

UNIVERSIDAD DE HUANUCO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA CIVIL



TESIS

**“Propuesta para el diseño estructural de un puente tipo losa de
12m de luz, ubicado en el centro poblado Llicua, Amarilis -
Huánuco -2022”**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

AUTOR: Ferruzo Campos, Carlos Raúl

ASESOR: Narro Jara, Luis Fernando

HUÁNUCO – PERÚ

2025



U

TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

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

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Estructuras

AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN (2020)

CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub área: Ingeniería civil

Disciplina: Ingeniería civil

DATOS DEL PROGRAMA:

Nombre del Grado/Título a recibir: Título

Profesional de Ingeniero Civil

Código del Programa: P07

Tipo de Financiamiento:

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

DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 45601986

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 18206328

Grado/Título: Maestro en ingeniería con mención en gestión ambiental y desarrollo sostenible

Código ORCID: 0000-0003-4008-7633

DATOS DE LOS JURADOS:

N°	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Trujillo Ariza, Yelen Lisseth	Maestro en medio ambiente y desarrollo sostenible, mención en gestión ambiental	70502371	0000-0002-5650-3745
2	Valdivieso Echevarria, Martin Cesar	Maestro en gestión pública	22416570	0000-0002-0579-5135
3	Taboada Trujillo, William Paolo	Doctor en medio ambiente y desarrollo sostenible	40847625	0000-0002-4594-1491

D

H



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

Facultad de Ingeniería

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

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

En la ciudad de Huánuco, siendo las 17:45 horas del día viernes 27 de junio 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. YELEN LISSETH TRUJILLO ARIZA	PRESIDENTE
❖ MG. MARTIN CESAR VALDIVIESO ECHEVARRIA	SECRETARIO
❖ DR. WILLIAM PAOLO TABOADA TRUJILLO	VOCAL

Nombrados mediante la RESOLUCIÓN No 1239-2025-D-FI-UDH, para evaluar la Tesis intitulada: "PROPUESTA PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN PUENTE TIPO LOSA DE 12M DE LUZ, UBICADO EN EL CENTRO POBLADO LLICUA, AMARILIS - HUÁNUCO -2022", presentado por el (la) Bachiller. Bach. Carlos Raul FERRUZO CAMPOS, 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 *...14...* y cualitativo de *...Suficiente...* (Art. 47).

Siendo las *...18:30...* horas del día 27 del mes de junio del año 2025, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.

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

MG. MARTIN CESAR VALDIVIESO ECHEVARRIA
DNI: 22416570
ORCID: 0000-0002-0579-5135
SECRETARIO (A)

DR. WILLIAM PAOLO TABOADA TRUJILLO
DNI: 40847625
ORCID: 0000-0002-4594-1491
VOCAL



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El comité de integridad científica, realizó la revisión del trabajo de investigación del estudiante: CARLOS RAÚL FERRUZO CAMPOS, de la investigación titulada "PROPUESTA PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN PUENTE TIPO LOSA DE 12M DE LUZ, UBICADO EN EL CENTRO POBLADO LLICUA, AMARILIS - HUÁNUCO - 2022", con asesor(a) LUIS FERNANDO NARRO JARA, designado(a) mediante documento: RESOLUCIÓN N° 2454-2023-D-FI-UDH del P. A. de INGENIERÍA CIVIL.

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

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

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

Huánuco, 03 de abril de 2025



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



FERNANDO F. SILVERIO BRAVO
D.N.I.: 40618286
cod. ORCID: 0009-0008-6777-3370

378. CARLOS RAÚL FERRUZO CAMPOS.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

21 %	20 %	1 %	7 %
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	6 %
2	repositorio.udh.edu.pe Fuente de Internet	4 %
3	repositorio.unheval.edu.pe Fuente de Internet	3 %
4	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	1 %
5	distancia.udh.edu.pe Fuente de Internet	1 %
6	archive.org Fuente de Internet	<1 %
7	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
8	vdocumento.com Fuente de Internet	<1 %



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



FERNANDO F. SILVERIO BRAVO
D.N.I.: 40618286
cod. ORCID: 0009-0008-6777-3370

DEDICATORIA

Con profundo cariño y gratitud, dedico este trabajo a mi familia, quienes han sido mi pilar inquebrantable en este camino. A mis padres, por su amor incondicional, su sacrificio y su constante apoyo, que me han impulsado a superar cada desafío. A mis hermanos, por su compañía y aliento en los momentos difíciles. A mis hijos, ya que ellos son mi motor y motivo para seguir adelante. También, a mis amigos que, con su amistad y motivación, hicieron de este proceso una experiencia enriquecedora. Finalmente, dedico este logro a todas aquellas personas que creen en el poder del esfuerzo y la perseverancia para alcanzar sus sueños.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi más sincero agradecimiento a mis asesores y docentes, cuyo conocimiento y orientación han sido fundamentales para el desarrollo de esta investigación. Su paciencia y guía me han permitido crecer académica y profesionalmente. A mis compañeros de estudio, por compartir conmigo este camino, brindándome apoyo y motivación en los momentos más desafiantes. A las instituciones y personas que facilitaron el acceso a información y recursos para la elaboración de este trabajo, mi más profundo reconocimiento. Sobre todo, agradezco a mi familia, fuente inagotable de fortaleza y confianza, por acompañarme en cada paso de esta etapa. Este logro es también suyo.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTO	III
ÍNDICE	IV
ÍNDICE DE TABLAS.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
RESUMEN.....	X
ABSTRACT	XI
INTRODUCCIÓN.....	XII
CAPITULO I.....	14
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	14
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	14
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	16
1.2.1. PROBLEMA GENERAL	16
1.2.2. PROBLEMA ESPECÍFICO	16
1.3. OBJETIVOS.....	16
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	16
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	17
1.4.1. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA.....	17
1.4.2. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA.....	17
1.4.3. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA.....	18
1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	18
1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN	18
CAPITULO I.....	19
MARCO TEÓRICO	19
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	19
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES	19
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES.....	21
2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES	23
2.2. BASES TEÓRICAS.....	23
2.2.1. CONCEPTO DE PUENTES.....	23
2.2.2. TIPOS DE SUPERESTRUCTURAS	24

2.2.3.	ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE UN PUENTE.....	30
2.2.4.	CARGAS DE DISEÑO	35
2.2.5.	FACTORES DE CARGA.....	44
2.2.6.	ESTADOS LIMITES.....	45
2.2.7.	ANÁLISIS ESTRUCTURAL PARA EL PUENTE	47
2.2.8.	ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA SUPERESTRUCTURA	48
2.2.9.	ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA SUBESTRUCTURA	58
2.2.10.	DISEÑO DE BARANDAS.....	66
2.2.11.	REQUISITOS GENERALES	67
2.2.12.	DEL MISMO MODO, LA ESPECIFICACIÓN AASHTO DEFINE EL USO DE DIFERENTES TIPOS DE REFUGIOS:.....	68
2.3.	DEFINICIONES CONCEPTUALES.....	72
2.4.	HIPÓTESIS.....	73
2.5.	VARIABLES	73
2.5.1.	VARIABLE DEPENDIENTE	73
2.5.2.	VARIABLE INDEPENDIENTE	73
2.6.	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES (DIMENSIONES E INDICADORES)	74
CAPITULO III.....		75
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN		75
3.1.	TIPO DE INVESTIGACIÓN	75
3.1.1.	ENFOQUE.....	75
3.1.2.	ALCANCE O NIVEL.....	75
3.1.3.	DISEÑO.....	75
3.2.	POBLACIÓN Y MUESTRA	75
3.2.1.	POBLACIÓN.....	75
3.2.2.	MUESTRA	75
3.3.	TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS....	76
3.3.1.	PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS.....	76
3.3.2.	PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS.....	77
3.3.3.	PARA EL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS	78
CAPITULO IV		79
RESULTADOS		79

4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS.....	79
4.1.1. IDENTIFICAR EL LUGAR DE ESTUDIO	79
4.1.2. PROCESO DE DISEÑO DEL PUENTE TIPO LOSA.....	79
4.1.3. GEOMETRÍA DEL PUENTE TIPO LOSA	80
4.1.4. MATERIALES PARA EL PUENTE TIPO LOSA	80
4.1.5. PREDIMENSIONAMIENTO PUENTE TIPO LOSA	81
4.1.6. METRADO DE CARGAS	81
4.1.7. ANÁLISIS ESTRUCTURAL	82
4.1.8. DISEÑO DE LA SUPERESTRUCTURA	91
4.1.9. CONTROL DE FISURAMIENTO MEDIANTE LA DISTRIBUCIÓN DE ACERO	95
4.1.10. DISEÑO DE FRANJA DE BORDE	97
4.1.11. FATIGA.....	101
4.1.12. DISEÑO DE LA SUBESTRUCTURA	104
4.1.13. ESTIMAMOS LOS INSTANTES ESTRUCTURALES.....	107
4.1.14. COMPROBACIÓN DEL EQUILIBRIO DEL MURO	108
4.1.15. CARGA DE VOLTEO Y DESPLAZAMIENTO	108
4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS	112
CAPITULO V	115
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	115
CONCLUSIONES	117
RECOMENDACIONES.....	119
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	120
ANEXOS	122

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Densidad de materiales de construcción.....	37
Tabla 2 Aumento para la carga viva	41
Tabla 3 Combinaciones de Carga.....	46
Tabla 4 Factor para Presencia Múltiple (m)	51
Tabla 5 Operacionalización de variables	74
Tabla 6 Ensayo geotécnico.....	76
Tabla 7 Momentos en la zona central y en el extremo del tramo	82
Tabla 8 Momento de banda I	91
Tabla 9 Momento de banda limite	91
Tabla 10 Momentos estructurales.....	108
Tabla 11 Resumen de momentos	113
Tabla 12 Resumen de deflexión	113
Tabla 13 Tabla de momentos extremos.....	113
Tabla 14 Medidas de la superestructura y subestructura	114

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Puente en Arco Simplemente apoyado (Puente Bolognesi)	26
Figura 2 Puente Continuo (Puente Talagante).....	26
Figura 3 Puente Arco (Puente George).....	27
Figura 4 Puente Atirantado (Puente Bellavista)	27
Figura 5 Puente Colgante (Puente Golden Gate)	28
Figura 6 Puente de Concreto Simplemente	28
Figura 7 Puente Arco de Concreto.....	29
Figura 8 Puente simplemente Apoyado	29
Figura 9 Puente Tipo Pórtico (España)	30
Figura 10 Elementos de un puente	30
Figura 11 Infraestructura de un puente	32
Figura 12 Tipos de cimentación de un puente	34
Figura 13 Camión de diseño.....	39
Figura 14 Camión tándem	40
Figura 15 Cálculo preliminar de estribos.....	58
Figura 16 Cargas Típicas en Estribo.....	59
Figura 17 Cargas Verticales en Pilotes	65
Figura 18 Tipos de barandas	67
Figura 19 Para la presentación de datos	77
Figura 20 Procedimiento de planificación de la estructura de losa.	79
Figura 21 Perspectiva longitudinal de la estructura del puente.	80
Figura 22 Vista transversal del puente.....	80
Figura 23 Camión HL-93 y Tándem de diseño.....	83
Figura 24 Línea de influencia por vehículo de diseño	84
Figura 25 Línea de influencia por tándem de diseño.....	84
Figura 26 Línea de influencia por carga de carril	85
Figura 27 Distancia de Momento máximo por camión de referencia	85
Figura 28 Resultante de Momento máximo por camión de diseño.....	86
Figura 29 Reacción de Momento máximo por camión	86
Figura 30 Momento máximo por camión.....	87
Figura 31 Momento máximo por tándem de diseño	87
Figura 32 Reacciones por tándem	88

Figura 33 Momento a 5.7 m por tándem	88
Figura 34 Momento máximo por tándem de diseño	89
Figura 35 Amplitud efectiva del tándem	90
Figura 36 Amplitud efectiva del tándem	90
Figura 37 Peralte efectivo del tablero	92
Figura 38 Corte longitudinal del tablero	95
Figura 39 Esfuerzo del acero	97
Figura 40 Zona de limite	98
Figura 41 Peralte efectivo del tablero	98
Figura 42 Acero longitudinal de la franja	101
Figura 43 Idealización de la carga de un camión	101
Figura 44 Sección transversal del río	104
Figura 45 Medidas estribo de gravedad	105
Figura 46 Presiones ejercidas sobre el estribo	107
Figura 47 Presión del suelo	110
Figura 48 Presión aplicada al suelo	110

RESUMEN

La investigación actual, tuvo como propósito principal fue desarrollar el diseño estructural de un puente tipo losa con una luz de 12 m, la metodología utilizada en la ejecución de esta investigación comprendió un análisis técnico detallado para garantizar un diseño adecuado. El procedimiento inició con la planificación de la superestructura y, más adelante, se llevó a cabo el diseño de la subestructura. El procedimiento de la tesis consta de tres etapas: a) predimensionamiento de losas, b) análisis de carga de tablero y berma, c) diseño de tablero y berma. Como resultado final, obtuve el siguiente: base 2,4 m, canto 70 cm, tacón 30 cm, ancho de pie 30 cm, altura de estribo 3,6 m, se determinó los momentos flectores los cuales fueron validados con el software SAP2000, arrojando los valores siguientes: Momento de rotura del tándem de diseño calculado manualmente $M_u = 60,51$ Tn-m, mediante software SAP $M_u = 60,78$ Tn-m. El momento de rotura del camión de obra se calculó de forma manual, $M_u = 61,12$ Tn-m, con el programa SAP $M_u = 60,09$ Tn-m. Momento último de carga aplicada sobre carril $M_u = 17,36$ Tn-m calculado manualmente y con el programa SAP $M_u = 17,51$ Tn-m, desviación máxima de valores para todos los valores calculados es inferior al 1%. 3) Acero en construcción en el área más crítica, la sección central de la plataforma, acero principal de 1 pulgada a 0,10 m y acero de distribución de 5/8 de pulgada a 0,25 m se hicieron paralelos al tráfico. $\frac{3}{4}$ @ 0,30 m acero templado. Llegando a la conclusión de que los resultados tanto derivados mediante el método convencional y utilizando el programa SAP2000 guardan similitudes, cumpliendo ambos los criterios de diseño establecidos en el reglamento de puentes del MTC.

Palabras clave: Puente losa, diseño estructural, puente tipo losa, Huánuco, Manual de puentes MTC.

ABSTRACT

The primary purpose of the current research was to develop the structural design of a slab-type bridge with a span of 12 m. The methodology used in the execution of this research included a detailed technical analysis to ensure an adequate design. The procedure began with the planning of the superstructure, followed by the design of the substructure. The thesis procedure consists of three stages: a) preliminary slab sizing, b) load analysis of the deck and berm, c) design of the deck and berm. As a final result, the following dimensions were obtained: base 2.4 m, depth 70 cm, heel 30 cm, footing width 30 cm, abutment height 3.6 m. The bending moments were determined and validated using SAP2000 software, yielding the following values: Design tandem failure moment, manually calculated: $M_u = 60.51 \text{ Tn-m}$; using SAP: $M_u = 60.78 \text{ Tn-m}$. Construction truck failure moment, manually calculated: $M_u = 61.12 \text{ Tn-m}$; using SAP: $M_u = 60.09 \text{ Tn-m}$. Ultimate moment of the applied load on the lane, manually calculated: $M_u = 17.36 \text{ Tn-m}$; using SAP: $M_u = 17.51 \text{ Tn-m}$. The maximum deviation of all calculated values is less than 1%. Regarding construction steel in the most critical area, the central section of the platform, the primary reinforcement consists of 1-inch steel bars at 0.10 m spacing, and distribution steel of 5/8-inch bars at 0.25 m spacing, both parallel to the traffic. Additionally, 3/4-inch tempered steel bars at 0.30 m spacing were used. It was concluded that the results obtained through both the conventional method and SAP2000 software are similar, meeting the design criteria established in the MTC bridge regulations.

Keywords: Slab bridge, structural design, slab-type bridge, Huánuco, MTC Bridge Manual.

INTRODUCCIÓN

La infraestructura se entiende como estructura que ayuda a mejorar a la ciudad, por tanto, este estudio se enfoca en la concepción de un puente, la cual busca solucionar el problema de la conexión entre las personas para que puedan interactuar temas económicos y sociales. Un aspecto importante para un país es la infraestructura, incluyendo la infraestructura que es la construcción de la ciudad como: puentes, túneles, represas, edificios, etc., toda edificación se lleva a cabo con el objetivo de atender las demandas y optimizar el bienestar humano, por lo tanto, el presente estudio abarca la planificación de un puente de tipo losa, el cual tiene como finalidad resolver la dificultad que presenta recientemente la estructura existente en el centro poblado de Llicua, ya que este puente fue realizado con normas antiguas y actualmente se encuentra en abandono debido a la falta de mantenimiento. El propósito de este documento es desarrollar y contribuir a las pautas de diseño para puentes de placas utilizando la filosofía LRFD adoptada y contenida en los manuales de diseño de puentes. En este marco, esta investigación se sintetiza en cinco capítulos y se detalla a continuación.

El Capítulo II Ofrece un marco teórico para las estructuras de losas, fundamentado en la guía técnica de puentes, el enfoque aquí está en la definición, clasificación, proceso de construcción de los puentes de placas utilizados.

En el Capítulo III se detalla el procedimiento empleado, la selección de la clase de puente, la compilación de la población y la muestra, así como las técnicas e instrumentos para la obtención de información.

En el Capítulo IV se establecen ubicaciones para posteriormente llevar a cabo el diseño preliminar, determinaciones de esfuerzo y diseño con reglas aplicables.

El Capítulo V Incluye una exposición de los resultados alcanzados en el Capítulo IV y una tabla de comparación de los resultados más recientes logrados con el software SAP y el diseño auténtico. Igualmente se exponen

conclusiones, recomendaciones, anexos, diagramas y fuentes consultadas en la investigación.

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La infraestructura vial en el centro poblado Llicua presenta deficiencias significativas que afectan la conectividad y el desarrollo socioeconómico local. La ausencia de un puente adecuado genera aislamiento, dificulta el transporte de bienes y personas, y limita el acceso a servicios básicos, repercutiendo en la calidad de vida de la población. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC], 2022).

Entre las causas identificadas se encuentran la inadecuada planificación y diseño de infraestructuras previas, condiciones geotécnicas desfavorables y la carencia de mantenimiento preventivo en estructuras existentes. Estudios han señalado que estas debilidades, sumadas a limitaciones presupuestarias, originan un deterioro acelerado de las obras viales en zonas rurales. (Ramírez, 2020).

Como consecuencia, la vulnerabilidad estructural se traduce en mayores riesgos de accidentes y fallas en el sistema de transporte. Además, la ineficiencia en el diseño actual incrementa los costos operativos y de reparación, afectando directamente a la movilidad y dinamismo económico, evidenciado en incrementos de hasta un 30% en tiempos de traslado en áreas similares. (INEI, 2021).

La propuesta para diseñar un puente tipo losa de 12 metros de luz en el centro poblado de Llicua, distrito de Amarilis, Huánuco, surge como respuesta a una serie de problemáticas que afectan a la comunidad. A continuación, se detallan las causas, raíces y consecuencias de estas problemáticas, sustentadas con datos y referencias pertinentes:

Causas y Raíces del Problema:

Infraestructura Vial Deficiente: Llicua enfrenta limitaciones en su infraestructura vial, lo que dificulta la movilidad y el acceso a servicios básicos.

La falta de vías adecuadas restringe el desarrollo socioeconómico de la zona.

Riesgo de Desastres Naturales: La región es susceptible a huaicos y deslizamientos, especialmente durante la temporada de lluvias. La quebrada de Angoragra representa una amenaza constante para los habitantes de Llicua.

Obras Inconclusas y Paralizadas: Varias obras de infraestructura en Huánuco han sido suspendidas o presentan retrasos significativos, afectando la conectividad y seguridad vial en áreas como Llicua.

Consecuencias del Problema:

Accidentes de Tránsito: La falta de infraestructura vial adecuada contribuye a una alta tasa de accidentes. Huánuco ocupa el segundo lugar en tasa de accidentes de tránsito en el país, con 1,098 incidentes reportados en un año, resultando en 46 muertes y 456 heridos.

Aislamiento de la Comunidad: La carencia de puentes y vías en buen estado limita el acceso de los residentes de Llicua a servicios esenciales como educación y salud, afectando su calidad de vida y oportunidades de desarrollo.

Impacto Económico Negativo: La inadecuada infraestructura vial restringe el transporte de productos agrícolas y comerciales, afectando la economía local y regional. La inversión pública en infraestructura vial es crucial para el crecimiento económico de Huánuco.

Sustento con Datos y Referencias:

Obras Paralizadas: En Huánuco, existen 57 obras paralizadas con un costo actualizado de S/ 1,013 millones, lo que refleja una gestión ineficiente de proyectos de infraestructura.

Inversión en Infraestructura Vial: El Gobierno Regional de Huánuco ha solicitado más de S/ 5,000 millones al Ministerio de Economía y Finanzas para megaproyectos viales, evidenciando la necesidad de mejorar la conectividad en la región.

La problemática en Llicua se centra en la deficiente infraestructura vial, la vulnerabilidad a desastres naturales y la paralización de obras públicas. Estas condiciones generan consecuencias negativas en la seguridad, conectividad y economía de la comunidad. La propuesta de diseñar un puente tipo losa de 12 metros de luz busca mitigar estos problemas, mejorando la movilidad y reduciendo riesgos asociados a fenómenos naturales.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿Qué planteamiento se desarrollará para el diseño estructural de un puente tipo losa con una luz de 12 m en el centro poblado Llicua, Amarilis - Huánuco, en el año 2022?

1.2.2. PROBLEMA ESPECÍFICO

¿De qué manera se puede implementar el manual de diseño de puentes del MTC en la elaboración del diseño estructural de un puente tipo losa de 12 m de luz en el centro poblado Llicua, Amarilis - Huánuco - 2022?

¿Qué criterios deben considerarse en el análisis de la superestructura para garantizar un diseño estructural adecuado de un puente tipo losa de 12 m de luz en el centro poblado Llicua, Amarilis - Huánuco - 2022?

¿Cuál es el procedimiento óptimo para evaluar la subestructura en el diseño estructural de un puente tipo losa de 12 m de luz en el centro poblado Llicua, Amarilis - Huánuco - 2022?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar el diseño estructural de un puente tipo losa con una luz de 12 metros en el centro poblado Llicua, distrito de Amarilis, provincia de Huánuco, en el año 2022.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Implementar los lineamientos establecidos en el manual de diseño de puentes del MTC para la elaboración del diseño estructural de un puente tipo losa de 12 metros de luz en Llicua, Amarilis – Huánuco.

Evaluar la superestructura como parte del proceso de diseño estructural del puente tipo losa de 12 metros de luz en el centro poblado Llicua, Amarilis – Huánuco.

Examinar la subestructura para garantizar la estabilidad y funcionalidad del diseño estructural del puente tipo losa de 12 metros de luz en Llicua, Amarilis – Huánuco.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

Este estudio brinda información acerca de los procedimientos requeridos para un diseño adecuado de estructuras tipo losa, utilizando como referencia el manual de puentes y el enfoque de diseño LRFD. La investigación contribuirá significativamente a los especialistas del ámbito de la ingeniería civil y disciplinas relacionadas, ampliando su entendimiento en la concepción de puentes de tipo losa.

1.4.2. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA

Esta investigación tiene como propósito optimizar el bienestar de los habitantes del centro poblado Llicua-Amarilis-Huánuco, dado que actualmente cuentan con una estructura provisional construida por los propios pobladores del área, la cual carece de las especificaciones básicas de diseño. Por tal motivo, se plantea mejorar dicho puente, que funciona como enlace entre dos sectores residenciales y facilita el traslado de niños y adolescentes hacia sus centros educativos, garantizando un acceso más seguro.

1.4.3. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA

La siguiente investigación tiene como propósito ser adecuado como un manual para el estudio y la concepción estructural de los componentes que integran un puente de tipología Losa empleando el enfoque LRFD. Esto se debe a que, en la actualidad, en la región de Huánuco no existen estudios relacionados con este tipo de infraestructuras, las cuales constituyen un componente esencial para el progreso urbano.

1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

El COVID-19 representó una de las mayores restricciones durante el desarrollo del estudio, ya que, como consecuencia, no fue posible acceder a bibliotecas cercanas, por lo que se optó por la compra de publicaciones digitales.

Adicionalmente, se presentó un inconveniente relacionado con los fondos económicos, debido a que la zona de interés no disponía. con un análisis geotécnico previo, lo que provocó un incremento considerable en los costos estimados.

1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación aportará a próximos análisis locales relacionados con la concepción estructural de puentes de losa, implementando el manual de puentes y el Código Nacional de Construcción. Esta investigación tiene como objetivo optimizar el diseño de este tipo de infraestructuras para garantizar una aplicación práctica y confiable para los residentes del centro poblado de Llicua, en el distrito de Amarilis.

