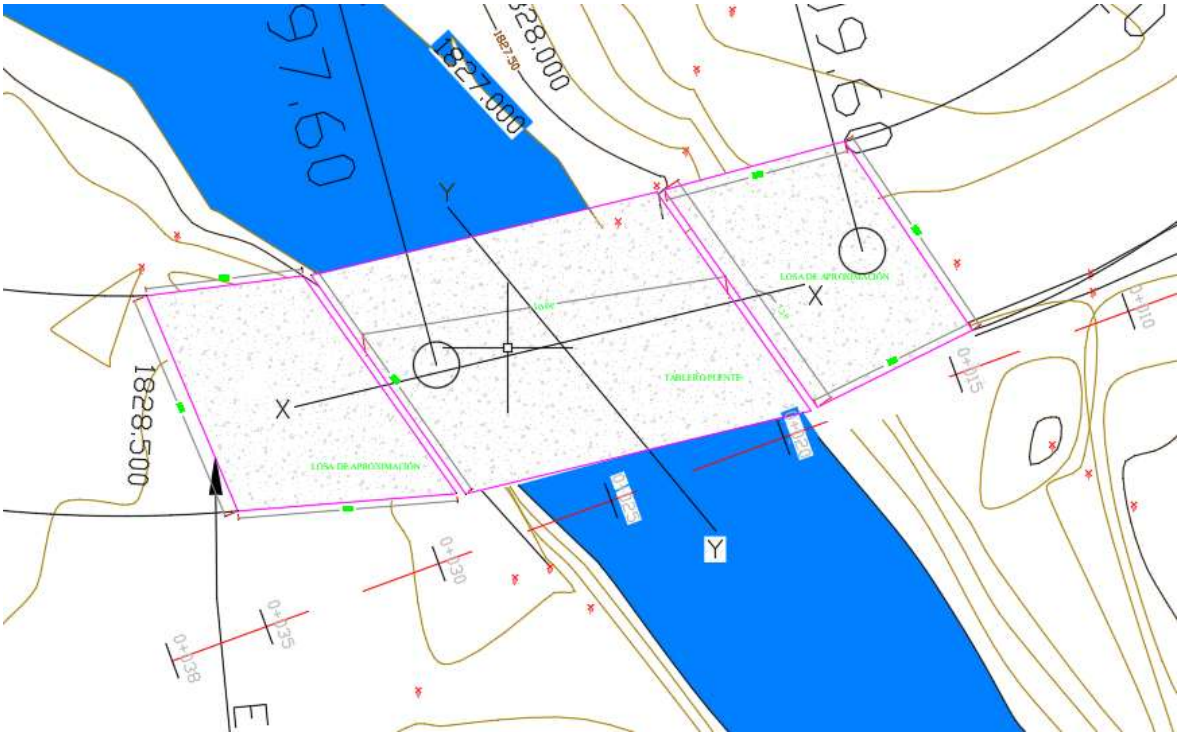
# MEMORIA ESTRUCTURAL

## DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PROYECTO "CONSTRUCCIÓN DEL PUENTE VEHICULAR EN LA VEREDA AGUA BLANCA SOBRE EL RÍO FRÍO EN EL MUNICIPIO DE FLORIDABLANCA."




**CALCULÓ: INGENIERA LADY D. MORANTES J.**
**FLORIDABLANCA 2026**

## TABLA DE CONTENIDO

**1. INTRODUCCIÓN ..... 4**

**2. OBJETIVO DEL PROYECTO ..... 5**

**3. ALCANCE ..... 5**

**4. LOCALIZACION DEL PROYECTO ..... 6**

**5. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO ..... 7**

**6. NORMATIVA ..... 7**

**7. PARAMETROS GENERALES DE DISEÑO ..... 8**

**8. CARGAS DE DISEÑO ..... 9**

**9. ESPECIFICACION DE MATERIALES ..... 20**

**10. RESUMEN GEOMETRICO ..... 23**

**11. RESUMEN ANALISIS DE CARGAS APLICADAS ..... 24**

**12. METODOLOGIA ..... 26**

12.1.1.1. Carga de sismo ..... 27

**13. EVALUACION DE LAS FUERZAS SISMICAS ..... 29**

**14. MODELO MATEMATICO ..... 30**

*14.1.1. Diseño a cortante ..... 35*

**15. ESPECTRO DE CÁLCULO ..... 37**

15.1. ESPECTRO ELÁSTICO DE ACELERACIONES ..... 37

**13.1 PARÁMETROS DE DISEÑO ..... 41**

13.1.1 MATERIALES ..... 41
13.1.2 GEOMETRÍA PRINCIPAL ..... 41
13.1.3 CARGAS DE DISEÑO ..... 41
13.1.4 SISTEMA DE CIMENTACIÓN ..... 41

**13.2 ANÁLISIS DEL GRUPO DE PILOTES ..... 42**

13.2.1 CARGA PROMEDIO ..... 42
13.2.2 DISTRIBUCIÓN POR MOMENTO ..... 42
13.2.3 5. CAPACIDAD DE LOS PILOTES ..... 42

**15. DISEÑO DEL ESTRIBO ..... 51**

16.2 DATOS ..... 54
16.3 CARGA POR PILOTE ..... 54
16.4 CAPACIDAD PORTANTE ..... 54
16.5 DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PILOTE ..... 55
16.6 REFUERZO DEL PILOTE ..... 55
16.7 CONEXIÓN PILOTE–ENCEPADO: ..... 55
16.8 VERIFICACIÓN DE PUNZONAMIENTO ..... 55

**18.1 PREPARACIÓN DEL TERRENO .....57**

**18.2 EJECUCIÓN DE PILOTES .....57**

**18.3 CONSTRUCCIÓN DEL ENCEPADO (VIGA CABEZAL).....57**

**18.4 CONSTRUCCIÓN DEL ESTRIBO .....57**

**18.5 SISTEMA DE DRENAJE .....58**

**18.6 RELLENO Y COMPACTACIÓN .....58**

**18.7 CONSTRUCCIÓN DE VIGAS .....58**

**18.8 LOSA DE APROXIMACIÓN .....58**

**18.9 ACABADOS Y PUESTA EN SERVICIO.....58**

## GENERALIDADES

Los puentes convencionales requieren un diseño estructural riguroso, desarrollado por profesionales especializados, que garantice su adecuada concepción, análisis y construcción. Dicho proceso debe cumplir con las disposiciones establecidas en la normativa vigente, en particular la Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-10 y el Código Colombiano de Puentes CCP-14, independientemente del sistema estructural adoptado, ya sea puente en arco, viga, ménsula, atirantado, metálico o suspendido.

La finalidad de este tipo de estructuras es asegurar la conexión eficiente y segura entre dos puntos, permitiendo la continuidad de la red vial y contribuyendo al desarrollo social, económico y territorial de las regiones. En este sentido, el adecuado diseño estructural no solo garantiza la estabilidad y resistencia de la obra, sino también su funcionalidad, durabilidad y seguridad durante la vida útil prevista.

