



Universidad Nacional
Federico Villarreal

Vicerrectorado de
INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

**OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO Y PROCESO CONSTRUCTIVO DEL PUENTE
BELLA UNION – LIMA**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

AUTOR:

CONDEÑA HERRERA JESÚS ISMAEL

ASESOR:

Dr. MALPARTIDA CANTA ROMMEL

JURADO:

Ms. AYBAR ARRIOLA, GUSTAVO ADOLFO

Ms. BEDIA GUILLÉN, CIRO SERGIO

Ms. ULLOA LLERENA, BEDER FELIPE

Ing. GUZMÁN UBILLUS, CARLOS DOMINGO

**LIMA – PERU
2018**

DEDICATORIA

Esta tesis lo dedico a mi hijo y mis padres,
ellos me apoyaron incondicionalmente
durante mi formación.

AGRADECIMIENTOS

Agradecido profundamente a los
catedráticos quienes me han
brindado sus conocimientos y apoyo.

INDICE

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
INDICE.....	iv
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1. ANTECEDENTES	1
1.1.1. Antecedentes Nacionales	1
1.1.2. Antecedentes Internacionales.....	4
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	6
1.3. DEFINICION DEL PROBLEMA	7
1.4. FORMULACION DEL PROBLEMA	8
1.4.1. Problema General	8
1.4.2. Problema Específicos	8
1.5. OBJETIVOS	8
1.5.1. Objetivo general	8
1.5.2. Objetivos específicos.....	8
1.6. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	9
1.7. LIMITACIONES	9
CAPITULO II	10
MARCO TEORICO	10
2.1. Definición de Puente	10
2.2. Partes de un Puente.....	11
2.2.1. Superestructura.....	11
2.2.2. Subestructura.....	12
2.3. Clasificación de los Puentes.....	13
2.3.1. Según la naturaleza de la vía soportada	13
2.3.2. Según el material	14
2.3.3. Según el sistemaestructural principal	16
2.3.4. Según la geometríaen planta.....	18
2.3.5. Según su posición respecto a la vía considerada	18

2.3.6. Según el tiempo de vida previsto	19
2.3.7. Según la Demanda de Transito y Clase de la Carretera	21
2.3.8. Clasificación de acuerdo a la Importancia Operativa	22
2.3.9. Clasificación para fines del Diseño Sísmico	22
2.3.10. Según el sistema de construcción	23
2.4. Consideraciones básicas de diseño	23
2.4.1. Estudios previos del proyecto	23
2.4.1.1. Ubicación y localización	23
2.4.1.2. Determinación de la luz y tipo de Estructura	26
2.4.1.3. Forma geométrica y dimensiones	28
2.4.1.4. Obras de arte y complementarias	29
2.5. HIPÓTESIS	30
2.5.1. Hipótesis General	30
2.5.2. Hipótesis Específicos	30
CAPITULO III	31
METODO	31
3.1. TIPO DE INVESTIGACION	31
3.2. VARIABLES	31
3.2.1. VARIABLE INDEPENDIENTE	31
3.2.2. VARIABLE DEPENDIENTE	32
3.2.3. OPERACIONALIZACION DE VARIABLES	32
3.3. POBLACION	32
3.4. MUESTRA	32
3.5. TECNICAS DE INVESTIGACION	33
3.6. CONFIABILIDAD DE INSTRUMENTOS	33
CAPITULO IV	34
PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	34
4. CONSIDERACIONES BÁSICAS DE DISEÑO DEL PUENTE BELLA UNIÓN	34
4.1. Descripción general del proyecto	34
4.1.1. Plano General del Proyecto	37
4.2. Diseño Geométrico	38
4.2.1. Plano Diseño Geométrico	39
4.3. Señalización	40
4.3.1. Plano General de Señalización	42
4.4. Diseño de Pavimentos	43

4.4.1. Puente Bella Unión	43
4.4.2. Intersección con la Av. Universitaria	43
4.4.3. Plano General de Pavimentos	45
4.5. Arquitectura	46
4.5.1. Plano General de Arquitectura	48
4.5.2. Plano de secciones transversales de Arquitectura	49
4.6. Diseño Estructural	50
4.6.1. Plano Geométrico de Estribo 01 (Lado Cercado de Lima)	54
4.6.2. Plano Geométrico de Estribo 02 (Lado San Martín de Porres)	55
4.6.3. Plano General de la Superestructura	56
4.7. Estudio Hidráulico	57
4.7.1. Plano General Hidráulica	63
4.7.2. Vista en planta de enrocado	64
4.7.3. Planos de secciones de enrocado	65
CAPITULO V	66
DISCUSION DE RESULTADOS	66
5. PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS DEL PUENTE BELLA UNION	66
5.1. Trabajos Provisionales y Preliminares	66
5.1.1. Desvío Peatonal y construcción del Puente Peatonal Esmeralda	66
5.1.2. Demolición del Puente existente	71
5.1.3. Desmontaje del puente Bailey	76
5.1.4. Relleno y excavación para conformación de terraplén para cimentación	81
5.2. Subestructura	84
5.2.1. Ejecución de Pilotes	84
5.2.2. Construcción del Estribo	91
5.2.2.1. Zapata	91
5.2.2.2. Pantalla del Estribo	96
5.3. Superestructura	101
5.3.1. Colocación de Apoyos	101
5.3.2. Vigas Metálicas	104
5.3.3. Losas Prefabricadas	120
5.3.4. Vigas de Amarre	124
5.3.5. Obras complementarias	126
5.3.6. Asfaltado de la vía	129
5.3.7. Detalles e integración urbana	135

CONCLUSIONES	139
RECOMENDACIONES.....	140
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	141
ANEXO 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	144

RESUMEN

El presente trabajo tiene un enfoque cuantitativo, descriptivo, correlacional y explicativo que surge al detectar la ausencia de las consideraciones básicas de diseño y los procesos constructivos del Puente Bella Unión.

Para resolverlo formulé el objetivo de explicar las características básicas de diseño y procedimientos del Puente Bella Unión, respetando la normativa vigente.

En la actualidad los puentes nos permiten salvar obstáculos geográficos, descongestionar vías, etc. Permitiendo la comunicación, el comercio y el intercambio cultural y social de los pueblos. En el presente informe se detalla los datos obtenidos en los estudios básicos realizados para el Puente Bella Unión, cumpliendo con las normativas legales vigentes, Además indica los procedimientos constructivos que realizaron e indica los diversos controles de calidad. De este modo el conocimiento adquirido en este proyecto, me permitirá contribuir al desarrollo de mi Perú.

Palabras claves: Características básicas de diseño, Procedimientos constructivos, Procesos constructivos y Puente Bella Unión.

ABSTRACT

The present research work of quantitative, descriptive, correlational and explanatory approach that arises when detecting the absence of the basic design considerations and the constructive processes of the Bella Unión Bridge.

To solve this, the objective is to determine the basic design characteristics and procedures for the construction of the Bella Unión Bridge, respecting the current regulations.

At present the bridges allow us to save geographical obstacles, to decongest roads, etc. Allowing communication, trade and cultural and social exchange of peoples. This report details the data obtained in the basic studies carried out for the design and construction of the Bella Unión Bridge, complying with the current legal regulations, in addition indicates the constructive procedures that were carried out and indicating the various quality controls will be carried out in work, for the fulfillment of the technical specifications. In this way the knowledge acquired in this project, will allow me to contribute to the economic and social development of my Peru.

Keywords: Basic design features, Construction procedures and Bridges.

INTRODUCCION

Los proyectos de infraestructura vehicular deben orientarse a lograr que la persona beneficiada pueda mejorar sus condiciones de vida, a la par que se desempeña de manera más eficiente en la sociedad

Para poder resolver el problema de comunicación, se hace necesario el diseño y construcción de un puente vehicular. Para el diseño de un puente se deben analizar las condiciones topográficas, hidráulicas, y económicas para escoger el lugar más adecuado para construir el puente. Técnicamente, conviene que el sitio de cruce tenga un buen alineamiento con el trazo general del camino y que el suelo de cimentación sea adecuado, en caso contrario se debe utilizar el método o métodos necesarios de tal manera que el puente pueda resistir las cargas a que va a estar sometido. Es necesario tomar en cuenta para diseñar y construir una estructura de este tipo, cada una de las especificaciones que existen para la construcción de puentes, esto para que no ocurran fallas, así como para garantizar su vida útil.. Tomando en consideración lo descrito anteriormente, el presente trabajo de graduación analiza la problemática del lugar en estudio y se determinó que es necesaria la construcción de un puente para la población colindante y usuaria de la Av. Universitaria

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. ANTECEDENTES

1.1.1. Antecedentes Nacionales

VÍCTOR MANUEL ACEVEDO LAOS, (2015), Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil, cuyo título *Diseño de un puente con estructura de acero, dice:* se desarrollará el diseño estructural de un puente metálico (tanto de la superestructura como de la subestructura) en la intersección de la avenida Javier Prado con las avenidas El Golf Los Incas y Las Palmeras. Actualmente, ésta es una intersección a nivel en la cual se encuentra el óvalo Monitor. La tesis propone generar un cruce a desnivel, de forma tal que la avenida Javier Prado se convierta en un By-Pass, por encima del cual se coloque el puente a diseñar, uniendo las avenidas Las Palmeras y El Golf Los Incas.

Los alcances de la tesis comprenden, en primer lugar, las presentaciones geométricas de las vías de tránsito y del puente, presentadas en los planos de geometría G1, G2 y G3. En segundo lugar, se presentará el diseño estructural de la losa de concreto, las vigas de acero, los conectores de corte, las barandas metálicas peatonales, las barandas de concreto vehiculares, los diafragmas metálicos, los apoyos elastoméricos, los estribos, la losa de aproximación, y el muro de contención de altura variable a lo largo del paso a desnivel. Se contempla además el diseño de todas las conexiones empernadas y soldadas necesarias. Todos los diseños serán presentados en los planos de estructuras.

Se asumirán las condiciones topográficas y geotécnicas correspondientes a la zona de ubicación del puente. Para el diseño se utilizará la sobrecarga HL-93, y todas las especificaciones indicadas en la Norma AASHTO LRFD Bridge Design Specifications (Sexta edición) y el Manual de Diseño de Puentes elaborado por el MTC, además de la bibliografía adicional indicada.

Richard Mijael Fonseca Briceño, (2015), Tesis para optar el Título de **INGENIERO CIVIL**, cuyo título es: *Diseño De Un Puente Con Vigas Prefabricadas*, dice: Se ha elaborado el diseño estructural de un puente con vigas prefabricadas para un paso a doble nivel en una zona de la panamericana sur. Este puente, está dimensionado para permitir el trazo de una carretera de doble vía, ida y vuelta, para los vehículos HL-93 como máximo (ancho de vía =3.60m). La zona del proyecto es en San Bartolo - Lurín – Lima, donde el terreno de cimentación es arena limosa mal gradada (SM, SP - SM) con una

presión de 3.00 kg/cm² a 2.30 m del nivel actual del terreno, con agresividad media del suelo a la cimentación.

El tablero del puente, una losa de concreto armado de 0.20 m de espesor, tendrá una longitud de 30 metros y un ancho de 18.05 metros, el cual estará soportado por 7 vigas prefabricadas de 30 metros de longitud, distribuidas uniformemente en todo el ancho del tablero

Sobre esta losa, se ubicará toda la infraestructura vial indicada en el Manual de Diseño de Puentes; barreras lateral de concreto armado, barrera central de concreto armado y veredas de concreto armado. Se eligió un pavimento flexible para formar la carretera, por lo que tendremos una capa de asfalto de 5cm.

La subestructura elegida son estribos de concreto armado sin aleros, para soportar la carga de la superestructura del puente y de la presión del terreno, que en este caso, se encuentra solo transversal al eje del estribo por lo que no hay necesidad de la construcción de aleros para aguantar terreno lateral.

PITHER ASCENCION ORTIZ ALBINO, (2013), en la tesis *Evaluación del Comportamiento Vibratorio de Puentes Peatonales Bajo Carga Peatonal*, los puentes, son diseñados teniendo en cuenta los principios básicos de la resistencia de materiales, la que indica que deben cumplir requisitos de resistencia, rigidez y estabilidad. En los últimos años, los puentes peatonales están llegando a ser aún más propensos a las vibraciones (Bachmann, 2002). La tendencia en el diseño de puentes peatonales es hacia los de mayor envergadura y una mayor flexibilidad y ligereza. Como consecuencia, la rigidez y la masa han disminuido lo que ha conducido a menores frecuencias naturales y a cargas dinámicas de mayor sensibilidad. Muchos puentes peatonales tienen frecuencias naturales que

coinciden con las frecuencias dominantes de la carga inducida peatonal y por lo tanto tienen un potencial de sufrir vibraciones excesivas bajo cargas dinámicas inducidas por los peatones. (Hauksson, 2005). Esta carga dinámica inducida por el hombre en puentes peatonales, que pueda causar problemas de vibración no es nueva. El caso más antiguo reportado de balanceo fue la que se produjo en 1831 en Broughton, Reino Unido, mientras que 60 soldados marchaban a través de un puente. Fue este evento que condujo a la colocación de avisos en un número considerable de puentes que las tropas deben romper el paso cuando cruzan (Tilly et al, 1984).

1.1.2. Antecedentes Internacionales

Luis Fernando López Cuc, (2008), en la tesis: *DISEÑO DE PUENTE VEHICULAR PARA LA COMUNIDAD RÍO*

GRANDE, LOS LLANOS, MUNICIPIO DE JOYABAJ, QUICHÉ, el desarrollo de un país está influido por su infraestructura, parte de ésta son las vías de comunicación. Para lograr que las carreteras sean óptimas, sin interrupción, requiere el uso de puentes, a fin de salvar obstáculos.

En la comunidad Río Grande, Los Llanos, municipio de Joyabaj, del departamento del Quiché, la población no cuenta con un acceso vehicular sobre el río Coyoyá, lo que frena el desarrollo de esta población. Para solucionar este problema, el capítulo dos de este trabajo, contiene el diseño de un puente vehicular de concreto armado de una vía, con una longitud de 31.5 metros y 4.96 metros de ancho.

Este proyecto tiene como objetivo principal, lograr una vía de acceso vehicular, que permita a los pobladores de esta comunidad y de las que se encuentran

alrededor, desplazarse a otras aldeas y a la carretera principal que conduce a la cabecera municipal.

El puente a diseñar contará con una vía de 3.66 metros de ancho, la longitud entre estribos es de 30.80 metros, una pila que divide el tramo en dos luces de 17.90 metros y 12.90 metros, banquetas laterales de 0.60 metros. Contará con los elementos estructurales siguientes: estribos de concreto ciclópeo, vigas de apoyo, pila de concreto armado, vigas principales, diafragmas, losa de rodadura, drenajes y banquetas de concreto armado. Los barandales serán de metal.

FRANCIS NOÉ ARRIOLA SUÁREZ, (2009), en su tesis para obtener el TÍTULO DE INGENIERO CIVIL: DISEÑO DEL PUENTE VEHICULAR CURRUCHIQUE Y DISEÑO PARA LA REMODELACIÓN DE LA RED DE DRENAJE SANITARIO DEL SECTOR SAN JACINTO DEL MUNICIPIO DE SALCAJÁ, DEPARTAMENTO DE QUETZALTENANGO, indica, El presente trabajo de graduación presenta el diseño de un puente vehicular de tres luces de 16 metros cada uno, conformado por losa y vigas de concreto reforzado, apoyados sobre estribos de concreto ciclópeo y de dos pilas, además de un diseño para la remodelación de la red de drenaje sanitario del sector San Jacinto; ambos ubicados en el municipio de Salcajá, departamento de Quetzaltenango.

En el diseño de los puentes de concreto, se utilizó la carga HS-20 propuesta por la AASHTO y se siguieron las normas establecidas por la misma asociación y el ACI.

Con el diseño de las obras civiles propuestas, se pretende colaborar con el desarrollo del municipio y plantear soluciones que reúnan los requisitos técnicos de diseño y construcción en proyectos de este tipo y también impulsar la labor social que la Universidad puede realizar a través de los futuros profesionales.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Para construir un Puente se debe determinar principalmente la ingeniería de diseño, la cual nos lleva a la ejecución de los estudios descritos en el Manual de Puentes del MTC como por ejemplo: Diseño Geométrico, Diseño Estructural, Estudio de Hidrología e Hidráulica, Estudios Geológicos y Geotécnicos, Diseño de Pavimentos, Señalización y Arquitectónico y Paisajístico, dichos estudios van a permitir en base a los resultados obtenidos diseñar un puente que garantice su estabilidad frente a condiciones extremas como por ejemplo: Un movimiento telúrico de grandes proporciones, avenidas de caudal extraordinarias y socavamiento debido a ellas, solicitudes de carga extremas, etc. Los cuales pueden dañar la integridad del puente pudiendo ocasionar su colapso como ocurrió en varios puntos de nuestro país el verano del 2017 por el Fenómeno de El Niño, dejando puentes destruidos e inservibles dificultando el acceso vehicular a varias ciudades.

Para construir un Puente se requiere de los procedimientos constructivos, los cuales en marcan los lineamientos o el camino a seguir para su materialización en base a la EG - 2001, garantizando así la durabilidad del puente en el tiempo, evitando los resanes, reparaciones y/o refacciones en los primeros años de su construcción. Como Ingeniero Civil se debe velar por respetar los procesos constructivos, garantizando la calidad del

Puente teniendo con ello menos gasto público, permitiendo invertir en diversos proyectos para el beneficio de la población.

Operacional

- ✓ Se cree que la ingeniería de diseño influye en la estabilidad de un puente.
- ✓ Se piensa que respetando los procesos constructivos garantice la durabilidad del puente.

1.3. DEFINICION DEL PROBLEMA

Se investigará las consideraciones básicas de diseño y los procesos constructivos del Puente Bella Unión. Explicar las características básicas de diseño y procedimientos constructivos para la ejecución del Puente Bella Unión, respetando la normativa vigente. Calcular el caudal máximo del río Rímac. Explicar los procedimientos para la construcción del Puente. Investigar el colapso del antiguo puente Bella Unión. Analizar los caudales máximos del Río Rímac para periodos de retorno de 500 y 1000 años. Ver Las Especificaciones Técnicas para Puentes. Ver si, el ANA y el MTC tienen información pública. Buscar en la página web del ANA y en el Manual de Puentes del MTC, Expediente Técnico y Manuales del MTC. Hay ausencia de la información básica para la ejecución del Puente BU, se tiene poca información para el cumplimiento de la normatividad vigente, el diseño y el procedimiento constructivo del Puente permitirá la durabilidad y estabilidad del puente incluso a condiciones extremas. Publicar los estudios y procedimientos constructivos para que se utilicen como guía en proyectos de características similares. Será útil para la empresa Contratista que está ejecutando actualmente la Obra, para la entidad supervisora, para las autoridades del MTC, MML y

público interesado. Se espera una reacción positiva de los profesionales y público en general interesado.

1.4. FORMULACION DEL PROBLEMA

1.4.1. Problema General

¿En qué medida la ingeniería de diseño influirá en la construcción de un puente con características mejoradas, que sea moderno, que solucione varios problemas, que tenga mejor estética y sirva de ejemplo para construir otros puentes?

1.4.2. Problema Específicos

¿En qué medida la ingeniería de diseño influirá en la estabilidad del puente?

¿El cumplimiento de los procedimientos constructivos influye en la duración del puente?

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo general

Explicar las características básicas de diseño y procedimientos constructivos para la ejecución del Puente Bella Unión, a través del uso de las normas vigentes.

1.5.2. Objetivos específicos

- **OBJETIVO ESPECIFICO 1**

Explicar que la ingeniería de diseño es fundamental para garantizar la estabilidad del puente frente a condiciones extremas, mediante el uso del Manual de Puentes del MTC.

- **OBJETIVO ESPECIFICO 2**

Explicar la importancia de los procedimientos constructivos para asegurar la durabilidad del Puente en el paso de los años, a través del uso de las especificaciones técnicas del MTC.

1.6. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Debido a que el puente anterior Bella Unión colapso, las consideraciones básicas de diseño o estudios básicos de ingeniería para el Puente Bella Unión son de suma importancia, ya que garantizan la estabilidad y durabilidad en condiciones similares a las del colapso e incluso en situaciones extremas, mejoran la calidad del mismo mediante el respeto de los procedimientos constructivos establecidos.

Explicando así las consideraciones básicas de diseño para el PBU, debido a que se han desarrollado considerando los lineamientos del Manual de Puentes del MTC y los procedimientos constructivos enmarcados en las especificaciones del proyecto.

1.7. LIMITACIONES

Los datos, estudios en el siguiente informe se en marcan bajo las características del Río de Rímac en la zona de la costa, el cuales presenta claramente caudales mínimos entre los meses de abril a diciembre y crecidas entre enero a marzo, además de ello el suelo posee materiales granulares gruesos de aspecto uniforme.

Además de ello el procedimiento constructivo está enmarcado bajo las características de un puente simplemente apoyado, sin pilar intermedio con cimentación profunda de pilotes y el tablero superior constituido básicamente por vigas metálicas tipo I.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Definición de Puente

Puente. - Termino usado para referir se a las estructuras viales, proyectado por encima de la superficie, que permite al ser humano dominar los obstáculos naturales. (1)

Viaducto. - Terminado usado para referir la infraestructura vial que se construya por necesidades urbanas o industriales (como los pasos elevados dentro de las ciudades o de los complejos industriales), o para eludir el cruce con otras vías de comunicación además el viaducto está compuesto por vanos sucesivos y altura constante.(1)

Pontón. - Terminado usado para referir a puentes de dimensiones pequeñas (Entre 3 a 10 metros). (1)

2.2. Partes de un Puente

Los puentes están conformados por dos partes bien definidas: la superestructura y la subestructura.

