

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAAGUAZÚ FACULTAD DE CIENCIAS  
Y TECNOLOGÍAS CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



# Diseño estructural de puentes modulares mixtos de doble vía para caminos rurales del Paraguay

Dahiana Celeste Rojas Espinola

Pedro Javier Fernández Medina

**Tutor:** Ing. MSc. Rafael Prieto Florentín

**Co Tutor:** Ing. Marcos Virgilio Flores Barreto

CORONEL OVIEDO, DICIEMBRE DE 2024



**MISIÓN:** Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

**VISIÓN:** Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.



Usted es libre de:

- **Compartir** — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato
- **Adaptar** — remezclar, transformar y construir a partir del material

Bajo los siguientes términos:

- **Atribución** — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.
- **No Comercial** — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).



**MISIÓN:** Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

**VISIÓN:** Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

## DERECHO DE AUTOR

Quienes suscriben, Dahiana Celeste Rojas Espinola y Pedro Javier Fernández Medina, autores del trabajo de investigación titulado «**Diseño estructural de puentes modulares mixtos de doble vía para caminos rurales del Paraguay**», declaran que voluntariamente ceden a título gratuito en forma pura y simple ilimitada e irrevocablemente a favor de la Facultad de Ciencias y Tecnologías – UNCA, el derecho de autor de contenido patrimonial, que les corresponde sobre el trabajo de referencia. Conforme a lo anteriormente expresado, esta sesión le otorga a la FCyT la facultad de comunicar la obra, divulgarla, publicarla y reproducirla en soportes analógicos o digitales en la oportunidad que así lo estime conveniente. La FCyT deberá indicar qué autoría o creación del trabajo corresponde a mi persona y hará referencia al autor y a las personas que hayan colaborado en la realización del presente trabajo de investigación. En la ciudad de Coronel Oviedo a los 13, del mes de diciembre del 2024.

.....

Firma

.....

Firma



**MISIÓN:** Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.  
**VISIÓN:** Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

## Página de aprobación

Trabajo de fin de grado para la obtención del Título de Ingeniero Civil aprobado en representación de la Facultad de Ciencias y Tecnologías de la Universidad Nacional de Caaguazú, por el Tribunal Examinador constituido por los siguientes profesores.

-----  
Prof. Ing.

-----  
Prof. Ing.

-----  
Prof. Ing.

Acta Nro.: -----

Fecha: -----

Calificación: -----



**MISIÓN:** Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

**VISIÓN:** Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

## Dedicatoria

**A mi madre y padre**, cuyo respaldo incondicional, apoyo constante y ejemplo de dedicación han sido la mayor fuente de inspiración en mi vida. Sus palabras cargadas de amor y su incansable esfuerzo reflejan los sueños que siempre desearon para mí, aquellos que quizá ellos no pudieron alcanzar, pero que jamás fueron un límite para convertirse en mi mayor ejemplo a seguir. Por todo lo que han hecho a lo largo de estos años, por cada sacrificio y enseñanza, nunca encontraré palabras suficientes para expresarles mi gratitud infinita

**A mis hermanas**, que siempre estuvieron para mí, apoyándome y brindándome fuerzas para lograr superar cada obstáculo que se presento a lo largo de este camino.

**A Dios**, por darme la paciencia y la capacidad de superación ante esos momentos de dudas.

**A Pedro Fernández**, mi compañero, que a pesar del ajetreo de todos sus días fue apoyo y motivación para culminar con este proyecto.

**A Charly**, mi perro, el cual me ha acompañado en todas esas largas noches de estudio y ha servido como un apoyo fundamental durante todo el tiempo que ha estado conmigo.

*Dahiana Rojas*



**MISIÓN:** Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

**VISIÓN:** Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

## Dedicatoria

**A mi familia**, quienes siempre confiaron en mí y me alentaron en cada etapa de mi vida, brindándome su apoyo incondicional ante cada desafío y haciéndome sentir acompañado en todo momento.

**A mi madre**, ejemplo de superación y fortaleza, cuya inspiración diaria me impulsa a seguir adelante. Sin ella, no habría llegado hasta aquí.

**A Celeste Rojas**, mi compañera, cuyo apoyo y dedicación fueron fundamentales para la culminación de este proyecto.

**Al ángel** que desde lo alto guía mi camino; a pesar de la distancia, siento su presencia y su compañía constante.

*Pedro Fernández*



**MISIÓN:** Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

**VISIÓN:** Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

## Agradecimientos

A **Ing. MSc. Rafael Prieto Florentín**, nuestro tutor, y al cotutor **Ing. Marcos Flores**, por su paciencia, conocimiento y guía constante. Su apoyo y disposición han sido invaluable para la ejecución de este proyecto y para nuestro crecimiento académico y profesional. Les agradecemos profundamente su confianza y dedicación.

A nuestro eterno **grupo de estudios**, quienes nos han acompañado durante toda nuestra vida institucional. Su compañía y constante impulso durante los días académicos hicieron más llevadero este camino.

A nuestro compañero **Jeremías Espínola**, por su apoyo y esfuerzo para la culminación de este proyecto.

A cada maestro de la **FCyT**, quienes compartieron su conocimiento y sabiduría, ayudándonos a crecer y formarnos profesionalmente. Nuestro más sincero agradecimiento.



**MISIÓN:** Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

**VISIÓN:** Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

## Resumen

Este trabajo presenta el diseño de un puente modular mixto de doble vía destinado a los caminos rurales del Paraguay, donde la infraestructura vial enfrenta graves carencias. La propuesta combina módulos prefabricados de acero ASTM A36 con un tablero de hormigón armado apoyado sobre un sistema steel deck, optimizando resistencia estructural, durabilidad y facilidad de instalación.

El diseño considera longitudes comunes de 12, 15 y 18 metros, seleccionadas tras un análisis estadístico de los puentes existentes. Las cargas permanentes y variables se calcularon según las normativas AASHTO, integrando refuerzos y conexiones mediante pernos de alta resistencia ASTM A325 para garantizar rigidez y estabilidad. Los perfiles IPE y UPE, empleados en la superestructura, junto con el galvanizado en caliente, aseguran durabilidad y protección contra la corrosión.

El sistema modular facilita una instalación rápida y un transporte eficiente, incluso en terrenos complicados, mientras que el steel deck optimiza el proceso de construcción y mejora la capacidad estructural. Este enfoque presenta una solución ideal para proyectos con plazos de ejecución limitados, proporcionando una alternativa modular que simplifica el proceso de construcción y se adapta a diversas condiciones, contribuyendo a mejorar la conectividad en áreas rurales y atendiendo los requerimientos de seguridad y capacidad de carga del tráfico vehicular.

### Palabras claves:

- Estructuras y Construcciones civiles.
- Industria, innovación e infraestructura.
- Diseño estructural
- Puentes modulares mixtos



**MISIÓN:** Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.  
**VISIÓN:** Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

## Abstract

This work presents the design of a double-lane mixed modular bridge intended for rural roads in Paraguay, where road infrastructure faces severe deficiencies. The proposal integrates prefabricated ASTM A36 steel modules with a reinforced concrete deck supported by a steel deck system, optimizing structural strength, durability, and ease of installation.

The design considers standard lengths of 12, 15, and 18 meters, selected through statistical analysis of existing bridges. Loads were calculated according to AASHTO standards, incorporating reinforcements and high-strength ASTM A325 bolts for rigidity and stability. IPE and UPE profiles, hot-dip galvanized, ensure durability and corrosion protection.

The modular system allows rapid assembly and efficient transportation, even in challenging terrain. The steel deck simplifies construction and enhances structural performance. This design offers an economical and adaptable solution to improve rural connectivity, addressing traffic safety and load requirements.

### **Key words:**

- Structures and Civil Constructions.
- Industry, Innovation, and Infrastructure.
- Structural Design
- Composite Modular Bridges



**MISIÓN:** Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

**VISIÓN:** Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

# Índice

<b>1. Diseño estructural de puentes modulares mixtos de doble vía para caminos rurales del Paraguay</b>	<b>1</b>
<b>2. Marco Teórico</b>	<b>2</b>
2.1. Consideraciones de diseño . . . . .	5
2.1.1. Dimensiones de los puentes modulares . . . . .	5
2.1.2. Componentes de los puentes modulares . . . . .	6
2.1.3. Tablero . . . . .	7
2.1.4. Cargas . . . . .	8
<b>3. Objetivos</b>	<b>10</b>
3.1. Objetivo general . . . . .	10
3.2. Objetivo específico . . . . .	10
<b>4. Ingeniería del Proyecto</b>	<b>11</b>
4.1. Análisis Preliminar . . . . .	11
4.1.1. Diseño conceptual y Selección de Materiales . . . . .	12
4.2. Análisis Estructural y Cálculo de Cargas . . . . .	13
4.2.1. Carga de Viento . . . . .	13
4.2.2. Cargas Permanentes . . . . .	14
4.2.3. Cargas Variables . . . . .	14



**MISIÓN:** Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

**VISIÓN:** Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

4.2.4.	Deflexión vertical . . . . .	15
4.2.5.	Superestructura . . . . .	20
4.2.6.	Infraestructura . . . . .	29
4.2.7.	Detalles de ensamblaje . . . . .	30
4.3.	Montaje y mantenimiento del puente modular . . . . .	37
4.3.1.	Procedimiento constructivo del puente modular . . . . .	38
4.3.2.	Mantenimiento . . . . .	40
<b>5.</b>	<b>Análisis económico</b>	<b>43</b>
5.1.	Cómputo métrico y presupuesto . . . . .	43
5.2.	Cronograma de obra . . . . .	46
<b>6.</b>	<b>Conclusiones y Recomendaciones</b>	<b>48</b>
6.1.	Conclusiones . . . . .	48
6.2.	Recomendaciones . . . . .	49
	<b>Referencias</b>	<b>50</b>
	<b>Anexos</b>	<b>53</b>
	<b>A. Clasificación de puentes</b>	<b>53</b>
	<b>B. Listado. Puente L= 12 m</b>	<b>55</b>



**MISIÓN:** Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

**VISIÓN:** Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

**C. Listado. Puente L= 15 m 65**

**D. Listado. Puente L= 18 m 75**

## Índice de tablas

1.	Distribución de longitudes de puentes en zonas rurales del Paraguay. . . . .	11
2.	Distribución de longitudes de puentes a analizar . . . . .	12
3.	Dimensiones de perfiles armados utilizados para el puente L= 18 m . . . . .	22
4.	Dimensiones de perfiles armados utilizados para el puente L= 15 m . . . . .	22
5.	Dimensiones de perfiles armados utilizados para el puente L= 12 m . . . . .	22
6.	Tirantes Diagonales y Longitudinales. . . . .	23
7.	Resumen de elementos de refuerzos según longitud de puente. . . . .	25
8.	Cómputo métrico y presupuesto. Puente modular mixto L = 12 m . . . . .	43
9.	Cómputo métrico y presupuesto. Puente modular mixto L = 15 m . . . . .	44
10.	Cómputo métrico y presupuesto. Puente modular mixto L = 18 m . . . . .	45
11.	Cronograma. Puente modular mixto L = 12 m . . . . .	46
12.	Cronograma. Puente modular mixto L = 15 m . . . . .	46
13.	Cronograma. Puente modular mixto L = 18 m . . . . .	46



**MISIÓN:** Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

**VISIÓN:** Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

## Índice de figuras

1.	Puente Modular de 18 m. MOPC. Reproducido de[16] . . . . .	5
2.	Sección transversal del puente modular Compact 200. Reproducido de[12]	5
3.	Dimensiones del puente modular Compact 200. Reproducido de[12] . . . . .	6
4.	Componentes del puente modular. Reproducido de[10] . . . . .	7
5.	Características del steel deck. Reproducido de[2] . . . . .	8
6.	Características del Camión de diseño. Reproducido de[7] . . . . .	9
7.	Vista 3D de la estructura. Elaboración propia . . . . .	13
8.	Deflexión debido al Camión de diseño. Puente L = 12 m. Elaboración propia	16
9.	Deflexión debido al Tándem de diseño. Puente L = 12 m. Elaboración propia	16
10.	Deflexión debido al Camión de diseño. Puente L = 15 m. Elaboración propia	17
11.	Deflexión debido al Tándem de diseño. Puente L = 15 m. Elaboración propia	18
12.	Deflexión debido al Camión de diseño. Puente L = 18 m. Elaboración propia	19
13.	Deflexión debido al Tándem de diseño. Puente L = 18 m. Elaboración propia	19
14.	Panel Modular. Elaboración propia . . . . .	21
15.	Vista 3D de Traveseros. Puente L=18 m. Elaboración propia . . . . .	22
16.	Vista en planta inferior. Tirantes diagonales y longitudinales. Puente L=18 m. Elaboración propia . . . . .	24
17.	Refuerzos de Cordón Superior e Inferior. Elaboración propia . . . . .	25
18.	Vista en planta del Bastidor Horizontal Elaboración propia . . . . .	26



**MISIÓN:** Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

**VISIÓN:** Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

19.	Vista frontal del Bastidor Vertical. Elaboración propia . . . . .	26
20.	Características del tablero. Elaboración propia . . . . .	28
21.	Resistencia de cálculo de pernos. Reproducido de[19] . . . . .	31
22.	Normal Máxima en Uniones de módulos. Elaboración propia . . . . .	32
23.	Máximos esfuerzos en tirantes diagonales. Elaboración propia . . . . .	34
24.	Máximos esfuerzos en tirantes longitudinales. Elaboración propia . . . . .	35
25.	Detalle de unión de tirantes. Elaboración propia . . . . .	36
26.	Detalle de unión de traveseros. Elaboración propia . . . . .	37
27.	Detalle de unión de refuerzos de cordones. Elaboración propia . . . . .	37
28.	Cómputo y Presupuesto. Puente modular de hormigón. Reproducido de[18]	47

# 1. Diseño estructural de puentes modulares mixtos de doble vía para caminos rurales del Paraguay

Las áreas rurales de Paraguay enfrentan un desafío significativo en términos de infraestructura vial. Según un informe del Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC) de octubre de 2023, la red vial nacional se extiende por un total de 78,712.68 kilómetros, de los cuales 66,360.35 km corresponden a vías no pavimentadas. De estas, 66,255.25 km son caminos de tierra en condiciones precarias, carentes de sistemas adecuados de drenaje y equipados con puentes de madera para atravesar ríos, arroyos y depresiones geográficas características de las diversas regiones.[8]

Los puentes son elementos esenciales en cualquier red vial, ya que facilitan la conexión entre puntos estratégicos y aseguran la continuidad del tránsito. Sin embargo, en muchas zonas rurales de Paraguay, una gran cantidad de puentes no cumple adecuadamente su función debido a su estructura débil, capacidad de carga limitada y falta de durabilidad, especialmente ante condiciones climáticas adversas como las crecidas de cuerpos de agua.

Según la Cámara Vial Paraguaya [1], Paraguay cuenta con un total de 51,971 puentes, de los cuales 9,294 aún son de madera. Esta situación representa un importante riesgo para la seguridad de los usuarios y evidencia la necesidad de su pronta sustitución por estructuras más seguras y duraderas.

Ante esta problemática, surge la necesidad de construir puentes que cumplan con los requisitos específicos de las zonas rurales de Paraguay, proporcionando estructuras óptimas y, sobre todo, seguras para las comunidades. Factores como la facilidad de transporte e instalación, la resistencia a condiciones climáticas adversas y una capacidad de carga adecuada para soportar el tráfico vehicular de estas áreas son esenciales.

Los puentes modulares, compuestos por módulos prefabricados que pueden ensamblarse en diversas configuraciones, ofrecen una solución adaptable a las necesidades específicas

de cada proyecto. Esta flexibilidad en el diseño facilita la adaptación a diferentes longitudes, anchuras y cargas. Además, los componentes de los puentes modulares suelen fabricarse en talleres especializados, lo que garantiza una mayor calidad, uniformidad y control en los materiales. La prefabricación permite también reducir los tiempos de construcción y minimizar las interrupciones en el tráfico o en las actividades del entorno.[18]

En un análisis realizado por Hernando Josué Hidalgo Venegas [17], se evaluaron distintos materiales para el diseño de un puente modular, teniendo en cuenta criterios como facilidad de transporte, disponibilidad en el país, reutilización, resistencia a condiciones adversas y modularidad. El estudio concluyó que el acero ofrece ventajas superiores en comparación con otros materiales, destacándose por su durabilidad, capacidad de carga y flexibilidad para ser utilizado en sistemas modulares.

En consecuencia, el presente proyecto tiene como finalidad el diseño de un puente modular mixto, que combina una estructura metálica con un tablero de hormigón armado, el cual actúa como elemento colaborante. Esta solución estructural busca ofrecer una alternativa eficiente, adaptable y resistente, adecuada a las necesidades específicas de las zonas rurales.

## 2. Marco Teórico

Para la ejecución de este proyecto, se realizó una investigación exhaustiva con el objetivo de identificar los procedimientos y limitaciones técnicas que guiarán su desarrollo. Se ha seleccionado como base el puente modular Compact 200 de Mabey, un sistema ampliamente utilizado en el ámbito de la ingeniería de puentes modulares. Este diseño, que ha evolucionado a lo largo de más de 70 años, tiene su origen en el puente Bailey, desarrollado durante la Segunda Guerra Mundial. El sistema Compact 200 utiliza componentes de acero estandarizados e intercambiables, lo que permite soluciones estructurales robustas y de rápida instalación para diversas aplicaciones, tales como puentes temporales,

permanentes, rurales, de acceso, peatonales y en situaciones de emergencia [12]

El Sistema de Puente Panel Mabey Compact 200 ha sido desarrollado para permitir una gama amplia de luces de puente con diversos anchos de carretera, y en varias configuraciones de luz, a estar construidos a partir de una gama estándar de reservas de componentes. Se puede transportar los Puentes Compact 200 fácilmente al sitio de la obra utilizando camiones estándar siendo muy rápidos y fáciles de instalar y montar. El uso de acero galvanizado de alta resistencia garantiza que se logren estructuras de bajo mantenimiento a largo plazo.

Las diversas partes del equipo pueden ser ensambladas de modo versátil y rápido para satisfacer las necesidades de una luz particular y la capacidad de carga del puente requerido. Todos los componentes del puente pueden ser montados a mano y están fabricados de tal manera que son totalmente intercambiables con todos los componentes del mismo tipo. [13]

En 2006, Francisco Adalberto Carrillo Chopin y Helman Alcides López Peña, estudiantes de Ingeniería Civil en la Universidad de El Salvador, presentaron el trabajo de grado titulado “Aplicación de puentes metálicos modulares en El Salvador”. Este estudio se centró en mejorar los criterios de aplicación de puentes modulares metálicos en el país, evaluando tanto los aspectos funcionales como históricos de estas estructuras, así como las piezas fabricadas por Bailey, Mabey Compact 200 y Acrow Panel. Se analizó el comportamiento de las vigas ante cargas axiales, fuerzas cortantes y momentos flexionantes, tanto de manera individual como en conjunto. [10]

El estudio concluyó que, en la práctica, los puentes Mabey Compact 200 ofrecen las mejores ventajas dentro del contexto de los puentes metálicos modulares, siempre que se respeten los límites de carga establecidos. Estos puentes pueden soportar un peso máximo de 30 toneladas para vehículos tipo HS20-44 (AASHTO) y de 41 toneladas para vehículos T3-S3, según la normativa de la SIECA. Además, se recomienda no superar una longitud de vano de 140 pies (42.67 metros).

El uso de puentes modulares en el Paraguay ha sido implementado debido a la necesidad de alternativas eficientes a la construcción con madera, debido a la escasez de este recurso y a las ventajas de los puentes modulares, que pueden ser ensamblados en el sitio de manera rápida y sin el uso de maquinaria pesada.

El Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC) ha liderado esta iniciativa, permitiendo la creación del consorcio Jahasapa, compuesto por las empresas paraguayas WAL Metalúrgica y CIE, para la fabricación y suministro de estos puentes. [5].

El proceso de construcción de los puentes modulares se caracteriza por el uso de ángulos y chapas perforadas, que se ensamblan en el sitio mediante bulones, similar al concepto de un mecanismo. Las piezas son cortadas y perforadas en la planta de WAL Metalúrgica, luego soldadas por CIE, y finalmente sometidas a un proceso de galvanizado en caliente para prevenir la corrosión. Este método permite la producción de estructuras resistentes y duraderas.

Los puentes modulares fabricados por el consorcio Jahasapa están diseñados para soportar cargas pesadas, con la capacidad de soportar hasta 80 toneladas (80,000 kg), incluyendo vehículos de gran porte. Además, el peso total del puente, incluyendo su estructura, supera las 200 toneladas (200,000 kg). Las piezas utilizadas en el ensamblaje, como las vigas longitudinales y transversinas, están diseñadas para que ninguna supere los 260 kg, lo que facilita su transporte y montaje sin necesidad de maquinaria especializada, ya que seis personas pueden moverlas manualmente.

La longitud de los puentes puede variar entre 6 y 45 metros, con un ancho de calzada uniforme de 3.70 metros, adecuado para una sola vía, conforme a las exigencias del MOPC. Las vigas principales varían en resistencia según la longitud del puente, lo que asegura una adaptación flexible a diferentes condiciones geográficas y de carga.

