

UNIVERSIDAD DE HUANUCO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA CIVIL



TESIS

“Aplicación de los estados límites para el diseño estructural del tablero de madera tipo viga-losa destinada a un puente de camino, en Nuevo Circuito, Yanajanca, Marañón 2024”

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

AUTOR: Malpartida Rojas, Fran Wanderley

ASESOR: Suarez Landauro, Reynaldo Favio

HUÁNUCO – PERÚ

2025

U

D

H



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): 71509514

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 22498065

Grado/Título: Maestro en gestión pública

Código ORCID: 0000-0002-4641-3797

DATOS DE LOS JURADOS:

Nº	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Arteaga Espinoza, Ingrid Delia Dignarda	Máster en dirección de proyectos	73645168	0009-0001-0745-5433
2	Trujillo Ariza, Yelen Lisseth	Maestro en medio ambiente y desarrollo sostenible, mención en gestión ambiental	70502371	0000-0002-5650-3745
3	Davila Herrera, Percy Mello	Maestro en ingeniería, con mención en gestión ambiental y desarrollo sostenible	41050949	0000-0001-5484-6982



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 18:00 horas del día lunes 29 de setiembre de 2025, 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:

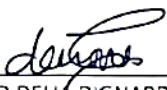
❖ MG. INGRID DELIA DIGNARDA ARTEAGA ESPINOZA	PRESIDENTE
❖ MG. YELEN LISSETH TRUJILLO ARIZA	SECRETARIO
❖ MG. PERCY MELLO DAVILA HERRERA	VOCAL

Nombrados mediante la RESOLUCIÓN No 1982-2025-D-FI-UDH, para evaluar la Tesis intitulada: "APLICACIÓN DE LOS ESTADOS LIMITES PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL DEL TABLERO DE MADERA TIPO VIGA-LOSA DESTINADA A UN PUENTE DE CAMINO, EN NUEVO CIRCUITO, YANAJANCA, MARAÑÓN 2024", presentado por el (la) Bachiller. Bach. Fran Wanderley MALPARTIDA ROJAS, 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) Aprobado por Unanimidad con el calificativo cuantitativo de 13 y cualitativo de Suficiente (Art. 47).

Siendo las 19:10 horas del día 29 del mes de setiembre del año 2025, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.



MG. INGRID DELIA DIGNARDA ARTEAGA ESPINOZA
DNI: 73645168
ORCID: 0009-0001-0745-5433
PRESIDENTE



MG. YELEN LISSETH TRUJILLO ARIZA
DNI: 70502371
ORCID: 0000-0002-5650-3745
SECRETARIO (A)



MG. PERCY MELLO DAVILA HERRERA
DNI: 41050949
ORCID: 0000-0001-5484-6982
VOCAL



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El comité de integridad científica, realizó la revisión del trabajo de investigación del estudiante: FRAN WANDERLEY MALPARTIDA ROJAS, de la investigación titulada "Aplicación de los estados límites para el diseño estructural del tablero de madera tipo viga-losa destinada a un puente de camino, en Nuevo Circuito, Yanajanca, Marañón 2024", con asesor(a) REYNALDO FAVIO SUAREZ LANDAURO, designado(a) mediante documento: RESOLUCIÓN N° 1520-2024-D-FI-UDH del P. A. de INGENIERÍA CIVIL.

Puede constar que la misma tiene un índice de similitud del 15 % 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, 08 de agosto de 2025



RICHARD J. SOLIS TOLEDO
D.N.I.: 47074047
cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA
D.N.I.: 71345687
cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

19. Malpartida Rojas Fran Wanderley.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

15%

INDICE DE SIMILITUD

15%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

repositorio.promperu.gob.pe

Fuente de Internet

6%

2

repositorio.udh.edu.pe

Fuente de Internet

1%

3

hdl.handle.net

Fuente de Internet

1%

4

cybertesis.ubiobio.cl

Fuente de Internet

1%

5

cybertesis.uach.cl

Fuente de Internet

<1%



RICHARD J. SOLIS TOLEDO

D.N.I.: 47074047

cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA

D.N.I.: 71345687

cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

DEDICATORIA

Quiero dedicar esta tesis a mi madre Susana por haberme apoyado en todo este tiempo con sus consejos, cariño e impulsarme a superarme cada día y a mi padre Vidal que a pesar de no tenerlo de manera física sé que me cuidas y guías en mi camino, enseñándome el verdadero amor al prójimo y ayuda desinteresada.

AGRADECIMIENTO

Agradezco principalmente a mis padres (Vidal Malpartida Concepción y Susana Rojas Silva) por haberme formado como la persona que soy hoy en día, a mi mentor el Ing. Grover Trujillo Flores por haberme enseñado que la mejor carta de presentación de una persona es el trabajo que realiza.

ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
ÍNDICE	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS	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. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	13
1.3. OBJETIVO GENERAL	14
1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	14
1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	16
1.7. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN	16
CAPÍTULO II	18
MARCO TEÓRICO	18
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	18
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONAL	18
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONAL	19
2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES	21
2.2. BASES TEÓRICAS	22
2.2.1. PUENTES	22
2.2.2. ESTADOS LIMITES	24
2.2.3. CRITERIOS DE DISEÑO	28
2.2.4. DUCTILIDAD	34
2.2.5. REDUNDANCIA	35

2.2.6. IMPORTANCIA OPERACIONAL	35
2.2.7. ESPECIES DE MADERA	35
2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES	57
2.4. HIPÓTESIS	59
2.5. VARIABLES.....	60
2.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE.....	60
2.5.2. VARIABLE DEPENDIENTE	60
2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	61
CAPÍTULO III.....	62
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	62
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	62
3.1.1. ENFOQUE	62
3.1.2. NIVEL O ALCANCE	62
3.1.3. DISEÑO	63
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	63
3.2.1. POBLACIÓN	63
3.2.2. MUESTRA.....	64
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	64
3.3.1. PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS	64
3.3.2. PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS	66
3.3.3. PARA EL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS	66
CAPÍTULO IV	68
RESULTADOS	68
4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS	68
4.2. APOORTE PRÁCTICO.....	79
4.3. PRUEBA Y CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS	80
CAPÍTULO V	88
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	88
CONCLUSIONES	91
RECOMENDACIONES.....	93
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	94
ANEXOS	99

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Propiedades mecánicas del tablero de madera	29
Tabla 2 Efectos dinámicos del incremento de carga	31
Tabla 3 Factor de simultaneidad (ψ) de acciones en la superestructura	31
Tabla 4 Coeficiente de seguridad (γ) de acciones en la superestructura	32
Tabla 5 Coeficiente de seguridad (γ) del material de la superestructura	32
Tabla 6 Factor de modificación (k_{mod}) de la superestructura	32
Tabla 7 Operacionalización de variables	61
Tabla 8 Coordenadas de ubicación del puente de camino de estudio	68
Tabla 9 Puntos topográficos del puente de camino existente	68
Tabla 10 Dimensionamiento del tablero de madera	69
Tabla 11 Parámetros de verificación del ELU de rotura	74
Tabla 12 Parámetros de verificación del ELU de fatiga	77
Tabla 13 Parámetros de verificación del ELS	79
Tabla 14 Aplicación de la prueba no paramétrica de Wilcoxon para una sola muestra con el fin de H1	82
Tabla 15 Prueba de Wilcoxon de una muestra para la H2	84
Tabla 16 Aplicación de la prueba no paramétrica de Wilcoxon para una sola muestra para la H3	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Puente Inca Q'Eswachaka	23
Figura 2 Puente carrozable de madera para camino	23
Figura 3 Límites de la deformación	28
Figura 4 Camión de diseño HL-93	30
Figura 5 Camión de diseño HL-93	30
Figura 6 Carga adicional uniformemente distribuida contemplada en el diseño HL-93.....	30
Figura 7 Especies de maderas en el Perú	36
Figura 8 Población de estudio	63
Figura 9 Muestra de estudio	64
Figura 10 Dimensionamiento del tablero de madera.....	69
Figura 11 Modelamiento del tablero de madera.....	71
Figura 12 Diagrama de momentos en las vigas laterales.....	71
Figura 13 Diagrama de momentos en las vigas centrales.....	71
Figura 14 Diagrama de cortes en las vigas laterales.....	72
Figura 15 Diagrama de cortes en las vigas centrales.....	72
Figura 16 Diagrama de deflexiones de las vigas.....	72
Figura 17 Verificación de las flexiones para el ELU de rotura	75
Figura 18 Verificación de las cortantes para el ELU de rotura	75
Figura 19 Verificación de los esfuerzos de flexión para el ELU de fatiga	77
Figura 20 Verificación de esfuerzos cortantes para el ELU de fatiga	78
Figura 21 Verificación de las deflexiones para el ELS	79
Figura 22 Análisis con la prueba de Wilcoxon para una sola muestra con el propósito de H1	83
Figura 23 Aplicación de la prueba no paramétrica de Wilcoxon de H2	85
Figura 24 Ejecución de la prueba de Wilcoxon para una sola muestra con el fin de H3	87

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1 Ingreso del puente de camino afirmado existente en el tramo delimitado	128
Fotografía 2 Verificación del apoyo lateral de entrada del puente de camino afirmado existente en el tramo delimitado.....	128
Fotografía 3 Verificación del cauce del río del puente de camino afirmado existente en el tramo delimitado	129
Fotografía 4 Verificación del apoyo lateral de salida del puente de camino afirmado existente en el tramo delimitado.....	129
Fotografía 5 Salida del puente de camino afirmado existente en el tramo delimitado	130
Fotografía 6 Vista completa del puente de camino afirmado existente en el tramo delimitado	130

RESUMEN

El presente estudio sostiene una alternativa de diseño de un tablero de madera capirona para un puente de camino, en tramos de 7.57 m de luz, mediante la aplicación de los estados límites para el análisis estructural asistido por el software SAP2000, para luego realizar la verificación del ELU de rotura, ELU de fatiga, y el ELS, según la norma española UNE-EN-1995;2016, definida como el Eurocódigo 5 – parte 2, Proyectos de estructuras de madera. Todo ello con el único fin de plantear una solución ante el puente de camino de madera existente, en pésimas condiciones ubicado en la zona de Nuevo Circuito perteneciente al distrito de Yanajanca, situada en la provincia de Marañón; en la región Huánuco. La metodología se desarrolla con un enfoque cuantitativo bajo un diseño no experimental transversal, caracterizado por un alcance de tipo descriptivo; en donde se establece como población el puente de camino existente en la quebrada Sayasta en la localidad de Nuevo Circuito en el distrito de Yanajanca; y con una muestra no probabilística definida como el tablero de madera tipo viga – losa, ubicada en las coordenadas UTM de la zona 18 L, 354814.00 E, 9044443.00 S, con una altura aproximada de 552.50 msnm. El objetivo principal es la aplicación de los estados límites con el propósito de elaborar el diseño estructural de un tablero de madera en configuración viga–losa, destinada para un puente de camino carrozable, para lo cual se realiza los respectivos análisis de flexión, corte, y deflexión de las vigas estructurales de madera, las cuales soportan las cargas propias de la estructura y las cargas transitoria que se genera en su funcionabilidad; mediante los cuales el diseño del tablero de madera del puente de camino carrozable cumple satisfactoriamente con las condiciones establecidas. En donde finalmente se realiza los análisis de los esfuerzos admisibles de flexión y corte, para seguidamente realizar el análisis de los esfuerzos límites de flexión y corte. En donde finalmente se logra obtener un diseño que cumpla con los parámetros según las normas establecidas.

Palabras Claves: Puente de madera, puente de camino, puente carrozable, puente tipo viga – losa, superestructura de madera.

ABSTRACT

This study supports an alternative design of a capirona wood deck for a road bridge, in sections of 7.57 m span, by applying the limit states for structural analysis assisted by SAP2000 software, and then performing the verification of the ELU of failure, ELU of fatigue, and the ELS, according to the Spanish standard UNE-EN-1995, defined as Eurocode 5 - Projects of wooden structures. All this with the sole purpose of proposing a solution to the existing wooden road bridge, in poor condition in the town of Nuevo Circuito in the district of Yanajanca, province of Marañón; in the Huánuco region. The methodology presents a quantitative approach using a non-experimental cross-sectional-descriptive design with a descriptive scope. The population is defined as the existing road bridge over the Sayasta Creek in the town of Nuevo Circuito, Yanajanca District. A non-probabilistic sample is defined as the beam-and-slab wooden deck located at the UTM coordinates of zone 18 L, 354814.00 E, 9044443.00 S, with an approximate altitude of 552.50 meters above sea level. The main objective is to apply limit states to the structural design of the beam-and-slab wooden deck intended for a road bridge. The respective bending, shear, and deflection analyses are performed on the wooden structural beams, which support the structure's inherent loads and the transient loads generated during its operation. by which the design of the wooden deck of the road bridge satisfactorily meets the established conditions. Finally, the analysis of allowable bending and shear stresses is performed, followed by the analysis of limiting bending and shear stresses. Ultimately, a design is obtained that meets the parameters according to established standards.

Keywords: Wooden bridge, road bridge, carriage bridge, beam-slab type bridge, wooden superstructure.

INTRODUCCIÓN

La necesidad de uso de los puentes, data su origen desde la era prehistoria, cuando el hombre ante la necesidad de cruzar de un punto hacia otro, como por ejemplo riveras, quebradas, entre otros; ideo la utilización de troncos de un árbol talados para enlazar dichos accidentes geográficos, y de esa manera cubrir dicha necesidad.

Hoy en día, en la actualidad del mundo globalizado, los puentes en general son de gran importancia, ya que permiten conectar ciudades, pueblos, localidades, caminos rurales, vías provinciales, entre otros, lugares que son imposibles de acceder sin la aplicación de dichos puentes. Los cuales tienen la finalidad de brindar un fácil acceso para el transporte necesario de diversos tipos de actividades fundamentales para el desarrollo de una sociedad, como son: el comercio, la agricultura, el turismo, la educación, la salud, entre otros más.

En el ámbito nacional peruano, siendo un país en desarrollo, se observa la existencia de diferentes tipos de puentes construidas empíricamente en diversas zonas rurales del país, como son: - puentes de troco y tablas de madera - puentes de piedra - puentes flotantes (sobre el agua) – entre otros; dicho sea de paso, que estos puentes se encuentran en mal estado y en muchos casos abandonados y sin funcionamiento; generando una necesidad para los habitantes de dichas zonas rurales restringiendo sus actividades enfocadas al desarrollo.

La región Huánuco no se escapa de esta realidad y necesidad social, ya que se observa la existencia de dichos puentes vehiculares en diversas zonas rurales; puentes que se encuentra en condición de deterioro, abandonadas y sin funcionamiento; entre estas zonas se encuentra en el área geográfica correspondiente a Nuevo Circuito, en el distrito de Yanajanca, provincia de Marañón; en donde como finalidad de la investigación se busca brindar una alternativa de solución, mediante el diseño pasarelas peatonales que sean técnicamente funcionales y económicas.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

A nivel mundial, en países como Birmania, Alemania, Canadá, España, Japón, entre otros, existe la necesidad de construir puentes para la conexión de vías, que a su vez ayudan al desarrollo de una región o pueblo; más aún si dichos puentes se plantean mediante un diseño que utilice madera, que por su naturaleza son muchos más económicos en comparación con los puentes tradicionales de concreto armado o estructurales de acero.

En el Perú, en los pueblos alejado la conexión de las vías anexos hacia la capital de distrito se dan a través de caminos aperturados, afirmados y asfaltados, y cruces de obstrucciones topográficas como son las pasarelas vehiculares y peatonales, donde en la mayoría de los casos se trata de rutas de aperturas y las pasarelas vehiculares y peatonales son empericas con materiales y especies de la zona como es la madera, obviando completamente los parámetros de diseño y seguridad con las normas actualizadas, estructuras que se deterioran con el paso del tiempo por fatiga y eventos naturales que se puedan manifestar. La región Huánuco no escapa a esta necesidad nacional, ya que según dato hasta año 2020 se encontraron más de 100 puentes carrozables en mal estado en la región Huánuco (Provias, 2020).

En el ámbito local, en la localidad de Nuevo Circuito de Yanajanca provincia de Marañón departamento de Huánuco se observan puentes vehiculares construidas empíricamente, muchas de estas ubicadas en cruces de ríos y quebradas; sin considerar los posibles peligros a futuro, como por ejemplo el deterioro de la estructura por la lluvia, viento, y/o temperatura, además de la sobrecarga que pueda transitar; utilizando tipos de especies de madera que no cumplen con las normas de diseño y seguridad, siendo necesaria su realidad para interconexión de los pueblos y anexos hacia la capital de distrito.

El impacto que ejercen estos factores naturales está directamente condicionado del diseño adecuado a las características estructurales de la pasarela vehicular y peatonal. Sin embargo, el origen del problema identificado en este estudio se evidencia debido a el diseño de acuerdo a las normas actualizadas como son los estados límites de la estructura de la pasarela de madera, para darle un mejor uso y durabilidad en el tiempo y también para muchísimos años a futuro.

La investigación presenta este problema en los ríos y quebradas en el distrito de Yanajanca en la zona de Nuevo Circuito, delimitadas geopolíticamente; dentro de estos límites establecidos, el estudio determina como área de análisis en la quebrada del rio Sayasta para el cruce vehicular de la capital de distrito hacia la localidad de Nuevo Circuito.

La investigación tiene como finalidad la aplicación de los estados límites para el diseño de la estructura de madera para el cruce vehicular, con las normas actualizadas tomando las normas europeas, para una mejor funcionabilidad y durabilidad en el tiempo.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿De qué manera aplicar los estados límites para el diseño estructural del tablero de madera tipo viga - losa destinada a un puente de camino, en Nuevo Circuito, Yanajanca, Marañón 2024?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

¿De qué manera verificar el ELU de rotura para el diseño estructural del tablero de madera tipo viga - losa destinada a un puente de camino, en Nuevo Circuito, Yanajanca, Marañón 2024?

¿De qué manera verificar el ELU de fatiga para el diseño estructural del tablero de madera tipo viga - losa destinada a un puente de camino, en Nuevo Circuito, Yanajanca, Marañón 2024?

¿De qué manera verificar el ELS para el diseño estructural del tablero de madera tipo viga - losa destinada a un puente de camino, en Nuevo Circuito, Yanajanca, Marañón 2024?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Aplicar los estados límites para el diseño estructural del tablero de madera tipo viga - losa destinada a un puente de camino, en Nuevo Circuito, Yanajanca, Marañón 2024.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Verificar el ELU de rotura para el diseño estructural del tablero de madera tipo viga - losa destinada a un puente de camino, en Nuevo Circuito, Yanajanca, Marañón 2024.

Verificar el ELU de fatiga para el diseño estructural del tablero de madera tipo viga - losa destinada a un puente de camino, en Nuevo Circuito, Yanajanca, Marañón 2024.

Verificar el ELS para el diseño estructural del tablero de madera tipo viga - losa destinada a un puente de camino, en Nuevo Circuito, Yanajanca, Marañón 2024.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA

La investigación se justifica de forma práctica al elaborar una propuesta con la finalidad de proporcionar una alternativa de diseño, referente a la construcción de un puente de camino mediante especies de madera de la zona, respetando las normas para con su funcionalidad y durabilidad en el tiempo; y sobre todo solucionar la falta de dicho puentes de conexión que sirvan a la comunidad, ya que en la actualidad existen estructuras empíricas sin conocimientos técnico que han sido construidas por los moradores.

1.4.2. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

La investigación se justifica teóricamente al fundamentarse en principios científicos de la ingeniería estructural, particularmente en la teoría de los estados límite, la cual es adoptada por el Eurocódigo 5 (UNE-EN 1995) para el diseño de estructuras de madera. Esta teoría permite evaluar con mayor precisión el comportamiento estructural frente a estados últimos (rotura, fatiga) y de servicio (deformaciones, vibraciones), superando los enfoques tradicionales de esfuerzos admisibles.

Además, el estudio aporta nuevo conocimiento al aplicar de manera específica y contextualizada el diseño de tableros de madera tipo viga-losa bajo esta normativa europea en una zona rural del Perú, donde la normativa nacional aún es limitada en el diseño de estructuras de madera modernas. Este aporte permite ampliar la base técnica disponible sobre soluciones estructurales con madera nativa (capirona), optimizando su uso con criterios normativos avanzados y herramientas computacionales como SAP2000, lo que puede servir como referencia para futuras investigaciones o diseños similares en zonas rurales o de difícil acceso.

1.4.3. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA

Metodológicamente, la investigación se justifica por su diseño cuantitativo, no experimental, de tipo transversal-descriptivo, que permite el análisis riguroso del comportamiento estructural del tablero propuesto. Se implementa un procedimiento sistemático que incluye el levantamiento topográfico del sitio, la modelación estructural del tablero de madera, el análisis de cargas permanentes y transitorias, y la verificación de estados límite según el Eurocódigo 5.

Asimismo, la investigación incorpora y promueve el uso de herramientas específicas como el software SAP2000 para modelar y analizar el comportamiento de la estructura bajo diferentes condiciones de carga, así como criterios topográficos y geográficos para la

caracterización del terreno. Esto aporta un enfoque técnico replicable, que puede ser utilizado como procedimiento de diseño estructural para puentes rurales de madera, adaptado a contextos similares donde se requiere infraestructura vial segura, eficiente y de bajo costo.

1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

La propuesta de investigación se encuentra limitada en cuanto a la carencia de normas peruanas vigentes, referentes al diseño de estructuras de madera para su aplicación en puentes carrozables. Además de la falta de información sobre las especificaciones técnicas de especies de madera también con referencia al diseño de estructuras de madera para su aplicación en puentes carrozables. Así mismo se limita en cuanto a los antecedentes de estudio debido a la escasez de tesis enfocados a los temas de puentes de madera carrozables o similares, a nivel nacional y local.

1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

1.6.1. VIABILIDAD TÉCNICA

La propuesta de investigación es técnicamente viable, ya que se cuenta con las herramientas tecnológicas adecuadas, tales como el software SAP2000, herramienta que permite realizar modelaciones y cálculos estructurales con alto grado de precisión. Esta herramienta facilita el análisis detallado de esfuerzos de flexión, corte y deflexión, así como la verificación de los estados límite último y de servicio. Además, se cuenta con equipos y herramientas topográficas que permiten realizar un levantamiento preciso de las condiciones del terreno, lo cual garantiza una adecuada caracterización del sitio de estudio y, por ende, un diseño estructural ajustado a la realidad física.

1.6.2. VIABILIDAD ECONÓMICA

La investigación es económicamente viable, ya que se cuenta con el presupuesto necesario para financiar todos los recursos indispensables para su desarrollo. Esto incluye la adquisición o acceso al software especializado SAP2000, fundamental para el análisis

estructural del tablero de madera tipo viga-losa. Asimismo, se dispone de los fondos requeridos para la utilización de materiales y equipos topográficos que permiten obtener datos confiables del sitio de estudio.

Adicionalmente, se ha previsto el financiamiento para el asesoramiento técnico especializado, esencial en el diseño de estructuras de madera y en la aplicación de normativas internacionales como el Eurocódigo 5. Este respaldo económico garantiza que el proceso de investigación se lleve a cabo con rigurosidad técnica, dentro de los plazos planificados y sin limitaciones presupuestales que comprometan su calidad o sus resultados.

1.6.3. VIABILIDAD SOCIAL

En cuanto a la viabilidad social, el proyecto responde a una necesidad concreta de la población de la localidad de Nuevo Circuito, distrito de Yanajanca, quienes actualmente cuentan con un puente de madera en condiciones estructurales deficientes. La propuesta de diseño estructural de un nuevo tablero de madera tipo viga-losa, conforme a normativas internacionales, constituye una alternativa segura y sostenible, que puede ser replicada en otras zonas rurales con similares condiciones. Esto contribuye a mejorar la conectividad vial local y el acceso de la población a servicios básicos, generando un impacto social positivo y duradero.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Los antecedentes referentes al diseño de puentes, pontones, o pasarelas de madera, con menos de 05 años de antigüedad, por lo cual existe poca información.

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONAL

López (2024) en su investigación: Diseño de puente vehicular Caserío La Peña Paraje Tuichul, San Miguel Ixtahuacán, departamento de San Marcos; desarrollada en la Universidad de San Carlos en Guatemala; señala como objetivo principal el de elaborar el diseño de un puente vehicular de 50 metros de longitud y 08 metros de ancho. En donde dicha investigación se ha desarrollado mediante una metodología descriptiva y un enfoque cuantitativo. En donde se obtuvo como resultado el diseño de la losa, de los diafragmas internos y externos, de las vigas interior y exterior, de los estribos, pilares y zapatas corridas. Concluyó que la segmentación del tablero contribuye a mejorar la durabilidad estructural. En la presente tesis, se replica este enfoque al dividir el tablero en dos tramos, concluyendo que la simetría estructural y de cargas permite validar el análisis por separado de un solo tramo, garantizando su desempeño.

Mena (2021) en su investigación: Calculo y diseño de un puente mixto carrozable, sobre el río Chicaña ubicado en el barrio San Vicente de Caney, Provincia de Zamora Chinchipe; desarrollada en la Universidad Católica de Cuenca en Ecuador; señala como objetivo principal el de realizar el cálculo y diseño de un puente mixto carrozable con un tablero de concreto apoyada sobre vigas tipo L de acero. La cual fue desarrollada mediante un enfoque cuantitativo con una metodología descriptiva. En donde se obtuvo como resultado el diseño de la superestructura del puente como son el tablero de concreto y vigas

metálicas; además del diseño de la subestructura como los estribos y zapatas. Concluyó que la adecuada transferencia de cargas de la losa a las vigas metálicas garantiza el comportamiento funcional de la estructura. En esta tesis, se llega a una conclusión análoga: las cargas de la losa de madera se transfieren eficazmente a las vigas de madera, validando el diseño de la estructura de madera tipo viga-losa.

Junco y Zambrano (2020) en su investigación: Propuesta de diseño de puente peatonal sobre la av. Boyacá con calle 12B; desarrollada en la Universidad Católica en Colombia; señalan como objetivo principal el de diseñar un puente peatonal sobre la av. Boyacá. Dicha investigación fue desarrollada mediante un enfoque cuantitativo de una metodología descriptiva. Logrando como producto final la elaboración del diseño de un puente destinado al tránsito peatonal postensado. Concluyeron que la identificación correcta del flujo de cargas mejora la seguridad estructural. En esta investigación, se concluye que el flujo de cargas del tablero a las vigas longitudinales cumple con las verificaciones establecidas por los estados límite último y de servicio, validando así su funcionalidad.

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONAL

Farro y Senador (2024) en su investigación: Análisis técnico – económico del diseño de la superestructura del puente Tocras, entre vigas de concreto armado versus vigas compuestas; desarrollada en la Universidad de Piura en Perú; señalan como uno de sus objetivos el de realizar un comparativo técnico entre las vigas de la superestructura. En donde dicha investigación fue desarrollada mediante una metodología descriptiva con un enfoque cuantitativo. Concluyen que el diseño con vigas de concreto armado es más eficiente para condiciones de carga asimétrica. En la presente tesis, al analizar una superestructura de madera con 4 vigas (2 centrales y 2 laterales), se encontró que las vigas centrales soportan cargas mayores, lo que indica que la mayor demanda estructural se concentra en la zona central del tablero, validando el diseño adoptado.

Suzuki (2023) en su investigación: Diseño de puente Huaroc mediante el manual de puentes del MTC y el método AASHTO – LRFD, Centro Poblado Blanco – Sayan – Huaura; desarrollada en la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión en Perú; señalan como objetivo principal consistente en desarrollar el diseño de un puente mixto de 27 de longitud. En donde dicha investigación fue desarrollada mediante una metodología aplicada, con un alcance descriptivo y un diseño no experimental. En donde se obtiene como resultados el diseño de un puente de 27 metros de luz libre con un ancho de 5.40 metros, comprendido entre la superestructura y subestructura: el diseño de la superestructura mediante una viga metálica y una losa de concreto armado, con sus respectivos diafragmas; y el diseño de la subestructura mediante estribos de concreto armado. Su análisis concluyó que la superestructura es estable al aplicar los estados límite. En comparación, esta tesis adopta también el enfoque de estados límites con vigas y losas de madera, concluyendo que dicho método es aplicable a estructuras con materiales alternativos, como la capirona, asegurando estabilidad.

Aruhuanca y Rodríguez (2021) en su investigación: Diseño de puente carrozable en la vía Mina Ccapacc Orcco – C.P. Limbani en la provincia de Sandia; desarrollada en la Universidad Privada de Trujillo en Perú; señalan como objetivo principal está orientado a elaborar el diseño de un puente vehicular con una extensión de 20 metros de longitud. Dicha investigación fue desarrollada mediante una metodología aplicada, con un diseño no experimental - descriptivo. En donde se obtiene como resultados el diseño de un puente de una luz de 12 m con un ancho de sección de 8.8 m, además de obtener también los diseños de la losa central y la losa de borde. Concluyendo que, si es posible la optimización del diseño del puente, aplicando las normas de diseño y las herramientas computacionales, y de esa manera poder mejorar el comportamiento estructural del puente, como también poder reducir costos de ejecución y mantenimiento.

2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES

García (2024) en su investigación: Optimización del diseño del puente carrozable para mejorar el comportamiento estructural en el distrito de San Francisco de Cayrán - Huánuco; desarrollada en la Universidad de Huánuco en Perú; teniendo como meta principal optimizar el diseño estructural del puente carrozable de 12 metros de longitud. En donde dicha investigación fue desarrollada aplicando un enfoque de carácter cuantitativo, con alcance explicativo y basado en un diseño no experimental. Obteniendo como resultados el diseño de un puente de una luz de 12 m y un ancho de sección de 8.8 m, además de obtener el diseño de las losas central y de borde. Concluyendo que, si es posible la optimización del diseño del puente, aplicando las normas de diseño y las herramientas computacionales, y así mejorar el comportamiento estructural del puente, además de poder reducir costos de ejecución y mantenimiento.