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Gutiérrez (2018) en su tesis con título: *“Apoyo técnico en el diseño y construcción de puentes modulares vehiculares en acero”*, en Tunja - Colombia, presentado a la Universidad Pedagógica Y Tecnológica De Colombia, tuvo como objetivo principal brindar apoyo técnico en el diseño y construcción de puentes modulares vehiculares en acero, optimizando tiempos de ejecución y costos en zonas rurales con necesidad de conectividad vial eficiente. La metodología consistió en el análisis y diseño estructural de puentes modulares de acero mediante software especializado como SAP2000 y AutoCAD, aplicando normativas nacionales e internacionales, además de la implementación en campo a través de estudios de carga, montaje y ejecución. Se evaluaron parámetros como capacidad de carga, durabilidad y rapidez de instalación, comparándolos con otros sistemas constructivos. Entre los resultados, se destacó que los puentes modulares de acero permiten reducir hasta un 40% los tiempos de construcción en comparación con métodos tradicionales, además de ser económicamente más viables, con un ahorro del 25% en costos totales. En términos de capacidad estructural, los puentes diseñados demostraron cumplir con las especificaciones para cargas vehiculares pesadas, con un factor de seguridad adecuado según las normas vigentes. Como conclusión, se determinó que los puentes modulares en acero representan una solución efectiva y sostenible para mejorar la conectividad en regiones con limitados recursos, ofreciendo una alternativa rápida y resistente para la infraestructura vial en zonas rurales. Este estudio validó la importancia de la estandarización y del uso de tecnologías modernas para optimizar procesos constructivos y garantizar una infraestructura eficiente y duradera.

Almeida y Armas (2019) en su tesis con título: *“Diseño y comparación económica de la superestructura de un puente de 30 metros de luz considerando variantes de losa con vigas de hormigón postensado y vigas-losas-cajón”*, en Quito - Ecuador, presentado a la Escuela Politécnica Nacional, con el objetivo principal de diseñar y comparar económicamente la superestructura de un puente de 30 metros de luz, evaluando dos variantes: losa con vigas de hormigón postensado y vigas-losas-cajón. La metodología consistió en el diseño estructural detallado de ambas alternativas, siguiendo las normativas técnicas vigentes, y en la posterior estimación de costos a partir de análisis de precios unitarios y presupuestos detallados. Los resultados indicaron que la variante con losa y vigas de hormigón postensado presentó un ahorro económico del 12% en comparación con la estructura de vigas-losas-cajón, además de ofrecer una ejecución más eficiente en términos constructivos. Por otro lado, la solución de vigas-losas-cajón mostró mayor rigidez estructural y mejor comportamiento frente a cargas dinámicas. Como conclusión, se determinó que, aunque ambas alternativas son técnicamente viables, la elección final dependerá de la priorización de factores económicos o estructurales en proyectos similares. Esta investigación proporciona un análisis cuantitativo útil para optimizar diseños de puentes, facilitando decisiones en contextos de limitados recursos económicos.

Correa, Gordillo y Farfán (2018) en su tesis con título: *“Diagnóstico del estado y la geometría puente Salsipuedes en la vía Girardot – Ricaurte - Melgar: propuesta de diseño geométrico de acuerdo a las normas nacionales vigentes”*, en Girardot - Colombia, presentado a la Corporación Universitaria Minuto De Dios; tuvo como objetivo principal diagnosticar el estado actual y la geometría del puente Salsipuedes, ubicado en la vía Girardot – Ricaurte – Melgar, y proponer un rediseño geométrico conforme a las normas nacionales vigentes. La metodología incluyó la recopilación de información topográfica, geotécnica y estructural, así como la evaluación de las características geométricas del puente mediante inspección visual y estudios de campo. Además, se

compararon los datos obtenidos con las especificaciones del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) y la normativa colombiana. Los resultados mostraron que el puente presenta deficiencias en su estructura y geometría, con pendientes inadecuadas y radios de curvatura que no cumplen con los estándares vigentes, afectando la seguridad y fluidez vehicular. Se determinó que el pendiente longitudinal promedio de 5.2% y el radio de curvatura existente de 40 m son insuficientes para las condiciones actuales de tránsito. Las conclusiones indican que el rediseño propuesto, basado en la normativa nacional, optimizaría las características geométricas del puente, mejorando su funcionalidad y seguridad vial, con proyecciones de reducción del riesgo de accidentes en un 25%.

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

Almirón (2021) en su tesis titulado: "*Propuesta de diseño bajo el método AASHTO- LRFD del puente Kitamayo en el km 5+510 de la carretera Písaq – Cusco, 2021*"; presentada a la Universidad Cesar Vallejo; tuvo como objetivo principal proponer un diseño estructural del puente Kitamayo, ubicado en el km 5+510 de la carretera Písaq – Cusco, utilizando el método AASHTO-LRFD, con el fin de garantizar la seguridad, funcionalidad y durabilidad de la infraestructura vial en una zona con alto tránsito y condiciones geográficas complejas. La metodología consistió en la recopilación de información topográfica, estudios geotécnicos y cargas de diseño, aplicando los criterios del método AASHTO-LRFD, que incluye factores de carga y resistencia, análisis estructural del tablero, estribos y cimentación, además de un modelo numérico de cargas estáticas y dinámicas. Los resultados indicaron que el puente diseñado con vigas tipo AASHTO de 25 metros de luz presenta un factor de seguridad adecuado frente a cargas muertas y vivas, con una capacidad de resistencia a esfuerzos de 250 kN/m² y asentamientos controlados de 1.2 cm. Las conclusiones destacaron que el diseño propuesto cumple con las normativas actuales y proporciona un incremento del 20% en la capacidad de soporte respecto a los

métodos convencionales, mejorando así la seguridad estructural y optimizando los costos de mantenimiento a largo plazo.

Guerra y Valle (2020) en su tesis titulado: "*Diseño de puente segmental de 385 metros de longitud por la metodología constructiva de dovelas sucesivas como propuesta de solución a los efectos del Fenómeno del Niño sobre la quebrada venados en el distrito de Lancones, Sullana-Piura*"; presentada a la Universidad Peruana De Ciencias Aplicadas; con el objetivo de diseñar un puente segmental de 385 metros de longitud utilizando la metodología constructiva de dovelas sucesivas, como solución a los efectos del Fenómeno del Niño sobre la quebrada Venados en el distrito de Lancones, Sullana-Piura. La metodología consistió en un análisis técnico y estructural, empleando software especializado como SAP2000 para evaluar cargas y condiciones del terreno, considerando las máximas crecidas reportadas en la quebrada debido al Fenómeno del Niño. Los resultados muestran que el diseño segmental mediante dovelas sucesivas es una alternativa eficiente, permitiendo una construcción rápida y con menor interferencia al cauce. Se logró una reducción del 30% en costos operativos y tiempos de construcción, en comparación con métodos tradicionales. Asimismo, el análisis de resistencia estructural garantizó la estabilidad del puente ante cargas extremas, cumpliendo con normativas vigentes. En conclusión, el puente segmental propuesto no solo representa una solución viable y resiliente ante eventos climáticos extremos, sino que también mejora la conectividad en la región, mitigando los impactos económicos y sociales ocasionados por las inundaciones recurrentes en la quebrada Venados.

Rodriguez (2019) en su tesis titulado: "*Diseño de un puente tipo losa y un puente viga losa hasta 20m de luz, en el distrito de Chilca-2017*"; presentada a la Universidad Continental; con el objetivo de comparar y optimizar las soluciones estructurales para puentes de corta luz que mejoren la conectividad vial y la seguridad en la zona de estudio. La metodología consistió en un análisis estructural basado en normas

técnicas peruanas, como la Norma de Diseño de Puentes (Manual de Puentes – MTC), y en software especializado como SAP2000 y AutoCAD para el modelado y diseño estructural. Se evaluaron criterios de resistencia, deformación, costos y funcionalidad de ambos tipos de puentes, aplicando cargas de servicio y combinaciones según estándares AASHTO. Los resultados demostraron que el puente tipo viga losa es más eficiente estructuralmente para luces entre 15 y 20 m debido a su mayor capacidad de carga y menor deformación, mientras que el puente tipo losa resulta más económico y práctico para luces menores de 15 m. En conclusión, el estudio recomendó el puente viga losa para contextos con mayores demandas de carga y tráfico, proporcionando un ahorro del 12% en costos de mantenimiento a largo plazo y asegurando un mejor desempeño estructural en el distrito de Chilca.

2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES

En la actualidad, la ciudad de Huánuco carece de tesis o investigaciones relacionadas con el diseño de puentes de tipo losa. Por lo tanto, se utilizarán como referencia fuentes bibliográficas provenientes de otras regiones.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. CONCEPTO DE PUENTES

Son Los puentes son estructuras fundamentales en la infraestructura vial, diseñadas para salvar obstáculos naturales o artificiales, como ríos, valles, cañones, carreteras o líneas ferroviarias, con el propósito de facilitar el tránsito de vehículos, peatones y, en algunos casos, sistemas de transporte masivo. Su diseño y construcción requieren un análisis detallado de factores estructurales, geotécnicos, hidrológicos y ambientales para garantizar su funcionalidad, seguridad y durabilidad (CERSA, 2024).

Desde una perspectiva estructural, los puentes pueden clasificarse en varios tipos según su configuración y sistema de soporte, como los puentes de viga, arco, colgantes, atirantados y los puentes en voladizo, cada uno con características específicas que determinan su comportamiento ante cargas estáticas y dinámicas. Además, el diseño de un puente debe considerar criterios de resistencia, estabilidad y desempeño sísmico, particularmente en regiones con alta actividad tectónica, asegurando que puedan soportar esfuerzos derivados del tráfico, el viento y fenómenos naturales (CERSA, 2024).

El proceso de diseño y construcción de un puente involucra la aplicación de normativas y estándares técnicos que regulan los materiales, los métodos de análisis estructural y los procedimientos constructivos. La evolución de la ingeniería de puentes ha permitido el desarrollo de nuevas tecnologías, como el uso de materiales avanzados (hormigones de alta resistencia, aceros especiales y materiales compuestos), la implementación de modelado computacional para simulaciones estructurales y la optimización de técnicas constructivas que reducen costos y tiempos de ejecución (CERSA, 2024).

Más allá de su función de conectar territorios y facilitar la movilidad, los puentes desempeñan un papel crucial en el desarrollo socioeconómico, permitiendo la integración de comunidades, el acceso a servicios y el fortalecimiento del comercio y la industria. Su correcto diseño y mantenimiento garantizan una infraestructura eficiente y sostenible a lo largo del tiempo (CERSA, 2024).

2.2.2. TIPOS DE SUPERESTRUCTURAS

Los tipos de superestructuras de puentes son fundamentales en el diseño de infraestructuras viales, ya que afectan tanto la seguridad como la durabilidad y eficiencia de los proyectos. Entre los tipos más comunes se encuentran las superestructuras de concreto presforzado, acero y combinaciones de estos materiales. Cada una de estas opciones tiene ventajas y desventajas dependiendo del tipo de puente, el tráfico

previsto, el presupuesto disponible y las condiciones geográficas del lugar (Huamán y Ochante, 2022).

2.2.2.1. VIGAS DE CONCRETO PRESFORZADO

Son una opción eficiente para puentes con luces grandes, ya que ofrecen una excelente resistencia a la flexión y compresión. Este tipo de superestructura es particularmente ventajosa cuando se requiere un tiempo de construcción reducido y una alta durabilidad frente a las condiciones climáticas extremas (Huamán y Ochante, 2022).

2.2.2.2. VIGAS DE ACERO

Utilizadas principalmente en puentes con longitudes más cortas y en proyectos donde la flexibilidad y la capacidad de carga son esenciales. Las vigas de acero permiten una construcción más rápida y un menor peso de la superestructura, pero pueden ser más susceptibles a la corrosión, lo que requiere un mantenimiento continuo (Huamán y Ochante, 2022).

2.2.2.3. LOSA DE CONCRETO (IN-SITU Y PRELOSAS)

Estas losas se utilizan en puentes de menores luces, y su construcción puede ser realizada mediante vaciado in-situ o utilizando prelosas. El uso de prelosas acelera el proceso constructivo, mientras que las losas vaciadas in-situ ofrecen una mayor flexibilidad en el diseño, especialmente para puentes con formas irregulares (Huamán y Ochante, 2022).

Figura 1

Puente en Arco Simplemente apoyado (Puente Bolognesi)



Fuente. (Huamán y Ochante, 2022)

Figura 2

Puente Continuo (Puente Talagante)



Fuente. (Huamán y Ochante, 2022)

Figura 3

Puente Arco (Puente George)



Fuente. (Huamán y Ochante, 2022)

Figura 4

Puente Atirantado (Puente Bellavista)



Fuente. (Huamán y Ochante, 2022)

Figura 5

Puente Colgante (Puente Golden Gate)



Fuente. (Huamán y Ochante, 2022)

Figura 6

Puente de Concreto Simplemente



Fuente. (Huamán y Ochante, 2022)

Figura 7

Puente Arco de Concreto



Fuente. (Huamán y Ochante, 2022)

Figura 8

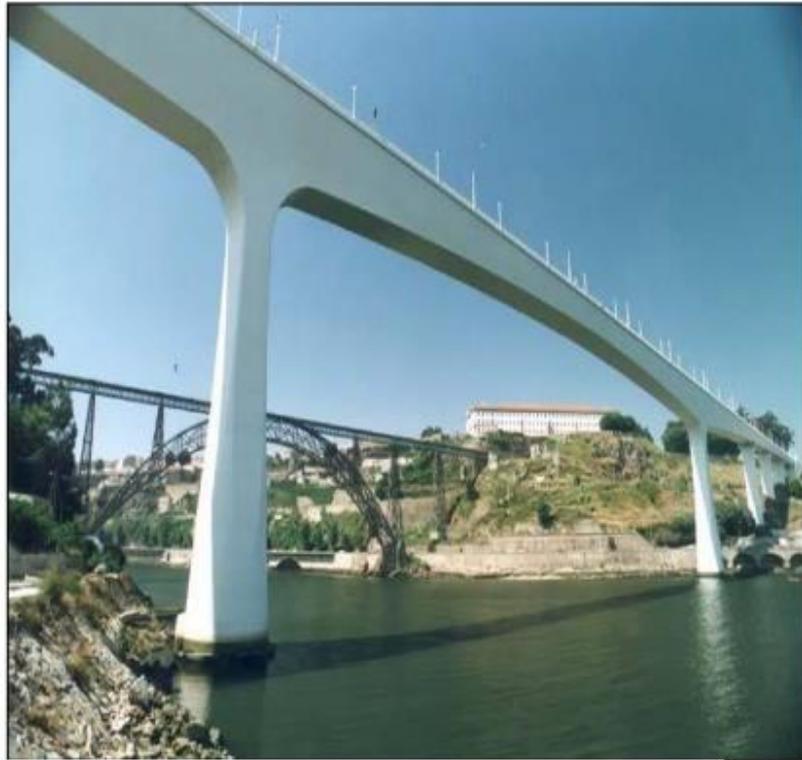
Puente simplemente Apoyado



Fuente. (Huamán y Ochante, 2022)

Figura 9

Puente Tipo Pórtico (España)

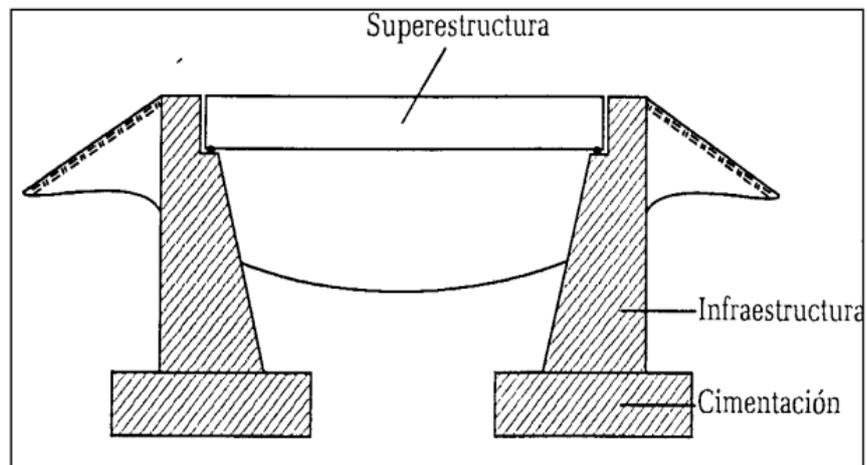


Fuente. (Huamán y Ochante, 2022)

2.2.3. ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE UN PUENTE

Figura 10

Elementos de un puente



Fuente. (Huamán y Ochante, 2022)

2.2.3.1. LA SUPERESTRUCTURA

Según Medhi, la superestructura corresponde al grupo de componentes que integran y generalmente constituyen la sección superior de la estructura de un puente.

2.2.3.2. LA SUBESTRUCTURA

Se refiere a la parte que se encuentra por debajo de la estructura principal, es decir, aquella que tiene contacto directo con el suelo y proporciona estabilidad y soporte a la superestructura. Esta incluye los cimientos, pilotes, zapatas y cualquier otro componente que permita distribuir las cargas del puente hacia el terreno (Huallpa y Orihuela, 2017).

2.2.3.3. LOS ESTRIBOS

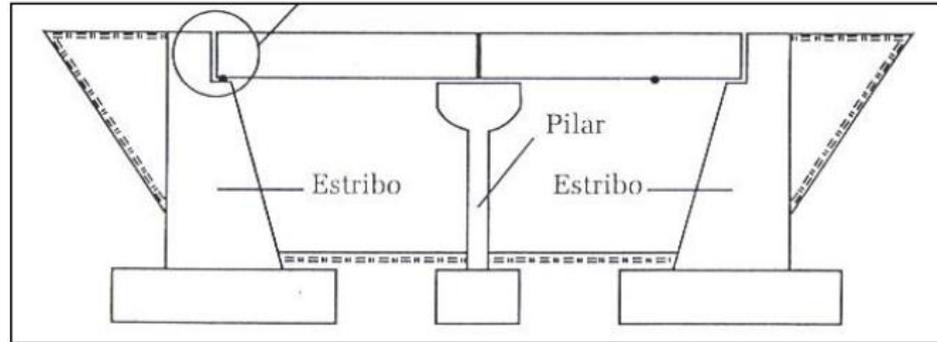
Sirven como soportes laterales que conectan la superestructura (tablero del puente) con la subestructura (fundaciones). Estos elementos son esenciales para la estabilidad de los puentes, ya que permiten distribuir las cargas a las fundaciones y protegen el puente de la erosión en las zonas de contacto con el suelo (Huallpa y Orihuela, 2017).

2.2.3.4. LOS PILARES

Son los elementos verticales que sostienen la estructura del puente y la elevan sobre el nivel del agua o del terreno, permitiendo la circulación por debajo. Al igual que los estribos, los pilares deben ser diseñados para resistir las fuerzas de compresión y torsión (Huallpa y Orihuela, 2017).

Figura 11

Infraestructura de un puente



Fuente. (Huallpa y Orihuela, 2017)

2.2.3.5. CIMENTACIÓN

Es el elemento estructural que se encuentra enterrado en el suelo y cuya función principal es transmitir las cargas de la edificación o infraestructura hacia el terreno de soporte de manera segura y eficiente. Su correcto diseño y construcción es fundamental para garantizar la estabilidad y durabilidad de la estructura, evitando asentamientos diferenciales y fallas por capacidad portante insuficiente.

Los sistemas de cimentación se pueden clasificar en dos grandes grupos:

Cimientos poco profundos: Los cimientos superficiales o poco profundos son aquellos que transfieren las cargas de la estructura directamente a la capa de suelo situada a poca profundidad respecto a la superficie. Son viables cuando la capa de soporte posee la resistencia necesaria y es accesible mediante excavación convencional. Entre los tipos más comunes de cimentaciones superficiales se encuentran:

Zapatas aisladas: Utilizadas en columnas individuales para distribuir la carga sobre un área mayor del suelo.

Zapatas corridas: Empleadas en muros de carga para repartir la presión a lo largo de toda su base.

Losas de cimentación: Se usan cuando el suelo tiene baja capacidad portante y se requiere distribuir la carga sobre una gran superficie (Pariapaza Coaquira, 2017).

Cimentación profunda: Cuando las capas superficiales del suelo no poseen la resistencia adecuada para soportar las cargas de la estructura, se emplean cimentaciones profundas, las cuales transmiten los esfuerzos a estratos más profundos y estables. Este tipo de cimentación es esencial en terrenos con baja capacidad portante, presencia de rellenos, suelos compresibles o con niveles freáticos elevados. Entre las cimentaciones profundas más utilizadas se encuentran:

Pilotes: Elementos estructurales cilíndricos (de concreto, acero o madera) que penetran en el suelo para alcanzar capas firmes. Pueden ser de fricción o de punta, dependiendo del mecanismo de transferencia de carga.

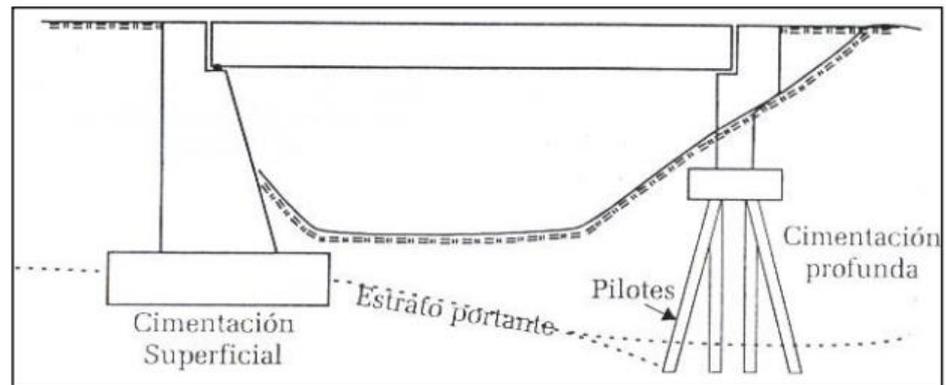
Caissons (cajones o pozos de cimentación): Grandes elementos cilíndricos o prismáticos que se construyen in situ y se emplean en obras de gran envergadura, como puentes o edificaciones en suelos con presencia de agua subterránea.

Pilotes hincados o perforados: Dependiendo del método constructivo, los pilotes pueden ser hincados por golpeo o vibración, o bien perforados y colados en el lugar (Pariapaza Coaquira, 2017).

La selección del tipo de cimentación depende de diversos factores, como la carga de la estructura, las características geotécnicas del suelo, el nivel freático y las condiciones del entorno. Un adecuado estudio de mecánica de suelos es indispensable para determinar la solución más eficiente y segura (Pariapaza Coaquira, 2017).

Figura 12

Tipos de cimentación de un puente



Fuente. (Pariapaza Coaquira, 2017)

2.2.3.6. APOYOS

Los apoyos son elementos fundamentales en el diseño estructural, ya que permiten la transmisión de cargas de la superestructura hacia la subestructura de manera eficiente y segura. En el ámbito de la ingeniería civil, se emplean en diversas infraestructuras como puentes, edificaciones y estructuras de gran envergadura, con el propósito de proporcionar estabilidad y resistencia ante cargas estáticas y dinámicas.

Dependiendo de su función y tipología, los apoyos pueden clasificarse en fijos, móviles y elásticos, cada uno con características específicas que influyen en la distribución de esfuerzos y en la respuesta estructural ante distintas condiciones de carga. Los apoyos fijos restringen los desplazamientos y rotaciones, mientras que los móviles permiten cierto grado de movimiento para absorber deformaciones térmicas y otras variaciones. Por otro lado, los apoyos elásticos ofrecen cierta flexibilidad, lo que resulta beneficioso para mitigar vibraciones y cargas de impacto (Pariapaza Coaquira, 2017).

El diseño y selección de los apoyos deben considerar factores como el tipo de material, la magnitud de las cargas a soportar y las condiciones geotécnicas del suelo de cimentación. Además, la

correcta implementación de estos elementos es crucial para evitar fallos estructurales y garantizar la vida útil de la infraestructura (Pariapaza Coaquira, 2017).

2.2.4. CARGAS DE DISEÑO

Las cargas de diseño se refieren a todas las fuerzas y efectos que una estructura debe soportar durante su vida útil. Estas cargas se clasifican principalmente en dos categorías:

2.2.4.1. CARGAS MUERTAS Y TRANSITORIAS

- **Cargas Muertas**

Las cargas muertas, también conocidas como cargas permanentes, corresponden al peso propio de los elementos estructurales y no estructurales de una construcción que son permanentes y no varían con el tiempo (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006).

Estas cargas incluyen:

- **Peso de la estructura:** Comprende el peso de columnas, vigas, losas y otros componentes estructurales.
- **Materiales de construcción:** Como muros, revestimientos, techos y acabados permanentes.
- **Instalaciones fijas:** Tales como sistemas de plomería, eléctricos y de aire acondicionado que forman parte integral de la edificación.

El cálculo preciso de las cargas muertas es esencial para determinar la resistencia requerida de los materiales y garantizar la estabilidad de la estructura a lo largo del tiempo (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006).

- **Cargas Transitorias**

Las cargas transitorias, también conocidas como cargas vivas, son aquellas que no son permanentes y pueden variar en magnitud y ubicación a lo largo del tiempo.

Estas cargas incluyen:

- Ocupación humana: Peso de las personas que utilizan la edificación.
- Mobiliario y equipos: Peso de muebles, maquinaria y otros equipos que pueden cambiar de posición o ser removidos.
- Factores ambientales: Como nieve, viento o sismos que pueden actuar sobre la estructura de manera temporal.

A diferencia de las cargas muertas, las cargas transitorias son variables y dependen del uso y las condiciones a las que esté sometida la edificación en un momento dado (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006).