En este contexto, el proyecto del Puente San Ignacio, ubicado en el municipio de Floridablanca, departamento de Santander, se plantea como una solución estructural técnicamente sustentada, orientada a mejorar la conectividad del sector y a proporcionar condiciones adecuadas de servicio, seguridad y desempeño estructural.

## 1. INTRODUCCIÓN

El presente documento corresponde a la memoria de cálculo estructural del puente vehicular proyectado, en la cual se integran los resultados de los estudios previos, incluyendo los levantamientos de campo, análisis topográficos y geotécnicos, así como las evaluaciones necesarias para la definición de las condiciones de diseño. En este sentido, se establecen los criterios adoptados, las hipótesis de cálculo, los parámetros de modelación estructural y el proceso de dimensionamiento de los elementos que conforman la estructura, junto con la descripción de sus características geométricas, mecánicas y constructivas.

La estructura proyectada corresponde a un puente vehicular en concreto reforzado, conformado por una (1) luz simplemente apoyada de 10.00 m de longitud y un ancho total de 7.00 m. El sistema resistente está constituido por cuatro (4) vigas longitudinales, solidariamente integradas mediante una losa maciza superior, las cuales transmiten las cargas hacia estribos apoyados sobre un sistema de cimentación profunda mediante pilotes, definido de acuerdo con las recomendaciones del estudio geotécnico del sitio.

El diseño estructural se desarrolla bajo la metodología de estados límite, considerando de manera integral las cargas permanentes, las cargas móviles vehiculares, los efectos dinámicos asociados, las acciones sísmicas correspondientes a una zona de amenaza sísmica alta, y demás solicitaciones establecidas por la normativa vigente. Todo lo anterior se evalúa con el propósito de garantizar el cumplimiento de los requisitos de resistencia, estabilidad, servicio y durabilidad de la estructura durante su vida útil.

Adicionalmente, el proceso de diseño se apoya en la tipología de puente tipo previamente estudiada y avalada por el Departamento Nacional de Planeación (DNP), la cual ha sido ajustada y adaptada a las condiciones particulares del sitio, incluyendo las características del terreno, las condiciones de carga y los requerimientos funcionales del proyecto.

Finalmente, los cálculos estructurales se desarrollan conforme a los lineamientos establecidos en las Normas Colombianas de Construcción Sismo Resistente NSR-10, adoptadas mediante el Decreto 926 de marzo de 2010, así como en el Código Colombiano de Puentes CCP-14, garantizando el cumplimiento de las disposiciones normativas en materia de seguridad estructural y desempeño en servicio.

## 2. OBJETIVO DEL PROYECTO

El objetivo del presente documento es desarrollar el análisis y diseño estructural del Puente San Ignacio, garantizando que la estructura cumpla con los requisitos de seguridad, estabilidad, funcionalidad y durabilidad establecidos en la normativa colombiana vigente.

El diseño contempla la evaluación de las acciones permanentes, cargas móviles vehiculares, efectos dinámicos, acciones sísmicas correspondientes a la zona de amenaza sísmica alta del municipio de Floridablanca (Santander), así como las solicitaciones derivadas de condiciones de servicio, con el fin de dimensionar adecuadamente los elementos que conforman la superestructura e infraestructura del puente.

## 3. ALCANCE

La presente memoria estructural incluye:

- Definición de parámetros generales del proyecto.
- Caracterización del sistema estructural adoptado.

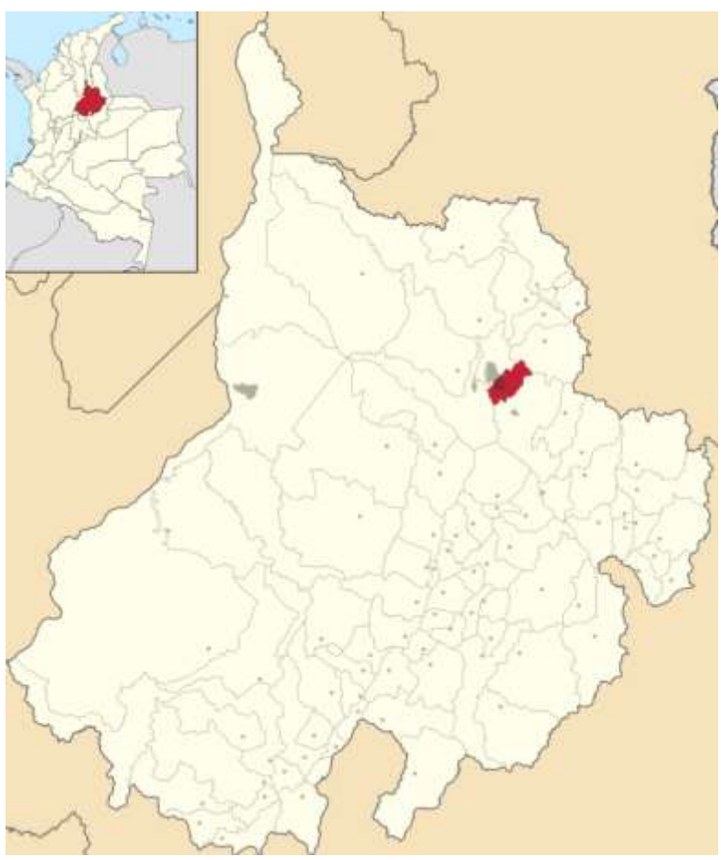
- Determinación de cargas de diseño (muertas, vivas vehiculares, impacto, sísmicas y otras aplicables).
- Definición de combinaciones de carga conforme a normativa.
- Modelación estructural en SAP2000.
- Análisis estructural de la superestructura.
- Dimensionamiento preliminar y verificación de:

- Vigas principales.
- Losa de tablero.
- Diafragmas transversales.
- Estribos.
- Elementos de cimentación profunda (pilotes).

  - Verificación de estados límite últimos y de servicio.
  - Criterios de durabilidad y recubrimientos.