Sabino (2023) en su investigación: Mejora del comportamiento estructural con el diseño de un puente viga losa en el distrito de Santa María del Valle – Huánuco; desarrollada en la Universidad de Huánuco en Perú; señala como objetivo principal el de formular una propuesta de diseño para un puente tipo viga–losa que asegure un desempeño estructural duradero. En donde dicha investigación fue desarrollada mediante un enfoque cuantitativo, con un alcance descriptivo, y un diseño no experimental. Obteniendo como resultados el diseño de un puente de 7.50 metros de ancho y 17 metros de luz, mediante la evaluación estructural correspondiente, asistido por el software Csi Bridge. Concluyó que el diseño óptimo depende de la relación entre peralte y luz. En esta investigación, se demuestra que el diámetro de las vigas rollizas de madera capirona influye directamente en la resistencia a las cargas actuantes, validando el criterio estructural adoptado.

Rodríguez (2022) en su investigación: Diseño estructural de un puente tipo viga-losa ubicado en el centro poblado de Janca Bajo, Amarilis, Huánuco; desarrollada en la Universidad de Huánuco en Perú;

señala como objetivo principal el de desarrollar el cálculo y diseño estructural de un puente para la mencionada localidad. Dicha investigación fue desarrollada mediante una metodología descriptiva con un enfoque cuantitativo. En donde se obtiene como resultados el diseño de un puente de concreto armado tipo viga – losa, con una luz de 12 m y un ancho de sección de 7.8 m, en donde dicho dimensionamiento además de utilizar el cálculo tradicional de tensiones admisibles respetando las normas RNE. En el caso del presente estudio, se lleva a cabo la propuesta de diseño de un puente de madera tipo viga – losa, con una luz de 7 m y un ancho de sección de 3 m. Concluyó que el uso combinado de normativa y software estructural garantiza un diseño confiable. En la presente tesis, se usó SAP2000 para analizar los mismos estados límites, obteniendo resultados que evidencian la funcionalidad del puente propuesto con madera, según criterios de flexión, corte y deflexión.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. PUENTES

Chuquimia y Cabrera (2004) lo definen como Se entiende como obras de ingeniería diseñadas para superar cursos de agua, irregularidades del terreno o desniveles, asegurando el paso continuo y seguro de peatones, vehículos y otros medios, contribuyendo así al bienestar y conectividad de la población (p.28).

ASSHTO LRFD Bridge Design Specifications (2010). Un puente constituye una estructura diseñada para superar un obstáculo y mantener la continuidad de una vía. Puede servir de soporte a carreteras, caminos o líneas férreas, y en algunos casos, transportar conducciones de agua o energía. Si su función es sostener canales o tuberías, se denomina acueducto; cuando atraviesa terrenos secos o valles, se conoce como viaducto; y si cruza autopistas o líneas ferroviarias, se le llama paso elevado. (p. 1-3).

Figura 1

Puente Inca Q'Eswachaka



Nota. El puente Q'Eswachaka declarado por la UNESCO como patrimonio cultural Inmaterial de la humanidad; mide 28.00 m de largo y 1.20 m de ancho aproximadamente, con una antigüedad de más de 500 años (UNESCO, 2020)

a) Puente de madera

Es la estructura más antigua empleada para evadir desniveles naturales como cauces de riachuelos o barrancos de menor tamaño. Inicialmente se empleaban troncos de árboles para unir ambas orillas de una depresión, pero con el tiempo la técnica constructiva en madera fue mejorando hasta originar las primeras vigas tipo celosía. Gracias a su bajo peso específico, la madera se considera un material idóneo para la edificación de puentes.

Figura 2

Puente carrozable de madera para camino



Nota. Instituto nacional de la investigación agropecuaria (2018)

2.2.2. ESTADOS LIMITES

Según la norma AASTHO LRFD (2010) se determina que los puentes han de proyectarse considerando estados límite concretos, asegurando que cumplan criterios de constructibilidad, seguridad, funcionalidad, economía y estética:

$$\sum n_i \times y_i \times Q_i < \phi \times R_n = R_r$$

En esta ecuación se define que:

n_i corresponde a un coeficiente de ajuste de carga asociado a la ductilidad, redundancia e importancia operativa. Para aquellos casos donde resulte pertinente un valor máximo de y_i , se asume que:

$$n_i = n_D \times n_R \times n_I > 0.95$$

Para cargas para las cuales un valor mínimo de y_i es apropiado, se considera:

$$n_i = 1 / n_D \times n_R \times n_I < 1.0$$

n_D = Factor relacionado con la ductilidad.

n_R = Factor relacionado con la redundancia.

n_I = Factor relacionado con la importancia operativa.

y_1 = Factor de carga que se aplica a las solicitudes.

Q_i = Representa el valor correspondiente a cada carga que actúa sobre la estructura.

ϕ = Coeficiente de resistencia estructural aplicado en solicitudes.

R_n = Resistencia nominal ante cada solicitud.

R_r = Capacidad resistente ajustada por factores de seguridad = $\phi \times R_n$

En este método se incorporan conceptos como ductilidad, redundancia e importancia operativa mediante factores de ajuste, aspectos que no se contemplan en la normativa chilena basada en tensiones admisibles. Esta consideración permite alcanzar diseños estructuralmente más confiables.

En cada estado límite es necesario comprobar que todos los componentes y conexiones estructurales satisfagan la ecuación establecida.

Estado límite ultimo de rotura

Según la norma AASTHO LRFD (2010) el estado límite de rotura debe ser considerado para asegurar que la resistencia y estabilidad, tanto local como global, son aseguradas para resistir las grandes combinaciones de carga estadísticamente determinadas a enfrentar a lo largo de la vida útil de la infraestructura. En esta condición límite de rotura pueden generarse esfuerzos muy altos y deterioros en la estructura, aunque se prevé que su estabilidad global permanezca intacta.

En el Eurocódigo 5 de la UNE-EN-1995 (1997) se indica que para comprobar la el estado limite último de rotura se verifica la flexión y el corte de la estructura.

La flexión del estado limite ultimo de rotura se verifica mediante:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1.0$$

Donde:

$\sigma_{m,y,d}$ Δ $\sigma_{m,z,d}$: Tensiones cortantes.

$f_{m,y,d}$ Δ $f_{m,z,d}$: Resistencia a la flexión

El corte del estado limite ultimo de rotura se verifica mediante:

$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

Donde:

τ_d : Esfuerzo cortante.

$f_{v,d}$: Capacidad frente a la cortante

a) Factores de reducción

Según la norma AASTHO LRFD (2010) los factores de reducción, deben de presentar las siguientes consideraciones:

- En la resistencia durante el hincado de pilotes $\phi = 1.15$.

En la combinación de carga de resistencia, los coeficientes correspondientes deben reducirse aplicando un factor de 0.75. Esto se justifica porque esta combinación incluye cargas permanentes, como el peso propio y la presión de suelos, que actúan durante períodos prolongados, reduciendo la capacidad resistente de la madera frente a esfuerzos sostenidos.

b) Estabilidad

La totalidad de la estructura y cada uno de sus elementos deben dimensionarse para soportar desplazamientos, vuelcos, asentamientos y fenómenos de pandeo sin comprometer su estabilidad (AASHTO LRFD, 2010).

c) Estados límites de eventos extremos

Según la norma AASHTO LRFD (2010) es indispensable contemplar los estados límite frente a eventos extremos para asegurar que el puente mantenga su integridad estructural en situaciones como sismos, crecidas importantes, impactos de embarcaciones en la subestructura, colisiones vehiculares o desplazamientos de masas de hielo que puedan generar socavación. Estos sucesos son de carácter excepcional y su periodo de retorno supera ampliamente la vida útil de diseño de la estructura.

En el caso de los estados límite asociados a eventos extremos, se adopta un coeficiente de resistencia con valor unitario.

Estado límite ultimo de fatiga

Según la norma AASHTO LRFD (2010) el estado límite de fatiga se plantea como una limitación al rango de esfuerzos producidos por el paso repetitivo de un camión de diseño a lo largo del número estimado

de ciclos de carga. Su objetivo es controlar la propagación de fisuras derivadas de cargas cíclicas y evitar que se produzca una fractura estructural durante el tiempo de servicio del puente.

En el Eurocódigo 5 de la UNE-EN-1995 (1997) se indica que para comprobar el este limite ultimo de fatiga de un puente primero se determina que sea $K > 0.10$ (para uniones con clavos) o $K > 0.15$ (tras uniones):

$$\frac{|\sigma_{d,m\acute{a}x} - \sigma_{d,min}|}{f_k/\gamma_{M,fat}} = K > 0.10 \vee 0.15$$

La comprobación de fatiga de la estructura se cumple:

$$\sigma_{d,m\acute{a}x} \leq f_{fat,d}$$

$$f_{fat,d} = k_{fat} \frac{f_k}{\gamma_{M,fat}}$$

Donde:

$\sigma_{d,m\acute{a}x}$: Máxima tensión debida a la carga de fatiga.

$f_{fat,d}$: Resistencia a fatiga

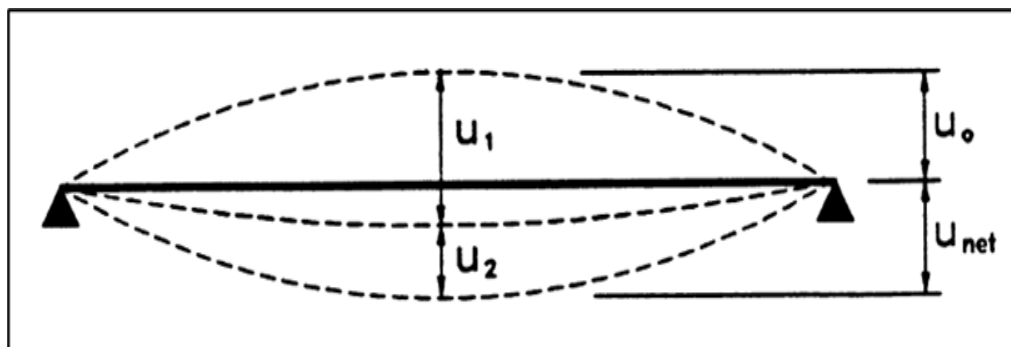
k_{fat} : Factor de reducción de resistencia de los ciclos de carga

Estado límite ultimo de fatiga

Según la norma AASTHO LRFD (2010) el estado límite de servicio establece límites para esfuerzos, deformaciones y aperturas de fisura bajo las condiciones normales de operación de la estructura. Esta condición se muestra en la estructura cuando dicha estructura pierde funcionalidad o sufre un deterioro sin riesgo inminente. En conclusión, el estado límite de servicio se define como las situaciones o fallas que pueden ser reparadas.

Figura 3

Límites de la deformación



Nota. Diagrama de deformaciones de servicio (UNE-EN-1995, 1997)

En el Eurocódigo 5 de la UNE-EN-1995 (1997) se indica que para comprobar el estado límite de servicio de un puente se realiza la verificación mediante sus deformaciones o deflexiones:

$$\Delta_{PL} \leq L/(200 \text{ al } 400)$$

$$\Delta_{PL} = 1.8 (U_{net})$$

$$U_{net} = U_1 + U_2 - U_0$$

Donde:

L = Luz de viga (longitud del puente).

Δ_{PL} = Deformación de servicio.

U_{net} = Deformación debida a las acciones variables.

U_0 = Flecha inversa prevista en el proceso constructivo (en caso de estar contemplada).

U_1 = Deflexión generada por las cargas de carácter permanente.

U_2 = Deflexión originada por cargas de tipo variable.

2.2.3. CRITERIOS DE DISEÑO

Estado límite ultimo de fatiga

a) Caracterización de diseño:

Se determina mediante estimación del dimensionamiento de la estructura, considerando las propiedades mecánicas de la madera a utilizar, hasta que el dimensionamiento satisfaga la funcionabilidad de la estructura según diseño.

Tabla 1*Propiedades mecánicas del tablero de madera*

Densidad (gr/cm ³)	E mín. MPa (kg/cm ²)	Peso Unitario kN/m ³ (Kgf/m ³)	Esfuerzos admisibles = MPa (kg/cm ²)				
			Flexión (f _m)	Tensión (f _t)	Compresión paralela (f _c //)	Compresión perpendicular (f _c ⊥)	Corte (f _v)
0.56 a 0.70	7355 (75,000)	10.0 (1,000)	14.7 (150)	10.3 (105)	10.8 (110)	2.7 (28)	1.2 (12)

Nota. Propiedades mecánicas de madera capirona para diseño de clasificación B adaptado de la E.010.

b) Caracterización de diseño:

Según la norma AASTHO LRFD (2010) las cargas permanentes y transitorias deben ser consideradas según la funcionalidad requerida de la estructura.

➤ Cargas permanentes:

- DC = Masa propia de los componentes estructurales y no estructurales que conforman el puente.
- DW = Carga correspondiente al peso de la capa de rodadura y de las instalaciones destinadas a servicios públicos.

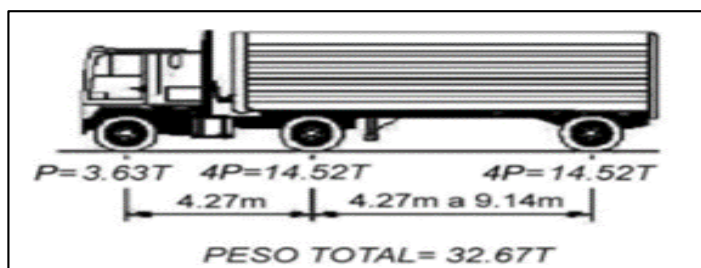
➤ Cargas transitorias:

- LL = Esfuerzo generado por el tránsito vehicular.
- IM = Incremento por Efectos dinámicos asociados al paso de vehículos.
- BR = Esfuerzo longitudinal originado por la acción de frenado de los vehículos.
- PL = Carga peatonal.
- WS = Viento sobre la estructura.
- TU = Temperatura uniforme.

Carga vehicular (LL): Es recomendable realizar el diseño de carga vehicular mediante vehículo patrón de diseño clasificado como HL-93.

Figura 4

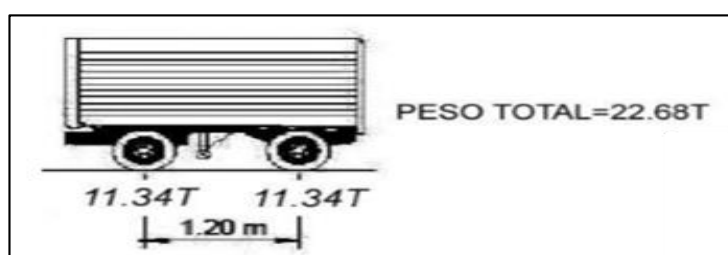
Camión de diseño HL-93



Nota. Esquema de cargas correspondiente al vehículo de diseño HL-93, según adaptaciones del manual de puentes (MTC, 2018).

Figura 5

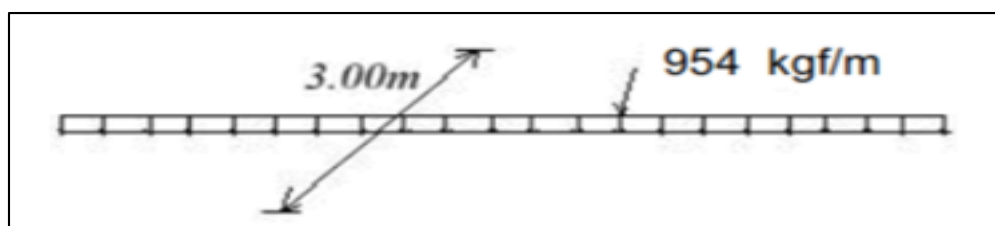
Camión de diseño HL-93



Nota. Cargas del tándem de diseño HL-93 adaptado del manual de puentes (MTC, 2018).

Figura 6

Carga adicional uniformemente distribuida contemplada en el diseño HL-93



Nota. Cargas de la sobrecarga del carril de diseño HL-93; adaptado del manual de puentes (MTC, 2018).

Aumento por efectos dinámicos de la carga vehicular (IM): Los esfuerzos estáticos producidos por el camión o tándem de referencia, exceptuando las fuerzas centrífugas y de frenado, deben incrementarse según los porcentajes indicados.

Tabla 2*Efectos dinámicos del incremento de carga*

Componente	Porcentaje
Elemento de unión en el tablero (para todos los estados limites)	75 %
Para otros elementos	
• Estados límites de fatiga y rotura	15 %
• Otros estados limites	

Nota. Incrementos de carga viva por efectos dinámicos (MTC, 2018)

Fuerza de frenado (BR): Al aplicar el camión de diseño HL-93, se considera donde la fuerza de frenado se adopta como el mayor valor entre el 25 % del peso por eje del camión o tándem de referencia; o el 5 % del camión o del tándem de diseño más la sobrecarga del carril.

Carga peatonal (PL): En todo diseño la carga peatonal uniforme es de 420kgf/m²

Viento de diseño (WS). Cuando la altura (z) del tablero del puente es mayor a 9.15 m sobre la línea del agua, la velocidad de viento de diseño es de 160 km/h.

c) Factores y coeficientes de diseño:

Según la norma UNE-EN-1995 (2016) los factores y coeficientes de diseño se definen:

Factor de simultaneidad de acción: El factor de simultaneidad está en función de las acciones variables que interactúan en la estructura.

Tabla 3*Factor de simultaneidad (ψ) de acciones en la superestructura*

	Tipo de Acción	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Cargas verticales	Sistema Tándem (TS) " q_{ik} o q_{rk} "	0.7	0.75	0
	Sistema (UDL) " Q_{ik} "	0.4	0.4	0
	Cargas peatonales + bicicletas	0.4	0.4	0
Vientos en situación de proyecto persistente (F_{wk})		0.6	0.2	0
Acciones térmicas (T_k)		0.6	0.6	0.5

Nota. Factores de simultaneidad para pasarelas adaptada de la UNE-EN-1990

Coeficiente parcial de seguridad de acción: El coeficiente parcial de seguridad está en función al estado límite último (ELU) y el estado límite de servicio (ELS) en la estructura.

Tabla 4*Coefficiente de seguridad (γ) de acciones en la superestructura*

Tipo de Acción		ELU		ELS	
		Favorabl	Desfavorabl	Favorabl	Desfavorabl
Permanente de valor constante (γ_G)	Peso propio	1.00	1.35	1.00	1.00
	Carga muerta	1.00	1.35	1.00	1.00
Variable (γ_Q)	Sobrecarga de uso	0.00	1.35	0.00	1.00
	Acciones climáticas y variables	0.00	1.50	0.00	1.00

Nota. Coeficiente parcial de seguridad para pasarelas en ELU y ELS adaptada de la UNE-EN-1990

Coefficiente parcial de seguridad del material: El coeficiente parcial de seguridad del material está en función a la madera.

Tabla 5*Coefficiente de seguridad (γ) del material de la superestructura*

Descripción	Coefficiente
1. Madera y productos derivado de la madera	
- Comprobaciones normales de madera maciza.	$\gamma_M = 1.3$
- Comprobaciones a fatiga.	$\gamma_{M.fat} = 1.0$
2. Uniones	
- Comprobaciones normales.	$\gamma_M = 1.3$
- Comprobaciones a fatiga.	$\gamma_{M.fat} = 1.0$
Para combinaciones accidentales el valor recomendado es $\gamma_M = 1.0$	

Nota. Coeficiente parcial de seguridad de la madera para puentes, adaptada de la UNE-EN-1990

Factor de modificación: El coeficiente de modificación considera la influencia tanto del tiempo de aplicación de la carga como del nivel de humedad presente en el material.

Tabla 6*Factor de modificación (k_{mod}) de la superestructura*

Material	Clases de Servicio	Clases de duración de la carga				
		Acción permanente	Acción de larga duración	Acción de media duración	Acción de corta duración	Acción instantánea
Madera maciza	1	0.60	0.70	0.80	0.90	1.10
	2	0.60	0.70	0.80	0.90	1.10
	3	0.50	0.55	0.65	0.70	0.90

Nota. Coeficiente de modificación de la madera para pasarelas, adaptada de la UNE-EN-1990

d) Factores y coeficientes de diseño:

Según la norma AASTHO LRFD (2010) las fuerzas totales factorizadas se consideran como:

$$Q = \sum ni \times y1 \times Qi \dots \dots \dots (4)$$

El resultado de sumar algebraicamente estos términos representa la demanda total que debe contemplarse en el diseño del puente y sus componentes.

La relación planteada debe cumplirse en todos los elementos y uniones estructurales del puente, considerando las combinaciones de carga definidas para cada estado límite:

- ✓ Resistencia I: Combinación de carga básica que representa el uso vehicular normal de un puente, sin viento.
- ✓ Resistencia II: Combinación de carga que representa el uso del puente por parte de vehículos de diseño especiales especificados por el mandante, vehículos con restricciones de circulación, o la combinación de ambos casos, en ausencia de viento.
- ✓ Resistencia III: Escenario de carga en el que el puente se encuentra sometido a vientos que superan los 90 km/h.
- ✓ Resistencia IV: Caso de diseño en el que las cargas permanentes generan solicitaciones significativamente superiores a las originadas por sobrecargas.
- ✓ Resistencia V: Condición en la que el puente es utilizado por vehículos estándar mientras se encuentra expuesto a vientos de 90 km/h).
- ✓ Evento Extremo I: Escenario de diseño que considera la acción sísmica como parte de la combinación de carga.
- ✓ Evento Extremo II: Situación que contempla la acción de cargas de hielo, impactos de embarcaciones o vehículos y eventos hidráulicos, incorporando una sobrecarga reducida distinta a la asociada con la colisión vehicular CT.

Dado que la ocurrencia simultánea de estos eventos es muy poco probable, se establece que deben considerarse de manera independiente. Un coeficiente de carga viva de 0.5 refleja la reducida probabilidad de coincidencia entre la carga viva vehicular máxima (distinta de CT) y un evento extremo.

- ✓ Servicio I: Escenario de diseño que refleja el funcionamiento habitual del puente bajo la acción de un viento de 90 km/h, considerando todas las cargas en sus valores nominales.
- ✓ Servicio II: Caso de carga orientado a limitar la fluencia en estructuras de acero y evitar el desplazamiento producido por sobrecargas vehiculares en uniones con deslizamiento crítico. Este criterio se aplica únicamente a estructuras metálicas.
- ✓ Servicio III: Condición de carga destinada exclusivamente a regular los esfuerzos de tracción en superestructuras de hormigón pretensado para prevenir la aparición de fisuras.
- ✓ Servicio IV: Situación de carga aplicada únicamente a controlar los esfuerzos de tracción en subestructuras de hormigón pretensado, evitando la formación de grietas.
- ✓ Fatiga: Escenario de carga para fatiga y fractura asociado a la repetición de cargas gravitatorias vehiculares y a los efectos dinámicos generados por un camión de diseño con ejes separados 9000 mm y carga total de 145000 N.

2.2.4. DUCTILIDAD

Según la norma AASTHO LRFD (2010) la configuración estructural de un puente debe diseñarse y detallarse de forma que permita el desarrollo de deformaciones inelásticas apreciables antes de que se produzca la pérdida de capacidad portante, especialmente en situaciones correspondientes a estados límite de resistencia o eventos extremos. Esta capacidad de deformación, conocida como ductilidad, actúa como señal previa a la falla y contribuye a la disipación de energía, favoreciendo la integridad de la estructura. Para asegurar este comportamiento, en el estado límite de resistencia se establece que:

$n_D > 1.05$, elementos y conexiones no dúctiles.

$n_D = 1$, diseños y detalles convencionales.

$n_D > 0.95$, elementos y conexiones dúctiles.

$n_D = 1$, todos los demás estados límites.

2.2.5. REDUNDANCIA

Según la norma AASTHO LRFD (2010) se considera que una estructura o uno de sus elementos presenta redundancia cuando su eventual falla no implica el colapso total del puente. Esta categorización depende del grado en que dicho elemento contribuye a la estabilidad y seguridad global de la obra.

2.2.6. IMPORTANCIA OPERACIONAL

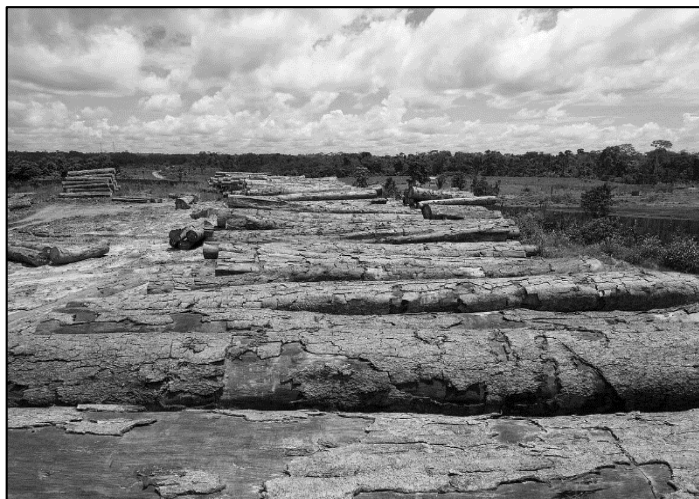
Según la norma AASTHO LRFD (2010) este criterio se limita a los estados límite de resistencia y a los asociados con eventos extremos. El propietario u organismo responsable debe especificar qué elementos o uniones poseen mayor relevancia operativa. La determinación de la importancia operacional se fundamenta en factores sociales, de defensa, de seguridad y de continuidad de servicios. Según la norma, los puentes se clasifican en tres categorías: críticos, esenciales y otros; siendo los dos primeros considerados de alta importancia operacional.

2.2.7. ESPECIES DE MADERA

En el Perú se han identificado y catalogado 237 especies maderables de valor comercial, con estudios técnicos completos. Considerando que las empresas que administran sus bosques de manera sostenible cuentan con un alto potencial para diversificar especies y productos, este catálogo tiene como propósito difundir y promover el uso de maderas forestales tanto en el mercado interno como en el internacional.

Figura 7

Especies de maderas en el Perú



Nota. Kaufmann (2018).

Aguano Masha

De la especie *Machaerium inundatum*, de la familia Fabaceae – Papilionoideae

a) Características de la madera

En estado recién cortado, el fuste muestra una albura de tonalidad blanca y un duramen marrón de apariencia uniforme. Tras el secado al aire, la albura adquiere un matiz amarillo claro, mientras que el duramen intensifica su color marrón.

b) Recomendaciones técnicas

Se trata de una madera de elevada densidad, con contracciones lineales moderadas y volumen estable. Su resistencia mecánica se ubica entre la categoría media y alta, lo que dificulta en cierta medida el aserrado. No obstante, ofrece buena trabajabilidad y un acabado de calidad, lo que la hace adecuada para la elaboración de parquet de exportación. Durante el secado mantiene estabilidad dimensional y presenta bajo riesgo de deformación. La albura, al ser vulnerable al ataque de organismos biológicos, requiere tratamiento preservante, mientras que el duramen es naturalmente resistente y no necesita este tipo de protección.

c) Usos

Sus usos abarcan la fabricación de pisos, durmientes, elementos estructurales para viviendas, trabajos de carpintería interior, artículos artesanales y parquet destinado a exportación.

Caimitillo

Pertenece a la especie *Pouteria caimito* (Ruiz & Pav.) Radlk, incluida en la familia Sapotaceae.

a) Características de la madera

Especie arbórea que presenta diámetros entre 20 y 100 centímetros y alturas que oscilan entre 15 y 25 metros. Se identifica por su corteza externa agrietada de tono marrón rojizo y una corteza interna que exuda látex blanco. La madera carece de olor o sabor distintivo, aunque presenta ligera astringencia. La albura exhibe un color marrón rojizo claro y el duramen un marrón rojizo más intenso, con grano recto o moderadamente entrelazado.

b) Recomendaciones técnicas

El elevado contenido de sílice dificulta su aserrado, ya que se trata de una madera abrasiva y de alta resistencia mecánica. Presenta buena trabajabilidad en operaciones de cepillado y torneado, un rendimiento regular en el taladrado y un moldurado satisfactorio. El secado al aire es lento, mientras que en secado artificial responde bien bajo programas suaves. Es altamente resistente al deterioro causado por hongos e insectos. El tratamiento preservante mediante baño térmico y presión al vacío ofrece resultados algo irregulares.

c) Usos

Se utiliza en obras de construcción pesada, como vigas y columnas, en la fabricación de durmientes, trabajos generales de carpintería y en ebanistería.

Capirona

Corresponde a la especie *Calycophyllum spruceanum*, perteneciente a la familia Rubiaceae.

a) Características de la madera

En estado recién cortado, el fuste muestra una albura de tonalidad blanco cremosa y un duramen de color blanco pardo atravesado por vetas marrón claro.

b) Recomendaciones técnicas

Se trata de una madera de gran densidad, con contracciones lineales reducidas y estabilidad volumétrica moderada. Su resistencia mecánica se ubica entre la categoría media y alta. Resulta relativamente sencilla de aserrar y presenta buen desempeño en trabajos de carpintería. En secado artificial mantiene un comportamiento estable, siempre que se empleen programas suaves para evitar fisuras. Posee alta resistencia frente al deterioro biológico y, debido a su durabilidad natural, no requiere tratamientos preservantes, especialmente cuando se utiliza en aplicaciones fuera del contacto directo con el suelo.

c) Usos

Se emplea en la fabricación de pisos, parquet, molduras, tarugos, embarcaciones, elementos estructurales de gran carga como vigas, carrocerías, piezas torneadas, implementos deportivos como raquetas de tenis y tenis de mesa, así como mangos para herramientas.