- **Importancia en el Diseño Estructural**

La correcta identificación y cuantificación de las cargas muertas y transitorias es crucial en el proceso de diseño estructural. Un análisis adecuado permite:

- Dimensionamiento preciso: Garantizar que los elementos estructurales tengan la resistencia y rigidez necesarias para soportar las cargas previstas.
- Seguridad y estabilidad: Evitar fallas estructurales que puedan comprometer la integridad de la edificación y la seguridad de sus ocupantes.

- Optimización de recursos: Utilizar materiales de manera eficiente, evitando sobredimensionamientos que incrementen costos innecesariamente (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006).

2.2.4.2. CARGAS APLICADAS PERMANENTES

Las cargas permanentes, también conocidas como cargas muertas, corresponden al peso propio de los elementos estructurales y no estructurales de una edificación. Estas incluyen el peso de materiales de construcción, dispositivos de servicio, equipos fijos, tabiques y otros elementos que se consideran permanentes o cuya variación en magnitud es insignificante a lo largo del tiempo. Es esencial considerar el peso real de estos materiales y dispositivos al diseñar la estructura para garantizar su estabilidad y seguridad. (Pariapaza Coaquira, 2017).

Tabla 1

Densidad de materiales de construcción

Aluminio	280
Capas bituminosas	2250
Arena, arcilla o suelo compactado	1925
Hormigón liviano	1775
Hormigón liviano con arena	1925
Hormigón convencional	2400
Arena, grava o limo suelto	1600
Arcilla blanda	2450
Acero estructural	7850
Madera dura	960
Madera blanda	800

Fuente. (Pariapaza Coaquira, 2017)

2.2.4.3. CARGAS APLICABLES VARIABLES

Las cargas variables, o cargas vivas, son aquellas que resultan del uso y ocupación de la edificación y que pueden variar en magnitud y ubicación con el tiempo. Estas cargas incluyen el peso de ocupantes, muebles, equipos móviles y otros elementos que no tienen una posición fija en la construcción. La determinación de las cargas variables se basa en estudios estadísticos que permiten describirlas probabilísticamente. En ausencia de estudios específicos, se utilizan valores mínimos establecidos según el uso de la edificación y sus ambientes.

- **Cargas durante la construcción**

Durante el proceso constructivo, es fundamental evaluar las cargas reales que pueden producirse para garantizar que no excedan las cargas vivas de uso indicadas en los documentos del proyecto. Si las cargas reales durante la construcción superan las cargas vivas previstas, es necesario consultar con el proyectista para realizar las verificaciones y ajustes pertinentes, asegurando así la integridad y seguridad de la estructura en todas las etapas de su desarrollo (Ministerio de trabajo y promoción del empleo, 2009).

- **Sobrecarga vehicular de diseño**

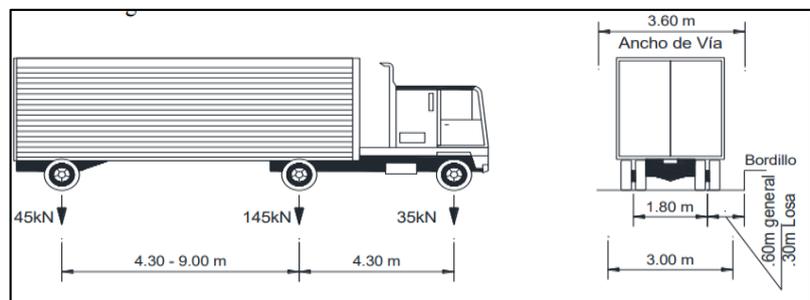
Es un factor crítico en el diseño de infraestructuras viales, especialmente en el caso de los puentes. Este concepto hace referencia al aumento de carga que se añade al diseño estructural para garantizar la seguridad y durabilidad del puente, considerando que los vehículos pueden superar los límites de peso establecidos durante su uso (Ministerio de trabajo y promoción del empleo, 2009).

✓ Camión de diseño

Compatible con vehículos de 3 ejes. El peso de la rueda de diseño y la distancia entre el eje y la rueda se toman como se muestra en el diagrama. distancia entre ejes 145 kN debe variar entre 4,30 m y 9,00 m para producir una tensión extrema (Ministerio de trabajo y promoción del empleo, 2009).

Figura 13

Camión de diseño



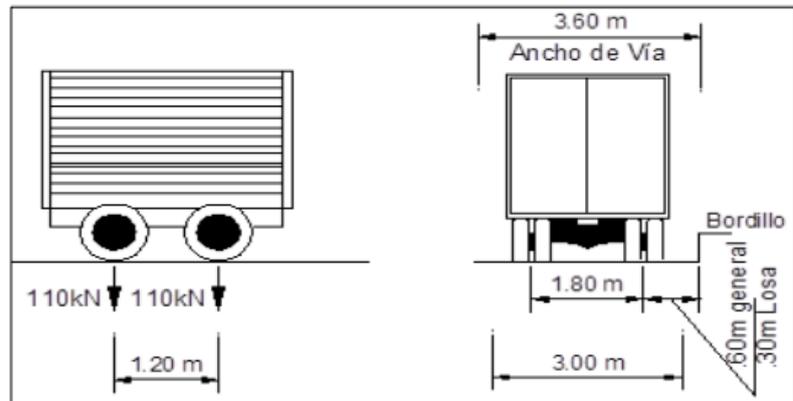
Fuente. (Ministerio de trabajo y promoción del empleo, 2009)

✓ Tándem de diseño

Esto se refiere a un camión de dos ruedas con una capacidad de carga de 110 kN cada uno a una distancia de 1,20 m. El espacio horizontal entre las llantas de cada eje es de 1,80 m. Esta anulación tiene en cuenta los efectos dinámicos (Ministerio de trabajo y promoción del empleo, 2009).

Figura 14

Camión tándem



Fuente. (Ministerio de trabajo y promoción del empleo, 2009)

✓ **Sobrecarga distribuida**

Es un tipo de carga que se aplica de manera uniforme sobre una superficie o estructura, de forma que la intensidad de la carga es constante a lo largo de la misma. Este tipo de carga es importante en el análisis de estructuras, ya que puede influir en las reacciones y distribuciones de esfuerzos dentro de un sistema (PUCP, 2021).

• **Efectos dinámicos**

Se Además de las cargas estáticas, las infraestructuras viales están sujetas a efectos dinámicos debido al movimiento de los vehículos. Estos efectos pueden amplificar las fuerzas actuantes y provocar respuestas adicionales en las estructuras. Por ejemplo, en el estudio de Ludeña Medina y Villanueva Machado, se consideró el impacto dinámico de vehículos pesados en puentes, evidenciando la necesidad de incorporar estos efectos en el diseño para evitar daños estructurales (Ludeña Medina & Villanueva Machado, 2022)

Tabla 2*Aumento para la carga viva*

Categoría de Elemento	Condición de Diseño	Porcentaje
Conexiones en el tablero	Aplicable a todos los estados límite	75%
Componentes estructurales secundarios	Consideración de fatiga	15%
	Otros criterios de diseño estructural	33%

Fuente. (PUCP, 2021)

- **Fuerzas referentes al frenado y aceleración**

Según el MTC, para calcular dicha fuerza deberá tomar en consideración el 25% de la carga vertical de cada eje de los ejes de diseño; en donde no se deben incluir las sobrecargas uniformes, pero se incluyen los modificadores que se dan a conocer por el MTC. La fuerza referente al frenado y la fuerza de aceleración se aplican horizontal y verticalmente y se aplican 1,80 m por encima del plano de la placa de cubierta (PUCP, 2021).

- **Sobrecargas referentes a las veredas**

El MTC establece que los andenes y puntales deben estar clasificados para soportar cargas de 3,5 KN/m² actuando sobre secciones desfavorables en cada campo, combinada con sobrecarga por peso del vehículo. Se excluyen los caminos de puentes urbanos con carriles de menos de 0,60 m de ancho, por lo que no será necesario tener en cuenta esta sobrecarga (PUCP, 2021).

- **Efectos de sismo**

Son diversos y pueden incluir fenómenos geológicos como agrietamientos, deslizamientos, derrumbes, y hundimientos de terreno. Estos fenómenos afectan tanto la

infraestructura como los medios de vida de las personas. En el contexto peruano, los sismos son comunes debido a la ubicación geológica del país en el Cinturón de Fuego del Pacífico, lo que genera un riesgo constante de daños sísmicos en diversas regiones (PUCP, 2021).

✓ **El coeficiente de aceleración A**

Es un parámetro importante en el diseño sísmico de estructuras y pavimentos, utilizado principalmente en la ingeniería civil para calcular las fuerzas sísmicas que afectan a las construcciones. Este coeficiente forma parte de la especificación de la respuesta sísmica en función de la zona geográfica donde se localiza el proyecto, ya que cada región tiene diferentes características sísmicas (PUCP, 2021).

✓ **Factores de modificación de respuesta**

Los factores de modificación de respuesta, comúnmente conocidos como factor R, son coeficientes que permiten ajustar la demanda sísmica en el diseño estructural, considerando la capacidad de la estructura para disipar energía a través de deformaciones inelásticas. Estos factores son esenciales para reflejar el comportamiento real de las estructuras bajo cargas sísmicas y se descomponen en tres componentes principales:

1. Factor de resistencia por ductilidad (R_{μ}): Este componente refleja la capacidad de la estructura para soportar deformaciones inelásticas sin perder su resistencia.
2. Factor de sobrerresistencia (R_{Ω}): Representa la diferencia entre la resistencia real de la estructura y la resistencia mínima requerida por el diseño.

3. Factor de redundancia (RR): Indica la capacidad de la estructura para redistribuir cargas en caso de que algunos elementos fallen, gracias a la presencia de múltiples caminos de carga.

En estudios realizados, como la tesis de Ancco Huanacuni (2021), se evaluó el factor de modificación de respuesta sísmica mediante análisis no lineal de estructuras apertadas de concreto armado. Los resultados indicaron que la incidencia de los subcomponentes del factor de reducción sísmica es la siguiente:

R_{μ} : 49% de R

R_{Ω} : 22% de R

RR: 29% de R

Estos porcentajes destacan la importancia de cada componente en la determinación del factor R total, subrayando la necesidad de considerar la ductilidad, sobrerresistencia y redundancia en el diseño sismorresistente.

Otro estudio relevante es la tesis de García Chirinos (2024), que evaluó el factor R para estructuras de concreto armado de periodos cortos a partir de registros sísmicos peruanos. Se observó que el factor R está fuertemente influenciado por el periodo de vibración (T), la ductilidad objetivo por desplazamiento lateral (u), la condición de sitio, el comportamiento no lineal del material y el tipo de excitación sísmica. Estos hallazgos validan lo reportado por otros investigadores y resaltan la complejidad en la determinación precisa del factor R.

En resumen, tanto el coeficiente de aceleración A como los factores de modificación de respuesta son

fundamentales en el diseño sismorresistente en el Perú. La correcta comprensión y aplicación de estos parámetros permiten desarrollar estructuras capaces de resistir eficazmente las fuerzas sísmicas, garantizando la seguridad y funcionalidad de las edificaciones en zonas de alta actividad sísmica (García Chirinos, 2024).

2.2.5. FACTORES DE CARGA

Son Los factores de carga son elementos fundamentales en la planificación y el análisis de cimentaciones, particularmente en la ingeniería geotécnica y estructural. Su principal función es modificar las cargas aplicadas a una estructura para garantizar la seguridad y estabilidad de la misma, considerando la variabilidad de los parámetros del suelo, las condiciones ambientales y las propiedades mecánicas de los materiales empleados en la construcción.

Estos factores permiten incorporar coeficientes de ajuste que consideran incertidumbres inherentes al diseño y la construcción, tales como errores en la estimación de las propiedades del suelo, variaciones en la resistencia de los materiales y condiciones inesperadas en el sitio de obra. Entre los factores de carga más utilizados se encuentran:

- **Coeficiente de seguridad:** Se emplea para ajustar la capacidad de carga de un sistema estructural o geotécnico en función de las incertidumbres presentes en los datos experimentales o en las condiciones del terreno.
- **Factores de corrección:** Se aplican para considerar variaciones en el nivel freático, efectos de consolidación en suelos cohesivos, la presencia de sobrecargas externas y otras influencias que puedan modificar la respuesta estructural de la cimentación.
- **Factores de carga y resistencia (LRFD):** Método de diseño basado en la fiabilidad, en el que se aplican coeficientes diferenciados para cargas muertas, cargas vivas, cargas sísmicas y otros efectos, con el fin de lograr un diseño optimizado y seguro.

La correcta aplicación de estos factores es crucial para garantizar que las cimentaciones y demás elementos estructurales respondan adecuadamente a las condiciones de servicio y eventos extremos, minimizando los riesgos de falla por asentamientos diferenciales, licuación de suelos o pérdida de capacidad portante (INACAL, 2024)..

2.2.6. ESTADOS LIMITES

2.2.6.1. ESTADO LÍMITE DE SERVICIO

Es un concepto fundamental en el diseño estructural, que busca garantizar que una estructura funcione de manera adecuada durante su vida útil, sin causar inconvenientes a los usuarios o daños a la estructura misma. En este tipo de estado, se evalúan condiciones que podrían afectar el confort, la funcionalidad y la seguridad, pero sin comprometer la integridad estructural. Los ELS se refieren principalmente a situaciones como excesivos desplazamientos, vibraciones o deformaciones que puedan afectar el uso normal de la estructura, incluso si no representan un riesgo inminente de colapso (INACAL, 2024).

- **Estado límite de fatiga y fractura**

Se refiere a las condiciones críticas bajo las cuales estos elementos pueden sufrir daños progresivos debido a cargas repetitivas o extremas. En este contexto, la fatiga es el fenómeno que ocurre cuando un material experimenta fallos en su estructura interna por la repetición constante de esfuerzos. La fractura, por otro lado, implica la ruptura del material debido a esfuerzos que superan la resistencia última del mismo. Estos estados son esenciales en la concepción de puentes y otras estructuras, puesto que permiten asegurar que las estructuras puedan soportar los pesos a los que estarán expuestos a lo largo de su período de funcionamiento sin comprometer su integridad (INACAL, 2024).

- **Estado límite de resistencia**

Hace referencia a la situación límite en la que una estructura alcanza su máxima capacidad de carga antes de fallar o colapsar. En términos estructurales, los Estados Límites se dividen en dos categorías principales: los Estados Límites Últimos (ELU) y los Estados Límites de Servicio (ELS). El ELR se encuentra dentro de los ELU, donde el diseño de la estructura busca asegurar que no se superen estos límites durante su vida útil. En el ELR, se emplean coeficientes de seguridad tanto sobre las cargas esperadas como sobre la resistencia de los materiales, para garantizar que la estructura pueda soportar cargas más allá de las reales, lo que proporciona un margen de seguridad frente a posibles fallos (INACAL, 2024).

- **Estados límites correspondientes a eventos extremos**

Son un concepto fundamental en el diseño estructural, especialmente para infraestructuras como puentes. Estos estados límite se refieren a los puntos en los que una estructura alcanza su máxima capacidad de resistencia o su rendimiento adecuado bajo condiciones de carga extremas. Los eventos extremos, tales como sismos, vientos fuertes o sobrecargas de tráfico, pueden inducir esfuerzos que superen las capacidades de la estructura si no se consideran adecuadamente en el diseño (INACAL, 2024).

Tabla 3

Combinaciones de Carga

	DC	LL	W A	W S	W L	FR	TU	TG	Emplear únicamente uno de los especificados en estas columnas en cada combinación.
Combinación de cargas	DD	IM					CR		
	D								
	W	CE					SH		
	EH	BR						SE EQ IC CT CV	
	EV	PL							

Estado Límite	ES	LS											
RESIS TENCI A I	YP	1.75	1			1	0.50/1.20	YT G	YS E				
RESIS TENCI A II	YP	1.35	1			1	0.50/1.20	YT G	YS E				
RESIS TENCI A III	YP		1	1.4		1	0.50/1.20	YT G	YS E				
RESIS TENCI A IV													
Sólo EH, EV, ES	YP	1				1	0.50/1.20						
DW, DC		1.5											
RESIS TENCI A V	YP	1.35	1	0.4	0.4	1	0.50/1.20	YT G	YS E				
EVENTO EXTREMO I	YP	YE C	1			1						1	
EVENTO EXTREMO II	YP	0.5	1			1						1	1
SERVICIO I	YP	1	1	0.3	0.3	1	1/1.2	YT G	YS E				
SERVICIO II	YP	1.3	1			1	1/1.2	YT G	YS E				
SERVICIO III	YP	0.8	1			1	1/1.2	YT G	YS E				
FARTI GA													
Sólo LL, IM, CE		0.75											

Fuente. (INACAL, 2024)

2.2.7. ANÁLISIS ESTRUCTURAL PARA EL PUENTE

Para examinar el diseño de la composición de acero de un puente, inicialmente identifique el modelo de composición a elaborar, basado en criterios primordiales de indagación e ingeniería, para generar un sistema que cumpla enteramente con los requisitos del problema a resolver. Después, el sistema seleccionado se ingresa en un sistema numérico y se aplica un estudio estático para obtener las fuerzas sobre los recursos. La finalidad primordial de un modelo de estudio estructural de un puente es dar la fórmula matemática más sencilla referente a cómo

se comportará una composición según con un diseño especial y establecer la contestación. El modelo debería reflejar la relación física de la composición. con las cargas a las que se somete. El modelo debería integrar geometría, masa, condiciones y limitaciones de conexión y cargas para favorecer en la interpretación de la contestación. Debería escribirse con la más grande exactitud viable. La mejor explicación de la geometría del puente bajo averiguación debería integrar un modelo de cada componente estructural y una especificación de su interacción física y espacial con otros recursos (INACAL, 2024).

2.2.8. ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA SUPERESTRUCTURA

2.2.8.1. ANÁLISIS Y DISEÑO DEL TABLERO

El tablero es el componente horizontal del puente sobre el cual circulan vehículos y peatones. Su diseño adecuado es esencial para asegurar la distribución eficiente de las cargas y proporcionar una superficie de rodadura segura. En el diseño de tableros de puentes, se deben considerar diversos factores, como las cargas permanentes (peso propio del puente), las cargas variables (tráfico), las cargas accidentales (como el viento o sismos), y las condiciones geotécnicas del terreno (INACAL, 2024).

- **Predimensionamiento de la losa**

Es un proceso crucial para la correcta planificación de las estructuras en ingeniería civil. En este proceso, se asignan dimensiones aproximadas a los elementos estructurales basándose en criterios establecidos por normativas y recomendaciones de ingenieros especializados. El objetivo es obtener dimensiones iniciales que luego se validarán a través de un análisis estructural detallado. Para las losas aligeradas, el predimensionamiento tiene en cuenta el espesor o peralte de la losa (h), el cual dependerá de la luz libre y la sobrecarga actuante sobre la estructura (INACAL, 2024).

- **Momentos en la losa**

Se determinan las fuerzas gravitatorias propias y los momentos inducidos por la acción de las cargas. Gráficos de influencia Según el portal Civil Structures, un gráfico de influencia es una representación visual que muestra la intensidad y la orientación de una respuesta o impacto en una estructura cuando una carga unitaria se mueve de manera específica a lo largo de ella. Este gráfico de influencia se emplea principalmente para estimar el esfuerzo particular y localizar la posición de la carga que genera el efecto máximo o crítico (INACAL, 2024).

- **Diseño**

Se utiliza un método de diseño tradicional aplicado a una losa de hormigón con 2 capas de capas de barra de refuerzo en cada dirección en función de la flexión. El esfuerzo de sobrecarga se establece usando el procedimiento de la franja, que divide la losa o el piso en tiras ortogonales a los recursos de soporte. Para establecer la anchura del ligamento se tiene presente la predominación de las fuerzas de flexión y torsión en la dirección secundaria sobre el reparto de las tensiones internas, obteniéndose tensiones de flexión próximas a las conseguidas con procedimientos más exactos (INACAL, 2024).

- **Ancho de franjas equivalentes**

El ancho de franjas equivalentes es un parámetro clave en el diseño estructural de tableros de puentes, ya que permite distribuir de manera efectiva las cargas vehiculares sobre la losa. Su determinación depende del tipo de estructura y de la disposición de los elementos de soporte. Según las especificaciones de la normativa AASHTO, este

valor varía en función de la configuración de la plataforma y la orientación de la carga respecto al tráfico.

✓ **Criterios de Determinación**

De acuerdo con AASHTO, cuando la plataforma es esencialmente paralela al sentido del tráfico, el área de soporte axial no debe superar los 1000 mm en rejillas abiertas. Para otras estructuras donde se consideren múltiples carriles de carga, el ancho de franja equivalente no debe exceder los 3600 mm. En el caso de tableros con disposición predominantemente oblicua, este valor puede considerarse sin restricción de ancho.

En estructuras con tableros de hormigón armado colado en sitio, el refuerzo principal suele disponerse de manera perpendicular a la dirección del tráfico. Bajo este criterio, se pueden utilizar las siguientes expresiones para determinar el ancho de franja equivalente:

✓ **Fórmulas para el Cálculo del Ancho de Franjas Equivalentes**

Para voladizos:

$$E_v = 1140 + 0.833X$$

Para momentos positivos:

$$E_c = 660 + 0.55S$$

Para momentos negativos:

$$E_n = 1220 + 0.25S$$

Donde:

X es la distancia entre la carga y el punto de apoyo (mm).

S representa la separación entre los elementos de soporte (mm).

✓ **Importancia del Análisis del Ancho de Franjas**

El adecuado cálculo del ancho de franjas equivalentes permite optimizar el diseño de la losa del puente, asegurando su resistencia y funcionalidad ante las cargas vehiculares. Además, al considerar las configuraciones de carga y la geometría de la estructura, se pueden establecer parámetros de diseño que garanticen la seguridad y durabilidad del puente.

• **Factor para presencia múltiple**

Los factores de presencia elevados no se aplican a las condiciones límite de fatiga cuando se utilizan carretillas industriales fuera de vía. La especificación AASHTO establece que las cargas de peatones se consideran cargas de calzada y se pueden combinar con sobrecargas de vehículos para proporcionar la carga máxima para las estructuras. Según la especificación AASHTO, se analiza de la siguiente manera (INACAL, 2024):

- 3 o más efectos de pista cargados
- Efecto de los rieles cargados.

Tabla 4

Factor para Presencia Múltiple (m)

Número de carriles de diseño	Factor de presencia múltiple (m)
1	1.2
2	1
3	0.85
Más de 3	0.65

Fuente. (INACAL, 2024)

✓ **Interpretación de los valores**

Un carril de diseño ($m = 1.20$): Se aplica un incremento del 20% a la carga de diseño para reflejar la

alta probabilidad de que el único carril esté completamente cargado.

Dos carriles de diseño ($m = 1.00$): No se realiza ajuste, ya que es razonable asumir que ambos carriles pueden estar cargados simultáneamente.

Tres carriles de diseño ($m = 0.85$): Se reduce la carga de diseño en un 15%, considerando la menor probabilidad de que los tres carriles estén completamente cargados al mismo tiempo.

Más de tres carriles de diseño ($m = 0.65$): Se aplica una reducción del 35% a la carga de diseño, reflejando la baja probabilidad de ocupación total simultánea.

✓ **Aplicación práctica en el diseño de puentes**

Al diseñar un puente, es fundamental aplicar el factor de presencia múltiple para ajustar las cargas vivas consideradas en el análisis estructural. Por ejemplo, si se está diseñando un puente con tres carriles de diseño, la carga viva aplicada se multiplicaría por 0.85 para reflejar la probabilidad de que los tres carriles estén ocupados simultáneamente.

• **Aplicación de la sobrecarga vehicular de diseño**

La sobrecarga vehicular de diseño se refiere a las cargas móviles que un puente debe soportar durante su vida útil, incluyendo vehículos de diferentes tamaños y pesos. Estas cargas se clasifican en cargas estáticas y dinámicas, siendo las primeras las asociadas al peso de los vehículos en reposo y las segundas a los efectos adicionales debido al movimiento, como vibraciones e impactos.

El diseño de puentes se rige por normativas específicas que establecen las cargas vehiculares de diseño. Estas normativas consideran factores como el tipo de vía, el volumen de tráfico y las características de los vehículos que transitarán por el puente. Es esencial que los ingenieros consulten y apliquen estas normativas para garantizar la seguridad y durabilidad de las estructuras.

✓ **Modelos de Carga Vehicular**

Para el análisis y diseño, se utilizan modelos estándar que representan las cargas vehiculares. Estos modelos simplifican la variedad de vehículos en patrones de carga específicos, facilitando el cálculo de esfuerzos y deformaciones en la estructura del puente.

✓ **Factores de Impacto y Amplificación Dinámica**

Además de las cargas estáticas, se consideran factores de impacto que amplifican las cargas debido a efectos dinámicos, como baches o irregularidades en la superficie de rodadura. Estos factores se incorporan en los cálculos para asegurar que el puente pueda resistir las condiciones reales de servicio.

✓ **Distribución Transversal de Cargas**

La distribución de las cargas vehiculares a lo ancho del puente es crucial para el diseño de los elementos estructurales. Se utilizan métodos analíticos y numéricos para determinar cómo se reparten estas cargas entre las diferentes vigas y componentes del puente, garantizando una respuesta estructural adecuada.

- **Armadura de distribución**

La armadura de distribución es un conjunto de refuerzos de acero colocados en la losa del puente, cuya función principal es distribuir las cargas concentradas de manera uniforme y controlar las deformaciones y fisuras en el concreto.