2.2.1. Superestructura

Parte superior donde actúa la carga móvil, y está constituido por:

Tablero: Sostiene las cargas dinámicas y transmite sus tensiones a los estribos y pilares, que, a su vez, lo transfieren a los cimientos, donde desaparecen en la roca o en el terreno contiguo. Los tableros contienen la carpeta de rodadura, paso peatonal, barreras de contención y al borde están los pasamanos y alumbrado público. (1)

Vigas longitudinales y transversales: Parte de la superestructura que soporta al tablero, tienen diversas formas por ejemplo: vigas en arco, vigas rectas, en pórticos, reticulares, vigas Vierendeel, etc. (1)

Apoyo: Elementos mediante el cual las vigas transmiten las acciones generadas en el tablero asía las pilas y/o estribos. El apoyo más usado es el neopreno. (1) **Aceras:** Zona específica para el tránsito peatonal, generalmente ubicada a los extremos laterales de un puente. (1)

Pasamanos: Baranda de seguridad colocada a los bordes del puente o en el límite de la vía para proteger al peatón de algún posible despiste o accidente.

(1) **Capa de rodadura:** Capa superior constituida principalmente de mezclas bituminosas que cumplen ciertos parámetros y característica, es la capa que soporta directamente solicitudes de carga. (1)

Otras instalaciones: Conformadas básicamente por las instalaciones eléctricas y drenaje, asimismo todo el entorno arquitectónico y paisajístico. (1)

2.2.2. Subestructura

Parte del puente que transmite las solicitaciones de carga al suelo de fundación y está conformada por:

Estribo: Muros situados a los extremos del puente, los cuales transfieren las cargas de la superestructura a la cimentación. Además de ello resisten el empuje de las tierras de los terraplenes de acceso, cabe mencionar que los estribos están constituidos por muro frontal (soporta el tablero) y muros en vuelta o aletas (sirven para la contención del terreno). (1)

Pilas: Soportes intermedios de los puentes de dos o más tramos. Con la función de soportar la carga muerta, viva y sobrecargas producidas por agentes naturales (viento, riadas, etc.). (1)

Tajamar: Elemento ubicado en la parte inferior del pilar o pilares de un puente que tiene una forma de sección redondeada, almendrada o triangular para encauzar suavemente a la corriente de agua hacia los vanos del puente, disminuyendo así el empuje sobre la obra y facilitando el desagüe. (1)

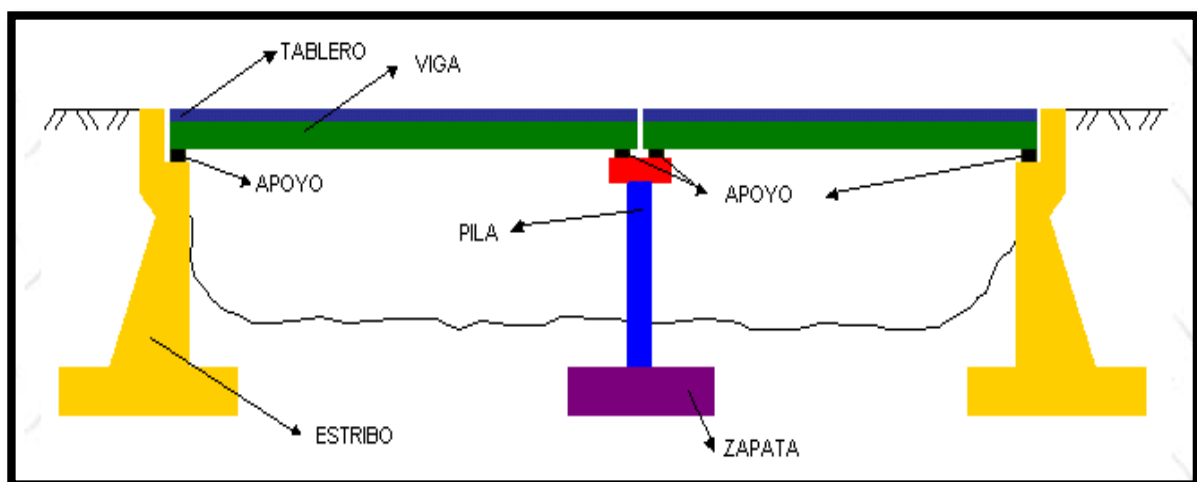


Figura 1 Sección transversal de un puente (1)

2.3. Clasificación de los Puentes

Los puentes se clasifican según el MTC en su Manual Puentes 2016, de la siguiente manera:

2.3.1. Según la naturaleza de la vía soportada

Se tienen los siguientes puentes, para carretera, para ferrocarril, para trenes eléctricos de pasajeros, para acueductos, puentes para peatones y los puentes para aviones que existen en los aeropuertos; también existen puentes de uso múltiple.

(2)



Figura 2 Puente para trenes.



Figura 3 Acueductos.



Figura 4 Puente para vehículos

2.3.2. Según el material

Tenemos los siguientes puentes de piedra, puentes de madera, puentes de sogas, puentes de hierro, puentes de acero, puentes de concreto armado, concreto puente de pre esforzado, y últimamente de materiales compuestos (fibras de vidrio, fibras de carbón, etc.). (2)

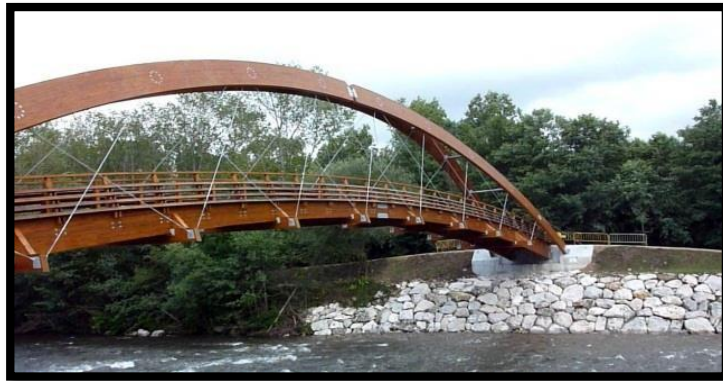


Figura 5 Puente de madera

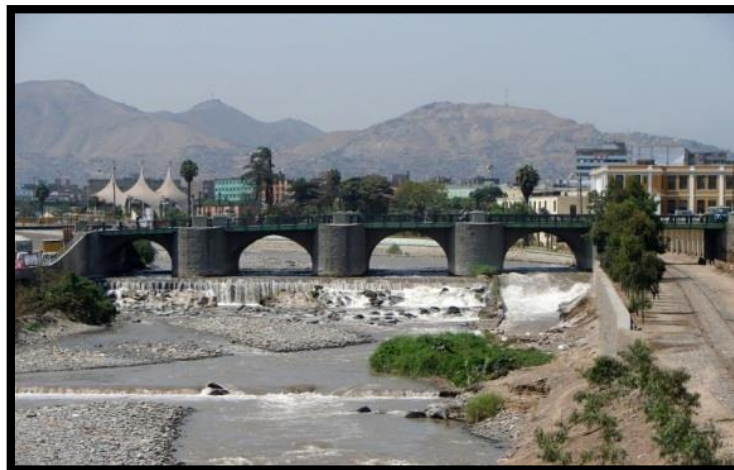


Figura 6 Puente de Piedra

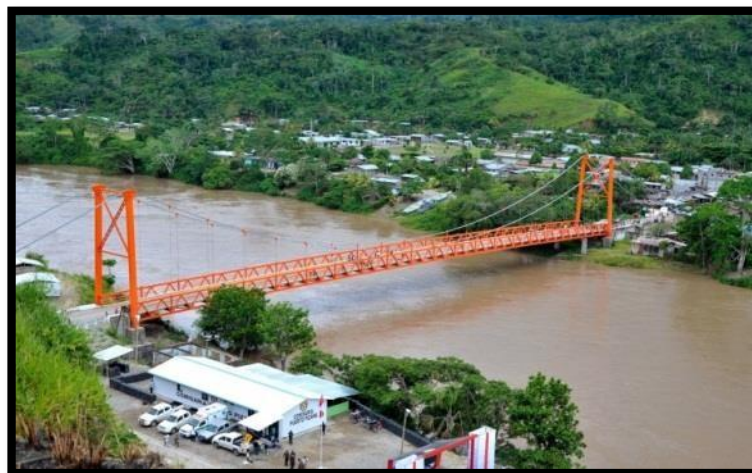


Figura 7 Puente metálico

2.3.3. Según el sistema estructural principal

Existen tres grandes categorías: los puentes tipo viga, los puentes tipo arco, y los puentes suspendidos:

- **Los puentes tipo viga.** - Pueden ser de tramos simplemente apoyados, tramos isostáticos tipo gerber o cantiléver, tramos hiperestáticos o continuos. En los puentes tipo viga, el elemento portante principal está sometido fundamentalmente a esfuerzos de flexión y cortante. Los puentes de losa se clasifican dentro de los puentes tipo viga, a pesar que el comportamiento de una losa es diferente al de una viga o conjunto de vigas. (2)



Figura 8 Puente tipo viga

- **Los puentes en arco.** - Pueden ser de muy diversas formas, de tablero superior, de tablero intermedio y de tablero inferior, de tímpano ligero o de tímpano relleno o tipo bóveda. Los puentes pórtico pueden ser considerados un caso particular de los puentes tipo arco, existen con columnas verticales y con columnas inclinadas. (2)



Figura 9 Puente Arco

- **Puentes suspendidos.** - Pueden ser colgantes, atirantados o una combinación de ambos sistemas. (2)



Figura 10 Puente suspendido

2.3.4. Según la geometría en planta



Figura 11 Puente Recto



Figura 12 Puente Curvo

2.3.5. Según su posición respecto a la vía considerada

Se clasifican como pasos superiores y pasos inferiores. (2)

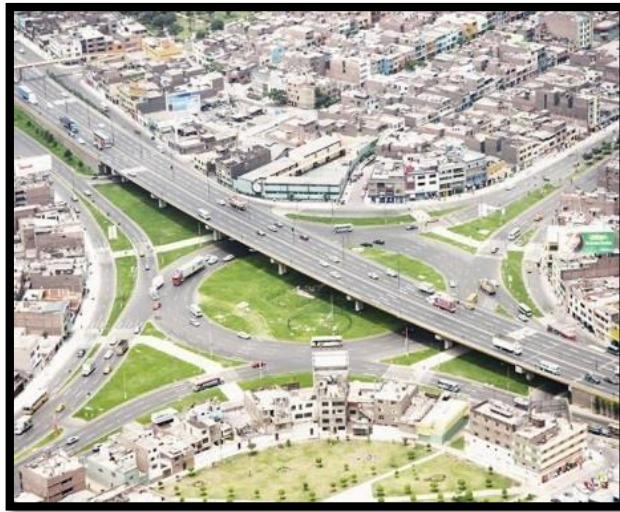


Figura 13 Paso Superior

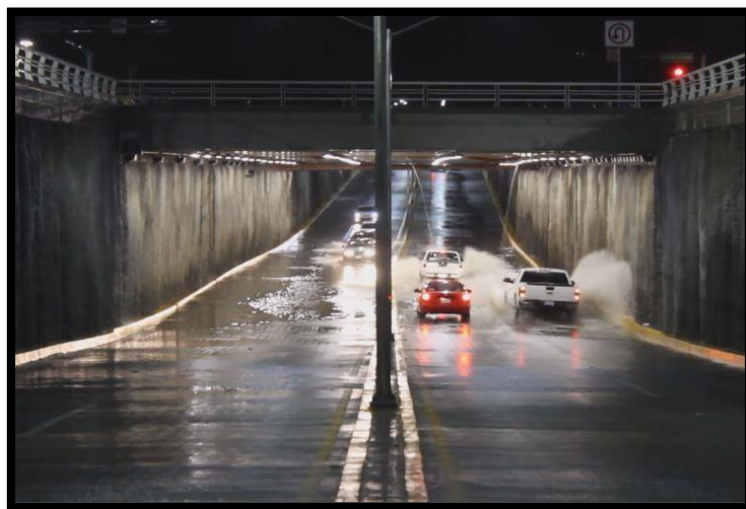


Figura 14 Paso Inferior

2.3.6. Según el tiempo de vida previsto

- **Puentes Definitivos.** - Los puentes definitivos deben ser diseñados para una vida en servicio de 75 años. Las especificaciones del presente Manual han sido elaboradas con ese objetivo. Para los puentes definitivos se debe dar preferencia

a los esquemas estructurales con redundancia, ductilidad, mayor durabilidad y facilidad de mantenimiento. (2)



Figura 15 Puente Bella Unión

- **Puentes Temporales.** - Los puentes temporales son aquellos cuya utilización debe ser por un tiempo definido no mayor de 5 años. Para los puentes temporales se pueden utilizar esquemas estructurales con menor redundancia, por ejemplo: puentes prefabricados modulares simplemente apoyados, en cuyo caso se deberá usar un factor de redundancia $nR > 1,05$. En cuanto a los materiales estos serán en concordancia a las especificaciones particulares que establezca la Entidad en cada caso. Los puentes temporales deben ser diseñados para las mismas condiciones y exigencias de seguridad estructural que los puentes definitivos. (2)



Figura 16 Puente Tipo Acrow

2.3.7. Según la Demanda de Transito y Clase de la Carretera

En el DG-2013 del MTC, Sección 101, clasifica las carreteras en base a la demandad de tránsito, y en base a ello se clasifica a los puentes en la misma forma:

- Puentes para Autopistas de Primera Clase
- Puentes para Autopistas de Segunda Clase
- Puentes para carreteras de 1ra. Clase
- Puentes para carreteras de 2da. Clase
- Puentes para carreteras de 3ra. Clase Y
- Puentes para Trochas Carrozadles

La sección transversal en los puentes mantendrá la sección de la carretera en la que se encuentre, incluyendo las bermas. (2)

2.3.8. Clasificación de acuerdo a la Importancia Operativa

Para el diseño del puente, el propietario debe asignar la importancia operativa del puente bajo la siguiente clasificación:

- Puentes Importantes
- Puentes Típicos
- Puentes relativamente menos importantes

En base a esta clasificación, se asignar el factor I_h según lo indicado en el artículo 2.3.2.5 (1.3.5 AASHTO)

Mediante este factor, se incrementa los efectos de las cargas de diseño para los puentes importantes y se disminuye para los puentes relativamente menos importantes. (2)

2.3.9. Clasificación para fines del Diseño Sísmico

Para fines del diseño sísmico de los puentes, el Propietario deberá clasificar el puente en una de las tres categorías siguientes según su importancia:

- **Puentes Esenciales**

Son aquellos puentes que deberían, como mínimo, estar abiertos para vehículos de emergencia o para fines de seguridad y/o defensa inmediatamente después del sismo de diseño, con un periodo de retorno de 1000 años. (2)

- **Puentes Críticos**

Son aquellos puentes que garanticen el tránsito de todo tipo de vehículos y deben poder ser utilizados después de un sismo, con un periodo de retorno de 2500 años.

(2)

- **Otros puentes**

Que no son Críticos ni Esenciales De acuerdo a esta clasificación se deben considerar los efectos sísmicos según lo escrito en el Art. 2.4.3.11.6 del Manual de Puentes. (2)

2.3.10. Según el sistema de construcción

- Puente Segmentales
- Puente Lanzados
- Puente sobre Obra Falsa
- Puente Prefabricado. (2)

2.4. Consideraciones básicas de diseño

El MTC, en su Manual de Puentes recomienda tener las siguientes consideraciones:

2.4.1. Estudios previos del proyecto

Un proyecto definitivo de un puente requiere estudiar los siguientes aspectos:

2.4.1.1. Ubicación y localización

Para la ubicación definitiva deben estudiarse diversas alternativas, las cuales contemplen el estudio de tráfico, alineamiento de la vía y rasante, facilidades de

construcción, tipo de terreno, conservación y la estética de la obra.

En vías urbanas la localización tiende a hacer forzada y obedece al tránsito. A diferencia de las zonas rurales que la localización está enmarcada por el tipo de terreno y en el caso de que permite el cruce de un río debe conocer el comportamiento del cauce.

Los colapsos de puentes por avenidas extremas son los más comunes. Por ello se considerarán los criterios hidráulicos recomendados por Martín Vide (1997) para la ubicación el puente:

- Garantizar su estabilidad fluvial. Es decir, que el río no modifique su sección, ya que podría traer efectos negativos al puente.
- Un puente no debe construirse en una zona inestable debido a que puede generar que se realicen obras de encauzamiento para estabilizarlo. Por eso se recomienda construir un puente en el origen del abanico aluvial, donde el río aún no tiene libertad de movimiento.
- Los puentes ubicados en zonas de cauce estrecho son los más económicos. Asimismo, los ríos con múltiples causas, generan mayor longitud y por ende presentan poca estabilidad. De preferencia las zonas de cauce rectilíneo o casi rectilíneo son preferibles, debido a que al no contar con curvas disminuye la erosión lateral y del fondo.
- Los datos hidrológico e hidráulico y morfológico del río son de mucha importancia para la estabilidad de un puente. Pero no es toda la información necesaria, además de ello necesitamos conocer los proyectos a futuro como presas aguas arriba que pudieran modificar repentinamente el cauce afectando con ello la estabilidad del puente.

La otra parte importante a evaluar es la alineación de la vía con el río. En primer lugar, El puente puede ser construido de manera perpendicular u oblicua, pero si debe estar bien detallada y explicada el porqué de su orientación. (Ver figura 17)

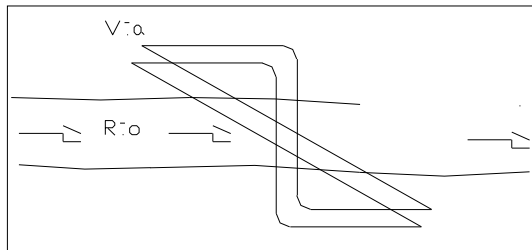


Figura 17

En caso se acepten las alineaciones oblicuas, se deben tener en cuenta algunos problemas:

- Las pilas, cimentaciones, estribos y Toda parte del puente que este en contacto directo con el agua como los estribos, pilas y cimentaciones deben estar en paralelo con la corriente, de ninguna manera mantendrán la alineación del puente, así signifique una complicación constructiva o estructural. (ver figura 18)

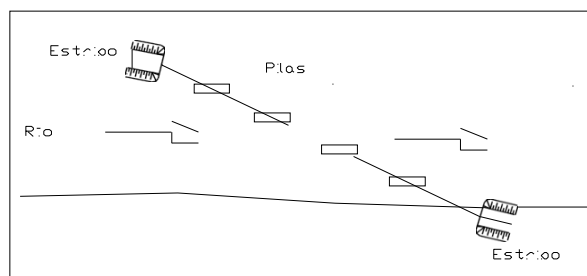


Figura 18

- Una alineación muy oblicua, ocasiona una concentración de obstáculos al estar casi paralela al cauce del río. (ver figura 19). (2)

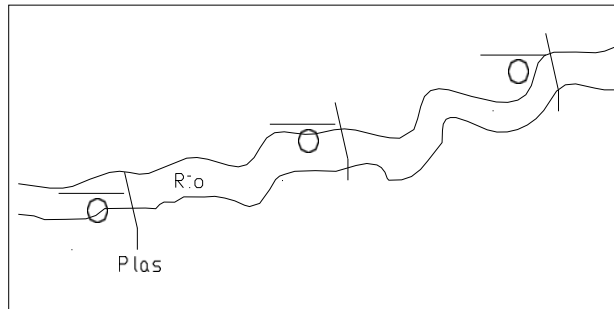


Figura 19

2.4.1.2. Determinación de la luz y tipo de Estructura

Teniendo la ubicación del puente, es imprescindible saber con exactitud las características del terreno y el comportamiento del río. Realizando los siguientes estudios:

- Estudio Topográfico
- Estudio de la hoya hidrográfica
- Recopilación de información
- Estudio de suelo y geotécnicos

Con los estudios antes mencionados se obtendrá la siguiente información:

- Sección hidráulica
- Caudales en avenidas máximas.
- Gasto mínimo y máximo en el sitio del ponedero
- Características del suelo
- Socavamiento y erosión.

Con estos resultados se determinará la luz de la estructura y con ella el sistema

estructural que se realizará.

La tabla 2 muestra los sistemas estructurales según la luz establecida en los estudios previos.

Tabla 1 Rango de luces según el tipo de estructura.

Tipo de Estructura	Material	Rango de luces (m)
Losa	C. Armado	0-12
	C. Pre esforzado	10-40
Vigas	C. Armado	12-25
	C. Pre esforzado	25-325
	Acero	30-300
Arco	Concreto	80-390
	Acero	130-400
	Acero Reticulado	240-520
Reticulado	Acero	100-600
Atirantado	Concreto	50-450
	Acero	100-1000
Colgante	Acero	300-2000

Fuente: Puentes, Análisis Diseño y Construcción. ACI, American Concrete Institute, Capítulo de Estudiantes de la Universidad Nacional de Ingeniería., Lima 1993. (3)

Además de la luz, un puente también considera la armonía y estética de la obra con su entorno, la funcionalidad y durabilidad del puente y la facilidad para su construcción teniendo en cuenta el aspecto económico. (2)

2.4.1.3. Forma geométrica y dimensiones

Habiendo determinado la ubicación y tipo del puente a construir, es necesario considerar, lo indicado en el Manual de diseño geométrico. Estas recomendaciones tratan de que el puente cumpla con los niveles aceptación, comodidad, seguridad y de servicio en general.

Como regla general, La sección transversal en los puentes mantendrá la sección de la carretera en el que se encuentra, incluyendo las bermas.

En todo caso, el MTC tiene la autoridad para validar casos excepcionales, así como autorizar secciones especiales para puentes de longitud o de luces excepcionales.