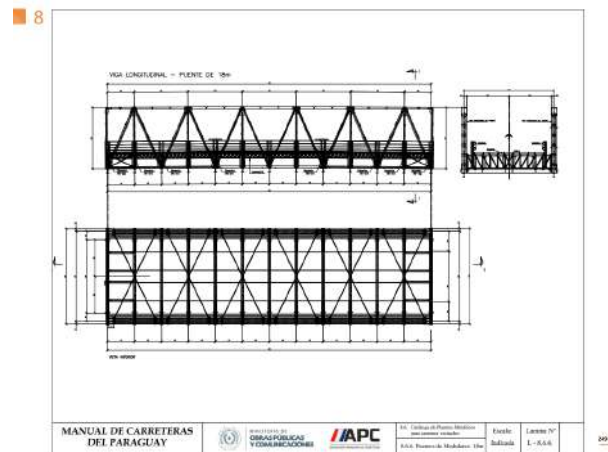


Figura 1: Puente Modular de 18 m. MOPC. Reproducido de[16]

## 2.1. Consideraciones de diseño

### 2.1.1. Dimensiones de los puentes modulares

Según el Manual Técnico del sistema de puentes de paneles compact 200 [11], las dimensiones de los puentes para sus distintas configuraciones se especifican en la siguiente imagen:

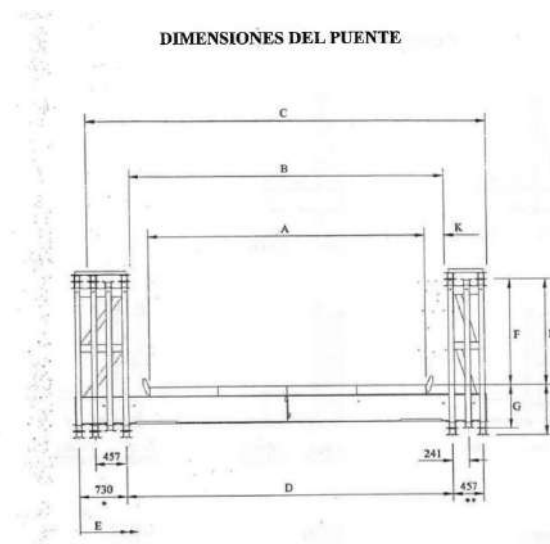


Figura 2: Sección transversal del puente modular Compact 200. Reproducido de[12]

**DIMENSIONES DE LOS PUENTES**

DIMENSIONES	CARRIL SENCILLO				DOBLE CARRIL	
	HS20, HA/MS250		EXTRA ANCHO		HS20	HA/MS250
	ACERO	MADERA	ACERO	MADERA	ACERO	MADERA
A	3150	3320	4200	4120	7350	7350
B	3757	3757	4773	4773	8050	8050
C	5031	5031	6047	6047		
D	3937	3937	4953	4953	8230	8230
E	5577	5577	6593	6593	9870	9870
F	1593	1477	1589	1473	1393	1383
G	643	759	647	763	843	853
H	1695	1579	1691	1575	1495	1485
K	304	219	287	327	350	350
L	802	918	806	922	1001	1011

Figura 3: Dimensiones del puente modular Compact 200. Reproducido de [12]

Los módulos definidos en el proyecto se fundamentan en las dimensiones derivadas de la suma de las variables F y G para un puente de doble vía con tablero de acero. Sin embargo, con el objetivo de proporcionar mayor confort y seguridad a los usuarios, se ha decidido implementar un tablero de hormigón, resultando en una estructura mixta.

El espesor mínimo requerido para un puente con tablero de hormigón es de 17 cm, conforme a las especificaciones establecidas en la guía de diseño de puentes del Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC) [7].

El ancho proyectado se ha determinado de acuerdo con las directrices presentadas en el Manual de Carreteras del Paraguay, específicamente en su Guía para el Diseño de Puentes [7], que establece que el ancho mínimo para un puente de doble vía es de 7.2 m. Esta dimensión se ha adoptado en el proyecto, añadiendo un espacio adicional para la instalación de barreras de seguridad, las cuales se colocarán a ambos lados del puente.

### 2.1.2. Componentes de los puentes modulares

El puente modular tiene como elementos principales: módulos en cada lado que definen la longitud total del puente, vigas transversales que determinan el ancho del puente y unen los módulos en cada lado, tornapuntas en cada extremo para arriostramiento de

los módulos ante eventuales cargas laterales, arriostramiento de vigas transversales que evitan el desalineamiento del puente durante el montaje, cordones de módulos, sistema de anclaje, piso tipo parrilla (grid) y tapajuntas colocadas en cada extremo del piso para prevenir que las ruedas de los vehículos queden fuera del carril de tránsito [9]

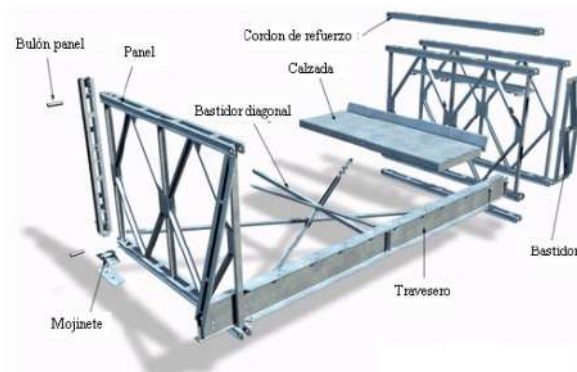


Figura 4: Componentes del puente modular. Reproducido de[10]

### 2.1.3. Tablero

Para este proyecto se ha decidido utilizar el método de steel deck como encofrado colaborante en el diseño del tablero de hormigón que se apoyará sobre los traveseros. Este sistema implica la instalación de láminas de acero conformadas en frío que, además de servir como soporte temporal para el hormigón fresco durante su colocación y fraguado, formarán parte integral de la estructura definitiva del tablero.

El Steel Deck es un producto laminado corrugado fabricado en acero galvanizado de calidad estructural, reemplaza la formaleta o encofrado durante el colado del hormigón de la losa y hace las veces del acero de refuerzo positivo durante la etapa de servicio de la misma. Fabricada con equipos de última tecnología que garantizan sus dimensiones, exclusivos diseños del empalme entre láminas de mejora y facilita la instalación. Ofrece una alta seguridad y facilidad de instalación, ahorro en material y tiempos de obra. Se realizan cortes según el encofrado a ser revestido.[2]

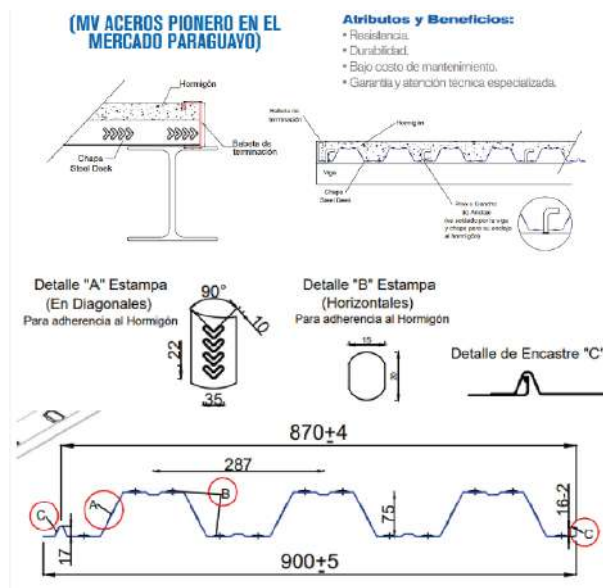


Figura 5: Características del steel deck. Reproducido de[2]

#### 2.1.4. Cargas

De acuerdo con las Especificaciones de Diseño de Puentes AASHTO LRFD [4], las cargas a considerar para el cálculo estructural de puentes se dividen en dos categorías principales: cargas permanentes y cargas vivas.

Las cargas permanentes incluyen el peso propio de todos los elementos de la estructura, así como los accesorios e instalaciones de servicio asociadas. Esto abarca la superficie de rodamiento, futuras sobrecapas y los ensanchamientos previstos.

Por su parte, las cargas vivas se refieren a la sobrecarga vehicular de diseño aplicada sobre las calzadas de puentes o estructuras incidentales, designada como HL-93. Esta carga se compone de una combinación de un camión de diseño, un tándem de diseño y una carga de carril de diseño.

El camión de diseño se caracteriza por cargas puntuales que representan el peso de un camión de tres ejes. En este contexto, las ruedas delanteras soportan una carga de 35 kN, mientras que las ruedas traseras tienen una carga puntual de 145 kN. Las dos primeras ruedas están separadas por una distancia constante de 4.3 m y la distancia entre

la segunda y la tercera rueda varía entre 4.3 m y 9 m.

El tándem de diseño está compuesto por un par de ejes que soportan una carga de 110 kN, separados por una distancia de 1.2 m, con una separación transversal de las ruedas que debe considerarse como 1.8 m.

En cuanto a la carga de diseño, esta incluye una carga de 9.3 kN/m, que se distribuye uniformemente en dirección longitudinal. En dirección transversal, se asume una distribución uniforme sobre un ancho de 3 m.

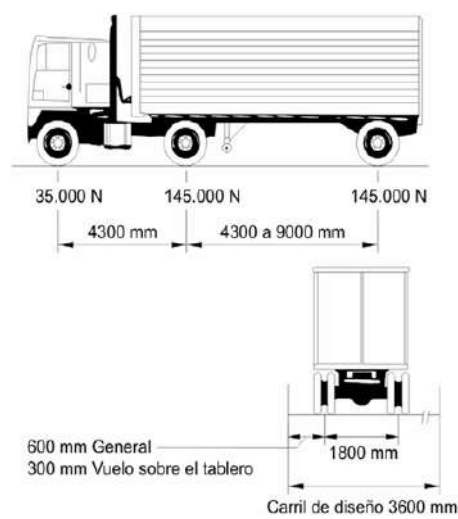


Figura 6: Características del Camión de diseño. Reproducido de[7]

## **3. Objetivos**

### **3.1. Objetivo general**

Desarrollar un puente modular mixto de doble vía para los caminos rurales del Paraguay, como alternativa económica y en la optimización del tiempo de construcción.

### **3.2. Objetivo específico**

- Identificar las características, limitaciones y ventajas de los puentes modulares de estructura metálica.
- Identificar los puentes modulares metálicos utilizados en el Paraguay
- Desarrollar un modelo de puente modular mixto ajustado a las necesidades de los caminos rurales del país
- Investigar la disponibilidad de los materiales necesarios en el mercado teniendo en cuenta el diseño obtenido
- Realizar el cómputo métrico y presupuesto del puente modular de doble vía diseñado

## 4. Ingeniería del Proyecto

### 4.1. Análisis Preliminar

Los datos utilizados para determinar las tres longitudes de puentes analizadas fueron recopilados de la página “Puentes del Paraguay” del Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones.[3] En esta fuente, se realizó una clasificación de los puentes existentes en las zonas rurales de los 17 departamentos de Paraguay, identificando específicamente aquellos ubicados sobre rutas terciarias o caminos de tierra. La clasificación se hizo en intervalos de cinco metros, con el objetivo de calcular el porcentaje de puentes existentes en cada rango de longitud. A continuación, la Tabla 7 presenta un resumen de los resultados obtenidos:

<b>Clasificación (m)</b>	<b>Cantidad Total (un)</b>	<b>Porcentaje Total</b>
0 - 5	31	8
6 - 10	128	32
11 - 15	87	21
16 - 20	52	13
21 - 25	27	7
26 - 30	30	7
31 - 35	3	1
36 - 40	2	0
41 - 45	25	6
46 - 50	5	1
mayor a 50	16	4

Tabla 1: Distribución de longitudes de puentes en zonas rurales del Paraguay.

A partir de esta clasificación, se concluyó que las longitudes de puentes más comunes oscilan entre 6 y 20 metros. Con base en este análisis, se determinaron las 3 longitudes a considerar en el proyecto. Las modulaciones seleccionadas tienen una longitud de 3 metros tomando en cuenta el aprovechamiento del material y una altura de 2.30 metros, según los criterios establecidos en la figura 3, quedando de la siguiente manera:

Longitud de Puente	Cantidad de módulos
12 metros	4
15 metros	5
18 metros	6

Tabla 2: Distribución de longitudes de puentes a analizar

#### 4.1.1. Diseño conceptual y Selección de Materiales

Con base en la información y el cálculo realizado, se procedió a la elaboración del diseño conceptual del puente modular metálico. Este diseño abarcó las dimensiones, la geometría de los componentes y la configuración estructural, teniendo en cuenta la modularidad y la facilidad de ensamblaje. Se llevó a cabo una evaluación de los materiales metálicos disponibles, considerando factores como resistencia, durabilidad, costo y disponibilidad. Optando así por el acero al carbono A36 (Norma ASTM A36), que tiene buena soldabilidad, generalmente se lamina en caliente en acero rectangular, acero cuadrado, acero redondo, placa de acero, y también se hace comúnmente en todo tipo de secciones de acero, como vigas H, vigas I, canal U, ángulo de acero, tubo de acero, etc. [14] Además, se implementaron estrategias para maximizar el aprovechamiento de los materiales y minimizar el desperdicio, aplicando técnicas de optimización estructural y análisis de costos.

Este trabajo está constituido mayormente por perfiles IPE debido a que estos poseen mayor rigidez y capacidad de carga, adecuado para estructuras principales y aplicaciones exigentes. También son utilizados perfiles L de la serie Cantoneira, los mismos son utilizados a modo de dar una rigidez adicional a la estructura.

Cada uno de los elementos que componen la estructura ha sido escogido de modo a disminuir lo más posible la cantidad de perfilería a utilizar, siempre teniendo presente el hecho de que las piezas escogidas sean lo suficientemente capaces de aguantar todas las

cargas exigidas para el análisis de un puente.

Los perfiles utilizados para la elaboración de cada uno de los componentes que integran el puente son proveídos en su mayoría por empresas paraguayas tales como Hierro Matt, Hierro Plus MV Aceros, L´acierie y Aciron.

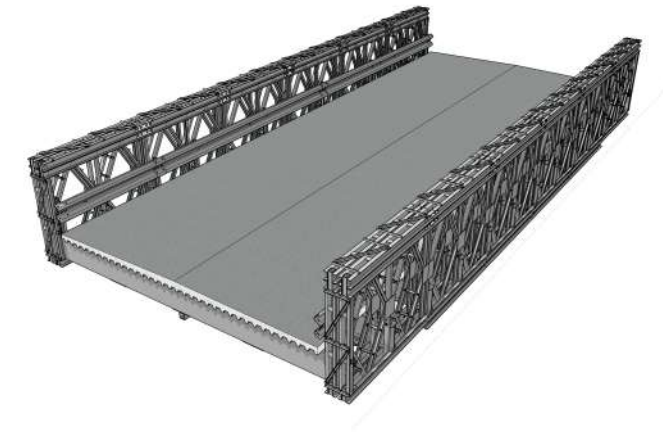


Figura 7: Vista 3D de la estructura.  
Elaboración propia

## 4.2. Análisis Estructural y Cálculo de Cargas

Para el cálculo y la elaboración del proyecto se utilizó el programa CYPE 3D, siguiendo las normativas establecidas por el AISI S100 - 2007 (LRFD)(USA) para lo correspondiente al acero conformado, mientras que para el acero laminado se utilizó la normativa ANSI/AISC 360 - 10 (LRFD) USA.

### 4.2.1. Carga de Viento

Respecto a la acción del viento sobre la estructura, el Volumen 4.2 - Guía para diseño de Puentes del Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones [7], indica que la carga de viento debe ser considerada y ajustada para estructuras cuya altura supere los diez metros sobre el nivel del terreno o del agua. La fórmula utilizada para calcular la velocidad del viento  $V_{DZ}$ , dada por:

$$V_{DZ} = 2,5V_0 \left( \frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left( \frac{Z}{V_0} \right)$$

$V_{DZ}$  : velocidad del diseño del viento (Km/h) a la altura de cálculo Z.

$V_{10}$  : velocidad del viento a 10 metros sobre el nivel del terreno o del agua.

$V_B$  : velocidad básica del viento (160 km/h) a 10 metros de altura.

Z : altura de la estructura desde la superficie del terreno o del agua, la cual debe ser mayor a 10 metros.

Se decidió que la altura de asiento en el estribo será de 4 metros y siendo la altura de la estructura igual a 2.50 metros, lo que nos da una altura total de 6.5 metros. Dado que es inferior al umbral de 10 metros utilizado por el Ministerio, se concluye que las cargas de viento no tienen un efecto significativo sobre el puente, permitiendo simplificar el análisis estructural.

#### 4.2.2. Cargas Permanentes

Se han considerado como cargas permanentes el peso propio de la estructura y los elementos fijos. La carga permanente total se calcula a partir de la densidad y el volumen de cada componente. Para el cálculo se ha seguido la Guía para el Diseño de Puentes del MOPC, garantizando el cumplimiento de los factores de carga establecidos.

#### 4.2.3. Cargas Variables

Para realizar el cálculo del puente bajo la acción de las cargas variables se desarrollaron las siguientes hipótesis:

##### - Hipótesis 1: Camión de diseño + Carril de diseño.

El carril de diseño comprende una carga de 9,3 kN/m en un área de 3 m, iniciando a 0.6 m del cordón del tablero, según lo especificado por el MOPC y extendida en toda la

longitud del puente.

El camión de diseño utiliza las cargas por eje de camión, ubicadas en el centro de cada carril de diseño y en el centro mismo del puente a modo de generar las mayores solicitaciones.

**- Hipótesis 2: Tándem de diseño + Carril de diseño.**

El carril de diseño se dispondrá de la misma manera que en la hipótesis anterior.

El tándem de diseño se colocará en el centro tanto del carril de diseño como en el centro del puente.

#### **4.2.4. Deflexión vertical**

##### **Puente de 12 metros**

Se realizó el análisis del puente modular a modo de obtener la deflexión máxima establecida para cada longitud según lo mencionado en la guía para el diseño de puentes del MOPC.

Para el proyecto se tuvo en cuenta el límite de deflexión de  $L/800$ , fijado por el MOPC en la sección B.6.1 “Criterios para la deflexión” [7], donde  $L$  está en mm para cada uno de los puentes analizados. Con este parámetro se asegura que cada uno de los puentes, con sus respectivas longitudes, no supere tal valor.

Hipótesis 1:

Se realizó el análisis del puente de 12 metros con las hipótesis establecidas y se observó su comportamiento.

Deflexión máxima para un puente de 12 metros:

$$\frac{L}{800} = \frac{12000 \text{ mm}}{800} = 15 \text{ mm}$$

A continuación, se muestran los valores máximos de deflexión obtenidos en cada cálculo del puente, considerando ambas hipótesis.

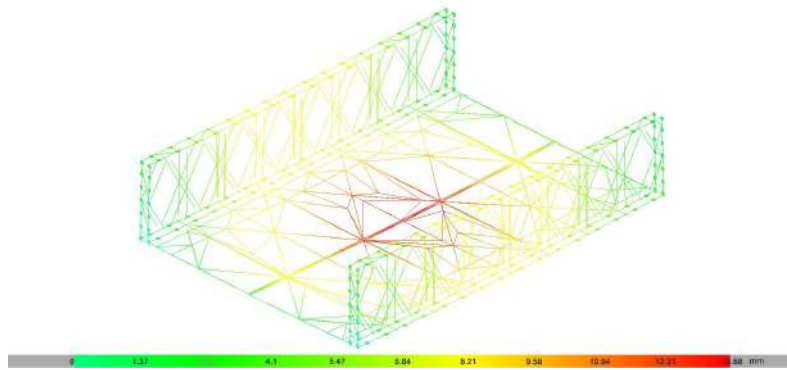


Figura 8: Deflexión debido al Camión de diseño. Puente L = 12 m.  
Elaboración propia

Por lo tanto, la deflexión calculada para una hipótesis de carga dada por la suma entre el peso propio de la estructura, el camión de diseño, el tablero y la carga de diseño para el puente de 12 metros de longitud es de 13,68 mm, el cual es inferior al valor exigido. Por lo tanto, **cumple** con lo exigido.

Hipótesis 2:

El valor de la deflexión máxima obtenida es:

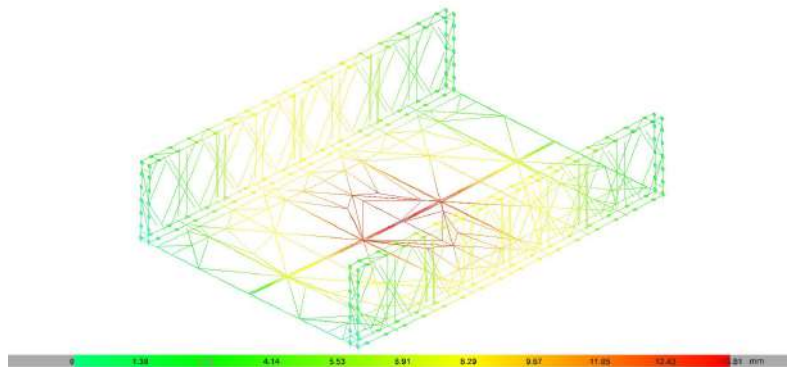


Figura 9: Deflexión debido al Tándem de diseño. Puente L = 12 m.  
Elaboración propia

Por lo tanto, la deflexión calculada para una hipótesis de carga dada por la suma entre el peso propio de la estructura, el tándem de diseño, el tablero y la carga de diseño para el puente de 12 metros de longitud es de 13,81 mm, el cual es inferior al valor exigido. Por lo tanto, **cumple** con lo exigido.

### Puente de 15 metros

Hipótesis 1:

Se realizó el análisis del puente de 15 metros con las hipótesis establecidas y se observó su comportamiento.

Deflexión máxima para un puente de 15 metros:

$$\frac{L}{800} = \frac{15000 \text{ mm}}{800} = 18,75 \text{ mm}$$

A continuación, se muestran los valores máximos de deflexión obtenidos en cada cálculo del puente, considerando ambas hipótesis.

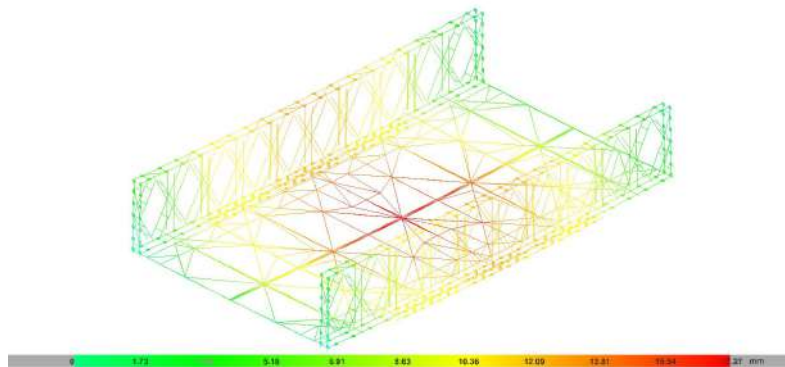


Figura 10: Deflexión debido al Camión de diseño. Puente L = 15 m.  
Elaboración propia

Por lo tanto, la deflexión calculada para una hipótesis de carga dada por la suma entre el peso propio de la estructura, el camión de diseño, el tablero y la carga de diseño para el puente de 15 metros de longitud es de 17,27 mm, el cual es inferior al valor exigido. Por lo tanto, **cumple** con lo exigido.