- ✓ **Función y Ubicación**

Esta armadura se coloca generalmente en la parte superior de la losa de concreto y está orientada perpendicularmente a las vigas principales. Su objetivo es repartir las cargas puntuales, como las ruedas de los vehículos, sobre una mayor área, reduciendo así las tensiones locales y previniendo daños en la estructura.

- ✓ **Cálculo y Dimensionamiento**

El dimensionamiento de la armadura de distribución se basa en las cargas de diseño y en las propiedades del material. Se utilizan fórmulas que relacionan la carga aplicada, el ancho efectivo de distribución y las características mecánicas del acero y el concreto para determinar el área de acero necesaria.

Por ejemplo, la fórmula básica para el cálculo del área de acero (A_s) es:

$$A_s = \frac{M}{f_y \cdot z}$$

Donde:

M = Momento flector máximo

f_y = Esfuerzo de fluencia del acero

z = Brazo de palanca efectivo

✓ **Control de Fisuración**

Una de las funciones esenciales de la armadura de distribución es controlar la aparición y propagación de fisuras en la losa de concreto. Un adecuado diseño y colocación de esta armadura contribuye a la durabilidad y resistencia del puente, evitando que las fisuras comprometan la integridad estructural.

✓ **Integración con la Estructura General**

La armadura de distribución debe integrarse de manera coherente con el resto de la estructura del puente. Esto implica una coordinación precisa con las vigas principales, diafragmas y otros elementos, asegurando una transferencia eficiente de cargas y un comportamiento estructural óptimo.

La correcta aplicación de la sobrecarga vehicular de diseño y el adecuado diseño de la armadura de distribución son fundamentales para la seguridad y funcionalidad de los puentes. Estos aspectos garantizan que las estructuras puedan soportar las cargas previstas durante su vida útil, manteniendo su integridad y servicio.

• **Acero de temperatura**

El acero de temperatura es un tipo de refuerzo utilizado en las estructuras de concreto armado con el objetivo principal de contrarrestar las tensiones originadas por variaciones térmicas y otros factores que pueden inducir deformaciones en el material. Estas tensiones pueden provocar fisuración en el concreto, afectando su durabilidad y capacidad estructural.

✓ **Función del acero de temperatura**

El concreto, al ser un material con alta resistencia a la compresión pero limitado frente a esfuerzos de tracción, es susceptible a la aparición de fisuras cuando se somete a tensiones de tracción. Estas tensiones pueden surgir debido a cambios de temperatura, retracción por secado, asentamientos diferenciales, entre otros factores. El acero de temperatura se coloca para absorber estas tensiones, distribuyéndolas de manera uniforme y evitando la formación de fisuras significativas.

✓ **Diseño y colocación del acero de temperatura**

La correcta disposición y cuantía del acero de temperatura son fundamentales para garantizar su eficacia. Según las normativas peruanas, la cantidad mínima de refuerzo de temperatura se determina en función del área de la sección transversal del elemento de concreto y las características del acero utilizado. Este refuerzo suele disponerse en forma de mallas o barras longitudinales y transversales, asegurando una cobertura adecuada para proteger el acero de la corrosión y garantizar su adherencia al concreto. *(INACAL, 2024)*

• **Limitación de la fisuración mediante**

La presencia de fisuras en el concreto puede comprometer la durabilidad de la estructura, facilitando la entrada de agentes agresivos que pueden deteriorar el acero de refuerzo y el propio concreto. Para limitar la apertura y propagación de fisuras, es esencial un diseño adecuado del refuerzo de temperatura.

✓ Cálculo de la cuantía mínima de refuerzo

La cuantía mínima de refuerzo de temperatura se puede calcular utilizando la siguiente fórmula:

$$A_s = \frac{f_t \cdot A_c}{f_y}$$

Donde:

- A_s = Área de acero de refuerzo necesaria
- f_t = Resistencia a tracción del concreto
- A_c = Área de la sección de concreto
- f_y = Esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo

Esta fórmula asegura que el refuerzo proporcionado sea suficiente para absorber las tensiones de tracción y limitar la fisuración.

✓ Consideraciones adicionales en el diseño

Además del refuerzo de temperatura, es importante considerar otros factores que influyen en la fisuración del concreto, como el control de la relación agua/cemento, el uso de aditivos que mejoren la trabajabilidad y disminuyan la retracción, y la implementación de juntas de control en elementos de gran longitud.

El acero de temperatura desempeña un papel crucial en la integridad y durabilidad de las estructuras de concreto armado. Su correcta selección, cuantificación y disposición permiten mitigar las tensiones de tracción inducidas por factores térmicos y otros efectos, limitando la aparición y propagación de fisuras que puedan comprometer la funcionalidad y vida útil de la estructura.

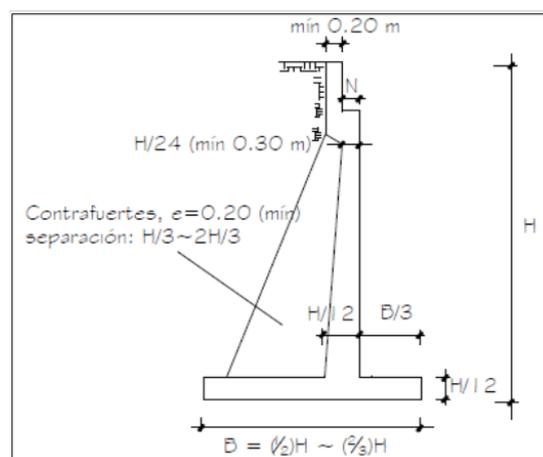
2.2.9. ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA SUBESTRUCTURA

Son construcciones que funcionan como apoyo terminal del puente y, además de resistir las fuerzas de la infraestructura superior, también cumplen con impedir que los rellenos se aproximen y sostener de esta manera la presión ejercida por el terreno (Rodríguez y Torpoco, 2016)

2.2.9.1. PREDIMENSIONAMIENTO DE ESTRIBOS

Figura 15

Cálculo preliminar de estribos



Fuente. (Rodríguez y Torpoco, 2016)

Estas suposiciones permiten a los ingenieros validar la estabilidad de la sección de evaluación del muro durante el proceso de diseño. Si la prueba de estabilidad arroja resultados inesperados, puede editar la sección y volver a realizar la prueba (Rodríguez y Torpoco, 2016).

Cargas de diseño en estribos

En el diseño de estribos para puentes, se deben considerar diversas cargas que afectan la estructura. Estas incluyen:

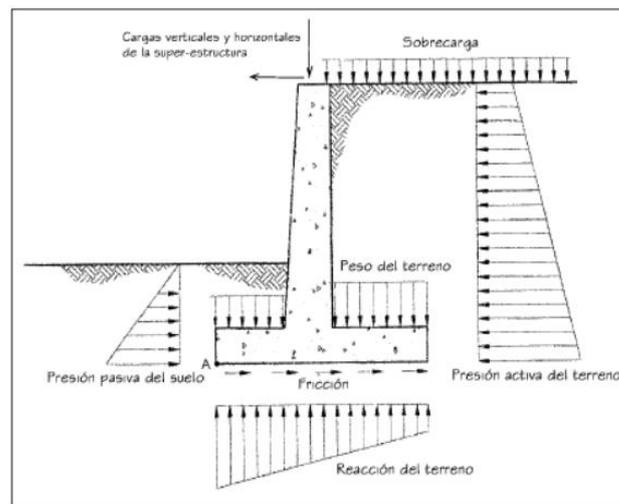
Las cargas verticales, que provienen del peso propio de la superestructura y las cargas vehiculares, y

Las cargas laterales, que son generadas por el movimiento sísmico y la presión del agua en áreas de inundación.

Es esencial realizar un cálculo adecuado de estas solicitaciones para garantizar la estabilidad y resistencia de los estribos, tomando en cuenta factores como las fuerzas inerciales, las cargas de impacto y las combinaciones de carga según las normativas locales e internacionales, como el AASHTO LRFD y otras normas sismorresistentes. Además, el diseño debe incorporar verificaciones de seguridad frente a situaciones de volcamiento y deslizamiento en la cimentación (Rodríguez y Torpoco, 2016)

Figura 16

Cargas Típicas en Estribo



Fuente. (Rodríguez y Torpoco, 2016)

Pilotes

los pilotes son un tipo de cimentación profunda que se utilizan cuando los estratos superficiales de suelo no tienen la capacidad de carga adecuada para soportar la estructura a construir. Este tipo de cimentación transfiere las cargas hacia capas más profundas y resistentes, siendo vital en proyectos donde se enfrentan condiciones geotécnicas complejas, como suelos inestables o blandos. La técnica de pilotes se aplica en situaciones que requieren asegurar una alta capacidad de carga sin comprometer la estabilidad de la estructura (Rodríguez y Torpoco, 2016).

Capacidad geotécnica de pilotes excavados

La capacidad portante de pilotes perforadores se determina de acuerdo con los criterios del MTC. Donde se calculará mediante la fórmula:

$$R_R = \phi_{qp} R_P + \phi_{qs} R_S$$

$$R_P = P_p A_P$$

$$R_S = q_s A_S$$

Donde:

- R_P =Capacidad de carga nominal en la punta.
- R_S =Capacidad de carga nominal por fricción lateral.
- ϕ_{qp} =Coeficiente de disminución para la capacidad de carga por punta.
- ϕ_{qs} =Coeficiente de disminución para la capacidad de carga por fricción.
- q_p =Capacidad de carga de la punta por unidad de superficie.
- q_s =Capacidad de carga por fricción por unidad de superficie.
- A_p =Superficie de la punta del pilote perforado.
- A_s =Superficie lateral del pilote perforado.

2.2.9.2. RESISTENCIA EN SUELOS COHESIVOS

- **Resistencia lateral por fricción**

La resistencia lateral por fricción es la capacidad del suelo para resistir el deslizamiento a lo largo de la superficie lateral de un elemento de cimentación, como un pilote. En suelos cohesivos, esta resistencia se puede estimar mediante diferentes métodos:

Método α : Aplicado en suelos predominantemente arcillosos, este método considera tensiones totales y calcula la fricción superficial unitaria (q_s) como el producto del factor

de adherencia (α) y la resistencia al corte no drenada promedio (S_u) del suelo:

$$q_s = \alpha S_u$$

El factor α depende de la distribución de los estratos y de la resistencia al corte no drenada del suelo.

Método β : Basado en tensiones efectivas, este método es adecuado para arcillas normalmente consolidadas o ligeramente sobreconsolidadas. La fricción superficial unitaria se determina multiplicando el factor de adherencia (β) por la tensión efectiva vertical (σ'_v):

$$q_s = \beta \cdot \sigma'_v$$

Es importante notar que en arcillas muy sobreconsolidadas, el valor de β no debe exceder de 2.

Método λ : También fundamentado en tensiones efectivas, este método se utiliza en suelos arcillosos o cohesivos. La fricción superficial unitaria se calcula como el producto del factor de adherencia (λ) y la suma de la tensión efectiva vertical más dos veces la resistencia al corte no drenada ($\sigma'_v + 2S_u$):

$$q_s = \lambda \cdot (\sigma'_v + 2S_u)$$

Este enfoque se basa en ensayos de carga realizados en pilotes tubulares de acero.

- **Resistencia por punta**

La resistencia por punta es la capacidad del suelo para soportar cargas directamente bajo la base de un elemento de cimentación. En suelos cohesivos, especialmente en arcillas saturadas, la resistencia de punta unitaria (q_p) se estima como

nueve veces la resistencia al corte no drenada (S_u) del suelo circundante a la punta del pilote:

$$q_p = 9 \cdot S_u$$

Esta relación es crucial para determinar la capacidad de carga de pilotes en suelos cohesivos.

- **Ensayos para determinar la resistencia en suelos cohesivos**

Para evaluar la resistencia al corte no drenada (S_u) y otros parámetros relevantes en suelos cohesivos, se utilizan diversos ensayos de campo y laboratorio:

Ensayo de penetración cuasi-estática profunda con cono y cono de fricción: Este método mide la resistencia por punta y la fricción lateral desarrolladas durante la penetración constante y lenta de una barra con punta cónica en el suelo.

Ensayo de compresión no confinada: Este ensayo determina la resistencia a la compresión no confinada de suelos cohesivos en condiciones inalteradas, remodeladas o compactadas, proporcionando un valor aproximado de la resistencia en términos de esfuerzos totales.

Ensayo de corte con veleta de campo: Este método se aplica en suelos cohesivos, blandos y saturados, y es esencial para evaluar la resistencia al corte en condiciones in situ.

Estos ensayos proporcionan datos esenciales para el diseño y análisis de cimentaciones en suelos cohesivos, asegurando la estabilidad y seguridad de las estructuras.

2.2.9.3. RESISTENCIA EN SUELOS NO COHESIVOS

- **Resistencia por fricción lateral**

La capacidad nominal por fricción lateral de pilotes perforados en terrenos cohesivos según el procedimiento β es equivalente a (Tejada García, 2020):

$$q_s = \beta \sigma_v \leq 4.0 \quad \text{si} \quad 0.25 \leq \beta \leq 1.2$$

Para suelos de naturaleza arenosa:

Si $N_{60} \geq 15$:

$$\beta = 1.5 - 0.135 \sqrt{Z}$$

Si $N_{60} < 15$:

$$\beta = \frac{N_{60}}{15} (1.5 - 0.135 \sqrt{Z})$$

Para gravas arenosas

$$\beta = 2.0 - 0.06 (z)^{0.75}$$

Donde:

σ_v = Esfuerzo vertical efectivo en el suelo en la posición central del estrato (Ksf)

β = Factor de transmisión de carga

Z = Profundidad desde la superficie del terreno hasta la posición central del estrato (ft)

N_{60} = Promedio de impactos del SPT ajustado por la eficiencia del martillo

- **Resistencia por punta**

La capacidad nominal de los pilotes por base de pilotes perforados en terrenos no cohesivos es equivalente a (Tejada García, 2020):

$$\text{si: } N_{60} \leq 50, \text{ entonces: } q_p = 1.2 N_{60}$$

El valor de q_p está restringido a un límite de 60 ksf a menos que las pruebas de estrés justifiquen el uso de un valor más alto. Los terrenos no cohesivos con índices de SPT N_{60} superiores a 50 bocanadas/pie deben considerarse geos materiales.

$$q_p = 0.59 \left[\left[N_{60} \left(\frac{P_a}{\sigma_v} \right) \right] \right]^{0.8} \sigma_v$$

Donde:

P_a = Presión atmosférica (2.12 Ksf)

σ_v = Carga vertical efectiva en el terreno en el centro del estrato (Ksf)

2.2.9.4. ASENTAMIENTOS

Los asentamientos en estructuras y suelos se refieren al desplazamiento vertical que ocurre debido a la consolidación, compactación o deformación del material subyacente bajo cargas aplicadas. Estos pueden clasificarse en asentamientos inmediatos, primarios y secundarios, dependiendo del mecanismo de deformación y el tiempo de ocurrencia.

- Asentamiento inmediato: Ocurre inmediatamente después de la aplicación de la carga y se debe principalmente a la deformación elástica del suelo. Se presenta en suelos granulares y en arcillas no saturadas.
- Asentamiento primario: Está asociado con la consolidación del suelo debido a la expulsión del agua intersticial en suelos cohesivos saturados. Es un proceso dependiente del tiempo y se modela comúnmente mediante la teoría de consolidación de Terzaghi.
- Asentamiento secundario: Se debe a la reorganización y deformación plástica de las partículas del suelo después de que la consolidación primaria ha finalizado. Es

característico en suelos orgánicos y arcillas altamente compresibles.

El análisis y control de asentamientos en proyectos de ingeniería civil es crucial para garantizar la estabilidad estructural y la funcionalidad a largo plazo de cimentaciones, pavimentos y obras de infraestructura. Para su estimación, se emplean métodos empíricos, modelos analíticos basados en propiedades del suelo y simulaciones numéricas avanzadas.

- **El asentamiento de la cabeza del pilote es:**

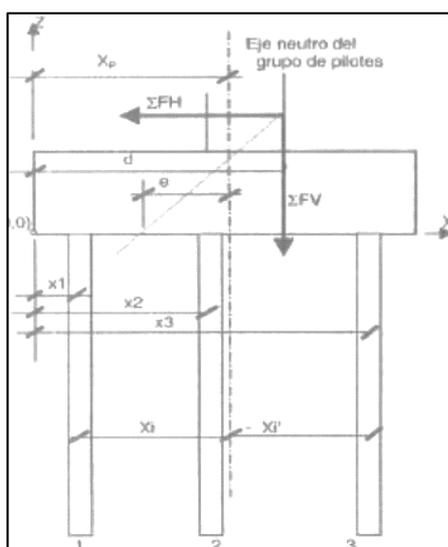
$$St = \frac{B}{100} + \frac{Q_{val} * L}{A_p * E_p}$$

✓ **Diseño de pilotes**

El diseño de pilotes implica la selección y dimensionamiento de elementos estructurales que transmiten las cargas de la superestructura al suelo más resistente en profundidad (Tejada García, 2020).

Figura 17

Cargas Verticales en Pilotes



Fuente. (Tejada García, 2020)

$$X_P = \frac{\sum X_n}{n}$$

$$V_i = \frac{\sum F_v + \sum F_{vex}}{n + \sum x^2}$$

$$d = \frac{(\sum M_r - \sum M_v)}{\sum F_v}$$

$$e = d - XP$$

El diseño de pilotes constituye un proceso fundamental en la ingeniería de cimentaciones profundas, utilizado para transmitir las cargas de las estructuras a estratos más resistentes del subsuelo, especialmente en terrenos de baja capacidad portante. Este diseño considera aspectos como el tipo de suelo, el material del pilote (concreto, acero o madera), la interacción entre el pilote y el terreno, y las cargas a las que será sometido, sean estáticas o dinámicas (Tejada García, 2020).

2.2.10.DISEÑO DE BARANDAS

El diseño de barandas en puentes y estructuras viales es un aspecto fundamental de la seguridad vial, regulado por normativas como las establecidas por la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) y el Manual de Carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC, 2016). Su función principal es brindar protección a los usuarios de la vía, tanto conductores como peatones, evitando caídas desde la estructura y minimizando el riesgo de accidentes.

Tipos de Barandas y su Funcionalidad

Las barandas pueden clasificarse en función de su resistencia, propósito y ubicación dentro de la infraestructura vial:

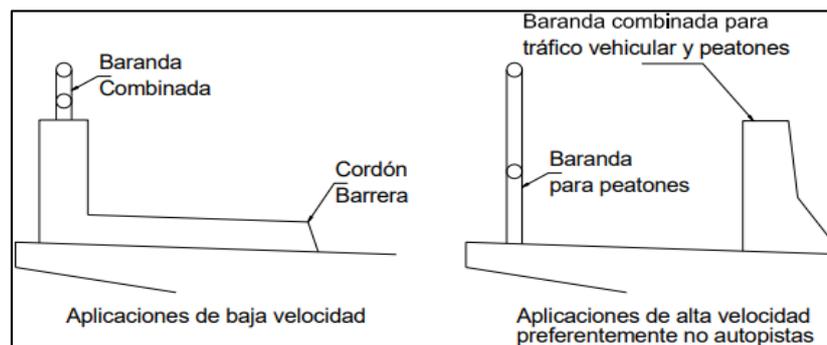
- Barandas para vehículos: Diseñadas para resistir impactos de vehículos en movimiento y redirigirlos de manera segura. Estas deben cumplir con criterios de deformabilidad, resistencia y continuidad estructural.

- Barandas peatonales: Implementadas en puentes y pasos peatonales con el objetivo de proteger a los transeúntes. Deben garantizar la contención adecuada y cumplir con requisitos ergonómicos.
- Barandas mixtas: Incorporan características tanto de protección vehicular como peatonal, utilizadas en puentes urbanos con tránsito mixto.
- Balaustradas o bordillos con cercado: Utilizados principalmente en entornos urbanos para delimitar aceras de las vías vehiculares, aportando seguridad sin afectar la estética del entorno.

Según las normas establecidas por AASHTO, las barandas se instalan en los extremos de la estructura con el propósito de proteger tanto a los conductores como a los peatones. Para delimitar las aceras de las vías vehiculares, se pueden emplear elementos como bordillos con cercado, barandas diseñadas para vehículos o balaustradas incorporadas, como se observa en la imagen (MTC, 2016).

Figura 18

Tipos de barandas



Fuente. (MTC, 2016)

2.2.11.REQUISITOS GENERALES

En el diseño de puentes, conforme a la normativa AASHTO bajo el enfoque LRFD, las barreras de tráfico tienen como finalidad principal gestionar y encauzar el tránsito vehicular de forma eficiente. Para ello, todas las barreras de tráfico de nueva implementación, incluidas las

barandas compuestas, deben cumplir con requisitos estructurales y geométricos uniformes. Es crucial prestar especial atención a los siguientes aspectos:

- Protege a los ocupantes de chocar contra barreras.
- Proteger otros vehículos cerca del lugar del accidente.
- Protección de personas y propiedades en caminos bajo estructuras.
- Posible actualización futura de pasamanos.

2.2.11.1. CORDÓN Y VEREDA

La normativa AASHTO indica que el bordillo debe ir acompañado por una acera con un ancho de 1,20 m o superior cuando no exista una barrera adicional que divida la vía vehicular de los peatones. El bordillo en un puente logra emplearse bajo las siguientes condiciones: como delimitador único entre el pavimento y la calzada, siempre que la velocidad máxima permitida no exceda los 70 km/h; cuando se presente una cuerda en el acceso al puente; o cuando sea necesario retener el agua de lluvia que fluye desde el borde de la estructura (MTC, 2016)

2.2.12. DEL MISMO MODO, LA ESPECIFICACIÓN AASHTO DEFINE EL USO DE DIFERENTES TIPOS DE REFUGIOS:

Establece especificaciones detalladas para diversos elementos de infraestructura vial, incluyendo el diseño de puentes peatonales y barreras de seguridad. Aunque en las fuentes consultadas no se mencionan específicamente "refugios", es relevante destacar las especificaciones relacionadas con barreras tipo New Jersey, que cumplen funciones de seguridad similares (MTC, 2016).

2.2.12.1. BARRERAS TIPO NEW JERSEY SEGÚN AASHTO

Las barreras tipo New Jersey son dispositivos de seguridad vial diseñados para contener y redirigir vehículos que se desvían

de la calzada, minimizando daños y mejorando la seguridad en las carreteras. La Norma Técnica Peruana 339.222:2008, que adopta las directrices de AASHTO, describe tres perfiles basados en la barrera New Jersey: el tradicional, el perfil F y el perfil mejorado (MTC, 2016).

2.2.12.2. PERFIL GEOMÉTRICO DE LA BARRERA NEW JERSEY

El diseño de la barrera New Jersey se compone de tres tramos, cada uno con funciones específicas en su comportamiento durante un impacto vehicular:

Tramo inferior: Es un plano vertical con una altura de 75 ± 10 mm desde el nivel del pavimento. Este tramo inicial ayuda a frenar y alinear el vehículo al inicio del impacto.

Tramo intermedio: Ubicado inmediatamente sobre el tramo vertical, tiene una inclinación de 55° respecto a la horizontal, con proyecciones de 250 mm en la vertical y 175 mm en la horizontal. Este tramo eleva la rueda del vehículo, absorbiendo energía y reduciendo el riesgo de vuelco.

Tramo superior: Con una inclinación de 84° respecto a la horizontal, este tramo se extiende hasta alcanzar una altura total de 800 mm desde el nivel del pavimento. Completa el proceso de redirección del vehículo de vuelta al carril (MTC, 2016).

2.2.12.3. COMPORTAMIENTO DURANTE EL IMPACTO

Durante una colisión, la rueda frontal del vehículo contacta primero con el tramo vertical, lo que ayuda a frenar y realinear el vehículo. A medida que la rueda asciende por el tramo inclinado de 55° , el vehículo se eleva hasta 260 mm por encima de la calzada, absorbiendo energía y reduciendo el riesgo de vuelco. Si la velocidad y el ángulo de impacto son elevados, la rueda puede contactar con el tramo superior casi vertical, completando la

desaceleración y redirigiendo el vehículo al carril adyacente, paralelo a la barrera (MTC, 2016).

2.2.12.4. IMPORTANCIA DE LAS ESPECIFICACIONES AASHTO EN EL DISEÑO DE BARRERAS

Las especificaciones de AASHTO proporcionan directrices claras para el diseño y construcción de barreras de seguridad, asegurando que cumplan con los estándares necesarios para proteger a los usuarios de las vías. Estas especificaciones consideran factores como la geometría de la barrera, los materiales utilizados y el comportamiento esperado durante diferentes escenarios de impacto, garantizando así la eficacia y seguridad de las infraestructuras viales. (MTC, 2016).

2.2.12.5. ESPECIFICACIONES SEGÚN LA AASHTO:

- La elevación mínima medida desde la capa de rodadura debe ser de 0,510 metros.
- El material utilizado puede ser hormigón, metal o una mezcla de ambos.
- Debe incorporar un diseño con un espaciado reducido entre los postes y uniones abiertas.
- El componente más bajo debe estar situado a 0,38 metros sobre el nivel de la acera.
- Debe estar diseñado para soportar las cargas establecidas en los parámetros técnicos.

2.2.12.6. PASARELA

- **Geometría La especificación AASHTO**

La AASHTO proporciona lineamientos detallados para el diseño geométrico de pasarelas peatonales, abarcando aspectos como el ancho mínimo, la altura libre y las pendientes. Aunque las especificaciones exactas pueden

variar según la edición y las condiciones locales, generalmente se consideran los siguientes parámetros:

Ancho mínimo: Se recomienda un ancho mínimo que permita el paso cómodo y seguro de los peatones, considerando también posibles usuarios como ciclistas o personas con movilidad reducida.