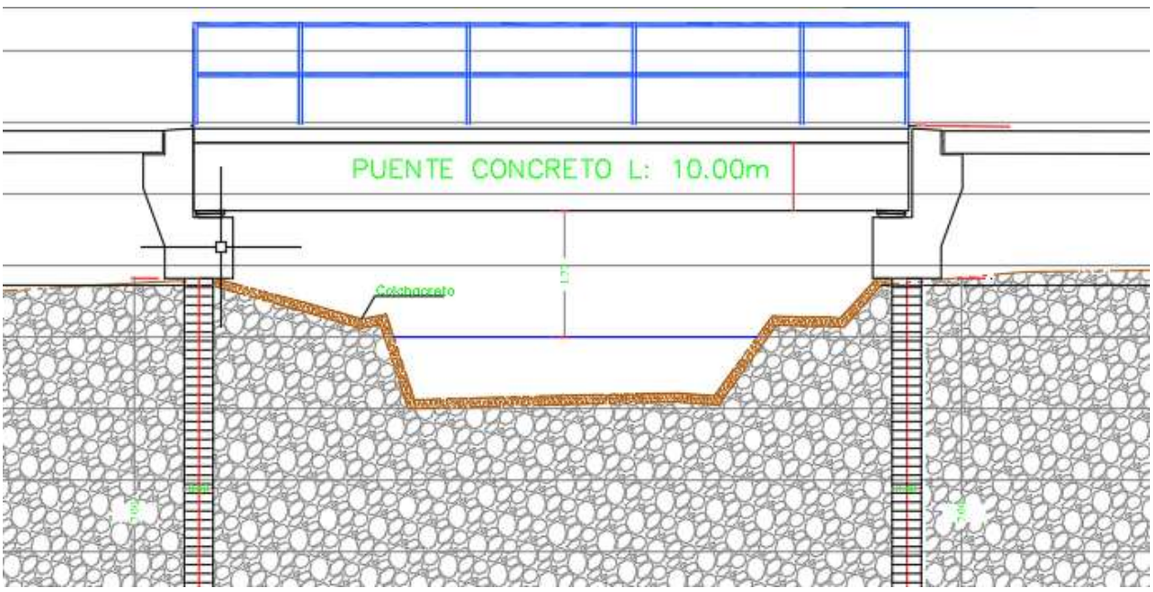
No se incluyen en el alcance los diseños hidráulicos, estudios ambientales ni diseños geométricos de la vía de acceso.

## 4. LOCALIZACION DEL PROYECTO



**FLORIDABLANCA-SANTANDER**
**VEREDA AGUA BLANCA**

## 5. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO




El proyecto corresponde a un puente vehicular en concreto reforzado de una (1) luz simplemente apoyada de 10.00 m de longitud, con un ancho total aproximado de 7.30 m, diseñado para garantizar la continuidad de la vía mediante una sección estructural y funcionalmente eficiente. La superestructura está conformada por cuatro (4) vigas longitudinales de sección rectangular (0.95 m de altura por 0.30 m de ancho), dispuestas a un espaciamiento uniforme y solidariamente integradas mediante una losa maciza de concreto de 0.25 m de espesor, la cual constituye la superficie de rodadura.

Adicionalmente, el sistema estructural incorpora vigas riostras transversales de sección 0.30 m × 0.95 m, las cuales conectan las vigas longitudinales, garantizando la distribución transversal de cargas, el control de deformaciones y el adecuado comportamiento espacial de la superestructura. Estas riostras contribuyen a mejorar la rigidez del sistema, optimizando la transferencia de cargas hacia los apoyos.

La sección transversal incluye un carril vehicular de 5.20 m de ancho, un andén lateral de 0.80 m, bordillos de confinamiento y un sobreancho de 0.30 m, complementados con barandas metálicas de protección en ambos costados. Se dispone una pendiente transversal del 2% para el manejo de aguas superficiales, junto con un sistema de drenaje mediante tuberías en PVC.

La subestructura está conformada por estribos en concreto reforzado, apoyados sobre un sistema de cimentación profunda mediante pilotes, conforme a las condiciones geotécnicas del sitio. Asimismo, se contemplan losas de aproximación en ambos extremos del puente, con el fin de garantizar una transición adecuada entre la estructura y los accesos viales, minimizando efectos de asentamientos diferenciales y mejorando las condiciones de servicio.

## 6. NORMATIVA

El diseño estructural se desarrolla conforme a las siguientes disposiciones:

- NSR-10 – Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente.
- CCP-14 – Código Colombiano de Diseño de Puentes.
- Especificaciones técnicas vigentes del INVIAS. “El diseño de los puentes se basó en los métodos indicados en la Norma Colombiana de Diseño de Puentes - LRFD - CCP 14, se recomienda que durante la etapa de construcción se consideren las Normas de Ensayos para carreteras del INVÍAS de 2013 y las Especificaciones Generales de Construcción del INVÍAS de 2013, o las que en su momento se encuentre vigente”.

- Recomendaciones del estudio geotécnico del proyecto.

## 7. PARAMETROS GENERALES DE DISEÑO

El proyecto se localiza en el municipio de Floridablanca, departamento de Santander, en una zona clasificada como de amenaza sísmica alta, de acuerdo con la zonificación establecida en la NSR-10. Esta condición implica la consideración de efectos sísmicos significativos en el diseño estructural, tanto para la superestructura como para la subestructura y el sistema de cimentación.

- Sistema estructural

El puente corresponde a una estructura tipo viga en concreto reforzado, configurada como un sistema isostático simplemente apoyado, lo cual permite un comportamiento estructural claro y eficiente frente a las solicitaciones actuantes.
Las principales características del sistema estructural son las siguientes:

- Tipo estructural: Puente viga en concreto reforzado
- Sistema resistente: Vigas longitudinales con losa maciza superior
- Sistema estático: Simplemente apoyado
- Luz libre: 10.00 m
- Ancho total: 7.30 m
- Número de vigas: 4
- Separación entre vigas: Aproximadamente 1.87 m
- Elementos de rigidización transversal: Vigas riostras (diafragmas) en concreto reforzado
- Subestructura: Estribos en concreto reforzado
- Cimentación: Profunda mediante pilotes, según recomendaciones geotécnicas

Este sistema estructural permite una adecuada distribución de cargas, control de deformaciones y facilidad constructiva, siendo apropiado para luces cortas a medias como la del presente proyecto.

## 8. CARGAS DE DISEÑO

El análisis y diseño estructural del puente se desarrolla conforme a lo establecido en la Sección 3 – Cargas y Factores de Carga del Código Colombiano de Puentes CCP-14, considerando todas las acciones que pueden generar solicitaciones sobre la estructura durante su vida útil.

Dado que el proyecto corresponde a un puente vehicular de una sola luz simplemente apoyada de 10.00 m, se adoptan los modelos de carga aplicables a este tipo de estructuras, incluyendo cargas permanentes, cargas vivas y acciones ambientales.

### 8.1 Cargas permanentes

**Cargas muertas (DC)**

Las cargas muertas corresponden al peso propio de todos los elementos estructurales que conforman el puente, las cuales actúan de manera permanente durante toda la vida útil de la estructura.

Para el presente proyecto se consideran:

- Vigas longitudinales
- Losa maciza de concreto
- Vigas riostras (diafragmas)
- Bordillos y barreras
- Estribos (para análisis de subestructura)
- Elementos estructurales asociados

Se adopta un peso específico del concreto de:

$\gamma c = 24\ kN/m^3$

**Nota: Estas cargas se determinan automáticamente a partir de la geometría del modelo estructural.**

**Cargas muertas adicionales (DW)**

La superficie de rodadura del puente está conformada por un pavimento en concreto hidráulico, dispuesto como capa de desgaste sobre la losa estructural del tablero.