Hipótesis 2:

El valor de la deflexión máxima obtenida es:

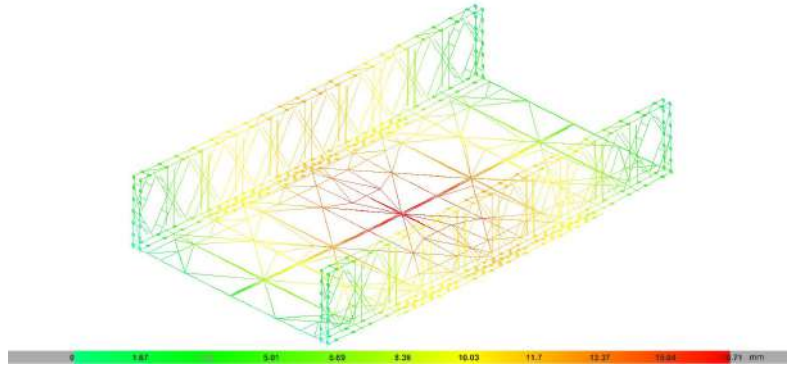


Figura 11: Deflexión debido al Tándem de diseño. Puente L = 15 m.  
Elaboración propia

Por lo tanto, la deflexión calculada para una hipótesis de carga dada por la suma entre el peso propio de la estructura, el tándem de diseño, el tablero y la carga de diseño para el puente de 15 metros de longitud es de 16.71 mm, el cual es inferior al valor exigido. Por lo tanto, **cumple** con lo exigido.

### **Puente de 18 metros**

Hipótesis 1:

Se realizó el análisis del puente de 18 metros con las hipótesis establecidas y se observó su comportamiento.

Deflexión máxima para un puente de 18 metros:

$$\frac{L}{800} = \frac{18000 \text{ mm}}{800} = 22,5 \text{ mm}$$

A continuación, se muestran los valores máximos de deflexión obtenidos en cada cálculo del puente, considerando ambas hipótesis.

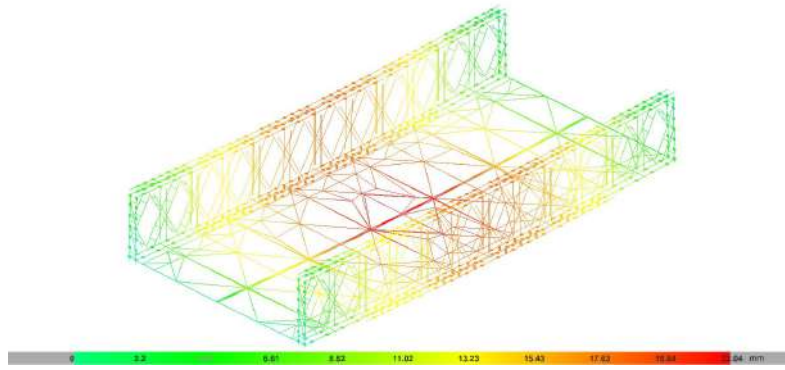


Figura 12: Deflexión debido al Camión de diseño. Puente  $L = 18$  m.  
Elaboración propia

Por lo tanto, la deflexión calculada para una hipótesis de carga dada por la suma entre el peso propio de la estructura, el camión de diseño, el tablero y la carga de diseño para el puente de 18 metros de longitud es de 22.04 mm, el cual es inferior al valor exigido. Por lo tanto, **cumple** con lo exigido.

Hipótesis 2:

El valor de la deflexión máxima obtenida es:

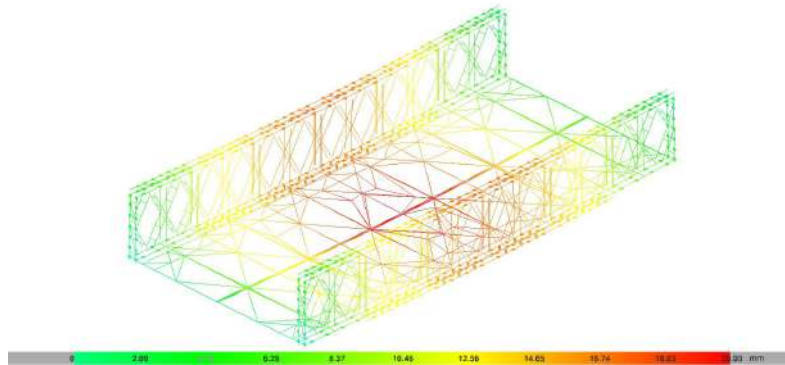


Figura 13: Deflexión debido al Tándem de diseño. Puente  $L = 18$  m.  
Elaboración propia

Por lo tanto, la deflexión calculada para una hipótesis de carga dada por la suma entre el peso propio de la estructura, el tándem de diseño, el tablero y la carga de diseño para el puente de 18 metros de longitud es de 20.93 mm, el cual es inferior al valor exigido. Por lo tanto, **cumple** con lo exigido.

#### 4.2.5. Superestructura

##### Panel Modular

Los módulos de este puente poseen perfiles y dimensiones constantes, cada uno de ellos cuenta con una longitud de 3 metros y una altura de 2.50 metros. La estructura de cada módulo se compone de perfiles UPE 180 doble en I, separados por una distancia de 0.10 metros, los cuales conforman los cordones inferiores y superiores. El cordón inferior sirve de apoyo para los traveseros o vigas transversales que sustentan el tablero del puente. Las montantes y diagonales de cada módulo están formadas por perfiles UPE 100 simple, los cuales proporcionan la resistencia y rigidez necesarias para la estructura.

Las uniones de los perfiles están realizadas mediante soldadura continua con proceso GMAW 1.2 y material de aporte E70XX en las conexiones de montantes y diagonales a los cordones, lo cual garantiza una unión sólida y eficiente entre todas las piezas del módulo. Para la conexión entre módulos, se han realizado uniones constituidas por chapas y pernos calculadas según las fuerzas que actúan en cada unión. Este diseño modular asegura una rápida instalación y la posibilidad de ajustes de longitud en función de las condiciones específicas del sitio.

Cada módulo ha sido diseñado y fabricado para garantizar un ensamblaje preciso en el sitio de construcción, evitando desalineaciones y optimizando la eficiencia del proceso de montaje. Además, todos los elementos de la superestructura recibirán un tratamiento de galvanizado en caliente como medida de protección contra la corrosión, lo que contribuirá a prolongar la vida útil de la estructura frente a condiciones ambientales adversas.

En cuanto al mantenimiento, el diseño modular facilita la inspección y permite el reemplazo de piezas individuales, tales como los bastidores, elementos de refuerzo y pernos.

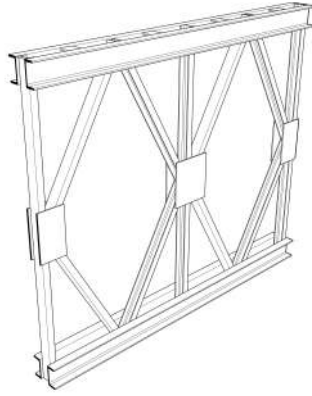


Figura 14: Panel Modular.  
Elaboración propia

### Traveseros

Los traveseros son componentes estructurales esenciales en el puente, encargados de soportar el tablero y transferir las cargas hacia los cordones inferiores que conforman los módulos. Los mismos están formados por perfiles armados de chapas de acero laminado, estos perfiles varían dependiendo de la longitud y las solicitaciones que requiere el puente.

La conexión entre los traveseros y los módulos se lleva a cabo mediante pernos de alta resistencia, los cuales se fijan a las almas de los montantes y a las alas de los travesaños.

Cada travesero tiene una longitud total de 8.3 metros, de los cuales 7.9 metros corresponden a la distancia libre entre los ejes de los módulos interiores. De esta longitud, 7.3 metros se destinan al ancho útil del tablero, dejando un espacio de 30 cm a cada lado para la instalación de barandas de seguridad.

Como se ha especificado anteriormente, los traveseros varían en sus dimensiones debido al requerimiento de cada puente. Por ejemplo, los traveseros iniciales y finales de cada puente cuentan con perfiles U debido al gran esfuerzo de tracción generado por el tablero, mientras que los traveseros ubicados en la zona media son perfiles armados en I como consecuencia del asiento total del tablero sobre toda el ala del perfil creado.

A continuación se tiene un cuadro en el cual se especifican las dimensiones de cada

perfil armado empleado para cada longitud de puente estudiado:

Puente 18 m

<b>Referencia de Perfil</b>	<b>IP 600</b>	<b>UP 600</b>
Altura exterior del alma	600	600
Altura del ala	180	150
Espesor del alma	12	12
Espesor del ala	19	19

Tabla 3: Dimensiones de perfiles armados utilizados para el puente L= 18 m

Puente 15 m

<b>Referencia de Perfil</b>	<b>IP 500</b>	<b>UP 500</b>
Altura exterior del alma	500	500
Altura del ala	200	150
Espesor del alma	10.2	16
Espesor del ala	10.2	16

Tabla 4: Dimensiones de perfiles armados utilizados para el puente L= 15 m

Puente 12 m

<b>Referencia de Perfil</b>	<b>IP 500</b>	<b>UP 500</b>
Altura exterior del alma	500	500
Altura del ala	200	150
Espesor del alma	10.2	16
Espesor del ala	10.2	16

Tabla 5: Dimensiones de perfiles armados utilizados para el puente L= 12 m

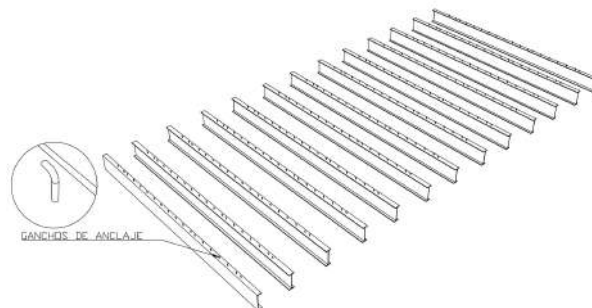


Figura 15: Vista 3D de Traveseros. Puente L=18 m.  
Elaboración propia

### **Tirantes diagonales**

Para proporcionar estabilidad y rigidez a los traveseros, se han colocado riostras estratégicamente en la parte inferior de estos elementos. Las riostras, formadas por perfiles UPE simples, están dispuestas en forma de diagonales, conectadas a los traveseros en sus puntos medios y en los extremos, creando una configuración en forma de diamante en los dos tramos del travesero.

La conexión entre las riostras y los traveseros se realiza mediante placas soldadas de 12 mm de espesor, que unen ambos elementos a través de pernos. Esta unión robusta permite un comportamiento estructural óptimo, garantizando la transferencia efectiva de cargas y el trabajo conjunto de los elementos estructurales.

### **Tirantes longitudinales**

Estos elementos, al igual que los tirantes diagonales, cumplen una función esencial en la disipación de los movimientos indeseados en los traveseros, provocados por las cargas dinámicas generadas por el tránsito vehicular sobre el tablero de hormigón. Están ubicados en el centro y a lo largo del puente, entre los traveseros, estos perfiles proporcionan una mayor inercia longitudinal a la estructura, incrementando su rigidez y resistencia ante deformaciones. Están constituidos por perfiles UPE doble en cajón soldado que varían dependiendo de la longitud del puente, seleccionados para ofrecer el equilibrio adecuado entre resistencia estructural y peso, contribuyendo a la eficiencia general de la estructura.

En la siguiente tabla se resume las características de estos elementos en los tres casos de estudio:

<b>Puente</b>	<b>Tirante Diagonal</b>	<b>Tirante Longitudinal</b>
12 m	UPE 100	UPE 100
15 m	UPE 140	UPE 140
18 m	UPE 160	UPE 160

Tabla 6: Tirantes Diagonales y Longitudinales.

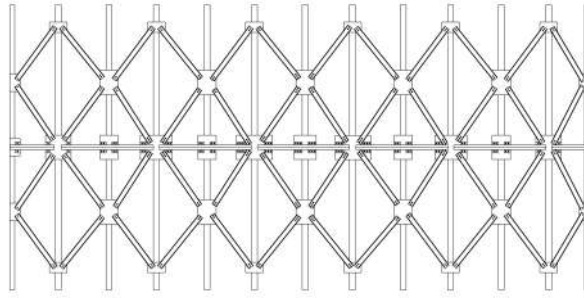


Figura 16: Vista en planta inferior. Tirantes diagonales y longitudinales. Puente L=18 m. Elaboración propia

### **Refuerzo en diagonales**

Para aumentar la rigidez estructural entre módulos paralelos, se instalaron perfiles de la serie Cantoneira L 1,3/4" x 3/16" cada 0.48 m, proporcionando interconexión y refuerzo en las diagonales de los mismos. Estos refuerzos se ubicaron en puntos donde el momento torsor hacía que la estructura fallara, variando en cada longitud a salvar. Por ejemplo, en el puente de 18 m diseñado en este proyecto, se colocaron en todas las diagonales de los módulos extremos; en el puente de 15 m, solo la mitad de las diagonales de los módulos extremos cuentan con estos refuerzos; mientras que, en el puente de 12 m, no fue necesario incluir refuerzos diagonales.

Otro elemento de refuerzo implementado son las montantes principales ubicadas en los extremos de los puentes. Estas están compuestas por perfiles UPE 120 dispuestos en doble "I" con unión genérica, y están interconectadas mediante planchuelas de 20 mm de espesor.

### **Refuerzo de Cordón Superior e Inferior**

También se han implementado refuerzos en los cordones a modo de reforzar la estructura en su centro para así poder disminuir los desplazamientos máximos que ocurren por la acción de las cargas. Estos refuerzos se encuentran unidos a los cordones superior e inferior por medio de pernos de alta resistencia los cuales aseguran que la estructura actúe como una sola.

Están formados por perfiles UPE 180 doble en I unión genérica con una separación de 100 mm entre ellos. Los perfiles cuentan con chapas de 100 mm de ancho, 100 mm de largo y un espesor de 10 mm, las cuales se utilizan para unir los perfiles.

La unión entre estos refuerzos y los cordones se da por medio de pernos, los cuales unen las chapas de los perfiles opuestos. Los detalles de unión entre cordones y refuerzos se muestran más adelante en la sección de uniones.

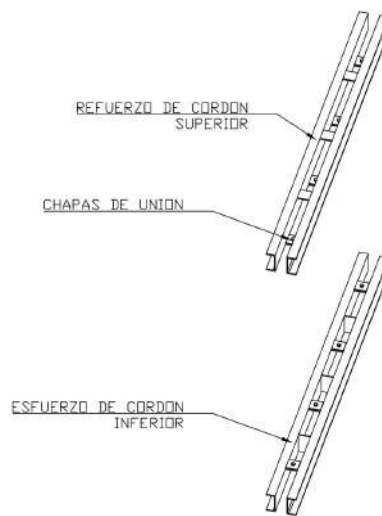


Figura 17: Refuerzos de Cordón Superior e Inferior.  
Elaboración propia

A continuación, el resumen de los refuerzos que utiliza cada puente modular calculado:

-	Puente de 12 m	Puente de 15 m	Puente de 18 m
Configuración	DS	DSR	DSR
Cantidad de Módulos	4	5	6
Refuerzo Cordón Sup.	NO	NO	SI
Refuerzo Cordón Inf.	NO	SI	SI
Refuerzo en Diagonales.	NO	SI	SI

Tabla 7: Resumen de elementos de refuerzos según longitud de puente.

### Bastidor Vertical y Horizontal

La estructura cuenta con un sistema de arriostamiento conformado por bastidores

verticales y horizontales fabricados con perfiles en L de 2"x 1/4" y perfil en L de 1 3/4"x 3/16" (serie Cantoneira) respectivamente, los cuales son fabricados por la empresa brasileña Gerdau. Tienen como objetivo principal incrementar la rigidez de la estructura y garantizar su estabilidad ante cargas laterales.

**Bastidores verticales:** Ubicados en los extremos de cada puente, estos elementos, conformados por perfiles en L, se conectan a las alas de las montantes mediante pernos de alta resistencia. Su función principal es resistir fuerzas perpendiculares al plano de los módulos, evitando pandeos y deformaciones indeseadas.

**Bastidores horizontales:** Situados en la parte superior de los módulos, los bastidores horizontales, también compuestos por perfiles en L, se conectan a las alas de los cordones superiores de las vigas mediante pernos. Estos elementos contribuyen a rigidizar los paneles paralelos, mejorando su comportamiento ante cargas distribuidas y concentradas.

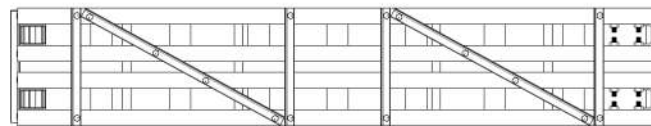


Figura 18: Vista en planta del Bastidor Horizontal  
Elaboración propia



Figura 19: Vista frontal del Bastidor Vertical.  
Elaboración propia

### **Tablero de hormigón**

El steel deck actuará en conjunto con el hormigón para soportar las cargas del puente, logrando así un comportamiento colaborante que optimiza el uso de materiales y mejora el rendimiento estructural.

La elección del steel deck en este proyecto responde a varias razones clave. Primero, la capacidad de estas láminas de acero para funcionar como encofrado permanente permite reducir el uso de encofrado convencional, lo cual simplifica el montaje y reduce los tiempos de ejecución. Además, el sistema de steel deck facilita la transferencia de esfuerzos entre el acero y el hormigón a través de conectores especiales, logrando una estructura compuesta que soporta mayores cargas con un menor peso propio.

Las láminas estarán asentadas sobre los traveseros, unidos entre sí por medio de ganchos de anclaje ubicados en puntos intermedios entre las chapas. Estos conectores se fijarán al travesero mediante soldadura.

Se utilizarán armaduras longitudinales y transversales en la parte inferior y superior del tablero para resistir esfuerzos de flexión y corte respectivamente, causados por el peso propio del puente y las cargas de tráfico, logrando de esta forma distribuir las cargas de manera uniforme en el tablero, como así también refuerzos en zonas de gran demanda.

Se debe cuidar que las varillas cuenten con cierto recubrimiento, de modo a asegurar que durante el proceso de vertido del hormigón, este se extienda correctamente por toda el área del tablero, logrando una buena colaboración entre todas las partes componentes de este sistema.

Para el proyecto se consideró el steel deck producido por la empresa paraguaya Metalúrgica Vera.[2]

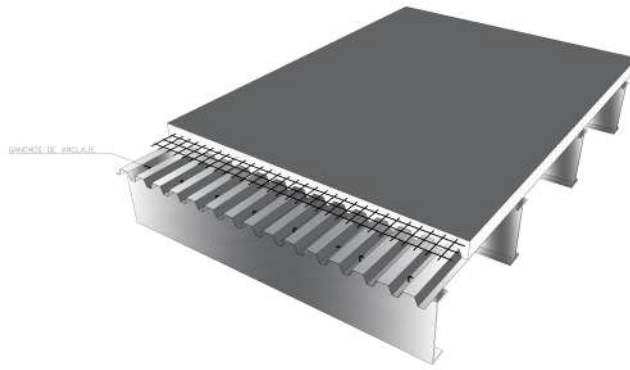


Figura 20: Características del tablero.  
Elaboración propia

### **Barreras de protección**

Las barreras de protección están dispuestas a lo largo de la superestructura del puente con el propósito de absorber y contener el impacto de un vehículo, redirigiéndolo, en la medida de lo posible, hacia el carril de circulación para mitigar el riesgo de caídas y minimizar la probabilidad de accidentes severos. Para este proyecto, se ha optado por el sistema de barreras plasmado en el Volumen 8.6 Catálogo de Puentes Metálicos para Caminos Vecinales desarrollado por el Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC)[15], el cual se compone de elementos metálicos que cumplen con los estándares normativos de seguridad estructural y de tránsito.

El guardarraíl se ancla a los travieseros del puente mediante placas y pernos de alta resistencia, lo cual garantiza una conexión segura y estable que resiste las cargas dinámicas en caso de impacto. La selección de este sistema de protección se basa en su peso reducido, que minimiza la carga adicional sobre la estructura modular, y en su capacidad para cumplir con su función primordial: salvaguardar la seguridad de los usuarios y preservar la integridad estructural del puente.

En los planos de diseño se detallan las dimensiones, la disposición y las especificaciones de instalación de las barreras seleccionadas, asegurando que se cumplan los requisitos de

seguridad y funcionalidad en las condiciones operativas proyectadas.

### **Losa de aproximación**

Para el proyecto, se ha diseñado una losa de aproximación de 5 metros de longitud y 7.3 metros de ancho, conforme a las especificaciones del Manual de Carreteras del Paraguay. Este manual establece que “En todos los casos deberá considerarse con una longitud mínima de 5 m y el ancho igual al de la calzada, el hormigón para esta losa se vierte directamente sobre el terraplén compactado.”[7]

### **Dispositivos de apoyo**

La estructura del puente contará con un sistema de apoyo compuesto por un apoyo fijo en un extremo y un apoyo móvil en el otro, lo que permitirá una distribución eficiente de las cargas y la adaptabilidad ante movimientos térmicos.

La placa de anclaje de los apoyos fue diseñada utilizando el software CYPE 3D, obteniéndose como resultado una placa de 20 mm de espesor con dimensiones de 300 mm de ancho y 500 mm de largo. La placa está equipada con pernos de 22.2 mm de diámetro y 900 mm de longitud, terminados en un gancho de 180° para garantizar una adecuada transferencia de carga entre el estribo y el sistema de apoyo. Los detalles constructivos completos se especifican en los planos del puente de 18 metros de longitud realizado.

## **4.2.6. Infraestructura**

### **Estribos**

No se ha definido un tipo específico de fundación, ya que esta decisión dependerá del estudio geotécnico realizado en la zona de implantación del puente. Sin embargo, se han establecido las medidas del respaldo correspondiente para cada puente, ya que esto varía dependiendo de la sumatoria de altura entre los travesaños, cuya altura está ligada a las dimensiones de los mismos y la altura final del tablero. Entonces, las medidas del respaldo

para los puentes calculados en este proyecto son de:

- Puente  $L = 12$  m, Respaldo = 0.857 m
- Puente  $L = 15$  m, Respaldo = 0.9070 m
- Puente  $L = 18$  m, Respaldo = 1.137 m

Mientras tanto, para lo referente al asiento del puente, las medidas son proporcionales a las del respaldo, lo cual nos permite un buen asiento entre las placas de anclaje, el apoyo y el puente, sin comprometer la estructura del estribo.

Es fundamental que la ubicación de los estribos sea realizada por un profesional en topografía, quien establecerá las cotas exactas de asiento. Esto permitirá posicionar con precisión las placas de anclaje, garantizando la estabilidad y alineación adecuada de la estructura.

Este diseño garantiza una transición óptima entre la vía de acceso y el puente, en conjunto con la losa de aproximación.

#### **4.2.7. Detalles de ensamblaje**

Las consideraciones abordadas en el proyecto para la elección de los pernos y chapas de unión han sido desarrolladas según las especificaciones establecidas por la norma brasileña ABNT NBR 8800 2008.