Altura libre: Es esencial garantizar una altura libre adecuada para evitar colisiones con vehículos o trenes que pasen por debajo de la pasarela.

Pendientes: Las rampas de acceso deben diseñarse con pendientes que faciliten el tránsito de todos los usuarios, cumpliendo con normativas de accesibilidad (MTC, 2016)

- **Cargas de diseño según la AASHTO**

El diseño estructural de las pasarelas peatonales debe considerar diversas cargas para asegurar su resistencia y durabilidad. Según las especificaciones de la AASHTO, se contemplan las siguientes cargas principales:

Carga peatonal: Se aplica una carga uniforme sobre la superficie de la pasarela para representar el peso de los peatones. La AASHTO especifica una carga viva de 0.0041 MPa (aproximadamente 4.1 kN/m²) para puentes utilizados exclusivamente por peatones y/o ciclistas.

Carga de viento: Las pasarelas deben diseñarse para resistir las fuerzas horizontales inducidas por el viento. Para estructuras como armaduras y arcos, la AASHTO recomienda considerar una carga de viento de 75 psf (aproximadamente 3.59 kN/m²).

Carga de vehículos de mantenimiento: Si se prevé el uso de vehículos de mantenimiento en la pasarela, es necesario incluir su efecto en el diseño estructural.

Cargas sísmicas: En zonas sísmicas, se deben considerar las fuerzas inducidas por terremotos según las especificaciones de la AASHTO. (MTC, 2016)

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

Acero Pretensado: Es un elemento empleado en estructuras de concreto reforzado, sometido previamente a esfuerzos de compresión mediante cables o tendones tensados, mejorando su resistencia a cargas y deformaciones. (MTC, 2016)

Apoyos: Son los recursos por medio de los cuales se transmite las cargas a los estribos son los más comunes del soporte de caucho sintético, incluye un caucho sintético con láminas de acero que cubren un material elástico, también se bloquea de nuevo al movimiento vertical. (MTC, 2016)

Cables: Un cable consta de uno o más cables y es la parte principal de carga de los puentes atirantados y los puentes de extradición. Cumplen la función de soportar la rigidez longitudinal del tablero, especialmente las vigas. (MTC, 2016)

Concreto Presforzado: Concreto en el que se han introducido los esfuerzos internos de dicha intensidad y distribución que los esfuerzos de los resultados debidos a los cargos externos están amenazados con el nivel deseado. (MTC, 2016)

Estribos: Tiras ubicadas al final del puente que sostiene los terraplenes que llevan al puente, recibieron además de la estructura superior del empuje de la tierra de los campos terrazas, también funcionan como una pared limitada. (MTC, 2016)

Tablero: Soporte directo en una carga dinámica (guardar la cantidad) y en la armadura. Transmitiendo su estrés a las áreas y las torres, simultáneamente llegar estas cargas a la Fundación. (MTC, 2016)

Torres: Son estructuras verticales diseñadas para diversos propósitos, como telecomunicaciones, transmisión eléctrica o soporte de puentes, caracterizadas por su altura y estabilidad, adaptadas a condiciones ambientales y cargas específicas. (MTC, 2016)

Superestructura: La parte horizontal de la estructura donde se desplaza la acción de las cargas y está compuesta por pisos, vigas longitudinales y transversales, pavimento, asfalto y otros. (MTC, 2016)

Subestructura: Es la parte de una construcción ubicada por debajo del nivel del suelo, encargada de transmitir cargas al terreno, incluyendo cimentaciones, pilotes, estribos y elementos de contención para garantizar estabilidad estructural. (MTC, 2016)

2.4. HIPÓTESIS

Hi: La implementación de un diseño estructural optimizado fortalece tanto la superestructura como la subestructura de un puente tipo losa de 12 m de luz, ubicado en el centro poblado Llicua, Amarilis-Huánuco - 2022.

H0: La implementación de un diseño estructural optimizado no fortalece tanto la superestructura como la subestructura de un puente tipo losa de 12 m de luz, ubicado en el centro poblado Llicua, Amarilis-Huánuco - 2022.

2.5. VARIABLES

2.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE

Puente Losa.

2.5.2. VARIABLE INDEPENDIENTE

Diseño estructural.

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES (DIMENSIONES E INDICADORES)

Tabla 5

Operacionalización de variables

VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADOR	TIPO DE VARIABLE	ESCALA DE MEDICIÓN
V. independiente Diseño estructural	Metrado de cargas	<ul style="list-style-type: none"> • Carga viva • Carga muerta • Cargas de impacto 	Cuantitativa.	Discreta
	Diseño de la superestructura	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño de la franja • Refuerzo principal • Acero por temperatura 		
	Diseño de la subestructura	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño de estribos • Empuje activo • Empuje pasivo 		
V. dependientes Puente Losa	Propiedades del puente	<ul style="list-style-type: none"> • Luz del puente • Ancho del puente • Ubicación del puente • Capacidad portante 	Cuantitativa.	Discreta.

CAPITULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. ENFOQUE

La presente tesis presentará un enfoque cuantitativo ya que los resultados obtenidos del análisis y diseño estructural del puente tipo losa según el manual de puentes son cuantificables numéricamente.

3.1.2. ALCANCE O NIVEL

La presente tesis presentará un alcance o nivel correlacional, ya que se describirá y evaluará las variables como las propiedades físicas del suelo, características de los materiales, levantamiento topográfico entre otros conjuntos de datos con la finalidad de relacionarlos para realizar el diseño del puente tipo losa.

3.1.3. DISEÑO

La presente tesis presentará un diseño no experimental, pues no se puede manipular o altera las condiciones y/o fórmulas que se proponen en el Manual de puentes.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. POBLACIÓN

La presente tesis se consideró como población a todos los puentes tipo losa ubicado en el distrito de Amarilis - Huánuco -2022.

3.2.2. MUESTRA

La presente tesis se consideró como muestra al puente tipo losa ubicado en el centro poblado la Llicua, en el distrito Amarilis - Huánuco - 2022.

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS.

3.3.1. PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

Técnicas: Inicialmente, Para conseguir información se comenzará con la visualización de los registros originales, el análisis de la documentación bibliográfica y el tratamiento de la información. Luego de realizará el reconocimiento del lugar donde se planteará el puente, para poder identificar las características físicas del terreno. Para realizar este proceso sobre las propiedades del terreno, se utilizará la normativa E050.

Tabla 6

Ensayo geotécnico

ENSAYO	NORMA APLICABLE	PROPÓSITO DEL ENSAYO
Contenido de humedad	NTP 339.127	Establecer el nivel de humedad natural en suelos y materiales agregados
Análisis granulométrico	NTP 339.128	Identificar la distribución del tamaño de las partículas del suelo
Límite líquido	NTP 339.129	Determinar el contenido de agua en los diferentes estados del suelo
Límite plástico	NTP 339.129	Determinar el contenido de agua en los diferentes estados del suelo
Peso específico relativo de sólidos en el suelo	NTP 339.131	Calcular el peso específico relativo de las partículas sólidas de un suelo
Corte directo	NTP 339.171	Evaluar la resistencia al corte de una muestra consolidada y drenada, para obtener la cohesión y el ángulo de fricción interna del suelo

Fuente. (RNE, 2019)

Instrumentos: Los métodos empleados para reunir datos en este estudio son los siguientes:

Los Material bibliográfico utilizados fueron:

- Norma nacional de edificaciones.

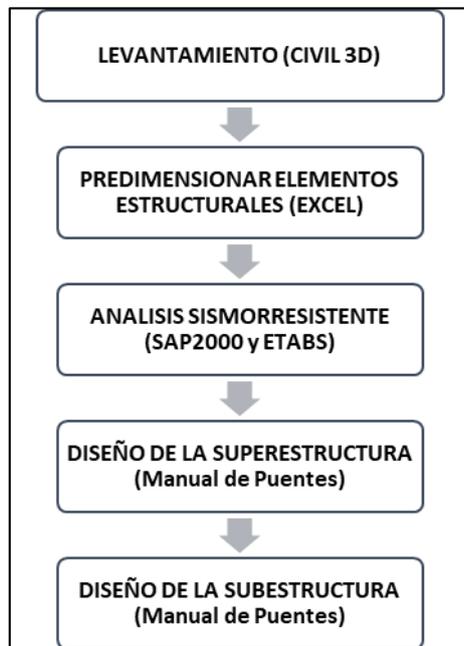
- Guía de diseño de puentes.
- Estudio de mecánica de suelos.

3.3.2. PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS

Para la presentación de la información requerida para la realización de la presente investigación, se deben considerar los siguientes aspectos: el plano de ubicación y el levantamiento topográfico se elaborarán utilizando el programa CIVIL 3D. Para la predimensión de los componentes constructivos que intervendrán en la edificación, se utilizará una hoja de cálculo en Excel con los criterios definidos por diversos autores. El análisis estructural del puente de tipo losa se realizará con base en el manual de puentes, y finalmente, todos los componentes estructurales se representarán en planos generados en AUTOCAD, incluyendo la disposición del acero positivo y negativo, estribos, entre otros detalles.

Figura 19

Para la presentación de datos



Nota. En la imagen previa se observa el procedimiento que se empleara la presentación de datos de la presente tesis.

3.3.3. PARA EL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS

La investigación trata sobre el diseño estructural de un puente de tipo losa con una luz de 12 m, situado en el centro poblado de Llicua, Amarilis - Huánuco - 2022.

Se utilizó como referencia un puente temporal autoconstruido existente en el área, el cual no cumple con los requisitos fundamentales de planificación. Para ello, inicialmente se realizó un análisis de las propiedades del entorno, como la investigación geotécnica, la topografía, la operatividad, entre otros aspectos. Con estos criterios, se determinará el tipo de puente que se requiere en la zona. Considerando esto, se comenzó el predimensionamiento del puente, teniendo en cuenta la luz y el ancho del mismo. Con estos datos predimensionados, se procederá a realizar la evaluación estructural y, posteriormente, la planificación con los valores optimizados, tomando en cuenta una carga de diseño HL-93.

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS

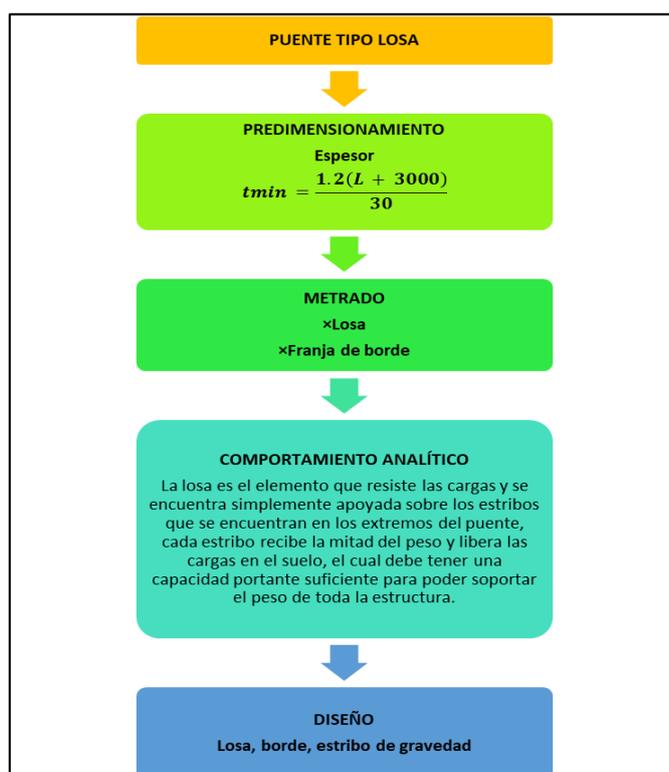
4.1.1. IDENTIFICAR EL LUGAR DE ESTUDIO

El puente de losa proyectado se ubica en el centro de la población de Llicua, Amarilis, Huánuco, este canal tiene 12 metros de ancho y 2.55 metros de alto de abajo hacia arriba. Otra característica de este lugar es que su terreno tiene una pendiente de menos del 8%. Los meses más lluviosos en la zona corresponden a diciembre, enero, febrero y marzo, y hay flujo de agua porque la zona es impermeable a causa de su composición arcillosa.

4.1.2. PROCESO DE DISEÑO DEL PUENTE TIPO LOSA

Figura 20

Procedimiento de planificación de la estructura de losa.



Nota. En la imagen previa se observa el proceso que se empleó para el diseño del puente tipo losa.

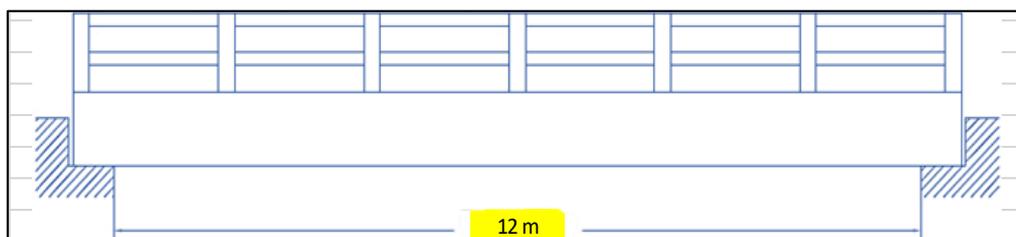
4.1.3. GEOMETRÍA DEL PUENTE TIPO LOSA

La tesis tendrá la siguiente geometría como se muestra en la figura.

- Longitud total del puente: 12 m
- Cantidad de carriles: 2
- Ancho de la acera: 0.90 m

Figura 21

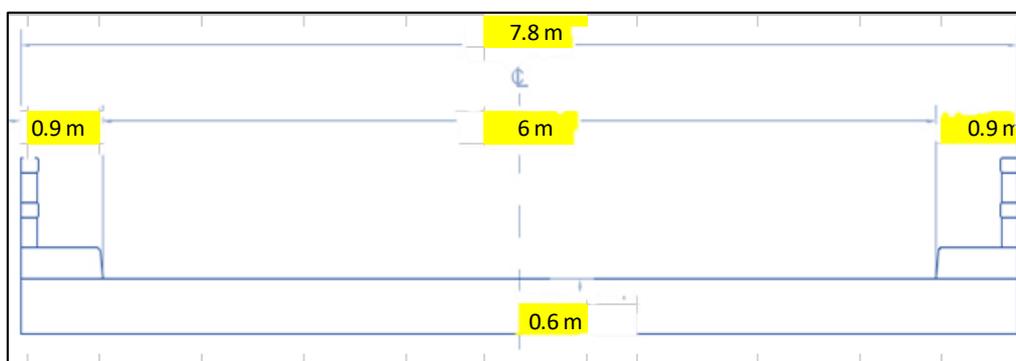
Perspectiva longitudinal de la estructura del puente.



Nota. De la imagen anterior se aprecia la perspectiva longitudinal del puente con el proposito de diseño del puente tipo losa.

Figura 22

Vista transversal del puente



Nota. De la imagen anterior se aprecia la perspectiva longitudinal del puente con el proposito de diseño del puente tipo losa.

4.1.4. MATERIALES PARA EL PUENTE TIPO LOSA

Para llevar a cabo el estudio de esta investigación, se consideraron los materiales especificados a continuación, los cuales tendrán definidas sus características físicas para la evaluación y la planificación de la estructura de losa.

Espesor de la carpeta asfáltica: 0.05 m

Módulo de elasticidad (E_c): 20000 Mpa

Resistencia a la compresión del concreto (f'_c): 280 Kg/cm²

Esfuerzo de fluencia del acero (f'_y): 4200 Kg/cm²

4.1.5. PREDIMENSIONAMIENTO PUENTE TIPO LOSA

En el cálculo preliminar del puente se tendrá en cuenta la fórmula que nos indica el manual de puentes el cual es el siguiente:

$$t_{\min} = \frac{1.2(L+3)}{30}$$

Donde tenemos que la longitud del puente es de 12 metros (120 cm) y reemplazando en la anterior fórmula tenemos:

$$t_{\min} = \frac{1.2(12+3)}{30} = 0.6 \text{ m} < 60 \text{ cm}$$

Se tendrá como espesor previo una losa de 60 cm.

4.1.6. METRADO DE CARGAS

Es una actividad esencial dentro del ámbito de la ingeniería civil y la construcción, utilizada para cuantificar y detallar las fuerzas que deben considerarse en la planificación estructural de un proyecto. Este proceso abarca tanto las cargas permanentes, como las cargas variables, accidentales y ambientales, que podrían actuar sobre una estructura durante su período de servicio. Según las normativas peruanas, el metrado de cargas debe seguir con los estándares del RNE, que establece criterios claros para la identificación, clasificación y aplicación de cargas, asegurando la seguridad y funcionalidad de las edificaciones (Ministerio de Vivienda, 2018).

Carga Muerta o Permanente: Se refiere al peso propio de todos los elementos estructurales y no estructurales permanentes de una edificación o infraestructura. Incluye materiales como concreto, acero, ladrillos, techos, acabados, divisiones fijas y cualquier componente que sea parte integral de la construcción y no cambie con el tiempo.

Carga Viva o Sobrecarga: Son las cargas temporales o móviles que actúan sobre la estructura debido al uso y ocupación de la misma. Estas cargas incluyen personas, muebles, equipos y vehículos (en el caso de puentes o estacionamientos).

Carga de Impacto: Es un tipo especial de carga dinámica generada por movimientos rápidos, golpes, vibraciones o choques de elementos externos o internos contra la estructura. Estas cargas suelen ser más altas que las estáticas debido al efecto instantáneo de las fuerzas aplicadas.

4.1.7. ANÁLISIS ESTRUCTURAL

En este punto calculara la carga de falla y en base a estos resultados diseñar los elementos estructurales a resistir. Un punto a tener en el análisis de puentes de tablero es que su estructura actúa como una superficie rígida en una de sus caras, y con el fin de facilitar el análisis, se modela como una construcción estática para calcular los instantes y las tensiones cortantes en una placa inflexible.

Tabla 7

Momentos en la zona central y en el extremo del tramo

FRANJA INTERIOR (tablero)	FRANJA DE BORDE
CARGA MUERTA:	CARGA MUERTA:
$MDC = \frac{WDC \times L^2}{8}$	$MDC = \frac{WDC \times L^2}{8}$
Mlosa= 25.919 T-m	Mlosa= 35.639 T-m
CARGA DE RODADURA:	CARGA DE RODADURA:
$Masf = \frac{Wasf \times L^2}{8}$	$Masf = \frac{Wasf \times L^2}{8}$
Masf= 2.030 T-m	Masf= 0.9099 T-m
CARGA VIVA:	CARGA VIVA:
$M_{LL+IM}=99.2296$	$MLL+IM = \left(\frac{M_{max_s}}{2} \times 1.33 \right) + (M_{carril} \times \left(\frac{S_{tp} + \frac{E_{bord}}{2}}{bcarril} \right))$
Ancho critico=3.2596	
$M_{LL+IM} = \frac{M_{LL+IM}}{E}$	
$M_{LL+IM} = 30.43956 \text{ T-m/m}$	
	Eborde
	MLL+IM= 24.9812 T-m

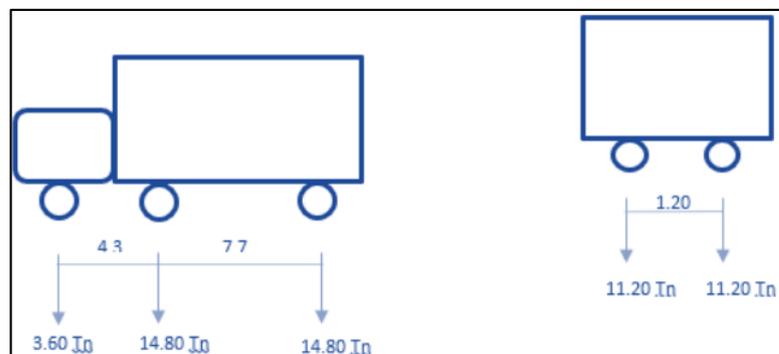
Nota. Para la imagen previa se aprecia el cálculo de los momentos de la zona central y en el borde para el diseño del puente losa.

En la guía de estructuras viales y en libro de Puentes Con AASHTO-LRFD 2014 se menciona las características que se debe tener en cuenta para el tándem y camión de diseño, como nos indica estas bibliografías ahora coloraremos cargas y distancias de vehículos de construcción seguido de Determinar estático y, por lo tanto, Determinar de momentos de pandeo.

4.1.7.1. CARGA DEL CAMIÓN

Figura 23

Camión HL-93 y Tándem de diseño



Nota. En la imagen previa se visualiza las pesos del Camión HL-93 y Tándem de diseño utilizadas en el cálculo estructural del puente de losa.

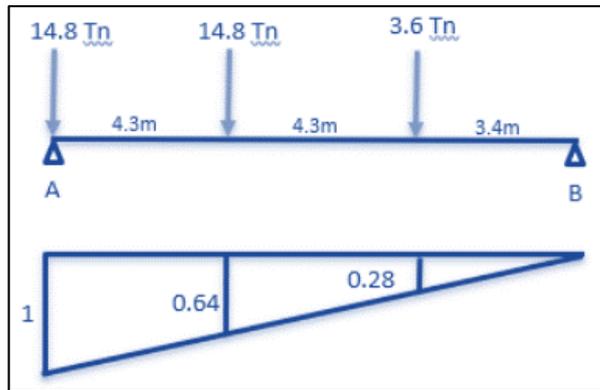
Nota. La carga total de la anterior figura es de:

P total: 33.200 Tn P total: 22.400 Tn

La cortante máxima se realizará utilizando el procedimiento de influencia, tal como se ilustra en las siguientes figuras, donde se trabaja con una carga móvil unitaria, la cual descenderá de manera proporcional a la distancia.

Figura 24

Línea de influencia por vehículo de diseño



Nota. En la figura previa se visualiza la línea de influencia por vehículo de diseño para el diseño del puente tipo losa.

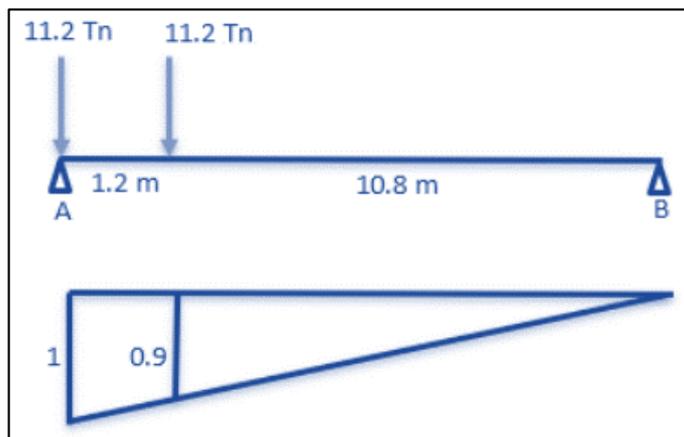
Va: fuerza cortante en A

$$Va = 14.8Tn \times 1 + 14.8Tn \times 0.64 + 3.6 Tn \times 0.28$$

$$Va = 25.3192 Tn$$

Figura 25

Línea de influencia por tándem de diseño



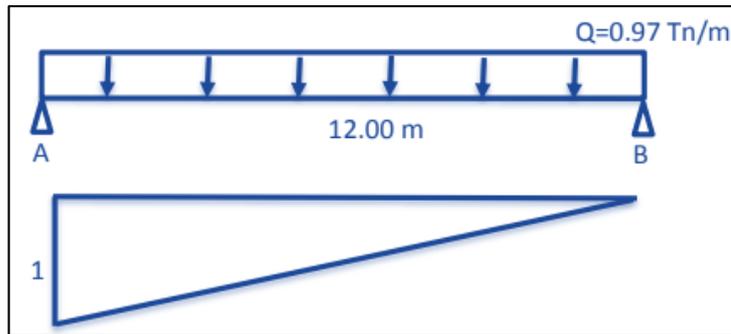
Nota. En la imagen anterior se visualiza la línea de influencia por tándem de diseño para el diseño del puente tipo losa.

$$Va = 11.2Tn \times 1 + 11.2Tn \times 0.9$$

$$Va = 21.28 Tn$$

Figura 26

Línea de influencia por carga de carril



Nota. En la imagen anterior se visualiza la línea de influencia por carga de carril para el diseño del puente tipo losa.