El diseño geométrico en puentes muy aparte de satisfacer las Normas Peruanas de Puentes, debe respetar las siguientes restricciones:

1. En las intercepciones de vías vehiculares y férreas deben considerarse futuros trabajos ejemplo ampliación de la vía.
 2. Un puente sobre un río puede ser oblicuo o curvo no necesariamente perpendicular al eje de la corriente del agua.
 3. Un puente que contenga curvas horizontales o zonas de transición entre tramos en tangentes y curvas horizontales debe obedecer el diseño geométrico de la vía y no debe superar el valor del peralte permitido.
- Gálibos: de 2.00 metros para ríos de agua, relativamente limpias en toda la época del año.

- De 2.50 metros para ríos de agua que transporten troncos, desechos, etc.
- De 5,50 metros mínimo medido siempre desde la rasante, para vías principales rurales y urbanas.
- Sobre vías férreas: mínimo 5,50 metros. Se debe solicitar aprobación del MTC.
- En ríos navegables, hacer la consulta al MTC.

4. La sección transversal en los puentes mantendrá la sección de la carretera en el que se encuentra, incluyendo las bermas., aunque la norma autoriza reducciones según el tipo de velocidad, terreno, y clasificación de la vía.

5. En ningún caso y ni por alguna razón un puente limitará el diseño vertical de una carretera. (2)

2.4.1.4. Obras de arte y complementarias

Dichas obras se tienen que incorporar al diseño de una manera fluida y natural, y debe seguir la geometría del accidente geográfico que obliga la ejecución del Puente.

Las obras complementarias pueden ser:

- Barandas
- Drenaje de la calzada y de los accesos
- Protección de las márgenes
- Empedramiento o Enrocado de taludes
- Iluminación
- Rectificación del cauce.

2.5. HIPÓTESIS

2.5.1. Hipótesis General

La ingeniería de diseño influirá en la construcción de un puente con características mejoradas, que sea moderno, que solucione varios problemas, que tenga mejor estética y sirva de ejemplo para construir otros puentes.

2.5.2. Hipótesis Específicos

2.3.2.1. La ingeniería de diseño influirá en la estabilidad del puente.

2.3.2.2. La ingeniería de diseño influirá en la duración del puente.

CAPITULO III

METODO

3.1. TIPO DE INVESTIGACION

Esta tesis es una Investigación Aplicada, Explicativa, Cuantitativa, Inductivo, transversal.

3.1.1. Diseño de Investigación

Se trata de una investigación descriptiva, transversal simple.

3.2. VARIABLES

3.2.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

Como variable independiente se plantea a la Ingeniería de Diseño, por cuanto es el concepto que será manipulado por el autor a fin de estudiar su repercusión sobre la variable dependiente.

3.2.2. VARIABLE DEPENDIENTE

Como variable dependiente se plantea a la Construcción del puente, de la cual se efectuará el trabajo de campo para la recolección de la información.

3.2.3. OPERACIONALIZACION DE VARIABLES

VARIABLES	INDICADORES	DIMENSION
INGENIERIA DE DISEÑO	a. Caudal b. Capacidad Portante del suelo	a. m ³ /s b. kg/cm ²
ESTABILIDAD	a. Asentamiento b. Socavación	a. mm b. m
PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS	a. Temperatura de concreto b. Espaciamiento del acero	a. °C b. cm
DURABILIDAD	a. Fisuras b. Resistencia del concreto	a. mm b. Kg/cm ²

3.3. POBLACION

Es el conjunto de datos que se encuentran en documentos de construcción civil, Reglamentos, el Expediente técnico Original y teniendo en cuenta la ingeniería de diseño, la cual nos lleva a la ejecución de los estudios descritos en el Manual de Puentes del MTC

3.4. MUESTRA

El Expediente Técnico tiene datos que son necesarios hacerle un seguimiento y cambiarlos de ser necesario, estos datos tendrán un tratamiento especial, es decir el éxito de la investigación dependerá del control exclusivo o el tratamiento con mayor énfasis sobre estos datos.

3.5. TECNICAS DE INVESTIGACION

- Realización de los estudios.
- Elaboración de planos.
- Elaboración de los Procedimientos Constructivos.
- Conclusiones y Recomendaciones.

La recolección de datos se hará desde el Expediente Técnico y Manual de Puentes del MTC, luego de mejorarlos o modificarlos, se forzarán a aplicarlos en el campo, donde primará la observación, previo a coordinaciones con los ingenieros y maestros de obra.

En lo que respecta a los instrumentos para la recolección de datos secundarios, estos se efectuarán mediante el análisis documental, tanto cualitativo como cuantitativo.

3.6. CONFIABILIDAD DE INSTRUMENTOS

Los datos se tomarán del Expediente Técnico y los nuevos datos se usarán principalmente teniendo en cuenta la ingeniería de diseño, la cual nos lleva a la ejecución de los estudios descritos en el Manual de Puentes del MTC como por ejemplo: Diseño Geométrico, Diseño Estructural, Estudio de Hidrología e Hidráulica, Estudios Geológicos y Geotécnicos, Diseño de Pavimentos, Señalización y Arquitectónico y Paisajístico, dichos estudios van a permitir en base a los resultados obtenidos diseñar un puente que garantice su estabilidad frente a condiciones extremas como por ejemplo: Un movimiento telúrico de grandes proporciones, avenidas de caudal extraordinarias y socavamiento debido a ellas, solicitudes de carga extremas, etc.

CAPITULO IV

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4. CONSIDERACIONES BÁSICAS DE DISEÑO DEL PUENTE BELLA UNIÓN

4.1. Descripción general del proyecto

El puente Bella Unión se encuentra ubicado en el Departamento de Lima, Provincia de Lima Metropolitana, sobre el Río Rímac entre los límites de los distritos de San Martín de Porres y Cercado de Lima, el cual permite el cruce del río Rímac uniendo ambos distritos mediante la Av. Universitaria, que fue interrumpida debido al colapso del antiguo puente un 23 de Febrero del 2013 por la socavación del pilar central, la cual posteriormente fue reabierta mediante la instalación de un puente Bailey, cerrándose nuevamente el 14 de Marzo del 2016 para la ejecución del nuevo puente definitivo Bella Unión.



Figura 20 Render del nuevo Puente definido Bella Unión

El Puente Bella Unión es un puente de vigas de acero con losa de concreto prefabricada. Si bien el puente es principalmente vehicular, contempla una integración urbana mediante las ciclovías, veredas y jardineras a lo largo de todo el puente.

El Puente Bella Unión se encuentra conformado por un tramo simplemente apoyado, cuya luz medida entre ejes de apoyos es de 54.40 m.

La superestructura está conformada por 13 vigas metálicas espaciadas a 2.65m, sobre las vigas metálicas se colocó las losas prefabricadas de concreto armado de 0.25m de espesor.

El peralte de las vigas es de 2.30m.

El ancho total de la superestructura es de 34.50m, lo cual permitió disponer de:

- Separador central con un ancho de 2.10m en totales:
 - Jardinera central de 0.80m de anchura.
 - New Jersey de protección de 0.40m.
 - Berma interior de 0.25m de anchura.

- 3 carriles por sentido de 3.25m de anchura.
- Ciclovía en ambos lados del puente de 1.20m de ancho, separada del tráfico vehicular por una jardinera.
- Vereda de 2.75m de ancho en cada sentido.
- 1 jardinera al borde del puente en cada lado de 1.30m de ancho.

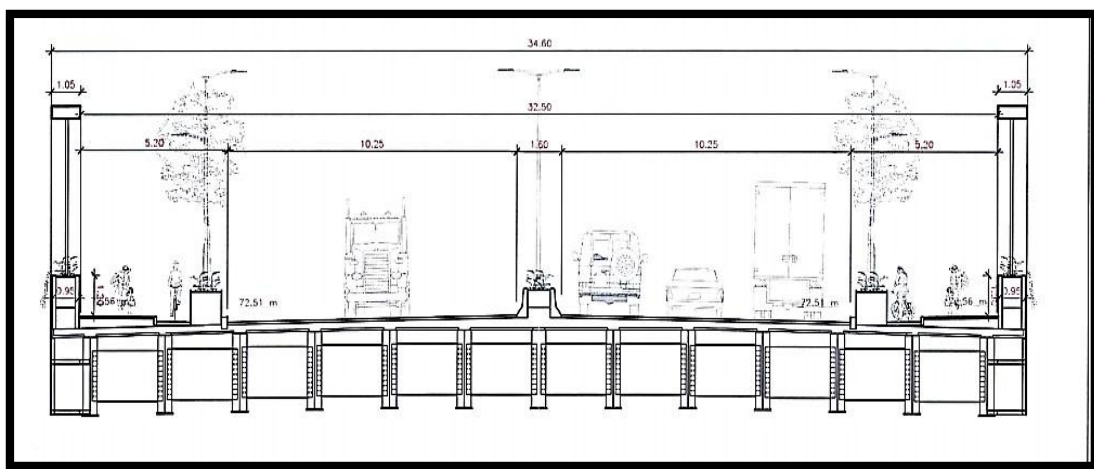


Figura 21 Sección Transversal Proyectoada del Puente definitivo Bella Unión

La subestructura del Puente Bella Unión estará constituida por dos estribos sin pilar central, un estribo ubicado en San Martín de Porres y el otro en Cercado de Lima. Cada estribo cuenta con cimentación profunda que incluye 16 pilotes de 1.50m de diámetro.

Hacia el norte, la sección del puente va variando hasta reducirse a la sección existente de la Av. Universitaria en el distrito de San Martín de Porres.

- Se pasa de 3 carriles por sentido a 2.
- Se mantiene la ciclovía de anchura de 1.20m en cada sentido.

4.1.1. Plano General del Proyecto



4.2. Diseño Geométrico

En el siguiente punto se describen los parámetros de diseño y características geométricas del Puente Bella Unión.

Características:

- Longitud: 54.40m
- Ancho: 34.50m
- Pendiente: 0.5%

El desarrollo del diseño geométrico del presente estudio se realizó bajo el siguiente marco teórico:

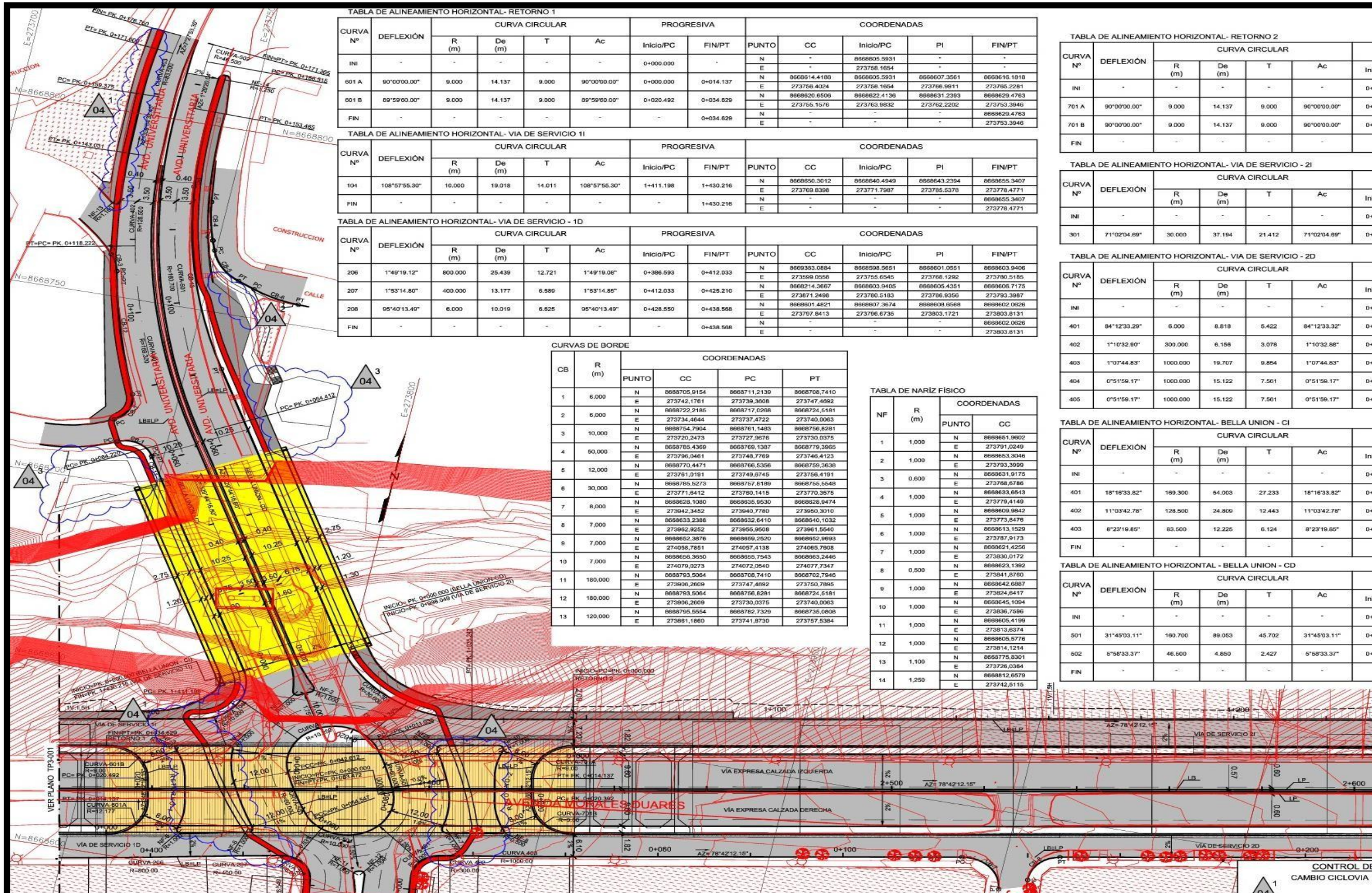
- A policy on Geometric Design of Highways and Streets 2011 (AASHTO).
- Manual de Diseño Geométrico DG-2014 del MTC.

La velocidad de diseño considerada para el Puente Bella Unión es 50 km/h.

Es importante destacar que el Puente está dentro de un tramo de vía urbana, además de ello mantiene la geometría del acceso más favorable, tratándose de una reposición de un puente y no de la ejecución de puente nuevo por aumento de la capacidad vehicular demandada.

Para la definición de la geometría se han utilizado los bordes internos de cada calzada como eje del Puente, y el peralte utilizado es de 2% para cada calzada desde el borde central al borde exterior.

4.2.1.Plano Diseño Geométrico



4.3. Señalización

Permite describir los tipos de señalización que se proponen para la operación del proyecto, además presenta la distribución posición y tipología de los elementos verticales como horizontales de las señales de tránsito.

La señalización es importante para la seguridad vehicular y/o peatonal durante la operación del proyecto, es por ello que se han considerado los siguientes tipos de señales:

- Reglamentarias, permite la regulación de vehículos y personas en el proyecto
- Preventivas, previene a los conductores sobre las características geométricas del proyecto.
- Informativas, orienta e informa al conductor sobre los diferentes lugares a los que puede acceder desde el proyecto.

Los criterios aplicados para el diseño de la señalización son:

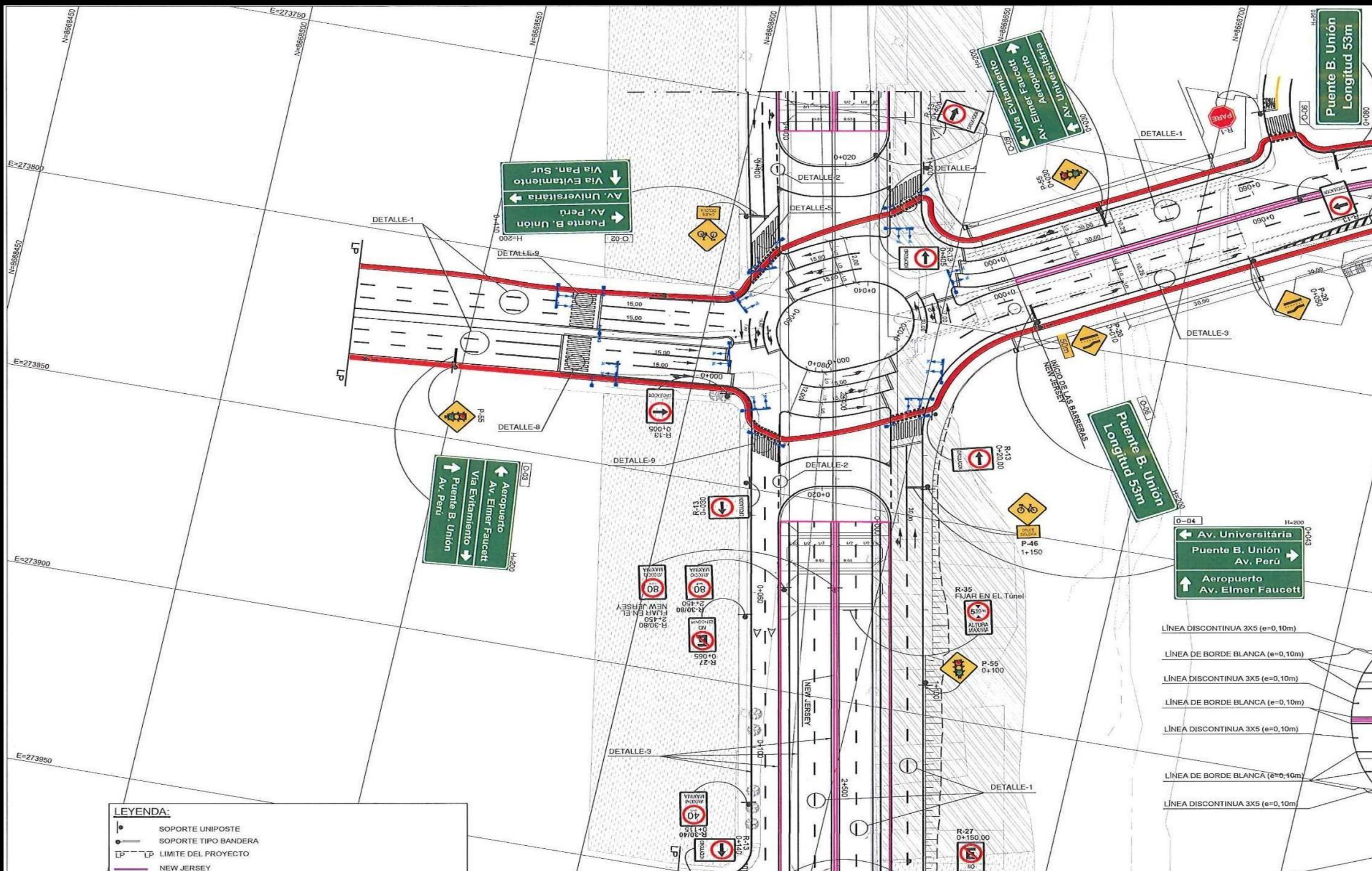
- Independencia entre el tránsito vehicular, de bicicletas y peatonal.
- Ordenamiento del flujo vehicular en el proyecto y accesos.
- El tamaño, forma y color de la señalización vertical esta en concordancia con el Manual de Dispositivos de Control de Tránsito para Calles y Carreteras del MTC para zonas urbanas.

- La posición de las señales respetan las distancias reglamentarias y además las interferencias de otros elementos verticales como postes de iluminación, semáforos. etc.

Para la señalización de las Ciclovías se ha considerado el Manual de Diseño para Infraestructura de Ciclovías desarrollado dentro del Plan maestro de Ciclovías para Lima y Callao.

También se han tomado en cuenta para esta evaluación, las condiciones del clima, topografía, niveles de visibilidad, etc.

4.3.1. Plano General de Señalización



4.4. Diseño de Pavimentos

Define los parámetros de diseño y criterios adoptados para la definición de la estructura del pavimento del Puente Bella Unión.

El proyecto contempla la pavimentación del nuevo puente y la conexión del mismo con la Av. Universitaria.

El diseño de pavimentos se ha basado en el método AASHTO – 93 y también se encuentra dentro de los lineamientos establecidos por el MTC, a través del Manual de Carreteras: suelos, geología, geotecnia y pavimentos – Sección de Suelos y Pavimentos.

4.4.1. Puente Bella Unión

El pavimento sobre la losa de concreto del Puente Bella Unión consiste en un pavimento asfáltico de acuerdo con las especificaciones EG-2013(MTC/DGC). Capítulo 04, con un espesor mínimo de 7.0cm y una franja granulométrica MAC 2. Entre la losa de concreto y el revestimiento asfáltico será necesaria la ejecución de una capa de pintura ligante (riego de adherencia).

4.4.2. Intersección con la Av. Universitaria

En la actualidad el pavimento existente que se ha descubierto en la calicata realizada es de 10 cm de asfalto sobre 15 cm de relleno controlado con un CBR a partir de los 15 cm de profundidad de 26.8%.