Tanto pernos y tuercas deben cumplir con las especificaciones actuales ASME B18.2.6 para pernos estructurales pesados ASTM A325, de cabeza hexagonal. La longitud del tornillo debe ser tal que, tras su instalación, su extremo coincida o supere la cara externa de la tuerca: para ello es necesario dejar cierta holgura en el cálculo de longitud, para compensar la tolerancia de ejecución del tornillo y la estructura.[\[6\]](#)

Para el proyecto se tomó una holgura de 2 mm en los diámetros de las perforaciones.

En cuanto a los elementos soldados en fábrica, se ha establecido que los módulos estarán compuestos por perfiles y láminas completamente soldadas como método de unión, y cada una de las piezas pasará por un proceso de galvanizado en caliente, con el fin de proteger y asegurar la vida útil de los elementos.

**2.6 - TABELAS DE RESISTÊNCIAS DE CÁLCULO DE PARAFUSOS  
CONFORME NBR 8800:2008**

Tabela 1 - Força de tração resistente de cálculo de parafusos ASTM A325, (kN) (NBR 8800:2008 - item 6.3.3.1)  
NOTA: Limite de resistência à tração do aço do parafuso:  $f_u \geq 82,5$  kN/cm<sup>2</sup>.

Diâmetro nominal do parafuso, "d <sub>n</sub> ", pol.	5/8"	3/4"	7/8"	1"
Área nominal do parafuso, "A <sub>n</sub> ", cm <sup>2</sup>	1,98	2,85	3,88	5,07
Força de tração resistente de cálculo, "F <sub>t,rd</sub> ", kN	90,8	130,6	177,8	232,4

Tabela 2 - Força de cisalhamento resistente de cálculo de um parafuso ASTM A325, (kN), quando o plano de corte passa pela rosca (NBR 8800:2008 - item 6.3.3.2)

NOTAS:

- 1 - No caso de cisalhamento duplo (quando um parafuso contém duas seções de corte) a resistência de cada parafuso será o dobro do valor obtido na tabela.
- 2 - Limite de resistência à tração do aço do parafuso:  $f_u \geq 82,5$  kN/cm<sup>2</sup>.

Diâmetro nominal do parafuso, "d <sub>n</sub> ", pol.	5/8"	3/4"	7/8"	1"
Área nominal do parafuso, "A <sub>n</sub> ", cm <sup>2</sup>	1,98	2,85	3,88	5,07
Força de cisalhamento resistente de cálculo, "F <sub>v,rd</sub> ", kN	48,4	69,7	94,8	123,9

Tabela 3 - Força resistente de cálculo à pressão de contato na parede de um furo, (kN), já levando em conta o rasgamento entre furos padrão, considerando a espessura da chapa igual a 1 cm e a distância entre eixos de parafusos igual a 3 vezes o diâmetro do parafuso. (NBR 8800:2008 - item 6.3.3.3)

NOTAS:

- 1 - Para espessuras diferentes de 1 cm, a resistência de cálculo será o produto do valor da tabela 3 pela espessura (em cm) da chapa.
- 2 - "l," é a distância, na direção da força, entre a borda do furo e a borda do furo adjacente.

Diâmetro nominal do parafuso, "d <sub>n</sub> ", pol.	5/8"	3/4"	7/8"	1"
Aço ASTM A36	105,3	128,5	151,7	174,9
Aço ASTM A572 - Grau 50	118,5	144,6	170,7	196,8

Tabela 4 - Força resistente de cálculo à pressão de contato na parede de um furo, (kN), já levando em conta o rasgamento entre furos padrão e borda da chapa, considerando a espessura da chapa igual a 1 cm e a distância entre eixo do furo e a borda da chapa igual à 1,5 vezes o diâmetro do parafuso. (NBR 8800:2008 - item 6.3.3.3)

NOTAS:

- 1 - Para espessuras diferentes de 1 cm, a resistência de cálculo será o produto do valor da tabela 4 pela espessura (em cm) da chapa.
- 2 - "l," é a distância, na direção da força, entre a borda do furo e a borda livre da chapa.

Diâmetro nominal do parafuso, "d <sub>n</sub> ", pol.	5/8"	3/4"	7/8"	1"
Aço ASTM A36	52,6	64,3	75,9	87,5
Aço ASTM A572 - Grau 50	59,2	72,3	85,4	98,4

Figura 21: Resistencia de cálculo de pernos. Reproducido de [19]

A partir de los datos extraídos de la figura, se determinaron las dimensiones necesarias para garantizar la resistencia de las uniones empernadas de los elementos.

Para obtener el dimensionamiento de los pernos utilizados se analizaron los esfuerzos convergentes en las uniones, primeramente en la zona central, para obtener los máximos

esfuerzos. A continuación se muestra el análisis preliminar realizado al puente de 18 m de modo a conocer los elementos de unión necesarios para cada una de las uniones del puente, se debe tener en cuenta que los pernos calculados deben ser revisados mediante software especializado en este tipo de uniones.

### **Análisis de uniones. Puente L= 18 metros.**

#### **Uniones entre módulos.**

Se encontró un máximo esfuerzo de corte para el perno de  $V = 418,965 \text{ kN}$  generado por cada cordón extremo al nudo, obteniéndose entonces para cada par de cordones y utilizando pernos de 7/8" con fuerza cortante resistente calculada de 94,8 kN según la figura 21:

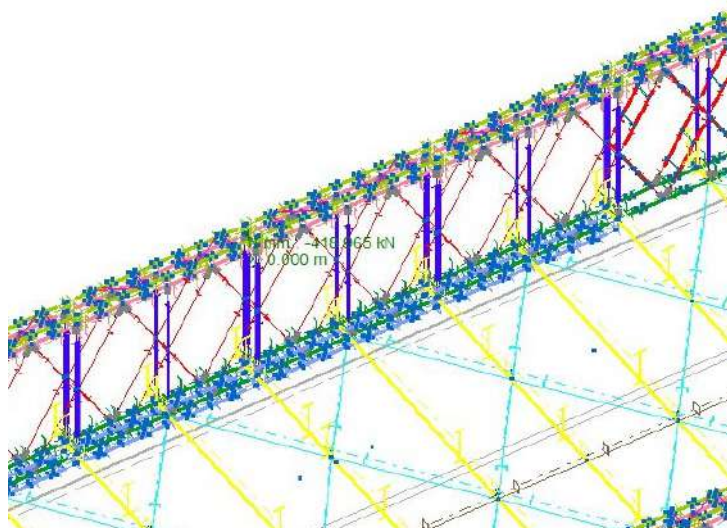


Figura 22: Normal Máxima en Uniones de módulos.  
Elaboración propia

$$\frac{V}{V_r} = \frac{418,965 \text{ kN}}{94,8 \text{ kN}} = 4,92 \text{ unidades}$$

Por lo tanto: Mínimo 5 pernos de 7/8" para ambos cordones superiores e inferiores del módulo.

También, según lo establecido en las tablas 3 y 4 la figura 21 se realizó el cálculo del espesor, distancia entre pernos y la separación de los pernos con respecto al borde de las chapas. La distancia entre el eje del perno y la frontera de la chapa debe ser 1,5 veces el diámetro del perno a utilizar y la separación entre ejes de los pernos es 3 veces el diámetro del mismo.

Por lo tanto, se tiene que:

Para pernos de 5/8"

$$S_{perno} = 15,875mm \cdot 3 = 47,625mm ; S_{Lamina} = 15,875mm \cdot 1,5 = 23,81mm$$

Para pernos de 3/4"

$$S_{perno} = 19,05mm \cdot 3 = 57,15mm ; S_{Lamina} = 19,05mm \cdot 1,5 = 28,575mm$$

Para pernos de 7/8"

$$S_{perno} = 22,03mm \cdot 3 = 66,09mm ; S_{Lamina} = 22,03mm \cdot 1,5 = 33,045mm$$

Para pernos de 1"

$$S_{perno} = 25,4mm \cdot 3 = 76,2mm ; S_{Lamina} = 25,4mm \cdot 1,5 = 38,1mm$$

También, para el cálculo de las chapas de 1 cm que servirán de unión entre los módulos en la zona calculada, y tomando 6 pernos para una simetría entre ellos, se tiene que cada cordón será soportado por 3 pernos de 7/8", entonces:

$$\frac{V/2}{Np} = \frac{209,483 \text{ kN}}{3 \text{ pernos}} = 69,83 \text{ kN/perno}$$

La resistencia de cálculo para una chapa de 1 cm según Tabla 3 de la figura 21, es de  $75,9kN > 67,89kN$ , por lo que **CUMPLE**.

Para el caso de **Tirantes Longitudinales y diagonales** se utilizó la misma metodología, se verificó el máximo esfuerzo normal que recibe en el punto de unión con el travesero y se realizó el cálculo en base a este valor.

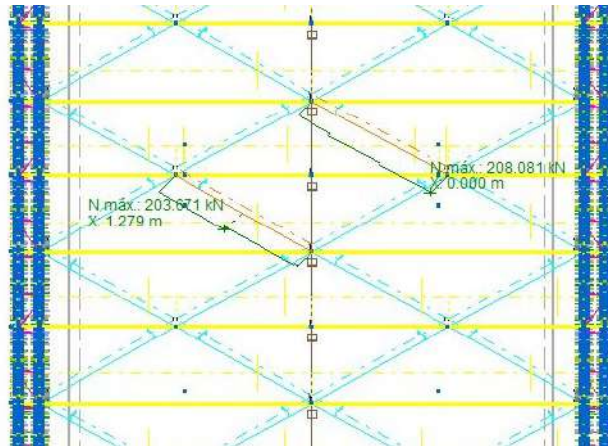


Figura 23: Máximos esfuerzos en tirantes diagonales.  
Elaboración propia

Tirantes en travesero central  $N_{m\acute{a}x}=203.671$  kN y para pernos de 7/8”:

$$\frac{N_{max}}{V_r} = \frac{208,081 \text{ kN}}{94,8 \text{ kN}} = 2,19 \text{ pernos}$$

Por lo tanto, adoptamos 3 pernos de 7/8” por tirante. Y cada uno resiste:

$$\frac{N_{max}}{N_p} = \frac{208,081 \text{ kN}}{3 \text{ pernos}} = 69,36 \text{ kN/perno}$$

La resistencia de cálculo para una chapa de 1 cm según la Tabla 4 de la figura 21, es de  $75,9kN > 69,36kN$ , por lo tanto **CUMPLE**.

Ahora, procedemos a calcular los pernos que deberán soportar los esfuerzos en la unión de los **Tirantes Longitudinales** de la zona central del puente:

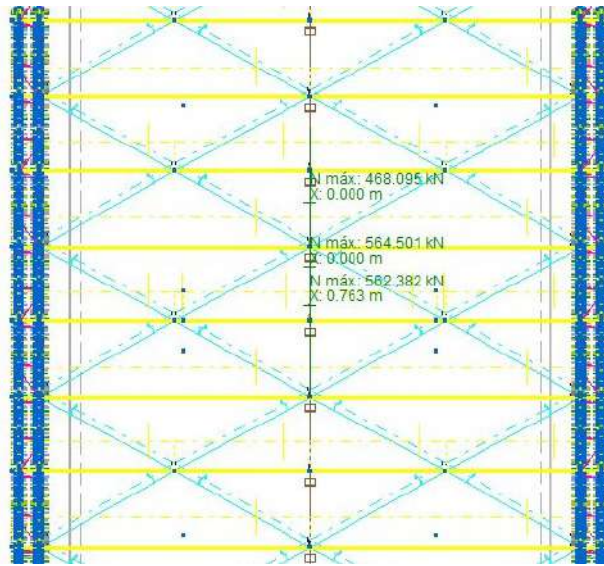


Figura 24: Máximos esfuerzos en tirantes longitudinales.  
Elaboración propia

Para pernos de 1”:

$$\frac{N_{max}}{V_r} = \frac{564,501kN}{123,9kN} = 4,56$$

Por lo que mínimamente se deben usar 5 pernos de 1”, por lo tanto, el valor del esfuerzo cortante total se divide en 5 partes, igual a 112,9 kN.

De las tablas 3 y 4 de la figura 21 la resistencia de cálculo para una chapa de 1 cm es de  $87,5kN < 112,9kN$ , por lo que se debe aumentar el espesor.

Probamos con una chapa de 1,2 cm:

$$F_r = 87,5kN \cdot 1,2 = 105kN$$

Como sigue siendo mayor de lo que resiste, aumentamos la cantidad de pernos a 6.

$$N_p = \frac{564,501kN}{6pernos} = 94,08kN/perno$$

$105kN > 94,08kN$ , por lo tanto CUMPLE.

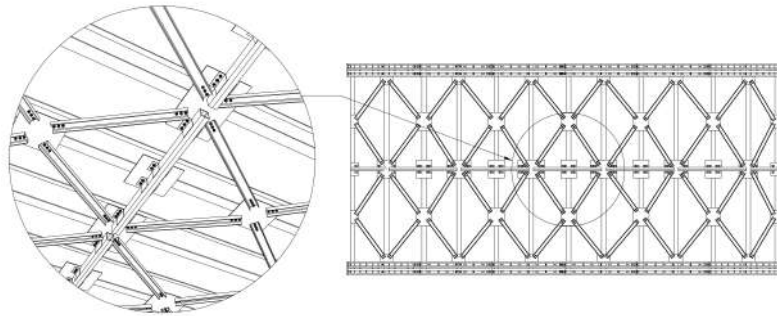


Figura 25: Detalle de unión de tirantes.  
Elaboración propia

### Unión del travesero con las montantes extremas

Fuerza Normal máxima de la montante es igual a 168,371 kN.

Para pernos de 7/8”:

$$\frac{N_{max}}{V_r} = \frac{168,371kN}{94,8kN} = 1,78$$

Por lo que se adoptan 2 pernos de 7/8”.

Fuerza normal máxima para traveseros extremos es igual a 223,462 kN.

Para pernos de 7/8”:

$$\frac{N_{max}}{V_r} = \frac{223,462kN}{94,8kN} = 2,36$$

Por lo que mínimamente se deben usar 3 pernos de 7/8”, se adoptan 4 pernos.

Para las uniones intermedias se adoptó un perno por montante y por travesero, ya que los esfuerzos en estos puntos eran mínimos.

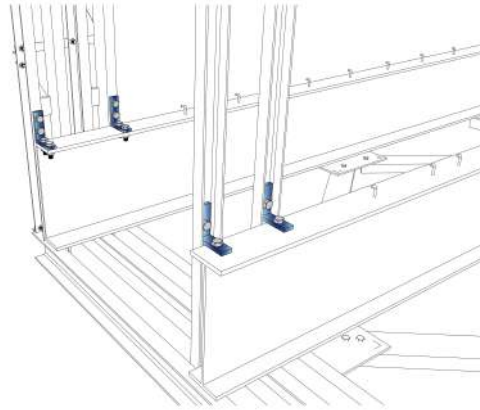


Figura 26: Detalle de unión de traveseros.  
Elaboración propia

### Unión del refuerzo de cordón

Para el cálculo de las uniones de los refuerzos longitudinales de los cordones superiores e inferiores y para un esfuerzo máximo encontrado de 6 kN, se opta por pernos de 5/8”.

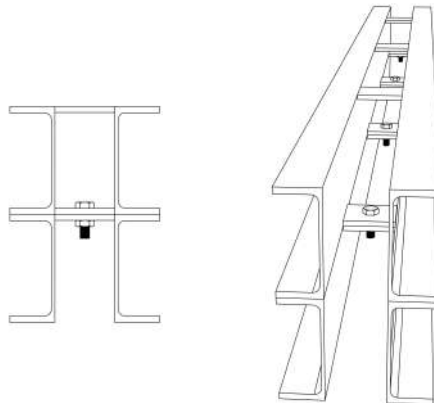


Figura 27: Detalle de unión de refuerzos de cordones.  
Elaboración propia

## 4.3. Montaje y mantenimiento del puente modular

El proceso de montaje y unión de las piezas del puente debe realizarse bajo la supervisión de personal competente, asegurando los siguientes aspectos:

Se debe garantizar la seguridad de cada uno de los operarios que participen en el

montaje.

Deben estar disponibles herramientas y equipos apropiados para lograr la correcta instalación y alcanzar los valores de resistencia exigidos.

Se debe asegurar que el puente a montar sea adecuado para salvar la luz establecida, verificando que su capacidad esté en conformidad con los requerimientos del proyecto.

Asegurar que los componentes del puente sean manipulados con sumo cuidado, utilizando maquinaria que facilite el ensamblaje y la colocación.

Las uniones deben ser realizadas con especial cuidado. El personal capacitado debe asegurar el cumplimiento de todas las especificaciones establecidas, particularmente en las uniones empernadas.

Garantizar que todas las piezas cumplan con los estándares de calidad antes de su puesta en obra, asegurando su durabilidad frente a diversos factores climáticos.

El "steel deck" debe ser colocado por personal capacitado, asegurando una integración correcta entre las láminas de acero y los pernos de anclaje del travesaño, de modo que estén en condiciones óptimas para recibir el hormigón. Asegurar que el hormigón utilizado cumpla con las especificaciones requeridas por el proyecto.

Es imprescindible que las uniones, refuerzos, distancias y ubicación de todos los componentes del puente cumplan con las especificaciones técnicas establecidas. Cualquier desviación podría comprometer la estabilidad estructural.

#### **4.3.1. Procedimiento constructivo del puente modular**

**1. Verificación de estribos:** Primeramente, se debe verificar que los estribos cumplan con la planeidad y dimensiones especificadas. Los asientos y respaldos deben tener las dimensiones necesarias para asegurar la continuidad entre el camino y el puente.

2. **Colocación de apoyos:** Se colocarán los apoyos en cada uno de los extremos del puente, ajustando las placas de anclaje con los pernos específicos. Este trabajo debe realizarse con cuidado para no exceder el torque máximo permitido para cada perno.

3. **Ensamblaje de módulos:** Se ensamblarán los módulos en tierra hasta alcanzar la longitud deseada, asegurando que cada módulo tenga la cantidad específica de pernos en cada unión para garantizar la capacidad requerida.

4. **Izaje y colocación de módulos:** Una vez ensamblados, se utilizará una grúa con capacidad suficiente para levantar y colocar cada sección en su posición final.

5. **Montaje en paralelo:** Los módulos se colocarán en forma paralela según los planos, y se sujetarán mediante bastidores verticales, proporcionando estabilidad lateral al segmento. Durante el montaje, se utilizarán elementos de soporte para evitar que los módulos instalados caigan.

6. **Alineación de conexiones:** A medida que se colocan los segmentos, se verificará que cada conexión esté alineada y asegurada, garantizando la continuidad estructural. Un supervisor o personal capacitado debe realizar esta verificación.

7. **Montaje de traveseros:** Una vez colocados y asegurados los módulos, se procederá a instalar los traveseros utilizando una grúa. Estos se apoyarán en los cordones inferiores y se fijarán a los montantes mediante los pernos especificados en los planos del proyecto.

8. **Instalación de tensores:** Se colocarán los tensores diagonales y longitudinales debajo de los traveseros, siguiendo las especificaciones de los planos estructurales, cuidando siempre la integridad física de los operarios.

9. **Colocación de refuerzos superiores e inferiores:** Si el modelo requiere, se colocarán los refuerzos de los cordones superiores e inferiores según lo especificado en el proyecto. Estos cordones estarán ensamblados mediante pernos, utilizando plataformas o andamios para el procedimiento.

10. **Montaje de bastidores horizontales:** Una vez instalados los refuerzos, se dispondrán los bastidores horizontales en su posición especificada y se unirán con pernos, proporcionando rigidez adicional y actuando como un conjunto integral.

11. **Construcción del Tablero:** Con todos los componentes de la estructura metálica montados y asegurados, se procede a soldar los ganchos de anclaje a los traveseros. A continuación, el personal calificado instala el steel deck. Una vez completado este paso, se coloca la armadura y se lleva a cabo el vaciado del concreto, siguiendo los procedimientos establecidos.

#### 4.3.2. Mantenimiento

##### 1. Inspección y Diagnóstico

###### 1.1 Inspección Visual:

- Identificar signos evidentes de corrosión, grietas, deformaciones, o daños en las conexiones.

- Verificar la presencia de acumulación de residuos, agua estancada o elementos sueltos en juntas y apoyos.

###### 1.2 Inspección Técnica Detallada:

- Utilizar equipos como ultrasonidos, detectores de corrosión y ensayos no destructivos (END).

- Medir espesores de los componentes metálicos para evaluar la pérdida de material por corrosión.

- Realizar pruebas en los puntos críticos como conexiones perno/placa y elementos sometidos a altas tensiones.

###### 1.3 Frecuencia:

- Inspección rutinaria: Cada 6-12 meses.
- Inspección mayor: Cada 3-5 años, incluyendo pruebas especializadas.

## **2. Protección y Prevención**

### **2.1 Protección Anticorrosiva**

- Renovar el galvanizado según el grado de desgaste, esto aumenta la vida útil del mismo.

- Usar recubrimientos epoxi o poliuretano en áreas críticas expuestas a alta humedad o contaminantes.

### **2.2 Limpieza**

- Limpiar la estructura regularmente para evitar acumulación de contaminantes.
- Asegurarse de que los drenajes estén despejados para evitar agua estancada.

## **3. Reparaciones y Rehabilitación**

### **3.1 Reparación de Elementos Metálicos**

- Reemplazar o reforzar componentes estructurales dañados, como vigas o travesaños.
- Reparar grietas mediante soldadura certificada siguiendo normas como AWS D1.1.

### **3.2 Reemplazo de Conexiones**

- Sustituir pernos, remaches o placas corroídas.
- Aplicar lubricación en los pernos para evitar oxidación.

### **3.3 Refuerzos**

- Incorporar refuerzos metálicos si se identifican sobrecargas recurrentes o fatiga estructural.

#### **4. Mantenimiento de Elementos Complementarios**

##### **4.1 Apoyos**

- Verificar la alineación y el estado de los apoyos metálicos.
- Reemplazar los apoyos deteriorados para garantizar la transferencia adecuada de cargas.

##### **4.2 Sistema de Drenaje**

- Verificar la efectividad de las pendientes diseñadas en el tablero para garantizar la evacuación adecuada del agua sobre la superficie de hormigón.

##### **4.3 Sistema de protección**

- Revisar y reforzar el guardarraíl si es necesario, para asegurar una protección constante.

#### **5. Documentación**

- Llevar un registro detallado de cada inspección, reparación y mantenimiento realizado.
- Archivar los resultados de las pruebas técnicas y fotografías del estado inicial y final tras cada intervención.