Debido a que la cortante es igual en ambos apoyos, la reacción será el producto dividido entre dos.

$$V_a = 0.97 \frac{Tn}{m} \times 12m$$

$$V_a = 5.82 Tn$$

- **Por camión de diseño**

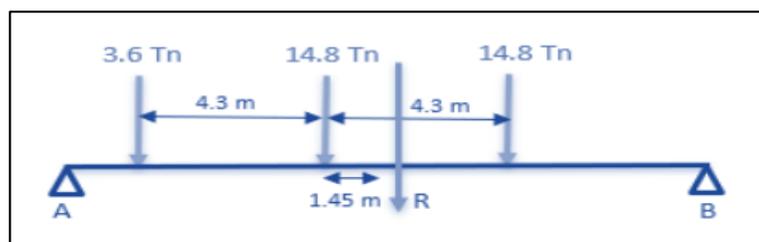
El modelo de carga HL-93 se ubica a una distancia x , donde el momento óptimo ocurre a la misma separación x , y su cálculo se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$X(3.6Tn + 14.8Tn + 14.8Tn) = 4.3m(14.8Tn) + 8.60m \times (3.6Tn)$$

$$x = 2.8498 m$$

Figura 27

Distancia de Momento máximo por camión de referencia



Nota. En la figura previa se visualiza la Distancia de la máxima influencia del momento generado por el vehículo de carga estándar en el proceso de dimensionamiento del puente tipo losa.

$$X = \frac{L-e}{2}$$

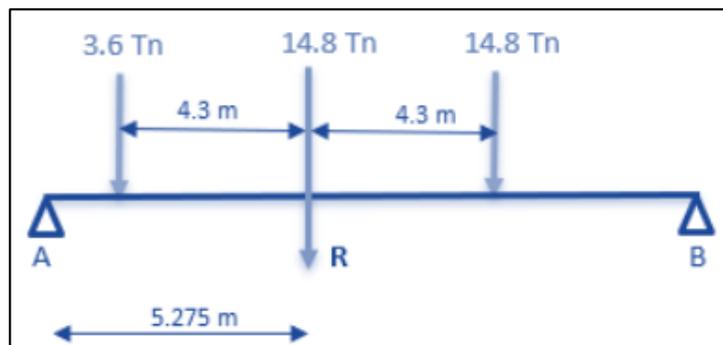
$$X = \frac{11.45}{2}$$

$$X = 5.275\text{m}$$

Tras determinar la separación en la que se origina la máxima flexión, se continúa con la estimación de dicha magnitud.

Figura 28

Resultante de Momento máximo por camión de diseño

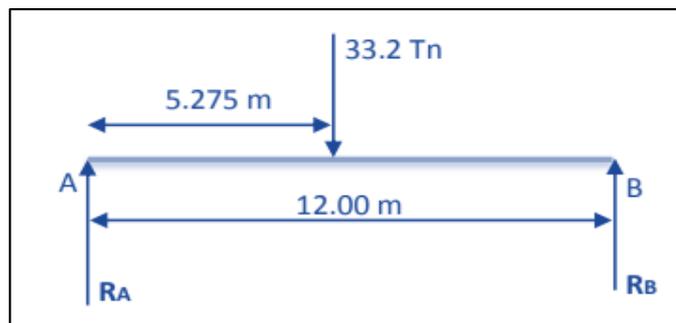


Nota. En la figura previa se visualiza la Resultante de Momento máximo por camión para el diseño del puente tipo losa.

Determinación de las respuestas en los soportes A y B, se agregan las tres respuestas de las llantas del vehículo.

Figura 29

Reacción de Momento máximo por camión



Nota. En la imagen anterior se visualiza la Reacción de Momento máximo por camión en el dimensionamiento del puente losa.

Se tomará momento en A.

$$(33.2\text{Tn}) \times (5.275\text{m}) = \text{RB} \times (12.00\text{m})$$

$$\text{RB} = 18.61 \text{ Tn}$$

Equivalencia de la adición de las fuerzas, y se sustituye el valor de RB, en la próxima fórmula:

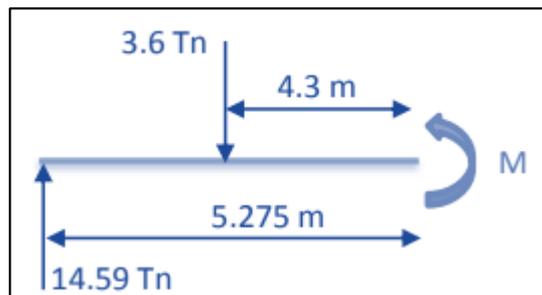
$$RA + RB = 33.2 \text{ Tn}$$

$$RA = 14.59 \text{ Tn}$$

Posteriormente se determina el instante en la separación de 5.275 m.

Figura 30

Momento máximo por camión



Nota. En la imagen previa se observa el Momento máximo por camión para el diseño del puente tipo losa.

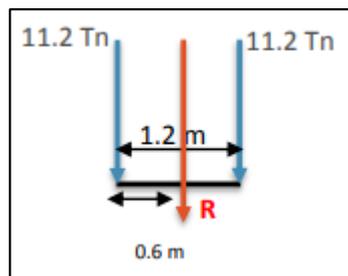
$$14.59 \times (5.275 \text{ m}) = (3.6 \text{ Tn}) \times (4.3 \text{ m}) + M$$

$$M = 61.48 \text{ Tn} \times \text{m}$$

- **Por tándem de diseño (momento máximo)**

Figura 31

Momento máximo por tándem de diseño



Nota. En la imagen anterior se visualiza el Momento máximo por tándem de diseño para el diseño del puente tipo losa.

$$X = \frac{L-e}{2}$$

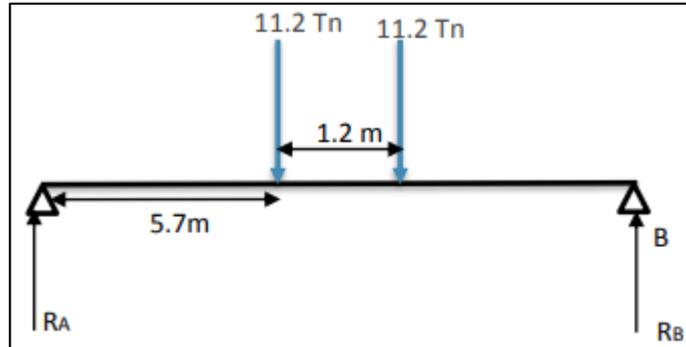
$$X = \frac{12-0.60}{2}$$

$$X = 5.700 \text{ m}$$

En este momento se posiciona el peso a 5.7 m y se determina las respuestas en los soportes A y B, se agregan las 3 respuestas de las llantas del vehículo.

Figura 32

Reacciones por tándem



Nota. Para la figura anterior se visualiza las reacciones por tándem en el dimensionamiento del puente tipo losa.

Se considera momento en A

$$(5.7 \text{ m}) \times (11.2 \text{ Tn}) + (5.7 \text{ m}) \times (1.2 \text{ m}) \times (11.2 \text{ Tn}) = R_B$$

X 12

$$R_B = 11.76 \text{ Tn}$$

Igualdad de la suma de las fuerzas, y se reemplaza el valor R_B , en la siguiente ecuación

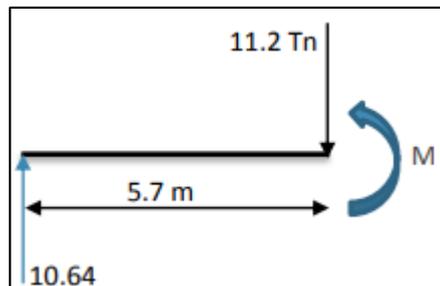
$$11.2 \text{ Tn} + 11.2 \text{ Tn} = R_A + 11.76 \text{ Tn}$$

$$R_A = 10.64 \text{ Tn}$$

Posteriormente, se determina la flexión a la separación de 5.7 m, representando el máximo momento.

Figura 33

Momento a 5.7 m por tándem



Nota. En la imagen previa se observa el momento a 5.7 m por tándem para el diseño del puente tipo losa.

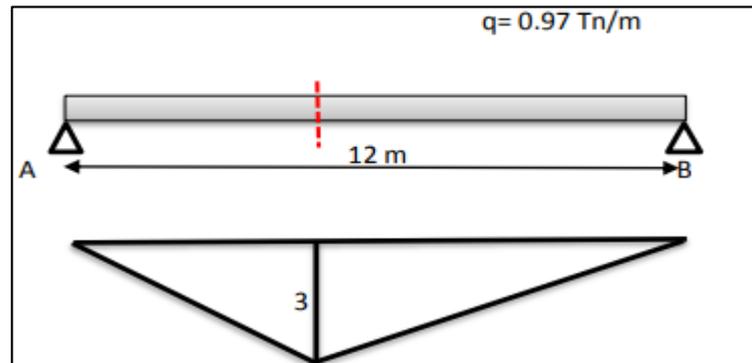
$$10.64 \times (5.7 \text{ m}) = M$$

$$M = 60.648 \text{ Tn} \times \text{m}$$

Debido a que el momento es igual en ambos apoyos, el momento será de la multiplicación del esfuerzo por la luz y el valor de la magnitud del móvil.

Figura 34

Momento máximo por tándem de diseño



Nota. En la imagen anterior se visualiza el Momento máximo por tándem de diseño para el diseño del puente tipo losa.

$$M_{\text{carril}} = 17.46 \text{ Tn} \times \text{m}$$

Se selecciona el instante determinante (por ser precautorio) entre el conjunto de diseño y el vehículo de diseño agregado, al cual se le aplica un 33% adicional debido a la potencia de colisión más el instante de la vía. Este valor será igual en ambas situaciones de la estructura.

$$MLL = (61.48 \text{ T} \cdot \text{m}) \times 1.33 + 17.46 \text{ Tn} \times \text{m}$$

$$MLL = 99.23 \text{ T} \cdot \text{m}$$

Antes de iniciar el diseño, es fundamental determinar el ancho de vía efectivo, que representa la separación disminuida influenciada por el peso de las ruedas del vehículo. Se asume que los esfuerzos longitudinales se distribuyen de manera uniforme y que generan una fuerza resultante equivalente. Para calcularlo, se consideran dos condiciones:

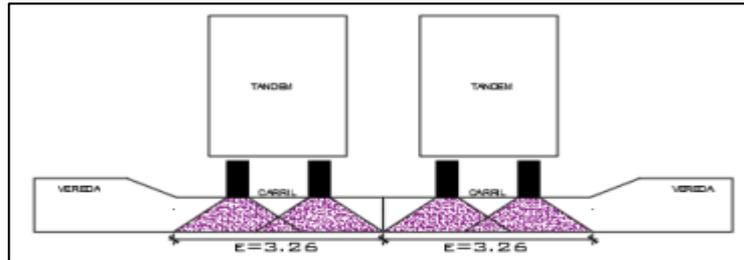
Condición 1: La medida útil para dos vías se determina colocando un tándem simultáneamente en ambos carriles, lo que permite evaluar la amplitud efectiva.

$$E = 2100 + 0.12 \times \sqrt{12000 \times 7800} \leq \frac{7200}{2}$$

$$E = 3.26 \text{ m} \leq 3.90 \text{ m}$$

Figura 35

Amplitud efectiva del tándem



Nota. En la imagen anterior se visualiza ancho efectivo del tándem de diseño para el diseño del puente tipo losa.

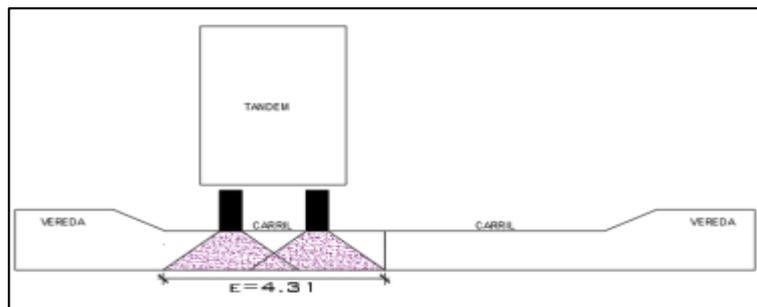
Condición 2: extensión útil en la situación de una vía, se colocó un tándem en una vía y la otra desocupada para establecer la anchura útil.

$$E = 250 + 0.42 \times \sqrt{12000 \times 7800}$$

$$E = 4313.38 \text{ mm} = 4.31 \text{ m}$$

Figura 36

Amplitud efectiva del tándem



Nota. En la imagen previa se observa Ancho efectivo del tándem de diseño en el dimensionamiento de la estructura de puente losa.

Elegiremos el ancho efectivo más crítico, es decir trabajaremos con un ancho efectivo de 3.26 m

4.1.7.2. ANCHO DE BORDE

STP=0.3 varía según la clase de estructura, para esta situación puente losa contamos con:

$$E = 3.26$$

$$E_{\text{borde}} = 0.9 + 0.3 + \frac{3.26}{4} \leq 3.26/2 \text{ o } 1.80 \text{ como máximo.}$$

$$E = 2.02 \text{ m} \geq 1.63 \text{ m}$$

A continuación, se detallará en una tabla todas las combinaciones de cargas afectar por un Factor para mayoración.

Tabla 8

Momento de banda I

CARGA	M(+) T- m	Yp (Factor para carga)		
		Resist. I	Serv. I	Fatiga
DC	25.92	1.25	1	0
DW	2.03	1.5	1	0
LL+IM	30.42	1.75	1	0.75

Nota. En la tabla anterior se visualiza los Momentos de franja Interna para el diseño de estructura de losa.

$$M_u = 1.25 \times MDC + 1.50 \times MDW + 1.75 \times MLL+IM$$

$$M_u = 88.6888 \text{ T-m}$$

Tabla 9

Momento de banda limite

CARGA	M(+) T- m	Yp (Factor para carga)		
		Resist. I	Serv. I	Fatiga
DC	32.55	1.25	1	0
DW	0.91	1.5	1	0
LL+IM	24.966	1.75	1	0.75

Nota. En la tabla anterior se visualiza los Momentos de franja de borde en el diseño de la estructura de puente losa.

$$M_u = 85.745 \text{ T-m}$$

4.1.8. DISEÑO DE LA SUPERESTRUCTURA

Tras calcular el momento final, se continúa con la concepción del acero.

4.1.8.1. DISEÑO DEL TABLERO

Refuerzo principal alineado en dirección paralela al tráfico.

Se considera el uso de barras con diámetro de 1" y un recubrimiento de 2.50 cm.

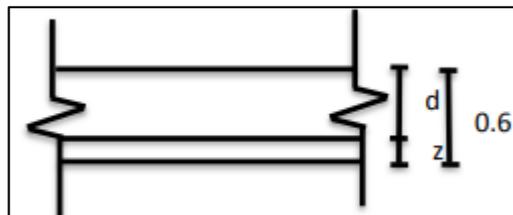
$$\Phi = 25.4 \text{ mm}$$

La adición de la magnitud del acero y la fracción del revestimiento (z)

$$Z = \phi 1" + \phi/2$$
$$z = 2.50\text{cm} + \left(\frac{2.54\text{cm}}{2}\right)$$
$$z = 3.77\text{cm}$$

Figura 37

Peralte efectivo del tablero



Nota. Para la imagen anterior visualizamos el Peralte efectivo del tablero en el diseño del puente tipo losa.

Ahora se procede a calcular el peralte efectivo, siendo la diferencia entre el peralte total y Z

$$d = 60 \text{ cm} - 3.770 \text{ cm} = 56.23 \text{ cm}$$

Posteriormente reemplazaremos las magnitudes estimadas y determinadas tales como: $f'y$, M_u y d .

$$AS = \frac{M_u}{0.9 \times f'y \times (d - a/2)}$$
$$AS = \frac{99.23 \times 1000 \times 100}{0.9 \times 4200 \times (56.23 - a/2)}$$
$$As = 50.68 \text{ cm}^2/\text{cm}$$

A continuación, se sustituye este valor en la ecuación posterior, tomando b la amplitud unitaria de 100 cm:

$$a = \frac{AS \times f'y}{0.85 \times f'c \times b}$$

$$a = 0.176 \times As = 8.92 \text{ cm}$$

Con el fin de establecer la separación S para metal de 1", considerando que el metal de 1" posee una sección transversal de 5.10 cm².

$$S = \frac{50.68}{5.10} \cong 10$$

En consecuencia, se instalará metal de 1" cada 10 cm.

As. Máximo

Un fragmento que no esté excesivamente fortalecido satisface con: $f'c > 280 \times f'c/\text{cm}^2$, posteriormente, se sustituye la magnitud de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ en cada fórmula

$$B1 = 0.85 - 0.05 \times \frac{f'c - 280}{70} = 0.85$$

$$C \leq \frac{a}{B1}$$

$$C = 10.49 \text{ cm}$$

Por lo tanto, $c/de \leq 0.42$

$$\frac{c}{de} = 0.1865 \leq 0.42 \quad \Leftrightarrow \quad \text{SI CUMPLE}$$

As. Mínimo

La cantidad de acero suministrado tiene que ser capaz de soportar por lo menos un valor de 1.20 Mcr y 1.33 Mu.

$$f'r = 2.01 \times \sqrt{f'c}$$

$$f'r = 33.63 \text{ Kg/cm}^2$$

$$S \leq \frac{b \times h^2}{6}$$

$$S = 60000 \text{ cm}^3$$

$$1.20 \times \text{Mcr} = 1.20 \times f' r \times S$$

$$f' r = 24.22 \text{ T-m}$$

$$1.33 \times \text{Mu} = 117.01 \text{ T-m}$$

As. De Distribución

En caso de que el refuerzo primordial sea alineado con la circulación:

$$\% = \frac{1750}{\sqrt{S}} \leq 50\%$$

$$\% = 15.9$$

As. Repartido = 7.86 cm²/cm

Se utilizará varillas de \varnothing 5/8" separados:

$$\varnothing 5/8" = 2.00 \text{ cm}^2 \quad ; \quad S = 0.25 \text{ m}$$

En consecuencia, se dispondrá refuerzo metálico de 5/8" cada 25 cm

As. De temperatura

El metal de temperatura se instalará en dos niveles, dado que para componentes con una altura superior a 15 cm es necesario incorporar esta clase de proceso edificativo.

$$AT = 0.0018 \times A.g$$

$$AT = 10.8 \text{ cm}^2$$

$$AT \times \text{capa} = 5.59 \text{ cm}^2 / \text{capa}$$

Se empleará barras de acero de \varnothing 3/4 divididos a:

$$A_{ac.} = 2.86 \text{ cm}^2$$

$$S = 0.52 \text{ cm} = 0.50 \text{ cm}$$

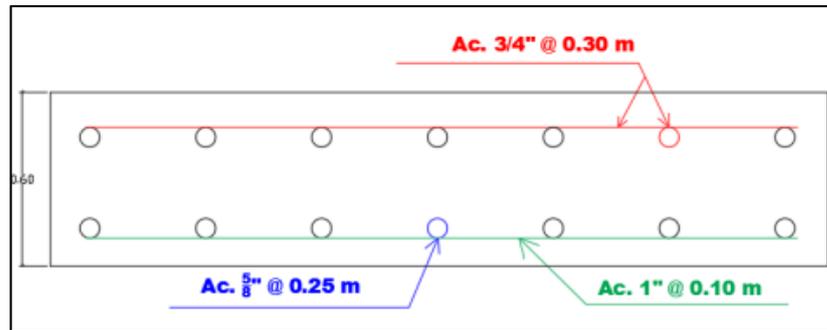
$$S_{max} = 3 \times t = 0.45$$

$$S_{max} = 3 \times 0.60 = 1.80$$

Según la información recabada, se percibe que la distancia final es de 50 cm; sin embargo, esta no se ajusta al valor máximo permitido para el espaciamiento, por lo que se procederá a modificar la separación a 30 centímetros, adoptando un enfoque más precautorio.

Figura 38

Corte longitudinal del tablero



Nota. Para la imagen anterior se visualiza el Corte longitudinal del tablero para el diseño del puente tipo losa.

4.1.9. CONTROL DE FISURAMIENTO MEDIANTE LA DISTRIBUCIÓN DE ACERO

De acuerdo con la normativa ACI 350r-01, se debe comprobar la separación S en las barras de refuerzo con el propósito de asegurar el cumplimiento de los requisitos ambientales.

Este espaciamiento se calcula en la fase flexible bajo solicitaciones operativas, estimando la amplitud de grieta para prevenir la degradación del metal estructural.

$$f_{sa} = \frac{Z}{(d_c \times A)^{\frac{1}{3}}} \leq 0.60f_y$$

Después de determinar los valores de A y Z , se reemplazan en la ecuación para obtener:

$$f_{sa} = \frac{30591.33}{(3.77 \times 75.40)^{\frac{1}{3}}} \leq 0.60f_y$$
$$f_{sa} = 4652.6 \text{ kg/cm}^2$$

Finalmente, se considera la adición de la dimensión del metal y la fracción del revestimiento (z).

$$Z = \phi 1" + \phi 1"/2$$

$$Z = 2.5 + 2.54/2$$

$$Z=3.77 \text{ cm}$$

Sustituimos la magnitud de z en la próxima fórmula:

B: espacio del acero = 0.10 m y n_v : número de varillas = 1.00

$$A = \frac{(2Z) \times b}{n_v}$$
$$A = \frac{(2 \times 3.77) \times 0.10}{1.00} = 75.40 \text{ cm}^2$$

Respecto a variables relacionados con la amplitud de grietas z, y considerando componentes en estado de entorno intermedio

$$Z= 30000 \text{ N/mm}$$

Se efectúa la transformación donde $1\text{N} = 9.8067$; $1\text{Mpa} = 10.197 \text{ kg/cm}^2$, resultando

$$Z=30591.33 \text{ kg/cm}$$

A continuación, se determinará la tensión del refuerzo metálico bajo las acciones operacionales.

$$f_s = \frac{M_s \times c}{I}$$

$$M_s = (1 \times \text{MDC} + 1 \times \text{MDW} + 1 \times \text{MLL} + \text{IM})$$

$$M_s = (1 \times 25.92 \text{ Tn-m} + 1 \times 2.03 \text{ Tn-m} + 1 \times 30.43 \text{ Tn-m})$$

$$M_s = 58.4 \text{ T-m}$$

Para un ancho asignado de 0.10m:

$$M_s = 58.4(0.10) = 5.84 \text{ T-m}$$

$$E_s = 2039400.00 \text{ kg/cm}^2$$

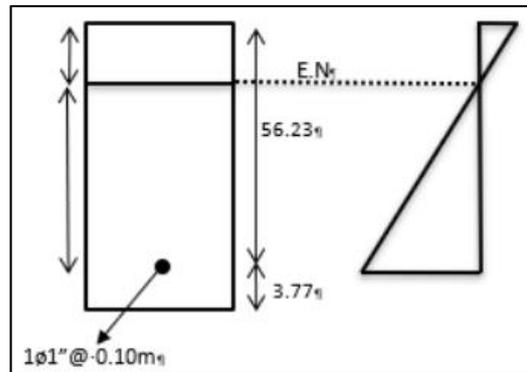
$$E_c = 256754.2 \text{ kg/cm}^2$$

$$n = E_s/E_c$$

$$n=7.00$$

Figura 39

Esfuerzo del acero



Nota. En la figura previa se visualiza el Esfuerzo de la barra para el diseño del puente tipo losa.

Área de acero transformada

$A_{st} = \text{relación modular} \times \text{Área de acero}$

$$A_{st} = 35.7 \text{ cm}^2$$

Determinar el valor de y

$$10y\left(\frac{y}{2}\right) = 35.70 \times (58.37 - y)$$

$$y = 17.15 \text{ cm}$$

$$c = 41.22 \text{ cm}$$

Momento de resistencia en relación con la línea de equilibrio de la configuración convertida fractura

$$I = 35.7 \times 41.22^2 + (0.10) \times \frac{17.15^3}{3}$$

$$I = 77471.46 \text{ cm}^4$$

Luego:

$$f_s = \frac{(M_s) \times c}{I \times n}$$

$$f_s = \frac{(58.37/10) \times 41.22}{77471.46} \times 7$$

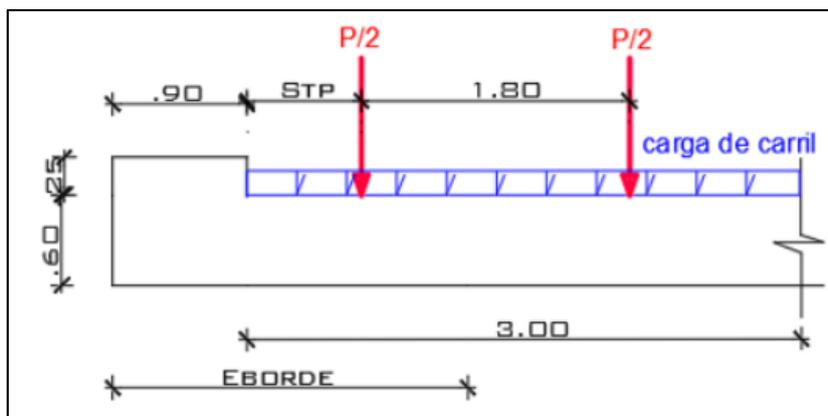
$$f_s = 2173.97 \text{ Kg/cm}^2 < 4652.58 \text{ Kg/cm}^2 \ll \gg \text{SI CUMPLE}$$

4.1.10. DISEÑO DE FRANJA DE BORDE

La dimensión del tablero en el que actúa la fuerza de una rueda de vehículo pesado

Figura 40

Zona de limite



Nota. En la imagen anterior se visualiza la Franja de borde para la concepción del puente losa.

Se empleará $\varnothing 1''$, el revestimiento 2.50 cm

Cálculo del acero

$$M_u = 1.25 \times M_{DC} + 1.50 \times M_{DW} + 1.75 \times M_{LL+IM}$$

$$M_u = 1.25 \times (32.54 \text{ Tn} - \text{m}) + 1.50 \times (0.91 \text{ Tn} - \text{m}) + (1.75 \times 24.99 \text{ Tn} - \text{m})$$

$$M_u = 85.75 \text{ T} - \text{m}$$

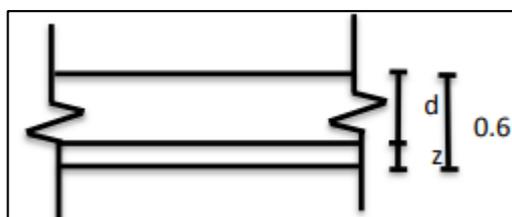
$$z = \varnothing 1'' + \Phi / 2$$

$$z = 2.50 \text{ cm} + \left(\frac{2.54 \text{ cm}}{2} \right)$$

$$z = 3.77 \text{ cm}$$

Figura 41

Peralte efectivo del tablero



Nota. En la imagen anterior se visualiza el peralte efectivo del tablero para la concepción del puente losa.