Este elemento no se considera estructural dentro del sistema resistente del puente, por lo que su efecto se incluye como carga muerta adicional en el análisis.

Se adoptan las siguientes características:

- Material: Concreto hidráulico
- Resistencia: f'c = 28 MPa
- Espesor: 0.05 – 0.08 m
- Peso específico: 24 kN/m³

  - Barandas metálicas
  - Andenes
  - Bordillos
  - Elementos de drenaje

**Nota: Estas cargas se aplican sobre la losa de la superestructura.**

**8.2 Cargas vivas**

Estas cargas corresponden a las cargas móviles producto de los vehículos y peatones. Las cargas vivas vehiculares están compuestas por camiones estándar o líneas de carga equivalentes a trenes camiones.

**Carga viva vehicular (LL)**

La carga viva vehicular se define conforme al CCP-14 como una combinación de:
Camión de diseño o tándem, y carga distribuida de carril.

El diseño se controla mediante el camión de diseño, el cual representa de forma ideal las cargas vehiculares reales en la red vial nacional.

El modelo de carga adoptado corresponde al camión HL-93 adaptado por el CCP-14.

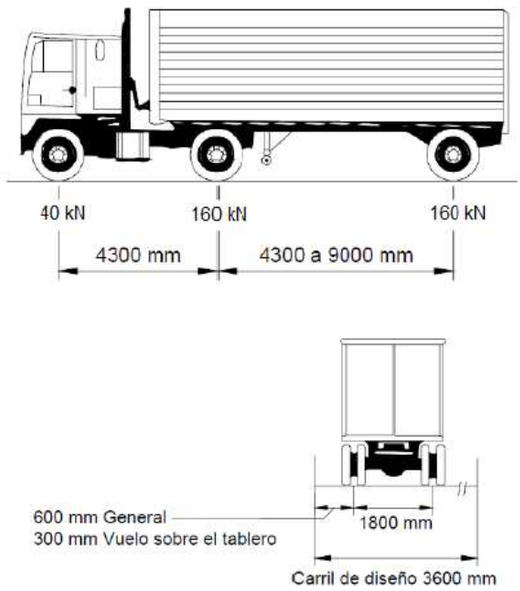
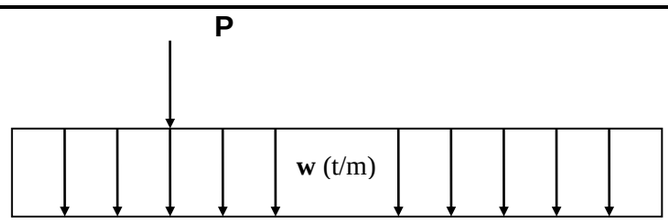



**Figura 3.6.1.2.2-1 — Características del Camión de Diseño**

Para el presente proyecto, debido a que la luz del puente es:
L=10.00 m<28 m L = 10.00 \, m < 28 \, m  L=10.00m<28m

“Cuando se tengan luces mayores a 28m para efectos de flexión y mayor a 24 m para otros efectos, se debe emplear una línea de carga la cual corresponde a una carga uniforme por metro lineal y una carga concentrada, ubicadas de tal manera que produzca los máximos esfuerzos”.

A continuación, se muestra las diferentes cargas que se deben emplear, información tomada del capítulo A.3 del CCP-14.




| LUZ | | CARGA | | |
|---|---|---|---|---|
| Momento: | **L < 28.0** | Camión | | |
| | $28.0 \le L < 100$ | Carril | $w = 1.50 - \frac{L-28}{200}$ | $P = 12.0t$ |
| | **L > 100** | Carril | $w = 1.14$ t/m | $P = 12.0t$ |
| Cortante: | **L < 24.0** | Camión | | |
| | $24.0 \le L < 134$ | Carril | $w = 1.50 - \frac{L-24}{300}$ | $P = 16.0t$ |
| | $L \ge 134$ | Carril | $w = 1.14$ t/m | $P = 16.0t$ |

Para estructuras tipo cajón cuando el espesor del relleno sobre la estructura sea mayor a 0.60m, las cargas deben considerarse como uniformemente distribuidas sobre el cuadro cuyos lados sean iguales a 1.75 veces el espesor del relleno. Cuando estas áreas se traslapen, la carga total debe considerarse uniformemente distribuida sobre el área definida por los bordes exteriores de las áreas individuales, sin que el ancho total sea superior al ancho de la losa.

Para luces simples, el efecto de la carga viva puede despreciarse cuando el espesor del lleno sea mayor de 2.5m y mayor que la luz de la losa. Para luces múltiples puede despreciarse cuando el espesor del lleno exceda la distancia entre las caras de los soportes exteriores. Cuando el espesor del lleno sea menor de 0.60 m la carga de rueda debe distribuirse de forma similar que en los en los puentes de losa.

Dentro del análisis se debe considerar si las solicitaciones son producidas por condiciones con carriles simultáneamente cargados, caso en el cual se deben afectar los esfuerzos por los siguientes porcentajes:

***Tabla 8.1Reducción por n***

| No Carriles | Porcentaje |
|---|---|
| 1 ó 2 | 100% |
| 3 | 90% |
| 4 o más | 75% |

**Presencia múltiple de carga**

Cuando se consideran varios carriles cargados simultáneamente, las cargas deben afectarse mediante factores de reducción por presencia múltiple, conforme al CCP-14, teniendo en cuenta la probabilidad de ocurrencia simultánea de cargas máximas en varios carriles .
Para el presente puente, debido a su ancho, se considera el número de carriles de diseño correspondiente.

**Factor de impacto (IM)**

La carga viva vehicular se incrementará en aquellos elementos del puente que no se encuentren enterrados, tales como la superestructura y las pilas. Este incremento de la carga viva incluye los efectos vibratorios y el impacto generado por la velocidad del camión.

El incremento de la carga por efecto de impacto en la superestructura se expresa como un porcentaje de la carga viva y se calcula de la siguiente forma:

$$i = \frac{16}{L + 40} \leq 33\%$$

Se aplica únicamente al camión de diseño, no a la carga distribuida.

**Carga viva peatonal (PL)**

En el andén se considera una carga viva peatonal uniforme, dependiente de la longitud del puente.

Para el rango:

7.5 m<L<30 m7.5 \, m < L < 30 \, m7.5m<L<30m

Se adopta:
PL=3.0 kN/m2PL = 3.0 \, kN/m^2PL=3.0kN/m2

Esta carga se aplica sobre el ancho del andén.