## 5. Análisis económico

### 5.1. Cómputo métrico y presupuesto

A continuación, se presentan las planillas de cómputo y presupuesto de cada uno de los puentes modulares mixtos diseñados en este proyecto:

PRESUPUESTO GENERAL					
OBRA: PUENTE MODULAR MIXTO DE DOBLE VIA. LONGITUD = 12 M.					
Dahiana Celeste Rojas Espinola Pedro Javier Fernández Medina					
FECHA:	24/11/2024				
RUBROS CONTRATADOS					
Ítem	Rubros	Unid.	Cantidad	P. Unitario	Precio Total
<b>PRESUPUESTO PRINCIPAL</b>					
<b>1</b>	<b>Superestructura</b>				
1.1	Tablero de Hormigón tipo Steel Deck (12 m de largo por 7,3 m de ancho, con pendiente de 2%)	m3	14.89	3,491,808	52,000,000
1.2	Guardarrail	ml	24.00	125,000	3,000,000
1.3	Traveseros de perfil armado de acero laminado IP 500 A36	kg	5,408.83	7,623	41,231,511
1.4	Traveseros de perfil armado de acero laminado UP 500 A36	kg	1,307.66	7,623	9,968,292
<b>2</b>	<b>Módulos de 3x2,5m (Acero laminado - A36)</b>				
2.1	Montantes y Diagonales (perfil UPE 100 A 36)	kg	2,804.14	7,623	21,375,959
2.3	Cordones (perfil UPE 180 A36)	kg	3,783.07	7,623	28,838,343
2.4	Montante Principal (UPE 120 Doble en I, unión genérica)	kg	483.56	7,623	3,686,178
<b>3</b>	<b>Refuerzos</b>				
3.1	Perfil tipo L - serie cantoneira, 1.3/4"x3/16"	kg	61.07	7,623	465,537
3.2	Perfil tipo L - 2"x1/4"	kg	42.97	7,623	327,560
3.3	Acero laminado A36 (100x100x10)	kg	154.82	7,623	1,180,206
3.4	Acero laminado A36 (400x135x10)	kg	593.54	7,623	4,524,522
3.5	Acero laminado A36 (400x350x10)	kg	694.66	7,623	5,295,366
3.6	Acero laminado A36 (540x315x12)	kg	160.25	7,623	1,221,621
3.7	Acero laminado A36 (740x660x12)	kg	276.08	7,623	2,104,549
3.8	Acero laminado A36 (740x780x12)	kg	108.76	7,623	829,065
3.9	Acero laminado A36 (420x660x12)	kg	124.36	7,623	947,995
3.10	Acero laminado A36 (1100x740x12)	kg	76.69	7,623	584,597
3.11	Acero laminado A36 (980x740x12)	kg	136.65	7,623	1,041,645
<b>4</b>	<b>Tirantes</b>				
4.1	Perfil UPE 100 Doble en cajón soldado	kg	234.52	7,623	1,787,746
4.2	Perfil UPE 100 simple	kg	777.57	7,623	5,927,416
<b>5</b>	<b>Tornillos y pernos de unión</b>				
5.1	Tornillos 5/8" ASTM A325	un	373.33	3,000	1,120,000
5.2	Tornillos 3/4" ASTM A325	un	72.00	4,500	324,000
5.3	Tornillos 7/8" ASTM A325	un	421.33	6,000	2,528,000
5.4	Tornillos 1" ASTM A325	un	88.00	15,000	1,320,000
<b>6</b>	<b>Apoyos</b>				
6.1	Pernos de anclaje ASTM A325, 900 mm de longitud y 22 mm de diámetro.	ml	28.80	150,000	4,320,000
6.1	Placas de anclaje A36 20mm	kg	62.81	7,623	478,785
6.2	Losa de aproximación 7,8x5m	m3	7.80	2,300,000	17,940,000
<b>7</b>	<b>Soldaduras</b>				
7.1	Soldadura continua con proceso GMAW 1.2 y material de aporte E70XX	ml	282.56	15,000	4,238,400
<b>8</b>	<b>Revestimientos</b>				
8.1	Galvanizado en caliente	kg	15,914.30	5,800	92,302,911
<b>9</b>	<b>HH</b>				
9.1	HH taller	h	1,328.00	23,000	30,544,000
9.1	HH campo	h	320.00	29,000	9,280,000
9.2	HH Grúa	h	40.00	700,000	28,000,000
<b>TOTAL IVA INCLUIDO GS</b>					<b>378,734,205</b>
Costos indirectos de Fabricacion ( 30 % ) :					113,620,261
Contingencia ( 5 % ) :					18,936,710
Utilidad (25 % )					94,683,551
<b>Valor de Venta</b>					<b>605,974,728</b>
					<b>\$ 77,689,07</b>

Tabla 8: Cómputo métrico y presupuesto. Puente modular mixto L = 12 m

PRESUPUESTO GENERAL					
OBRA: PUENTE MODULAR MIXTO DE DOBLE VIA. LONGITUD = 15 M.					
Dahiana Celeste Rojas Espinola Pedro Javier Fernández Medina					
FECHA:	24/11/2024				
RUBROS CONTRATADOS					
Ítem	Rubros	Unid.	Cantidad	P. Unitario	Precio Total
<b>PRESUPUESTO PRINCIPAL</b>					
<b>1</b>	<b>Superestructura</b>				
1.1	Tablero de Hormigón tipo Steel Deck (15 m de largo por 7,3 m de ancho, con pendiente de 2%)	m3	18.62	3,491,808	65,000,000
1.2	Guardarrail	ml	30.00	125.000	3,750,000
1.3	Traveseros de perfil armado de acero laminado IP 500 A36	kg	6,867.91	7,623	52,354,078
1.4	Traveseros de perfil armado de acero laminado UP 500 A36	kg	1,307.66	7,623	9,968,292
<b>2</b>	<b>Módulos de 3x2,5m (Acero laminado - A36)</b>				
2.1	Montantes y Diagonales (perfil UPE 100 A 36)	kg	3,554.24	7,623	27,093,972
2.3	Cordones (perfil UPE 180 A36)	kg	6,147.49	7,623	46,862,316
2.4	Montante Principal (UPE 120 Doble en I, unión genérica)	kg	483.56	7,623	3,686,178
<b>3</b>	<b>Refuerzos</b>				
3.1	Perfil tipo L - serie cantoneira, 1.3/4"x3/16"	kg	106.48	7,623	811,697
3.2	Perfil tipo L - 2"x1/4"	kg	56.86	7,623	433,444
3.3	Acero laminado A36 (100x100x10)	kg	200.04	7,623	1,524,931
3.4	Acero laminado A36 (400x135x10)	kg	678.33	7,623	5,170,882
3.5	Acero laminado A36 (400x350x10)	kg	896.90	7,623	6,837,055
3.6	Acero laminado A36 (540x315x12)	kg	224.36	7,623	1,710,269
3.7	Acero laminado A36 (740x660x12)	kg	368.11	7,623	2,806,065
3.8	Acero laminado A36 (740x780x12)	kg	108.76	7,623	829,065
3.9	Acero laminado A36 (420x660x12)	kg	124.36	7,623	947,995
3.10	Acero laminado A36 (1100x740x12)	kg	76.69	7,623	584,597
3.11	Acero laminado A36 (980x740x12)	kg	136.65	7,623	1,041,645
<b>4</b>	<b>Tirantes</b>				
4.1	Perfil UPE 140 Doble en cajón soldado	kg	431.88	7,623	3,292,221
4.2	Perfil UPE 140 simple	kg	1,431.17	7,623	10,909,809
<b>5</b>	<b>Tornillos y pernos de unión</b>				
5.1	Tornillos 5/8" ASTM A325	un	466.67	3,000	1,400,000
5.2	Tornillos 3/4" ASTM A325	un	18.00	4,500	81,000
5.3	Tornillos 7/8" ASTM A325	un	105.00	6,000	630,000
5.4	Tornillos 1" ASTM A325	un	110.00	15,000	1,650,000
<b>6</b>	<b>Apoyos</b>				
6.1	Pernos de anclaje ASTM A325, 900 mm de longitud y 22 mm de diámetro.	ml	28.80	150,000	4,320,000
6.1	Placas de anclaje A36 20mm	kg	62.81	7,623	478,785
6.2	Losa de aproximación 7,8x5m	m3	7.80	2,300,000	17,940,000
<b>7</b>	<b>Soldaduras</b>				
7.1	Soldadura continua con proceso GMAW 1.2 y material de aporte E70XX	ml	353.1	15,000	5,296,500
<b>8</b>	<b>Revestimientos</b>				
8.1	Galvanizado en caliente	kg	21,832.50	5,800	126,628,500
<b>9</b>	<b>HH</b>				
9.1	HH taller	h	1,972.80	23,000	45,374,400
9.1	HH campo	h	448.00	29,000	12,992,000
9.2	HH Grúa	h	56.00	720,000	40,320,000
<b>TOTAL IVA INCLUIDO GS</b>					<b>502,725,698</b>
Costos Indirectos de Fabricación ( 30 % ) :					<b>150,817,709</b>
Contingencia ( 5 % ) :					<b>25,136,285</b>
Utilidad (25 %)					<b>125,681,424</b>
<b>Valor de Venta</b>					<b>804,361,117</b>
					<b>\$ 103,123,22</b>

Tabla 9: Cómputo métrico y presupuesto. Puente modular mixto L = 15 m

Diseño estructural de puentes modulares mixtos de doble vía para caminos rurales del  
Paraguay

PRESUPUESTO GENERAL					
OBRA: PUENTE MODULAR MIXTO DE DOBLE VIA. LONGITUD = 18 M.					
Dahiana Celeste Rojas Espinola Pedro Javier Fernández Medina					
FECHA:	24/11/2024				
RUBROS CONTRATADOS					
Ítem	Rubros	Unid.	Cantidad	P. Unitario	Precio Total
<b>PRESUPUESTO PRINCIPAL</b>					
<b>1</b>	<b>Superestructura</b>				
1.1	Tablero de Hormigón tipo Steel Deck (18 m de largo por 7,3 m de ancho, con pendiente de 2%)	m3	22.34	3,491,808	78,000,000
1.2	Guardarrail	ml	36.00	125,000	4,500,000
1.3	Traveseros de perfil armado de acero laminado IP 600 A36	kg	10,204.91	7,623	77,792,029
1.4	Traveseros de perfil armado de acero laminado UP 600 A36	kg	1,699.73	7,623	12,957,042
<b>2</b>	<b>Módulos de 3x2,5m (Acero laminado - A36)</b>				
2.1	Montantes y Diagonales (perfil UPE 100 A 36)	kg	4,304.34	7,623	32,811,984
2.3	Cordones (perfil UPE 180 A36)	kg	10,403.45	7,623	79,305,499
2.4	Montante Principal (UPE 120 Doble en l, unión genérica)	kg	483.56	7,623	3,686,178
<b>3</b>	<b>Refuerzos</b>				
3.1	Perfil tipo L - serie cantoneira, 1,3/4"x3/16"	kg	151.89	7,623	1,157,857
3.2	Perfil tipo L - 2"x1/4"	kg	57.10	7,623	435,273
3.3	Acero laminado A36 (100x100x10)	kg	432.12	7,623	3,294,043
3.4	Acero laminado A36 (400x135x10)	kg	763.12	7,623	5,817,242
3.5	Acero laminado A36 (400x350x10)	kg	1,099.14	7,623	8,378,744
3.6	Acero laminado A36 (540x315x12)	kg	288.46	7,623	2,198,918
3.7	Acero laminado A36 (740x660x12)	kg	460.13	7,623	3,507,582
3.8	Acero laminado A36 (740x780x12)	kg	108.76	7,623	829,065
3.9	Acero laminado A36 (420x660x12)	kg	130.58	7,623	995,395
3.10	Acero laminado A36 (1100x740x12)	kg	153.38	7,623	1,169,194
3.11	Acero laminado A36 (980x740x12)	kg	136.65	7,623	1,041,645
<b>4</b>	<b>Tirantes</b>				
4.1	Perfil UPE 160 Doble en cajón soldado	kg	611.54	7,623	4,661,789
4.2	Perfil UPE 160 simple	kg	2,025.83	7,623	15,442,902
<b>5</b>	<b>Tornillos y pernos de unión</b>				
5.1	Tornillos 5/8" ASTM A325	un	560.00	3,000	1,680,000
5.2	Tornillos 3/4" ASTM A325	un	108.00	4,500	486,000
5.3	Tornillos 7/8" ASTM A325	un	632.00	6,000	3,792,000
5.4	Tornillos 1" ASTM A325	un	132.00	15,000	1,980,000
<b>6</b>	<b>Apoyos</b>				
6.1	Pernos de anclaje ASTM A325, 900 mm de longitud y 22 mm de diámetro.	ml	28.80	150,000	4,320,000
6.1	Placas de anclaje A36 20mm	m1	62.81	7,623	478,785
6.2	Losa de aproximación 7,8x5m	m3	7.80	2,300,000	17,940,000
<b>7</b>	<b>Soldaduras</b>				
7.1	Soldadura continua con proceso GMAW 1.2 y material de aporte E70XX	ml	438.04	15,000	6,570,600
<b>8</b>	<b>Revestimientos</b>				
8.1	Galvanizado en caliente	kg	31,930.83	5,800	185,198,814
<b>9</b>	<b>HH</b>				
9.1	HH taller	h	2,896.00	23,000	66,608,000
9.1	HH campo	h	576.00	29,000	16,704,000
9.2	HH Grúa	h	72.00	700,000	50,400,000
<b>TOTAL IVA INCLUIDO GS</b>					<b>616,140,562</b>
Costos Indirectos de Fabricacion ( 30 % ) :					<b>184,842,169</b>
Contingencia ( 5 % ) :					<b>30,807,028</b>
Utilidad (25 %)					<b>154,035,140</b>
Valor de Venta					<b>985,824,899</b>
					<b>\$ 126,387.81</b>

Tabla 10: Cómputo métrico y presupuesto. Puente modular mixto L = 18 m

## 5.2. Cronograma de obra

CRONOGRAMA DE AVANCE DE OBRA. PUENTE MODULAR MIXTO L=12 M							
DESCRIPCION DE LOS TRABAJOS	UNIDADES	CANTIDADES	DIA 1	DIA2	DIA3	DIA 4	DIA 5
Colocación de apoyos	UN	4					
Ensamblaje de módulos. (Formación de vigas de 12 m)	UN	4					
Izaje y colocación de las vigas	UN	4					
Colocación de bastidores verticales	UN	20					
Colocación de bastidores horizontales	UN	48					
Colocación de los traveseros con grua	UN	9					
Refuerzos en cordones superiores e inferiores	UN	0					
Refuerzos en diagonales	UN	0					
Colocación de barrera de seguridad	UN	2					
Tirantes longitudinales.	UN	8					
Tirantes diagonales	UN	32					
Elaboración del tablero Steel Deck	M2	87.6					
Control de uniones y verificaciones finales	UN	GRAL.					

Tabla 11: Cronograma. Puente modular mixto L = 12 m

CRONOGRAMA DE AVANCE DE OBRA. PUENTE MODULAR MIXTO L=15 M									
DESCRIPCION DE LOS TRABAJOS	UNIDADES	CANTIDADES	DIA 1	DIA2	DIA3	DIA 4	DIA 5	DIA 6	DIA 7
Colocación de apoyos	UN	4							
Ensamblaje de módulos. (Formación de vigas de 15 m)	UN	16							
Izaje y colocación de las vigas	UN	4							
Colocación de bastidores verticales	UN	20							
Colocación de bastidores horizontales	UN	60							
Colocación de los traveseros con grua	UN	11							
Refuerzos en cordones superiores e inferiores	UN	12							
Refuerzos en diagonales	UN	32							
Colocación de barrera de seguridad	UN	2							
Tirantes longitudinales.	UN	10							
Tirantes diagonales	UN	40							
Elaboración del tablero Steel Deck	M2	109.5							
Control de uniones y verificaciones finales	UN	GRAL.							

Tabla 12: Cronograma. Puente modular mixto L = 15 m

CRONOGRAMA DE AVANCE DE OBRA. PUENTE MODULAR MIXTO L=18 M											
DESCRIPCION DE LOS TRABAJOS	UNIDADES	CANTIDADES	DIA 1	DIA2	DIA3	DIA 4	DIA 5	DIA 6	DIA 7	DIA 8	DIA 9
Colocación de apoyos	UN	4									
Ensamblaje de módulos. (Formación de vigas de 18 m)	UN	24									
Izaje y colocación de las vigas	UN	4									
Colocación de bastidores verticales	UN	20									
Colocación de bastidores horizontales	UN	72									
Colocación de los traveseros con grua	UN	13									
Refuerzos en cordones superiores e inferiores	UN	40									
Refuerzos en diagonales	UN	64									
Colocación de barrera de seguridad	UN	2									
Tirantes longitudinales.	UN	12									
Tirantes diagonales	UN	48									
Elaboración del tablero Steel Deck	M2	132									
Control de uniones y verificaciones finales	UN	GRAL.									

Tabla 13: Cronograma. Puente modular mixto L = 18 m

Para efectuar un análisis comparativo, se utiliza el cómputo y presupuesto correspondiente a un puente convencional de hormigón con una longitud de 15 metros, presentado en el Trabajo Final de Grado titulado "Puentes Modulares Prefabricados para Caminos Rurales"[18], elaborado en Paraguay durante el año 2023.

**Tabla 5.2:** Cronograma y presupuesto de un puente convencional.

FUENTE	TECNOEDIL S.A					
PLAZO	7 MESES					
<b>PUENTE SOBRE EL Aº TOBATI (L= 15 m.) Dos carriles - 4,0 m de altura</b>						-
PTE. TOBATI - EXCAVACION ESTRUCTURAL EN PUENTES	M3	250.00	33,351			9,588,413
PTE. TOBATI - PILOTES DE HORMIGON ARMADO PREPERFORADO DE 120 CM	M	60.00	3,991,755			275,431,095
PTE. TOBATI - CABEZAL DE PILOTES Y RIOSTRAS	M3	52.98	2,544,012			154,999,019
PTE. TOBATI - ESTRIBOS	M3	127.86	2,554,012			375,539,370
PTE. TOBATI - TABLERO Y CAPAS DE DESGASTE	M3	34.34	3,107,616			122,722,863
PTE. TOBATI - VIGAS	M3	22.05	3,811,886			96,659,899
PTE. TOBATI - APOYO DE NEOPRENO	UN	8.00	2,069,187			19,036,520
PTE. TOBATI - VEREDAS Y BARANDAS DE HORMIGON ARMADO	M	30.00	852,421			29,408,525
PTE. TOBATI - PROTECCION DE TALUDES	M3	150.00	594,206			102,500,535
PTE. TOBATI - GASTOS VARIOS	GL	1.00	-			-
PTE. TOBATI - VIGAS PRETENSADAS BN100 de 15 m - CM 02	M	60.00	3,866,590			266,794,710
PTE. TOBATI - PILOTES DE HORMIGON ARMADO PREPERFORADO DE 100 CM CM 02	M	96.00	3,991,755			440,689,752
<b>TOTAL</b>						<b>1,893,370,702</b>

PLAZO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO
<b>PUENTE SOBRE EL Aº TOBATI (L= 15 m.) Dos carriles - 4,0 m de altura</b>							
PTE. TOBATI - EXCAVACION ESTRUCTURAL EN PUENTES							
PTE. TOBATI - PILOTES DE HORMIGON ARMADO PREPERFORADO DE 120 CM							
PTE. TOBATI - CABEZAL DE PILOTES Y RIOSTRAS							
PTE. TOBATI - ESTRIBOS							
PTE. TOBATI - TABLERO Y CAPAS DE DESGASTE							
PTE. TOBATI - VIGAS							
PTE. TOBATI - APOYO DE NEOPRENO							
PTE. TOBATI - VEREDAS Y BARANDAS DE HORMIGON ARMADO							
PTE. TOBATI - PROTECCION DE TALUDES							
PTE. TOBATI - GASTOS VARIOS							
PTE. TOBATI - VIGAS PRETENSADAS BN100 de 15 m - CM 02							
PTE. TOBATI - PILOTES DE HORMIGON ARMADO PREPERFORADO							

Figura 28: Cómputo y Presupuesto.  
 Puente modular de hormigón.  
 Reproducido de[18]

Por lo tanto, para realizar la comparativa se excluyen los costos relacionados con la infraestructura que no se consideran en este proyecto. Tras ajustar los valores con un incremento del 3% correspondiente a la inflación y atribuyéndole una ganancia del 25%, se identifica una diferencia de 44.785.626 Gs a favor del puente convencional de hormigón. Sin embargo, se destaca una diferencia de, como mínimo, dos meses a favor del puente modular mixto en el montaje de la superestructura, lo que representa una ventaja significativa en términos de optimización de tiempo de construcción.

Es importante señalar que un factor clave a considerar es el transporte de los elementos prefabricados desde la fábrica hasta el lugar de montaje, ya que este rubro no fue incluido en el análisis.

## 6. Conclusiones y Recomendaciones

### 6.1. Conclusiones

- El puente modular diseñado ofrece varias ventajas tales como la facilidad y reducción en el tiempo de ejecución de la obra como consecuencia de la disminución de los elementos y tiempo de ensamblaje lo que repercute en la disminución de horas hombre, también permite adaptarse a diferentes longitudes de vano mediante la adición o reducción de módulos.
- Además, otra ventaja del diseño propuesto es que cada pieza se fabrica en taller, consiguiendo así una mayor eficiencia y calidad de los elementos. Cada una de las piezas pasará por un proceso de galvanizado en caliente de modo a lograr la máxima duración de las piezas a los agentes agresivos del ambiente, tales como lluvias, polvos y otros factores propios de nuestro medio.
- La implementación de la doble vía junto con el sistema de steel deck como tablero proporciona una superficie de rodamiento resistente y ligera, además garantiza un flujo constante de camiones sin necesidad de espera, lo cual beneficia a los ciudadanos.
- El análisis comparativo muestra que el diseño mixto ofrece ventajas de tiempo, por lo que se destaca su superioridad en términos de eficiencia constructiva.

Sin embargo, es fundamental considerar costos adicionales, como el transporte de los elementos prefabricados desde la fábrica hasta el sitio de montaje, que no fueron contemplados en el presente análisis. Incluir este rubro en futuros estudios permitirá obtener una evaluación más completa y precisa sobre la viabilidad de cada alternativa.

- Los perfiles utilizados para la realización del proyecto se pueden encontrar en casas comerciales tales como Hierro Matt, Hierro Plus, MV Aceros, L'acierie y Aciron.