En este momento se procede a determinar la altura útil, siendo la variación entre la altura completa y z

$$d = 60 \text{ cm} - 3.770 \text{ cm}$$

$$d=56.230 \text{ cm}$$

Reemplazaremos las magnitudes calculadas.

$$AS = \frac{85.75 \times 1000 \times 100}{0.9 \times 4200 \times (56.23 - a/2)}$$
$$As = 43.27 \text{ cm}^2/\text{cm}$$

Seguidamente, se sustituye este valor en la ecuación posterior, tomando como b la amplitud unitaria de 100 cm:

$$a = \frac{AS \times f'y}{0.85 \times f'c \times b}$$
$$a = 0.176 \times As = 7.620 \text{ cm}$$

Para calcular la separación S para acero de 1", considerando que el acero de 1" posee una superficie de 5.10 cm².

$$S = \frac{43.27}{5.10} \cong 11$$

En consecuencia, se instalará hierro de 1" cada 10 centímetros.

As. Máximo

Una parte que no se encuentre sobredimensionado satisface con: $f'c > 280 \times f'c/\text{cm}^2$, seguidamente, se sustituye el coeficiente de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$, en cada fórmula.

$$B1 = 0.85 - 0.05 \times \frac{f'c - 280}{70}$$

$$B1 = 0.85$$

$$C \leq \frac{a}{B1}$$

$$C = 8.96 \text{ cm}$$

Por lo tanto, $c/de \leq 0.42$

$$\frac{c}{de} = 0.1865 \leq 0.42 \quad \Leftrightarrow \quad \text{SI CUMPLE}$$

As. Mínimo

La magnitud de hierro suministrado deberá tener la capacidad de soportar como mínimo la cifra de 1.20 Mcr y 1.33 Mu.

$$f'r=33.63 \text{ Kg/cm}^2$$

$$S \leq \frac{b \times h^2}{6}$$

$$S = 60000 \text{ cm}^3$$

$$1.20 \times M_{cr} = 1.20 \times f' r \times S$$

$$f' r = 24.22 \text{ T-m}$$

$$1.33 \times M_u = 114.01 \text{ T-m}$$

As. De Distribución

En caso de que el refuerzo primario sea alineado con la circulación:

$$\% = \frac{1750}{\sqrt{S}} \leq 50\%$$

$$\% = 15.9$$

$$\text{As. Repartido} = 7.55 \text{ cm}^2/\text{cm}$$

Se utilizará varillas de $\emptyset 5/8''$ separados:

$$\emptyset 5/8'' = 2.00 \text{ cm}^2 \quad ; \quad S = 0.25 \text{ m}$$

En consecuencia, se dispondrá refuerzo de $5/8''$ cada 25 cm

As. De temperatura

En el puente tipo losa se instalará el refuerzo de temperatura en dos estratos, puesto que para los componentes con altura superior a 15 cm es necesario incorporar esta clase de método edificatorio.

$$A_T = 0.0018 \times A_g = 10.8 \text{ cm}^2$$

$$A_T \cdot \text{capa} = 5.4 \text{ cm}^2/\text{capa}$$

Emplearemos refuerzos de $\emptyset 3/4''$ distanciados a:

$$A_{ac} = 2.86 \text{ cm}^2$$

$$S = 0.50 \text{ cm}$$

$$S_{max} = 3 \times t$$

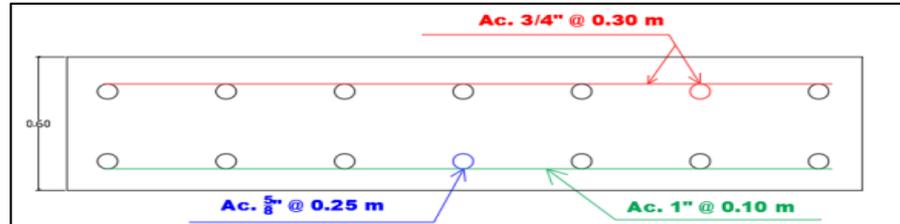
$$S_{max} = 0.45$$

$$S_{max} = 3 \times 0.6 = 1.80$$

De acuerdo con los resultados logrados, se observa que la separación calculada es de 50 cm; por lo tanto, se ajustará el intervalo a 30 centímetros con el fin de adoptar un criterio más precautorio.

Figura 42

Acero longitudinal de la franja



Nota. En la imagen anterior se visualiza el Acero longitudinal de la franja para la concepción del puente losa.

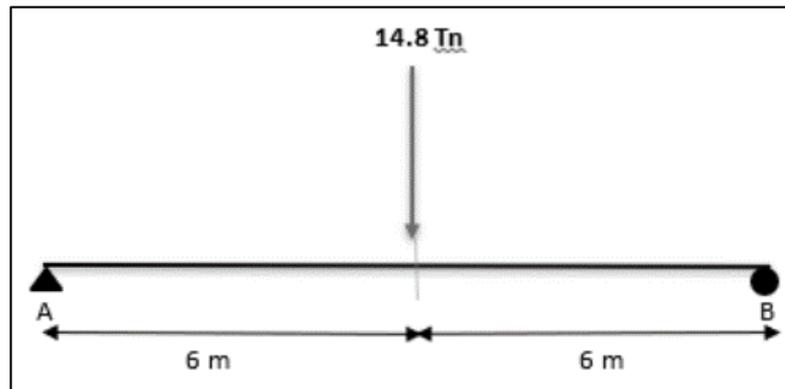
4.1.11.FATIGA

4.1.11.1. CARGA DE FATIGA

Se comprueba teniendo en cuenta un vehículo de modelo, con la distancia entre ejes de 14.8 T

Figura 43

Idealización de la carga de un camión



Nota. Para la figura previa se visualiza la Idealización del esfuerzo aplicado de un camión para la concepción del puente losa.

La carga móvil produce un momento la cual se determinará con siguiente ecuación:

$$M_{S/C} = 14.80Tn \times \frac{12m}{4} = 44.4 T\cdot m$$

Con el propósito de dimensionar frente al desgaste, se toma en cuenta la amplitud efectiva correspondiente a un solo carril cargado, con un valor de $E=3.26$, obtenido previamente. El factor de modificación de cargas se asume como $n=1$, y el aumento debido a los efectos dinámicos en la condición límite de desgaste se considera $IM = 1.15$

$$M_{fat} = n \times \frac{0.75 \times M_{S/C} \times I_M}{E}$$

$$M_{fat} = 11.7 \text{ T-m/m}$$

4.1.11.2. SECCIÓN FISURADA

Se emplea en caso de que la adición de las tensiones ocasionadas por los pesos fijos no exceda 1.5 veces la carga de desgaste, obteniendo una fuerza de estiramiento superior a: $0.25 \times \sqrt{f'c}$

$$F_{tracc} = 0.25 \times \sqrt{f'c} \text{ Mpa} = 0.80 \times \sqrt{f'c} \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{tracc} = 13.4 \text{ kg/cm}^2$$

$$M'_{fat} = M_{DC} + M_{DW} + 1.5 \times M_{fat}$$

$$M'_{fat} = 45.56 \text{ T-m}$$

$$f_{fat} = \frac{M'_{fat}}{3}$$

$$f_{fat} = 75.93 \text{ kg/cm}^2 > 13.39$$

En consecuencia, se empleará el segmento fisurado.

4.1.11.3. VERIFICACIÓN DE ESFUERZOS

Tensiones en el armado a causa de la carga móvil ($b=1.00$)

$$I_{ag} = 77471.5 \times (100\text{cm}/10\text{cm})$$

$$I_{ag} = 77471.5 \text{ cm}^4$$

$$f = \frac{M_{fat} \times C}{I_{ag}}$$

$$f_s = \frac{(11.74 \times 10^5) \times 41.22}{774715}$$

$$f = 62.48 \text{ Kg/cm}^2$$

Como

$$f = \frac{fs}{n}$$

$$f_{ll} = fs = 437.38$$

- **Rango máximo de esfuerzos**

Momento por carga muerta por segmento interno:

$$M_{DL} = M_{DC} + M_{DW}$$

$$M_{DL} = 25.9 \text{ T-m} + 2.03 \text{ Tn-m} = 27.93 \text{ Tn-m}$$

Momento por carga muerta

$$Fdl = \frac{n \times M_{DL} \times C}{l_{ag}}$$

$$Fdl = \frac{7 \times 27.93 \times 10^5 \times 41.22}{774715} = 1040.80 \text{ kg/cm}^2$$

Debido a ser meramente sustentada, la carga mínima es:

$$f_{min} = 0 + f_{DL}$$

$$f_{min} = 102.07 \text{ Mpa}$$

La tensión máxima es la tensión por sollicitación dinámica + tensión por sollicitación permanente.

$$f_{max} = f_s + f_{min}$$

$$f_{max} = 437.40 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} + 1040.80 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$f_{max} = 1478.20 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

El rango de esfuerzo es:

$$f = f_{max} + f_{min}$$

$$f = 1478.18 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} + \frac{1040.80 \text{ kg}}{\text{cm}^2}$$

$$f = \frac{437.38 \text{ kg}}{\text{cm}^2}$$

El rango limite es:

$$f \leq 1.45 - 0.33 \times f_{min} + 55 \times r/h$$

$$r/h = 0.3$$

Constituye el vínculo entre el radio de base y la elevación de las alteraciones transversales. En caso de ignorarse, es posible emplear 0.3

$$f \leq 1.45 - 0.33 \times 102.07 \text{ Mpa} + 55 \times 0.3$$

$$F_{\max} = 127.8 \text{ Mpa}$$

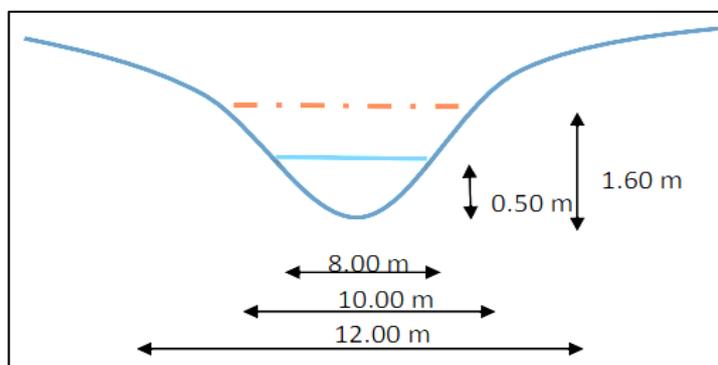
$$F_{\max} = 1478.18 > 437.38 \dots \dots \text{SI CUMPLE}$$

4.1.12.DISEÑO DE LA SUBESTRUCTURA

4.1.12.1. DISEÑO DEL ESTRIBO

Figura 44

Sección transversal del río



Nota. En la imagen anterior se visualiza la Sección transversal del río para el diseño del puente tipo losa.

Determinar del caudal

$$Q=A \times V$$

Q: caudal (m³ /s)

A: área de la sección transversal del río (m²)

V: velocidad del flujo del río (m/s)

Datos:

$$V= 1.4 \text{ m/s}$$

$$A=2\text{m}^2$$

Aplicando los valores a la expresión:

$$Q = 2.8 \text{ m}^3 /\text{s}$$

A partir de estos datos se calcula el récord, que está a 1,50 metros de la base del cauce como consecuencia de la crecida máxima del cauce previsto.

4.1.12.2. PREDIMENSIONAMIENTO

Determinar el aproximado de las dimensiones de los medios componentes, que se realiza en función de la altura, según las sugerencias, cabe decir que la elección del tamaño de las columnas depende en el tamaño importante depende del ingeniero.

ALTURA: $H = 3.60 \text{ m}$

Datos:

$$\sigma = 1.94 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\phi = 28^\circ \text{ (ángulo de fricción interna)}$$

$$P_u(\text{conc}) = 2.4 \text{ Tn/m}^3$$

$$P_u(\text{terr}) = 1800 \text{ Kg/m}^3$$

$$u = 0.4$$

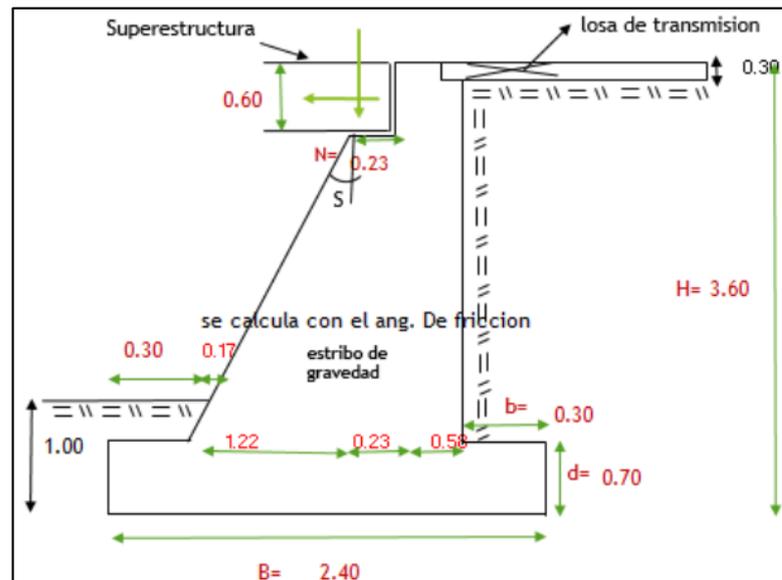
$$H = 3.6 \text{ m}$$

$$\text{Anch.caja} = 7.8 \text{ m}$$

$$\delta = 24^\circ \text{ (ángulo de fricción Suelo y muro)}$$

Figura 45

Medidas estribo de gravedad



Nota. En la imagen anterior se visualiza las Medidas estribo de gravedad para la concepción del puente tipo losa.

4.1.12.3. PREDIMENSIONAMIENTO

$$H=3.60$$

$$B=\frac{1}{2}H \sim \frac{2}{3}H$$

$$B=1.80 \sim 2.40$$

$$B=2.40(\text{asumimos})$$

- a: longitud De punta

$$a = \frac{H}{12} \sim \frac{H}{6}$$

$$a = 0.30 \sim 0.60$$

$$a = 0.30 \text{ m}$$

- d: altura del cimiento

$$d = \frac{H}{6} \sim \frac{H}{8}$$

$$d = 0.60 \sim 0.45$$

$$d = 0.70 \text{ m (asumimos)}$$

- b: longitud Del talón

$$b = \frac{H}{12} \sim \frac{H}{6}$$

$$b = 0.30 \sim 0.60$$

$$b = 0.30 \text{ m (asumimos)}$$

Utilizaremos las fórmulas planteadas por el especialista Arturo Rodríguez.

$$N_{\min} = (200 + 0.0017 \times L + 0.0067 \times H) (1 + 0.000125 \times \sqrt{S})$$

$$N_{\min} = 0.23 \text{ m}$$

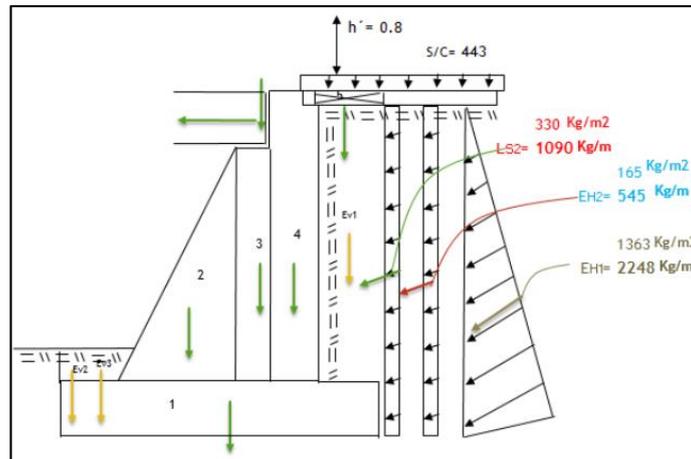
$$\emptyset = 90^\circ$$

$$r = \left(1 + \sqrt{\frac{\text{sen}(\emptyset + \delta)}{\text{cos}\emptyset}}\right)^2 = 3.72$$

$$ka = \frac{\text{sen}^2(\theta + \emptyset)}{r(\text{sen}^2\text{sen}(\theta + \delta))} = 0.23$$

Figura 46

Presiones ejercidas sobre el estribo



Nota. En la imagen anterior se visualiza las Cargas aplicadas al estribo para el diseño del puente tipo losa.

Calculamos el valor de presión activa C_a teniendo en cuenta la presión de llenado en la columna y la presión pasiva H_a teniendo en cuenta el llenado en punta.

EMPUJE ACTIVO (C_a):

$$C_a = \frac{1 - \text{sen } \theta}{1 + \text{sen } \theta}$$

$$C_a = 0.36 \text{ Kg-f}$$

EMPUJE PASIVO (H_a):

$$H_a = \frac{C_a \times P_u \times H^2}{2} = 4211.1 \text{ Kg-f}$$

MOMENTO DE VOLTEO

$$M_{\text{vol}} = H_a \times H / 3 = 5053.3 \text{ Tn-m}$$

4.1.13. ESTIMAMOS LOS INSTANTES ESTRUCTURALES

Las fuerzas se determinarán en relación con el punto A, donde se dividen en cuatro números geométricos conocidos tal como se presenta en el cuadro siguiente:

Tabla 10*Momentos estructurales*

	Elemento	Brazo (M)	Fuerza (Pn)	Momento (Tn-M)
	Dc1	1	4032	4838.4
	Dc2	2	3375.29	3764.42
	Dc3	3	1268.26	2077.17
	Dc4	4	3185.42	6502.15
	Dc5	5	216	486
	Dc6	6	7326.15	11998.85
	P viva	7	4.19	6.68
	P fre	8	0.21	0.75
	Ev1	9	1404	3160
	Ev2	10	162	24.3
	Ev3	11	45.9	16.37
	Eh1	12	2248.31	5395.94
	Eh2	13	545.04	1308.11
	Ls2	14	1090.09	2616.11
	S/C	15	443.38	1064.11

Nota. Para la tabla anterior se visualiza los Momentos resistentes en la subestructura para el diseño del puente tipo losa.

$$\sum p_n = 25346.2 \text{ Tn}$$

$$\sum m_n = 43258.7 \text{ Tn-m}$$

4.1.14.COMPROBACIÓN DEL EQUILIBRIO DEL MURO

Se estima que la base del apoyo tiene una elevación de 1.2 m, lo cual genera una resistencia pasiva en el soporte y optimiza su estabilidad.

4.1.15.CARGA DE VOLTEO Y DESPLAZAMIENTO

A partir de las medidas escogidas, se evalúa el equilibrio del muro respecto al giro y desplazamiento, determinando las tensiones de interacción entre el terreno y el soporte.

En cuanto al volteo, se requiere un factor de estabilidad superior a 2. Para neutralizar la fuerza de volteo, es necesario generar un momento opuesto, lo cual se logra con la carga del terreno y la extensión del zócalo

correspondiente. El parámetro de seguridad de 2 asegura la resistencia mínima del muro.

$$F_s.\text{volteo} = \sum Mn / M_{vol}$$

$$F_s.\text{volteo} = 8.56 > 2$$

SI CUMPLE

Índice para desplazamiento: > 1.50 : el parámetro de estabilidad para impedir el desplazamiento debe superar a 1.50

$$F_{S.\text{desl.}} = \sum pn / H_a$$

$$F_{S.\text{desl.}} = 2.41 > 1.50 \text{ SI CUMPLE}$$

En caso de analizar el empuje pasivo

$$C_a = \frac{1 + \text{sen}\theta}{1 - \text{sen}\theta}$$

$$C_a = 2.80 \text{ Kg-f}$$

$$H_p = \frac{C_a \times W \times H^2}{2}$$

$$H_p = 1221.5 \text{ Kg-f}$$

Coeficiente para desplazamiento: > 1.50

$$F_{\text{desl.}} = \frac{(u \times \sum P_n) + H_p}{H_a}$$

$$F_s.\text{desl.} = 2.70 > 1.50$$

SI CUMPLE

$$M_r > M_v$$

Se verificará la resultante:

$$x = \frac{M_n - M_v}{P_n}$$

$$x = 1.510 \text{ m}$$

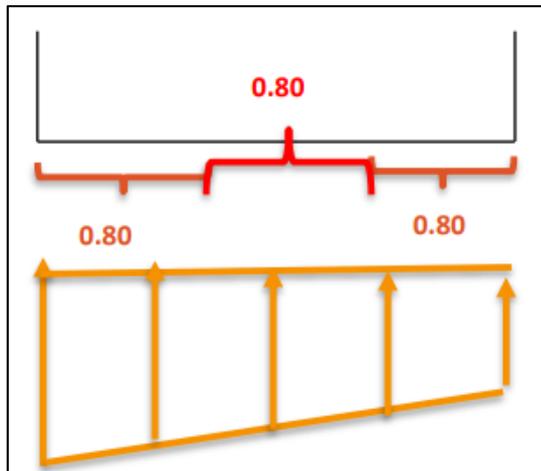
Mediante la triangular:

$$c(g) = \frac{B}{3} = 0.80 \text{ m}$$

La magnitud calculada de 1.510 metros.

Figura 47

Presión del suelo



Nota. Para la imagen anterior se visualiza la Presión del suelo en la subestructura para el diseño del puente tipo losa.

Determinar la excentricidad

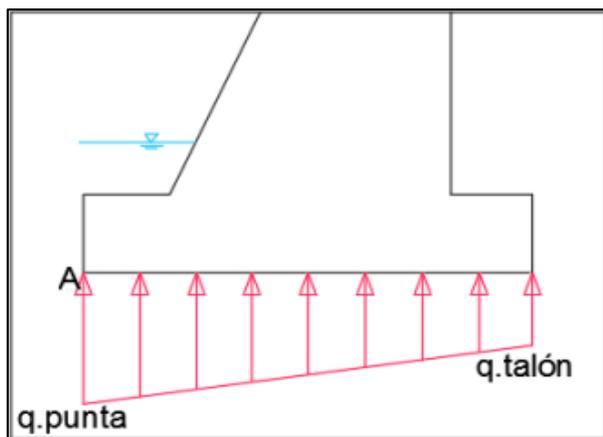
$$e = \frac{B}{2} - x < B/6$$

$$e = 0.31\text{m} < 0.40\text{m OK}$$

DETERMINACIÓN DE LAS CARGAS: Dado que la fuerza resultante ejerce su acción en el núcleo medio, la disposición de las tensiones en la base es trapezoidal.

Figura 48

Presión aplicada al suelo



Nota. En la imagen anterior se visualiza los Presión ejercida al suelo en la subestructura para el diseño del puente tipo losa

Para 1.0

$$\sigma_{punta} = \frac{P_n}{A_{zap}} + \frac{6 \times P_n \times e}{B^2}$$

$$\sigma_{punta} = \frac{25346.2}{2.40 \times 1.00} + \frac{6 \times 25346.2 \times 0.31}{2.4^2 \times 1.0}$$

$$\sigma_{punta} = 18675.4 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}$$

$$\sigma_{punta} = 18.68 \frac{\text{Tn}}{\text{m}^2}$$

$$\sigma_{punta} = 1.87 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} < 1.94 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{talón} = \frac{P_n}{A_{zap}} - \frac{6 \times P_n \times e}{B^2}$$

$$\sigma_{talón} = \frac{25346.2}{2.40 \times 1.00} - \frac{6 \times 25346.2 \times 0.31}{2.4^2 \times 1.0}$$

$$\sigma_{talón} = 2446.1$$

$$\sigma_{talón} = 2.45 \text{ Tn/m}^2$$

$$\sigma_{talón} = 0.24 \text{ Kg/cm}^2 < 1.94 \text{ Kg/cm}^2$$

4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS

La investigación actual plantea como hipótesis general que la formulación de un diseño estructural para un puente, conforme a las especificaciones del manual de diseño de puentes del MTC, optimizará las características de la superestructura y subestructura de un puente de tipo losa con una luz de 12 metros, localizado en el centro poblado de Llicua, distrito de Amarilis, provincia de Huánuco - 2022. Esta hipótesis se valida a lo largo de todo el desarrollo del estudio, donde se llevó a cabo un análisis detallado del puente tipo losa siguiendo los lineamientos establecidos por el manual de puentes del MTC y la normativa ASSTHO LRFD. Los resultados obtenidos se contrastaron mediante el uso del software SAP2000, evidenciando diferencias mínimas, lo cual respalda la precisión del diseño estructural propuesto.

El objetivo principal de esta investigación es desarrollar el diseño estructural de un puente tipo losa con una luz de 12 metros. El estudio se estructura en tres etapas principales: La primera fase comprende la evaluación del suelo, incluyendo el levantamiento topográfico y el análisis de suelos. La segunda etapa abarca el cálculo preliminar del espesor de la losa del puente y la determinación del tipo de carga de diseño, empleándose en este caso el modelo de carga HL-93.

Como procedimiento de verificación del cálculo efectuado de forma manual, se llevó a cabo una correlación con el programa SAP2000, donde se identificaron discrepancias entre los valores de los momentos flectores obtenidos a través el análisis manual y los proporcionados por el software. Sin embargo, dichas variaciones resultaron ser insignificantes, lo que permite desarrollar el diseño siguiendo las directrices del manual del puente y las sugerencias de diversas referencias bibliográficas.