**Fuerzas longitudinales (LF)**

Se consideran fuerzas longitudinales asociadas a efectos de frenado y aceleración del tráfico vehicular.
Estas se calculan como: 5% de la carga viva vehicular, aplicadas a una altura de: 1.80 m sobre la superficie de rodadura

**Fuerza centrifuga**

Esta fuerza horizontal radial se debe tener en cuenta en puentes con alineamientos en curva, equivale a un porcentaje de la carga viva, sin impacto, considerando todos los carriles llenos:

$$C = 0.79 * \frac{S^2}{R}$$

Donde:
C= Fuerza Centrífuga por aplicar [%]
S= Velocidad de diseño [Km/h]
R= Radio de curvatura [m]

Esta fuerza se encuentra aplicada a 1.80 metros sobre la superficie de la calzada, medidos desde el centro de ella.

Carga Viva Peatonal

En la zona de andenes se debe considerar una carga viva peatonal la cual está en función de la longitud del puente.

***Tabla 8.2 Carga viva peatonal en andenes***

| Longitud puente (L) | Carga viva peatonal |
|---|---|
| L < 7.5m | 400 en kgf/m² |
| **7.50m < L < 30.0m** | **300 en kgf/m²** |
| L > 30.0m | $\mathbf{P = \left(145 + \frac{4500}{L}\right)\left(\frac{17 - W}{15}\right) \leq 300}$<br>P = carga viva, expresada en kgf/m²<br>L = longitud cargada del andén, en metros<br>W = ancho del andén, en metros |

**8.3 Acciones ambientales**

Carga sísmica (EQ)

El diseño sísmico se realiza conforme al CCP-14 y la NSR-10, considerando que el proyecto se ubica en una zona de: Amenaza sísmica alta (Aa = 0.25)

Las fuerzas sísmicas se determinan a partir de la masa de la estructura y el espectro de diseño, garantizando que el puente tenga baja probabilidad de colapso ante eventos sísmicos severos.
Para este tipo de puente (una sola luz), se emplea el:

Procedimiento de Análisis Sísmico Simplificado (PAS-S)
Fs=Cs·WF_s = C_s \cdot WFs=Cs·W

**Clasificación por importancia**

**Grupo I – Puentes esenciales**

Puentes rurales y urbanos que pertenecen a carreteras troncales. Además, se incluyen los puentes en vías urbanas arterias que pertenezcan a ellas o que la pasen por encima. También se encuentran en esta categoría los puentes que permiten el ingreso a obras de importancia como proyectos hidroeléctricos

**Grupo II – Puentes importantes**

En esta categoría se encuentran los puentes rurales de vías principales y aquellos puentes de vías secundarias que sean las únicas que den acceso a regiones de más de 50000 habitantes.

**Grupo III – Otros Puentes**

Se encuentran en esta categoría aquellos que no están incluidos en los grupos anteriores.

**Zonificación sísmica de la región**

Para obtener el valor del coeficiente de aceleración A, debe remitirse al Mapa de valores del coeficiente de aceleración A, de la NSR-10

Floridablanca Aa=0.25

**<u>Espectro de diseño</u>**

Los lineamientos para la creación del espectro de diseño a emplear se encuentran en la sección A.3.5.2.5 del CCP-14 y tiene una formulación general de esta manera:

$$Sam = \frac{(1.2)(A)(S)}{Tm^{2/3}} \leq 2.5A$$

Donde:

Sam= Máxima aceleración horizontal, expresada como una fracción de la aceleración de la gravedad, a que se ve sometido un sistema de un grado de libertad con un período de vibración Tm.
A= Coeficiente de aceleración, expresado como fracción de la gravedad.
S= Coeficiente adimensional que representa las características del perfil del suelo.
Tm= Periodo correspondiente al modo “m” en segundos.
Con el fin de tener en cuenta efectos desfavorables para aquellos puentes cuyo periodo natural se encuentra dentro del rango denominado corto, se utilizará el espectro de diseño contemplado en el NSR-10.

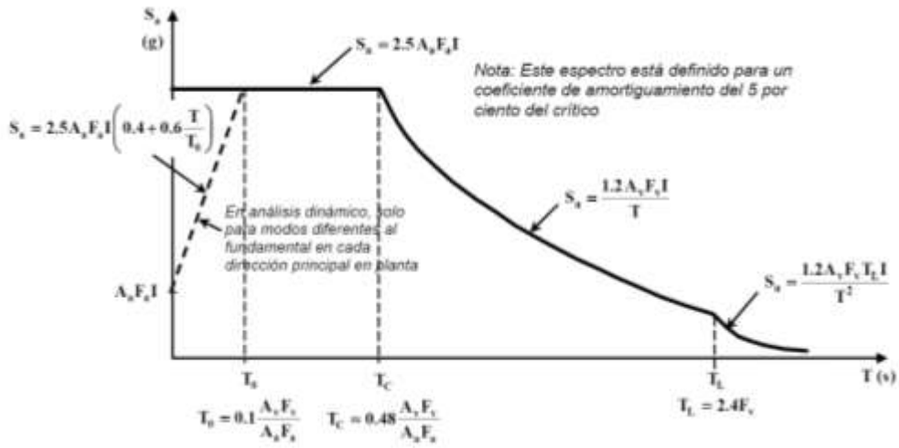



***Figura 0.1 Espectro elástico de Aceleraciones de Diseño (NSR-10)***

**<u>Categorías de comportamiento sísmico</u>**

Los requisitos mínimos de análisis y diseño están gobernados por la correspondiente Categoría de comportamiento sísmico, las cuales se encuentran definidas a continuación:

***Tabla 0.1 Coeficiente de sitio***

| Coeficiente de aceleración | Clasificación por importancia | | |
|---|---|---|---|
| A | I | II | III |
| A ≤ 0,09 | CCS-B | CCS-A | CCS-A |
| 0,09 < A ≤ 0,19 | CCS-C | CCS-B | CCS-B |
| 0,19 < A ≤ 0,29 | CCS-C | CCS-C | CCS-C |
| 0,29 < A | CCS-D | CCS-C | CCS-C |

**<u>Coeficiente de modificación de respuesta</u>**

Los valores del coeficiente de modificación de respuesta para los elementos de la subestructura y las conexiones se pueden consultar en el CCP-14 en la Tabla A.3.5-3.

**<u>8.4 Procedimiento de análisis</u>**

Según el CCP-14 existen cuatro procedimientos:

**Procedimiento de análisis sísmico simplificado (PAS-S)**

Este se emplea para puentes de una sola luz o para puentes de la categoría de comportamiento Sísmico A (CCS-A). Se encuentra descrito en el código numeral A.3.5.5.

Donde se convierte el efecto dinámico del sismo en:

$$Fs = Cs * W$$

Fs= Fuerza sísmica horizontal equivalente

Cs= Coeficiente sísmico

W= Peso sísmico efectivo del puente

**Procedimiento de análisis sísmico 1 (PAS-1)**

Este método de respuesta es de un solo modo. Este procedimiento se describe con profundidad en el numeral A.3.10.2

**Procedimiento de análisis sísmico 2 (PAS-2)**

Este método de respuesta es de un solo modo. Se muestra descrito en el numeral A.3.10.2.1

**Procedimiento de análisis sísmico 3 (PAS-3)**

Este método de respuesta integra contra el tiempo las ecuaciones de movimiento y utiliza familias de acelerogramas. Se describe en el numeral A.3.10.2.2.