Chamisa

Pertenece a la especie *Anthodiscus pilosus* (Ducke), incluida en la familia Caryocaraceae.

a) Características de la madera

Puede alcanzar hasta 30 metros de altura, con fuste recto o provisto de pequeñas aletas robustas. Su corteza externa, de color oscuro casi negro, presenta fisuras y algunas lenticelas redondeadas distribuidas de manera dispersa. La corteza interna es de tono amarillento-crema, textura fibrosa, sabor ligeramente amargo y aroma característico. En estado recién cortado, la albura muestra un color crema y el duramen un tono marrón claro; tras el secado al aire, la albura adquiere un matiz amarillo pálido y el duramen un marrón amarillento.

b) Recomendaciones técnicas

El proceso de aserrado resulta complejo y no se aconseja la obtención de láminas. El uso de maquinaria para el corte y el posterior cepillado presenta dificultad. Sin embargo, la madera responde bien al clavado, aunque no se recomienda su empleo en trabajos encolados.

c) Usos

Se utiliza principalmente en aplicaciones exteriores, como en la construcción de vigas y viguetas, elaboración de pisos, fabricación de herramientas, embalajes y parihuelas.

Chontaquiro

De la especie *Diploptropis purpurea* (Rich.) Amshoff, de la familia *Diploptropis*.

a) Características de la madera

Puede crecer hasta 40 metros de altura, presentando aletas poco pronunciadas. La madera carece de olor y sabor distintivo. La albura se distingue fácilmente del duramen, de tono marrón oscuro que aclara con la exposición. Es altamente resistente a hongos y termitas, aunque susceptible a la acción de perforadores marinos.

b) Recomendaciones técnicas

El corte presenta una dificultad media, siendo aconsejable el uso de sierras de cinta con dientes reforzados en estelita. Es apta para obtener láminas o chapas decorativas. Su grano recto permite un cepillado uniforme, mientras que el grano entrelazado puede generar superficies irregulares. Se clava con facilidad, aunque trabajarla con herramientas manuales resulta más complicado.

c) Usos

Pese a su versatilidad, su uso más habitual es en exteriores. Asimismo, se destina a la construcción de vigas, tableros, pisos, marcos y peldaños, así como a la fabricación de mobiliario común, revestimientos decorativos, piezas torneadas, utensilios, mangos de herramientas, implementos agrícolas, embalajes pesados, carrocerías de transporte, cubiertas de embarcaciones y ciertos instrumentos musicales.

Copaiba

Pertenece a la especie *Diploptropis purpurea* (Rich.) Amshoff, clasificada en la familia Fabaceae, subfamilia Caesalpinioideae.

a) Características de la madera

En estado recién cortado, el fuste muestra una albura de tono beige y un duramen castaño rojizo con vetas oscuras. Tras el secado al aire, la albura adquiere un matiz blanco rosado, mientras que el duramen toma un color rojo amarillento con vetas oscuras de apariencia aceitosa.

b) Recomendaciones técnicas

Se trata de una madera de alta densidad, con contracciones lineales reducidas y volumen moderadamente estable. Resulta sencilla de aserrar y presenta buen desempeño en trabajos de labrado. Su resistencia mecánica es intermedia y el secado natural se desarrolla a

un ritmo relativamente lento. Posee durabilidad natural de baja a media, aunque en estado húmedo ofrece resistencia frente a agentes biológicos. La albura admite fácilmente tratamientos preservantes, mientras que el duramen presenta baja permeabilidad para este tipo de procesos.

c) Usos

Se utiliza en la fabricación de vigas, columnas, machihembrados, mobiliario y piezas torneadas. Es apta para trabajos de carpintería, instalación de pisos, revestimientos interiores, parquet, contrachapados, entablados, cajas, molduras, encofrados y laminados. Sus características le permiten ser una alternativa al pino oregón. Con tratamiento preservante, puede destinarse a postes o estantillos para cercas. También es adecuada para la producción de tableros de partículas y tableros compuestos madera-cemento.

Huangana

De la especie *Diplotropis purpurea* (Rich.) Amshoff, de la familia: Fabaceae - Caesalpinioideae.

a) Características de la madera

Puede alcanzar una altura de hasta 20 metros y presenta tronco con aletas laminares. La corteza externa, de color marrón claro, tiene textura escamosa, mientras que la interna es rojiza. Las flores son amarillentas y poseen numerosos estambres. En madera seca, la transición entre albura y duramen es gradual; la albura es de tono marrón claro y el duramen de color marrón oscuro. Carece de olor y sabor distintivos, muestra grano entrecruzado, textura media y ausencia de brillo. No presenta veteado y es susceptible a decoloración por oxidación.

b) Recomendaciones técnicas

La presencia de resinas disminuye la permeabilidad de la madera, lo que complica su impregnación con preservantes. Asimismo, estas características afectan el aserrado, haciéndolo más complejo. Contiene sílice, lo que puede provocar desgaste o daño en herramientas de corte que no sean adecuadas para este tipo de material.

c) Usos

Se utiliza en la edificación de viviendas, fabricación de mobiliario interior y trabajos de carpintería, especialmente en la elaboración de gabinetes. Gracias a su versatilidad, también se destina a laminados, contrachapados, piezas torneadas, embalajes, instrumentos musicales, durmientes y molduras. En el ámbito local, es frecuente su uso en la producción de artesanías.

Huayruro

Pertenece a la especie *Ormosia coccinea*, incluida en la familia Fabaceae, subfamilia Papilionoideae.

a) Características de la madera

En estado recién cortado, el tronco exhibe una albura de tono marrón muy claro y un duramen de color amarillo rojizo.

b) Recomendaciones técnicas

Posee una elevada densidad básica, con contracciones lineales intermedias y estabilidad volumétrica. Su aserrado resulta medianamente complejo debido a la dureza y resistencia mecánica. Presenta una trabajabilidad aceptable, con buen desempeño en cepillado y moldurado, aunque el taladrado demanda mayor esfuerzo. El secado al aire es lento, mientras que el artificial ofrece buenos resultados. Cuenta con buena durabilidad natural y una resistencia moderada frente a agentes biológicos: la albura es vulnerable, pero el

duramen es naturalmente resistente, por lo que no necesita tratamiento preservante. Aunque las trozas suelen ser de gran tamaño, el rendimiento final es bajo debido a la alta proporción de albura.

c) Usos

Se emplea en carpintería de obra, fabricación de muebles, elaboración de chapas decorativas, pisos como parquet machihembrado y peldaños de escaleras. También se utiliza en construcciones de gran envergadura, tales como puentes, puntales para minas, pilotes, carrocerías, embalajes y elementos estructurales como vigas, viguetas, columnas y tijerales.

Machimango Colorado

De la especie *Eschweilera coriacea* S. A. Mori, de la familia Lecythidaceae.

a) Características de la madera

Puede alcanzar alturas de hasta 35 metros, generalmente con aletas prominentes. Su corteza externa varía de pardo a pardo muy oscuro, casi negro. La madera, de gran dureza y peso, presenta grano entrecruzado, textura media a fina y tonalidades que van del amarillo al marrón claro. No posee aroma ni sabor distintivos y su brillo es bajo. Es muy durable y altamente resistente a las termitas, aunque su respuesta a tratamientos preservantes es limitada.

b) Usos

Su uso predominante es en exteriores, en la fabricación de durmientes y en componentes estructurales de edificaciones, como travesaños, puntales y vigas.

Machinga

De la especie *Brosimum alicastrum*, de la familia Moraceae.

a) Características de la madera

En estado recién cortado, el fuste muestra una albura de tonalidad amarilla, semejante en color al duramen.

b) Recomendaciones técnicas

Se caracteriza por su alta densidad, con contracciones lineales reducidas y volumen moderadamente estable. Su resistencia mecánica se ubica entre la categoría media y alta. El trabajo con esta madera presenta cierta dificultad, aunque ofrece buen rendimiento en operaciones de labrado. Se aconseja realizar el aserrado en sentido radial para minimizar tensiones y obtener piezas de mayor calidad. Su secado es lento y, en procesos artificiales, requiere programas suaves. Es vulnerable a hongos cromógenos, por lo que en estado húmedo debe procesarse de inmediato y recibir tratamiento por inmersión con preservantes. Cuando está seca, puede preservarse con el método caliente-frío o, en productos para exportación, mediante autoclave a presión.

c) Usos

Se destina a la construcción de estructuras como vigas, columnas y tijerales, así como a la fabricación de parquet, pisos, trabajos de carpintería, escaleras, mangos para herramientas, chapas, contrachapados, revestimientos decorativos, ebanistería y mobiliario.

Mari Mari

Pertenece a la especie *Vatairea guianensis*, integrada en la familia Fabaceae, subfamilia Papilionoideae.

a) Características de la madera

En estado recién cortado, el fuste muestra una albura que varía entre blanco y crema, mientras que el duramen presenta un tono amarillo intenso.

b) Recomendaciones técnicas

Se trata de una madera de alta densidad y peso, con contracciones lineales reducidas y volumen estable. Su resistencia mecánica se ubica en el límite de la categoría media. Debido a su dureza, se recomienda el uso de sierras tratadas con estelita para un aserrado eficiente. Ofrece una trabajabilidad moderada y un buen desempeño en el secado natural. La albura es altamente vulnerable al ataque de insectos, por lo que requiere tratamiento preservante, mientras que el duramen posee gran resistencia frente a organismos xilófagos y no necesita protección una vez seca. Presenta una permeabilidad moderada a soluciones preservantes cuando se aplican tratamientos a presión.

c) Usos

Se emplea como combustible en hornos de panificación y en la fabricación de ladrillos. Asimismo, se utiliza en construcciones de gran envergadura, en la elaboración de canoas, componentes estructurales, carrocerías, mobiliario, pisos tipo parquet y diversos trabajos de carpintería.

Mashonaste

Pertenece a la especie *Clarisia racemosa*, incluida en la familia Moraceae.

a) Características de la madera

En estado recién cortado, el fuste muestra una albura de tono blanco amarillento, mientras que el duramen presenta un color amarillo intenso.

b) Recomendaciones técnicas

Se clasifica como una madera de densidad media-alta y buena calidad, cuya resistencia mecánica se ubica entre la categoría media y alta. El aserrado presenta dificultad moderada debido a su carácter

abrasivo por el contenido de sílice. Es recomendable cortarla poco después de la tala, empleando herramientas con puntas de carburo y dientes reforzados con estelita. Posee buena trabajabilidad y responde favorablemente a operaciones de taladrado, torneado, moldurado, encolado y clavado. El secado natural es relativamente lento, aunque con bajo riesgo de deformación; en secado artificial mantiene un buen comportamiento si se aplica un programa moderado. Es resistente al deterioro causado por termitas, insectos de maderas secas y hongos xilófagos, por lo que no requiere preservación.

c) Usos

Se emplea en aplicaciones estructurales como vigas, columnas, pisos y durmientes, así como en trabajos de carpintería interior y exterior. También se utiliza en construcciones navales, fabricación de canoas, botes, carrocerías, mobiliario y parihuelas.

Moena Alcanfor

Corresponde a la especie *Ocotea costulata*, perteneciente a la familia Lauraceae.

a) Características de la madera

Puede alcanzar una altura de hasta 35 metros y un diámetro de fuste cercano a 120 centímetros. El tronco presenta estrías o irregularidades y no muestra una clara distinción entre albura y duramen. Este último, en estado seco, es de tono marrón pálido con bandas marrón amarillento claro. La madera posee grano entrecruzado y textura que varía de media a gruesa.

b) Recomendaciones técnicas

El aserrado se realiza con facilidad, aunque su preservación resulta moderadamente compleja. Responde bien al trabajo con maquinaria y herramientas manuales, aunque en piezas con grano entrecruzado pueden aparecer vellosidades. Bajo un programa de secado intenso,

requiere aproximadamente 45 horas para reducir su humedad del 65% al 13%, sin registrar defectos posteriores. El secado natural es lento, presentando pocos problemas de deformaciones como alabeos, colapsos o torceduras.

c) Usos

Se utiliza en aplicaciones de construcción como pisos, láminas y contrachapados, así como en la elaboración de herramientas, piezas y accesorios de madera, mangos y elementos para encofrados.

Moena Amarilla

Pertenece a la especie *Aniba amazónica* Mez, incluida en la familia Lauraceae.

a) Características de la madera

Puede desarrollarse hasta 32 metros de altura, con una altura comercial de 18 a 22 metros. En estado seco, la madera muestra un color amarillo dorado con matices verde claro y franjas oscuras, características asociadas a su grano entrecruzado. Exhibe un veteado formado por bandas alternas de brillo en la sección tangencial y aspecto opaco en la sección radial.

b) Recomendaciones técnicas

Se asierra y trabaja con facilidad empleando herramientas y maquinaria convencional de carpintería. Aunque presenta grano entrecruzado, es posible obtener superficies lisas y de buena terminación utilizando en el cepillado ángulos de corte de 25°, 30° o 35°. El moldurado longitudinal ofrece buenos resultados, mientras que el transversal es aceptable. Responde de manera regular al taladrado y torneado. El secado al aire es moderadamente complejo y puede ocasionar leves deformaciones. Posee durabilidad natural frente a la degradación por putrefacción.

c) Usos

Se destina a la fabricación de elementos de carpintería, pisos machihembrados, estructuras habitacionales, chapas decorativas y plataformas o parihuelas.

Moena Negra

Pertenece a la especie *Nectandra reticulata* (Ruiz & Pav.) Mez, integrada en la familia Lauraceae.

a) Características de la madera

Alcanza alturas de entre 15 y 30 metros y diámetros de 30 a 90 centímetros. Su fuste, de forma cilíndrica, inicia la ramificación en el segundo tercio, con base recta o provista de pequeñas aletas. En estado seco al aire, la albura adquiere un tono pardo grisáceo claro, mientras que el duramen presenta un color pardo amarillento, con una transición gradual entre ambas zonas.

b) Recomendaciones técnicas

El secado al aire libre se realiza con rapidez y ofrece buenos resultados, aunque la madera, generalmente clasificada como grado A, puede presentar algunas grietas. En secado artificial, requiere alrededor de 51 días para reducir su humedad del 58% al 20%, siendo recomendable aplicar un programa suave. El aserrado resulta sencillo, con un desempeño aceptable en el trabajo con maquinaria de carpintería y buenos acabados en el moldurado. Presenta resistencia moderada frente a insectos y hongos xilófagos, pero su preservación es complicada.

c) Usos

Cuando recibe un tratamiento adecuado, esta madera se convierte en un material muy versátil, apto para la construcción de viviendas, estructuras y trabajos de interiores. Se utiliza también en cajonería,

puertas, ventanas, encofrados, laminados, fabricación de juguetes y elaboración de mobiliario de carpintería en general.

Palisangre

De la especie *Pterocarpus Rohrii* Vahl, de la familia: Fabaceae.

a) Características de la madera

Alcanza una altura promedio de 35 metros, con una altura comercial de aproximadamente 25 metros. Presenta un fuste cilíndrico cuya ramificación comienza en el segundo tercio. La madera, considerada de buena calidad, es semidura y de peso medio, con grano recto o levemente entrecruzado, textura de media a gruesa y coloración que varía del amarillo al pálido. No posee aroma característico o este es poco perceptible.

b) Recomendaciones técnicas

El aserrado de esta madera es sencillo y su trabajabilidad es aceptable. Posee alta resistencia mecánica, con buen desempeño en cepillado y torneado, aunque presenta dificultades en el taladrado y un rendimiento regular en moldurado. El secado natural es prolongado, alcanzando los 150 días y pudiendo generar deformaciones. En secado artificial responde bien cuando se aplica un programa intenso. Su preservación es compleja y resulta vulnerable a hongos e insectos.

c) Usos

Se emplea en carpintería y construcción. También se usa en pisos (parquet y machihembrado), pasos de escaleras y chapas decorativas.

Palo Bastón

Pertenece a la especie *Crepidospermum goudotianum* (Tul.) Triana & Planch, perteneciente a la familia Burseraceae.

a) Características de la madera

Puede crecer hasta 30 metros de altura y alcanzar un diámetro aproximado de 100 centímetros, presentando un fuste de forma cilíndrica.

En estado seco al aire, la albura muestra un tono amarillo, mientras que el duramen presenta vetas oscuras. Su grano es entrecruzado, con textura y brillo intermedios, y exhibe un veteado compuesto por arcos superpuestos y bandas paralelas.

b) Recomendaciones técnicas

El proceso de aserrado presenta una dificultad media y, en ciertos casos, el grano entrelazado produce superficies planas deficientes. La madera tiene buenas reacciones al clavado, pero muestra dificultades al trabajar con herramientas manuales. La madera presenta una durabilidad natural.

c) Usos

Se utiliza en la elaboración de chapas decorativas, obras de construcción y carpintería en general, así como en la fabricación de canoas y botes. Es recomendable para la instalación de pisos, tanto parquet como machihembrados, y para escaleras, incluyendo peldaños y contrapasos. También se emplea en piezas torneadas como balaustradas y pasamanos, revestimientos y laminados, trabajos artesanales, mangos de herramientas y en ebanistería fina.

Parinari

Pertenece a la especie *Licania micrantha* Miq, incluida en la familia Chrysobalanaceae.

a) Características de la madera

Puede alcanzar entre 15 y 30 metros de altura, con un diámetro de hasta 70 centímetros y fuste cilíndrico. Su corteza presenta lenticelas,

con un color marrón claro y manchas grisáceas. La albura es rosada y se funde gradualmente con el duramen, que es de color marrón claro. No posee aroma ni sabor distintivos. Su grano varía de recto a entrecruzado y el veteado es discreto.

b) Recomendaciones técnicas

Se trabaja con facilidad mediante procesos mecánicos, logrando superficies de buen acabado. Presenta una permeabilidad moderada y alta absorción de pentaclorofenol en tratamientos por inmersión en caliente y frío al 5% de concentración. Sin la aplicación de preservantes, su durabilidad es limitada.

c) Usos

Se utiliza en la construcción de estructuras, trabajos de carpintería y ebanistería, fabricación de pisos como parquet, chapas decorativas, carrocerías, cajonería, embarcaciones, durmientes tratados y artículos de juguetería.

Pumaquiro

Conocido también con el nombre de Aararacanga, pertenece a la especie *Aspidosperma macrocarpon*, integrante de la familia Apocynaceae.

a) Características de la madera

En estado recién cortado, la albura muestra un color amarillo y el duramen un tono amarillo rojizo. Tras el secado al aire, la albura mantiene el tono amarillo, mientras que el duramen conserva su tonalidad amarillo rojizo.

b) Recomendaciones técnicas

Es una madera de alta densidad, con contracción volumétrica de moderada a media. Su relación de contracción refleja buena estabilidad y un comportamiento favorable durante el secado. Exhibe resistencia

mecánica superior a especies como el roble, fresno blanco y pino oregón. Su trabajabilidad es intermedia y, al ser aserrada en estado húmedo, puede generar irritación en la piel debido a las pelusas liberadas por la corteza. El trabajo con herramientas presenta cierta dificultad por su elevada resistencia mecánica. En secado artificial responde bien bajo programas suaves o moderados. Posee una durabilidad natural destacada, con resistencia frente a hongos.

c) Usos

Se emplea en estructuras de diversa índole, fabricación de muebles y trabajos de ebanistería, instalación de pisos y acabados interiores, así como en piezas torneadas, talladas, mangos de herramientas, implementos agrícolas y artículos deportivos. También se utiliza en construcciones pesadas como puentes, puntales para minería, embalajes de gran resistencia, quillas de embarcaciones, edificaciones y encofrados.

Quillobordon Amarillo

Pertenece a la especie *Aspidosperma parvifolium*, integrada en la familia Apocynaceae.

a) Características de la madera

Puede alcanzar hasta 35 metros de altura, con una altura comercial promedio de 20 metros y un diámetro aproximado de 80 centímetros a la altura del pecho. La corteza es de color pardo grisáceo, de textura compacta, con un espesor cercano a 10 milímetros y lenticelas muy visibles. La madera presenta una transición gradual entre la albura, de color amarillo claro, y el duramen, de tono amarillo más oscuro. Posee brillo medio, grano entrecruzado, textura fina y un veteado característico en arcos superpuestos, sin aroma perceptible.

b) Recomendaciones técnicas

El secado natural de esta madera se realiza con buen comportamiento, sin que se generen defectos visibles como manchas o deformaciones. Su aserrado es relativamente sencillo y su trabajabilidad es aceptable, aunque el grano entrecruzado puede dificultar algunos procesos. Es resistente frente a agentes biológicos y cuenta con buena durabilidad natural.

c) Usos

Se utiliza en proyectos de construcción tanto interiores como exteriores, en la fabricación de embarcaciones y buques, así como en pisos, laminados, mobiliario, trabajos de ebanistería y cajonería.

Quina Quina

Pertenece a la especie *Pouteria reticulata* (Engl.) Eyma, integrada en la familia Sapotaceae.

a) Características de la madera

El árbol alcanza alturas de 25 a 35 metros y diámetros de 40 a 80 centímetros. El fuste es recto y cilíndrico. A veces presenta aletas de hasta 2 metros de altura. Contiene abundante látex blanco. Se clasifica como madera semidura y de peso medio, con textura predominantemente media. No presenta aroma ni sabor distintivos. La albura muestra un tono marrón rojizo claro, mientras que el duramen adquiere un color marrón rojizo más intenso. El grano puede ser recto o presentar entrecruzamientos. Su brillo es moderado y carece de veteado visible.

b) Recomendaciones técnicas

Se asierra y cepilla con relativa facilidad, y permite realizar moldurados sin dificultad. Responde favorablemente a los procesos de taladrado.

c) Usos

Es común su uso en aplicaciones exteriores, como postes, crucetas y cruces, así como en construcción para la fabricación de vigas, viguetas, pisos, marcos, peldaños y herrajes. También se utiliza en la elaboración de láminas, madera contrachapada para instrumentos deportivos, mangos de herramientas y contenedores, carrocería y pisos de camiones, y construcción naval.

Quinilla

Conocida también con el nombre de Macaranduba, de la especie *Manilkara Bidentata*; de la familia Sapotaceae.

a) Características de la madera

En estado recién cortado, la albura presenta un tono castaño claro, mientras que el duramen es de color castaño rojizo oscuro. Tras el secado al aire, la albura adquiere un matiz marrón rojizo claro y el duramen conserva un tono marrón rojizo.

b) Recomendaciones técnicas

Es una madera de elevada densidad, con contracciones lineales reducidas y estabilidad volumétrica moderada. Su resistencia mecánica se encuentra en el rango superior, lo que, junto con su dureza, demanda un mayor esfuerzo en los procesos de trabajo. Sin embargo, presenta un buen desempeño en operaciones de cepillado, taladrado, torneado y moldurado. El secado natural es lento, mientras que en secado artificial responde bien con programas suaves. Destaca por su alta durabilidad natural y el duramen muestra resistencia frente a ataques biológicos, pero su resistencia a insectos marinos es baja. Para preservarla es recomendable utilizar el método vacío-presión.

c) Usos

Se emplea en la fabricación de traviesas, durmientes, estructuras de gran envergadura, componentes de puentes, postes, pisos, parquet, chapas decorativas, arcos, instrumentos musicales y trabajos de tornería.

Yacushapana

Conocido también con el nombre de Tanimbuca, pertenece a la especie *Terminalia oblonga*, incluida en la familia *Combretaceae*.

a) Características de la madera

En estado recién cortado, la albura presenta una tonalidad crema y el duramen un marrón claro. Tras el secado al aire, la albura adquiere un matiz amarillo pálido, mientras que el duramen toma un color marrón amarillento.

b) Recomendaciones técnicas

Es un tipo de madera de alta densidad, con contracciones lineales reducidas y volumen estable. Su resistencia mecánica se ubica en el rango medio. Debido a su dureza, grano entrecruzado y contenido de sílice, se recomienda emplear sierras con puntas de estelita para el aserrado. En secado artificial presenta buen rendimiento bajo programas suaves para piezas de hasta dos pulgadas de espesor. Posee buena durabilidad natural y es resistente al ataque de hongos, aunque en ocasiones la madera aserrada presenta el defecto conocido como ojo de pescado. No requiere tratamiento preservante.

c) Usos

En el ámbito local se emplea en construcciones generales, elaboración de vigas, columnas, pisos, parquet, machihembrados, durmientes, chapas decorativas y fabricación de artículos deportivos.

Yesca Caspi

Conocido también con el nombre de Mandioqueira, Pertenece a la especie *Qualea paraensis* Ducke, clasificada dentro de la familia Vochysiaceae.

a) Características de la madera

Es una especie arbórea de gran tamaño, con ápice abrupto-acuminado y base que puede ser obtusa o aguda. Sus hojas son coriáceas, de forma oblonga o elíptico-oblonga. El duramen presenta un tono beige amarillento claro o ligeramente rosado, mientras que la albura, de color amarillo, se distingue claramente. Posee grano recto, textura media y brillo de bajo a moderado. La madera es duradera, con resistencia moderada frente a hongos y termitas, y carece de un olor marcado.

b) Recomendaciones técnicas

El aserrado de esta madera se realiza con buen rendimiento, siendo relativamente sencillo su procesamiento. Es apreciada para la obtención de chapas decorativas y tableros. Su uso produce un embotamiento de leve a moderado en las herramientas. Se trabaja con facilidad en operaciones de clavado, atornillado y encolado, y permite lograr acabados de calidad.

c) Usos

Se utiliza en la edificación de viviendas, tanto en interiores como en exteriores, así como en la fabricación de tableros y chapas. También se destina a la elaboración de parihuelas, molduras, implementos deportivos, embalajes, contenedores, embarcaciones y remos.

Zapote

Pertenece a la especie *Quararibea cordata* (Humboldt & Bonpland) Vischer, incluida en la familia Bombacaceae.

a) Características de la madera

Puede alcanzar hasta 50 metros de altura y un diámetro cercano a 90 centímetros. Su corteza principal es fibrosa, con un espesor aproximado de 2 centímetros y compuesta por dos capas. La madera exhibe vetas bien definidas, líneas vasculares claras, arcos superpuestos ligeramente marcados y bandas estrechas paralelas con matices dorados.

b) Recomendaciones técnicas

El zapote es una madera de peso moderado, con contracciones lineales reducidas y una estabilidad volumétrica relativamente constante. Su resistencia mecánica se ubica en el rango medio-bajo, siendo sencilla de aserrar y ofreciendo buen desempeño en operaciones de cepillado, torneado, moldurado y perforado. El secado al aire se realiza con rapidez, mientras que en procesos artificiales responde bien bajo programas moderados. Su durabilidad natural es intermedia, aunque la albura es vulnerable a agentes biológicos, por lo que se recomienda aplicar tratamientos de preservación mediante métodos de baño caliente-frío y vacío-presión.

c) Usos

Se utiliza en carpintería de obra, fabricación de encofrados, cajonería y mobiliario. Debido a su aspecto y propiedades, constituye una alternativa viable al pino Oregón.

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

- ✓ **Estado límite:** Se refiere a una condición definida por el valor de una magnitud física que, en caso de ser superada, ocasionaría que la estructura pierda su aptitud para el servicio, ya sea por un colapso parcial o total o por una disminución considerable en su funcionalidad (AASHTO LRFD, 2010).

- ✓ **Estado límite de servicio:** Corresponde a un estado límite que, al ser excedido, provoca deterioro o pérdida de funcionalidad de la estructura sin representar un riesgo inmediato grave. Por lo general, los ELS describen situaciones reparables, mitigables o que generan incomodidades menores para los usuarios (AASHTO LRFD, 2010).
- ✓ **Estado limite ultimo:** Se trata de un estado en el que, si se supera, la estructura o parte de ella podría colapsar al rebasar su capacidad resistente. Exceder un ELU representa una condición crítica que puede generar graves daños materiales y pérdidas humanas. Por ello, los cálculos asociados a un ELU emplean coeficientes de seguridad considerablemente más altos que los aplicados en otros estados límite (AASHTO LRFD, 2010).
- ✓ **Longitud del Tablero:** Corresponde a la distancia, tomada a lo largo del eje longitudinal del tablero, que separa los bordes más externos de la losa (MTC, 2018).
- ✓ **Luz de Cálculo:** Se define como la distancia empleada en el dimensionamiento de la estructura o de sus elementos, medida habitualmente entre los centros de los apoyos que intervienen en el cálculo (MTC, 2018).
- ✓ **Luz del tramo del Puente:** Es la separación longitudinal existente entre los ejes de los apoyos de cada uno de los tramos que forman la superestructura de un puente (MTC, 2018).
- ✓ **Madera:** Conformar la mayor parte del tronco de un árbol y está compuesta por fibras de celulosa unidas mediante lignina. Tras su corte y secado, la madera se emplea ampliamente en la construcción. (Kaufmann, 2018)
- ✓ **Método de los estados límite:** Es un método que orienta el diseño estructural hacia la seguridad, aplicando regulaciones técnicas, directrices y criterios de cálculo establecidos (AASHTO LRFD, 2010).
- ✓ **Puente:** Es una obra destinada a salvar accidentes geográficos u obstáculos naturales o artificiales, con una luz libre igual o superior a

6.00 m (20 ft), que forma parte de un tramo vial o se sitúa sobre o debajo de él. (MTC, 2018).

- ✓ **Puente camino:** Es una estructura diseñada para permitir el tránsito vehicular sobre cursos de agua, otras vías de transporte o depresiones naturales como valles montañosos, pudiendo construirse con diversos tipos de materiales (MTC, 2018).

2.4. HIPÓTESIS

2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL

- ✓ H₁: La aplicación de los estados límite, conforme a la norma UNE-EN-1995; 2016 (Eurocódigo 5 – Parte 2), permite realizar de manera adecuada el diseño estructural del tablero de madera tipo viga-losa destinado a un puente de camino, en la localidad de Nuevo Circuito, distrito de Yanajanca, provincia de Marañón, 2024.
- ✓ H₀: La aplicación de los estados límite, conforme a la norma UNE-EN-1995; 2016 (Eurocódigo 5 – Parte 2), no permite realizar de manera adecuada el diseño estructural del tablero de madera tipo viga-losa destinado a un puente de camino, en Nuevo Circuito, Yanajanca, Marañón, 2024.

2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- ✓ H₁: La verificación del Estado Límite Último (ELU) de rotura, mediante los parámetros de flexión y corte establecidos en la norma UNE-EN-1995;2016, permite validar el diseño estructural del tablero de madera tipo viga-losa para el puente de camino en Nuevo Circuito, Yanajanca..
- ✓ H₀: La verificación del Estado Límite Último (ELU) de rotura, mediante los parámetros de flexión y corte de la norma UNE-EN-1995;2016, no permite validar el diseño estructural del tablero de madera tipo viga-losa para el puente de camino en Nuevo Circuito, Yanajanca.

