECHA:	REVISOR:
FECHA DE APROBACION:	FECHA DE EMISION:	FECHA DE RECEPCION:	FECHA DE ENTREGA:
0.25	2	04/07/2021	04/07/2021
DISEÑADO POR: DANIEL RAMIRO REVISADO POR: DANIEL RAMIRO		DISEÑADO POR: DANIEL RAMIRO REVISADO POR: DANIEL RAMIRO	DISEÑADO POR: DANIEL RAMIRO REVISADO POR: DANIEL RAMIRO
INSTITUCION: U.P. HUANCAYO		INSTITUCION: U.P. HUANCAYO	INSTITUCION: U.P. HUANCAYO
		INSTITUCION: U.P. HUANCAYO	INSTITUCION: U.P. HUANCAYO

ANEXO 8 PANEL FOTOGRÁFICO



Llegada a la ubicación precisa del Centro Poblado Huancanyacu.



Reconocimiento del puente Huancanyacu



Inicio del levantamiento topográfico para el puente Huancanyacu.



Marcando coordenadas del GPS en uno de los puntos E-2 para referenciar en la estación total.



En la imagen se observa el Hitu HU-1098-4.



Realización del alineamiento desde el Hitu HU-1098-4 hasta el Puente Huancanyacu.



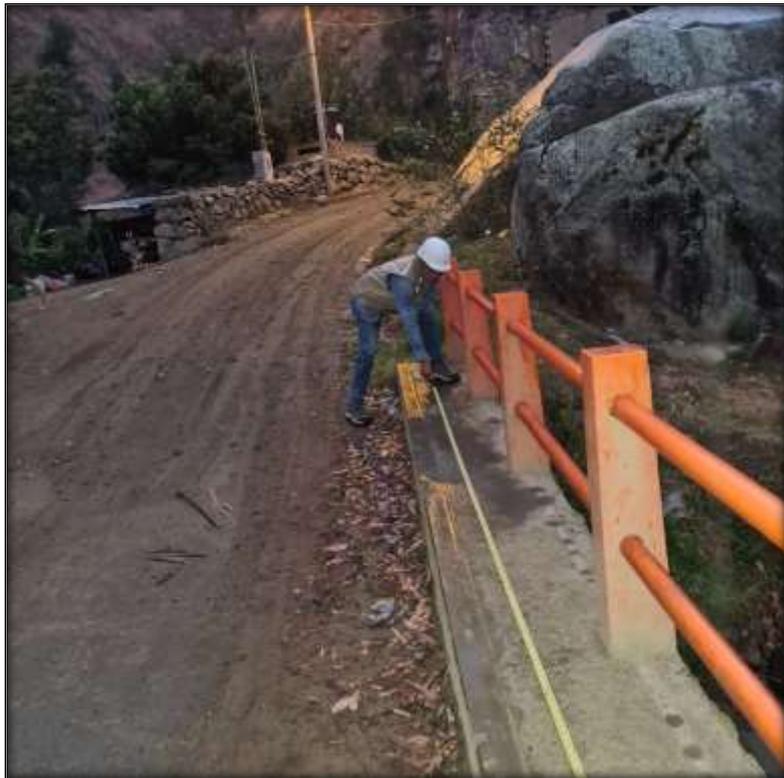
Alineamiento hasta la progresiva 3+629 (Puente Huancanyacu).



Usamos la estación total 2LS CYGNUS (TOPCON), que sirve para la ejecución del levantamiento terminado.



Reconocimiento de los puntos, en conjunto con el ayudante de campo.



Mediciones finales de los elementos de la superestructura del Puente Huancanyacu.