Tabla 11*Resumen de momentos*

MOMENTOS			
PUENTE LOSA	Análisis manual	SAP	Diferencia
Tándem de diseño	60.51	60.78	0.27
Camión de diseño	61.12	60.09	1.03
Carga de carril	17.36	17.51	0.15

Nota. La anterior tabla muestra el resumen de momentos entre el método manual según el manual de puentes y empleando el software SAP 2000.

Tabla 12*Resumen de deflexión*

DEFLEXION - SAP	
Tándem de diseño	2.01
Camión de diseño	2.19
Carga de carril	0.61

Nota. La anterior tabla muestra el resumen de deflexión entre el método manual según el manual de puentes y empleando el software SAP 2000.

En conclusión, tras corroborar los resultados obtenidos mediante ambos enfoques, tanto el procedimiento manual como el uso del programa computacional, se llevó a cabo la concepción estructural de los componentes del puente de tipo Losa, considerando como momentos máximos y medidas definitivas los valores presentados en las siguientes tablas:

Tabla 13*Tabla de momentos extremos*

PUENTE LOSA – MOMENTOS ÚLTIMOS	
Franja interior	85.75 T-m
Franja de borde	85.75 T-m

Nota. La anterior tabla muestra el resumen del Cuadro de momentos últimos empleando el software SAP 2000.

Tabla 14*Medidas de la superestructura y subestructura*

SUPERESTRUCTURA	
Espesor de losa (t min)	0.60 m
SUBESTRUCTURA	
Ancho de cimiento (B)	2.40
Peralte de cimiento (d)	0.70
Ancho de la punta (a)	0.30
Ancho de talón (b)	0.30
Altura total de estribo (H)	3.60
Altura de la cajuela	0.625

Nota. La anterior tabla muestra el resumen las medidas de la superestructura y subestructura empleando el software SAP 2000.

CAPITULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este trabajo de investigación, se diseñó un puente tipo losa de 12 metros de luz para el centro poblado de Llicua, Amarilis, Huánuco, utilizando tanto el método manual conforme al manual de puentes del MTC como el software SAP2000. Los resultados de los cálculos de momentos y deflexiones indicaron diferencias mínimas entre el análisis manual y el software, con una desviación inferior al 1%, lo cual valida la precisión del diseño obtenido.

Osorio (2019), en su investigación sobre el diseño estructural de un puente vehicular de 72 metros de luz bajo la normativa LRFD en Colombia, destacó la importancia de los modelos refinados para obtener estimaciones precisas en zonas de alto riesgo. Este autor concluyó que, en puentes de mayor luz y en condiciones geométricas complejas, es recomendable utilizar modelos avanzados para mejorar la precisión de las fuerzas y desplazamientos estimados. En contraste, el diseño de 12 metros de luz en este estudio muestra que el uso de un modelo simplificado y el software SAP2000 proporcionaron resultados confiables y adecuados para un puente tipo losa en el contexto de Llicua, Huánuco.

Medina (2020), diseñó un puente peatonal en México y calculó una carga viva de 415 kg/m², utilizando el manual de diseño de puentes de 2010. Los resultados de Medina indicaron la necesidad de considerar parámetros regionales, especialmente en zonas urbanas, para asegurar que el diseño se adapte a los niveles de tránsito y las características del entorno. En el presente estudio, se utilizó la carga de diseño HL-93, la cual considera el contexto local y las cargas de vehículos en la región de Huánuco. Los resultados son comparables a los de Medina en términos de adaptación al contexto, pero aplicados a una estructura vehicular de menor luz.

Roque (2021), en su estudio del diseño de un puente de concreto armado de 96 metros de longitud en Cerro Colorado, Arequipa, aplicó la metodología AASTO LRFD y empleó el software CSiBridge para modelar el

comportamiento estructural. Roque obtuvo momentos M_u de 1885 tonf.m para el diseño de vigas exteriores con momento negativo. En comparación, en este diseño de puente de 12 metros de luz, los valores de momento obtenidos para la franja de borde y la franja interior son considerablemente menores, acorde a las especificaciones del manual del MTC para un puente de luz corta y carga moderada.

El contraste de los descubrimientos alcanzados en este estudio y de los autores mencionados evidencia la efectividad del software SAP2000 y el método manual para diseñar puentes tipo losa de baja luz y bajo tráfico. mientras que, en diseños de mayor luz y complejidad, como los de Osorio y Roque, los autores recomiendan el uso de modelos refinados, los resultados de este estudio indican que para una estructura de 12 metros de luz y las cargas específicas de Huánuco, el método de análisis utilizado es adecuado.

En términos de cargas de diseño, este estudio confirma que el uso de la carga HL-93 cumple con los requerimientos de seguridad y servicio para puentes vehiculares en la región. La coincidencia de resultados entre el método manual y SAP2000 respalda la precisión del diseño, en concordancia con los hallazgos de Mejía (2018), quien también verificó que el uso de SAP2000 mejora la precisión sin afectar significativamente los resultados.

CONCLUSIONES

En relación al objetivo general de proponer el diseño estructural de un puente tipo losa de 12 metros de luz en el centro poblado Llicua, Amarilis, Huánuco, se concluye que el diseño planteado cumple con los requerimientos de seguridad y funcionalidad necesarios para garantizar la conectividad en esta región. A través de un análisis detallado y el uso de métodos manuales y de software (SAP2000), el puente ha sido diseñado considerando las normativas del MTC, logrando un modelo que asegura estabilidad y eficiencia estructural para el tráfico vehicular en el contexto local.

En cuanto a la aplicación del manual de diseño de puentes del MTC como parte del objetivo específico, se pudo realizar un análisis completo de los componentes que forman tanto la superestructura como la subestructura del puente. La norma proporcionada por el MTC, combinada con el método de diseño LRFD, permitió establecer los criterios adecuados para la selección de materiales, cargas de diseño y dimensiones de la estructura, garantizando que el puente sea seguro y duradero.

Para el análisis de la superestructura del puente, los resultados obtenidos a partir de los momentos y esfuerzos indicaron que los valores se encuentran dentro de los límites de seguridad recomendados. El análisis manual y el uso de SAP2000 mostraron coherencia en los resultados, confirmando que la superestructura del puente tipo losa diseñado es capaz de soportar las cargas vivas y muertas según los estándares establecidos.

Respecto al análisis de la subestructura del puente tipo losa, se concluye que las dimensiones y materiales seleccionados para los estribos y cimentaciones cumplen con las condiciones del terreno y las características geotécnicas específicas del lugar. Las pruebas de estabilidad y el cálculo de empujes activos y pasivos aseguran que la subestructura proporcionará el soporte necesario frente a las cargas de tráfico y factores ambientales, contribuyendo así a la durabilidad de la estructura.

En relación con la viabilidad y pertinencia del uso de software en la verificación de los resultados, se verificó que los valores calculados

manualmente y mediante el software SAP2000 mostraron una variación mínima, lo cual valida la precisión de ambos métodos. Esto permite recomendar el uso del software SAP2000 como una herramienta complementaria para futuros diseños de puentes en la región, dado que optimiza los tiempos de cálculo y facilita la revisión de distintos escenarios de carga.

RECOMENDACIONES

Se sugiere para investigaciones futuras utilizar programas de análisis estructural para este tipo de edificaciones, como los puentes de losa, tales como el software CSI Bridge.

Se propone hacer todos los estudios preliminares de levantamiento topográfico, análisis de características mecánicas del suelo, y análisis hidrológico e hidráulico previos al desarrollo del diseño estructural del puente.

Para proyectos de ingeniería de puentes, se sugiere realizar investigaciones de exploración geofísica a través de perforaciones diamantinas para la obtención de muestras, así como efectuar pruebas de refracción sísmica. Estas investigaciones son más confiables al momento de tomar decisiones, lo que contribuye a un diseño más eficiente de los elementos de cimentación.

Para proyectos relacionados con la ingeniería de puentes, se recomienda estudiar los fenómenos de socavación.

Para el levantamiento topográfico se propone usar artefactos más sofisticado como el GPS Diferencial y estaciones de recopilación de información, con el fin de obtener una mayor precisión en el análisis de los datos y facilitar su futura implementación en obra. No obstante, esto implica un costo económico considerable, por lo que, para este trabajo de investigación, se decidió utilizar una estación total.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACI. (2006). *Code requirements for environmental engineering concrete structures and commentary*. EEUU: American Concrete Institute.
- Almeida Hernández , J., & Armas Herrera , A. (2019). *Diseño y comparación económica de la superestructura de un puente de 30 metros de luz considerando variantes de losa con vigas de hormigón postensado y vigas-losas-cajón*. Quito: Escuela Politécnica Nacional .
- Almirón Panti, L. (2021). *Propuesta de diseño bajo el método AASHTO- LRFD del puente Kitamayo en el km 5+510 de la carretera Pisaq – Cusco, 2021*. Lima: Universidad Cesar Vallejo.
- Altamirano Requejo, J. (2018). *Análisis Y Diseño Del Puente Vehicular Sobre El Rio Yuracyacu, En El Sector Monterrey, Distrito De Nueva Cajamarca, Provincia De Rioja, Departamento De San Martín*. Tarapoto – Perú: Universidad Nacional De San Martín-Tarapoto.
- Balestrini Acuña, M. (1997). *Como se Elabora el Proyecto de Investigación*. Caracas, Venezuela: BI Consultores Asociados.
- Boroschek, R. (2009). *Dinamica avanzada de estructural*. Santiago-Chile: Universidad de Chile.
- Carrillo Murte, O. A. (2018). *Diseño En Concreto Reforzado Del Nuevo Puente “Las Delicias” Para La Conexión De Los Municipios De Alpujarra Y Baraya Bajo La Norma Colombiana De Puentes LRFD Ccp-14*. Bogotá-Colombia: Universidad Católica de Colombia.
- CERSA. (2024). *Análisis y diseño de puentes*. Lima: CERSA.
- INACAL. (2024). *Normas Técnicas Peruanas*. Lima: INACAL.
- Ministerio de trabajo y promoción del empleo. (2009). *Norma técnica de edificación G.050 seguridad durante la construcción*. Lima: Ministerio de trabajo y promoción del empleo.
- Ministerio de Vivienda, C. y. (2018). *Reglamento nacional de edificaciones (RNE)*. Lima: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
- MTC. (2016). *Manual de Puentes*. Lima-Perú: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Pariapaza Coaquira, J. (2017). *Diseño y análisis estructural con cimentación profunda del archivo regional Puno*. Arequipa: Universidad Católica de Santa María.

PUCP, T. d. (2021). *Análisis dinámico de sistemas estructurales*. Lima: PUCP.

RNE. (2019). *Norma E070*. Obtenido de Norma E070: <https://drive.google.com/file/d/15N2ZQwZGegdoui4rrjTR6uq5bITu7uyv/view>

Tejada García, L. (2020). *Diseño y construcción de cimentaciones profundas*. Lima: Ingeniería Geotécnica Peruana.

COMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Ferruzo Campos, C. (2025). *Propuesta para el diseño estructural de un puente tipo losa de 12m de luz, ubicado en el centro poblado Llicua, Amarilis - Huánuco -2022* [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional UDH. <http://...>

ANEXOS

ANEXO 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA

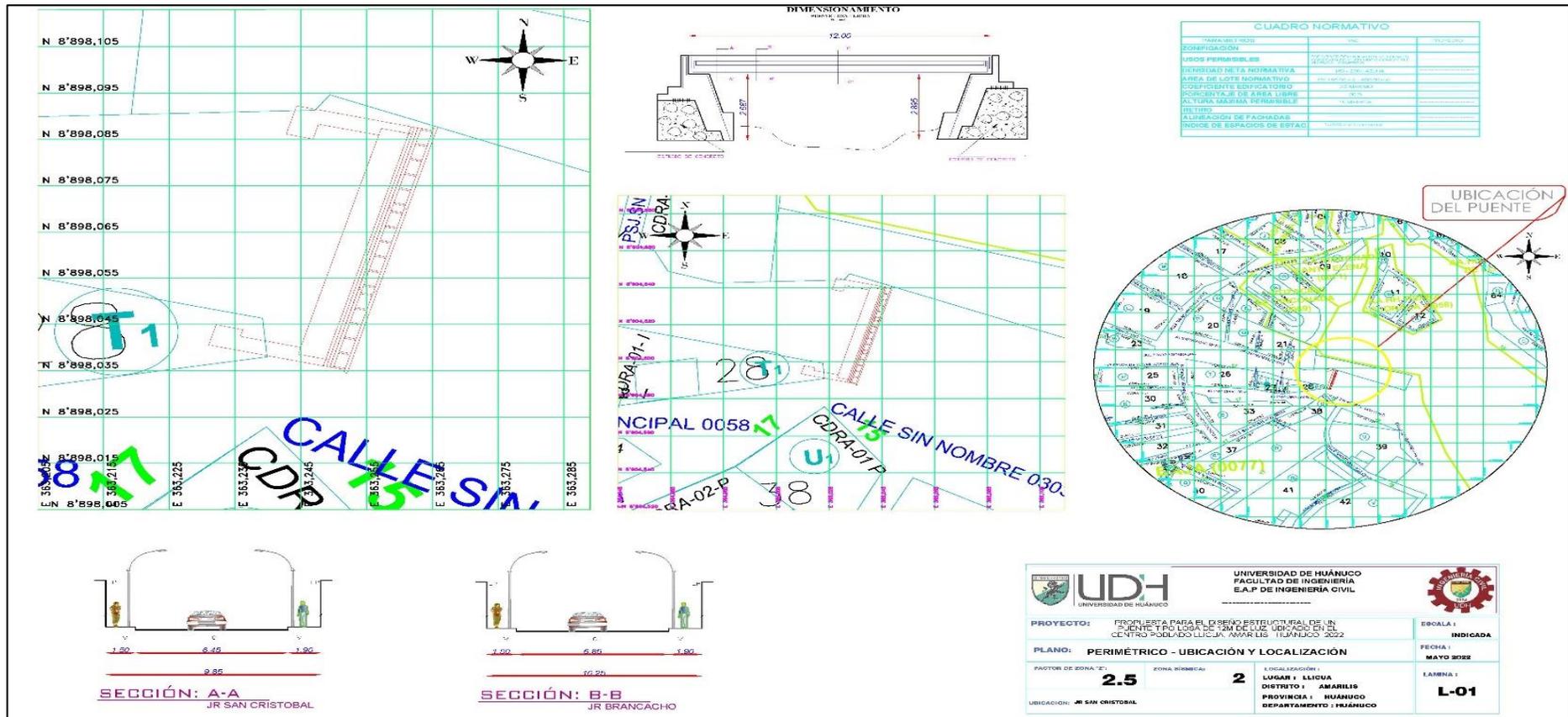
TÍTULO: PROPUESTA PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN PUENTE TIPO LOSA DE 12M DE LUZ, UBICADO EN EL CENTRO POBLADO LLICUA, AMARILIS - HUÁNUCO -2022

Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología	Población y muestra
<p>Problema general: ¿Qué planteamiento se desarrollará para el diseño estructural de un puente tipo losa con una luz de 12 m en el centro poblado Llicua, Amarilis - Huánuco, en el año 2022?</p> <p>Problema específico: ¿De qué manera se puede implementar el manual de diseño de puentes del MTC en la elaboración del diseño estructural de un puente tipo losa de 12 m de luz en el centro poblado Llicua, Amarilis - Huánuco - 2022?</p>	<p>Objetivo General Desarrollar el diseño estructural de un puente tipo losa con una luz de 12 metros en el centro poblado Llicua, distrito de Amarilis, provincia de Huánuco, en el año 2022.</p> <p>Objetivos específicos Implementar los lineamientos establecidos en el manual de diseño de puentes del MTC para la elaboración del diseño estructural de un puente tipo losa de 12 metros de luz en Llicua, Amarilis – Huánuco.</p>	<p>Hipótesis General Hi: La implementación de un diseño estructural optimizado fortalece tanto la superestructura como la subestructura de un puente tipo losa de 12 m de luz, ubicado en el centro poblado Llicua, Amarilis-Huánuco - 2022.</p> <p>H0: La implementación de un diseño estructural optimizado no fortalece tanto la superestructura como la subestructura de</p>	<p>Variable dependiente: Puente Losa</p> <p>Variable independiente: Diseño estructural</p>	<p>Enfoque Será cuantitativo</p> <p>Alcance nivel El alcance del proyecto es correlacional.</p> <p>Diseño Es no experimental</p>	<p>Población En el presente proyecto se consideró como población a todos los puentes tipo losa ubicado en el distrito de Amarilis - Huánuco -2022.</p> <p>Muestra En el presente proyecto se consideró como muestra al puente tipo losa ubicado en el centro poblado la Llicua, en el</p>

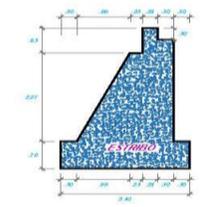
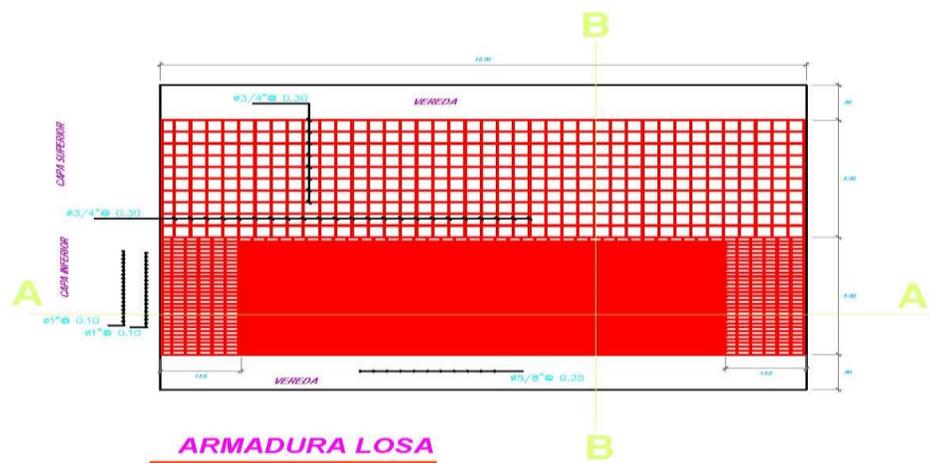
<p>¿Qué criterios deben considerarse en el análisis de la superestructura para garantizar un diseño estructural adecuado de un puente tipo losa de 12 m de luz en el centro poblado Llicua, Amarilis - Huánuco - 2022?</p> <p>¿Cuál es el procedimiento óptimo para evaluar la subestructura en el diseño estructural de un puente tipo losa de 12 m de luz en el centro poblado Llicua, Amarilis - Huánuco - 2022?</p>	<p>Evaluar la superestructura como parte del proceso de diseño estructural del puente tipo losa de 12 metros de luz en el centro poblado Llicua, Amarilis - Huánuco.</p> <p>Examinar la subestructura para garantizar la estabilidad y funcionalidad del diseño estructural del puente tipo losa de 12 metros de luz en Llicua, Amarilis - Huánuco.</p>	<p>un puente tipo losa de 12 m de luz, ubicado en el centro poblado Llicua, Amarilis-Huánuco - 2022.</p>	<p>distrito Amarilis - Huánuco -2022.</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------

ANEXO 2

PLANO DE UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

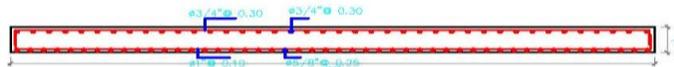


ANEXO 3 PLANO ESTRUCTURAL



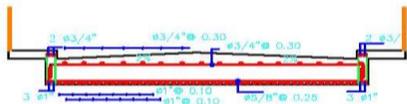
SECCION DE ESTRIBO
ESCALA : 1/100

		UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO FACULTAD DE INGENIERIA E.A.P DE INGENIERIA CIVIL			
PROYECTO: PROPUESTA PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN PUNTE TIPO LOSA DE 12M DE LUZ UBICADO EN EL CENTRO POBLADO LLICUA, AMARILIS- HUÁNUCO- 2022		ESCALA:		INDICABA	
PLANO: ESTRUCTURAL		FECHA:		JUNIO 2022	
FACTOR DE ZONA: 2.5	ZONA SISMICA: 2	LOCALIZACION:		LAMINA:	
UBICACION: CENTRO POBLADO LLICUA		LUGAR : CENTRO POBLADO LLICUA DISTRITO : AMARILIS PROVINCIA : HUÁNUCO DEPARTAMENTO : HUÁNUCO		L-01	



CORTE A-A

ESCALA : 1/100



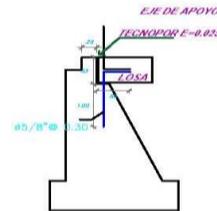
CORTE B-B

ESCALA : 1/100



PLANTA ESTRIBO

ESCALA : 1/100



DETALLE DE APOYO FIJO

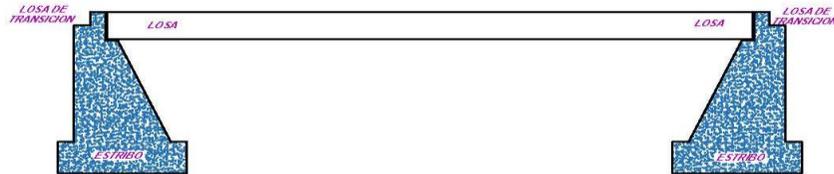
ESCALA : 1/100



DETALLE DE APOYO FIJO

ESCALA : 1/100

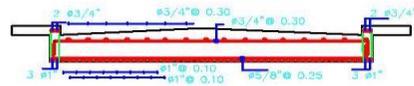
		UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO FACULTAD DE INGENIERÍA E.A.P DE INGENIERÍA CIVIL		
PROYECTO: PROPUESTA PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN PUENTE TIPO LOSA DE 12M DE LUZ UBICADO EN EL CENTRO POBLADO LLICUA, AMARILIS - HUÁNUCO - 2022		ESCALA : INDICADA		
PLANO: ESTRUCTURAL		FECHA : JUNIO 2022		
FACTOR DE ZONA "Z": 2.5	ZONA SISMICA: 2	LOCALIZACIÓN: LUGAR : CENTRO POBLADO LLICUA DISTRITO : AMARILIS PROVINCIA : HUÁNUCO DEPARTAMENTO : HUÁNUCO		
UBICACIÓN: CENTRO POBLADO LLICUA		LA MINA : L-02		



DETALLE LONGITUDINAL DEL PUENTE LOSA

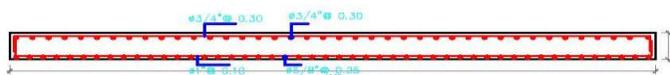
ESCALA : 1/100

ESPECIFICACIONES TECNICAS	
CONCRETO	
CONCRETO CICLOPICO	$f_c = 110 \text{ kg/cm}^2$
CONCRETO ORDINARIO	$f_c = 100 \text{ kg/cm}^2$
COLUMNAS Y VIGAS DE SOPORTE	$f_c = 200 \text{ kg/cm}^2$
VIGAS Y LOSAS	$f_c = 200 \text{ kg/cm}^2$
CAPATAZ y VIGAS DE DISTRIBUCION	$f_c = 200 \text{ kg/cm}^2$
SOLERA CAPATAZ	$f_c = 100 \text{ kg/cm}^2$
PALLO PISO	$f_c = 100 \text{ kg/cm}^2$
ACERO	
ACERO CORROSIVO	$f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$
ACERO LISO	$f_y = 2500 \text{ kg/cm}^2$
PROTECCIONES	
VIGAS DE CORRIENTE	40mm
COLUMNAS	75mm
COLUMNAS	40mm
BRUNOS DE LOSA PAVIMENTADA	25mm
LOSA FAC	75mm
LOSAS	40mm
LOSAS Y VIGAS CHATAS	25mm
OTROS	
CAPACIDAD PORTANTE	$m = 2.50$ (según)
ACEROS ANCLAJE EN COLUMNA	20cm (1/2)
ACEROS ANCLAJE EN VIGAS	10cm (1/4)
ZONA DE BARRAS	Según especificaciones de ACI 308R



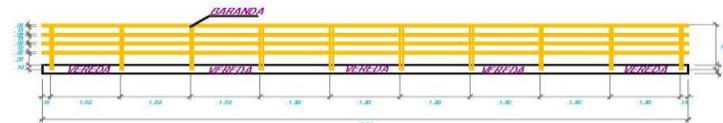
CORTE B-B

ESCALA : 1/100



CORTE A-A

ESCALA : 1/100



DETALLE DE BARANDA EN VEREDA

ESCALA : 1/100

 UNIVERSIDAD DE HJÁJUCO FACULTAD DE INGENIERÍA E.A.P. DE INGENIERÍA CIVIL		
PROYECTO: PROPUESTA PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN PUENTE TIPO LOSA DE 12M DE LUZ, UBICADO EN EL CENTRO POBLADO LLICUA, AMARILIS - HUANUCO - 2022	ESCALA: INDICADA	
PLANO: ESTRUCTURAL	FECHA: JUNIO 2022	LAMINA: L-03
FACTOR DE ZONA: 2.5	ZONA SISMICA: 2	
UBICACIÓN: CENTRO POBLADO LLICUA	LOCALIZACIÓN: LLICUA; CENTRO POBLADO LLICUA DEPARTAMENTO: AMARILIS PROVINCIA: HUANUCO DEPARTAMENTO: HUANUCO	