## 6.2. Recomendaciones

Al concluir este proyecto, se llegaron a las siguientes recomendaciones:

- Realizar un análisis comparativo entre la aplicación de la pintura epóxica y el galvanizado en caliente, observando cuales ofrecen mayor ventaja en términos de costo y mantenimiento.
- Implementar una alternativa en los elementos utilizados para los traveseros de modo a disminuir los costos y el peso muerto de la estructura.
- Diseñar estructuras guía para facilitar la unión y soldadura de los paneles en taller, asegurando una mayor precisión dimensional y reduciendo errores en la instalación en sitio.
- Se recomienda implementar un software especializado en el cálculo y diseño de uniones estructurales, que permita un dimensionamiento más preciso y optimizado, garantizando tanto la resistencia como la rigidez necesarias para cumplir con los requisitos de seguridad y desempeño del proyecto.
- Realizar un análisis detallado del aporte estructural del steel deck mediante el uso de software especializado en modelado y cálculo estructural. Este análisis permitirá evaluar con mayor precisión la interacción entre el steel deck y el puente, optimizando el diseño para maximizar su eficiencia en términos de rigidez, resistencia y comportamiento global de la estructura. Esto contribuirá a identificar posibles mejoras en la distribución de cargas y a garantizar un desempeño estructural más seguro y eficiente.

## Referencias

- [1] Cavialpa, “Paraguay cuenta con más de 78.000 km de caminos,” 13 de octubre de 2023. Cavialpa. [En línea]. Disponible en: <https://cavialpa.org.py/noticia/paraguay-cuenta-con-mas-de-78-000-km-de-caminos/>.
- [2] Cálculo de Uniones con Bulones. Ingemecánica. [En línea]. Disponible en: <https://mvaceros.com.py/steel-deck-p20> [Accedido: 27-octubre-2024].
- [3] Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC), “puentes del paraguay,” Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones. [En línea]. Disponible en: <https://puentes.mopc.gov.py/> [Accedido: 15-abril-2024].
- [4] AASHTO, *Especificaciones AASHTO para el diseño de puentes por el método LRFD*. Washington, DC, EE.UU.: American Association of Highway and Transportation Officials, 2004, traducción al español.
- [5] Consorcio Jahasapá, “Puentes Modulares Metálicos, Sello Nacional 51,” <https://youtu.be/S2I-mUDy5M?si=P4KLTvBFaiPSVC0T>, [Accedido: 12-oct-2024].
- [6] A. B. de Normas Técnicas, *NBR 8800: Projeto e execução de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios*. ABNT, Rio de Janeiro, Brasil, 2008.
- [7] M. de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC), *Manual de Carreteras del Paraguay: Diseño de drenaje de carreteras. Volumen 4.1 - Guía de drenaje vial y alcantarillas*, Paraguay, 2019, revisión 2019.
- [8] —, “Mapa red vial del paraguay. corte de inventario a diciembre de 2023,” 2023, informe técnico, Dirección de Planificación Vial, Paraguay.
- [9] ESMETAL SAC, *Manual de Puentes Modulares*, 2018, lima, Perú.

- [10] Fabricio Adalberto Carrillo Chopin and Helman Alcides López Peña, “Aplicaciones de puentes metálicos modulares en El Salvador,” 2006, universidad de El Salvador, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela de Ingeniería Civil, San Salvador, El Salvador.
- [11] Mabey & Johnson Ltd, *Manual Técnico Sistema de Puentes de Paneles Mabey & Johnson Compact 200*, [www.mabey.co.uk](http://www.mabey.co.uk), 2024, revisión A, Publicación 98C2S, Accedido: 12-oct-2024.
- [12] Mabey Bridge, “Mabey Compact 200,” <https://www.mabeybridge.com/es/encontrar-un-producto/puentes/mabey-compact-200>, 2024.
- [13] Mabey Bridge Limited, *Manual de Fabricación y Montaje del Puente Mabey Compact 200: Detalles sobre el Diseño, Fabricación e Instalación de un Puente Modular*, 2023, ministerio de Transportes y Comunicaciones, Lima, Perú, Proyecto Especial de Infraestructura Nacional de Transporte. [Online]. Available: [www.mabeybridge.co.uk](http://www.mabeybridge.co.uk)
- [14] materialmundial.com. (2024) Astm a36 acero propiedades & ficha tecnica: Fy, dureza, densidad. [Online]. Available: <https://www.materialmundial.com/ASTM-A36-Steel-Properties&Sheet-Data:Fy,Hardness,Density>
- [15] *Manual de Carreteras del Paraguay, Unidad 8: Planos Tipo*, Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, 2024, disponible en formato PDF.
- [16] Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC), *Manual de Carreteras del Paraguay*, Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, Paraguay, 2018, 8.6.6 Puentes de Modulares: 18m, pág. 249.
- [17] H. J. H. Venegas, “Diseño de puente temporal para casos de emergencia,” Proyecto Final de Graduación, Escuela de Ingeniería en Construcción, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica, Noviembre 2018.

- [18] H. Viñales y C. Ojeda, “Puentes modulares prefabricados para caminos rurales,” Trabajo Final de Grado, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Asunción, Paraguay, 2023.
- [19] O. T. B. F. y Antonio Carlos Viana Silva, *Manual de Ligações para Estruturas de Aço: Guia Prático para Estruturas com Perfis Laminados.*, 2014.



# Diseño estructural de puentes modulares mixtos de doble vía para caminos rurales del Paraguay

Departamento: Itapúa			Departamento: Caazapa			Departamento: Ñeembucú		
Clasificación (m)	Total	% Total	Clasificación (m)	Total	% Total	Clasificación (m)	Total	% Total
0 - 5	0	0%	0 - 5	0	0%	0 - 5	2	11%
6 - 10	3	27%	6 - 10	14	27%	6 - 10	7	39%
11 - 15	3	27%	11 - 15	11	22%	11 - 15	6	33%
16 - 20	2	18%	16 - 20	6	12%	16 - 20	0	0%
21 - 25	1	9%	21 - 25	6	12%	21 - 25	1	6%
26 - 30	1	9%	26 - 30	3	6%	26 - 30	0	0%
31 - 35	0	0%	31 - 35	0	0%	31 - 35	0	0%
36 - 40	0	0%	36 - 40	0	0%	36 - 40	0	0%
41 - 45	1	9%	41 - 45	6	12%	41 - 45	1	6%
46 - 50	0	0%	46 - 50	0	0%	46 - 50	1	6%
>50	0	0%	>50	5	10%	>50	0	0%
N° total en caminos rurales en el departamento	11		N° total en caminos rurales en el departamento	51		N° total en caminos rurales en el departamento	18	
N° total de puentes en el departamento	66		N° total de puentes en el departamento	72		N° total de puentes en el departamento	54	
N° de puentes de madera	1		N° de puentes de madera	36		N° de puentes de madera	18	

Departamento: Caaguazú			Departamento: San Pedro			Departamento: Guairá		
Clasificación (m)	Total	% Total	Clasificación (m)	Total	% Total	Clasificación (m)	Total	% Total
0 - 5	4	6%	0 - 5	12	21%	0 - 5	5	14%
6 - 10	26	40%	6 - 10	22	38%	6 - 10	15	43%
11 - 15	17	26%	11 - 15	10	17%	11 - 15	1	3%
16 - 20	13	20%	16 - 20	7	12%	16 - 20	1	3%
21 - 25	1	2%	21 - 25	1	2%	21 - 25	2	6%
26 - 30	1	2%	26 - 30	3	5%	26 - 30	4	11%
31 - 35	0	0%	31 - 35	0	0%	31 - 35	1	3%
36 - 40	1	2%	36 - 40	0	0%	36 - 40	0	0%
41 - 45	1	2%	41 - 45	1	2%	41 - 45	2	6%
46 - 50	0	0%	46 - 50	1	2%	46 - 50	0	0%
>50	1	2%	>50	1	2%	>50	4	11%
N° total en caminos rurales en el departamento	65		N° total en caminos rurales en el departamento	58		N° total en caminos rurales en el departamento	35	
N° total de puentes en el departamento	84		N° total de puentes en el departamento	106		N° total de puentes en el departamento	89	
N° de puentes de madera	28		N° de puentes de madera	31		N° de puentes de madera	6	

Departamento: Paraguari			Departamento: Asunción			RESUMEN DE % DE PUENTES EN EL PARAGUAY		
Clasificación (m)	Total	% Total	Clasificación (m)	Total	% Total	Clasificación (m)	Total	% Total
0 - 5	0	0%	0 - 5	0	0%	0 - 5	31	8%
6 - 10	10	34%	6 - 10	10	34%	6 - 10	128	32%
11 - 15	8	28%	11 - 15	8	28%	11 - 15	87	21%
16 - 20	4	14%	16 - 20	4	14%	16 - 20	52	13%
21 - 25	1	3%	21 - 25	1	3%	21 - 25	27	7%
26 - 30	3	10%	26 - 30	3	10%	26 - 30	30	7%
31 - 35	0	0%	31 - 35	0	0%	31 - 35	3	1%
36 - 40	0	0%	36 - 40	0	0%	36 - 40	2	0%
41 - 45	3	10%	41 - 45	3	10%	41 - 45	25	6%
46 - 50	0	0%	46 - 50	0	0%	46 - 50	5	1%
>50	0	0%	>50	0	0%	>50	16	4%
N° total en caminos rurales en el departamento	29		N° total en caminos rurales en el departamento	29		N° total en caminos rurales en el departamento	406	100%
N° total de puentes en el departamento	146		N° total de puentes en el departamento	146				
N° de puentes de madera	7		N° de puentes de madera	7				

N° total de puentes de madera	180
-------------------------------	-----

## B. Listado. Puente L= 12 m



PuenteL=12m.Tesis

### Listados

Fecha: 24/11/24

#### 1.- DATOS DE OBRA

##### 1.1.- Normas consideradas

Aceros laminados y armados: ANSI/AISC 360-10 (LRFD)

Hormigón: EHE-08

**Categoría de uso:** E. Zonas de tráfico y aparcamiento para vehículos ligeros

##### 1.2.- Estados límite

E.L.U. de rotura. Hormigón	CTE Cota de nieve: Altitud inferior o igual a 1000 m
E.L.U. de rotura. Acero laminado	AISC 360-10 (LRFD) ASCE 7
Desplazamientos	Acciones características

##### 1.2.1.- Situaciones de proyecto

Para las distintas situaciones de proyecto, las combinaciones de acciones se definirán de acuerdo con los siguientes criterios:

###### - Con coeficientes de combinación

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_P P_k + \gamma_{Q1} \Psi_{p1} Q_{k1} + \sum_{i \geq 2} \gamma_{Qi} \Psi_{ai} Q_{ki}$$

###### - Sin coeficientes de combinación

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_P P_k + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Qi} Q_{ki}$$

- Donde:

$G_k$  Acción permanente

$P_k$  Acción de pretensado

$Q_k$  Acción variable

$\gamma_s$  Coeficiente parcial de seguridad de las acciones permanentes

$\gamma_P$  Coeficiente parcial de seguridad de la acción de pretensado

$\gamma_{Q,1}$  Coeficiente parcial de seguridad de la acción variable principal

$\gamma_{Q,i}$  Coeficiente parcial de seguridad de las acciones variables de acompañamiento

$\Psi_{p,1}$  Coeficiente de combinación de la acción variable principal

$\Psi_{a,i}$  Coeficiente de combinación de las acciones variables de acompañamiento



## Listados

Para cada situación de proyecto y estado límite los coeficientes a utilizar serán:

### E.L.U. de rotura. Hormigón: EHE-08

	<b>Persistente o transitoria</b>			
	Coeficientes parciales de seguridad ( $\gamma$ )		Coeficientes de combinación ( $\psi$ )	
	Favorable	Desfavorable	Principal ( $\psi_1$ )	Acompañamiento ( $\psi_2$ )
Carga permanente (G)	1.000	1.350	-	-
Sobrecarga (Q)	0.000	1.500	1.000	0.700

### E.L.U. de rotura. Acero laminado: ANSI/AISC 360-10 (LRFD)

	<b>2.3.2 - [1] (ASCE/SEI 7-10)</b>	
	Coeficientes parciales de seguridad ( $\gamma$ )	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G)	1.400	1.400
Sobrecarga (Q)		

	<b>2.3.2 - [2 Lr] (ASCE/SEI 7-10)</b>	
	Coeficientes parciales de seguridad ( $\gamma$ )	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G)	1.200	1.200
Sobrecarga (Q)	0.000	1.600

	<b>2.3.2 - [2 S] (ASCE/SEI 7-10)</b>	
	Coeficientes parciales de seguridad ( $\gamma$ )	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G)	1.200	1.200
Sobrecarga (Q)	0.000	1.600

	<b>2.3.2 - [3 Lr, L] (ASCE/SEI 7-10)</b>	
	Coeficientes parciales de seguridad ( $\gamma$ )	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G)	1.200	1.200
Sobrecarga (Q)	0.000	1.000

	<b>2.3.2 - [3 S, L] (ASCE/SEI 7-10)</b>	
	Coeficientes parciales de seguridad ( $\gamma$ )	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G)	1.200	1.200
Sobrecarga (Q)	0.000	1.000



## Listados

<b>2.3.2 - [3 Lr, W] (ASCE/SEI 7-10)</b>		
	Coeficientes parciales de seguridad ( $\gamma$ )	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G)	1.200	1.200
Sobrecarga (Q)		

<b>2.3.2 - [3 S, W] (ASCE/SEI 7-10)</b>		
	Coeficientes parciales de seguridad ( $\gamma$ )	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G)	1.200	1.200
Sobrecarga (Q)		

<b>2.3.2 - [4 Lr] (ASCE/SEI 7-10)</b>		
	Coeficientes parciales de seguridad ( $\gamma$ )	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G)	1.200	1.200
Sobrecarga (Q)	0.000	1.000

<b>2.3.2 - [4 S] (ASCE/SEI 7-10)</b>		
	Coeficientes parciales de seguridad ( $\gamma$ )	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G)	1.200	1.200
Sobrecarga (Q)	0.000	1.000

<b>2.3.2 - [6] (ASCE/SEI 7-10)</b>		
	Coeficientes parciales de seguridad ( $\gamma$ )	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G)	0.900	0.900
Sobrecarga (Q)		

### Desplazamientos

	<b>Característica</b>			
	Coeficientes parciales de seguridad ( $\gamma$ )		Coeficientes de combinación ( $\psi$ )	
	Favorable	Desfavorable	Principal ( $\psi_1$ )	Acompañamiento ( $\psi_2$ )
Carga permanente (G)	1.000	1.000	-	-
Sobrecarga (Q)	0.000	1.000	1.000	1.000



## Listados

### 1.2.2.- Combinaciones

#### • Nombres de las hipótesis

PP                      Peso propio  
Tablero                Tablero  
Carga de diseño      Carga de diseño  
Tandem                Tandem

#### • E.L.U. de rotura. Hormigón

Comb.	PP	Tablero	Carga de diseño	Tandem
1	1.000	1.000		
2	1.350	1.000		
3	1.000	1.350		
4	1.350	1.350		
5	1.000	1.000	1.500	
6	1.350	1.000	1.500	
7	1.000	1.350	1.500	
8	1.350	1.350	1.500	
9	1.000	1.000		1.500
10	1.350	1.000		1.500
11	1.000	1.350		1.500
12	1.350	1.350		1.500
13	1.000	1.000	1.500	1.500
14	1.350	1.000	1.500	1.500
15	1.000	1.350	1.500	1.500
16	1.350	1.350	1.500	1.500

#### • E.L.U. de rotura. Acero laminado

Comb.	PP	Tablero	Carga de diseño	Tandem
1	1.400	1.400		
2	1.200	1.200		
3	1.200	1.200	1.600	
4	1.200	1.200		1.600
5	1.200	1.200	1.600	1.600
6	1.200	1.200	1.000	1.000
7	0.900	0.900		



## Listados

### • Desplazamientos

Comb.	PP	Tablero	Carga de diseño	Tandem
1	1.000	1.000		
2	1.000	1.000	1.000	
3	1.000	1.000		1.000
4	1.000	1.000	1.000	1.000

## 2.- ESTRUCTURA

### 2.1.- Geometría

#### 2.1.1.- Barras

##### 2.1.1.1.- Materiales utilizados

Materiales utilizados							
Material		E	$\nu$	G	$f_y$	$\alpha_t$	$\gamma$
Tipo	Designación	(MPa)		(MPa)	(MPa)	(m/m°C)	(kN/m <sup>3</sup> )
Acero laminado	A36	200000.00	0.300	80000.00	250.00	0.000012	77.01

Notación:  
*E*: Módulo de elasticidad  
 $\nu$ : Módulo de poisson  
*G*: Módulo de elasticidad transversal  
*f<sub>y</sub>*: Límite elástico  
 $\alpha_t$ : Coeficiente de dilatación  
 $\gamma$ : Peso específico

##### 2.1.1.2.- Resumen de cómputo

Resumen de cómputo													
Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso			
Tipo	Designación			Perfil (m)	Serie (m)	Material (m)	Perfil (m <sup>3</sup> )	Serie (m <sup>3</sup> )	Material (m <sup>3</sup> )	Perfil (kg)	Serie (kg)	Material (kg)	
Acero laminado	A36	UPE	UPE 180, Doble en I unión genérica	96.000			0.482			3783.07			
			UPE 100	365.015			0.456			3581.71			
			UPE 100, Doble en cajón soldado	11.950			0.030			234.52			
			UPE 120, Doble en I unión genérica	20.000			0.062			483.56			
		IPMA	UP500		17.400	492.965		0.167	1.030		1307.66	8082.86	
						17.400		0.167				1307.66	
		IPE	IPE 330		0.800		0.800	0.005	0.005		39.31	39.31	
					19.448			0.008			61.07		
		Cantoneira	IP500	L 1.3/4 x 3/16"	11.952			0.005			42.97		
				L 2 x 3/16"		31.401			0.013	0.013		104.04	
		IPER	IP500		60.900		60.900	0.689	0.689		5408.83	5408.83	
							603.466			1.904			14942.70

##### 2.1.1.3.- Cómputo de superficies



## Listados

Acero laminado: Cómputo de las superficies a pintar				
Serie	Perfil	Superficie unitaria (m <sup>2</sup> /m)	Longitud (m)	Superficie (m <sup>2</sup> )
UPE	UPE 180, Doble en I unión genérica	1.298	96.000	124.608
	UPE 100	0.411	365.015	150.021
	UPE 100, Doble en cajón soldado	0.420	11.950	5.019
	UPE 120, Doble en I unión genérica	0.940	20.000	18.800
IPMA	UP500	1.580	17.400	27.485
IPE	IPE 330	1.285	0.800	1.028
Cantoneira	L 1.3/4 x 3/16"	0.178	19.448	3.458
	L 2 x 3/16"	0.203	11.952	2.429
IPER	IP500	1.779	60.900	108.341
<b>Total</b>				<b>441.189</b>

### 2.1.2.- Láminas

#### 2.1.2.1.- Materiales utilizados

Materiales utilizados							
Material		E (MPa)	$\nu$	G (MPa)	$f_y$ (MPa)	$\alpha_c$ (m/m°C)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
Tipo	Designación						
Acero laminado	A36	200000.00	0.300	80000.00	250.00	0.000012	77.01
Hormigón	HA-25, Yc=1.5	27264.00	0.200	11360.00	-	0.000010	24.53

Notación:  
 E: Módulo de elasticidad  
 $\nu$ : Módulo de poisson  
 G: Módulo de elasticidad transversal  
 $f_y$ : Límite elástico  
 $\alpha_c$ : Coeficiente de dilatación  
 $\gamma$ : Peso específico

#### 2.1.2.2.- Cómputo de superficies

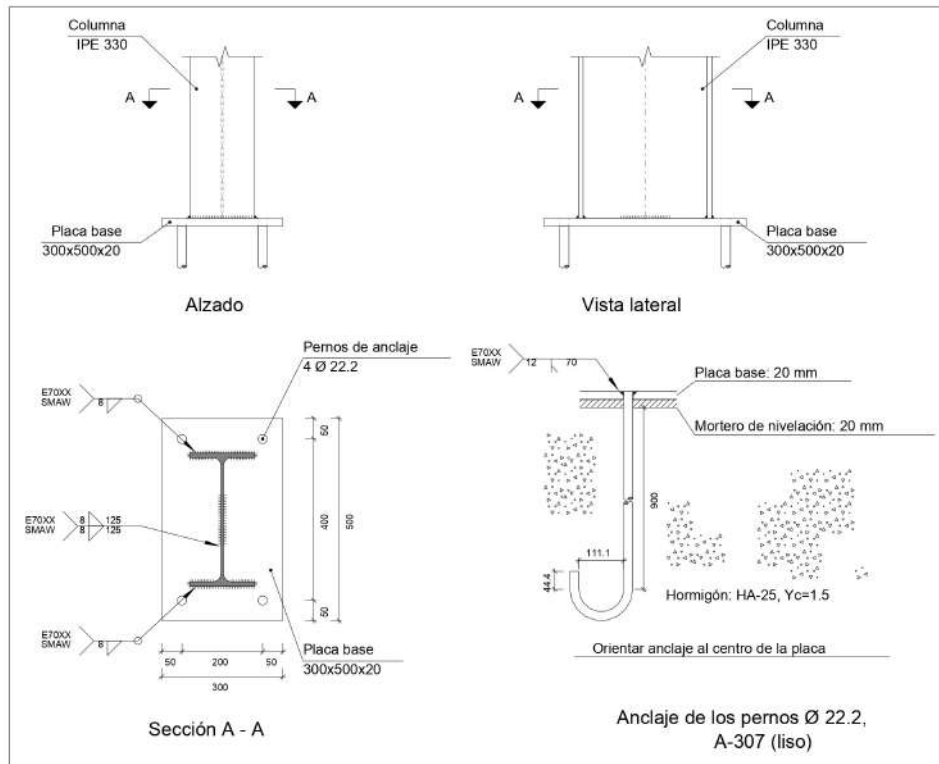
Acero laminado: Cómputo de las superficies a pintar	
Designación	Superficie (m <sup>2</sup> )
A36	4.472
<b>Total</b>	<b>4.472</b>

Hormigón: Cómputo de las superficies de encofrado	
Designación	Superficie (m <sup>2</sup> )
HA-25, Yc=1.5	181.015
<b>Total</b>	<b>181.015</b>

**N1151, N1152, N1153, N1154**

Fecha:01/12/24

a) Detalle



b) Descripción de los componentes de la unión

Elementos complementarios											
Pieza	Geometría				Cantidad	Agujeros			Acero		
	Esquema	Ancho (mm)	Peralte (mm)	Espesor (mm)		Diámetro exterior (mm)	Diámetro interior (mm)	Bisel (mm)	Tipo	F <sub>y</sub> (MPa)	F <sub>u</sub> (MPa)
Placa base		300	500	20	4	46.2	24.2	12	A36	250.0	400.0