- ✓ H₂: La verificación del Estado Límite Último (ELU) de fatiga, conforme a la norma UNE-EN-1995;2016, permite asegurar la resistencia del tablero de madera tipo viga-losa ante cargas repetitivas en el puente de camino.
- ✓ H₀: La verificación del Estado Límite Último (ELU) de fatiga, conforme a la norma UNE-EN-1995;2016, no permite asegurar la resistencia del tablero de madera tipo viga-losa ante cargas repetitivas en el puente de camino.
- ✓ H₃: La verificación del Estado Límite de Servicio (ELS), conforme a la norma UNE-EN-1995;2016, permite garantizar el desempeño funcional del tablero de madera tipo viga-losa ante las condiciones de uso previstas.
- ✓ H₀: La verificación del Estado Límite de Servicio (ELS), conforme a la norma UNE-EN-1995;2016, no permite garantizar el desempeño funcional del tablero de madera tipo viga-losa ante las condiciones de uso previstas.

2.5. VARIABLES

2.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

Aplicación de los estados límites.

2.5.2. VARIABLE DEPENDIENTE

Diseño estructural.

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

APLICACIÓN DE LOS ESTADOS LÍMITES PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL DEL TABLERO DE MADERA TIPO VIGA-LOSA DESTINADA A UN PUENTE DE CAMINO, EN NUEVO CIRCUITO, YANAJANCA, MARAÑÓN 2024

Tabla 7

Operacionalización de variables

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Magnitudes
Variable 01: Aplicación de los estados límites. (Cuantitativa)	Capacidades ultimas o límites de una estructura, antes de sufrir fallas o roturas	Análisis y verificación de las flexiones, cortes y deflexiones de las vigas que soportan las cargas de la losa del tablero de madera	ELU de Rotura	Flexión	Kgf / cm; kN-m
				Corte	Kgf; kN
			ELU de Fatiga	Flexión	Kgf / cm; kN-m
				Corte	Kgf; kN
			ELS	Deflexión	mm
Variable 02: Diseño estructural del tablero de madera tipo viga losa. (Cuantitativa)	Propuesta de dimensionamiento de una estructura de madera que soporte los estados limites	Diseño de la losa y vigas de madera según especificaciones técnicas	Losa de Madera	Ancho	Pulgadas; m
				Largo	Pulgadas; m
				Alto	cm
			Vigas Rollizo de Madera	Diámetro	Pulgadas; m

Nota. Operacionalización de variables referente al proyecto de investigación en la aplicación de los estados límites con el propósito de desarrollar el diseño estructural de un tablero de madera en configuración destinada a un puente de camino, en Nuevo Circuito, Yanajanca, Marañón.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación es del tipo aplicada ya que busca solucionar un problema mediante un procedimiento organizado, y cuidadosamente desarrollado (Arias, 2021).

3.1.1. ENFOQUE

Sampieri et al (2014) indica que el estudio desarrollado con un enfoque cuantitativo pretende explicar los hechos en base a parámetros numéricos.

- ✓ Es decir, cuantitativo porque la recolección de datos es parametrada numéricamente:
- ✓ Coordenadas del puente existente según la quebrada del río Sayasta.
- ✓ Parámetros de la flexión, corte, y deflexión para la evaluación y verificación de los estados límites.
- ✓ Parámetros de diseño: dimensionamiento de la viga-losa del tablero.

3.1.2. NIVEL O ALCANCE

Hernández Sampieri et al (2014) indica que la investigación de alcance descriptivo busca especificar las propiedades y características del fenómeno de estudio; con la finalidad de pretender medir o recoger información de manera conjunta o independiente.

Es decir, descriptivo porque se detalla las características del análisis de flexiones, cortantes, y deflexiones que actúan en las vigas, además de describir simplificada las dimensiones de la losa y viga como componentes del tablero de madera.

3.1.3. DISEÑO

Sampieri et al (2014) indica que el estudio planteado bajo un diseño metodológico no experimental del tipo transversal - descriptivo, es el cual analiza y describe los fenómenos que observa sin manipular o alteren las condiciones de las variables, recopilando información en un momento dado. Es decir, se recolectan los datos de las variables mediante la observación y análisis de contenido con la finalidad de determinar los parámetros de verificación de estados límites y diseño del tablero de madera del puente de camino.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. POBLACIÓN

La población finita se da cuando se determina el dato exacto que se va a investigar (Arias, 2021).

La población del estudio es finita ya que está definida como el Puente de camino en la quebrada Sayasta del Nuevo Circuito en el distrito de Yanajanca, provincia de Marañón (ver Anexo 6).

Figura 8

Población de estudio



Nota. Vista en planta de la muestra definida como el puente camino, en la quebrada del río Sayasa en la localidad de Nuevo Circuito, distrito de Yanajanca

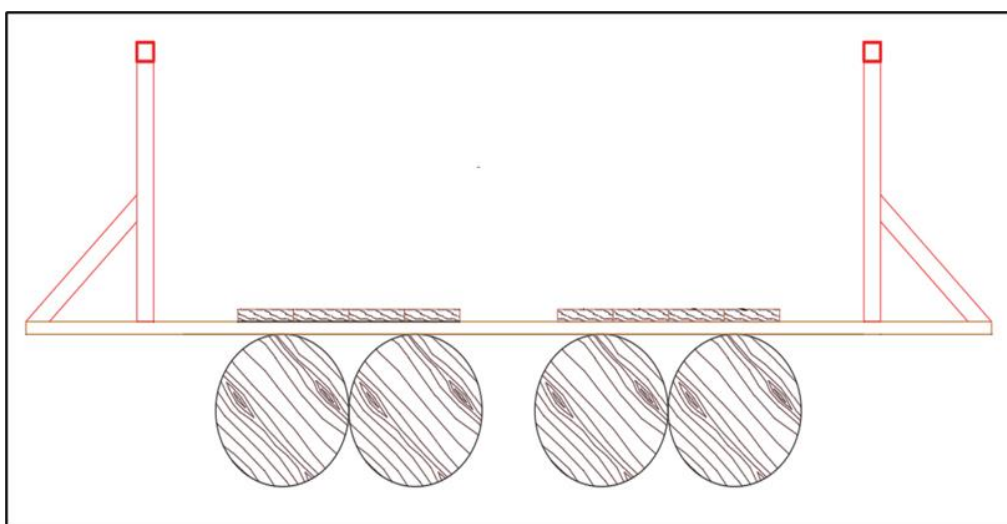
3.2.2. MUESTRA

No se puede determinar una cantidad específica como muestra, sin embargo, es importante la delimitación correcta de dicha muestra según el objetivo de la investigación (Arias, 2021).

La muestra de estudio se delimita y se define como el Tablero de madera tipo viga-losa para el puente de camino en la quebrada Sayasta del Nuevo Circuito en el distrito de Yanajanca, en la provincia de Marañón.

Figura 9

Muestra de estudio



Nota. Vista en sección de la muestra definida como el tablero de madera tipo viga-losa para el puente camino, en la quebrada del río Sayasa en la localidad de Nuevo Circuito, distrito de Yanajanca

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.3.1. PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

De acuerdo con Sampieri et al. (2014), las técnicas correspondiente al levantamiento y recopilación de información permiten obtener información relevante mediante la observación directa del entorno, así como a través del análisis de contenido especializado en fuentes normativas y técnicas.

Para el presente estudio, se empleó la observación estructurada de tipo no experimental, así como el análisis de contenido normativo y técnico, aplicados de la siguiente manera:

Paso a paso de recolección de datos:

A. Trabajo de campo topográfico:

- ✓ Se utilizó un equipo GPS geodésico para el levantamiento de coordenadas UTM y geográficas del entorno del puente de camino existente en la quebrada Sayasta (Nuevo Circuito).
- ✓ Se identificaron los puntos críticos de apoyo y se definió la longitud libre del tablero, obteniendo una luz de 7.57 m.
- ✓ Se registraron datos de cotas, pendientes, niveles y condiciones físicas del terreno.

B. Inspección visual y técnica del tablero actual:

- ✓ Se registraron dimensiones, deformaciones y condiciones estructurales del tablero de madera en uso.
- ✓ Se determinó el tipo de madera existente (capirona) y el estado de conservación mediante inspección ocular y evaluación referencial.

C. Recolección de datos normativos:

- ✓ Se analizaron las disposiciones técnicas de las normas UNE-EN-1995;2016 (Eurocódigo 5 – parte 2), complementadas por criterios de diseño de la AASTHO LRFD, para identificar los parámetros necesarios en el análisis por estados límites últimos (ELU) y de servicio (ELS).

D. Obtención de propiedades mecánicas de la madera:

- ✓ Se recopilaban datos técnicos de la especie capirona a través de fichas técnicas, literatura científica y estudios del INIA y SERFOR, con el fin de modelar correctamente el comportamiento del material en SAP2000.

3.3.2. PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS

Según lo expuesto por Sampieri et al. (2014), la exposición y organización de la información debe realizarse de forma organizada, clara y coherente para permitir su adecuada interpretación.

Paso a paso para la presentación de los datos:

- A. Se organizó la información recolectada en cuadros y tablas que describen las propiedades físicas, mecánicas y estructurales de la madera capirona.
- B. Se elaboraron planos topográficos y esquemas estructurales representativos del modelo del puente.
- C. Se estructuró una memoria de cálculo detallada, que incluye:
 - ✓ Resultados del análisis por SAP2000.
 - ✓ Diagramas de momentos, cortantes y deformaciones.
 - ✓ Verificaciones del ELU (rotura y fatiga) y del ELS.
- D. Se incluyó dicha memoria en el Anexo 4, para su consulta técnica completa.

3.3.3. PARA EL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS

Hernández et al. (2014) sostienen que el análisis debe representar fielmente la realidad estudiada y estar contextualizado en función de los objetivos del proyecto.

Paso a paso para el análisis de datos:

- A. **Modelado estructural** del tablero de madera tipo viga-losa en el software SAP2000, ingresando las propiedades de la madera y las cargas de servicio (muertas y vivas).
- B. **Simulación de comportamiento estructural** bajo distintas combinaciones de carga, de acuerdo con los lineamientos del Eurocódigo 5 – parte 2 (UNE-EN-1995;2016).

C. Verificación de los estados límites:

- ✓ **ELU de rotura:** comparando esfuerzos máximos con la resistencia característica de la madera.
- ✓ **ELU de fatiga:** evaluando la acción cíclica de cargas móviles según coeficientes de seguridad.
- ✓ **ELS:** verificando la deflexión máxima admisible en servicio.

D. Interpretación técnica de los resultados con base en la normativa vigente y la viabilidad del uso estructural de la madera capirona.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS

4.1.1. PROCESAMIENTO DEL MODELAMIENTO DEL TABLERO DE MADERA

➤ Ubicación y coordenadas del puente de camino

Se realizó el procesamiento de los datos obtenidos del levantamiento de puntos topográficos, requeridos para el diseño del tablero.

Tabla 8

Coordenadas de ubicación del puente de camino de estudio

Coordenadas Geográficas				
Latitud		Longitud		Elevación
-8.642296°		-76.319523°		552.50 msnm
Referencias geográficas expresadas en el sistema de coordenadas UTM				
Zona	Banda	Este	Norte	Elevación
18	L	354814.00 m E	9044443.00 m S	552.50 msnm

Nota. Coordenadas UTM del puente de camino definido como la muestra de estudio.

Tabla 9

Puntos topográficos del puente de camino existente

P	E (m)	N (m)	Z (msnm)
0+022 – IZQ	354815.3189	9044435.5994	552.00
0+022 – DER	354817.1296	9044436.0470	552.00
0+037 – IZQ	354811.4492	9044449.8708	552.50
0+037 – DER	354813.2887	9044450.3315	552.50

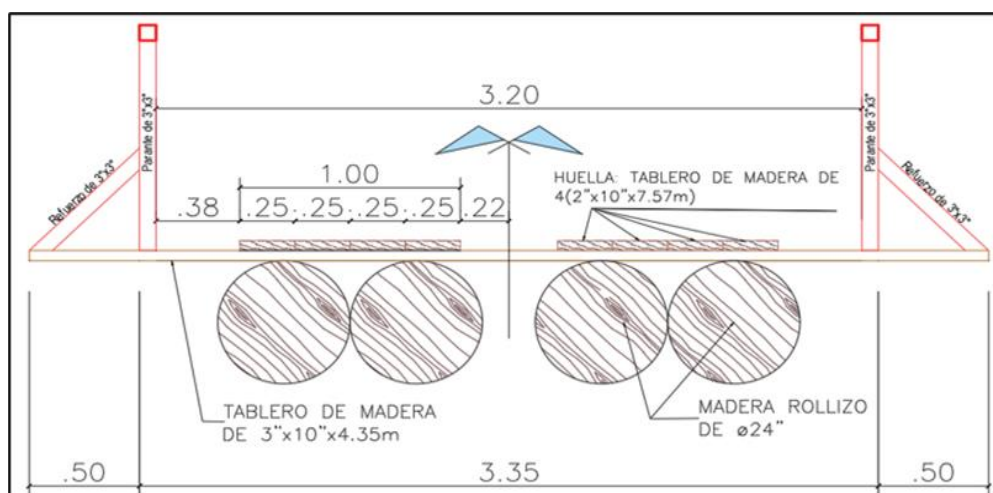
Nota. Registro de los puntos del levantamiento topográfico del puente de camino.

➤ Caracterización del tablero

Se realizó el procesamiento de los datos requeridos para el modelamiento del tablero de madera tipo viga – losa.

Figura 10

Dimensionamiento del tablero de madera



Nota. Sección trasversal del diseño del tablero de madera tipo viga – losa

Tabla 10

Dimensionamiento del tablero de madera

Elemento	Característica	Material	Clasificación E.010
Viga	Rollizo $\varnothing = 24"$	Madera Capirona	B
Losa	Tablero 3" x 10" x 4.35	Madera Capirona	B

Nota. Caracterización del puente tipo Viga - Losa según la E.010.

Los parámetros requeridos de las propiedades mecánicas del tablero son los pre establecidos de la madera capirona según la E.010, mencionadas en la tabla 1.

➤ Estimación de cargas aplicadas al tablero

Las cargas de diseño aplicadas para el análisis estructural fueron cargas permanentes y transitorias.

Cargas permanentes:

- Peso propio de la estructura (DC), determinada automáticamente por el software SAP 2000.
- Carga muerta del tablón longitudinal (DW), distribuida uniformemente por metro lineal.
-

$$DW = 0.05m * 1,000kgf/m^3 = 50 kgf/m^2$$

$$DW = 2 veces * 50 kgf/m^2 * 1.00m = 100 kgf/m$$

- Carga muerta de las barandas laterales (DW), distribuida uniformemente por metro lineal.

Cargas transitorias:

- Carga vehicular (LL), determinada automáticamente por el software SAP 2000, según el camión de diseño HL-93 (AASHTO).
- Fuerza de frenado (BR), determinada mediante la condición expuesta en el marco teórico:

Al 25 % correspondiente al vehículo o conjunto tándem empleado como modelo de diseño

$$BR_{cam} = 0.25 * (3,630 + 14,520 + 14,520) = 8,167.50 \text{ kg}$$

$$BR_{tand} = 0.25 * (11,340 + 11,340) = 5,670 \text{ kg}$$

Al 5 % del diseño o tándem de diseño + sobrecarga del carril

$$BR_{cam} = 0.05 * (3,630 + 14,520 + 14,520 + 954 * (8)) = 2,015.10 \text{ kg}$$

$$BR_{tand} = 0.05 * (11,340 + 11,340 + 954 * (8)) = 1,515.60 \text{ kg}$$

Al tener un solo carril, el m = 1.20

$$F_{BR} = (Max BR) * (\#de C.D.) * (m)$$

$$F_{BR} = 8167.50 * 1 * 1.2 = 9801.00 \text{ kg}$$

- Carga peatonal (PL) uniforme incluida con la carga de las bicicletas:

$$PL = 420 \text{ kgf/m}^2$$

- Viento de diseño (WS) del puente con una altura el tablero mayor a 9.15 m sobre la línea del agua:

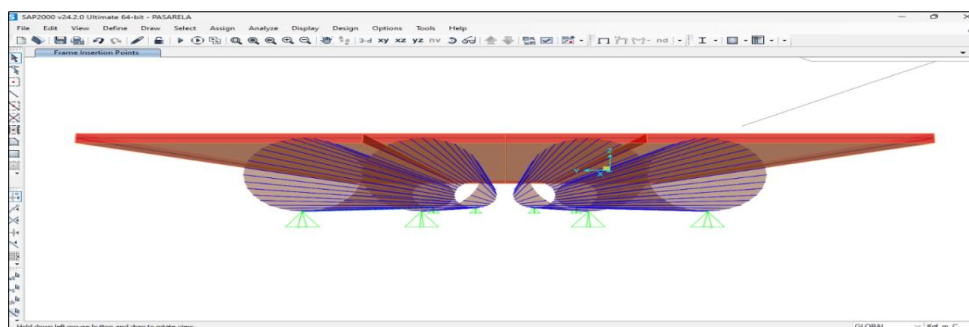
$$V_{DZ} = V_B = V_{10} = 160 \text{ km/h}$$

- Temperatura de diseño (TU) con fines para calcular la deformación de origen térmico:

$$\Delta T_1 = 40^\circ \text{ C} ; \Delta T_2 = 10^\circ \text{ C}$$

Figura 11

Modelamiento del tablero de madera



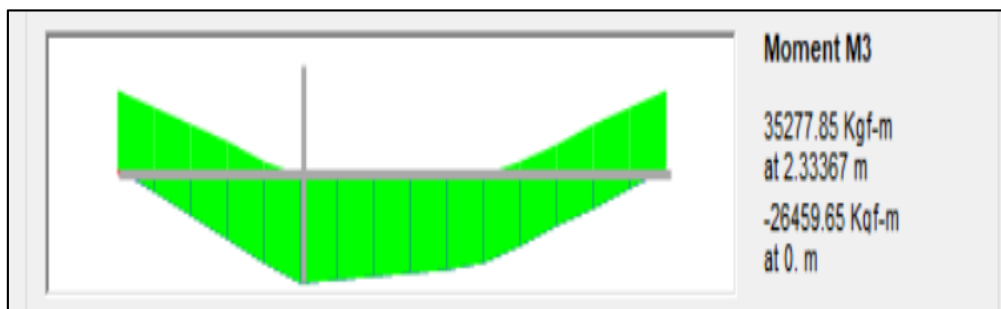
Nota. Modelamiento del tablero de madera del puente de camino carrozable mediante vigas rollizo 01, 02, 03, y 04 respectivamente y la losa, dichos elemento de madera Capirona, generados mediante el software SAP2000.

4.1.2. PROCESAMIENTO DE LAS FLEXIONES, CORTES Y DEFLEXIONES

Se realizó el análisis de las flexiones, cortes, y deflexiones de las de las vigas del tablero de madera, mediante el software SAP2000, según las especificaciones de diseño requeridas.

Figura 12

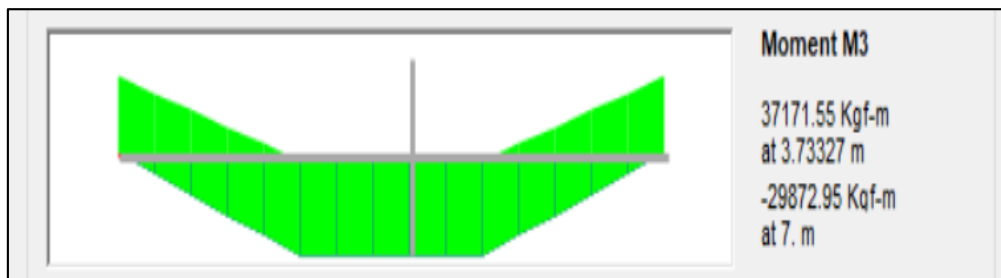
Diagrama de momentos en las vigas laterales



Nota. Momento máximo resultante del puente en las vigas laterales 01 y 04. generadas mediante el software SAP2000.

Figura 13

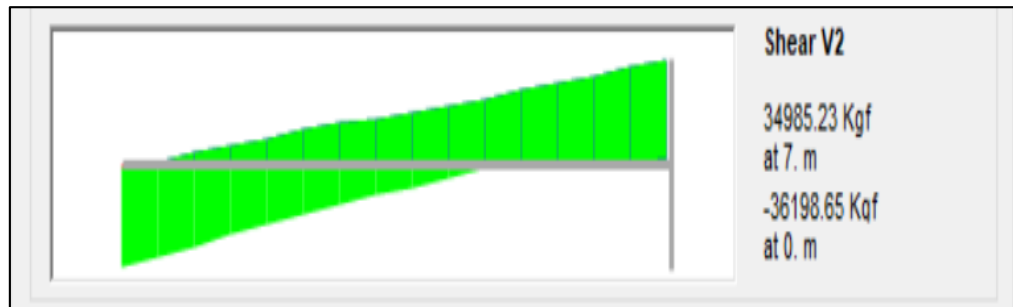
Diagrama de momentos en las vigas centrales



Nota. Momento máximo resultante del puente en las vigas centrales 02 y 03. generadas mediante el software SAP2000.

Figura 14

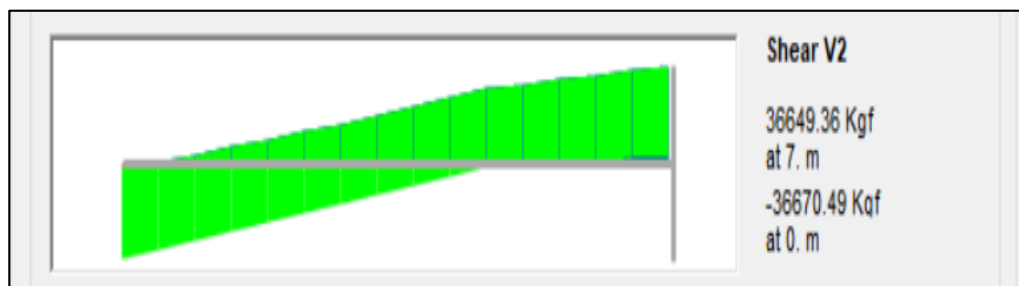
Diagrama de cortes en las vigas laterales



Nota. Corte máximo resultante del puente en las vigas laterales 01 y 04. generadas mediante el software SAP2000.

Figura 15

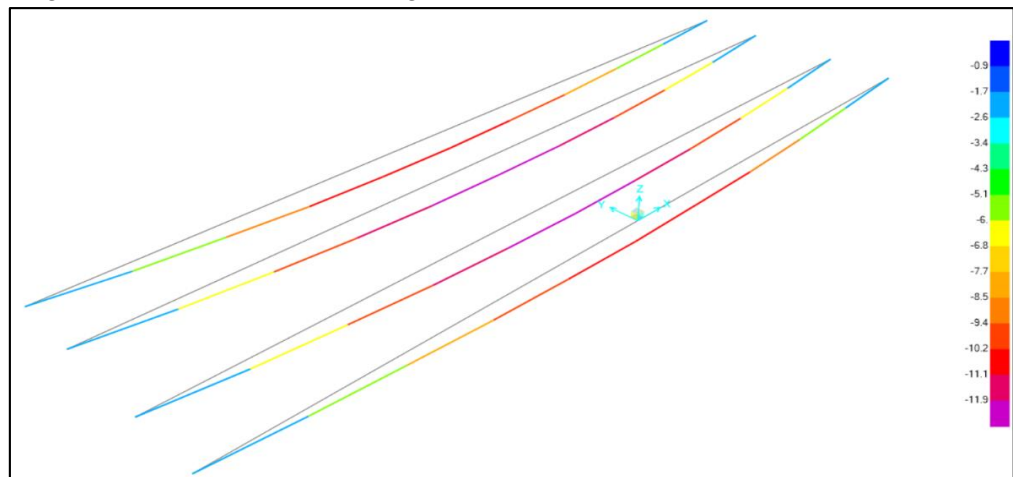
Diagrama de cortes en las vigas centrales



Nota. Corte máximo resultante del puente en las vigas centrales 02 y 03. generadas mediante el software SAP2000.

Figura 16

Diagrama de deflexiones de las vigas



Nota. Deformaciones de las vigas. generadas mediante el software SAP2000.

➤ **Verificación según ELU de rotura**

Se realizó el análisis con las condiciones establecidas para el estado límite último de rotura según la norma UNE-EN-1995 (Eurocódigo 5), mediante la verificación de las flexiones y cortes de las vigas.

Verificación de la flexión

Vigas laterales 01 y 04

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M * \bar{Y}}{I_Y} = \frac{35,227.85 \text{ kgf} - m * 0.38 \text{ m}}{0.0481 \text{ m}^4} = 27.831 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M * \bar{Z}}{I_Z} = \frac{35,227.85 \text{ kgf} - m * 1.60 \text{ m}}{0.9169 \text{ m}^4} = 6.147 \text{ kgf/cm}^2$$

Se asume indicando que en ambas direcciones la capacidad resistente resulta ser la misma

$$f_{m,y,d} = f_{m,z,d} = (0.9/1.3) * 150 = 103.846 \text{ kgf/cm}^2$$

$$0.327 \leq 1.00 \dots \text{ok cumple}$$

Vigas centrales 02 y 03

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M * \bar{Y}}{I_Y} = \frac{37,171.55 \text{ kgf} - m * 0.38 \text{ m}}{0.0481 \text{ m}^4} = 29.366 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M * \bar{Z}}{I_Z} = \frac{37,171.55 \text{ kgf} - m * 1.60 \text{ m}}{0.9169 \text{ m}^4} = 6.486 \text{ kgf/cm}^2$$

Se asume señalando que en ambos sentidos la resistencia presenta el mismo valor

$$f_{m,y,d} = f_{m,z,d} = (0.9/1.3) * 150 = 103.846 \text{ kgf/cm}^2$$

$$0.345 \leq 1.00 \dots \text{ok cumple}$$

Verificación del corte

Vigas laterales 01 y 04

$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

$$\tau = \frac{V * \bar{Q}}{I * b} = \frac{36,198.65 \text{ kgf} * 0.122 \text{ m}^3}{0.112 \text{ m}^5} = 3.943 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{v,d} = (0.9/1.3) * 12 = 8.308 \text{ kgf/cm}^2$$

$$3.943 \text{ kgf/cm}^2 \leq 8.308 \text{ kgf/cm}^2 \dots \text{ok cumple}$$

Vigas centrales 02 y 03

$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

$$\tau = \frac{V * \bar{Q}}{I * b} = \frac{36,670.49 \text{ kgf} * 0.122 \text{ m}^3}{0.112 \text{ m}^5} = 3.994 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{v,d} = (0.9/1.3) * 12 = 8.308 \text{ kgf/cm}^2$$

$$3.994 \text{ kgf/cm}^2 \leq 8.308 \text{ kgf/cm}^2 \dots \text{ok cumple}$$

Tabla 11

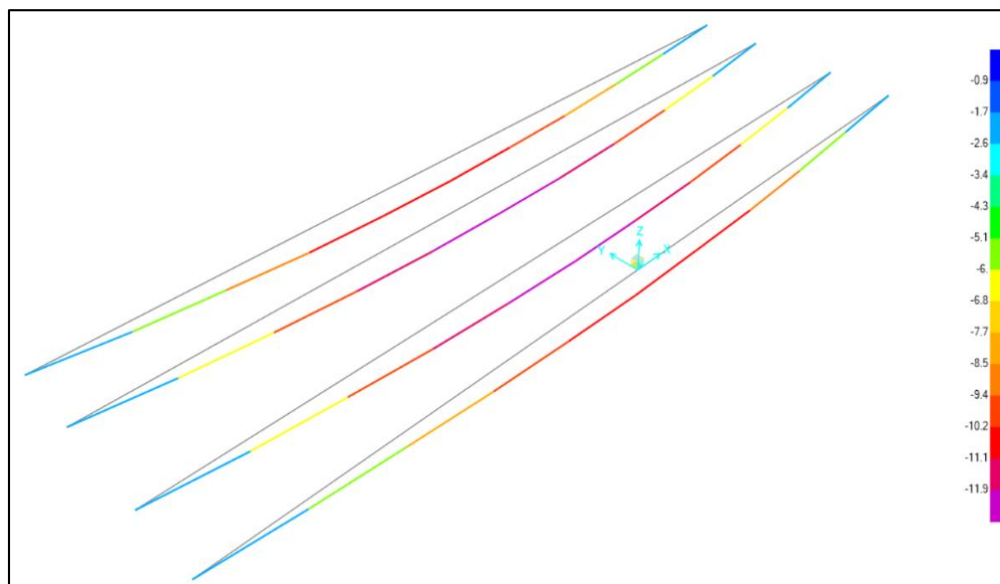
Parámetros de verificación del ELU de rotura

VIGA	FLEXIÓN (adimensional)	CORTANTE (kgf/cm2)
01	0.327	3.943
02	0.345	3.994
03	0.345	3.994
04	0.327	3.943

Nota. Se muestran los parámetros de verificación que fueron determinados según la norma UNE-EN-1995, referente al Eurocódigo 5 – Proyectos de estructura de madera, mediante el cual se determinan que las flexiones en valores adimensionales que deben de ser menores a 1; además que las cortantes deben de ser menores a 8.308 kgf/cm²; debiendo resaltar que estas condiciones son los resultados máximos determinados según la evaluación del ELU de rotura.