Se está proponiendo un paquete de pavimento mayor al existente de un paquete estructural de 62.5cm que consta de las siguientes capas estructurales:

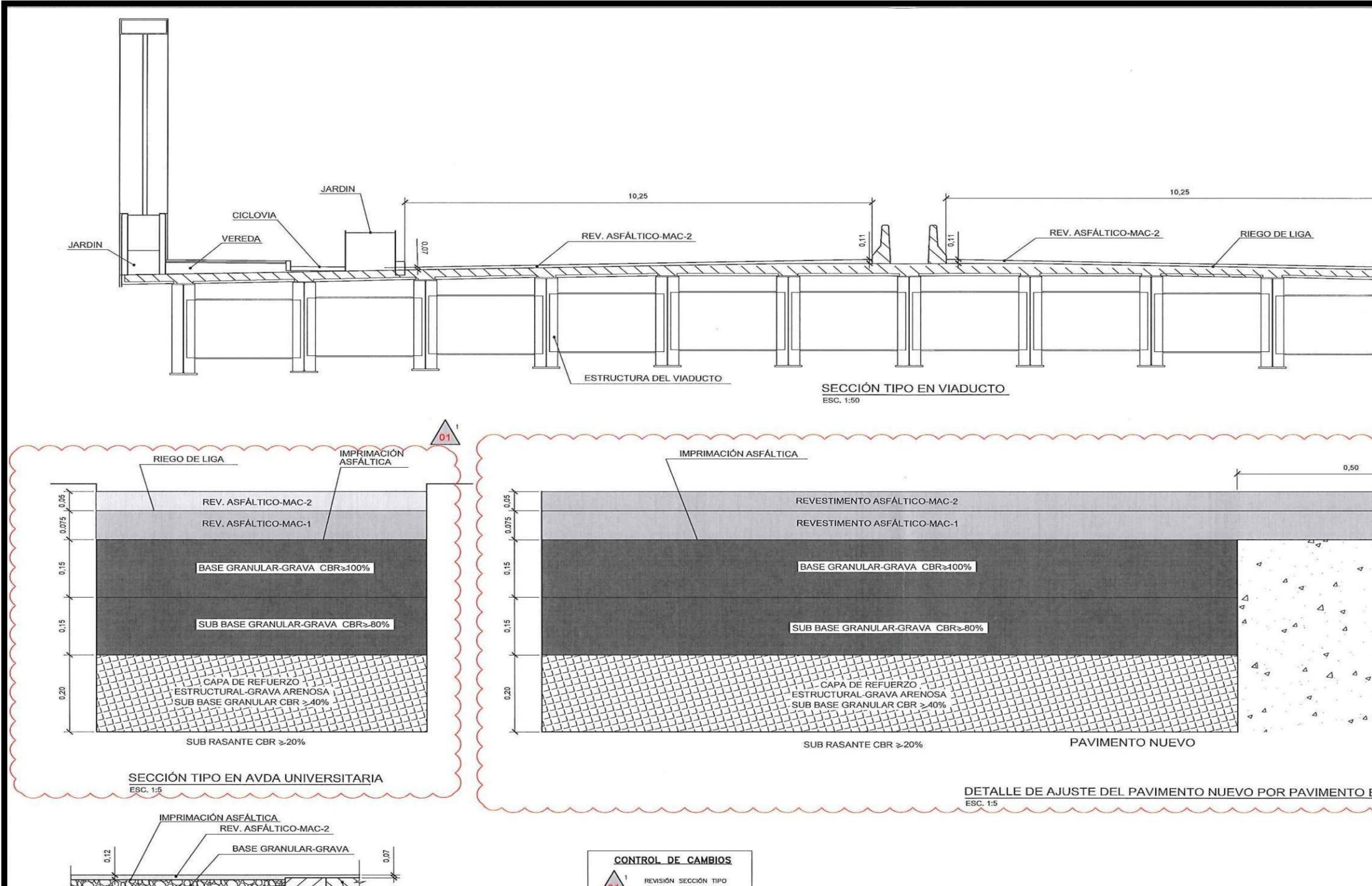
- Revestimiento de pavimento asfáltico en caliente, de acuerdo con las especificaciones EG 2000 (MTC/DGC), CAPITULO 4, constituido por dos

capas, siendo la primera de 5.0cm (Franja MAC 1) y la segunda con 7.5 cm de espesor (Capa de rodadura MAC 2), para un total de 12.5cm de espesor de asfalto.

- Base y Sub-Base granular de grava, según las especificaciones EG 2000(MTC/DGC), CAPITULO 3, sección 305, con un espesor de 15.0 y 15.0 centímetros en cada capa de gradación B.

- Refuerzo de la sub-rasante con espesor de 20.0cm, en grava arenosa con CBR > 40%. Este cumple las especificaciones de una sub-base granular.

4.4.3. Plano General de Pavimentos



4.5. Arquitectura

Define y detalla la arquitectura y paisajismo del proyecto de Puente Bella Unión, que cruza el Río Rímac en sentido norte-sur, así como del entorno afectado por su implementación y liberación/derribo de las parcelas anexas.

A continuación, se redacta los objetivos del proyecto de Arquitectura del Puente Bella Unión.

- Correcta y bien dimensionada conectividad peatonal y de ciclovía a lo largo de la Av. Universitaria, para ello se diseñan 2 veredas laterales con su respectiva ciclovía que permiten el paso de manera holgada de parte de ambos tipos de usuarios.
- La mejora de la calidad de experiencia entre peatones y ciclistas usando materiales de mayor calidad a la habitual en el entorno, la colocación de vegetación y el emplazamiento de mobiliario urbano (bancos, juegos infantiles, papeleras, etc.).
- La recuperación de 2 áreas para uso público, de connotaciones levemente diferenciadas y que se designa como “plaza” y “plaza-parque”, esta segunda con área de juegos infantiles.
- La separación de usos y protección entre ellos y los tipos de ambiente que generan. Ciclovía, peatones y tránsito rodado tienen recorridos diferenciados

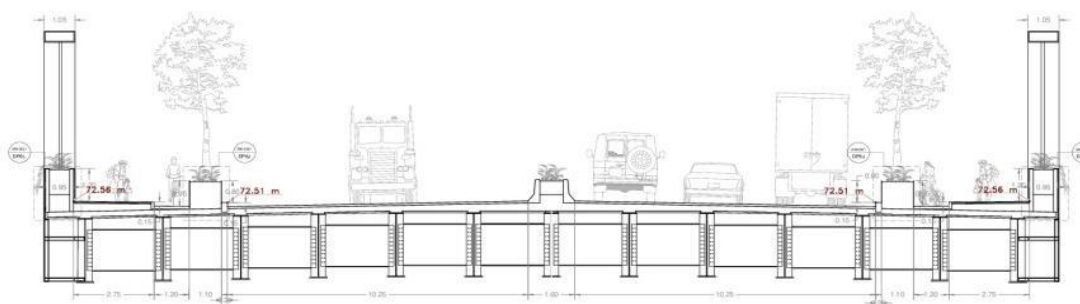
y separados entre ellos, lo que provoca una mayor comodidad y una seguridad de uso de sus respectivos espacios.

- La generación de visuales de calidad desde y hacia el puente. A su vez, el puente tiene impacto visual considerable desde el entorno inmediato hasta el más lejano. Por ello, se consideró el adecuado tratamiento formal del mismo mediante un arco y la chapa de recubrimiento del lateral del puente, así como la vegetación en forma de arbustivas y arbolado.
- La mejora de ámbitos de encuentro con urbanización preexistente no incluida en el ámbito del proyecto.
- La incorporación de vegetación donde sea factible y recomendado. Mediante árboles, palmáceas, arbustivas, plantas vivaces y gramas que generan un repertorio variado de vegetación a diferentes estratos. Ello mejora la experiencia del usuario, reduce la contaminación atmosférica, visual y acústica, regula los cambios de temperatura, ofrece protección solar, con llevando también numerosas otras ventajas para el habitat urbano. La recuperación de la vegetación en la ciudad se considera una de las premisas imprescindibles para la mayoría de actuaciones en espacio urbano en cualquier lugar del mundo.

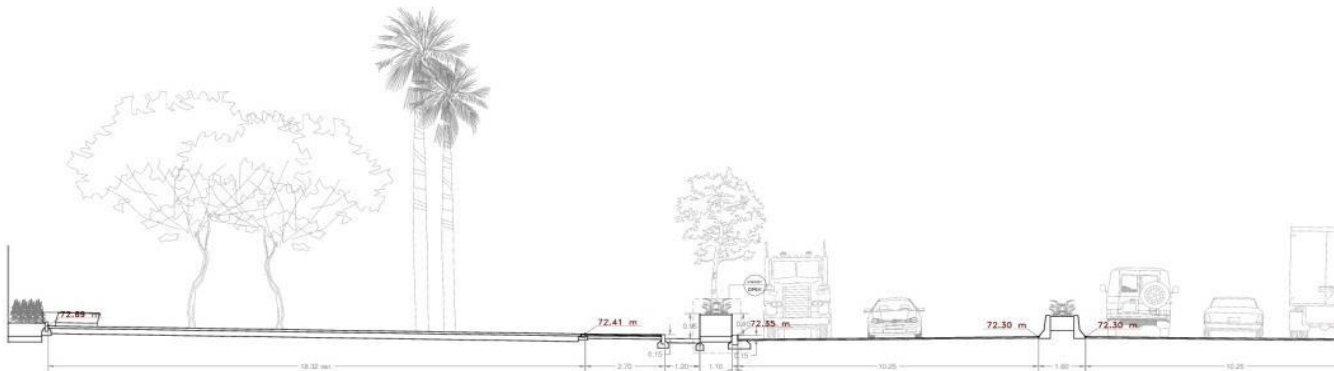
4.5.1. Plano General de Arquitectura



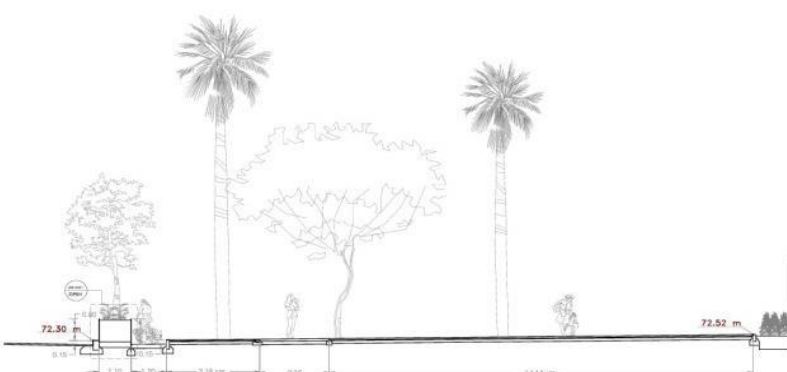
4.5.2. Plano de secciones transversales de Arquitectura



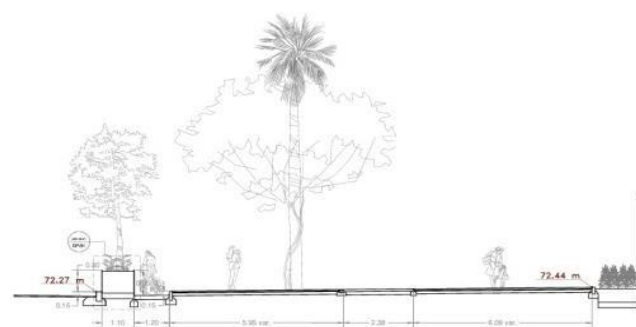
SECCION TRANSVERSAL 1
ST_01



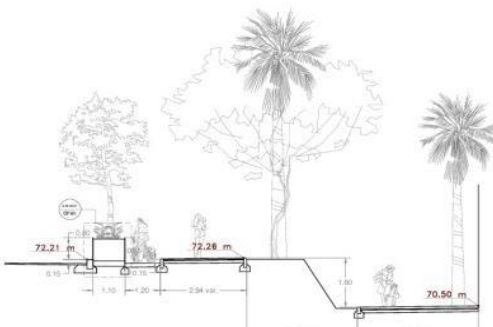
SECCION TRANSVERSAL 2
ST_02



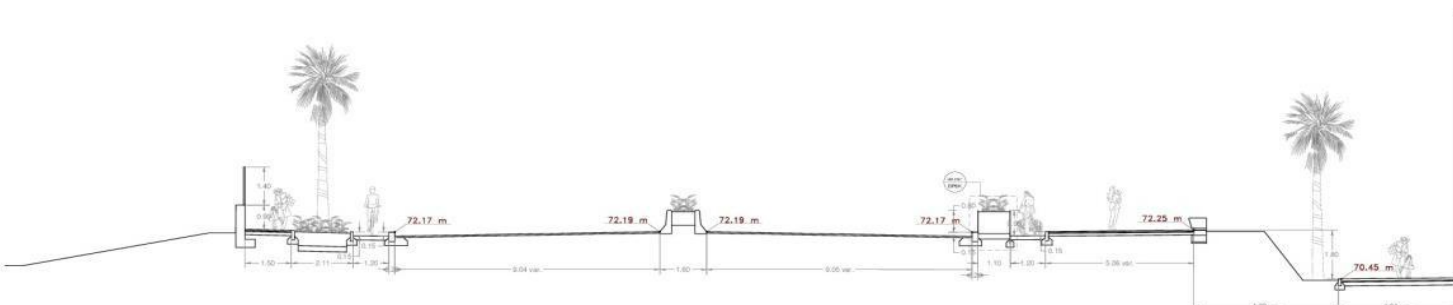
SECCION TRANSVERSAL 3
ST_03



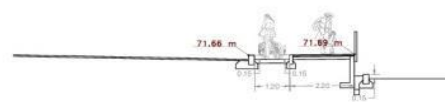
SECCION TRANSVERSAL 4
ST_04



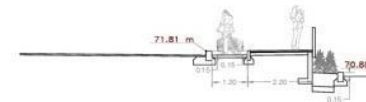
SECCION TRANSVERSAL 5
ST_05



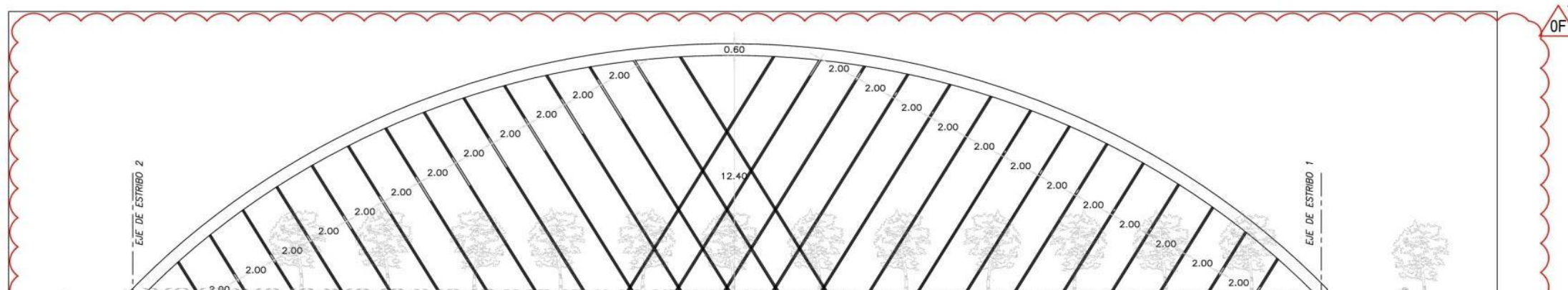
SECCION TRANSVERSAL 6
ST_06



SECCION TRANSVERSAL 7
ST_07



SECCION TRANSVERSAL 8
ST_08



4.6. Diseño Estructural

Permite sustentar el análisis y diseño del tablero del Puente Bella Unión mediante cálculos numéricos y criterios técnicos, verificando que lo establecido en las Normas de Cálculo sea satisfecho y que el comportamiento de la estructura sea lo más adecuada posible.

Se ha visto conveniente solucionar el problema del tránsito vehicular sobre la av. Universitaria, en su cruce con el río Rímac, mediante un puente de vigas de acero de alma llena compuesta por losas de concreto prefabricadas soportada por dos estribos cada uno a un extremo con cimentación profunda con 16 pilotes cada estribo de 1.50 m de diámetro. Además, el puente es vehicular y provee a sus bordes una vereda y ciclovía para cada sentido.

Las normativas que servirán de base para realizar los cálculos y diseño de la estructura son las siguientes:

- AASHTO LRFD Bridge Design Specifications. Seventh Edition. 2014.
- AASHTO LRFD Bridge Design. Second Edition. 2011.
- ACI 318–11 Requisitos de reglamento para concreto estructural y comentarios.
- Reglamento Nacional de Edificaciones RNE del Perú. Normativa técnica GH.020 - Componentes de Diseño Urbano. 2011.
- Reglamento Nacional de Edificaciones RNE del Perú. Normativa técnica CE.030 - Obras especiales y complementarias. Diseño y construcción de Ciclovías. 2014.

- Reglamento Nacional de Edificaciones RNE del Perú. Normativa técnica
CE.020 - Redes de Alumbrado Público. 2006.

De los materiales a utilizar se tiene la siguiente información:

Acero Estructural. - Vienen a ser las planchas de acero para las vigas longitudinales y diafragmas, además del acero utilizado en las cartelas y rigidizadores lo cuales presentan las siguientes características:

- Acero en Vigas longitudinales y diafragmas (ASTM A 709 Gr. 50) $f_y=345$
N/mm²
- Acero en cartelas y rigidizadores (ASTM A 709 Gr. 36) $f_y=345$ N/mm²
- Módulo de elasticidad para cualquier grado 200 000 MPa
- Coeficiente de Dilatación térmica 11.7×10^{-6}
mm/mm/°C

Acero Refuerzo. - Son las barras corrugadas para el refuerzo del concreto armado que presentan las siguientes características:

- Armadura de losas (ASTM A 615 grado 60) $f_y= 412$ N/mm²
- Módulo de elasticidad para cualquier grado 200 000 MPa
- Coeficiente de Dilatación térmica 11.7×10^{-6}
mm/mm/°C

Concreto. - Los diferentes hormigones a utilizar tendrán las siguientes características:

- Concreto de losa	$f'_c = 28 \text{ N/mm}^2$
- Coeficiente de Dilatación Térmica	$10.8 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
- Recubrimientos de losa cara superior	4.0 cm
- Losa cara Inferior	4.0 cm

Sobre las cargas que se han de considerar para el estudio estructural serán las siguientes:

Cargas permanentes. - Que son aquellas que actúan durante toda la vida útil de la estructura sin variar significativamente las cuales son las siguientes:

- Peso Propio.
- Empuje de tierras (EH) y Peso de Tierras (EV).
- Flujo Plástico (CR).
- Retracción (SH).

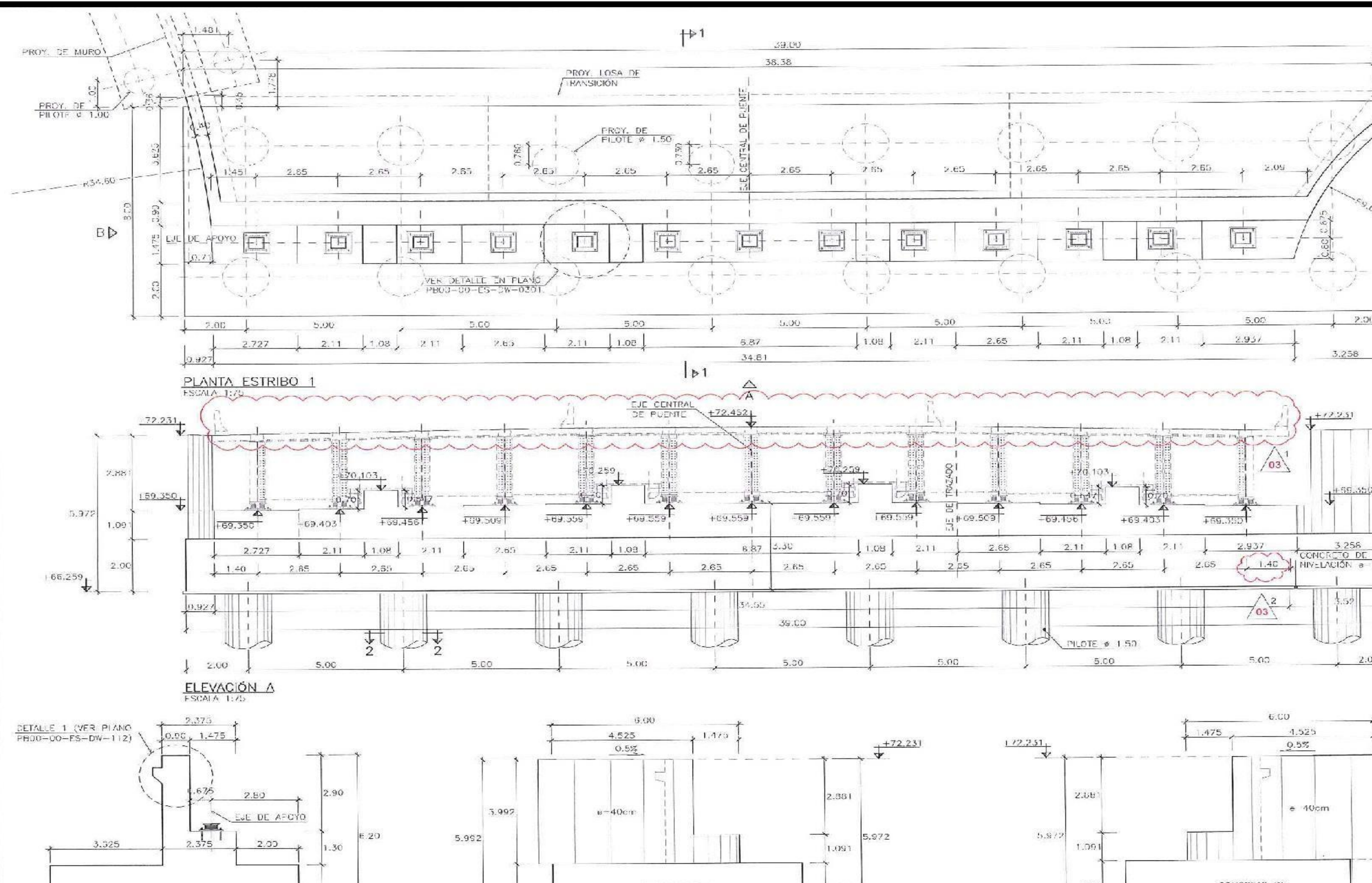
Cargas variables. - Que son aquellas cargas que actúan durante un periodo de tiempo determinado, pudiendo ser repetitivo, pero nunca constante o permanente, las cuales son las siguientes:

- Cargas Vivas Vehicular HL – 93 Según Norma AASHTO.
- Variación de Temperatura (TU y TG).
- Sismo de Diseño (EQ). Categoría de Diseño Sísmico (SDC).
- Empuje Sísmico sobre Muros y Estribos.