**N1151, N1152, N1153, N1154**

Fecha:01/12/24

c) Comprobación

1) Columna IPE 330

Soldaduras (ANSI/AISC 360-10, CHAPTER J)

Comprobaciones geométricas								
Descripción	Tipo	P.S.	t (mm)	Longitud efectiva		Lado		
				$l_{min}$ (mm)	l (mm)	$W_{min}$ (mm)	$W_{max}$ (mm)	W (mm)
Soldadura del ala superior	En ángulo	SMAW	12	40	160	5	12	8
Soldadura del alma	En ángulo	SMAW	8	40	125	5	8	8
Soldadura del ala inferior	En ángulo	SMAW	12	40	160	5	12	8

*P.S.: Proceso de soldeo.  
t: Espesor de la chapa más delgada.  
l: Longitud efectiva del cordón de soldadura.  
w: Espesor del lado del cordón de soldadura.*

Comprobación de resistencia													
Descripción	Lado (mm)	t (mm)	l (mm)	Electrodo		Cortante (Metal Soldadura)			Tensiones (Metal Base)			Factor Resistencia	
				$F_u$ (MPa)	$F_y$ (MPa)	Caso pesimo (MPa)	Resistente (MPa)	Aprov. (%)	Caso pesimo (MPa)	Resistente (MPa)	Aprov. (%)	$\phi$ Material base	$\phi$ Soldadura
Soldadura del ala superior	8	12	160	E70XX (485.0)	250.0	103.0	218.3	47.18	72.8	135.0	53.93	0.90	0.75
Soldadura del alma	8	8	125	E70XX (485.0)	250.0	109.0	218.3	49.93	77.1	135.0	57.08	0.90	0.75
Soldadura del ala inferior	8	12	160	E70XX (485.0)	250.0	103.0	218.3	47.18	72.8	135.0	53.93	0.90	0.75

**N1151, N1152, N1153, N1154**

Fecha:01/12/24

2) Placa de anclaje

Referencia:		
Comprobación	Valores	Estado
Separación mínima entre pernos: <i>1.5 diámetros</i>	Mínimo: 33 mm Calculado: 200 mm	Cumple
Separación mínima pernos-borde: <i>2 diámetros</i>	Mínimo: 44 mm Calculado: 50 mm	Cumple
Longitud mínima del perno: <i>Se calcula la longitud de anclaje necesaria por adherencia.</i>	Mínimo: 32 cm Calculado: 90 cm	Cumple
Anclaje perno en hormigón:		
- Tracción:	Máximo: 98.49 kN Calculado: 0 kN	Cumple
- Cortante:	Máximo: 68.94 kN Calculado: 53.42 kN	Cumple
- Tracción + Cortante:	Máximo: 98.49 kN Calculado: 76.31 kN	Cumple
Tracción en vástago de pernos:	Máximo: 106.51 kN Calculado: 0 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en vástago de pernos:	Máximo: 274.5 MPa Calculado: 244.012 MPa	Cumple
Aplastamiento perno en placa: <i>Limite del cortante en un perno actuando contra la placa</i>	Máximo: 249.98 kN Calculado: 49.2 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en secciones globales:	Máximo: 250 MPa	
- Derecha:	Calculado: 105.685 MPa	Cumple
- Izquierda:	Calculado: 105.685 MPa	Cumple
- Arriba:	Calculado: 158.098 MPa	Cumple
- Abajo:	Calculado: 158.098 MPa	Cumple
Flecha global equivalente: <i>Limitación de la deformabilidad de los vuelos</i>	Mínimo: 250	
- Derecha:	Calculado: 1302.07	Cumple
- Izquierda:	Calculado: 1302.07	Cumple
- Arriba:	Calculado: 957.448	Cumple
- Abajo:	Calculado: 957.448	Cumple
Tensión de Von Mises local: <i>Tensión por tracción de pernos sobre placas en voladizo</i>	Máximo: 250 MPa Calculado: 0 MPa	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

**N1151, N1152, N1153, N1154**

Fecha:01/12/24

Soldaduras (ANSI/AISC 360-10, CHAPTER J)

Comprobaciones geométricas									
Descripción	Tipo	P.S.	t (mm)	Longitud efectiva		Profundidad del surco (mm)	Garganta efectiva		
				$l_{min}$ (mm)	l (mm)		$\psi$ (grados)	$t_{w,min}$ (mm)	$t_w$ (mm)
Soldadura de los pernos a la placa base	De penetración parcial	SMAW	20	48	70	12	90.00	8	9

*P.S.:* Proceso de soldeo.  
*t:* Espesor de la chapa más delgada.  
*l:* Longitud efectiva del cordón de soldadura.  
 $\psi$ : Ángulo en uniones en T sesgadas (AWS D1.1/D1.1M, 2.3.3.7)  
 $t_{w,min}$ : Garganta efectiva mínima de una soldadura de tope con junta de penetración parcial.  
 $t_w$ : Garganta efectiva de la soldadura.

Comprobación de resistencia															
Descripción	Lado (mm)	t (mm)	l (mm)	Electrodo		Metal Base		Cortante (Metal Soldadura)			Tensiones (Metal Base)			Factor Resistencia	
				$F_u$ (MPa)	$F_y$ (MPa)	$F_u$ (MPa)	$F_y$ (MPa)	Caso pesimo (MPa)	Resistente (MPa)	Aprov. (%)	Caso pesimo (MPa)	Resistente (MPa)	Aprov. (%)	$\phi$ Material base	$\phi$ Soldadura
Soldadura de los pernos a la placa base	12	20	70	E70XX (485.0)	250.0	0.0	218.3	0.00	0.0	164.7	0.00	0.90	0.75		

d) Cómputo

Soldaduras				
Clase de resistencia	Ejecución	Tipo	Lado (mm)	Longitud de cordones (mm)
E70XX	En taller	De filete	8	849
		A tope en bisel simple con talón de raíz amplio	12	279

Placas de anclaje				
Material	Elementos	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
A36	Placa base	1	300x500x20	23.55
				Total
A-307 (liso)	Pernos de anclaje	4	$\emptyset$ 22.2 - L = 962 + 254	14.81
				Total

## C. Listado. Puente L= 15 m



PuenteL=15m,Tesis

### Listados

Fecha: 24/11/24

#### 1.- DATOS DE OBRA

##### 1.1.- Normas consideradas

Aceros laminados y armados: ANSI/AISC 360-10 (LRFD)

Hormigón: EHE-08

**Categoría de uso:** E. Zonas de tráfico y aparcamiento para vehículos ligeros

##### 1.2.- Estados límite

E.L.U. de rotura. Hormigón	CTE Cota de nieve: Altitud inferior o igual a 1000 m
E.L.U. de rotura. Acero laminado	AISC 360-10 (LRFD) ASCE 7
Desplazamientos	Acciones características

##### 1.2.1.- Situaciones de proyecto

Para las distintas situaciones de proyecto, las combinaciones de acciones se definirán de acuerdo con los siguientes criterios:

###### - Con coeficientes de combinación

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_P P_k + \gamma_{Q1} \Psi_{p1} Q_{k1} + \sum_{i \geq 2} \gamma_{Qi} \Psi_{ai} Q_{ki}$$

###### - Sin coeficientes de combinación

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_P P_k + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Qi} Q_{ki}$$

- Donde:

$G_k$  Acción permanente

$P_k$  Acción de pretensado

$Q_k$  Acción variable

$\gamma_G$  Coeficiente parcial de seguridad de las acciones permanentes

$\gamma_P$  Coeficiente parcial de seguridad de la acción de pretensado

$\gamma_{Q1}$  Coeficiente parcial de seguridad de la acción variable principal

$\gamma_{Qi}$  Coeficiente parcial de seguridad de las acciones variables de acompañamiento

$\Psi_{p1}$  Coeficiente de combinación de la acción variable principal

$\Psi_{ai}$  Coeficiente de combinación de las acciones variables de acompañamiento



## Listados

Para cada situación de proyecto y estado límite los coeficientes a utilizar serán:

### E.L.U. de rotura. Hormigón: EHE-08

	<b>Persistente o transitoria</b>			
	Coeficientes parciales de seguridad ( $\gamma$ )		Coeficientes de combinación ( $\psi$ )	
	Favorable	Desfavorable	Principal ( $\psi_1$ )	Acompañamiento ( $\psi_2$ )
Carga permanente (G)	1.000	1.350	-	-
Sobrecarga (Q)	0.000	1.500	1.000	0.700

### E.L.U. de rotura. Acero laminado: ANSI/AISC 360-10 (LRFD)

	<b>2.3.2 - [1] (ASCE/SEI 7-10)</b>	
	Coeficientes parciales de seguridad ( $\gamma$ )	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G)	1.400	1.400
Sobrecarga (Q)		

	<b>2.3.2 - [2 Lr] (ASCE/SEI 7-10)</b>	
	Coeficientes parciales de seguridad ( $\gamma$ )	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G)	1.200	1.200
Sobrecarga (Q)	0.000	1.600

	<b>2.3.2 - [2 S] (ASCE/SEI 7-10)</b>	
	Coeficientes parciales de seguridad ( $\gamma$ )	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G)	1.200	1.200
Sobrecarga (Q)	0.000	1.600

	<b>2.3.2 - [3 Lr, L] (ASCE/SEI 7-10)</b>	
	Coeficientes parciales de seguridad ( $\gamma$ )	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G)	1.200	1.200
Sobrecarga (Q)	0.000	1.000

	<b>2.3.2 - [3 S, L] (ASCE/SEI 7-10)</b>	
	Coeficientes parciales de seguridad ( $\gamma$ )	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G)	1.200	1.200
Sobrecarga (Q)	0.000	1.000



## Listados

<b>2.3.2 - [3 Lr, W] (ASCE/SEI 7-10)</b>		
	Coeficientes parciales de seguridad ( $\gamma$ )	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G)	1.200	1.200
Sobrecarga (Q)		

<b>2.3.2 - [3 S, W] (ASCE/SEI 7-10)</b>		
	Coeficientes parciales de seguridad ( $\gamma$ )	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G)	1.200	1.200
Sobrecarga (Q)		

<b>2.3.2 - [4 Lr] (ASCE/SEI 7-10)</b>		
	Coeficientes parciales de seguridad ( $\gamma$ )	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G)	1.200	1.200
Sobrecarga (Q)	0.000	1.000

<b>2.3.2 - [4 S] (ASCE/SEI 7-10)</b>		
	Coeficientes parciales de seguridad ( $\gamma$ )	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G)	1.200	1.200
Sobrecarga (Q)	0.000	1.000

<b>2.3.2 - [6] (ASCE/SEI 7-10)</b>		
	Coeficientes parciales de seguridad ( $\gamma$ )	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G)	0.900	0.900
Sobrecarga (Q)		

### Desplazamientos

	<b>Característica</b>			
	Coeficientes parciales de seguridad ( $\gamma$ )		Coeficientes de combinación ( $\psi$ )	
	Favorable	Desfavorable	Principal ( $\psi_1$ )	Acompañamiento ( $\psi_2$ )
Carga permanente (G)	1.000	1.000	-	-
Sobrecarga (Q)	0.000	1.000	1.000	1.000



## Listados

### 1.2.2.- Combinaciones

#### • Nombres de las hipótesis

PP	Peso propio
Tablero	Tablero
Carga de diseño	Carga de diseño
Tandem	Tandem

#### • E.L.U. de rotura. Hormigón

Comb.	PP	Tablero	Carga de diseño	Tandem
1	1.000	1.000		
2	1.350	1.000		
3	1.000	1.350		
4	1.350	1.350		
5	1.000	1.000	1.500	
6	1.350	1.000	1.500	
7	1.000	1.350	1.500	
8	1.350	1.350	1.500	
9	1.000	1.000		1.500
10	1.350	1.000		1.500
11	1.000	1.350		1.500
12	1.350	1.350		1.500
13	1.000	1.000	1.500	1.500
14	1.350	1.000	1.500	1.500
15	1.000	1.350	1.500	1.500
16	1.350	1.350	1.500	1.500

#### • E.L.U. de rotura. Acero laminado

Comb.	PP	Tablero	Carga de diseño	Tandem
1	1.400	1.400		
2	1.200	1.200		
3	1.200	1.200	1.600	
4	1.200	1.200		1.600
5	1.200	1.200	1.600	1.600
6	1.200	1.200	1.000	1.000
7	0.900	0.900		



## Listados

### • Desplazamientos

Comb.	PP	Tablero	Carga de diseño	Tandem
1	1.000	1.000		
2	1.000	1.000	1.000	
3	1.000	1.000		1.000
4	1.000	1.000	1.000	1.000

## 2.- ESTRUCTURA

### 2.1.- Geometría

#### 2.1.1.- Barras

##### 2.1.1.1.- Materiales utilizados

Materiales utilizados							
Material		E	$\nu$	G	$f_y$	$\alpha_t$	$\gamma$
Tipo	Designación	(MPa)		(MPa)	(MPa)	(m/m°C)	(kN/m³)
Acero laminado	A36	200000.00	0.300	80000.00	250.00	0.000012	77.01

Notación:  
*E*: Módulo de elasticidad  
 $\nu$ : Módulo de poisson  
*G*: Módulo de elasticidad transversal  
 $f_y$ : Limite elástico  
 $\alpha_t$ : Coeficiente de dilatación  
 $\gamma$ : Peso específico

##### 2.1.1.2.- Resumen de cómputo

Resumen de cómputo													
Material			Perfil	Longitud			Volumen			Peso			
Tipo	Designación	Serie		Perfil (m)	Serie (m)	Material (m)	Perfil (m³)	Serie (m³)	Material (m³)	Perfil (kg)	Serie (kg)	Material (kg)	
Acero laminado	A36		UPE 180, Doble en I unión genérica	156.000			0.783			6147.49			
			UPE 100	362.215			0.453			3554.24			
			UPE 140, Doble en cajón soldado	14.950			0.055			431.88			
			UPE 140	99.084			0.182			1431.17			
			UPE 120, Doble en I unión genérica	20.050			0.062			484.77			
			UPE		652.299			1.535			12049.55		
			UP500		17.400			0.167			1307.66		
			IPMA			17.400		0.167			1307.66		
			IPE 330		0.800		0.800	0.005			39.31	39.31	
			L 1.3/4 x 3/16"		33.910			0.014			106.48		
			L 2 x 1/4"		11.952			0.007			56.86		
			Cantoneira			45.863		0.021			163.34	163.34	
			IP500		78.300			0.875			6867.91	6867.91	
			IPER			78.300		0.875			6867.91	6867.91	
					794.662			2.602			20427.76		

##### 2.1.1.3.- Cómputo de superficies



## Listados

<b>Acero laminado: Cómputo de las superficies a pintar</b>				
Serie	Perfil	Superficie unitaria (m <sup>2</sup> /m)	Longitud (m)	Superficie (m <sup>2</sup> )
UPE	UPE 180, Doble en I unión genérica	1.298	156.000	202.488
	UPE 100	0.411	362.215	148.871
	UPE 140, Doble en cajón soldado	0.540	14.950	8.073
	UPE 140	0.530	99.084	52.515
	UPE 120, Doble en I unión genérica	0.940	20.050	18.847
IPMA	UP500	1.580	17.400	27.485
IPE	IPE 330	1.285	0.800	1.028
Cantoneira	L 1.3/4 x 3/16"	0.178	33.910	6.029
	L 2 x 1/4"	0.203	11.952	2.429
IPER	IP500	1.780	78.300	139.343
<b>Total</b>				<b>607.107</b>

### 2.1.2.- Láminas

#### 2.1.2.1.- Materiales utilizados

<b>Materiales utilizados</b>							
Material		E (MPa)	$\nu$	G (MPa)	$f_y$ (MPa)	$\alpha_t$ (m/m°C)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
Tipo	Designación						
Acero laminado	A36	200000.00	0.300	80000.00	250.00	0.000012	77.01
Hormigón	HA-25, Yc=1.5	27264.00	0.200	11360.00	-	0.000010	24.53

Notación:  
*E*: Módulo de elasticidad  
 $\nu$ : Módulo de poisson  
*G*: Módulo de elasticidad transversal  
 $f_y$ : Límite elástico  
 $\alpha_t$ : Coeficiente de dilatación  
 $\gamma$ : Peso específico

#### 2.1.2.2.- Cómputo de superficies

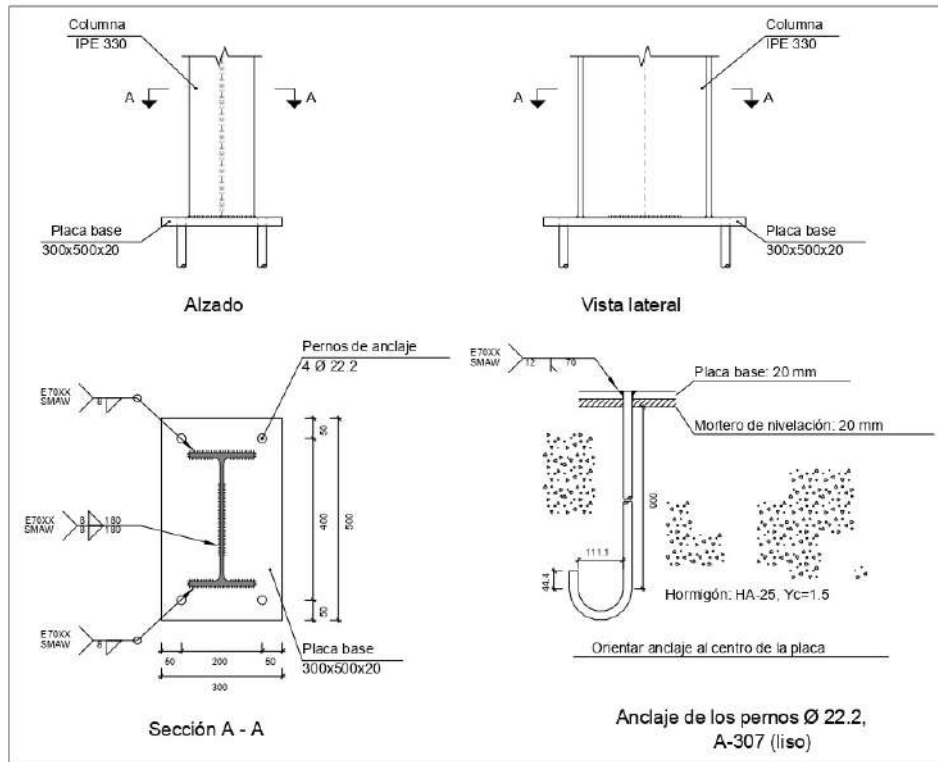
<b>Acero laminado: Cómputo de las superficies a pintar</b>	
Designación	Superficie (m <sup>2</sup> )
A36	6.336
<b>Total</b>	<b>6.336</b>

<b>Hormigón: Cómputo de las superficies de encofrado</b>	
Designación	Superficie (m <sup>2</sup> )
HA-25, Yc=1.5	227.333
<b>Total</b>	<b>227.333</b>

**N1881, N1882, N1883, N1884**

Fecha:01/12/24

a) Detalle



b) Descripción de los componentes de la unión

Elementos complementarios											
Pieza	Geometría				Agujeros				Acero		
	Esquema	Ancho (mm)	Peralte (mm)	Espesor (mm)	Cantidad	Diámetro exterior (mm)	Diámetro interior (mm)	Bisel (mm)	Tipo	F <sub>y</sub> (MPa)	F <sub>u</sub> (MPa)
Placa base		300	500	20	4	46.2	24.2	12	A36	250.0	400.0

**N1881, N1882, N1883, N1884**

Fecha:01/12/24

c) Comprobación

1) Columna IPE 330

**Soldaduras (ANSI/AISC 360-10, CHAPTER J)**

Comprobaciones geométricas								
Descripción	Tipo	P.S.	t (mm)	Longitud efectiva		Lado		
				l <sub>min</sub> (mm)	l (mm)	W <sub>min</sub> (mm)	W <sub>max</sub> (mm)	W (mm)
Soldadura del ala superior	En ángulo	SMAW	12	40	160	5	12	8
Soldadura del alma	En ángulo	SMAW	8	40	180	5	8	8
Soldadura del ala inferior	En ángulo	SMAW	12	40	160	5	12	8

*P.S.: Proceso de soldeo.  
t: Espesor de la chapa más delgada.  
l: Longitud efectiva del cordón de soldadura.  
w: Espesor del lado del cordón de soldadura.*

Comprobación de resistencia													
Descripción	Lado (mm)	t (mm)	l (mm)	Electrodo F <sub>w</sub> (MPa)	Metal Base F <sub>v</sub> (MPa)	Cortante (Metal Soldadura)			Tensiones (Metal Base)			Factor Resistencia	
						Caso pesimo (MPa)	Resistente (MPa)	Aprov. (%)	Caso pesimo (MPa)	Resistente (MPa)	Aprov. (%)	φMaterial base	φSoldadura
Soldadura del ala superior	8	12	160	E70XX (485.0)	250.0	105.8	218.3	48.48	74.8	135.0	55.42	0.90	0.75
Soldadura del alma	8	8	180	E70XX (485.0)	250.0	103.7	218.3	47.49	73.3	135.0	54.29	0.90	0.75
Soldadura del ala inferior	8	12	160	E70XX (485.0)	250.0	105.8	218.3	48.48	74.8	135.0	55.42	0.90	0.75

**N1881, N1882, N1883, N1884**

Fecha:01/12/24

2) Placa de anclaje

Referencia:		
Comprobación	Valores	Estado
Separación mínima entre pernos: <i>1.5 diámetros</i>	Mínimo: 33 mm Calculado: 200 mm	Cumple
Separación mínima pernos-borde: <i>2 diámetros</i>	Mínimo: 44 mm Calculado: 50 mm	Cumple
Longitud mínima del perno: <i>Se calcula la longitud de anclaje necesaria por adherencia.</i>	Mínimo: 32 cm Calculado: 90 cm	Cumple
Anclaje perno en hormigón:		
- Tracción:	Máximo: 98.49 kN Calculado: 0 kN	Cumple
- Cortante:	Máximo: 68.94 kN Calculado: 56.99 kN	Cumple
- Tracción + Cortante:	Máximo: 98.49 kN Calculado: 81.41 kN	Cumple
Tracción en vástago de pernos:	Máximo: 106.51 kN Calculado: 0 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en vástago de pernos:	Máximo: 274.5 MPa Calculado: 259.225 MPa	Cumple
Aplastamiento perno en placa: <i>Limite del cortante en un perno actuando contra la placa</i>	Máximo: 249.98 kN Calculado: 52.26 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en secciones globales:	Máximo: 250 MPa	
- Derecha:	Calculado: 121.883 MPa	Cumple
- Izquierda:	Calculado: 121.883 MPa	Cumple
- Arriba:	Calculado: 182.766 MPa	Cumple
- Abajo:	Calculado: 182.766 MPa	Cumple
Flecha global equivalente: <i>Limitación de la deformabilidad de los vuelos</i>	Mínimo: 250	
- Derecha:	Calculado: 1119.46	Cumple
- Izquierda:	Calculado: 1119.46	Cumple
- Arriba:	Calculado: 823.17	Cumple
- Abajo:	Calculado: 823.17	Cumple
Tensión de Von Mises local: <i>Tensión por tracción de pernos sobre placas en voladizo</i>	Máximo: 250 MPa Calculado: 0 MPa	Cumple
<b>Se cumplen todas las comprobaciones</b>		

**N1881, N1882, N1883, N1884**

Fecha:01/12/24

**Soldaduras (ANSI/AISC 360-10, CHAPTER J)**

Comprobaciones geométricas									
Descripción	Tipo	P.S.	t (mm)	Longitud efectiva		Profundidad del surco (mm)	Garganta efectiva		
				l <sub>min</sub> (mm)	l (mm)		ψ (grados)	t <sub>v,min</sub> (mm)	t <sub>v</sub> (mm)
Soldadura de los pernos a la placa base	De penetración parcial	SMAW	20	48	70	12	90.00	8	9

P.S.: Proceso de soldado.  
t: Espesor de la chapa más delgada.  
l: Longitud efectiva del cordón de soldadura.  
ψ: Ángulo en uniones en T sesgadas (AWS D1.1/D1.1M, 2.3.3.7)  
t<sub>v,min</sub>: Garganta efectiva mínima de una soldadura de tope con junta de penetración parcial.  
t<sub>v</sub>: Garganta efectiva de la soldadura.