Figura 17

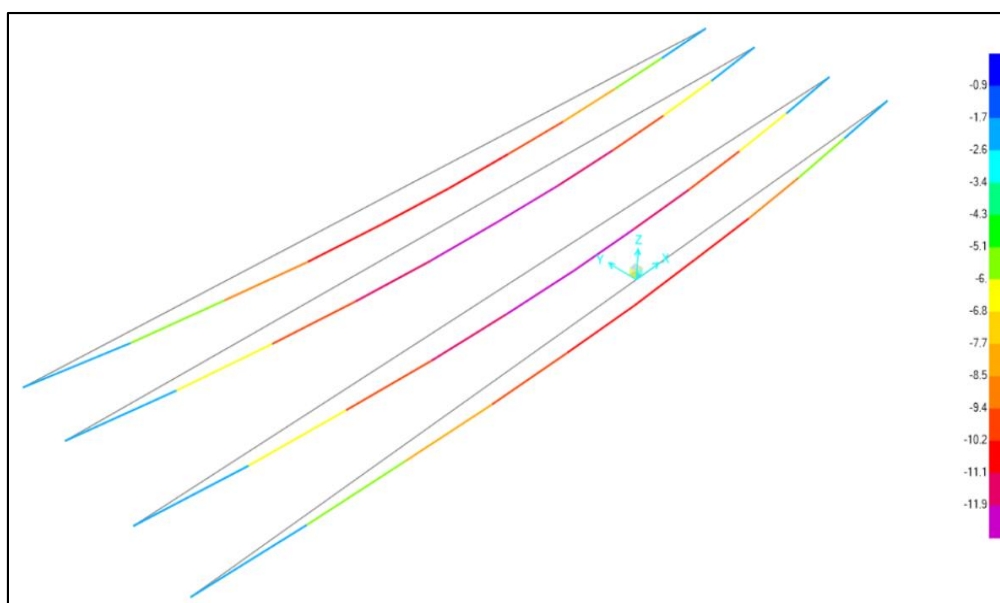
Verificación de las flexiones para el ELU de rotura



Nota. Se muestran en el gráfico de líneas los valores de las flexiones en las vigas rollizo, las cuales están por debajo del mínimo establecido según las condiciones de la norma UNE-EN-1995;2016, referente al EUROCÓDIGO 5 – Parte 2, Proyectos de estructura de madera, con el cual se determina que las flexiones resultantes deben de ser menores a 1, según la evaluación del ELU de rotura.

Figura 18

Verificación de las cortantes para el ELU de rotura



Nota. Se muestran en el gráfico de líneas los cortantes en las vigas rollizo, las cuales están por debajo del mínimo establecido según las condiciones de la norma UNE-EN-1995;2016, referente al Eurocódigo 5 – parte 2, Proyectos de estructura de madera, con el cual se determina que los cortantes resultantes deben de ser menores a 8.308 kgf/cm², según la evaluación del ELU de rotura.

➤ **Verificación según ELU de fatiga**

Se realizó el análisis con las condiciones establecidas para el estado límite último de fatiga según la norma UNE-EN-1995;2016 (Eurocódigo 5 – parte 2), mediante la verificación de las flexiones y cortes de las vigas.

Verificación de la flexión

Vigas laterales 01 y 04

$$\sigma_m \leq (f_m = 150.000 \text{ kgf/cm}^2)$$

$$\sigma_m = \frac{M * \bar{Y}}{I} = \frac{35,227.85 \text{ kgf} - m * 0.38 \text{ m}}{0.0481 \text{ m}^4} = 27.831 \text{ kgf/cm}^2$$

$$27.831 \text{ kgf/cm}^2 \leq 150.000 \text{ kgf/cm}^2 \text{ ... ok cumple}$$

Vigas centrales 02 y 03

$$\sigma_m \leq (f_m = 150.000 \text{ kgf/cm}^2)$$

$$\sigma_m = \frac{M * \bar{Y}}{I} = \frac{37,171.55 \text{ kgf} - m * 0.38 \text{ m}}{0.0481 \text{ m}^4} = 29.366/\text{cm}^2$$

$$29.366 \text{ kgf/cm}^2 \leq 150.000 \text{ kgf/cm}^2 \text{ ... ok cumple}$$

Verificación del corte

Vigas laterales 01 y 04

$$\tau \leq (f_v = 12.000 \text{ kgf/cm}^2)$$

$$\tau = \frac{V * \bar{Q}}{I * b} = \frac{36,198.65 \text{ kgf} * 0.122 \text{ m}^3}{0.112 \text{ m}^5} = 3.943 \text{ kgf/cm}^2$$

$$3.943 \text{ kgf/cm}^2 \leq 12 \text{ kgf/cm}^2 \text{ ... ok cumple}$$

Vigas centrales 02 y 03

$$\tau \leq (f_v = 12.000 \text{ kgf/cm}^2)$$

$$\tau = \frac{V * \bar{Q}}{I * b} = \frac{36,670.49 \text{ kgf} * 0.122 \text{ m}^3}{0.112 \text{ m}^5} = 3.994 \text{ kgf/cm}^2$$

$$3.994 \text{ kgf/cm}^2 \leq 12 \text{ kgf/cm}^2 \dots \text{ok cumple}$$

Tabla 12

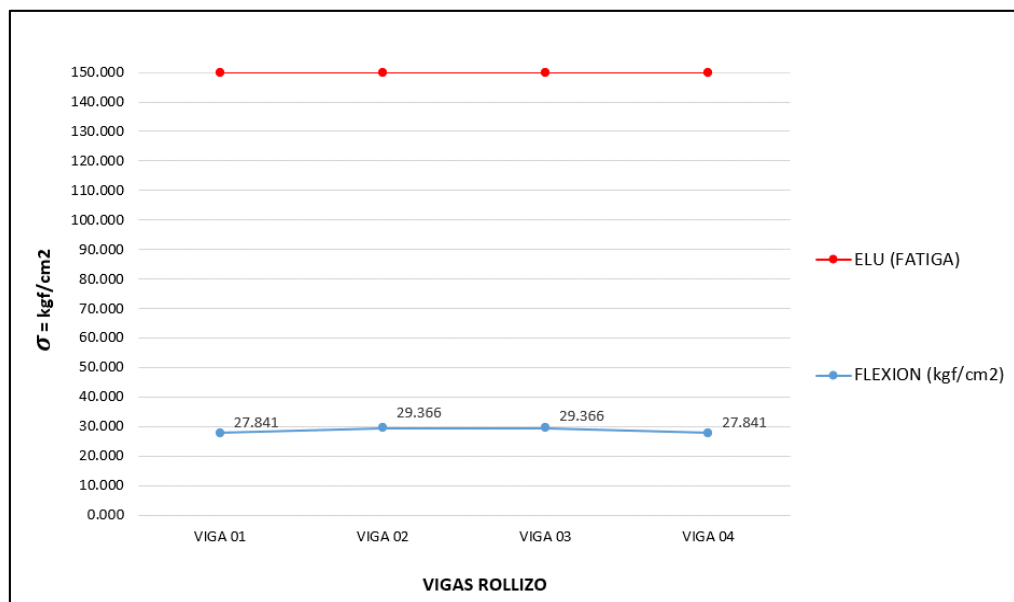
Parámetros de verificación del ELU de fatiga

VIGA	FLEXIÓN (kgf/cm ²)	CORTANTE (kgf/cm ²)
01	27.841	3.943
02	29.366	3.994
03	29.366	3.994
04	27.841	3.943

Nota. Se muestran los parámetros de verificación que fueron determinados según la norma UNE-EN-1995;20016, referente al Eurocódigo 5 – parte 2, Proyectos de estructura de madera, mediante el cual se determinan que los esfuerzos de flexión deben de ser menores a 150 kgf/cm²; además que los esfuerzos cortantes deben de ser menores a 12 kgf/cm²; debiendo resaltar que estas condiciones son los resultados máximos determinados según la evaluación del ELU de fatiga

Figura 19

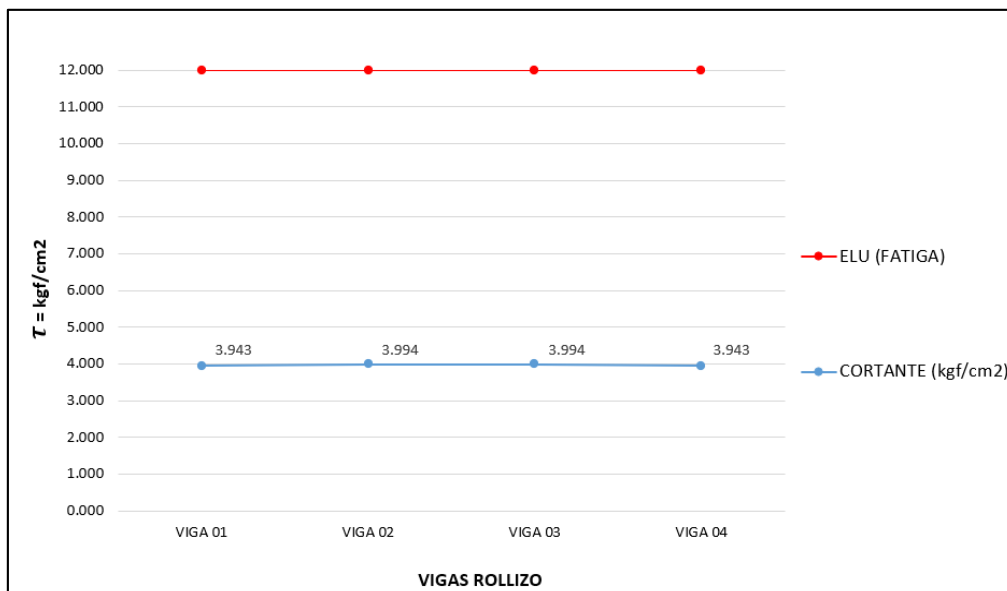
Verificación de los esfuerzos de flexión para el ELU de fatiga



Nota. Se muestran en el gráfico de líneas los esfuerzos de flexión en las vigas rollizo, las cuales están por debajo del mínimo establecido según las condiciones de la norma UNE-EN-1995;2016, referente al Eurocódigo 5 – parte 2, Proyectos de estructura de madera, con el cual se determina que los esfuerzos de flexión resultantes deben de ser menores a 150 kgf/cm², según la evaluación del ELU de fatiga.

Figura 20

Verificación de esfuerzos cortantes para el ELU de fatiga



Nota. Se muestran en el gráfico de líneas los esfuerzos cortantes en las vigas rollizo, los cuales están por debajo del mínimo establecido según las condiciones de la norma UNE-EN-1995;2016, referente al Eurocódigo 5 – parte 2, Proyectos de estructura de madera, con el cual se determina que los esfuerzos cortantes resultantes deben de ser menores a 12 kgf/cm², según la evaluación del ELU de fatiga.

➤ Verificación según ELS

Se realizó el análisis con las condiciones establecidas para el estado límite de servicio según la norma UNE-EN-1995;2016 (Eurocódigo 5 – parte 2), mediante la verificación de las deflexiones de las vigas.

Verificación de la deflexión

Vigas laterales 01 y 04

$$\Delta_{PL} \leq (\Delta = 7570 \text{ mm} / 200 = 37.85 \text{ mm})$$

$$\Delta_{PL} = 11.1 \text{ mm} * 1.8$$

$$19.98 \text{ mm} \leq 37.85 \text{ mm} \dots \text{ok cumple}$$

Vigas centrales 02 y 03

$$\Delta_{PL} \leq (\Delta = 7570 \text{ mm} / 200 = 37.85 \text{ mm})$$

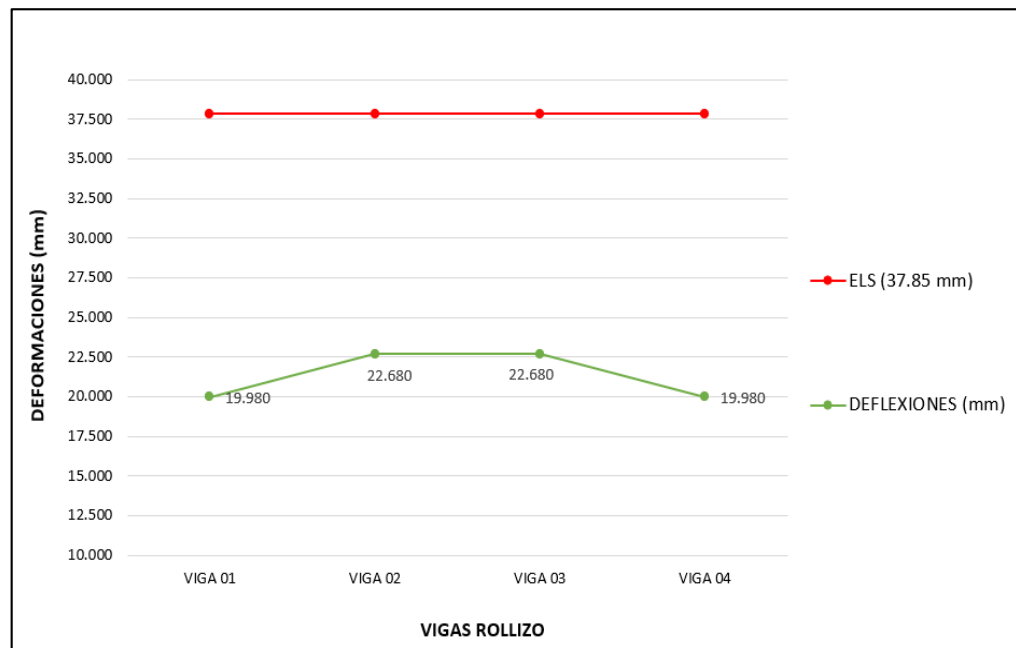
$$\Delta_{PL} = 12.6 \text{ mm} * 1.8$$

$$22.68 \text{ mm} \leq 37.85 \text{ mm} \dots \text{ok cumple}$$

Tabla 13*Parámetros de verificación del ELS*

VIGA	DEFLEXIÓN (mm)
01	19.98
02	22.68
03	22.68
04	19.98

Nota. Se muestran los parámetros de verificación que fueron determinados según la norma UNE-EN-1995;2016, referente al Eurocódigo 5 – parte 2, Proyectos de estructura de madera, mediante el cual se determinan que las deflexiones deben de ser menores a 37.85 mm; debiendo resaltar que esta condición es el resultado máximo determinado según la evaluación del ELS

Figura 21*Verificación de las deflexiones para el ELS*

Nota. Se muestran en el gráfico de líneas las deflexiones en las vigas rollizo, las cuales están por debajo del mínimo establecido según las condiciones de la norma UNE-EN-1995;2016, referente al Eurocódigo 5 – parte 2, Proyectos de estructura de madera, con el cual se determina que las deflexiones resultantes deben de ser menores a 37.85 mm, según la evaluación del ELS.

4.2. APOORTE PRÁCTICO

La presente tesis referente a la aplicación de los estados límites con el fin de desarrollar el diseño estructural de un tablero configurado como destinada a un puente de camino, presenta las contribuciones o aportes prácticos que ofrece a la población o comunidad objeto de estudio:

- La presente tesis ofrece un beneficio significativo al proponer un diseño estructural eficiente, sostenible y viable de un puente de madera capirona, aplicable para la topografía de la zona, donde el diseño sostiene el uso de madera de la zona que puede resultar económico para su ejecución.
- El diseño técnico del tablero puede ser replicable para cualquier tipo de topografía de la zona, ya que no considera la fundación del puente, como estribos, pilares, etc; en todo caso solo considera el diseño de tablero en tramos con una luz de 7.57 m, el cual para distancias mayores se adicionan más tramos ya que tendría los mismos resultados de análisis del tablero.
- El diseño fomenta indirectamente el uso de materiales sostenibles al promover la madera como elemento estructural, que, aunque no se considere en la investigación se asume su bajo impacto ambiental y su capacidad de renovación, alineándose con las tendencias de desarrollo sostenible.

4.3. PRUEBA Y CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

4.3.1. JUSTIFICACIÓN DEL MÉTODO ESTADÍSTICO

Dado que el presente estudio experimental ha trabajado con un número reducido de elementos estructurales ($n = 4$ vigas), se debe tener especial cuidado en la aplicación e interpretación de pruebas estadísticas. En particular:

- ✓ El análisis de normalidad mediante el estadístico Shapiro–Wilk ha sido aplicada por ser apropiada para muestras pequeñas ($n < 50$); sin embargo, con tan pocos datos ($n = 4$), su poder estadístico es limitado, lo que puede producir decisiones erróneas respecto a la distribución.
- ✓ Aun así, los resultados obtenidos arrojan p-valores de 0.024, que son inferiores al nivel de significancia $\alpha = 0.05$, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula de normalidad, justificando así el uso de pruebas no paramétricas.

- ✓ Se aplica entonces la prueba de Wilcoxon para una muestra, por ser una alternativa robusta a la prueba t cuando no se asume normalidad.

Sin embargo, se reconoce que con $n = 4$ los resultados deben interpretarse con precaución. Más que inferencia estadística en sentido estricto, estos análisis reflejan el contraste entre los valores calculados y los límites normativos. Por ello, y de acuerdo con las observaciones metodológicas, se complementa la prueba estadística con un enfoque determinista, mediante la verificación de los índices de utilización ($\text{Demanda} / \text{Capacidad} \leq 1.0$).

4.3.2. VERIFICACIÓN DETERMINISTA

Además del análisis estadístico, se ha calculado el índice de utilización (IU) para cada caso, definido como:

$$\text{Índice de Utilización (IU)} = \frac{\text{Valor Calculado}}{\text{Valor Normativo Admisible}}$$

Donde $IU \leq 1.0$ representa un diseño estructural conforme. Este enfoque permite validar el cumplimiento normativo incluso con un número limitado de datos experimentales, reforzando así la validez de las conclusiones obtenidas.

4.3.3. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

➤ Hipótesis Específica H1

se aplica la prueba no paramétrica de Wilcoxon para una sola muestra con el propósito de contrastar la hipótesis específica H1:

Procedimiento metodológico:

η : mediana de los valores de flexión y corte.

Planteo de Hipótesis.

H_0 : Mediante los parámetros de flexión y corte según la norma UNE-EN-1995, No se puede realizar la verificación del ELU de rotura orientado al desarrollo del diseño estructural de un tablero de madera en

configuración destinada a un puente de camino, en Nuevo Circuito, Yanajanca, Marañón 2024.

$$\eta_{\text{FLEXIÓN}} \geq 1.00 \quad \vee \quad \eta_{\text{CORTE}} \geq 8.308$$

H₁: Mediante los parámetros de flexión y corte según la norma UNE-EN-1995, Si se puede realizar la verificación del ELU de rotura para el diseño estructural del tablero de madera tipo viga - losa destinada a un puente de camino, en Nuevo Circuito, Yanajanca, Marañón 2024.

$$\eta_{\text{FLEXIÓN}} < 1.00 \quad \wedge \quad \eta_{\text{CORTE}} < 8.308$$

Ensayo estadístico:

Cuando el p–valor es igual o superior a 0.05, se acepta la H₀

Cuando el p–valor es inferior a 0.05, se rechaza la H₀

Tabla 14

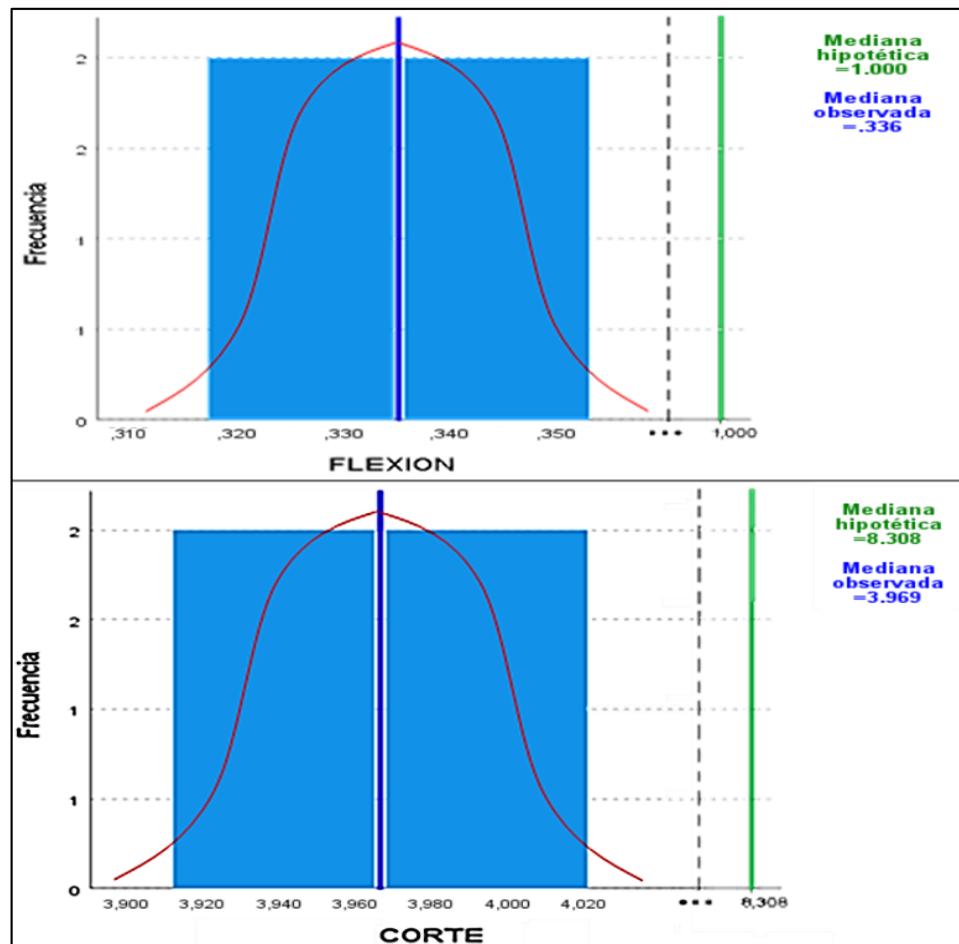
Aplicación de la prueba no paramétrica de Wilcoxon para una sola muestra con el fin de H1

Hipótesis H0	N	p-valor	Estadísticos de Wilcoxon	Mediana
La mediana de las	4	0.0063	0.000	0.336
La mediana de los	4	0.0063	0.000	3.969

Nota. Se observa que la mediana de las flexiones y cortantes son menores que las condiciones hipotéticas de 1.00 y 8.308 respectivamente, los cuales son valores determinados según la verificación del ELU de rotura de la norma UNE-EN-1995, referente al Eurocódigo 5 – Proyectos de estructura de madera; y que además ambos presentan un p-valor igual a 0.0063, dado que este valor es inferior al nivel de significancia del 0.05, se procede a rechazar la hipótesis nula (H₀) y aceptar la hipótesis específica H₁, la cual define que mediante los parámetros de verificación determinados con el Eurocódigo 5, si se puede realizar la evaluación del puente de camino, la cual a su vez cumple con las condiciones óptimas de diseño según el ELU de rotura del tablero.

Figura 22

Análisis con la prueba de Wilcoxon para una sola muestra con el propósito de H1



Nota. Según la prueba de Wilcoxon se observa gráficamente que las medianas observadas de 0.336 y 3.969 son menores a sus medianas hipotéticas de 1.00 y 8.308 respectivamente; y que además también de forma gráfica se aprecia que la distribución de frecuencias de los datos se ubica en intervalos muy por debajo de los valores de verificación que fueron determinados por la norma UNE-EN-1995, referente al Eurocódigo 5 – Proyectos de estructura de madera. En consecuencia, con un nivel de confianza del 95 %, se puede afirmar que, si se puede realizar la evaluación del tablero de madera del puente de camino según las condiciones de diseño óptimos mediante la verificación del ELU de rotura.

Conclusión: Se rechaza H_0 y se acepta H_1 . Tanto estadísticamente como de forma determinista, se verifica que el tablero cumple con el ELU de rotura.

➤ Hipótesis Específica H2

Se ejecuta la prueba no paramétrica de Wilcoxon para una sola muestra con el objetivo de verificar la hipótesis específica H2:

Método:

η : mediana de los σ y τ .

Planteo de Hipótesis.

H0: Mediante los parámetros de flexión y corte según la norma UNE-EN-1995, No se puede realizar la verificación del ELU de fatiga con el propósito de desarrollar el diseño estructural de un tablero de madera en configuración destinada a un puente de camino, en Nuevo Circuito, Yanajanca, Marañón 2024.

$$\eta \sigma \geq 150 \quad \vee \quad \eta \tau \geq 12$$

H2: Mediante los parámetros de flexión y corte según la norma UNE-EN-1995, Si se puede realizar la verificación del ELU de fatiga orientado al cálculo estructural de un tablero de madera destinada a un puente de camino, en Nuevo Circuito, Yanajanca, Marañón 2024.

$$\eta \sigma < 150 \quad \wedge \quad \eta \tau < 12$$

Prueba:

Cuando el p-valor es igual o superior a 0.05, se procede a aceptar la hipótesis nula (H0)

Si el p-valor es inferior a 0.05, se rechaza la hipótesis nula (H0)

Tabla 15

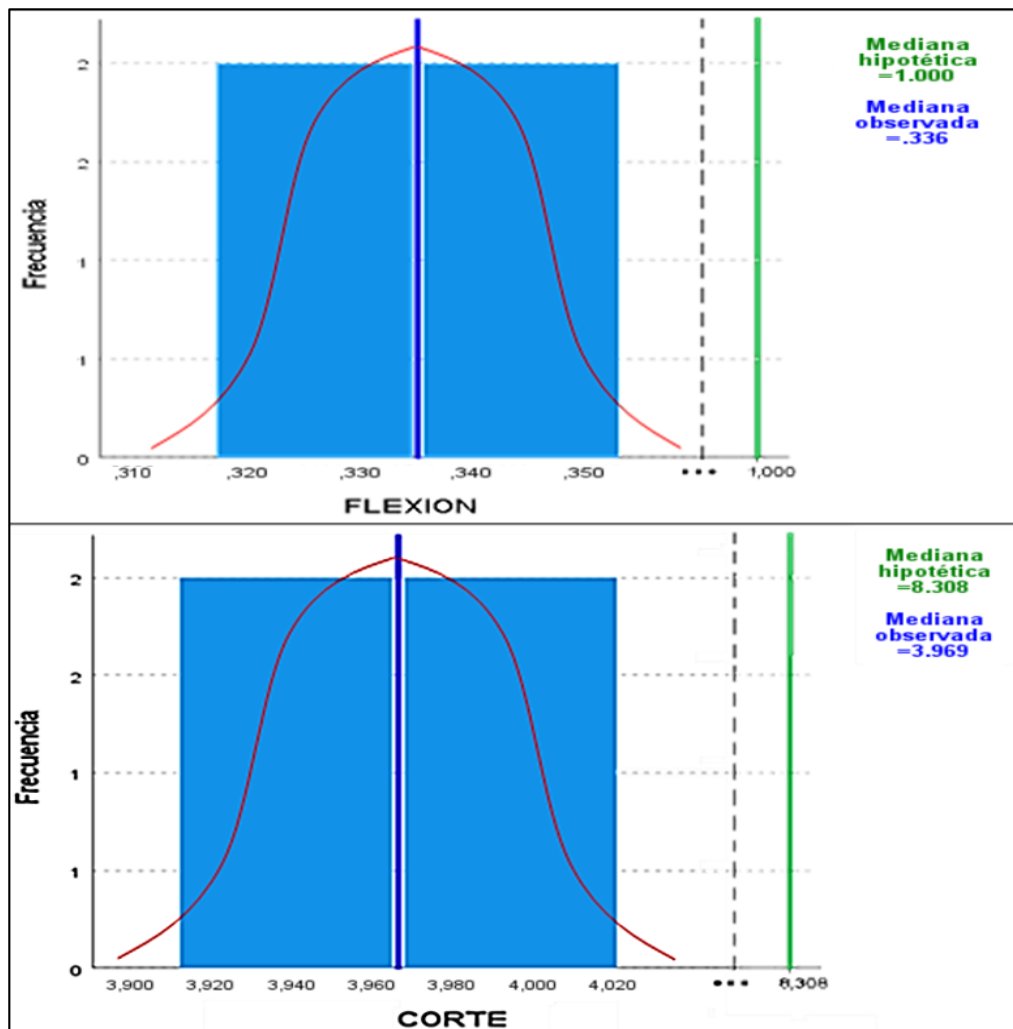
Prueba de Wilcoxon de una muestra para la H2

Hipótesis H0	N	p-valor	Estadísticos de Wilcoxon	Mediana
La mediana de los σ	4	0.0063	0.000	28.604
La mediana de los τ	4	0.0063	0.000	3.969

Nota. Se observa que la mediana de los σ y de los τ son menores que las condiciones hipotéticas de 150 y 12 respectivamente, los cuales son valores que fueron determinados según la verificación del ELU de fatiga de la norma UNE-EN-1995, referente al Eurocódigo 5 – Proyectos de estructura de madera; y que además ambos presentan un p-valor igual a 0.0063, al ser este valor menor que el nivel de significancia de 0.05, se descarta la hipótesis nula (H0) y se adopta la hipótesis alternativa específica H2, la cual define que mediante los parámetros de verificación determinados con el Eurocódigo 5, si se puede realizar la evaluación del puente de camino que cumple con las condiciones óptimas de diseño según el ELU de fatiga del tablero.

Figura 23

Aplicación de la prueba no paramétrica de Wilcoxon de H2



Nota. Según la prueba de Wilcoxon se observa gráficamente que las medianas observadas de 28.604 y 3.969 son menores a sus medianas hipotéticas de 150 y 12 respectivamente; y que además también de la representación gráfica se aprecia que la distribución de frecuencias de los datos se presenta en rangos ubicados muy por debajo de los valores de verificación que fueron determinados por la norma UNE-EN-1995, referente al Eurocódigo 5 – Proyectos de estructura de madera. En consecuencia, con un nivel de confianza del 95 %, se puede concluir que si se puede realizar la evaluación del tablero de madera del puente de camino según las condiciones de diseño óptimos mediante la verificación del ELU de fatiga.

Conclusión: Se rechaza H_0 y se acepta H_2 . Tanto estadísticamente como de forma determinista, se verifica que el tablero cumple con el ELU de fatiga.

➤ Hipótesis Específica H3

Se aplica la prueba no paramétrica de Wilcoxon para una sola muestra con el propósito de contrastar la hipótesis específica H3:

Método:

η : mediana de las Δ .

Planteo de Hipótesis.