Para alcantarillas no se considerarán cargas por sismo según lo permite CCP-14 A.3.5.1.2.

## 8.5 Cargas de viento (W)

Se consideran las acciones de viento conforme a la sección correspondiente del CCP-14, adoptando: Velocidad de diseño: 100 km/h

Presión sobre superestructura: aproximadamente 250 kg/m²

Estas cargas se aplican transversalmente a la estructura y se combinan según los estados límite correspondientes.

**Efectos de temperatura (T)**

Se consideran variaciones térmicas que generan esfuerzos y deformaciones en la estructura.

Para estructuras de concreto en clima moderado:

Incremento de temperatura: +17°C

Disminución de temperatura: -22°C

Adicionalmente, se consideran gradientes térmicos en la superestructura que pueden inducir redistribuciones de esfuerzos.

**Presión de tierras (EH)**

Para el diseño de los estribos se consideran los empujes de tierra, definidos con base en:

- Condiciones del suelo
- Nivel de rellenos
- Sobrecargas vehiculares

Estos valores se obtienen a partir del estudio geotécnico del proyecto.

**Fuerzas hidráulicas (SF) y flotación (B)**

Dado que la solución estructural evita la ubicación de apoyos dentro del cauce principal:

- No se consideran fuerzas significativas de corriente
- No se presentan condiciones críticas de flotación

**Combinaciones de carga**

Las combinaciones de carga utilizadas en el diseño estructural se definen conforme a la Tabla de factores de carga del CCP-14, considerando:

- Estados límite últimos (resistencia)
- Estados límite de servicio

Estas combinaciones incluyen efectos simultáneos de:

- Cargas permanentes (DC, DW)
- Cargas vivas (LL + IM)
- Acciones sísmicas (EQ)
- Viento (W)
- Temperatura (T)
- Garantizando la evaluación de las condiciones más críticas de diseño para cada elemento estructural. **(Estas no se tienen en cuenta para el proyecto presente)**

***Tabla 0.2Tabla de Combinaciones de carga***

| COLUMNA No. | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| GRUPO | | γ | FACTOR | | | | | | | | | | | |
| | | | D | L+I | CF | E | B | SF | W | WL | LF | R+S+T | EQ | |
| METODO DE RESISTENCIA ULTIMA | I | 1.3 | $\beta_D$ | 1.67* | 1 | $\beta_E$ | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | NO APLICA |
| | IA | 1.3 | $\beta_D$ | 0 | 1 | $\beta_E$ | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | II | 1.3 | $\beta_D$ | 0 | 0 | $\beta_E$ | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | III | 1.3 | $\beta_D$ | 1 | 1 | $\beta_E$ | 1 | 1 | 0.3 | 1 | 1 | 0 | 0 | |
| | IV | 1.3 | $\beta_D$ | 1 | 1 | $\beta_E$ | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | |
| | V | 1.25 | $\beta_D$ | 0 | 0 | $\beta_E$ | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | |
| | VI | 1.25 | $\beta_D$ | 1 | 1 | $\beta_E$ | 1 | 1 | 0.3 | 1 | 1 | 1 | 0 | |
| | VII | 1.0 | $\beta_D$ + | 0 | 0 | $\beta_E$ + | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1+ | |
| | VIII | 1.3 | $\beta_D$ | 1 | 1 | $\beta_E$ | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | IX | 1.2 | $\beta_D$ | 0 | 0 | $\beta_E$ | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | X | 1.3 | 1 | 1.67 | 0 | $\beta_E$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| METODO DE LOS ESFUERZOS ADMISIBLES | I | 1.0 | 1 | 1 | 1 | $\beta_E$ | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 |
| | IA | 1.0 | 1 | 0 | 1 | $\beta_E$ | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | ** |
| | II | 1.0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 125 |
| | III | 1.0 | 1 | 1 | 1 | $\beta_E$ | 1 | 1 | 0.3 | 1 | 1 | 0 | 0 | 125 |
| | IV | 1.0 | 1 | 1 | 1 | $\beta_E$ | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 125 |
| | V | 1.0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 140 |
| | VI | 1.0 | 1 | 1 | 1 | $\beta_E$ | 1 | 1 | 0.3 | 1 | 1 | 1 | 0 | 140 |
| | VII | 1.0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 133 |
| | VIII | 1.0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 140 |
| | IX | 1.0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 150 |
| | X | 1.0 | 1 | 1 | 0 | $\beta_E$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 |

* Se puede usar 1.25 en vez de 1.67 en el diseño de vigas exteriores de piso, cuando la combinación de carga viva sobre andén y la carga viva de tráfico más impacto rige el diseño; sin embargo, la capacidad de la sección no debe ser menor que la requerida para carga viva de tráfico pesado solamente, con un factor igual a 1.67.
Se puede utilizar 1.0 en vez de 1.67 para diseño de placas de piso con combinación de cargas descritas en la Sección A.4.2.

$\beta_E$ = 1.3 para presión lateral de tierras sobre muros de contención y marcos rígidos, sin incluir alcantarillas rígidas
$\beta_E$ = 0.5 para presión lateral de tierras para momentos positivos en marcos rígidos, ver Sección A.3.11
$\beta_E$ = 1.0 para presión vertical de tierras
$\beta_D$ = 0.75 cuando se estudia elementos con mínima carga axial y máximo momento o máxima excentricidad para diseño de columnas
$\beta_D$ = 1.0 cuando se estudian elementos con máxima carga axial y mínimo momento para diseño de columnas
$\beta_D$ = 1.0 para elementos a flexión o tracción
$\beta_D$ = 1.0 para alcantarillas rígidas
$\beta_D$ = 1.5 para alcantarillas flexibles
Para el grupo X de cargas (alcantarillas) el factor $\beta_E$ se debe aplicar para cargas horizontales y verticales.

**+** véase numerales A.3.5.12.1 y A.3.5.12.2

## 9. ESPECIFICACION DE MATERIALES

Para el diseño y construcción del puente se adoptan los siguientes materiales, de acuerdo con la normativa vigente y las condiciones de servicio de la estructura:

**Concreto estructural**

Los concretos empleados en los diferentes elementos estructurales cumplen con las resistencias especificadas a compresión a los 28 días (f'c), así:

- Pilotes: f'c = 28 MPa (280 kg/cm²)
- Estribos: f'c = 28 MPa (280 kg/cm²)
- Encepados: f'c = 28 MPa (280 kg/cm²)
- Zapatas: f'c = 21 MPa (210 kg/cm²)
- Aletas: f'c = 21 MPa (210 kg/cm²)
- Vigas principales: f'c = 28 MPa(280 kgf/cm²)

- Vigas riostras (diafragmas): f'c = 28 MPa (280 kg/cm²)
- Losa del tablero: f'c = 35 MPa (350 kg/cm²)
- Losa de aproximación: f'c = 28 MPa (280 kg/cm²)

El concreto deberá cumplir con los requisitos de durabilidad, trabajabilidad y control de calidad establecidos en la normativa vigente, considerando exposición ambiental propia de estructuras de puente.