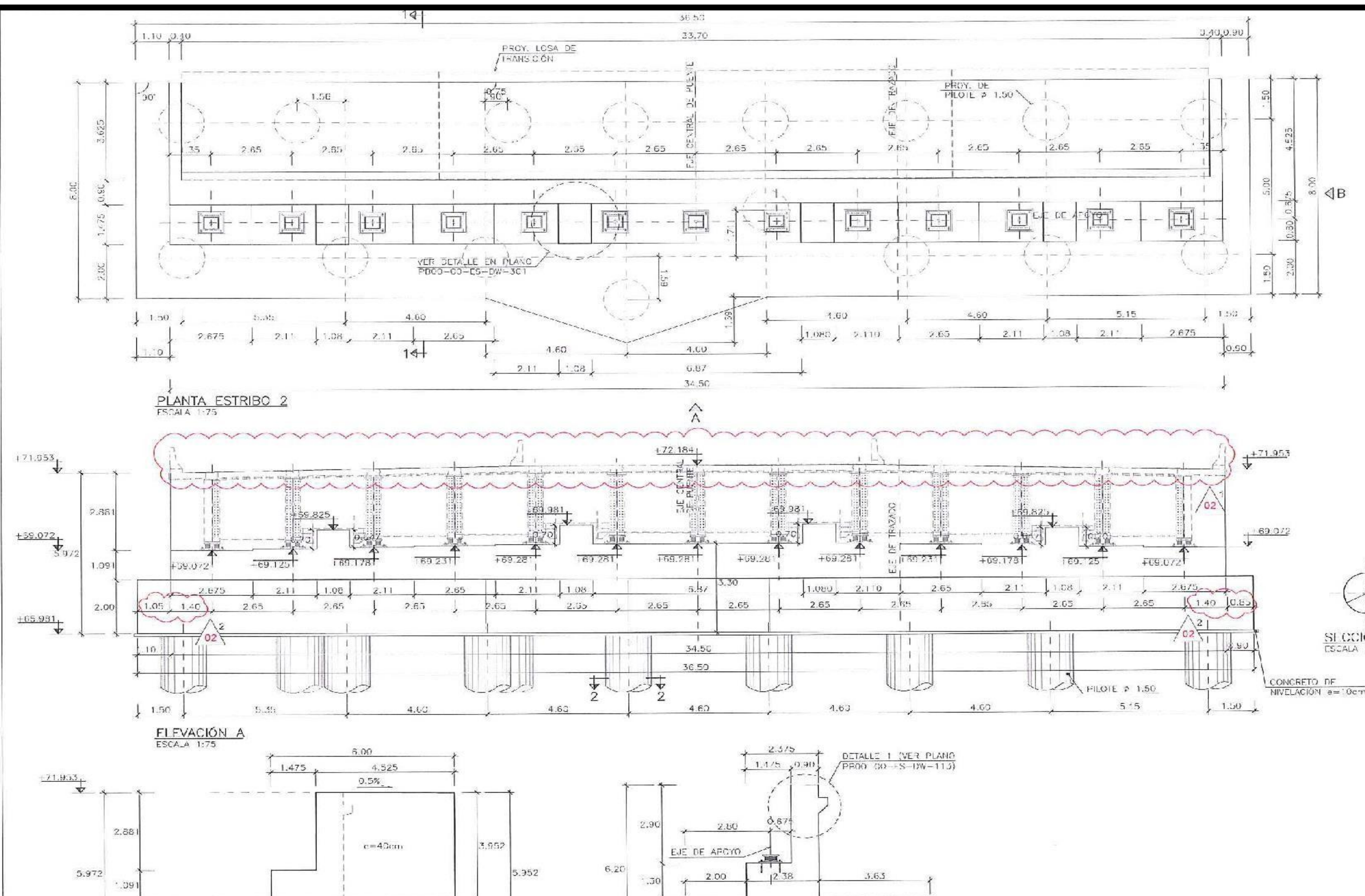
Las combinaciones de carga son una condición de diseño básica, que debe cumplir la estructura, en su capacidad resistente al no ser excedida por la solicitud mayorada de cargas, de acuerdo al estado límite de análisis, las combinaciones a las que se someterá estructura son las siguientes:

- Resistencia I.- Relaciona la carga y el uso vehicular normal, sin tener en cuenta el viento.
- Resistencia III.- Combinación de pesos que relaciona el puente y el viento con una velocidad mayor a 90 km/H.
- Servicio I.- Combinación de carga relacionada al uso operativo del puente con viento de 90 km/h y con todas las cargas a su valor nominal (sin mayorar).
- Servicio II.- Combinación de carga considerando para controlar la fluencia de las estructuras de acero y el desplazamiento de las conexiones críticas, debidos a la carga viva vehicular.
- Evento Extremo I.- Combinación de carga incluyendo sismo.
- Evento Extremo II.- Combinación de carga relacionada a la carga de viento, choque de vehículos y barcos, y ciertos eventos hidráulicos con carga reducida, distinta de la carga de choque vehicular.

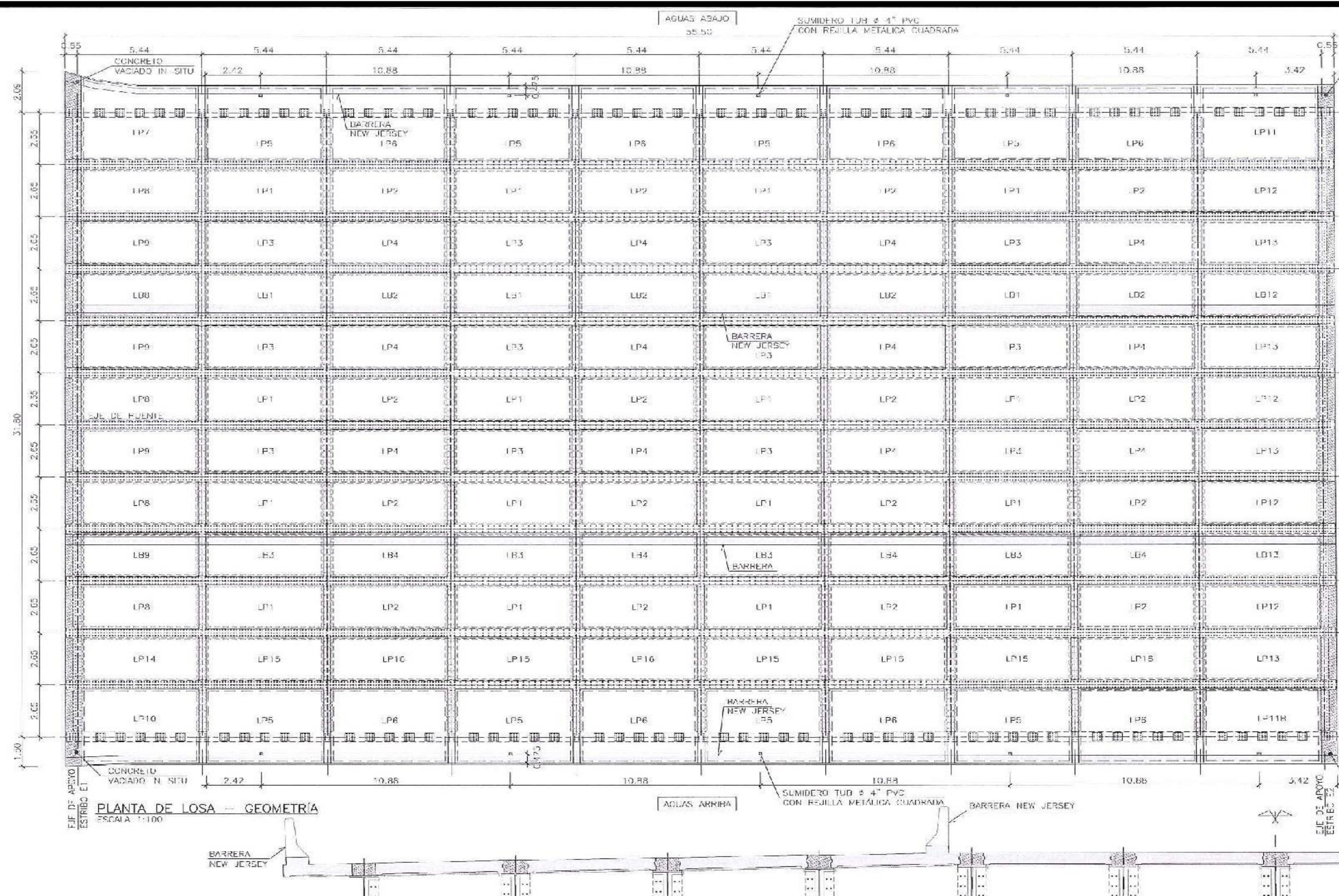
4.6.1. Plano Geométrico de Estribo 01 (Lado Cercado de Lima)



4.6.2. Plano Geométrico de Estribo 02 (Lado San Martín de Porres)



4.6.3. Plano General de la Superestructura



4.7. Estudio Hidráulico

El siguiente estudio desarrolla el cálculo hidráulico del río y su comportamiento con el entorno del Puente Bella Unión, además de ello busca establecer las posibles inestabilidades del lecho identificando las regiones de erosión y deposición de sedimentos en el fondo del río. El estudio determina la línea de agua para un caudal correspondiente a un periodo de retorno de 500 años.

Debido a que la construcción del Puente Bella Unión forma parte de la concesión que le otorgo la Municipalidad Metropolitana de Lima a la empresa LAMSAC para la construcción de la Línea Amarilla, y habiéndose desarrollado los estudios hidráulicos al Río Rímac dentro de toda el área de influencia al proyecto Línea Amarilla, se ve por conveniente utilizar los datos registrados en dicho estudio para los cálculos pertinentes para el Puente Bella Unión.

De acuerdo a los estudios hidráulicos desarrollados en el EDI del Proyecto Línea Amarilla, se obtuvo la siguiente tabla que indica los caudales correspondientes a distintos periodos de retorno de acuerdo a diferentes distribuciones.

Tabla 2 Caudales para diferentes periodos de retorno

Periodo de retorno T (años)	Distrib. Normal	Distrib. Log Normal 2P	Distrib. Log Normal 3P	Distrib. Pearson III	Distrib. Log Pearson III	Distrib. Gumbel
1000	236.05	297.5	236.43	236.54	194.2	302.33
500	227.97	278.3	228.29	228.38	193.04	282.25
200	216.44	253.04	216.69	216.76	190.62	255.69
100	206.92	233.94	207.12	207.18	187.82	235.55
50	196.53	214.7	196.67	196.71	183.85	215.34
20	180.93	188.77	181.01	181.03	175.91	188.37
10	167.07	168.37	167.1	167.1	166.79	167.54
5	150.28	146.58	150.26	150.26	153.18	145.82
Chi ²	11.17	35.25	11.23	11.25	14.42	42.86
Δ	0.0969	0.1055	no	no	no ajusta	0.1203
Δ tabular	0.2074	0.2074	0.2074	0.2074	0.2074	0.2074

Donde la supervisión recomienda el uso de los siguientes caudales que se deberían emplear.

De la tabla 3:

- Tiempo de Retorno 1000 años Q=302.33 m³/s
- Tiempo de Retorno 500 años Q=282.25 m³/s

Valores Adoptados:

- Verificación Estructural Q=314.00 m³/s
- Control de Socavación Q=511.00 m³/s

Para la evaluación del tirante de agua en el tramo del nuevo Puente Bella Unión, fue utilizado el programa Hec-Ras del U.S. Army Corps of Engineers, donde fueron simulados los caudales de 314 y 511 m³/s, además de ellos el coeficiente de Manning utilizado fue de n=0.035.

Dentro del área del proyecto el programa Hec-Ras realizó un seccionamiento transversal partiendo desde cero aguas abajo hasta la sección 109 cada 10 metros. Sabiendo que el tramo del Puente se encuentra entre las secciones 49 a 54.

En el caso de la región del Puente Bella Unión, existen diversos tramos con inclinación suficiente para que ocurra un régimen supercrítico y por eso fue utilizada la opción flujo mixto, con el objetivo de tener la mayor confiabilidad en términos de línea de agua obteniéndose los siguientes datos:

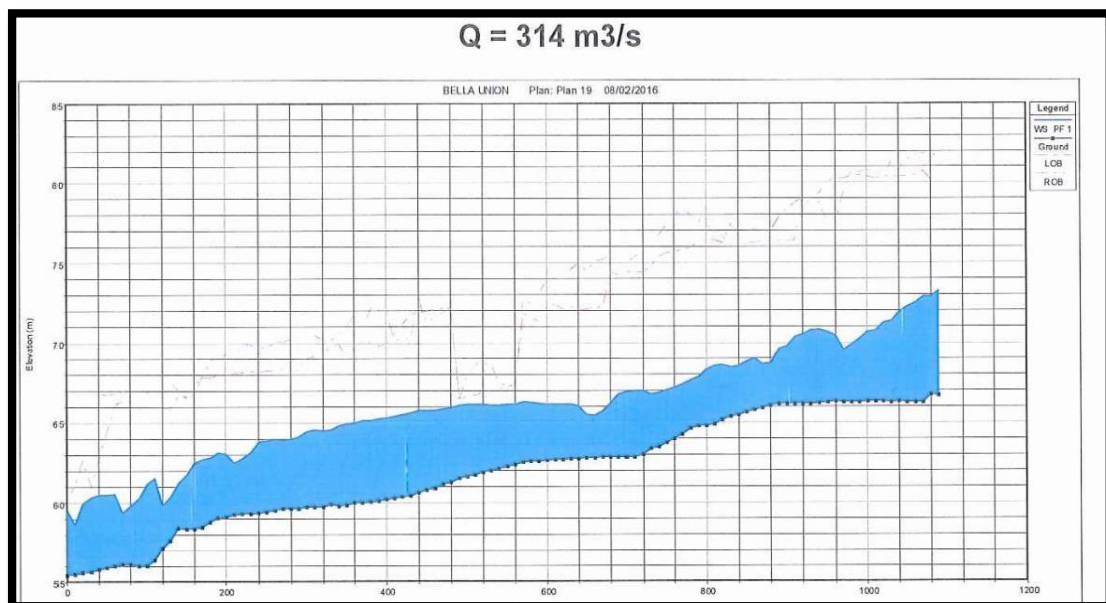


Figura 22 Perfil del caudal de $Q=314 \text{ m}^3/\text{s}$

Tabla 3 Cotas Máximas para el Caudal de $Q=314 \text{ m}^3/\text{s}$

PROGRESIVA	CAUDAL TOTAL (m^3/s)	COTA DE FONDO (m)	COTA DE AGUA CRITICO (m)	DIFERENCIA DE COTAS (m)
490	314	61.49	66.09	4.60
500	314	61.62	66.10	4.48
510	314	61.74	66.13	4.39
520	314	61.87	66.09	4.22
530	314	61.99	66.15	4.16
540	314	62.12	66.11	3.99

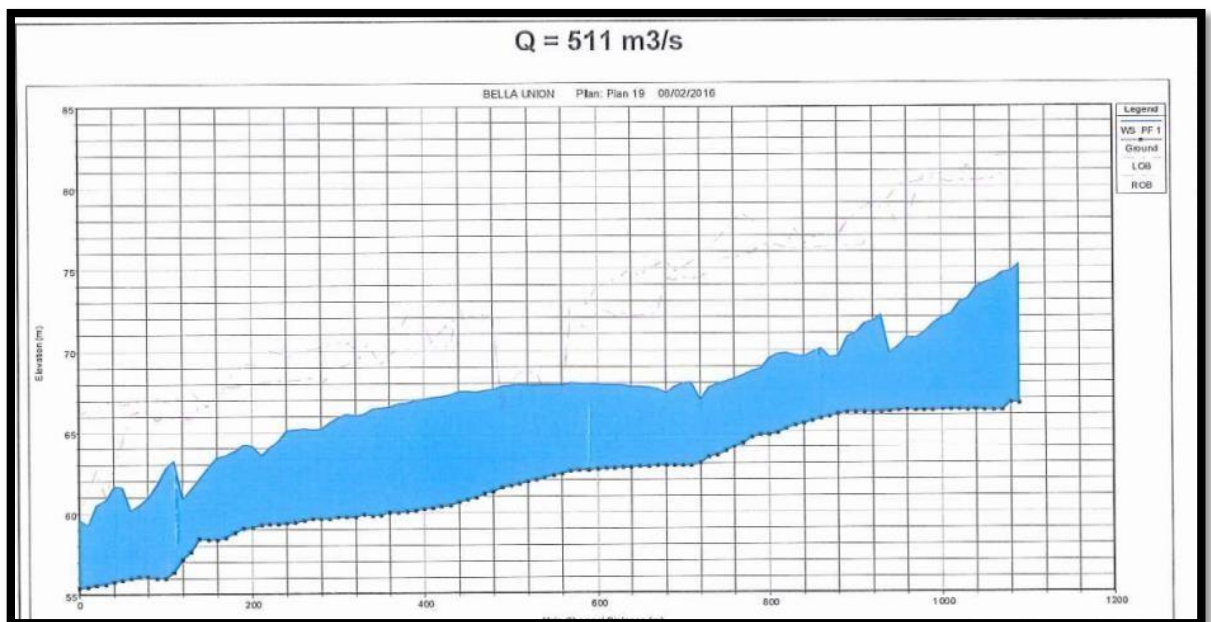


Figura 23 Perfil del caudal de $Q=511 \text{ m}^3/\text{s}$

Tabla 4 Cotas máximas para el Caudal de $Q = 511 \text{ m}^3/\text{s}$

PROGRESIVA	CAUDAL TOTAL (m^3/s)	COTA DE FONDO (m)	COTA DE AGUA CRITICO (m)	DIFERENCIA DE COTAS (m)
490	511	61.49	67.82	6.33
500	511	61.62	67.85	6.23
510	511	61.74	67.89	6.15
520	511	61.87	67.84	5.97
530	511	61.99	67.90	5.91
540	511	62.12	67.85	5.73

De las Erosiones y Deposiciones en el cauce del río, se realizó bajo la metodología de Lischtván – Levediev, de acuerdo al manual de Hidráulica y Drenaje del Ministerio de Transporte y Comunicaciones del Perú obteniendo se la siguiente grafica para los caudales de 314 y 511 m^3/s .

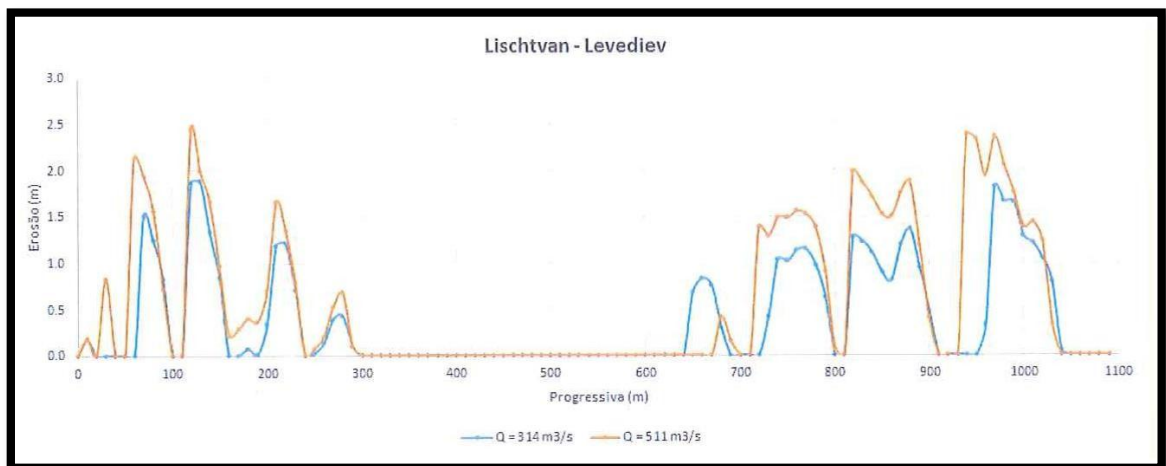


Figura 24 Gráfico de erosión en el lecho del río para caudales $Q = 314 \text{ m}^3/\text{s}$ y $Q = 511 \text{ m}^3/\text{s}$

Obteniendo la siguiente tabla de resumen:

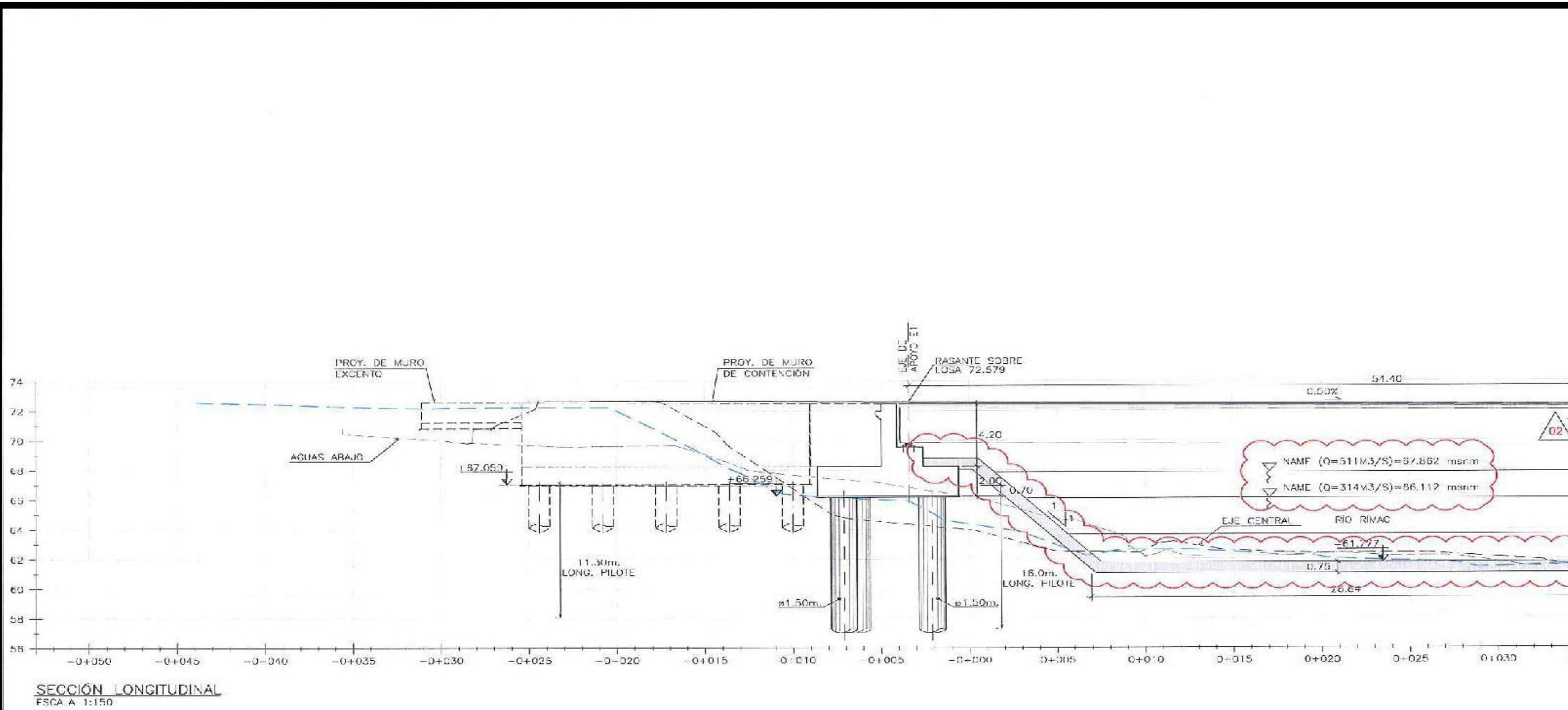
Tabla 5 Erosión en las secciones del Puente Bella Unión para caudales de $Q = 314 \text{ m}^3/\text{s}$ y $Q = 511 \text{ m}^3/\text{s}$

PROGRESIVA	CAUDAL	EROSION	PROGRESIVA	CAUDAL	EROSIÓN
490	314	0.000	490	511	0.000
500	314	0.000	500	511	0.000
510	314	0.000	510	511	0.000
520	314	0.000	520	511	0.000
530	314	0.000	530	511	0.000
540	314	0.000	540	511	0.000

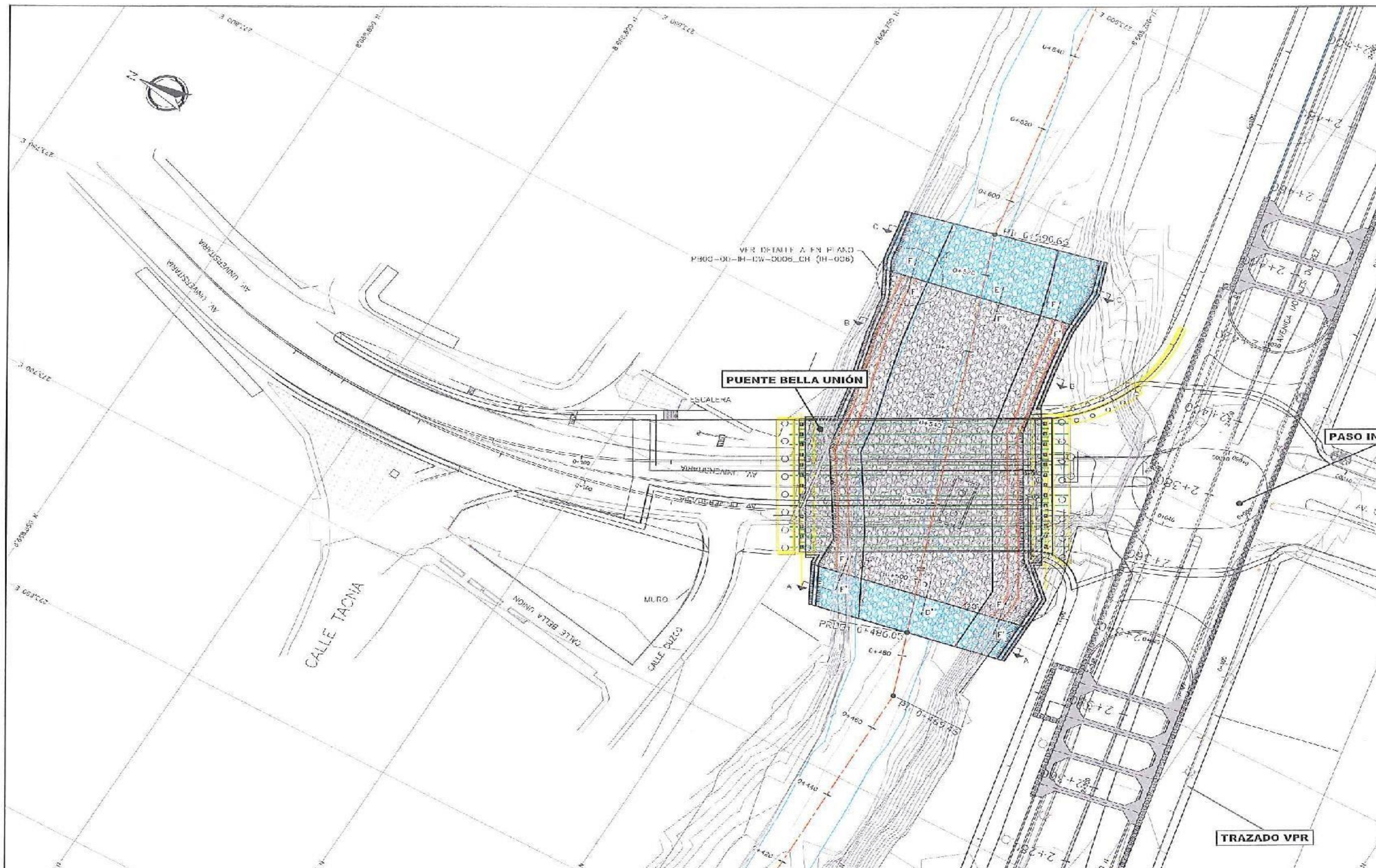
Conclusiones del Estudio Hidráulico

- Al respecto de la altura del nivel de agua, al máximo nivel correspondiente al caudal de $314 \text{ m}^3/\text{s}$ es de 4.60 m y para el caudal de $511 \text{ m}^3/\text{s}$ es de 6.33 m, quedando muy por debajo de la estructura del Puente Bella Unión.
- Sobre los cálculos de socavación que se han presentado, la región ubicada debajo del Puente Bella Unión, no presenta socavación en el cauce. Sin embargo, a pesar de ello, y de la seguridad, se ha previsto el diseño de un enrocado en el cauce del río, a su paso por el nuevo puente.
- El enrocado constara de dos tramos, uno de enrocado recebado con concreto en un tramo de 80m y otro de enrocado simple sin concreto en un tramo de 16 y 10 metros aguas arriba y abajo respectivamente.

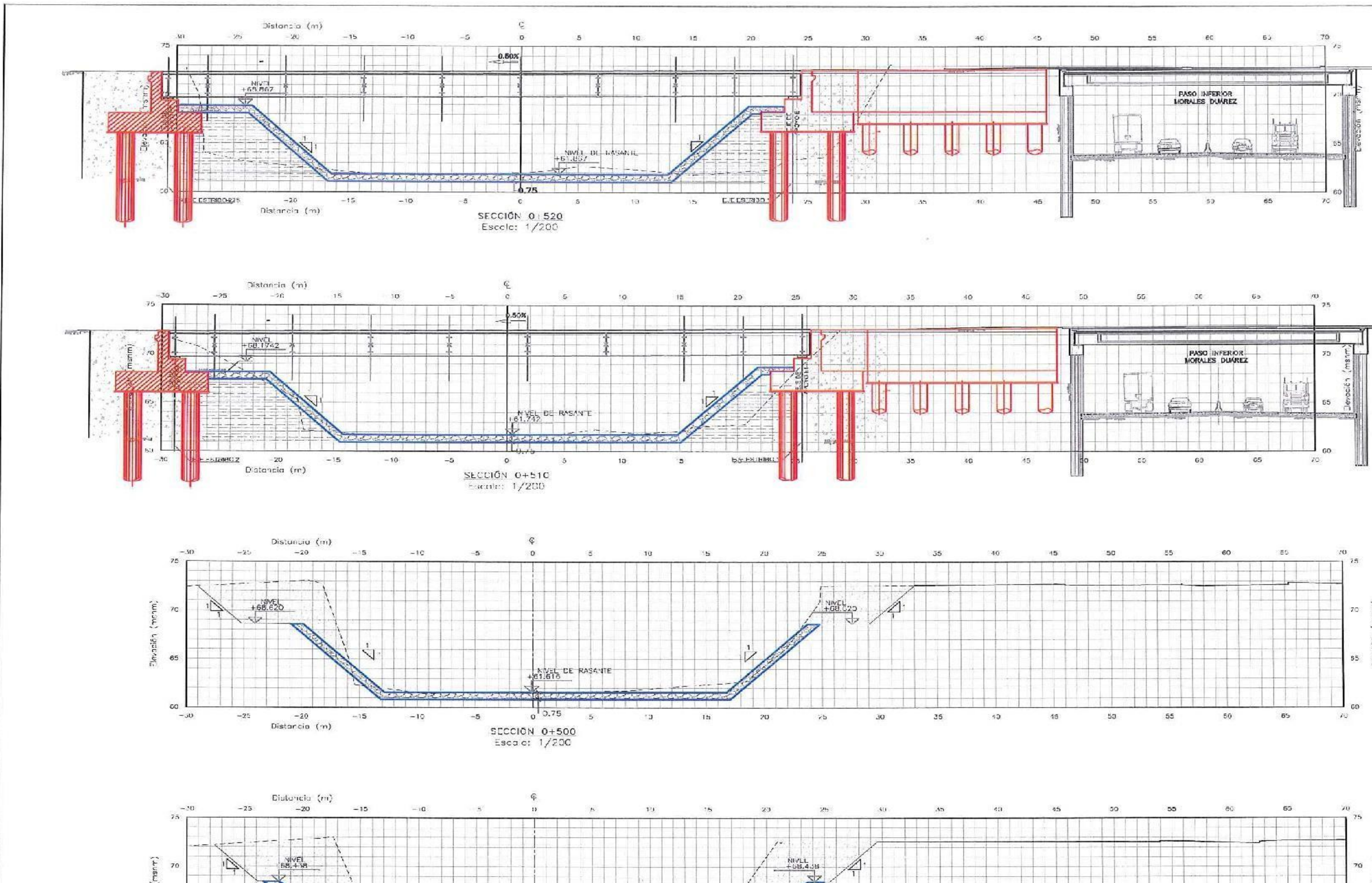
4.7.1. Plano General Hidráulica



Vista en planta de enrocado



4.7.2. Planos de secciones de enrocado



CAPITULO V

DISCUSION DE RESULTADOS

5. PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS DEL PUENTE BELLA UNION

5.1. Trabajos Provisionales y Preliminares

5.1.1. Desvío Peatonal y construcción del Puente Peatonal Esmeralda

Previo al inicio de los trabajos y actividades directas a la construcción del Puente Bella Unión, tenían que asegurar la continuidad del paseo peatonal, para evitar las afectaciones a la población colindante y usuaria de la Av. Universitaria es por ello que la MML solicito la construcción del Puente peatonal “Esmeralda”, permitiendo así la conexión entre San Martín de Porres y Cercado de Lima, siendo un opción rápida y segura para el peatón.

Los trabajos que realizaron para la construcción del Puente Peatonal fueron los siguientes:



Figura 25 Excavación hasta la cota de fondo de la zapata.



Figura 26 Ejecutaron los trabajos de trazo y replanteo para zapata.



Figura 27 Colocación de acero para la zapata y pantalla de estribo.



Figura 28 Encofrado para la zapata y estribo.



Figura 29 Vaciado de concreto $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ de zapata y pantalla del estribo.



Figura 30 Relleno fluido para alcanzar la cota del nivel terminado.



Figura 31 Montaje de viga metálica.



Figura 32 Montaje de tablero peatonal y barandas.



Figura 33 Habilidad del Puente Peatonal "Esmeralda"

Terminada la construcción del Puente Peatonal "Esmeralda" realizaron el desvío por las siguientes calles:

- De la Av. Universitaria (SMP)
- Sigue por Ca. Riobamba
- Continúa por Ca. Esmeralda y Puente Esmeralda
- Tomando el paseo peatonal de la obra hacia el retorno a la Av. Universitaria



Figura 34 Plan de Desvío Peatonal por la construcción del Puente “Bella Unión”

5.1.2. Demolición del Puente existente

La empresa a cargo de la construcción del Puente Bella Unión fue Graña y Montero. Cabe recalcar que el paso vehicular por la Av. Universitaria fue interrumpido el 14 de marzo del 2016, para la realización de los trabajos de pilotaje del Paso Inferior Morales Duárez, correspondiente a la Línea Amarilla.

La 1era semana de octubre de 2016, se iniciaron los trabajos de demolición del Puente existente sentido Norte - Sur.

Para ello realizaron la protección del Puente Bailey, para evitar cualquier daño y/o accidente hacia las personas que transitaban por dicho acceso debido a los trabajos de demolición que realizarían.

Las actividades que desarrollaron fueron las siguientes:



Figura 35 Retiro de barandas, guardavías y mallas de protección.

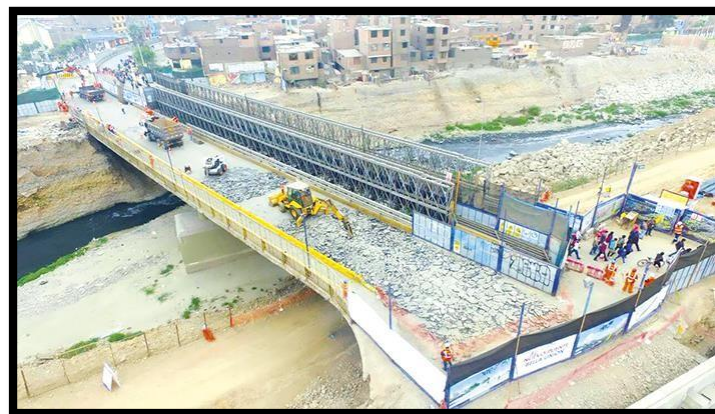


Figura 36 Retiro del asfalto y eliminación.

Demolición de los aleros se hizo en dos fases del pilar central al estribo izquierdo aguas abajo y arriba y luego del pilar central al estribo derecho aguas arriba y abajo, de manera que el río pueda ser direccionado para evitar su contaminación.



Figura 37 Demolición de aleros.



Figura 38 Demolición de la losa central de la viga cajón.

Procedieron con la debilitación de los pilares centrales, induciendo la falla concreto expansivo, por seguridad primero debilitaron el pilar que estas aguas abajo y luego el pilar de aguas arriba, para evitar así el volteo del puente hacia el puente Bailey.



Figura 39 Debilitación de los pilares centrales

Después de haber colocado el concreto expansivo en los pilares, debido a la fractura inducida, el puente fallo desplomándose hacia el río, para su posterior eliminación y limpieza del área en cuestión.



Figura 40 Demolición del tablero.

Posteriormente realizaron la demolición de los estribos y zapata central convenientemente, según las actividades a realizar.



Figura 41 Demolición del Estribo Existente.

5.1.3. Desmontaje del puente Bailey

Reubicado el tránsito peatonal por el Puente Esmeralda, procedieron con el desmontaje del puente Bailey, donde ejecutaron las siguientes actividades:

- ❖ Limpieza general de Puente, retiro de cables y postes de las diversas empresas de comunicaciones, además del retiro de barandas guardavías y mallas de protección y la lubricación de las conexiones.

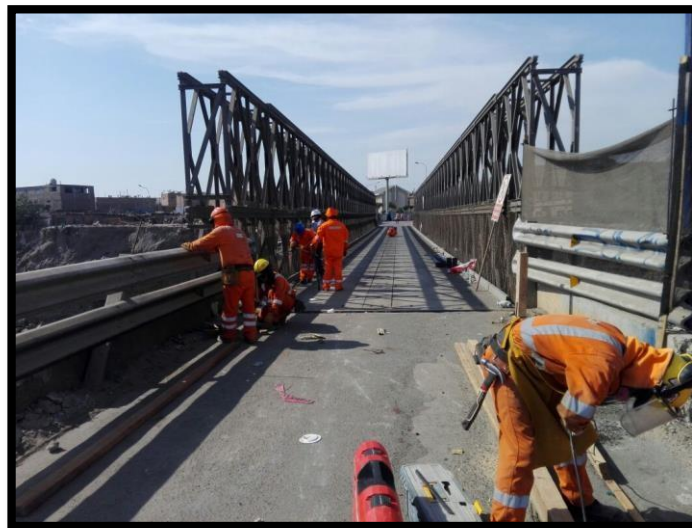


Figura 42 Limpieza general del Puente Bailey.

- ❖ Luego de la limpieza general y de haber lubricado las piezas del puente, procedieron con el retiro de 5 tramos de paneles superiores, para la realización y armado de la nariz de lanzamiento.

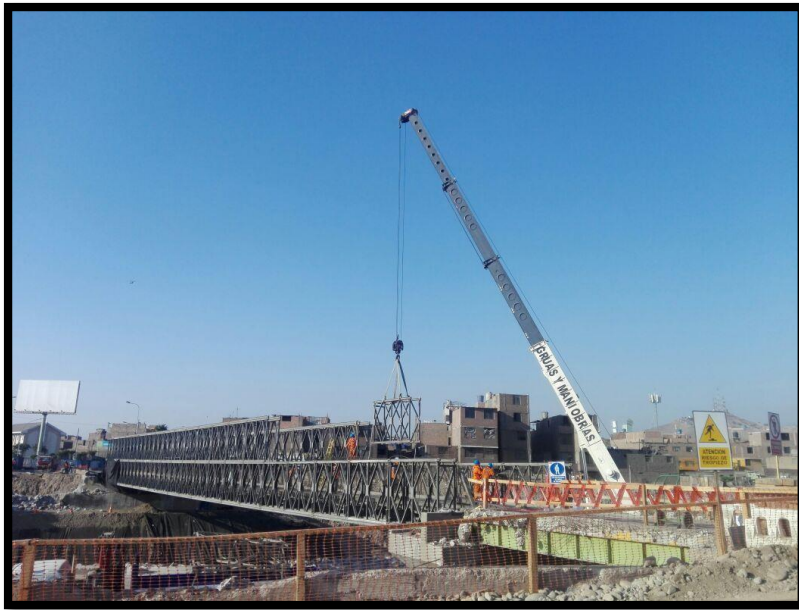


Figura 43 Retiro de paneles superiores

- ❖ Luego, retiraron 17 tramos de paneles del piso, para aligerar el peso del puente al momento de realizar el izado invertido dejando 3 para la colocación del contra peso.



Figura 44 Retiro de paneles de piso.

- ❖ Para la realización y armado de la nariz de lanzamiento procedieron al gateo de la estructura del puente hasta el nivel superior a los apoyos para poder ensamblar los paneles desmontados anteriormente.



Figura 45 Estructura del Puente Bailey gateado.

- ❖ Procedieron con la colocación del contrapeso al extremo opuesto, para evitar así que el puente se desplome por su propio peso al momento del desmontaje.



Figura 46 Colocación del contrapeso



Figura 47 Armado de la nariz de lanzamiento.

- ❖ Instalación del sistema de anclaje para lanzamiento con vigas H empotradas donde conectaron los 6 tirfors con cable acerado de 1" de diámetro, posterior a ello instalaron el sistema de retenida, antes que la nariz abandone el pilar, adicional a ello colocaron unos rodillos (tortugas) para facilitar el desplazamiento de la estructura del puente e iniciaron con el desmontaje hasta que la nariz llegue al borde del pilar.

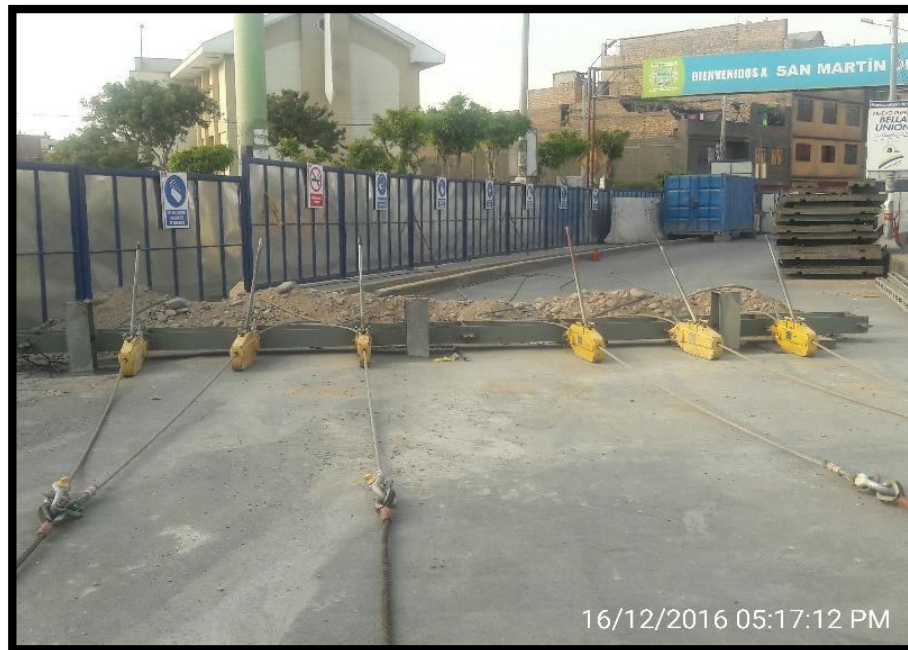


Figura 48 Vigas H conectadas a los tilfors.