H_0 : Mediante los parámetros de deflexión según la norma UNE-EN-1995, No se puede realizar la verificación del ELS con el fin de desarrollar el diseño estructural de un tablero de madera en configuración destinada a un puente de camino, en Nuevo Circuito, Yanajuanca, Marañón 2024.

$$\eta \geq 37.85$$

H_3 : Mediante los parámetros de deflexión según la norma UNE-EN-1995, No se puede realizar la verificación del ELS orientado al cálculo estructural de un tablero de madera destinada a un puente de camino, en Nuevo Circuito, Yanajuanca, Marañón 2024.

$$\eta < 37.85$$

Prueba:

Cuando el valor p es igual o superior a 0.05, se acepta la hipótesis nula (H_0)

Cuando el valor p es inferior a 0.05, se rechaza la hipótesis nula (H_0)

Tabla 16

Aplicación de la prueba no paramétrica de Wilcoxon para una sola muestra para la H3

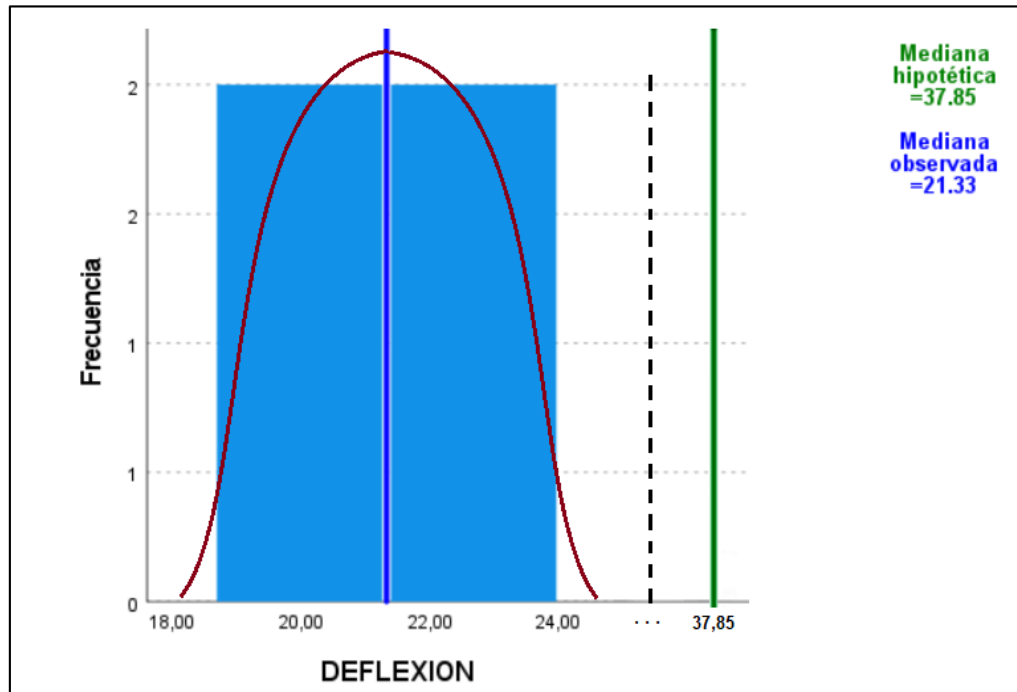
Hipótesis H_0	N	p-valor	Estadísticos de Wilcoxon	Mediana
La mediana de las Δ	4	0.0063	0.000	21.330

Nota. Se observa que la mediana de las Δ es menor que la condición hipotética de 37.85, el cual es un valor que fue determinado según la verificación del ELS de la norma UNE-EN-1995, referente al Eurocódigo 5 – Proyectos de estructura de madera; y que además presenta un p-valor igual a 0.0063, dado que este valor es inferior al nivel de significancia de 0.05, se descarta la hipótesis nula (H_0) y se adopta la hipótesis alternativa específica H3, la cual define que mediante los parámetros de verificación determinados con el Eurocódigo 5, si se puede realizar la evaluación del puente de camino que cumple con las condiciones óptimas de diseño según el ELS del tablero.

Conclusión: Se rechaza H_0 y se acepta H_3 . La deflexión cumple los límites normativos tanto desde la estadística como desde la evaluación determinista.

Figura 24

Ejecución de la prueba de Wilcoxon para una sola muestra con el fin de H_3



Nota. De acuerdo con los resultados de la prueba de Wilcoxon, se aprecia gráficamente que la mediana obtenida (21.33) es inferior a la mediana hipotética (37.85); adicionalmente, la representación gráfica evidencia que la distribución de frecuencias de los datos se concentra en un rango ubicado muy por debajo del valor de verificación que fue determinado por la norma UNE-EN-1995, referente al Eurocódigo 5 – Proyectos de estructura de madera. En consecuencia, con un nivel de confianza del 95 %, se puede establecer que, si se puede realizar la evaluación del tablero de madera del puente de camino según las condiciones de diseño óptimos mediante la verificación del ELS.

➤ Hipótesis General

Habiendo realizado la evaluación y validación de las hipótesis específicas, por consiguiente, la hipótesis general se cumple, siendo válida la afirmación de la Hipótesis:

H_G : Mediante el análisis estructural y la verificación de la norma UNE-EN-1995;2016, Si se puede aplicar los estados límites orientado al diseño estructural de un tablero de madera con tipología destinada a un puente de camino, en Nuevo Circuito, Yanajanca, Marañón 2024.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. CONTRASTACIÓN DE RESULTADOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

En la presente investigación se diseñó un tablero de puente tipo viga-losa utilizando madera rolliza de capirona, aplicando los estados límites y un análisis estructural asistido por el software SAP2000. Al contrastar los resultados obtenidos con los antecedentes seleccionados, se evidencia tanto la validez del enfoque adoptado como las particularidades propias del material utilizado.

5.1.1. CONTRASTE CON FARRO Y SENADOR (2024)

Estos autores diseñaron una superestructura de puente con vigas de concreto armado, concluyendo que las vigas laterales soportan mayores cargas que la central, debido a la configuración geométrica y tipo de carga. En cambio, en la presente investigación, se determinó que las vigas centrales de madera soportan las mayores cargas. Esta diferencia se debe principalmente a la naturaleza del material: la madera tiene un comportamiento anisotrópico y una menor rigidez en comparación con el concreto, lo que influye en la distribución de cargas. Además, la ubicación de las vigas centrales bajo el centro del tablero genera una mayor acumulación de esfuerzos en esa zona. La discusión permite concluir que, en estructuras de madera, la simetría de carga y disposición de elementos influye más directamente en la distribución de esfuerzos que en las de concreto.

5.1.2. CONTRASTE CON RODRÍGUEZ (2022)

Rodríguez diseñó un puente viga-losa de concreto armado usando el método de tensiones admisibles y SAP2000, obteniendo resultados satisfactorios bajo flexión, corte y deflexión. En la presente investigación, aunque se usó un método más moderno (estados límites), los resultados

también fueron satisfactorios en esos mismos estados. Sin embargo, los valores máximos admisibles en flexión y deflexión para madera son menores que para el concreto, por lo tanto, se requería un diseño más conservador en la sección de las vigas. Esta comparación evidencia una limitación inherente de la madera: menor resistencia mecánica frente a materiales como el concreto. Sin embargo, al aplicar los estados límites, se logra compensar esta desventaja mediante el control de deformaciones y seguridad estructural, demostrando que el enfoque es válido para diseños con materiales alternativos.

5.1.3. CONTRASTE CON MENA (2021)

Mena diseñó un puente mixto con tablero de concreto y vigas de acero tipo L, concluyendo que la transferencia de cargas entre los materiales fue eficiente y satisfizo la funcionalidad estructural. En esta tesis, aunque el puente es íntegramente de madera, se logró una distribución eficiente de cargas desde la losa hacia las vigas. La diferencia clave radica en que el acero posee una alta resistencia y ductilidad, lo que permite mayor esbeltez y menor sección transversal. En contraste, en la presente investigación fue necesario utilizar vigas de mayor diámetro, lo cual incrementa el volumen de material, pero sigue siendo viable por la disponibilidad local y el bajo costo de la madera capirona. Esta comparación permite concluir que, si bien existen limitaciones estructurales en el uso de madera frente al acero, el diseño puede ser funcional siempre que se respete el marco normativo técnico (Norma E.010 y AASHTO LRFD).

Los contrastes realizados evidencian que los resultados obtenidos en esta tesis son coherentes con la naturaleza del material utilizado y con los criterios estructurales actuales. Aunque la madera presenta limitaciones frente al concreto y al acero en cuanto a resistencia y rigidez, su aplicación en puentes carrozables es viable con un diseño adecuado bajo los estados límites. Además, el uso de software especializado como SAP2000 permitió validar numéricamente el comportamiento estructural

del tablero, y la comparación con investigaciones previas resalta la validez y pertinencia técnica del diseño desarrollado.

CONCLUSIONES

Los resultados del proyecto de estudio llevaron a las siguientes conclusiones, que se ajustan a su objetivo:

- Se concluye que se logra verificar el ELU de rotura con el propósito de desarrollar el diseño estructural de un tablero de madera en configuración destinada a un puente de camino, ya que se cumple que los parámetros máximos de verificación de la flexión y corte obtenidos del tablero (0.345 y 3.994 kgf/cm² respectivamente), son menores que los parámetros condicionales de flexión y corte (1.00 y 8.308 kgf/cm² respectivamente) obtenidos según la norma UNE-EN-1995;2016 (Eurocódigo 5- parte 2).
- Se concluye que se logra verificar el ELU de fatiga orientado al cálculo estructural de un tablero de madera destinada a un puente de camino, ya que se cumple que los parámetros máximos de verificación de la flexión y corte obtenidos del tablero (29.366 kgf/cm² y 3.994 kgf/cm² respectivamente), son menores que los parámetros condicionales de flexión y corte (150 kgf/cm² y 12 kgf/cm² respectivamente) obtenidos según la norma UNE-EN-1995;2016 (Eurocódigo 5 – parte 2).
- Se concluye que se logra verificar el ELS destinado a la elaboración del diseño estructural de un tablero de madera con tipología destinada a un puente de camino, ya que se cumple que el máximo de verificación de la deflexión obtenido del tablero (22.68 mm), es menor que el parámetro condicional de deflexión (37.85 mm) obtenido según la norma UNE-EN-1995;2016 (Eurocódigo 5 – parte 2).
- Se concluye que se logra aplicar los estados límites para el diseño estructural del tablero de madera tipo viga – losa destinada a un puente de camino, ya que se cumple las condiciones de verificación del ELU de

rotura, del ELU de fatiga, y del ELS según la norma UNE-EN-1995;2016 (Eurocódigo 5 – parte 2).

- Se determina que el diseño estructural correspondiente a un tablero con sistema destinada a un puente camino, puede soportar mayores cargas con las dimensiones propuestas del tablero (viga y losa), ya que según la evaluación del ELU de fatiga queda demostrado la resistencia de hasta un poco más de 05 veces el esfuerzo de flexión (de 29.366 kgf/cm² a 150 kgf/cm²), y de hasta un poco más de 03 veces el esfuerzo cortante (de 3.994 kgf/cm² a 12 kgf/cm²).
- Se establece como resultado que el diseño estructural del tablero configurado destinada a un puente camino, puede soportar mayores deformaciones con las dimensiones propuestas del tablero (viga y losa), ya que según la evaluación del ELS queda demostrado la deformación vertical de hasta un poco más del 66 % de incremento (de 22.68 mm a 37.85 mm).
- Se concluye que el puente de camino de madera capirona cumple técnicamente con las condiciones planteadas, siendo viable su aplicación y construcción en tramos que no superen los 7.57 m, sin importar la fundación de este, ya que el presente estudio no evalúa la fundación, el cual puede ser evaluado independientemente según cada necesidad.

RECOMENDACIONES

- Realizar el estudio de factibilidad económica para obtener el costo-beneficio de la aplicación de la propuesta alternativa de diseño del puente de camino de madera capirona, en comparación con el costo beneficio de estructuras similares de concreto, concreto armado, mixtos, entre otros tipos.
- Realizar el estudio de impacto ambiental para obtener una mejor alternativa de la aplicación del puente de camino de madera capirona en cuanto al impacto negativo, ya que la investigación actual no lo considera, el cual podría ser necesaria si en caso se contemple la ejecución y construcción del puente diseñado.
- Realizar la aplicación metodológica de la investigación, como soporte para el estudio de diseño del mismo tipo de puente en diferentes zonas de estudio, sobre todo en diseños con tramos superiores al del presente estudio, así poder evaluar el aumento de flexiones, cortes y deflexiones.
- Buscar financiamiento para poder realizar la ejecución del puente de camino de madera capirona, y de esa manera poder realizar la evaluación de vibraciones para poder contrastar con los resultados reales que actúan referente a las flexiones cortes y deformaciones; y los resultados del presente estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO LRFD (2010). *Bridge design specifications* (6ta edición). Washington: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Ampuero, E. (2012). *Consideraciones estructurales en el análisis y diseño de puentes colgantes* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Perú:
<https://repositorio.uni.edu.pe/handle/20.500.14076/1289>
- Arias, J. (2021). *Diseño y metodología de la investigación* (1ra edición). Enfoques Consulting EIRL.
- Aruhuanca, E. y Rodríguez, E. (2021). *Diseño de puente carrozable en la vía Mina Ccapacc Orcco – C.P. Limbani en la provincia de Sandía* [Tesis de grado, Universidad de Privada de Trujillo]. Perú:
<https://repositorio.uprit.edu.pe/handle/UPRIT/676>
- ASTM International (2013). *A796/A796M-13a: Standard practice for structural design of corrugated steel pipe, pipe-arches, and arches for storm and sanitary sewers and other buried applications*. Pennsylvania.
- Baño, V. et al (2016). *Evaluación experimental y numérica de paneles de madera contra laminada producidos con madera de pino proveniente de Aclareos en Uruguay*. Instituto de Viena – Austria.
- Baño, V. y Moya, L. (2015). *Pliego de condiciones técnicas para la madera estructural en la edificación en Uruguay*. Instituto de Estructuras y Transporte de Uruguay.
- Bernasconi, M. (2013). *Puentes de madera en caminos de bajo volumen de tránsito*. Asociación de Ingenieros de Uruguay.
- Campanelli et al (2017). *Construcción del puente autoportante de Da Vinci*. Sao Paulo - Brasil.

- Cárcamo, J. (2006). *Diseño y construcción de un tablero de madera postensada con losa de ferrocemento para su uso en puentes menores* [Tesis de grado, Universidad Austral de Chile]. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2006/bmfcic265d/sources/bmfcic265d.pdf>
- Cagno, M. et al (2015). *Documentos técnicos para la normalización de estructuras y construcción con madera*. Ministerio de Industria, Energía y Minería de Uruguay.
- Carchi, A. y Orellana, P. (2015). *Análisis dinámico de vibraciones bajo cargas peatonales para una pasarela en base de modelos matemáticos* [Tesis de grado, Universidad de Cuenca]. Ecuador: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/items/bc8ed43e-7749-4b97-b7c5-21d04ee5f6a4>
- Ccaso, N. (2017). *Evaluación analítica de vibraciones en puentes peatonales debido a carga peatonal, caso puentes de la Panamericana Norte km 19 + 000 – km 25 + 500* [Tesis de grado, Universidad Cesar Vallejo]. Perú: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/19976>
- Dieste A. (2012). *Programa de promoción de exportaciones de productos de madera*. Ministerio de Industrias, Energía y Minería de Uruguay.
- Espinoza, R. (2018). *Diseño del puente para trocha carrozable mejorando el tránsito del centro poblado de Vichón provincia Huari, Ancash* [Tesis de grado, Universidad Cesar Vallejo]. Perú: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/34800>
- Farro, A. y Senador, E. (2024). *Análisis técnico – económico del diseño de la superestructura del puente Tocras, entre vigas de concreto armado versus vigas compuestas* [Tesis de grado, Universidad de Piura]. Perú: <https://gestionrepo.udep.edu.pe/items/e1520fc2-c7f9-426e-9c00-7374f55ef209>

- García, F. (2024). *Optimización del diseño del puente carrozable para mejorar el comportamiento estructural en el distrito de San Francisco de Cayrán – Huánuco* [Tesis de grado, Universidad de Huánuco]. Perú: <https://repositorio.udh.edu.pe/handle/20.500.14257/5505?show=full>
- Giuliano, M. et al (2011). *Manual de diseño, construcción, mantención y monitoreo de tableros de madera tensado*. Departamento de Ingeniería de la Universidad de Concepción.
- Hernández Sampieri et al (2014). *Metodología de la Investigación (6ta edición)*. Mc Graw Hill – México.
- Junco, W. y Zambrano, N. (2020). *Propuesta de diseño de puente peatonal sobre la av. Boyacá con calle 12B* [Tesis de grado, Universidad Católica de Colombia]. <https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/438a414a-282c-40fe-bc14-49d55587dbbf>
- López, E. (2024). *Diseño de puente vehicular caserío La Peña Paraje Tuichul, San Miguel Ixtahuacán, departamento de San Marcos* [Tesis de grado, Universidad de San Carlos]. Guatemala: <https://cusam.edu.gt/wp-content/uploads/2024/10/IC-15-LMEL-Lopez-Mazariegos-Eida-Ligia.pdf>
- Mena, E. (2021). *Calculo y diseño de un puente mixto carrozable, sobre el río Chicaña ubicado en el barrio San Vicente de Caney, provincia de Zamora Chinchipe* [Tesis de grado, Universidad Católica de Cuenca]. Ecuador: <https://dspace.ucacue.edu.ec/items/96370e00-7ab6-4a6a-a5f8-d040068da982>
- MTC (2016). *Manual de diseño de puentes*. Dirección general de caminos y ferrocarriles de Perú.
- MTC (2018). *Manual de carreteras: Diseño geométrico*. Dirección general de caminos y ferrocarriles de Perú.

- MTC (2008). *Manual para el diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito*. Dirección general de caminos y ferrocarriles de Perú.
- Peralta, F. (2018). *Diseño estructural de puentes peatonales sobre la autopista Pimentel – Chiclayo* [Tesis de grado, Universidad Señor de Sipán]. Perú: <https://hdl.handle.net/20.500.12802/4570>
- Popovic, L. et al (2014). *Reciprocal frame (RF) Optimized timbertruss structoure*. Royal danish academy of fine arts school of architecture.
- Raddatz, D. (2006). *Diseño de un puente continuo de dos tramos de tablero de madera post – tensado* [Tesis de grado, Universidad Austral de Chile].
<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2006/bmfcir125i/doc/bmfcir125i.pdf>
- RNE (2016). *E.010: Madera*. Grupo editorial Megabite de Perú.
- Ramos, J. (2016). *Manual de diseño de puentes*. Perú: Editorial Macro E.I.R.L.
- Raustentrauch, K. et al (2010). *La primera madera-hormigón puente de carretera compuesto en Alemania*. Asociación de Productos de Ingeniería de Madera.
- Rodríguez, C. (2023). *Diseño estructural de un puente tipo viga-losa ubicado en el centro poblado de Janca Bajo, Amarilis - Huánuco* [Tesis de grado, Universidad de Huánuco]. Perú: <https://repositorio.udh.edu.pe/handle/20.500.14257/4867?show=full>
- Rodríguez, M. (2017). *Diseño de un puente tipo losa y un puente viga losa hasta 20m de luz, en el distrito de Chilca* [Tesis de grado, Universidad Continental]. Perú: <https://hdl.handle.net/20.500.12394/5486>
- Sabino, F. (2023). *Mejora del comportamiento estructural con el diseño de un puente viga losa en el distrito de Santa María del Valle – Huánuco* [Tesis de grado, Universidad de Huánuco]. Perú: <https://repositorio.udh.edu.pe/handle/20.500.14257/5292?show=full>

Seminario, E. (2004). *Guía para el diseño de puentes con viga y losas* [Tesis de grado, Universidad de Piura] Perú: https://www.academia.edu/download/42684079/tesis_de_puentes.pdf

Susuki, A. (2023). *Diseño de puente Huaroc mediante el manual de puentes del MTC y el método AASHTO – LRFD, Centro Poblado Blanco – Sayan – Huaura* [Tesis de grado, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión]. Perú: <https://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/20.500.14067/10177>

Tapias, J. y Pinzón, A. (2014). *Pre diseño para un modelo de puente peatonal en intersecciones viales aplicadas a calzadas en alto flujo Vehicular* [Tesis de postgrado, Escuela de Ingenieros Militares]. Bogotá: <https://repository.umng.edu.co/items/fb07de6e-9103-4b57-9272-5b9b863eb82c>

UNE-EN-338 (2016). *Madera estructural*. Asociación española de normalización y certificación de Madrid.

UNE-EN-1990 (2019). *Eurocódigo 0 – Bases de cálculo de estructuras y Aplicación a puentes*. Asociación española de normalización y certificación de Madrid.

UNE-EN-1995 (2016). *Eurocódigo 5 – Parte 2, Proyecto de estructuras de madera*. Asociación española de normalización y certificación de Madrid.

COMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Mapartida Rojas, F. (2025). *Aplicación de los estados límites para el diseño estructural del tablero de madera tipo viga-losa destinada a un puente de camino, en Nuevo Circuito, Yanajanca, Marañón 2024*. [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional UDH. <http://...>

ANEXOS

ANEXO 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología	Población y Muestra
<u>Problema General</u>	<u>Objetivo General</u>	<u>Hipótesis General</u>			
✓ ¿De qué manera aplicar los estados límites para el diseño estructural del tablero de madera tipo viga - losa destinada a un puente de camino, en Nuevo Circuito, Yanajanca, Marañón 2024?	✓ Aplicar los estados límites para el diseño estructural del tablero de madera tipo viga - losa destinada a un puente de camino, en Nuevo Circuito, Yanajanca, Marañón 2024.	✓ Mediante el análisis estructural y la verificación de la norma UNE-EN-1995, Si se puede aplicar los estados límites para el diseño estructural del tablero de madera tipo viga - losa destinada a un puente de camino, en Nuevo Circuito, Yanajanca, Marañón 2024.	<u>Variable 01</u> Aplicación de los estados límites	<u>Enfoque</u> Cuantitativo	<u>Población</u> <u>Puente de camino</u> en la quebrada Sayasta del Nuevo Circuito en el distrito de Yanajanca.
<u>Problemas Específicos</u>	<u>Objetivos Específicos</u>	<u>Hipótesis Específicas</u>		<u>Alcance</u>	
✓ ¿De qué manera verificar el ELU de rotura para el diseño estructural del tablero de madera tipo viga - losa destinada a un puente de camino, en Nuevo Circuito, Yanajanca, Marañón 2024?	✓ Verificar el ELU de rotura para el diseño estructural del tablero de madera tipo viga - losa destinada a un puente de camino, en Nuevo Circuito, Yanajanca, Marañón 2024.	✓ Mediante los parámetros de flexión y corte según la norma UNE-EN-1995, Si se puede realizar la verificación del ELU de rotura para el diseño estructural del tablero de madera tipo viga - losa destinada a un puente de camino, en Nuevo Circuito, Yanajanca, Marañón 2024.	<u>Variable 02</u> Diseño estructural del tablero de madera tipo viga – losa.	Descriptivo	<u>Muestra</u> <u>Tablero de madera tipo viga-losa</u> para el puente de camino en la quebrada Sayasta del Nuevo Circuito en el distrito de Yanajanca.
✓ ¿De qué manera verificar el ELU de fatiga para el diseño	✓ Verificar el ELU de fatiga para el diseño estructural del tablero	✓ Mediante los parámetros de flexión y corte según la norma UNE-EN-1995, Si se puede realizar la verificación del ELU		<u>Diseño</u> No experimental	

estructural del tablero de madera tipo viga - losa destinada a un puente de camino, en Nuevo Circuito, Yanajanca, Marañón 2024? ✓ ¿De qué manera verificar el ELS para el diseño estructural del tablero de madera tipo viga - losa destinada a un puente de camino, en Nuevo Circuito, Yanajanca, Marañón 2024?	de madera tipo viga - losa destinada a un puente de camino, en Nuevo Circuito, Yanajanca, Marañón 2024. ✓ Verificar el ELS para el diseño estructural del tablero de madera tipo viga - losa destinada a un puente de camino, en Nuevo Circuito, Yanajanca, Marañón 2024.	de fatiga para el diseño estructural del tablero de madera tipo viga - losa destinada a un puente de camino, en Nuevo Circuito, Yanajanca, Marañón 2024. ✓ Mediante los parámetros de la deflexión según la norma UNE-EN-1995, Si se puede realizar la verificación del ELS para el diseño estructural del tablero de madera tipo viga - losa destinada a un puente de camino, en Nuevo Circuito, Yanajanca, Marañón 2024.
--	---	--

ANEXO 2

RESOLUCIÓN DE ASESOR

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

Facultad de Ingeniería

RESOLUCIÓN N° 1520-2024-D-FI-UDH

Huánuco, 10 de julio de 2024

Visto, el Oficio N° 1065-2024-C-PAIC-FI-UDH presentado por el Coordinador del Programa Académico de Ingeniería Civil y el Expediente N° 494525-0000006177, del Bach. **Fran Wanderley MALPARTIDA ROJAS**, quien solicita cambio de Asesor de Tesis.

CONSIDERANDO:

Que, de acuerdo a la Nueva Ley Universitaria 30220, Capítulo V, Art 45° inc. 45.2, es procedente su atención, y;

Que, según el Expediente N° 494525-0000006177, presentado por el (la) Bach. **Fran Wanderley MALPARTIDA ROJAS**, quien solicita cambio de Asesor de Tesis, para desarrollar su trabajo de investigación (Tesis), y;

Que, con Resolución N° 2330-2023-D-FI-UDH, de fecha 06 de octubre de 2023, en la cual se designa como Asesor de Tesis del Bach. **Fran Wanderley MALPARTIDA ROJAS** al Mg. Charly Fernando Rodríguez Ponce, quien no tiene vínculo laboral con esta universidad, y;

Que, según lo dispuesto en el Capítulo II, Art. 31 del Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco vigente, es procedente atender lo solicitado, y;

Estando a las atribuciones conferidas al Decano de la Facultad de Ingeniería y con cargo a dar cuenta en el próximo Consejo de Facultad.

SE RESUELVE:

Artículo Primero. - **DEJAR SIN EFECTO**, la Resolución N° 2330-2023-D-FI-UDH, de fecha 06 de octubre de 2023.

Artículo Segundo.- DESIGNAR, como nuevo Asesor de Tesis del Bach. **Fran Wanderley MALPARTIDA ROJAS** al Mg. Reynaldo Favio Suarez Landauro, Docente del Programa Académico de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería.

Artículo Tercero. - El interesado tendrá un plazo máximo de 6 meses para solicitar revisión del Trabajo de Investigación (Tesis). En todo caso deberá de solicitar nuevamente el trámite con el costo económico vigente.

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE Y ARCHÍVESE



Distribución:
Fac. de Ingeniería - PAIC- Asesor- Mat. y Reg.Acad. - Interesado - Archivo.
BCR/EJML/nto

ANEXO 3

RESOLUCIÓN DE JURADOS

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

Facultad de Ingeniería

RESOLUCIÓN N° 1163-2024-D-FI-UDH

Huánuco, 21 de mayo de 2024

Visto, el Oficio N° 825-2024-C-PAIC-FI-UDH, mediante el cual el Coordinador Académico de Ingeniería Civil, remite el dictamen de los jurados revisores, del Trabajo de Investigación (Tesis) intitulado: **"APLICACIÓN DE LOS ESTADOS LIMITES PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL DEL TABLERO DE MADERA TIPO VIGA-LOSA DESTINADA A UN PUENTE DE CAMINO, EN NUEVO CIRCUITO, YANAJANCA, MARAÑÓN 2024"**, presentado por el (la) Bach. **Fran Wanderley MALPARTIDA ROJAS**.

CONSIDERANDO:

Que, mediante Resolución N° 006-2001-R-AU-UDH, de fecha 24 de julio de 2001, se crea la Facultad de Ingeniería, y;

Que, mediante Resolución de Consejo Directivo N° 076-2019-SUNEDU/CD, de fecha 05 de junio de 2019, otorga la Licencia a la Universidad de Huánuco para ofrecer el servicio educativo superior universitario, y;

Que, mediante Resolución N° 2330-2023-D-FI-UDH, de fecha 06 de octubre de 2023, perteneciente al Bach. **Fran Wanderley MALPARTIDA ROJAS** se le designó como ASESOR(A) al Mg. Charly Fernando Rodríguez Ponce, docente adscrito al Programa Académico de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería, y;

Que, según Oficio N° 825-2024-C-PAIC-FI-UDH, del Coordinador Académico quien informa que los JURADOS REVISORES del Trabajo de Investigación (Tesis) intitulado: **"APLICACIÓN DE LOS ESTADOS LIMITES PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL DEL TABLERO DE MADERA TIPO VIGA-LOSA DESTINADA A UN PUENTE DE CAMINO, EN NUEVO CIRCUITO, YANAJANCA, MARAÑÓN 2024"**, presentado por el (la) Bach. **Fran Wanderley MALPARTIDA ROJAS**, integrado por los siguientes docentes: Dr. Johnny Prudencio Jacha Rojas (Presidente), Mg. Jose Wicley Tuanama Lavi (Secretario) e Ing. Percy Mello Davila Herrera (Vocal), quienes declaran APTO para ser ejecutado el Trabajo de Investigación (Tesis), y;

Estando a las atribuciones conferidas al Decano de la Facultad de Ingeniería y con cargo a dar cuenta en el próximo Consejo de Facultad.

SE RESUELVE:

Artículo Primero. - **APROBAR**, el Trabajo de Investigación (Tesis) y su ejecución intitulado: **"APLICACIÓN DE LOS ESTADOS LIMITES PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL DEL TABLERO DE MADERA TIPO VIGA-LOSA DESTINADA A UN PUENTE DE CAMINO, EN NUEVO CIRCUITO, YANAJANCA, MARAÑÓN 2024"**, presentado por el (la) Bach. **Fran Wanderley MALPARTIDA ROJAS** para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Civil, del Programa Académico de Ingeniería Civil de la Universidad de Huánuco.