**Acero de refuerzo**

El acero de refuerzo corresponde a barras corrugadas de alta adherencia, con las siguientes características:

Tipo: Acero corrugado
Esfuerzo de fluencia: fy = 420 MPa
Norma de referencia: ASTM A615 o equivalente

Se garantizará adecuada adherencia, recubrimientos mínimos y control de empalmes conforme a los requisitos de diseño estructural.

**Apoyos elastoméricos: (Neoprenos)**

Los apoyos del puente estarán conformados por dispositivos elastoméricos tipo neopreno, diseñados para transmitir las cargas de la superestructura hacia la subestructura, permitiendo deformaciones controladas.

Características generales:

Material: Elastómero reforzado con láminas de acero
Dureza: 50–60 Shore A
Módulo de elasticidad: según fabricante
Capacidad: acorde a cargas verticales y desplazamientos horizontales

Estos elementos deberán cumplir con especificaciones tipo AASHTO o INVÍAS para apoyos elastoméricos.

**Barandas metálicas**

Las barandas de protección lateral estarán conformadas por elementos metálicos estructurales, con las siguientes características:

Material: Acero estructural (tipo ASTM A36 o equivalente)
Configuración: postes verticales (tipo IPE u otro perfil) y elementos horizontales tubulares
Protección: galvanizado en caliente o sistema anticorrosivo equivalente

Estas deberán garantizar condiciones de seguridad vehicular y peatonal conforme a normativa vigente.

**Sistema de drenaje**

El sistema de drenaje del tablero está compuesto por:

Drenes: tubería PVC de 4”
Separación: según planos (aprox. cada 2.5 m)
Función: evacuación de aguas superficiales

El material deberá cumplir con normas técnicas para tuberías de PVC de uso sanitario o pluvial.

**Carpeta de rodadura (Pavimento)**

La superficie de rodadura del puente está conformada por un pavimento rígido en concreto hidráulico, el cual hace parte integral del sistema estructural del tablero.
Características:

- **Material:** Concreto hidráulico
- **Resistencia:** f’c = 28 MPa (o el valor que quieras adoptar)
- **Espesor:** (define tú, típico → 0.18 – 0.22 m si es estructural, o menor si es capa de desgaste)
- **Peso específico:**

γ=24 kN/m3\gamma = 24 \, kN/m^3γ=24kN/m3

**Elementos adicionales**

- Bordillos: Concreto reforzado: Función de confinamiento y protección del tablero
- Andenes: Concreto simple o reforzado: Diseñados para carga peatonal

- Rellenos estructurales: Material granular seleccionado, compactación ≥ 95% Proctor

## 10. RESUMEN GEOMETRICO

Geometría general

- Tipo de estructura: Puente viga en concreto reforzado
- Sistema estructural: Simplemente apoyado
- Número de luces: 1
- Luz libre: 10.00 m
- Longitud total del puente: 10.00 m
- Ancho total del tablero: 7.30 m
- Sección transversal

La sección transversal del puente está conformada por los siguientes elementos:

- Ancho de calzada vehicular: 5.20 m
- Número de carriles: 2 (bidireccional)
- Ancho de carril: 2.60 m
- Andén peatonal: 0.80 m
- Sobreancho: 0.30 m
- Bordillos: 0.30 m (en ambos lados)
- Separador entre anden y carril: 0.25
- Barandas metálicas: en ambos costados y en separación de carril con andén.

Se dispone una pendiente transversal del 2%, con el fin de garantizar el adecuado drenaje superficial del tablero.

Superestructura

La superestructura está conformada por un sistema de vigas longitudinales y losa maciza, con las siguientes características:

- Número de vigas longitudinales: 4
- Sección de vigas: 0.30 m × 0.95 m
- Separación entre vigas: 1.87 m (aprox.)

- Espesor de losa: 0.25 m en su máximo punto.
- Vigas riostras (diafragmas): dispuestas transversalmente para rigidización del sistema: 0.30 m × 0.95 m

Subestructura

La subestructura del puente está conformada por:

- Estribos: en concreto reforzado, ubicados en ambos extremos
- Altura aproximada: acorde con la rasante y condiciones del terreno
- Aletas: laterales, para contención del relleno

Cimentación

El sistema de cimentación corresponde a una solución profunda, definida con base en el estudio geotécnico:

- Tipo: Pilotes en concreto reforzado 0.40 m diametro
- Profundidad aproximada: 7.00 m
- Elemento de conexión: encepado en concreto reforzado
-

Elementos complementarios

- Losa de aproximación: en ambos extremos del puente 0.20m espesor.
- Longitud aproximada: 4.00 m
- Sistema de drenaje: drenes en PVC de 4”, dispuestos longitudinalmente
- Pendiente transversal: 2%

## 11. RESUMEN ANALISIS DE CARGAS APLICADAS

**CARGA MUERTA**

El peso propio de la sección es determinado por el modelo de análisis a partir de la geometría y del peso unitario del concreto. En este proyecto, la sección típica tiene un área transversal aproximada de 8.1m2 que corresponde a un peso aproximado de 20t/m.

Con respecto a las cargas permanentes o comunes, en la siguiente tabla se presenta la evaluación:

***Tabla 11.1 Evaluación de cargas permanentes***

| Carga | Evaluación | Valor (t/m) |
|---|---|---|
| Pavimento | 7.30 x 0.08m x 2.4 t/m3 | 1.40 |
| Barreras y bordillos | 0.090 + 0.07 +0.09 = 0.25 m2 x 2.4 t/m3 | 0.60 |
| Andén | 0.16m2 x 2.4 t/m3 | 0.38 |
| Barandas | 3 x 0.05 t/m | 0.15 |
| | TOTAL | 2.53 |

Para efectos de análisis y diseño se emplea una carga de 2.6 t/m.

**CARGA VIVA**

La carga viva vehicular para el diseño de la superestructura del **Puente San Ignacio**, ubicado en el municipio de Floridablanca, Santander, se determinó conforme a lo establecido en la **CCP-14**, la cual adopta el modelo de carga **HL-93** basado en AASHTO LRFD, y modificado y adaptado por el CCP14 el cual rige en Colombia.

El modelo HL-93 está compuesto por la combinación de:

- Un camión de diseño de tres ejes (Design Truck)
- Una carga distribuida por carril
- Un incremento dinámico (impacto)

**Camión de Diseño (HL-93)**

La carga viva vehicular considerada en el presente diseño se define conforme al Código Colombiano de Puentes CCP-14, mediante un modelo de camión de diseño basado en el esquema HL-93 adaptado a las condiciones nacionales.