Figura 49 Inicio de desmontaje del Puente Bailey.



Figura 50 Culminación del desmontaje y despiece final del Puente Bailey.

5.1.4. Relleno y excavación para conformación de terraplén para cimentación

Paralelo a los trabajos de desmontaje del Puente Bailey realizaron los siguientes trabajos de relleno y excavación para la cimentación del Puente Bella Unión:

- ❖ Verificación de la fundación y relleno de definitivo hasta la cota de fondo de la zapata
- ❖ Colocación de geotextil.
- ❖ Enrocado provisional de protección en caso de avenidas extremas.
- ❖ Relleno temporal hasta la cota superior de la zapata para posterior descabezado de los pilotes y armado de la zapata.
- ❖ Excavación y demolición de los estribos existentes según la necesidad de los trabajos a realizar.
- ❖ Excavación para accesos de la pilotera.



Figura 51 Inicio del relleno estructural Estribo 1.



Figura 52 Inicio del relleno estructural Estribo 2.



Figura 53 Finalización del relleno estructural y colocación de geotextil.



Figura 54 Colocación de roca para enrocado provisional.



Figura 55 Colocación de concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ para enrocado provisional.

5.2. Subestructura

5.2.1. Ejecución de Pilotes

Una vez realizado los rellenos estructurales hasta la cota superior de la zapata procedieron con la colocación la pilotera dentro del área de trabajo, la ejecución de los de pilotes está a cargo de la empresa Monta Engil. La cual se comprometió a realizar 2 pilotes por día en horario corrido de diámetro 1.50m y de 16m de longitud.

La empresa contratista realizó las siguientes actividades:

- ❖ **Perforación.** - Consiste en la extracción del terreno mediante una pilotera con movimientos descendentes y ascendentes, además de ello la estabilidad de las paredes del terreno estuvo asegurada mediante la utilización de los tubos molde recuperable y acoplables según la profundidad.



Figura 56 Perforación de pilotes para zapata.

- ❖ **Control Topográfico.** - Consiste en la verificación de la profundidad de la excavación y de las coordenadas centrales del pilote, la verificación de la profundidad del pilote fue realizado mediante el uso de una wincha con un soporte fijo en el extremo que ingresa hasta el fondo del pilote tomando la medida hasta el borde superior al cual , le restaron la medida del extremo saliente de la camiseta hasta el terreno, el control de las coordenadas centrales del pilote fue realizado mediante el uso de una estación total, para el control topográfico tuvieron una tolerancia ($t=D/10$). La verificación topográfica se realiza antes de la colocación de la armadura de acero.



Figura 57 Control Topográfico.

- ❖ **Colocación de la armadura.** - Previo a esta actividad verificaron las dimensiones y espaciamientos de la armadura (16 paquetes de 2 aceros de $1\frac{3}{8}$ " con estribos de acero de $\frac{1}{2}$ " a cada 10cm), además de ello para el empalme utilizaron un anclaje mecánico entre los aceros. La colocación de la armadura se realizó mediante una grúa.



Figura 58 Colocación de la armadura de pilotes.

- ❖ **Hormigonado.** -Mediante el uso de tubos tremie se realizó el vaciado de concreto del pilote, los tubos tremie consiste en una columna que ingresa dentro de la excavación del pilote, donde en su extremidad superior es acoplado un embudo para la recepción del concreto, esto con el fin de evitar la segregación del concreto. Para el inicio del vaciado del concreto debían estar los dos mixeres de concreto en obra para evitar la junta fría, además de ello realizaron los controles de calidad correspondientes como la temperatura y slump. $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$.



Figura 59 Colocación de la armadura de pilotes.

- ❖ **Post-vaciado.** - Realizaron el descabezado de los pilotes mediante fracturas inducidas, en algunos pilotes las fracturas inducidas no permitieron el descabezado según el procedimiento deseado, teniendo que utilizar un martillo hidráulico.



Figura 60 Excavación para descabezado de Pilotes



Figura 61 Descabezado de pilotes.

❖ **Controles de Calidad.** -Los ensayos de control a los pilotes Cross Hole y PIT.

- **Ensayo de Ultrasonico Cross Hole.** -Es un método que se basa en registrar el tiempo que tarda una onda ultrasónica en propagarse desde un emisor a un receptor los cuales se desplazan simultáneamente por dos tubos paralelos instalados previamente sujetos a la armadura del pilote. (4)



Figura 62 Ensayo de Ultrasonico Cross Hole.

- **Ensayo de Integridad de Pilotes (PIT).** - Es un ensayo que visa principalmente determinar la variación a lo largo de la profundidad de las características del hormigón de pilotes de fundación. La forma usual del ensayo consiste en la colocación de un acelerómetro de alta sensibilidad en la cabeza del pilote bajo prueba, y en la aplicación de golpes con un martillo de mano. (4)



Figura 63 Ensayo de Integridad de Pilotes (PIT).

5.2.2. Construcción del Estribo

5.2.2.1. Zapata

Las zapatas de los estribos presentan distintas dimensiones:

- Zapata Estribo 1 (Lado Lima) 39.00m x 8.00m x 2.00m.
- Zapata Estribo 2 (Lado San Martin) 36.50m x 8.00m x 2.00m.

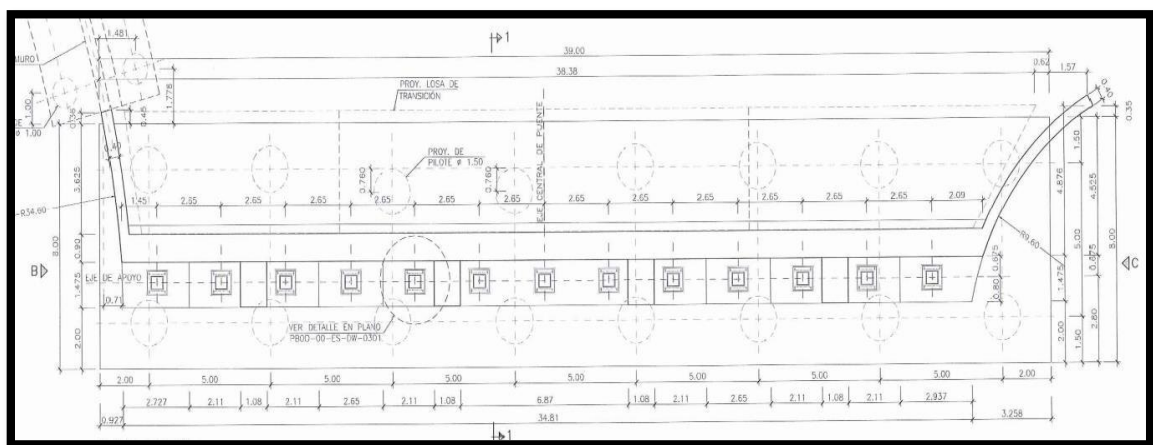


Figura 64 Vista en Planta de la zapata del Estribo 1.

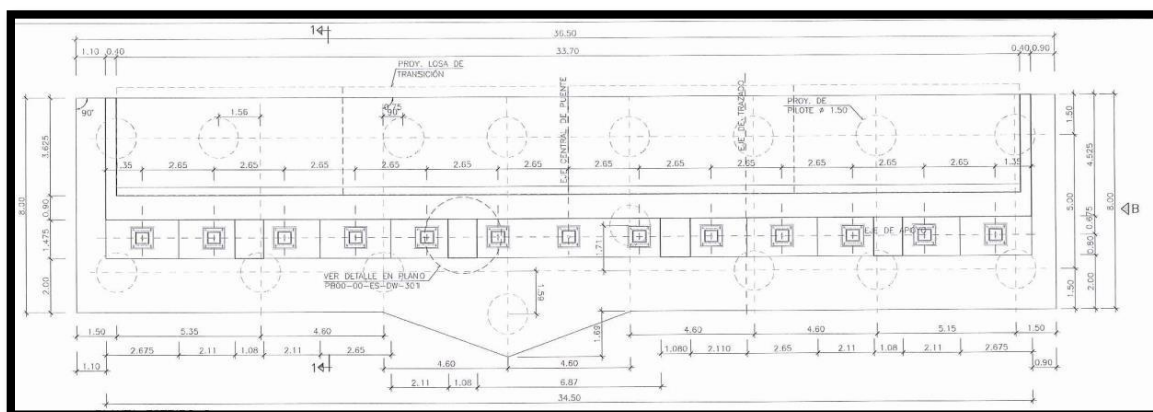


Figura 65 Vista en Planta de la zapata del Estribo 2.

Las actividades realizadas fueron:

- ❖ **Control Topográfico.** - Referido al trazo y replanteo de las dimensiones y alturas para las diversas cuadrillas de encofrados, acero y concreto.



Figura 66 Verificación de niveles para el solado de la zapata.

- ❖ **Colocación de Acero.** -Una vez realizado los trabajos de replanteo por el área de topografía y haber vaciado el solado, ingreso la cuadrilla de fierros los cuales colocaron el acero, respetando los diámetros de las varillas y el espaciamiento entre fierro y fierro establecido en los planos. La malla de acero está constituida por varillas de 1" espaciadas a cada 20 cm en sentido longitudinal y transversal, en la zona de interferencia con los pilotes llevan un refuerzo de acero de 1" a cada 10 cm, del mismo modo los laterales de la zapata llevan un refuerzo de acero de 1" a cada 20cm de manera longitudinal y de 5/8" a cada 20 de manera vertical.



Figura 67 Colocación de acero para la zapata.

- ❖ **Colocación de Encofrado.** -Dicha actividad la realizaron una vez que los trabajos de colocación de acero fueron culminados y aprobados por el área de calidad y la supervisión. Para esta actividad utilizaron un encofrado metálico alquilado a la empresa Ulma, además previó a la colocación del encofrado de la zapata la cuadrilla de topografía realizó el trazado de la misma indicando el borde de la zapata. Una vez realizado los trabajos de encofrado verificaron la plomada, las coordenadas perimétricas y el nivel de vaciado todo ello con ayuda de la cuadrilla de topografía, y aprobado por el área de calidad y la supervisión.



Figura 68 Encofrado final de la zapata.

- ❖ **Colocación del Concreto.** -Para la zapata usaron concreto de $F_c = 280 \text{ Kg/cm}^2$. Debido al volumen de cada zapata establecieron que el vaciado sería en dos etapas, mediante el uso de dos bombas telescópicas y en turno noche para aprovechar la disminución de la carga vehicular ayudando a que el concreto llegue a tiempo a obra, evitando con ello la formación de junta fría, además consideraron el uso de termocuplas para saber el calor de hidratación del concreto y evitar fisuras en la estructura. Entre las etapas establecidas el procedimiento indica el uso de una hidro lavadora para generar una superficie rugosa y la colocación de un puente adherente para evitar la posible generación de una zona de falla o fractura. Posterior a los trabajos descritos realizaron el curado del concreto por 7 días según procedimiento y posterior a ello el área de calidad y la supervisión autorizaron el desencofrado de la estructura.



Figura 69 Vaciado de la zapata 1era etapa.



Figura 70 Uso de la Hidro lavadora.



Figura 71 Colocación de puente adherente

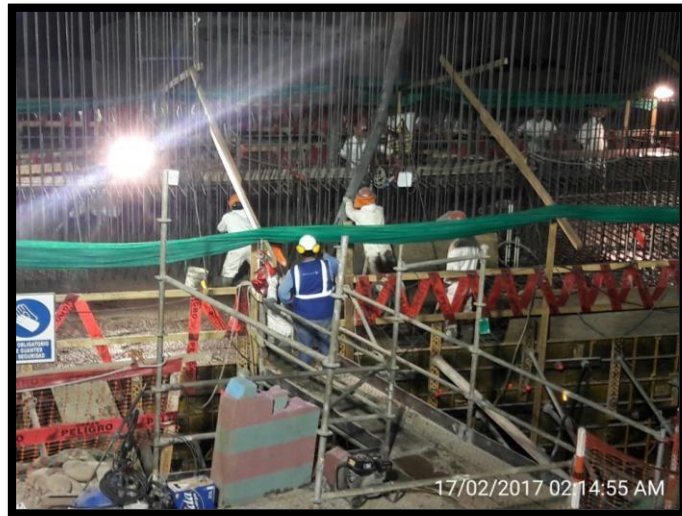


Figura 72 Vaciado de la zapata 2da etapa.



Figura 73 Curado de la zapata.

5.2.2.2. Pantalla del Estribo

Una vez realizado el periodo de curación del concreto iniciaron con los trabajos para la pantalla del estribo la cual consistía en dos etapas.

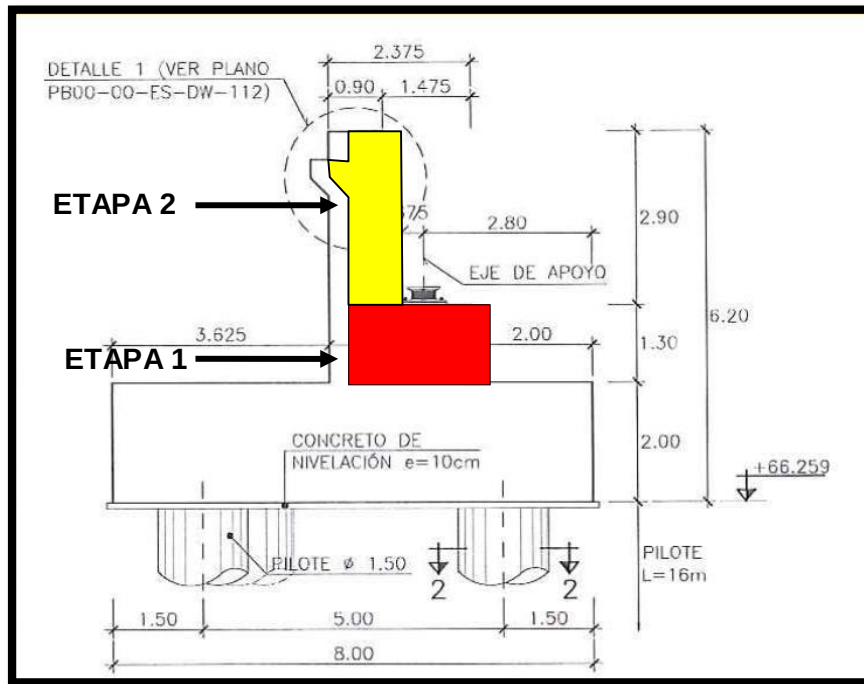


Figura 74 Vista Perfil del estribo.

1era etapa. - Iniciaron con la escarificación de la zapata solo en la zona donde se apoyaría dicha estructura. Después continuaron con la colocación del acero de la pantalla (recordar que el acero vertical ya viene colocado desde la zapata), por lo tanto, el acero es el longitudinal que está constituido por acero de $\frac{3}{4}$ " a cada 15 cm para el interior y de 1" a cada 15cm para el exterior), además de ello en el sobre ancho del apoyo colocaron acero de $\frac{3}{4}$ " a cada 15 cm en ambas direcciones y en la proyección del apoyo de cada viga colocaron un refuerzo de acero de $\frac{1}{2}$ " a cada 15 cm.

Una vez realizado la colocación del acero y de la verificación de parte del área de calidad y supervisión continuaron con los trabajos de encofrado donde previamente topografía trazo las dimensiones y posterior a ello los niveles de vaciado. Lo más importante en esta

etapa fue la colocación de los pernos de anclaje para la plancha metálica que soportara al neopreno que permite la transmisión de las cargas de la superestructura a la subestructura, debido a que los pernos tenían una configuración tipo L no podían ser colocados después del vaciado, es por ello que los pernos fueron verificados uno por uno topográficamente antes, durante y después del vaciado con una tolerancia al milímetro debido a que las planchas metálicas ya estaban fabricadas.

El vaciado fue programado de noche esta vez solo con una bomba telescópica controlando de no tocar los pernos de anclaje con la vibradora ya que los podían desfasar de su ubicación.



Figura 75 Colocación de acero para el apoyo de las vigas.



Figura 76 Encofrado para el apoyo de las vigas.



Figura 77 Vaciado de concreto para el apoyo de las vigas.

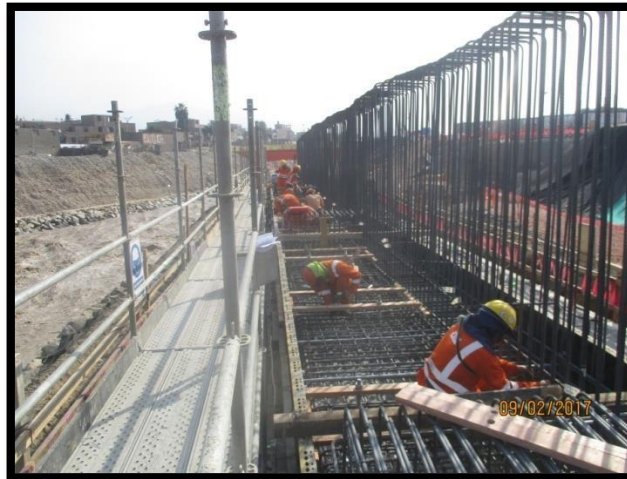


Figura 78 Colocación de pernos de anclaje para plancha metálica.



Figura 79 Verificación topográfica en los pernos de anclaje durante el vaciado del concreto.

Etapa 2. - La segunda etapa del estribo consistía básicamente en colocar los aceros longitudinales ($5/8''$ a cada 20 cm de la parte interna y $3/4''$ a cada 20 en la parte externa). Además de ello debía de colocar los aceros para el apoyo del empalme de la losa de transición. El encofrado siguió sus mismos procedimientos, pero esta vez teniendo en cuenta que la parte superior del estribo tiene un tramo recto en la parte central y hacia los costados una caída con pendiente de 2% que permite dar el peralte a la vía del tablero superior.

El hormigonado se realizó de noche teniendo los mismos cuidados y controles de calidad como slump y temperatura del concreto.



Figura 80 Colocación de acero para 2da etapa de pantalla de estribo.



Figura 81 Colocación de encofrado para 2da etapa de pantalla de estribo.



Figura 82 Vaciado de concreto $f_c' = 280 \text{ kg/cm}^2$ 2da etapa de pantalla de estribo.

5.3. Superestructura

5.3.1. Colocación de Apoyos

Una vez de haber realizado las actividades para las dos etapas del estribo que pendiente la colocación de los apoyos de las vigas y el vaciado de los topes, para ello procedieron primero con el encofrado y vaciado del concreto de $f_c' = 280 \text{ kg/cm}^2$ en los topes de las vigas. Luego procedieron con la colocación de la plancha metálica, con su respectiva verificación de nivel, una vez fijada la plancha

metálica en su cota correcta, se procede a la colocación del grouting para rellenar el espacio entre la plancha metálica y la viga de apoyo, posterior a ello colocaron el Neopreno, teniendo como función principal el de transmitir los esfuerzos de la superestructura a la sub-estructura.



Figura 83 Encofrado para topes



Figura 84 Vaciado de concreto de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ para topes.



Figura 85 Verificación del nivel de las planchas metálicas.



Figura 86 Plancha metálica en su ubicación final.



Figura 87 colocación de grouting nivelante.

5.3.2. Vigas Metálicas

Elaboradas, armadas y montadas por la empresa Técnicas Metálicas Ingenieros SAC, los cuales iniciaron su fabricación el 28 de diciembre del 2016, en su planta de Villa María del Triunfo. La idea de la fabricación en su planta fue de armar una viga en 5 tramos, los cuales podían ser ensamblados en obra, mediante soldadura y luego el pintado respectivo del área en cuestión.

De esta manera los tramos de las vigas empiezan a llegar a obra el 28 de febrero del 2017. Para ello se habilitó una casa desde donde realizaron los controles topográficos para el montaje, alineamiento y contra flecha.

Recordar que el Puente Bella Unión consta de 13 vigas tipo I, con peralte de 2.30m, espaciados a cada 2.65m mediante una viga diafragma.

Para el ensamblaje y montaje de las 13 vigas, las agruparon en 5 paquetes de dos vigas y un paquete de 3 vigas que fue el primero que se armó, las cuales incluía la viga 13, 12 y 11. Dichas vigas estaban unidas por las vigas diafragma, además de ello todos los grupos de vigas constaban con arriostres superiores e inferiores los cuales eran de uso momentáneo ya que solo servían para absorber los esfuerzos originados por el montaje o izaje y mientras se realice la losa superior.

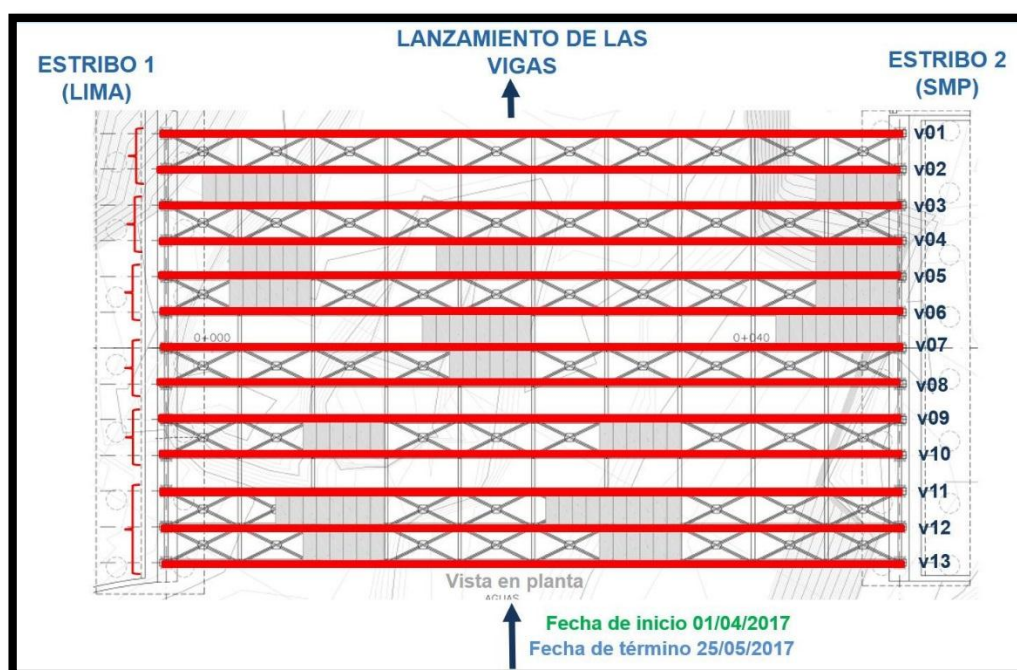


Figura 88 Vista en planta de las vigas metálicas.