Comprobación de resistencia														
Descripción	Lado (mm)	t (mm)	l (mm)	Electrodo	Metal Base	Cortante (Metal Soldadura)				Tensiones (Metal Base)			Factor Resistencia	
				F <sub>w</sub> (MPa)	F <sub>v</sub> (MPa)	Caso pesimo (MPa)	Resistente (MPa)	Aprov. (%)	Caso pesimo (MPa)	Resistente (MPa)	Aprov. (%)	φMaterial base	φSoldadura	
Soldadura de los pernos a la placa base	12	20	70	E70XX (485.0)	250.0	0.0	218.3	0.00	0.0	164.7	0.00	0.90	0.75	

d) Cómputo

Soldaduras				
Clase de resistencia	Ejecución	Tipo	Lado (mm)	Longitud de cordones (mm)
E70XX	En taller	De filete	8	959
		A tope en bisel simple con talón de raíz amplio	12	279

Placas de anclaje				
Material	Elementos	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
A36	Placa base	1	300x500x20	23.55
				Total
A-307 (liso)	Pernos de anclaje	4	Ø 22.2 - L = 962 + 254	14.81
				Total

## D. Listado. Puente L= 18 m



PuenteL=18m,Tesis

### Listados

Fecha: 24/11/24

#### 1.- DATOS DE OBRA

##### 1.1.- Normas consideradas

Aceros laminados y armados: ANSI/AISC 360-10 (LRFD)

Hormigón: EHE-08

**Categoría de uso:** E. Zonas de tráfico y aparcamiento para vehículos ligeros

##### 1.2.- Estados límite

E.L.U. de rotura. Hormigón	CTE Cota de nieve: Altitud inferior o igual a 1000 m
E.L.U. de rotura. Acero laminado	AISC 360-10 (LRFD) ASCE 7
Desplazamientos	Acciones características

##### 1.2.1.- Situaciones de proyecto

Para las distintas situaciones de proyecto, las combinaciones de acciones se definirán de acuerdo con los siguientes criterios:

###### - Con coeficientes de combinación

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_P P_k + \gamma_{Q1} \Psi_{p1} Q_{k1} + \sum_{i \geq 2} \gamma_{Qi} \Psi_{ai} Q_{ki}$$

###### - Sin coeficientes de combinación

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_P P_k + \sum_{ki \geq 1} \gamma_{Qi} Q_{ki}$$

- Donde:

- $G_k$  Acción permanente
- $P_k$  Acción de pretensado
- $Q_k$  Acción variable
- $\gamma_G$  Coeficiente parcial de seguridad de las acciones permanentes
- $\gamma_P$  Coeficiente parcial de seguridad de la acción de pretensado
- $\gamma_{Q1}$  Coeficiente parcial de seguridad de la acción variable principal
- $\gamma_{Qi}$  Coeficiente parcial de seguridad de las acciones variables de acompañamiento
- $\Psi_{p1}$  Coeficiente de combinación de la acción variable principal
- $\Psi_{ai}$  Coeficiente de combinación de las acciones variables de acompañamiento



## Listados

Para cada situación de proyecto y estado límite los coeficientes a utilizar serán:

### E.L.U. de rotura. Hormigón: EHE-08

<b>Persistente o transitoria</b>				
	Coeficientes parciales de seguridad ( $\gamma$ )		Coeficientes de combinación ( $\psi$ )	
	Favorable	Desfavorable	Principal ( $\psi$ )	Acompañamiento ( $\psi$ )
Carga permanente (G)	1.000	1.350	-	-
Sobrecarga (Q)	0.000	1.500	1.000	0.700

### E.L.U. de rotura. Acero laminado: ANSI/AISC 360-10 (LRFD)

<b>2.3.2 - [ 1 ] (ASCE/SEI 7-10)</b>		
	Coeficientes parciales de seguridad ( $\gamma$ )	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G)	1.400	1.400
Sobrecarga (Q)		

<b>2.3.2 - [ 2 Lr ] (ASCE/SEI 7-10)</b>		
	Coeficientes parciales de seguridad ( $\gamma$ )	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G)	1.200	1.200
Sobrecarga (Q)	0.000	1.600

<b>2.3.2 - [ 2 S ] (ASCE/SEI 7-10)</b>		
	Coeficientes parciales de seguridad ( $\gamma$ )	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G)	1.200	1.200
Sobrecarga (Q)	0.000	1.600

<b>2.3.2 - [ 3 Lr, L ] (ASCE/SEI 7-10)</b>		
	Coeficientes parciales de seguridad ( $\gamma$ )	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G)	1.200	1.200
Sobrecarga (Q)	0.000	1.000

<b>2.3.2 - [ 3 S, L ] (ASCE/SEI 7-10)</b>		
	Coeficientes parciales de seguridad ( $\gamma$ )	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G)	1.200	1.200
Sobrecarga (Q)	0.000	1.000



## Listados

<b>2.3.2 - [3 Lr, W] (ASCE/SEI 7-10)</b>		
	Coeficientes parciales de seguridad ( $\gamma$ )	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G)	1.200	1.200
Sobrecarga (Q)		

<b>2.3.2 - [3 S, W] (ASCE/SEI 7-10)</b>		
	Coeficientes parciales de seguridad ( $\gamma$ )	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G)	1.200	1.200
Sobrecarga (Q)		

<b>2.3.2 - [4 Lr] (ASCE/SEI 7-10)</b>		
	Coeficientes parciales de seguridad ( $\gamma$ )	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G)	1.200	1.200
Sobrecarga (Q)	0.000	1.000

<b>2.3.2 - [4 S] (ASCE/SEI 7-10)</b>		
	Coeficientes parciales de seguridad ( $\gamma$ )	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G)	1.200	1.200
Sobrecarga (Q)	0.000	1.000

<b>2.3.2 - [6] (ASCE/SEI 7-10)</b>		
	Coeficientes parciales de seguridad ( $\gamma$ )	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G)	0.900	0.900
Sobrecarga (Q)		

### Desplazamientos

Característica	Coeficientes parciales de seguridad ( $\gamma$ )			
	Coeficientes parciales de seguridad ( $\gamma$ )		Coeficientes de combinación ( $\psi$ )	
	Favorable	Desfavorable	Principal ( $\psi_1$ )	Acompañamiento ( $\psi_2$ )
Carga permanente (G)	1.000	1.000	-	-
Sobrecarga (Q)	0.000	1.000	1.000	1.000



**1.2.2.- Combinaciones**

• **Nombres de las hipótesis**

PP                      Peso propio  
Tablero                Tablero  
Carga de diseño      Carga de diseño  
Camion de diseño    Camion de diseño

• **E.L.U. de rotura. Hormigón**

Comb.	PP	Tablero	Carga de diseño	Camion de diseño
1	1.000	1.000		
2	1.350	1.000		
3	1.000	1.350		
4	1.350	1.350		
5	1.000	1.000	1.500	
6	1.350	1.000	1.500	
7	1.000	1.350	1.500	
8	1.350	1.350	1.500	
9	1.000	1.000		1.500
10	1.350	1.000		1.500
11	1.000	1.350		1.500
12	1.350	1.350		1.500
13	1.000	1.000	1.500	1.500
14	1.350	1.000	1.500	1.500
15	1.000	1.350	1.500	1.500
16	1.350	1.350	1.500	1.500

• **E.L.U. de rotura. Acero laminado**

Comb.	PP	Tablero	Carga de diseño	Camion de diseño
1	1.400	1.400		
2	1.200	1.200		
3	1.200	1.200	1.600	
4	1.200	1.200		1.600
5	1.200	1.200	1.600	1.600
6	1.200	1.200	1.000	1.000
7	0.900	0.900		



## Listados

### • Desplazamientos

Comb.	PP	Tablero	Carga de diseño	Camion de diseño
1	1.000	1.000		
2	1.000	1.000	1.000	
3	1.000	1.000		1.000
4	1.000	1.000	1.000	1.000

## 2.- ESTRUCTURA

### 2.1.- Geometría

#### 2.1.1.- Barras

##### 2.1.1.1.- Materiales utilizados

Material		Materiales utilizados					
Tipo	Designación	E (MPa)	$\nu$	G (MPa)	$f_y$ (MPa)	$\alpha_t$ (m/m°C)	$\gamma$ (kN/m³)
Acero laminado	A36	200000.00	0.300	80000.00	250.00	0.000012	77.01

Notación:  
*E*: Módulo de elasticidad  
 $\nu$ : Módulo de poisson  
*G*: Módulo de elasticidad transversal  
*f<sub>y</sub>*: Límite elástico  
 $\alpha_t$ : Coeficiente de dilatación  
 $\gamma$ : Peso específico

##### 2.1.1.2.- Resumen de cómputo

Material		Resumen de cómputo											
Tipo	Designación	Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso			
				Perfil (m)	Serie (m)	Material (m)	Perfil (m³)	Serie (m³)	Material (m³)	Perfil (kg)	Serie (kg)	Material (kg)	
Acero laminado	A36	UPE	UPE 180, Doble en I unión genérica	264.000			1.325			10403.45			
			UPE 100	438.659			0.548			4304.34			
			UPE 160, Doble en cajón soldado	17.950			0.078			611.54			
			UPE 160	118.925			0.258			2025.83			
			UPE 120, Doble en I unión genérica	20.000			0.062			483.56			
					859.534			2.271			17828.71		
		IPMA	UP600		17.400	17.400		0.217	0.217		1699.73	1699.73	
				L 1.3/4 x 3/16"	48.372			0.019			151.89		
		Cantoneira	L 2 x 1/4"		12.002			0.007			57.10		
						60.375			0.027			208.99	
		IPE	IPE 330		0.800			0.005			39.31	39.31	
						0.800			0.005			39.31	
		IPER	IP600		95.700			1.300			10204.91	10204.91	
				95.700			1.300			10204.91			
					1033.808			3.819			29981.65		

##### 2.1.1.3.- Cómputo de superficies



## Listados

Acero laminado: Cómputo de las superficies a pintar				
Serie	Perfil	Superficie unitaria (m <sup>2</sup> /m)	Longitud (m)	Superficie (m <sup>2</sup> )
UPE	UPE 180, Doble en I unión genérica	1.298	264.000	342.672
	UPE 100	0.411	438.659	180.289
	UPE 160, Doble en cajón soldado	0.600	17.950	10.770
	UPE 160	0.589	118.925	70.047
	UPE 120, Doble en I unión genérica	0.940	20.000	18.800
IPMA	UP600	1.776	17.400	30.902
Cantoneira	L 1.3/4 x 3/16"	0.178	48.372	8.601
	L 2 x 1/4"	0.203	12.002	2.439
IPE	IPE 330	1.285	0.800	1.028
IPER	IP600	1.896	95.700	181.447
<b>Total</b>				<b>846.995</b>

### 2.1.2.- Láminas

#### 2.1.2.1.- Materiales utilizados

Materiales utilizados							
Material		E (MPa)	$\nu$	G (MPa)	$f_y$ (MPa)	$\alpha$ (m/m°C)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
Tipo	Designación						
Acero laminado	A36	200000.00	0.300	80000.00	250.00	0.000012	77.01
Hormigón	HA-25, Yc=1.5	27264.00	0.200	11360.00	-	0.000010	24.53

Notación:  
 E: Módulo de elasticidad  
 $\nu$ : Módulo de poisson  
 G: Módulo de elasticidad transversal  
 $f_y$ : Límite elástico  
 $\alpha$ : Coeficiente de dilatación  
 $\gamma$ : Peso específico

#### 2.1.2.2.- Cómputo de superficies

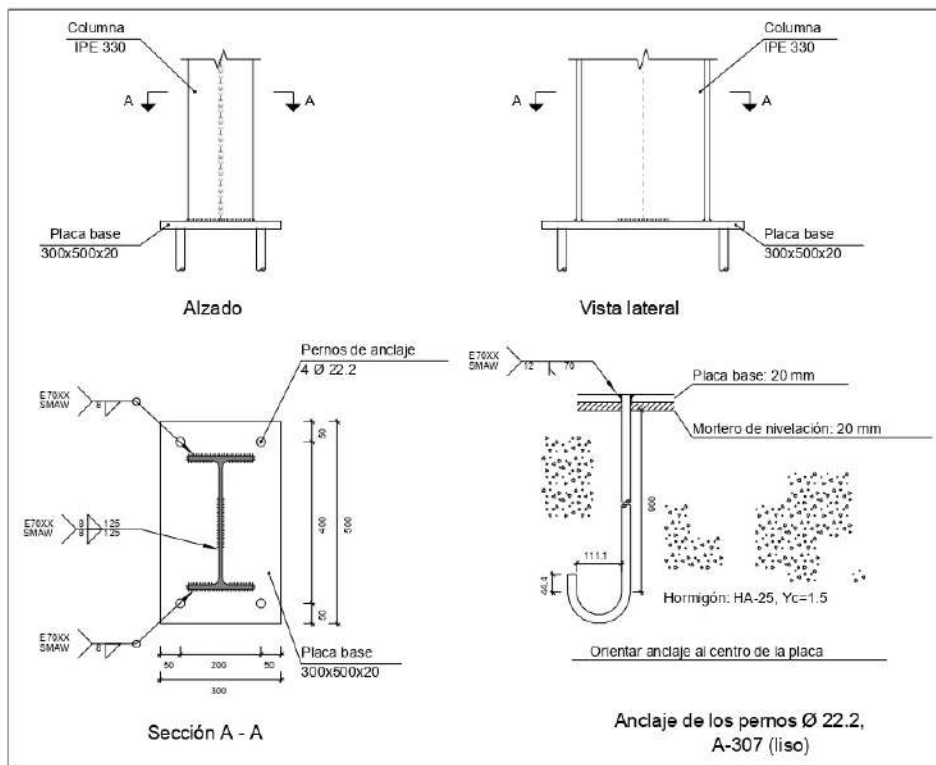
Acero laminado: Cómputo de las superficies a pintar	
Designación	Superficie (m <sup>2</sup> )
A36	11.520
<b>Total</b>	<b>11.520</b>

Hormigón: Cómputo de las superficies de encofrado	
Designación	Superficie (m <sup>2</sup> )
HA-25, Yc=1.5	272.652
<b>Total</b>	<b>272.652</b>

**N2698, N2699, N2696, N2697**

Fecha:01/12/24

a) Detalle



b) Descripción de los componentes de la unión

Elementos complementarios											
Pieza	Geometría				Cantidad	Agujeros			Acero		
	Esquema	Ancho (mm)	Peralte (mm)	Espesor (mm)		Diámetro exterior (mm)	Diámetro interior (mm)	Bisel (mm)	Tipo	F <sub>y</sub> (MPa)	F <sub>u</sub> (MPa)
Placa base		300	500	20	4	46.2	24.2	12	A36	250.0	400.0

**N2698, N2699, N2696, N2697**

Fecha:01/12/24

c) Comprobación

1) Columna IPE 330

Soldaduras (ANSI/AISC 360-10, CHAPTER J)

Comprobaciones geométricas								
Descripción	Tipo	P.S.	t (mm)	Longitud efectiva		Lado		
				l <sub>min</sub> (mm)	l (mm)	W <sub>min</sub> (mm)	W <sub>max</sub> (mm)	W (mm)
Soldadura del ala superior	En ángulo	SMAW	12	40	160	5	12	8
Soldadura del alma	En ángulo	SMAW	8	40	125	5	8	8
Soldadura del ala inferior	En ángulo	SMAW	12	40	160	5	12	8

*P.S.: Proceso de soldeo.  
 t: Espesor de la chapa más delgada.  
 l: Longitud efectiva del cordón de soldadura.  
 w: Espesor del lado del cordón de soldadura.*

Comprobación de resistencia													
Descripción	Lado (mm)	t (mm)	l (mm)	Electrodo	Metal Base	Cortante (Metal Soldadura)			Tensiones (Metal Base)			Factor Resistencia	
				F <sub>a</sub> (MPa)	F <sub>r</sub> (MPa)	Caso pesimo (MPa)	Resistente (MPa)	Aprov. (%)	Caso pesimo (MPa)	Resistente (MPa)	Aprov. (%)	φMaterial base	φSoldadura
Soldadura del ala superior	8	12	160	E70XX (485.0)	250.0	133.0	218.3	60.92	94.0	135.0	69.65	0.90	0.75
Soldadura del alma	8	8	125	E70XX (485.0)	250.0	140.6	218.3	64.41	99.4	135.0	73.63	0.90	0.75
Soldadura del ala inferior	8	12	160	E70XX (485.0)	250.0	133.0	218.3	60.92	94.0	135.0	69.65	0.90	0.75

**N2698, N2699, N2696, N2697**

Fecha:01/12/24

2) Placa de anclaje

Referencia:		
Comprobación	Valores	Estado
Separación mínima entre pernos: <i>1.5 diámetros</i>	Mínimo: 33 mm Calculado: 200 mm	Cumple
Separación mínima pernos-borde: <i>2 diámetros</i>	Mínimo: 44 mm Calculado: 50 mm	Cumple
Longitud mínima del perno: <i>Se calcula la longitud de anclaje necesaria por adherencia.</i>	Mínimo: 32 cm Calculado: 90 cm	Cumple
Anclaje perno en hormigón:		
- Tracción:	Máximo: 98.49 kN Calculado: 0 kN	Cumple
- Cortante:	Máximo: 68.94 kN Calculado: 52.68 kN	Cumple
- Tracción + Cortante:	Máximo: 98.49 kN Calculado: 75.26 kN	Cumple
Tracción en vástago de pernos:	Máximo: 106.51 kN Calculado: 0 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en vástago de pernos:	Máximo: 274.5 MPa Calculado: 239.421 MPa	Cumple
Aplastamiento perno en placa: <i>Límite del cortante en un perno actuando contra la placa</i>	Máximo: 249.98 kN Calculado: 48.27 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en secciones globales:	Máximo: 250 MPa	
- Derecha:	Calculado: 144.007 MPa	Cumple
- Izquierda:	Calculado: 144.007 MPa	Cumple
- Arriba:	Calculado: 214.748 MPa	Cumple
- Abajo:	Calculado: 214.748 MPa	Cumple
Flecha global equivalente: <i>Limitación de la deformabilidad de los vuelos</i>	Mínimo: 250	
- Derecha:	Calculado: 927.091	Cumple
- Izquierda:	Calculado: 927.091	Cumple
- Arriba:	Calculado: 681.718	Cumple
- Abajo:	Calculado: 681.718	Cumple
Tensión de Von Mises local: <i>Tensión por tracción de pernos sobre placas en voladizo</i>	Máximo: 250 MPa Calculado: 0 MPa	Cumple
<b>Se cumplen todas las comprobaciones</b>		

**N2698, N2699, N2696, N2697**

Fecha:01/12/24

**Soldaduras (ANSI/AISC 360-10, CHAPTER J)**

Comprobaciones geométricas									
Descripción	Tipo	P.S.	t (mm)	Longitud efectiva		Profundidad del surco (mm)	Garganta efectiva		
				l <sub>mn</sub> (mm)	l (mm)		ψ (grados)	t <sub>v,min</sub> (mm)	t <sub>w</sub> (mm)
Soldadura de los pernos a la placa base	De penetración parcial	SMAW	20	48	70	12	90.00	8	9

P.S.: Proceso de soldado.  
t: Espesor de la chapa más delgada.  
l: Longitud efectiva del cordón de soldadura.  
ψ: Ángulo en uniones en T sesgadas (AWS D1.1/D1.1M, 2.3.3.7)  
t<sub>v,min</sub>: Garganta efectiva mínima de una soldadura de tope con junta de penetración parcial.  
t<sub>w</sub>: Garganta efectiva de la soldadura.

Comprobación de resistencia													
Descripción	Lado (mm)	t (mm)	l (mm)	Electrodo	Metal Base	Cortante (Metal Soldadura)			Tensiones (Metal Base)			Factor Resistencia	
				F <sub>w</sub> (MPa)	F <sub>y</sub> (MPa)	Caso pesimo (MPa)	Resistente (MPa)	Aprov. (%)	Caso pesimo (MPa)	Resistente (MPa)	Aprov. (%)	φMaterial base	φSoldadura
Soldadura de los pernos a la placa base	12	20	70	E70XX (485.0)	250.0	0.0	218.3	0.00	0.0	164.7	0.00	0.90	0.75

d) Cómputo

Soldaduras				
Clase de resistencia	Ejecución	Tipo	Lado (mm)	Longitud de cordones (mm)
E70XX	En taller	De filete	8	849
		A tope en bisel simple con talón de raíz amplio	12	279

Placas de anclaje				
Material	Elementos	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
A36	Placa base	1	300x500x20	23.55
	Total			23.55
A-307 (liso)	Pernos de anclaje	4	Ø 22.2 - L = 962 + 254	14.81
	Total			14.81