Artículo Segundo. - El Trabajo de Investigación (Tesis) deberá ejecutarse hasta un plazo máximo de 1 año de su Aprobación. En caso de incumplimiento podrá solicitar por única vez la ampliación del mismo (6 meses).

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE Y ARCHÍVESE



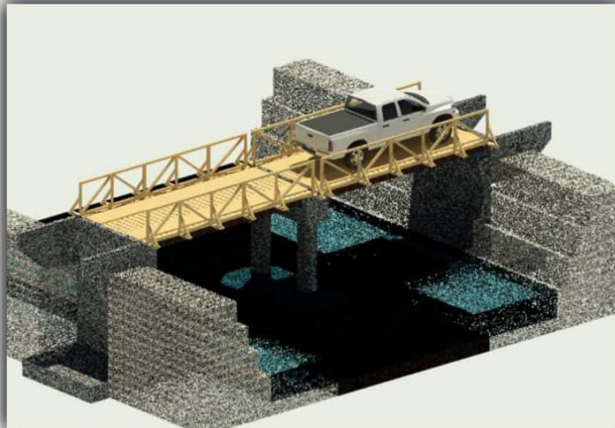
Distribución:

Fac. de Ingeniería - PAIC - Asesor - Exp. Graduando - Interesado - Archivo.
BCR/EJ/ML/nto.

ANEXO 4
MEMORIA DE CÁLCULO DE LA SUPERESTRUCTURA

MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURAL DE
LA SUPERESTRUCTURA
(Puente de Madera Isostático Tipo Viga-Losa)

PROYECTO DE TESIS:
“APLICACIÓN DE LOS ESTADOS LIMITES PARA EL DISEÑO
ESTRUCTURAL DEL TABLERO DE MADERA TIPO VIGA-
LOSA DESTINADA A UN PUENTE DE CAMINO, EN NUEVO
CIRCUITO, YANAJANCA, MARAÑÓN 2024”



2024

INDICE GENERAL

1.- INTRODUCCION	1
2.- DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA	1
2.1.- UBICACIÓN DEL PROYECTO.....	1
2.2.- GALIBO	1
2.3.- DESCRIPCION GEOMETRICA DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES PREVIO A UN PREDIMENSIONAMIENTO	1
2.3.1.- CARACTERISTICAS DE LA SUPER-ESTRUCTURA.....	1
3.- BASES DE CALCULO	3
3.1.- NORMA DE REFERENCIA	3
3.2.- PROGRAMA DE COMPUTO UTILIZADO.....	3
3.3.- DETERMINACIÓN DEL GRUPO DE LA MADERA ESTRUCTURAL	3
3.4.- DEFINICION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DEL MATERIAL DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES	4
3.4.1.- TABLERO.....	4
3.5.- DEFINICION DE LAS ACCIONES PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL TABLERO	5
3.5.1.- ACCIÓN PERMANENTE	5
3.5.2.- ACCIÓN VARIABLE.....	5
3.5.3.- CARGAS Y DENOMINACION DE LAS CARGAS	11
3.5.4.- COMBINACIONES DE CARGA PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL TABLERO EN BASE A LAS TENSIONES ADMISIBLE O SERVICIO	11
3.5.5.- FACTORES DE CARGA Y COMBINACIONES DE CARGA PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL TABLERO EN BASE A LOS ESTADOS LIMITES DE LA EUROCODIGO.....	11
3.5.6.- MÉTODO DE DISEÑO SEGUN RNE E.010 "MADERA" PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL TABLERO.....	14
3.5.7.- MÉTODO DE DISEÑO SEGUN EUROCODIGO 5 "PROYECTO DE ESTRUCTURAS DE MADERA" PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL TABLERO.....	14
4.- DIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES	17
4.1.- DIMENSIONAMIENTO DE LA SUPER-ESTRUCTURA	17
4.1.1.- METODO DE DISEÑO POR TENSIONES ADMISIBLES DE LA NORMA E.010.....	17
4.1.2.- METODO DE DISEÑO POR ESTADOS LIMITES DE LA EUROCODIGO 5.....	20
BIBLIOGRAFÍA.....	21

1.- INTRODUCCION

La presente memoria de cálculo tiene como finalidad de dar justificación estructural a la superestructura de un puente de madera isostático de 2 tramos tipo viga-losa de longitud igual a 7.57 m para cada tramo, en la localidad de Nuevo Circuito del Proyecto: **“REPARACIÓN DE PUENTE; EN EL (LA) PUENTE CARROZABLE NUEVO CIRCUITO EN EL RIO SAYASTA, EN EL CASERIO DE NUEVO CIRCUITO, EN EL DISTRITO DE SANTA ROSA DE ALTO YANAJANCA, PROVINCIA MARAÑÓN, DEPARTAMENTO HUÁNUCO.”**

Así mismo, en esta memoria de cálculo estructural describe todos los procedimientos realizados para el análisis y diseño estructural del tablero comprendido en un tramo del puente, ya que el análisis del 2do tramo resultaría con los mismo resultados al ser un puente isostático.

2.- DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

2.1.- UBICACIÓN DEL PROYECTO

El puente de madera tipo viga-losa se encuentra ubicado bajo las siguientes especificaciones:

Región	: Huánuco
Provincia	: Marañón
Distrito	: Santa Rosa de Alto Yanajanca
Caserío	: Nuevo circuito

2.2.- GALIBO

La distancia libre vertical que se tiene entre la parte inferior de la superestructura y el nivel de aguas máxima extraordinarias (NAME) del "rio", es superior a 1.50 m para el caso de cuando el rio no arrastra palizadas y de 2.50 m para la situación de que arrastre palizadas de acuerdo al Manual de puentes del MTC.

2.3.- DESCRIPCION GEOMETRICA DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES PREVIO A UN PREDIMENSIONAMIENTO

De acuerdo al Manual de puentes edición 2018 del MTC, la estructura es considerado como puente y no pontón, debido a que presenta una luz libre mayor que 6.00 m.

Según la naturaleza de la vía soportada, la estructura atiende a ser un puente para camino de tercer orden con eventualidad de cruce peatonal.

La geometría en planta del puente es recto. Además, de acuerdo al tiempo de vida previsto, el puente es considerado definitivo con mantenimiento y verificación periódica limitada a un tiempo no mayor de cada 3 a 4 años por ser de madera.

2.3.1.- CARACTERISTICAS DE LA SUPER-ESTRUCTURA

La súper-estructura del puente presenta la siguiente descripción:

Tipo del tablero	: Viga-Losa
------------------	-------------

Tipo de material en general : Madera
 Tipo de material de la viga : Madera Capirona
 Tipo de material de la losa : Entablado de madera Capirona

Al presentar un vano isostático por tramo, las condiciones de apoyo son de un puente simplemente apoyado, es decir, apoyo fijo en un extremo y en el otro apoyo móvil. Así mismo, la longitud del tablero de cada tramo es igual a 7.57 metros.

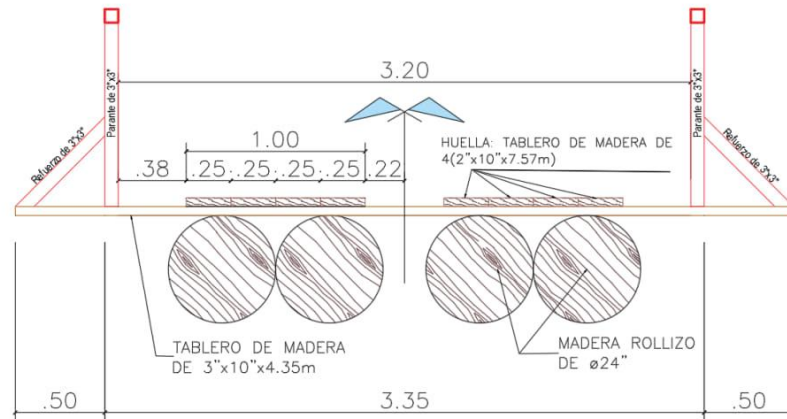


FIGURA 1: Sección transversal del tablero viga-losa de madera

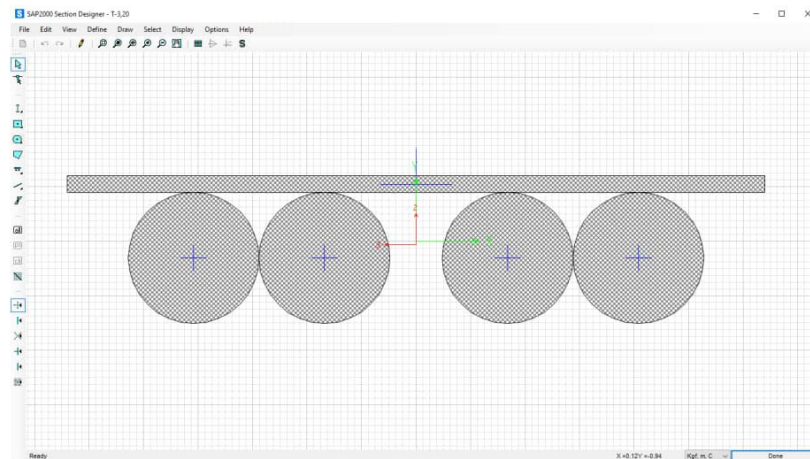


FIGURA 2: Definición de la sección transversal en SAP20000

3.- BASES DE CALCULO

3.1.- NORMA DE REFERENCIA

En la realización de la presente documentación se ha consultado y/o utilizado las siguientes normativas y manuales.

- ✚ Reglamento Nacional de Edificaciones (R.N.E) – Normas Técnicas de edificación (N.T.E)
 - _ NTE E.010 "MADERA"
 - _ NTE E.020 "CARGAS"
- ✚ Manual de Puentes del Ministerio de Transporte y Comunicaciones, versión 2018
- ✚ Norma AASHTO LRFD 2014 Y 2017.
- ✚ Eurocodigo 5 "PROYECTO DE ESTRUCTURAS DE MADERA" del 2016.
- ✚ Eurocodigo 0 "BASES DE CÁLCULO DE ESTRUCTURAS" del 2019.

3.2.- PROGRAMA DE COMPUTO UTILIZADO

El programa de cómputo utilizado como recurso para la modelación numérica, es a través del software SAP2000

Por otra parte, complementariamente se utilizó el software *Microsoft Excel* y *PTC Mathcad Prime* para un manejo general, por ejemplo, el cálculo de las acciones, el dimensionamiento analítico.

3.3.- DETERMINACIÓN DEL GRUPO DE LA MADERA ESTRUCTURAL

La clasificación de la madera estructural utilizada para el ámbito del proyecto se la puede encontrar en el Manual de diseño de maderas del Grupo Andino PADT- REFORT para las especies del Perú y en la Norma E.010.

GRUPO	NOMBRE
A	AZUCAR HUAYO
	ESTORAQUE
	HUACAPU
	PUMAQUIRO
	ETC
B	AGUANO MASHA
	ANA CASPI
	CACHIMBO COLORADO
	CAPIRONA
	HUAYRURO
	MANCHINGA
C	BOLAINA BLANCA
	COPAIBA
	DIABLO FUERTE
	TORNILLO
	UTUCURO
	YACUSHAPANA
	ETC

TABLA 1: Lista de especies agrupadas – Anexo 3 E.010

Para el ámbito del proyecto, la madera estructural que se utilizará es la "CAPIRONA", el cual pertenece al grupo B.

3.4.- DEFINICION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DEL MATERIAL DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

3.4.1.- TABLERO

La viga y losa de madera, estarán conformadas por la madera estructural "Capirona", el cual pertenece al "grupo B" (Calidad intermedia) de acuerdo al RNE E.010 "Madera".

Grupo	Densidad Básica	Módulo de elasticidad*	Esfuerzos admisibles MPa (Kgf/cm²)*				
			En Flexión	En Tracción paralela a la fibra	Compresión paralela	Compresión perpendicular	Corte paralelo
	g/cm³	MPa(Kgf/cm²)	f_m	f_t	$f_c //$	$f_{c \perp}$	f_v
B	0.07	7355(75000)	14.7(150)	10.3(105)	10.8(110)	2.7(28)	1.2(12)

NOTA:

- El módulo de elasticidad (E) es aplicable para elementos en flexión, tracción o compresión en la dirección paralela a las fibras.
- Para los esfuerzos admisibles en compresión deberán considerarse adicionalmente los efectos de pandeo.
- *Estos valores son para madera húmeda, y pueden ser usados para madera seca.
- Esfuerzos Admisibles. - Son los esfuerzos de diseño del material para cargas de servicio, definidos para los grupos estructurales.

TABLA 2: PROPIEDADES MECANICAS DE LA MADERA "CAPIRONA"

El peso específico del material según el RNE- E.020 para la madera estructural del grupo "B" es de 1000 kgf/m³.

DESCRIPCIÓN	Peso Unitario
	kN/m³ (Kgf/m³)
CONIFERAS	7.5 (750)
GRUPO A	11.0 (1100)
GRUPO B	10.0 (1000)
GRUPO C	9.0 (900)

TABLA 3: Pesos unitarios de la Madera – Anexo 1 E.020

FIGURA 3: Definición del peso específico, módulo de elasticidad y coeficiente de expansión térmica mecánicas de la madera Capirona en Sap2000

3.5.- DEFINICION DE LAS ACCIONES PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL TABLERO

Las acciones que se definieron en el presente apartado, se basaron en base a las consideraciones necesarias que estipula el Manual de Puentes del M.T.C.

3.5.1.- ACCIÓN PERMANENTE

a.- PESO PROPIO DE LA ESTRUCTURA: (DC)

El presente valor, es definido por el propio programa de cómputo utilizado como recurso para la modelación numérica.

b.- CARGAS MUERTAS: (DW)

Para el caso del presente puente, se ha considerado tener encuentra como elemento no estructural a los tablonces longitudinales contra laminados a los tablonces transversales y que a su vez solo sirven como guía para el vehículo. Por otra parte, también se ha considerado los pesos que puedan generar las barandas no estructurales.

Cada huella (línea del tablón longitudinal) genera una carga muerta uniformemente distribuida por metro lineal, de:

$$DW = 0.05m * 1000kgf/m^3 = 50 kgf/m^2$$

$$DW = 2 veces * 50 kgf/m^2 * 1.00m = 100 kgf/m$$

En lo que respecta a las barandas laterales (elemento no estructural), se ha considerado como una carga muerta uniformemente distribuida por metro lineal, de:

$$DW = 0.075m * 1100kgf/m^3 = 82.5 kgf/m^2$$

$$DW = 2 veces * 82.5 kgf/m^2 * 1.10m = 181.5 kgf/m$$

3.5.2.- ACCIÓN VARIABLE

a.- CARGAS VIVAS DE VEHÍCULOS

a.1.- NUMERO DE VÍAS (CARRIL DE DISEÑO)

En base al *manual de puentes del MTC-2018*, el número de carriles de diseño es tomado como la relación $w/3.60$, en donde se indica que el carril de diseño debe de tener un ancho igual a 3.6 metros.

$$\text{Número de carril de diseño} = 1 \text{ Vía de } 3.60 \text{ m}$$

Donde: w es el ancho libre de calzada entre sardineles, cordones y/o barreras

El proyecto en estudio contempla un ancho de carril de 3.20m. Entonces, en base al *manual de puentes del MTC-2018* se indica que para los casos en los cuales los carriles de circulación tienen menos de 3.60 m. de ancho, el número de carriles de diseño deberá ser igual al número de carriles de circulación, y el ancho del carril de diseño se deberá tomar igual al ancho del carril de circulación.

a.2.- CARGA VIVA DEL VEHÍCULO: [LL]

La carga viva designada es el HL-93 (AASHTO HL-93), el cual consiste en una combinación de:

- Camión de Diseño o tándem de diseño y,
- Carga Distribuida de diseño

Por otra parte, para el estado límite de fatiga sólo se considera al camión de diseño.

a.2.1 CAMIÓN DE DISEÑO

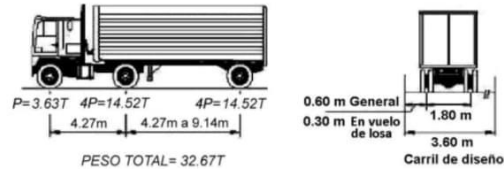


FIGURA 4: CAMIÓN ESTÁNDAR HL-93

En lo que respecta a la distancia desarrollada entre los dos ejes más pesados (14.52T) se toma como aquella que, estando entre los límites de 4.27m a 9.14m., produzca el efecto más desfavorable en cada caso.

a.2.2 TANDEM DE DISEÑO

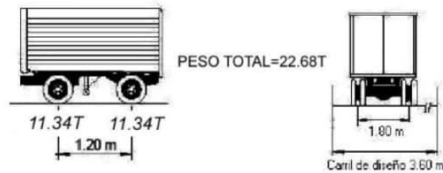


FIGURA 5: TÁNDEM HL-93

a.2.3 SOBRECARGA DISTRIBUIDA (CARGAS DEL CARRIL DE DISEÑO)

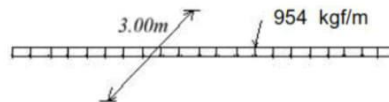


FIGURA 6: CARGA DE CARRIL HL-93

La sobrecarga, actúa uniformemente distribuida en dirección longitudinal sobre aquellas partes o porciones del puente en las que produzca un efecto desfavorable. En dirección transversal, la sobrecarga se distribuye uniformemente sobre un ancho de 3m

Esta sobrecarga se aplicará también sobre aquellas zonas donde se ubique el camión o el tándem de diseño. No se considerarán efectos dinámicos para esta sobrecarga.

Nota:

La carga viva del vehículo es considerada en toda su longitud como una combinación de los siguientes casos:

- Tándem de diseño + sobrecarga distribuida.
- Camión de diseño + sobrecarga distribuida. Por otra parte, la distancia entre los ejes de 14.52T, será aquella que produzca el efecto más desfavorable en cada caso.

a.3.- PRESENCIA MULTIPLE DE SOBRECARGA

Al presentarse el caso de una vía cargada, el factor de presencia múltiple es:

$$m = 1.20$$

Así mismo, este factor generalmente provoca el efecto más desfavorable. Este requisito no es aplicable para el estado límite de fatiga.

a.4.- CARGA DE FATIGA

Para la verificación por fatiga, se utiliza un camión igual al camión de diseño, pero los ejes separados a 9.14m

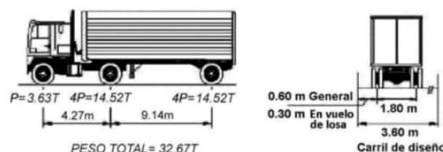


FIGURA 7: CAMION DE DISEÑO HL-93 PARA FATIGA

Así mismo, a esta carga se le deberá incluir los efectos dinámicos. Además, el camión se ubicará, tanto en dirección longitudinal como en la dirección transversal, en las posiciones que produzcan los efectos máximo y mínimo para el elemento en estudio, de modo tal que se obtenga el máximo rango de esfuerzos.

a.5.- CARGA DINAMICA PERMITIDA: [IM]

Los efectos estáticos del camión o tándem de diseño, a excepción de las fuerzas centrífugas y de frenado, se deberán mayorar aplicando los siguientes porcentajes:

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

TABLA 4: INCREMENTO DE LA CARGA VIVA POR EFECTOS DINAMICOS [IM]

El factor a aplicar a la carga estática se debe tomar como:

$$1 + IM/100$$

Nota:

No se aplica a cargas peatonales ni a cargas de carril de diseño. Tampoco en muros de sostenimientos no solicitados por reacciones verticales de la superestructura ni en componentes de fundaciones que estén completamente por debajo del nivel de terreno.

El incremento por carga dinámica se puede reducir para algunos componentes, excepto las juntas, si hay evidencia suficiente que justifique esta reducción.

a.6.- FUERZA DE FRENADO [BR]

La fuerza de frenado es tomada como el mayor de los siguientes valores:

- 25 % de los pesos por eje del camión de diseño o tándem de diseño,
- 5 % del camión o del tándem de diseño más la carga del carril.

La fuerza de frenado se deberá ubicar en todos los carriles de diseño que se consideran cargados y que transportan tráfico en la misma dirección. Así mismo, se emplea el factor de presencia múltiple especificado. Además, no se aplica el incremento por carga dinámica IM y finalmente se asumirá que estas fuerzas actúan horizontalmente a una distancia de 1.80 m sobre la superficie de la calzada en cualquiera de las direcciones longitudinales para provocar sollicitaciones extremas.

De acuerdo a estas especificaciones, la fuerza de frenado será:

- 25% del camión de diseño

$$BR_1 = 0.25 * (3.63 + 14.52 + 14.52) = 8.168 T \cong 8167.50 kg$$

- 25% del tándem de diseño

$$BR_2 = 0.25 * (11.34 + 11.34) = 5.670 T \cong 5670.00 kg$$

- 5% del camión de diseño + carril de diseño

$$BR_3 = 0.05 * ((3.63 + 14.52 + 14.52) + 0.954(8)) = 2.015 T \cong 2015.10 kg$$

- 5% del tándem de diseño + carril de diseño

$$BR_4 = 0.05 * ((11.34 + 11.34) + 0.954(8)) = 1.516 T \cong 1515.60 kg$$

Por lo tanto, al tener un solo carril de diseño en el cual el factor de presencia múltiple es $m=1.20$, se tiene:

$$F_{BR} = (Max BR) * (\# de C.D) * (Factor de presencia multiple)$$

$$F_{BR} = 8167.50 * 1 * 1.2 = 9801.00 kg$$

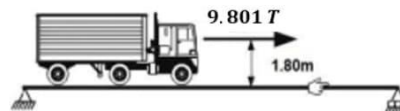


Figure 8: Representación gráfica de la fuerza de frenado sobre la superficie

b.- CARGAS VIVAS DEBIDAS AL USO PEATONAL: [PL]

Para el presente proyecto no será considerado como una acción simultanea que puede actuar con la carga viva de vehículo, debido a que el puente no presenta una dimensión adecuada que permita a la vez una circulación vehicular y peatonal.

Por lo tanto, esta acción no será considerado en el presente proyecto por no generar un efecto desfavorable. Sin embargo, se podría ver la posibilidad si lo mencionado es correcto y para ello se supondrá cuando el puente funcione como un puente peatonal y el tráfico de bicicletas para el cual se diseñan en base a una carga viva repartida de 0.42 T/m2.

c.- CARGA DE VIENTO

c.1.- PRESION HORIZONTAL DEL VIENTO

c.1.1 VELOCIDAD DE VIENTO DE DISEÑO A UNA ALTURA, Z

El manual de puentes del MTC, el cual sigue la metodología de la norma AASHTO LRFD, pero con adaptación al ámbito nacional, indica que la velocidad del viento de diseño a la altura de diseño Z, es determinado mediante la siguiente expresión:

$$V_{DZ} = 2.5V_0 \left(\frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left(\frac{Z}{Z_0} \right)$$

Por otra parte, la formulación presentada es típica para puentes a una altura mayor de 9.14m, entonces se puede despreciar el viento o utilizar las indicaciones dadas por la E.020 "CARGAS" o en todo caso seguir utilizando la formulación presentada por el manual de puentes del MTC (AASHTO,2014).

Para este proyecto, se utilizará la formulación del manual mencionado.

De la formulación presentada:

- ✚ V_{DZ} : Velocidad del viento de diseño a la altura de diseño, Z. (km/h).
- ✚ V_0 : Velocidad friccional (km/h). Se considera igual a 13.2 km/h, el cual corresponde para un terreno abierto según la tabla 2.7 del manual de puentes del MTC (Tabla 3.8.1.1-1, AASHTO 2014).
- ✚ $V_{9.15}$: Velocidad del viento a 9.15m sobre el nivel del terreno o agua de diseño (km/h). En ausencia de datos $V_{9.15} = 160$ km/h, pero para esta situación de proyecto, se tomará el valor dado por el mapa eólico de Perú, el cual es igual a 55.0 Km/h.
- ✚ V_B : Velocidad básica del viento igual a 160 km/h a una altura de 9.15 m.
- ✚ Z_0 : longitud de fricción que trae el viento aguas arriba (m). Se considera igual a 0.07 m, el cual corresponde para un terreno abierto según la tabla 2.7 del manual de puentes del MTC (Tabla 3.8.1.1-1, AASHTO 2014).
- ✚ Z : Altura de la estructura > 9.15 m.

Entonces, para una altura $h=3$ metros, el valor de la velocidad de viento de diseño para el puente en estudio es de $V_{DZ} = 42.63$ Km/h.

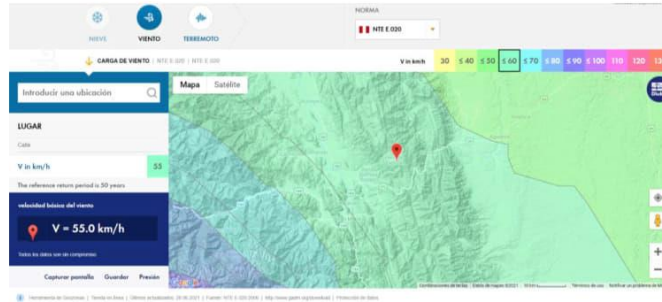


FIGURA 9: Velocidad básica del viento según el Mapa Eólico del Perú

c.1.2 PRESION DEL VIENTO SOBRE ESTRUCTURAS: [WS]

Según el Manual de puentes del MTC, la presión del viento de diseño se determina de la siguiente manera en ausencia de datos más precisos:

$$P_D = P_B (V_{DZ}/V_B)^2$$

Asumiendo que $V_B = 160 \text{ km/h}$ y $P_B = 0.0024 \text{ MPa}$ (Presión por barlovento).

$$\text{Por lo tanto: } P_{DB} = 20.15 \text{ kgf/m}^2$$

➤ Fuerza horizontal por metro lineal de barlovento

Para una altura de 0.64 m, que tiene en cuenta el canto de la viga y espesor de la losa, se considera que la fuerza horizontal por metro lineal de barlovento, es:

$$F_{BAR} = P_{DB} * H_{viga, losa} = 12.90 \text{ kgf/m} < 445 \text{ kgf/m} \dots \text{No cumple}$$

$$F_{BAR} = 445 \text{ kgf/m}$$

Siguiendo las indicaciones del AASHTO LRFD y Manual de puentes del MTC, se excluye la fuerza horizontal de sotavento y vertical.

c.1.3 INESTABILIDAD AEROELÁSTICA

Al ser un puente en donde cuya relación "longitud de tramo/ancho" es inferior a 30.0, el tablero del puente se considera estable.

$$7.57/3.2 = 2.366 < 30 \dots \dots \text{No hay inestabilidad aeroelastica}$$

d.- RANGO DE LA COMPONENTE UNIFORME DE TEMPERATURA: [TU]

Con fines de calcular la deformación de origen térmico, se usarán los siguientes valores de la máxima variación de la componente uniforme de temperatura del tablero:

$$\Delta T_1 = 40^\circ\text{C}; \Delta T_2 = 10^\circ\text{C}$$

3.5.3.- CARGAS Y DENOMINACION DE LAS CARGAS

Se considera las siguientes cargas y fuerzas permanentes y transitorias

- Cargas Permanentes
 - **DC** = carga muerta de Componentes estructurales y no estructurales.
 - **DW** = carga muerta de la superficie de rodadura y dispositivos auxiliares.
- Cargas Transitorias:
 - **BR** = fuerza de frenado vehicular.
 - **IM** = incremento de la carga viva por efectos dinámicos.
 - **LL** = carga viva vehicular.
 - **PL** = carga viva de peatones.
 - **TU** = solicitaciones por temperatura uniforme.
 - **WS** = efecto de viento sobre la estructura.

3.5.4.- COMBINACIONES DE CARGA PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL TABLERO EN BASE A LAS TENSIONES ADMISIBLE O SERVICIO

a.- COMBINACIÓN DE CARGA PARA VERIFICAR LA RESISTENCIA DE LA SECCIÓN

COMB1: $DC+DW + (LL+IM) + BR+ TU1$

COMB2: $DC+DW + (LL+IM) + TU1$

COMB3: $DC+DW + PL+ TU1$

Los 3 primeros combos estarán en función de la temperatura uniforme 1, luego el combo 4 al 6 estarán en función de la temperatura 2.

b.- COMBINACIÓN DE CARGA PARA VERIFICAR LA DEFORMACIÓN DEL PUENTE

SERV1: $DC+DW + (LL+IM) + BR+ 0.3*WS+TU1$

SERV2: $DC+DW + (LL+IM) + 0.3*WS+TU1$

SERV3: $DC+DW + PL+ 0.3*WS+TU1$

3.5.5.- FACTORES DE CARGA Y COMBINACIONES DE CARGA PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL TABLERO EN BASE A LOS ESTADOS LIMITES DE LA EUROCODIGO

a.- FACTOR DE SIMULTANEIDAD DE LAS ACCIONES

De acuerdo a la UNE-EN 1990, el valor de los factores de simultaneidad está en función de las acciones variables que interactúan en la estructura, y son los siguiente:

TIPO DE ACCIÓN			ψ_0	ψ_1	ψ_2
Carga de trafico	gr1a, cargas verticales	Sistema Tándem (TS) " q_{ik} o q_{rk} "	0,75	0,75	0
		Sistema (UDL) " Q_{ik} "	0,4	0,4	0
		Carga de peatones + bicicletas	0,4	0,4	0

	gr 2, Fuerzas horizontales	0	0	0
Fuerzas del Viento	" F_{wk} " (Situación de proyecto persistente)	0,6	0,2	0
	Acciones térmicas "T_k"	0,6	0,6	0,5

TABLA 5: "Factores de simultaneidad ψ para puentes de carretera".

b.- COEFICIENTE PARCIAL DE SEGURIDAD DE LAS ACCIONES PARA ELU DE ROTURA (STR)

De acuerdo a la normativa UNE – EN 1990, los coeficientes parciales de la acción para el ELU de rotura (STR), son los siguientes:

Tipo de acción		Efecto favorable		Efecto desfavorable	
Permanente de valor constante (G)	Peso propio	γ_G	1,00	γ_G	1,35
	Carga muerta	γ_G	1,00	γ_G	1,35
Variable (Q)	Sobrecarga de uso	γ_Q	0,00	γ_Q	1,35
	Acciones climáticas u otras acciones variables	γ_Q	0,00	γ_Q	1,50

Tabla 6: "Coeficientes parciales de las acciones para ELU de rotura".