Figura 89 Inicio de los trabajos para la fabricación las vigas metálicas.



Figura 90 Llegada de las vigas metálicas a obra.



Figura 91 Inicio de los trabajos de ensamblaje de los tramos para las vigas metálicas.



Figura 92 Trabajos de soldadura en vigas metálicas.



Figura 93 Armado de vigas metálicas.

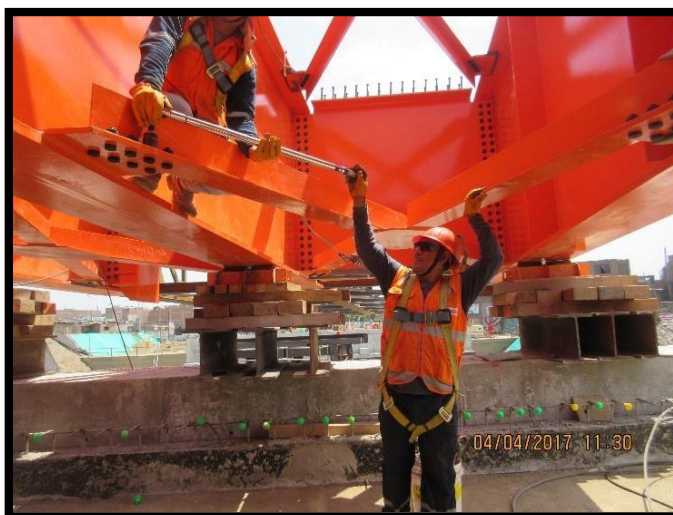


Figura 94 Colocación de pernos para arriostres de vigas metálicas.

Una vez terminado el ensamblaje de las vigas por grupos se realizaban los controles y verificaciones que se detallan a continuación:

- ✓ Control de alineamiento
- ✓ Control de contra flecha
- ✓ Prueba de Tracción para verificar la adherencia de la Pintura
- ✓ Medidor del espesor de la pintura
- ✓ Tintes Penetrantes
- ✓ Ultra sonido para determinar espesor la plancha metálica en la soldadura
- ✓ Torque.



Figura 95 Controles topográficos de las vigas metálica.



Figura 96 Prueba de Tracción.



Figura 97 Determinación del espesor de la pintura.



Figura 98 Ensayo de Partículas Magnéticas.



Figura 99 Ensayo Ultrasonido.



Figura 100 Ensayo de Tinte Penetrante.



Figura 101 Verificación del Torque.

El izaje de las vigas metálicas fue realizado de dos formas, mecánicamente mediante el uso del tirfor y personal obrero y mediante grúas que permitieron reducir el tiempo de ejecución.

La primera etapa consistió en soldar un sistema de nariz de lanzamiento con un apoyo en el río el cual construyeron sobre el apoyo del puente que colapso. Una vez llegado la viga al otro extremo procedieron a desoldar la nariz guía y con ayuda de los tirfors llevaron a las vigas sobre su posición final para realizar un descenso a su posición final mediante gatas hidráulicas, el tiempo de duración en esta etapa duraba 10 días, con la implementación de 2 grúas permitió reducir ese tiempo hasta 2 días, debido a que utilizaron como carril de avance las vigas ya instaladas, de esta manera ya no necesitaban la nariz de lanzamiento y una vez en posición mediante grúas colocaban las vigas en su posición final.

Terminado de colocar todas las vigas en su posición final realizaron la colocación de vigas diafragma entre los grupos de vigas izados, además de ello se realizó la colocación de pernos stud, los cuales permitirán al momento de vaciar las vigas de amarre una estructura monolítica entre la losa superior y las vigas.



Figura 102 Apoyo en el rio para lanzamiento de las vigas metálicas.



Figura 103 Colocación de la nariz de lanzamiento.



Figura 104 Colocación de contrapeso para lanzamiento.



Figura 105 Inicio de lanzamiento del 1er grupo de vigas 11, 12 y 13.



Figura 106 Lanzamiento del 1er grupo de vigas 11, 12 y 13 concluido.



Figura 107 Inicio de desplazamiento horizontal del 1er grupo de vigas 11, 12 y 13.



Figura 108 Traslado horizontal del grupo de vigas 11, 12 y 13.



Figura 109 Retiro de la nariz de lanzamiento.



Figura 110 Inicio de descenso a su posición final.



Figura 111 Descenso gradual mediante gatas hidráulicas.



Figura 112 Posición final de las vigas metálicas sobre el neopreno.



Figura 113 Culminación de la colocación del 1er grupo de vigas metálicas.



Figura 114 Inicio del lanzamiento vigas sobre vigas metálicas colocadas.



Figura 115 Lanzamiento vigas sobre vigas metálicas colocadas.



Figura 116 Montaje de las vigas metálicas mediante el uso de grúa.



Figura 117 Vista final de las vigas metálicas colocadas.

5.3.3. Losas Prefabricadas

Las losas prefabricadas fueron elaboradas por la empresa Entre Pisos SAC, ubicada en Villa María del Triunfo, con la finalidad de minimizar los tiempos de ejecución del proyecto dando inicio a su producción el 21 de marzo del 2017.

Las losas prefabricadas tenían la longitud de 5.14 m y de ancho variable desde 2.25 m hasta 3.85 m que tienen las losas de los bordes, con un espesor de 0.225 m.

La empresa Entrepisos realizó la fabricación de encofrado de planchas metálicas específicas para la producción de las losas. Debido a la repetición de las dimensiones en diversos tipos de losas y por la fácil manipulación que generaban.

Su estructura de acero era básicamente está constituida por acero de $\frac{1}{2}$ " a cada 0.125 m para el acero transversal tanto inferior y superior, de $\frac{1}{2}$ " a cada 0.15 m para el acero superior longitudinal y para el acero inferior longitudinal de $\frac{3}{8}$ " a cada 0.25 m, además de ello el acero sobre sale de la losa prefabricada para que junto con los pernos Stud de las vigas metálicas y las vigas de amarre formen una estructura monolítica. Es por ello que la empresa Técnicas Metálicas emitió un plano de coordenadas para cada uno de los pernos stud de tal manera que al momento del montaje de las losas prefabricas el acero saliente no choque con ellos.

El concreto para las losas prefabricadas es de $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$, cabe mencionar que para la colocación de cada losa prefabricada colocaron un neopreno que permitió que la estructura asiente sobre la viga metálica. Además de ello la losa prefabricada cuando con un detalle en los 4 bordes para poder generar una perfecta adherencia con el concreto de la viga de amarre y formar un monolítico.

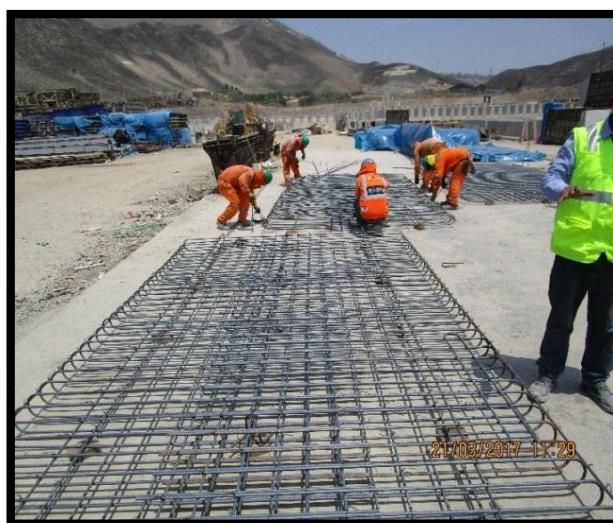


Figura 118 Armado de acero para losas prefabricadas.



Figura 119 Colocación de encofrado metálico para losas prefabricadas.



Figura 120 Vaciado de concreto $f'c=300$ para losas prefabricadas.



Figura 121 Acabado para losas prefabricadas.



Figura 122 Llegada a obra de las losas prefabricadas.

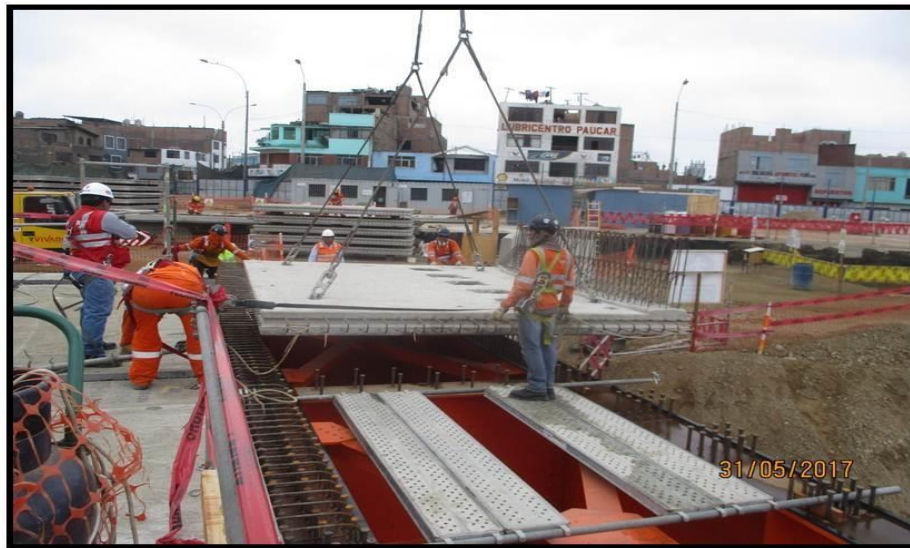


Figura 123 Izado de losas prefabricadas.



Figura 124 Vista final de la colocación de las losas prefabricadas.

5.3.4. Vigas de Amarre

Permite que las vigas metálicas con las losas prefabricadas formen una estructura monolítica, mediante la unión de los pernos stud y aceros salientes de las losas prefabricadas con el acero longitudinal de la viga de amarre.

El acero está compuesto por barras longitudinales de 6 aceros de ½” y estribos de 3/8”, las vigas longitudinales con sección 0.40 x 0.25 cm y las transversales de 0.30 x 0.25 cm.

El concreto estilizado es de $f'c = 350 \text{ Kg/ cm}^2$, previo al vaciado colocaron un puente adherente en todos los bordes de las losas prefabricadas para garantizar su adherencia entre el concreto de las losas prefabricadas y las vigas de amarre.

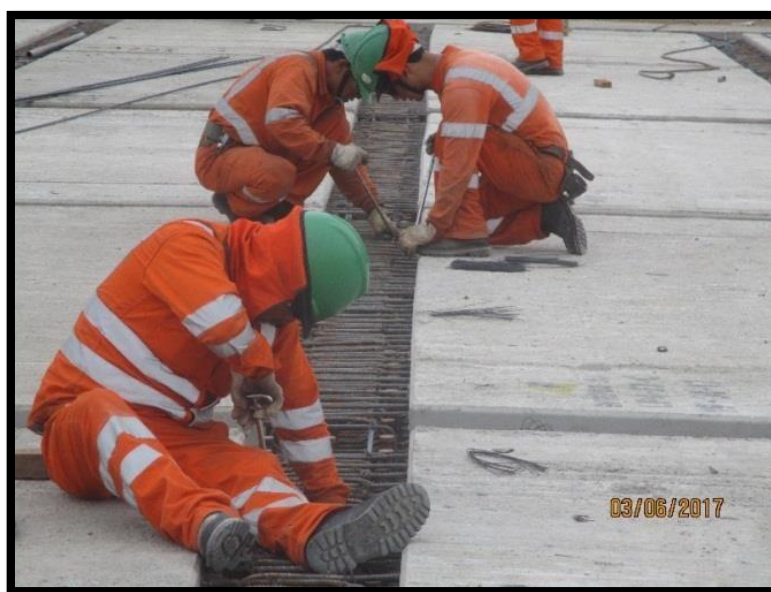


Figura 125 Colocación de acero para vigas de amarre.



Figura 126 Colocación de puente de adherente para las vigas de amarre.



Figura 127 Vaciado de concreto con $f'_c = 350 \text{ kg/cm}^2$ en vigas de amarre.



Figura 128 Curado de las vigas de amarre.

5.3.5. Obras complementarias

Posterior al curado de las vigas de amarre, realizaron la losa de transición, las jardineras, sardineles y barreras de contención new jersey. Los cuales permitirán el asfalto y la apertura al tránsito vehicular por el Puente Bella Unión, con un $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$.



Figura 129 Vaciado de concreto de losa de transición con $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$.



Figura 130 Vaciado de concreto de barrera new jersey con $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$.



Figura 131 Vaciado de concreto en jardinera con $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$.



Figura 132 Vista del Puente Bella Unión sin asfaltar.

5.3.6. Asfaltado de la vía

Para el asfalto de la Losa de concreto se realizará con un asfalto con características de MAC 2, $e = 7.5$ cm.

Previo a los trabajos de la colocación del asfalto sobre la losa de concreto se ha de colocar un riego de liga que permitirá la adherencia entre la losa y el asfalto.

Una vez que el asfalto llegue a obra se le debe tomar la temperatura la cual debe de ser mayor a 145°C y menor a 160°C daña a la mezcla.

Vertida la mezcla del volquete dentro de la esparcidora y teniendo un campo de trabajo considerable, se realizará la compactación inicial con el rodillo tándem vibratorio entrando a una temperatura entre 150°C y 140°C Realizando dos pasadas en alta y dos en baja. Luego se esperar que la temperatura descienda un poco para inicial la compactación con el rodillo liso que realizara entre 4 a 6 pasadas por el asfalto a una temperatura de 135°C a 95°C y por último para dar el acabo final se vuelve a pasar el rodillo tándem, pero en modo estático estando el asfalto con un rango de temperatura entre 95°C y 85°C .

Posterior a ello realizaron los trabajos de pintado de señales horizontales sobre el asfalto. Los Controles de Calidad que realizaron al asfalto fueron los siguientes:

- Determinación de la rugosidad superficial del pavimento – MERLIN.
- Medida de la deflexión de un pavimento flexible con viga benkelman.
- Extracción de Núcleos Diamantinos.
- Determinación de la textura superficial del pavimento con el círculo de arena.
- Determinación del coeficiente de resistencia al deslizamiento con el péndulo



Figura 133 Colocación de riego de liga.



Figura 134 Colocación del asfalto sobre el tablero de Puente Bella Unión



Figura 135 Compactación del asfalto mediante rodillo tándem.



Figura 136 Compactación del asfalto mediante rodillo neumático.



Figura 137 Pintado de las señales horizontales de tránsito en el asfalto.



Figura 138 Colocación de junta transfer.



Figura 139 Colocación de alumbrado publico

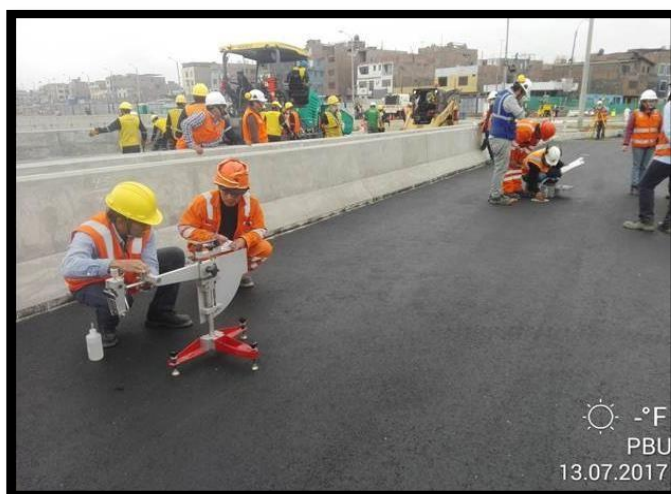


Figura 140 Determinación del coeficiente de resistencia al deslizamiento.



Figura 141 Determinación de la rugosidad superficial del pavimento.



Figura 142 Determinación de la textura superficial del pavimento.



Figura 143 Medida de la regularidad superficial del pavimento.



Figura 144 Extracción de Núcleos Diamantinos.

5.3.7. Detalles e integración urbana

Actualmente vienen construyendo los detalles de integración urbana y acabados, los cuales vienen hacer las ciclovías, veredas y parques los cuales integran al proyecto con la población, brinda áreas de juegos infantiles y áreas verdes donde las personas puedan descansar o relajarse.



Figura 145 Abertura del Puente Bella Unión.



Figura 146 Vaciado de concreto para la ciclovía $f_c'=175$ kg/cm².



Figura 147 Colocación de manta asfáltica.



Figura 148 Trabajos de enrocado definitivo.



Figura 149 Colocación de plancha metálica en jardineras.



Figura 150 Vaciado de concreto para la vereda $f'c=175$ kg/cm².

CONCLUSIONES

Del proyecto realizado se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- ❖ La importancia de la realización de los estudios previos para un buen diseño garantizando el servicio permanente del proyecto.
- ❖ El cumplimiento de los procedimientos constructivos asegura que el proyecto se encuentra dentro de los estándares de calidad requeridos por la entidad solicitante.
- ❖ El uso de prefabricados permite el ahorro de tiempo en la ejecución del proyecto.
- ❖ Todos los proyectos deben de buscar muy aparte de solucionar un problema, integrar a la población con su entorno

RECOMENDACIONES

Del proyecto realizado se pueden obtener las siguientes recomendaciones:

- ❖ Se recomienda diseñar un proyecto de mejoramiento de los niveles de servicio de la Av. Universitaria, tramo Puente Bella Unión – Av. Tomas Valle, para solucionar el problema de la congestión Vehicular.
- ❖ Los proyectos deben de buscar integración a la población con su entorno, y no solo solucionar un problema y/o necesidad.
- ❖ Realizar siempre los procedimientos constructivos teniendo en cuenta el respeto por la naturaleza y el medio ambiente.
- ❖ Cada proyecto debe contar con los estudios básicos de diseño propio, y no utilizar como referencia datos técnicos de proyectos similares.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

Alberto VO (Online). Available from:<http://ocw.usal.es/enseñanzas-tecnicas/ingeniería-civil/contenido/TEMA207%20puentes.pdf>.

ACI (IC. Puentes, Análisis, Diseño y Construcción Lima: Capítulo de estudiantes de la Universidad Nacional de Ingeniería; 1993.

Alberto VO. Puentes. In.: Escuela Politécnica Superior de Ávila – Ingeniería Técnica de Topografía p. 191 – 233.

Gerardo CER. Procedimiento Constructivo del Puente “Viaducto Calderón” de la carretera de Cuota Toluco – Ixtapa dfe la Sal, Tramo: la Finca – Ixtapan de la Sal Km. México D.F. Ixtapan – México; 2017.

LAMSAC. Estudio definitivo de Ingeniería del Puente Bella Unión Lima; 2017.

MTC. Manual de Puentes Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones; 2016.

MTC. Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción (EG – 2013) Lima: Ministerio de Transporte y Comunicaciones; 2013.

MTC. Manual de Carreteras Diseño Geométrico (DG – 2014) Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

MTC. Manual de Carreteras, Hidrología, Hidráulica y Drenaje Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones; 2011.

ANEXOS

ANEXO 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	METODO
PROBLEMA PRINCIPAL ¿Con las consideraciones básicas de diseño y los procesos constructivos establecidos se podrá construir el puente Bella Unión?	OBJETIVO GENERAL Explicar las características básicas de diseño y procedimientos constructivos para la ejecución del puente Bella Unión, a través del uso de las normas vigentes.	La ingeniería de diseño influirá en la construcción de un puente con características mejoradas, que sea moderno, que solucione varios problemas, que tenga mejor estética y sirva de ejemplo para construir otros puentes.	VARIABLE INDEPENDIENTE: Ingeniería de Diseño. VARIABLE DEPENDIENTE: Construcción del Puente.	- Realización de los estudios. - Elaboración de planos. - Elaboración de los Procedimientos Constructivos. - Conclusiones y Recomendaciones.
PROBLEMA 1 ¿La Ingeniería de Diseño influye en la estabilidad de un puente?	OBJETIVO ESPECIFICO 1 Explicar que la ingeniería de diseño es fundamental para garantizar la estabilidad del puente en condiciones extremas, mediante el uso del Manual de	La ingeniería de diseño influirá en la estabilidad del puente.	VARIABLE INDEPENDIENTE: Ingeniería de Diseño. VARIABLE DEPENDIENTE:	

	Puentes del MTC.		Estabilidad del Puente.	
PROBLEMA 2 ¿El cumplimiento de los procedimientos constructivos influye en la duración del puente?	OBJETIVO ESPECIFICO 2 Explicar la importancia de los procedimientos constructivos para asegurar la durabilidad del Puente en el transcurso de los años, a través del uso de las especificaciones técnicas del MTC.	La ingeniería de diseño influirá en la duración del puente.	VARIABLE INDEPENDIENTE: Procedimientos Constructivos VARIABLE DEPENDIENTE: Durabilidad del Puente.	