Con respecto al ELU de rotura, estos coeficientes parciales de la acción, servirán para el cálculo de los:

- Elementos estructurales (ELU de rotura "SRT") que no involucre acciones geotécnicas
- Elementos estructurales (Zapatas, pilotes, pilas, etc.) (ELU de rotura "SRT") que involucren acciones geotécnicas y la resistencia del terreno. Por lo tanto, esto corresponde al enfoque 2 que se presenta en la UNE – EN 1990.

c.- COEFICIENTE PARCIAL DE SEGURIDAD DE LAS ACCIONES PARA ELU DE FATIGA (FAT)

El coeficiente parcial de seguridad para la carga de fatiga " γ_{Ff} " debe ser igual a 1.

d.- COEFICIENTE PARCIAL DE SEGURIDAD DE LA ACCIÓN PARA EL ELS

Según la recomendación de la UNE-EN 1990, se da por hecho que los valores de los coeficientes parciales de la acción son igual a 1.

Tipo de acción		Efecto favorable		Efecto desfavorable	
Permanente de valor constante (G)	Peso propio	γ_G	1,00	γ_G	1,00
	Carga muerta	γ_G	1,00	γ_G	1,00

Variable (Q)	Sobrecarga de uso	γ_Q	0,00	γ_Q	1,00
	Acciones climáticas u otras acciones variables	γ_Q	0,00	γ_Q	1,00

Tabla 7: "Coeficientes parciales de las acciones para el ELS".

e.- COMBINACIÓN DE LAS ACCIONES

En el presente apartado se establecen las combinaciones de acciones a tener en cuenta en el ELU Y ELS.

e.1.- ESTADO LÍMITE ÚLTIMO

Con el estado límite último lo que se busca prevenir situación que pueden llegar a ocasionar el colapso de parcial o total de la estructura.

e.1.1 COMBINACION DE ACCIONES PARA SITUACIÓN PERSISTENTE Y TRANSITORIA (Sin fatiga) (UNE EN 1990)

$$E_d = \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Donde:

$\gamma_{G,j} G_{k,j}$: Valor de cálculo de la acción permanente de valor constante.

$\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$: Valor de cálculo de la acción variable dominante.

$\psi_{0,i} Q_{k,i}$: Valor de Combinación de las acciones variables concomitantes.

γ_G, γ_Q : Coeficientes parciales de la acción.

e.1.2 COMBINACION DE ACCIONES (Con fatiga)

la combinación de acciones para el caso de la fatiga, es la siguiente:

$$E_d = \gamma_{Ff} Q_{fat}$$

e.2.- ESTADO LÍMITE DE SERVICIO

En el estado límite de servicio lo que se busca es limitar los problemas derivados de la deformación de elementos estructurales, debido a que esto afecta el confort y bienestar de los usuarios.

- $G_{k,j}$: Valor característico de la acción permanente de valor no constante.
- $Q_{k,1}$: Valor característico de la acción variable dominante.
- $\psi_{0,i} Q_{k,i}$: Valor representativo de Combinación de las acciones variables concomitantes.
- $\psi_{1,i} Q_{k,i}$: Valor representativo frecuente de la acción variable determinante.
- $\psi_{2,i} Q_{k,i}$: Valor representativo cuasi permanente de las acciones variables con la acción determinante o con la acción accidental.
- γ_G, γ_Q : Coeficientes parciales de la acción.

e.2.1 COMBINACION CARACTERISTICA (POCO PROBABLE O RARA)

$$E_C = \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

La presente combinación, coincide formalmente con la combinación permanente o transitoria del ELU. Sin embargo, esta combinación se utiliza para verificar el estado límite de servicio irreversible, por ejemplo, la limitación de tensiones.

e.2.2 COMBINACION FRECUENTE

$$E_C = \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Esta combinación se utiliza para verificar el estado límite de servicio reversible, Por ejemplo, la figuración en pretensado, las flechas.

3.5.6.- MÉTODO DE DISEÑO SEGUN RNE E.010 "MADERA" PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL TABLERO

El dimensionamiento de los elementos estructurales se realizará mediante el método tradicional (método de esfuerzos admisibles), el cual sigue la misma metodología que plantea el RNE. E010 "MADERA" debido a que el Manual de puentes del MTC y el AASHTO 2014 o 2017, no presenta una metodología de diseño para los puentes de madera más que la determinación de las acciones para los puentes en general.

$$\sigma_{act} \leq f_{adm}$$

Donde:

- σ_{act} : esfuerzo actuante producido por las acciones.
- f_{adm} : esfuerzo admisible.

3.5.7.- MÉTODO DE DISEÑO SEGUN EUROCODIGO 5 "PROYECTO DE ESTRUCTURAS DE MADERA" PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL TABLERO

La norma EN 1995-2, describe los principios y requisitos para la seguridad, funcionalidad y durabilidad de los puentes de madera. Así mismo, está basada en el método de diseño por estados limites utilizado junto con el método de los coeficientes parciales.

a.- ESTADO LIMITE ULTIMO

a.1.- CLASES DE DURACIÓN DE LA CARGA

Clases de duración de la carga	Orden de duración acumulada de la carga característica	Ejemplo de cargas
Permanente	Más de 10 años	Peso propio, carga muerta
Larga	6 meses – 10 años	
Media	1 semana – 6 meses	

Corta	Menos de una semana	Tráfico de vehículos y peatones
Instantánea		Viento, sismo, Temperatura

TABLA 8: Clase de duración de las acciones

a.2.- CLASE DE SERVICIO

La asignación del puente a las clases de servicio, es con respecto a la **clase 3**, el cual corresponde al tipo de construcción de uso al exterior totalmente expuesto.

a.3.- COEFICIENTES PARCIALES DE SEGURIDAD DEL MATERIAL

De acuerdo a la UNE EN 1993-2, el coeficiente parcial del material con respecto a la madera es establecido de la siguiente manera:

Descripción	Coeficiente
1. Madera y productos derivados de la madera	
– Comprobaciones normales de madera maciza.	$\gamma_M=1.3$
– Comprobaciones a fatiga	$\gamma_{M,fat}=1.0$
2. Uniones	
– Comprobaciones normales	$\gamma_M=1.3$
– Comprobación a fatiga	$\gamma_{M,fat}=1.0$

TABLA 9: Coeficientes parciales de seguridad de la madera para puentes

Para las combinaciones accidentales, el valor recomendado para el coeficiente parcial es $\gamma_M=1.0$

a.4.- SISTEMA DE CARGA COMPARTIDA

El factor de carga compartida K_{sys} , para este caso de proyecto se tomara igual a 1.00 para así poder estar del lado de la seguridad debido a la ejecución.

a.5.- VALOR DE CÁLCULO DEL MATERIAL

Se debe calcular mediante la siguiente expresión:

$$R_d = K_{mod} \frac{R_K}{\gamma_M}$$

Donde:

R_d : Valor de cálculo de una resistencia (capacidad de carga) del material.

R_K : Valor característico de la capacidad de carga del material.

γ_M : Coeficiente parcial para la propiedad del material.

K_{mod} : Factor de modificación, tiene en cuenta el efecto de la duración de la carga y del contenido de humedad.

a.5.1 CALCULO DEL K_{mod}

Material	Clase de servicio	Clases de duración de la carga				
		Acción permanente	Acción de larga duración	Acción de media duración	Acción de corta duración	Acción instantánea
Madera maciza	1	0.60	0.70	0.80	0.90	1.10
	2	0.60	0.70	0.80	0.90	1.10
	3	0.50	0.55	0.65	0.70	0.90

TABLA 10: Valores del K_{mod}

En el caso de una combinación de acciones formadas por acciones que pertenecen a diferentes clases de duración de la carga debería tomarse un valor de K_{mod} correspondiente a la acción de más corta duración, es decir el de menos categoría.

4.- DIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

4.1.- DIMENSIONAMIENTO DE LA SUPER-ESTRUCTURA

4.1.1.- TENSIONES ADMISIBLES DE LA NORMA E.010

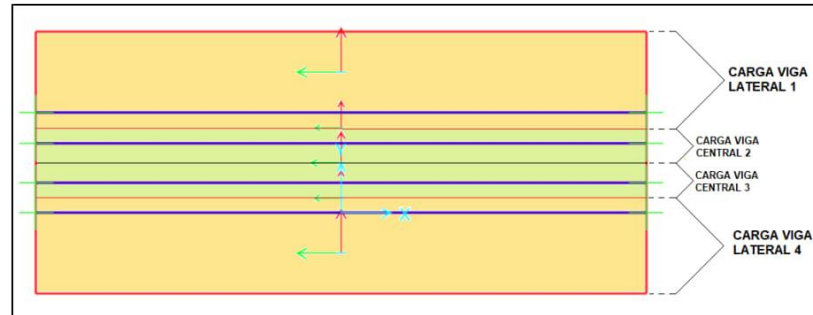


FIGURA 10: Distribución de vigas y cargas para el tablero. SAP2000

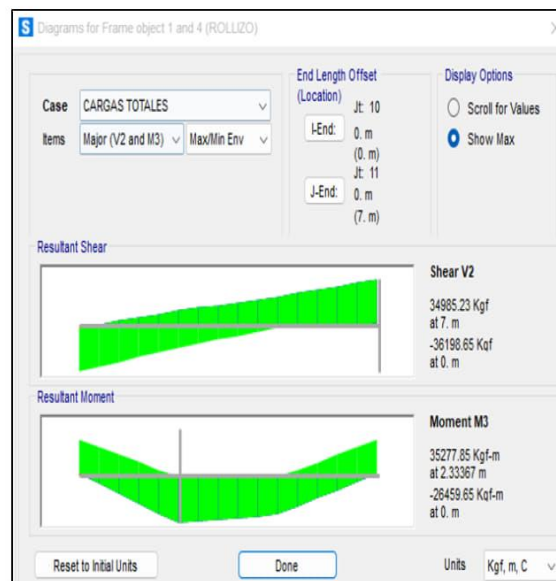


FIGURA11: Combinación de carga de Solicitaciones máximas en las vigas laterales. SAP2000

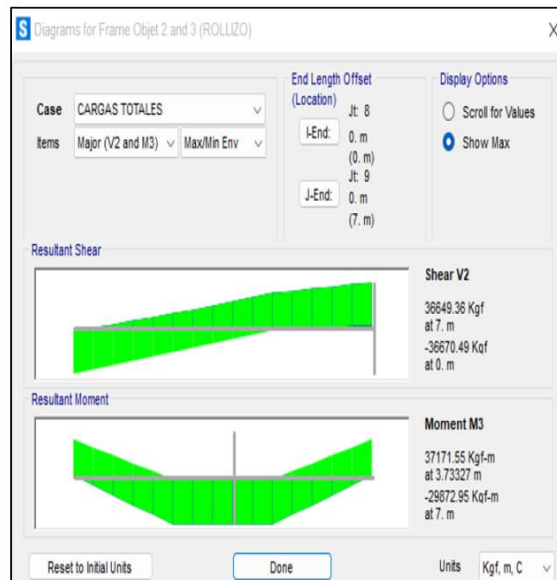


FIGURA 12: Combinación de carga de Solicitaciones máximas en las vigas centrales. SAP2000

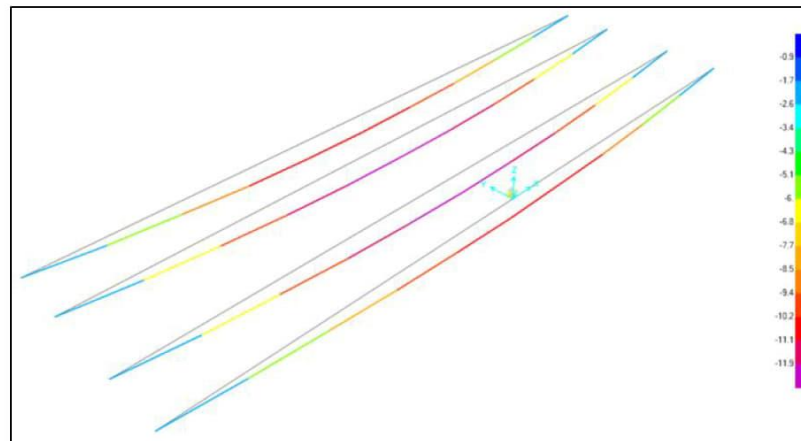


FIGURA 13: Deformaciones máximas en las vigas laterales y centrales. SAP2000

a.- VERIFICACIÓN A FLEXIÓN

Los esfuerzos de compresión o de tracción producido por la flexión, deben cumplir lo siguiente:

$$\sigma_m \leq f_m$$

Donde:

f_m : esfuerzo admisible por flexión.

Tal verificación es realizada en el centro de luz del tablero.

$$\sigma_{m_laterales} = \frac{M * \bar{Y}}{I} = \frac{35,227.85 \text{ kgf} - m * 0.38 \text{ m}}{0.0481 \text{ m}^4} = 27.831 \text{ kgf/cm}^2$$

$$27.831 \text{ kgf/cm}^2 \leq 150 \text{ kgf/cm}^2 \dots \text{ok cumple}$$

$$\sigma_{m_centrales} = \frac{M * \bar{Y}}{I} = \frac{37,171.55 \text{ kgf} - m * 0.38 \text{ m}}{0.0481 \text{ m}^4} = 29.366 \text{ kgf/cm}^2$$

$$29.366 \text{ kgf/cm}^2 \leq 150 \text{ kgf/cm}^2 \dots \text{ok cumple}$$

b.- VERIFICACIÓN A CORTE

Los esfuerzos cortantes "" calculados, deben cumplir lo siguiente:

$$\tau \leq f_v$$

Donde:

f_v : Esfuerzo máximo admisible para corte paralelo a las fibras.

Nota:

Sección crítica. - Si el elemento está apoyado en su parte inferior y cargado en su parte superior, excepto cuando se trata de volados, es suficiente verificar la resistencia al corte en secciones ubicadas a una distancia del apoyo igual al peralte.

Tal verificación, es realizada en el punto de apoyo y a una distancia igual a la altura total del tablero.

$$\tau_{laterales} = \frac{V * \bar{Q}}{I * b} = \frac{36,198.65 \text{ kgf} * 0.122 \text{ m}^3}{0.112 \text{ m}^5} = 3.943 \text{ kgf/cm}^2$$

$$3.943 \text{ kgf/cm}^2 \leq 12 \text{ kgf/cm}^2 \dots \text{ok cumple}$$

$$\tau_{centrales} = \frac{V * \bar{Q}}{I * b} = \frac{36,670.49 \text{ kgf} * 0.122 \text{ m}^3}{0.112 \text{ m}^5} = 3.994 \text{ kgf/cm}^2$$

$$3.994 \text{ kgf/cm}^2 \leq 12 \text{ kgf/cm}^2 \dots \text{ok cumple}$$

c.- VERIFICACIÓN DE DEFLEXIONES

Las deflexiones deben calcularse para el caso de la combinación de carga permanente y sobrecargas de uso.

Por otra parte, la deflexión máxima admisible deberán limitarse para el siguiente valor:

$$\Delta \leq [L/200 = 37.85 \text{ mm}]$$

Donde:

L : luz entre caras de apoyos o la distancia de la cara del apoyo al extremo.

Nota: Al estimar las deflexiones máximas se deberá considerar que las deformaciones producidas por las cargas de aplicación permanente se incrementan en un 80 % (Deformaciones Diferidas).

$$\Delta_{PL_laterales} = 11.1 \text{ mm} * 1.8 = 19.98 \text{ mm} \leq 37.85 \text{ mm} \dots \text{ok cumple}$$

$$\Delta_{PL_centrales} = 12.6 \text{ mm} * 1.8 = 22.68 \text{ mm} \leq 37.85 \text{ mm} \dots \text{ok cumple}$$

4.1.2.- ESTADOS LIMITES DE LA EUROCODIGO 5

a.- ELU DE ROTURA

a.1.- VERIFICACIÓN A FLEXIÓN

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$\sigma_{m,y,d}$ y $\sigma_{m,z,d}$: Valor de cálculo de la tensión de cortante.

$f_{m,y,d}$ y $f_{m,z,d}$: Valores de cálculo de la resistencia a flexión, se asumirá que en ambas direcciones la resistencia de cálculo es la misma: $(0.9/1.3) * 150 = 103.846 \text{ kgf/cm}^2$.

$$\sigma_{m,y,d_laterales} = \frac{M * \bar{Z}}{I_y} = \frac{35,227.85 \text{ kgf} - m * 0.38 \text{ m}}{0.0481 \text{ m}^4} = 27.831 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\sigma_{m,z,d_laterales} = \frac{M * \bar{Y}}{I_z} = \frac{35,227.85 \text{ kgf} - m * 1.60 \text{ m}}{0.9169 \text{ m}^4} = 6.147 \text{ kgf/cm}^2$$

$$0.327 \leq 1.00 \dots \text{ok cumple}$$

$$\sigma_{m,y,d_centrales} = \frac{M * \bar{Z}}{I_y} = \frac{37,171.55 \text{ kgf} - m * 0.38 \text{ m}}{0.0481 \text{ m}^4} = 29.366 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\sigma_{m,z,d_centrales} = \frac{M * \bar{Y}}{I_z} = \frac{37,171.55 \text{ kgf} - m * 1.60 \text{ m}}{0.9169 \text{ m}^4} = 6.486 \text{ kgf/cm}^2$$

$$0.345 \leq 1.00 \dots \text{ok cumple}$$

a.2.- VERIFICACIÓN A CORTE

Los esfuerzos cortantes calculados, deben cumplir lo siguiente:

$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

Donde:

τ_d : Valor de cálculo de la tensión de cortante.

$f_{v,d}$: Valor de cálculo de la resistencia a cortante para la condición existente.

$$f_{v,d} = \frac{0.9}{1.3} * 12 = 8.308 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\tau_{laterales} = \frac{V * \bar{Q}}{I * b} = \frac{36,198.65 \text{ kgf} * 0.122 \text{ m}^3}{0.112 \text{ m}^5} = 3.943 \text{ kgf/cm}^2$$

$$3.943 \text{ kgf/cm}^2 \leq 8.308 \text{ kgf/cm}^2 \dots \text{ok cumple}$$

$$\tau_{centrales} = \frac{V * \bar{Q}}{I * b} = \frac{36,670.49 \text{ kgf} * 0.122 \text{ m}^3}{0.112 \text{ m}^5} = 3.994 \text{ kgf/cm}^2$$

$$3.994 \text{ kgf/cm}^2 \leq 8.308 \text{ kgf/cm}^2 \dots \text{ok cumple}$$

BIBLIOGRAFÍA

- 1) SENCICO. Reglamento Nacional de edificaciones E.010 "Madera". Lima, 2006
- 2) SENCICO. Reglamento Nacional de edificaciones E.020 "Cargas". Lima, 2006
- 3) Ministerio de Transporte y Comunicaciones. Manual de puentes. Lima, 2018
- 4) DLUBAL. <https://www.dlubal.com/es/zonas-de-cargas-para-nieve-viento-y-sismos/viento-nte-e-020.html?&marker=-9.1187685718,-75.8407591949#¢er=-9.314380987759495,-74.9919015&zoom=4&marker=-9.1187685718,-75.8407591949>
- 5) Comité Europeo de Normalización. Eurocódigo 0: Bases de cálculo de estructuras. Madrid: AENOR; 2019.
- 6) Comité Europeo de Normalización. Eurocódigo 5: Proyecto de estructuras de madera. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificios. Madrid: AENOR; 2016.
- 7) Comité Europeo de Normalización. Eurocódigo 5: Proyecto de estructuras de madera. Parte 2: Puentes. Madrid: AENOR; 2016
- 8) Rodríguez Serquén A. Puentes con AASHTO LRFD 2018 (8th Edition). Perú, 2020

ANEXO 5

PANEL FOTOGRÁFICO

Fotografía 1

Ingreso del puente de camino afirmado existente en el tramo delimitado



Fotografía 2

Verificación del apoyo lateral de entrada del puente de camino afirmado existente en el tramo delimitado



Fotografía 3

Verificación del cauce del río del puente de camino afirmado existente en el tramo delimitado



Fotografía 4

Verificación del apoyo lateral de salida del puente de camino afirmado existente en el tramo delimitado



Fotografía 5

Salida del puente de camino afirmado existente en el tramo delimitado



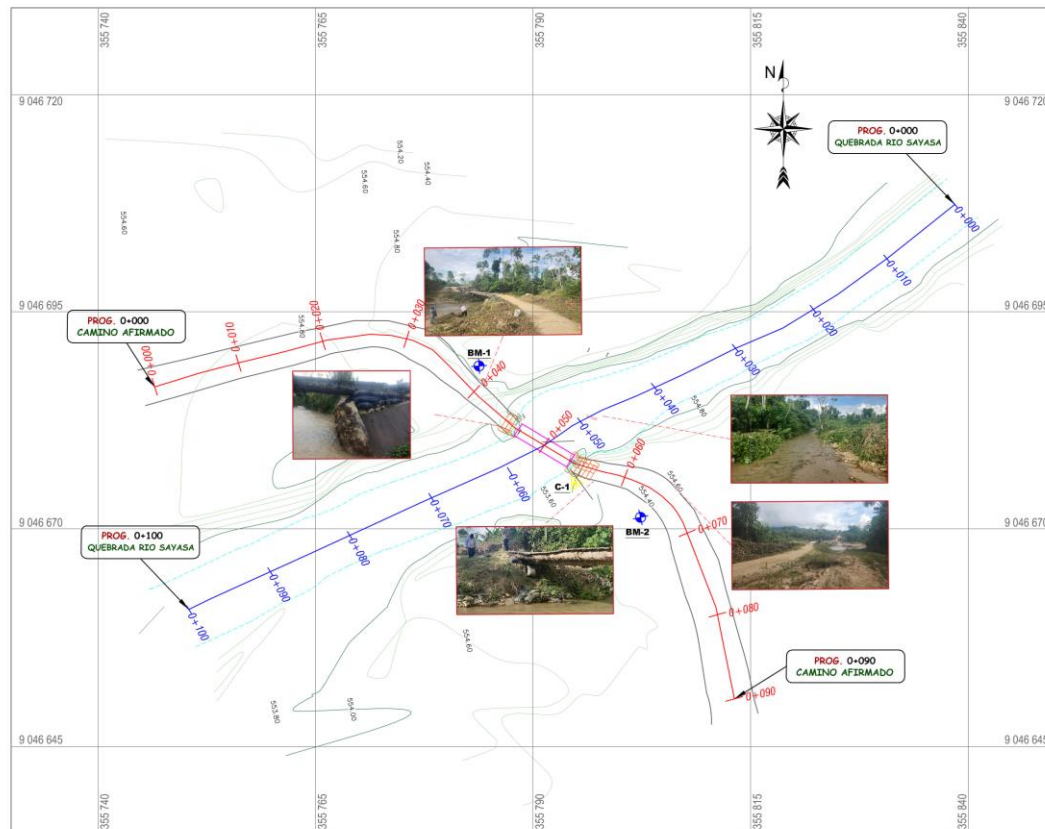
Fotografía 6

Vista completa del puente de camino afirmado existente en el tramo delimitado



ANEXO 6

PLANOS



LEYENDA	
SIMBOLO	DESCRIPCION
	CURVA PRINCIPAL
	CURVA SECUNDARIA
	RIO SAYASA
	EJE DEL RIO
	ZONAS COLMATADAS
	CAMINO DE AFIRMADO
	PUENTE EXISTENTE
	BMS
	CALICATA

DATOS DE CONTROL TOPOGRAFICO			
SIMB.	ITEM	ESTE	NORTE
	CALICATA - MUESTRA DE SUELO		
	C-1	355794.8316	9046675.2632
	BENCH MARK		
	BM-1	355783.7766	9046688.7701
	BM-2	355802.3323	9046671.3492

DATUM - PSAD56 / COORDENADAS UTM (HEMISFERIO SUR / ZONA 18)			
QUEBRADA HUASACO Km 0+000 - km 0+100.00			
PROG.	ESTE	NORTE	COTA
0+000	355838.4404	9046707.3623	553.56
0+100	355750.4352	9046660.7455	552.54

CAMINO AFIRMADO Km 0+000 - km 0+090			
PROG.	ESTE	NORTE	COTA
0+000	355746.5102	9046686.3783	554.11
0+090	355813.1105	9046650.4477	554.05

PUENTE DE CAMINO EXISTENTE Km 0+046.50 - km 0+053.50			
PROG.	ESTE	NORTE	COTA
0+046.5 (C2)	355788.7163	9046682.1032	553.86
0+046.5 (C1R)	355787.8177	9046680.7764	553.84
0+053.5 (C2)	355794.7278	9046678.4963	553.90
0+053.5 (C1R)	355793.8292	9046677.1695	553.92



PUENTE DE CAMINO "SAYASA"

PLANTA PUENTE DE CAMINO "SAYASA" (MUESTRA DE ESTUDIO)
ESC: 1 / 300

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

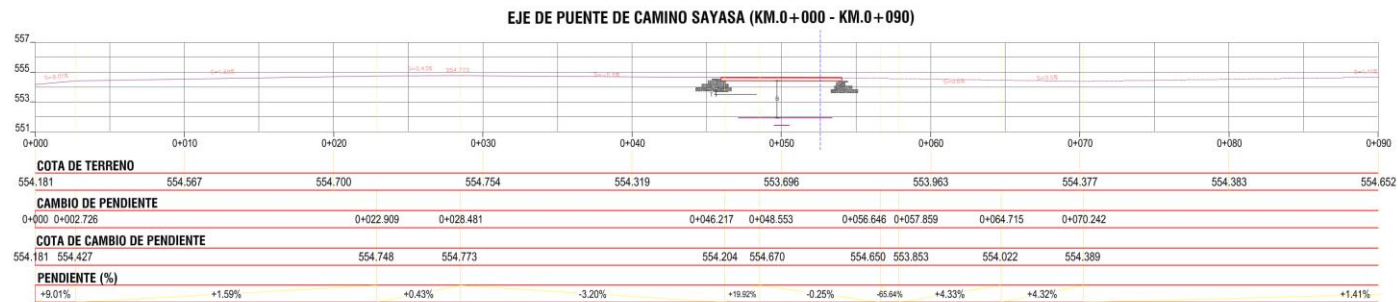
APLICACIÓN DE LOS ESTADOS UNIDOS PARA EL DISEÑO
ESTRUTURAL DEL TABLERO DE ANCHERA TIPO VIGA-LONA
DESTINADA A UN PUENTE DE CAMINO, VALLEJO GARCILLO,
YANAJINCHA, MARZO DEL 2024

PLANO CLAVE DEL PROYECTO

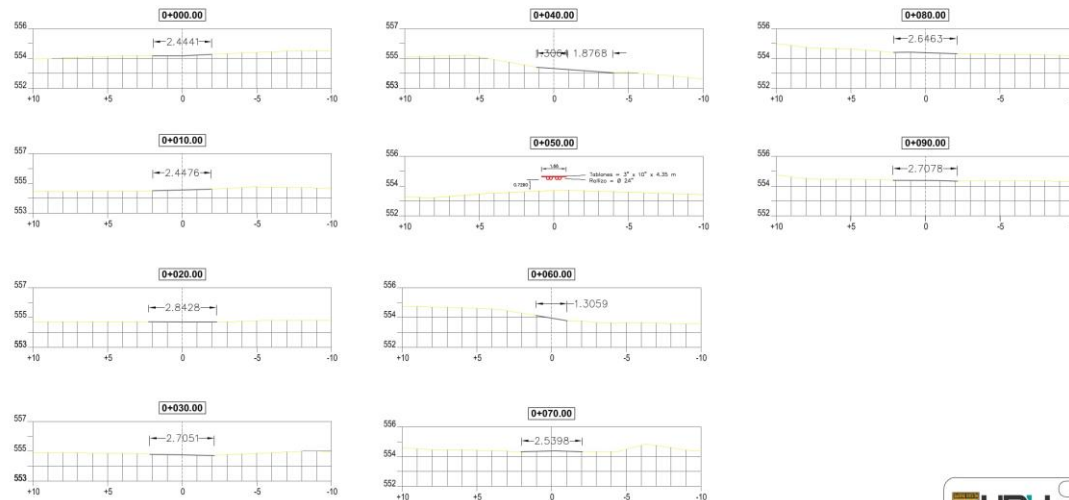
Elaborado: **RAFAEL FRANK WANDERLEY MALPARTIDA ROJAS**

Revisado: **RAFAEL**

PC-01



PERFIL LONGITUDINAL - CAMINO AFIRMADO Y PUENTE CARROZABLE "SAYASA"
 ESC VERTICAL: 1/175 - ESC HORIZONTAL: 1/175



SECCIONES TRANVERSALES
 ESC VERTICAL: 1/175 - ESC HORIZONTAL: 1/175

UDH
UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

APLICACIÓN DE LOS ESTADOS LÍMITES PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL DEL TABLERO DE MADERA TIPO VIGA-LOSA DESTINADA A UN PUENTE DE CAMINO, NUEVO CIRCUITO, YANAJANCA, MARZO DEL 2024

LONGITUDINAL Y SECCIONES DEL CAMINO AFIRMADO			
PROYECTO	ANÁLISIS	DISEÑO	VERIFICACIÓN
PROYECTO	ANÁLISIS	DISEÑO	VERIFICACIÓN
PROYECTO	ANÁLISIS	DISEÑO	VERIFICACIÓN

PROYECTO

ANÁLISIS

DISEÑO

VERIFICACIÓN

PROYECTO

ANÁLISIS

DISEÑO

VERIFICACIÓN

PROYECTO

ANÁLISIS

DISEÑO

VERIFICACIÓN

LS-01