Este modelo está conformado por un eje delantero de 40 kN y dos ejes traseros de 160 kN cada uno, con una separación fija de 4.30 m entre el eje delantero y el primer eje trasero, y una separación variable entre 4.30 m y 9.00 m entre los ejes traseros, con el fin de generar los efectos más desfavorables en la estructura.

Las separaciones entre ejes se consideran conforme a la norma, ubicando el sistema de cargas en la posición que genere el efecto más desfavorable sobre la estructura.

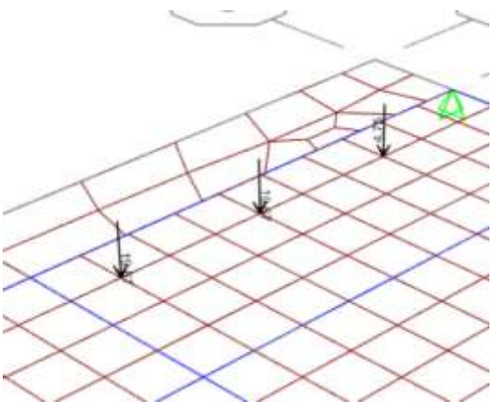
**Incremento Dinámico (Impacto)**

De acuerdo con la CCP-14, para vigas de concreto reforzado se adopta un incremento dinámico del: IM=33%

Este factor se aplica únicamente a las cargas del camión de diseño, obteniéndose:

- Eje delantero: 40×1.33=53.2 kN
- Ejes traseros: 160×1.33=212.8 kN

Estas cargas fueron empleadas en el modelo estructural.



**Carga Distribuida por Carril**

La carga distribuida por carril establecida por la CCP-14 es:

w=9.3 kN/m

Dado que el puente cuenta con un ancho total de 7.30 m, se consideran dos carriles de diseño, por lo que la carga distribuida total considerada es:

wtotal=2×9.3=18.6 kN/m

La carga distribuida se aplicó longitudinalmente sobre el carril de diseño en la posición más desfavorable.

## 12. METODOLOGIA

**Criterio de Modelación**

Para efectos del análisis estructural en SAP2000, el camión HL-93 y la carga distribuida por carril fueron posicionados de manera que generaran el máximo momento positivo en la viga longitudinal exterior, correspondiente al caso más crítico para una estructura simplemente apoyada de 10.00 m de luz.

El análisis se realizó considerando:

- Superestructura simplemente apoyada
- Cuatro vigas longitudinales de concreto reforzado vaciadas en sitio
- Acción combinada del camión de diseño y la carga distribuida

**Combinación de Diseño**

Para el diseño por resistencia se empleó la combinación de cargas:

1.25D+1.50DW+1.75LL

Donde:

- DDD = carga muerta estructural
- DWDWDW = carga muerta superpuesta (carpeta asfáltica, bordillos, barandas, etc.)
- LLLLLL = carga viva HL-93

**12.1.1.1. Carga de sismo**

El análisis sísmico del puente se realizó mediante el Procedimiento de PAS-S establecido en la CCP-14, aplicable a puentes regulares de pequeña luz y comportamiento estructural simple.

Dado que el puente corresponde a una estructura simplemente apoyada de 10.00 m de luz, las fuerzas sísmicas horizontales se transmiten directamente a los estribos a través del sistema de apoyos, no gobernando el diseño por flexión de las vigas longitudinales. No obstante, se determina la fuerza sísmica horizontal equivalente para el dimensionamiento de apoyos y elementos de contención.

Peso Sísmico Efectivo (W) (total de las cargas permanentes)

**Losa de concreto**

Ancho = 7.30 m

Espesor = 0.20 m

Peso específico concreto = 2.4 t/m³

**W= 3.50 t/m**

**Vigas longitudinales**

Sección = 0.30 m × 0.95 m

Área = 0.29 m²

Peso por viga: **0.29*2.4 = 0.70*4 vigas = 2.80 t/m**

**Carga muerta superpuesta (calculada previamente) =2.6 t/m**

Peso total por metro lineal= 3.50+2.80+2.60= 8.90 t/m

Peso puente = 8.90 * 10 = 89 t

**Fuerza Sísmica Horizontal Equivalente**

Para el municipio de Floridablanca (zona de amenaza sísmica alta), y considerando la baja altura estructural y alta rigidez del sistema simplemente apoyado, se adopta un coeficiente sísmico simplificado conservador:

$$Cs = 0.20$$

Fuerza sísmica horizontal equivalente:

Fs= 0.20*89 = 17.8 t = 178 Kn

La fuerza sísmica horizontal total esperada en la superestructura se transmite a los estribos a través de los apoyos estructurales.

Dado que el puente es simplemente apoyado y de baja luz, la acción sísmica no gobierna el diseño por flexión de las vigas longitudinales, siendo la carga viva vehicular HL-93 la condición crítica de diseño.

**Carga de temperatura y creep**

Para el Puente San Ignacio, los efectos de temperatura, fluencia y retracción no gobiernan el diseño estructural de las vigas longitudinales, siendo las acciones gravitacionales (carga muerta y carga viva HL-93) las condiciones determinantes de diseño.

No obstante, los dispositivos de apoyo fueron seleccionados considerando los desplazamientos térmicos esperados.

**Viento**

Se adopta una presión de viento equivalente de:

$$P = 250\frac{kg}{m^2} = 0.25\ t/m^2$$

Para el cálculo de la fuerza horizontal transversal se considera el área lateral proyectada de la superestructura:

Longitud del puente = 10.00 m
Altura estructural efectiva ≈ 1.00 m

$$A = 10 * 1 = 10\ m^2$$

$$Fv = 2.5\ t = 24.5\ kN\ < 18.6t\ (fuerza\ horizontal\ equivalente)$$

Fv= 2.5 t < 17.8 (fuerza horizontal equivalente)

**Nota: La acción del viento no gobierna el diseño estructural del puente.**

## 13. EVALUACION DE LAS FUERZAS SISMICAS

**PARÁMETROS DE DISEÑO**

Localización geográfica: **FLORIDABLANCA – SANTANDER**

***NSR-10 - Apéndice A-4 - Valores de $A_a$, $A_v$, $A_e$ y $A_d$ y definición de la zona de amenaza sísmica de los municipios colombianos***

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| El Carmen de Chucurí | 68235 | 0.15 | 0.15 | Intermedia | 0.17 | 0.08 |
| El Florian | 68271 | 0.15 | 0.15 | Intermedia | 0.12 | 0.07 |
| El Guacamayo | 68245 | 0.15 | 0.20 | Intermedia | 0.18 | 0.10 |
| El Peñón | 68250 | 0.15 | 0.15 | Intermedia | 0.16 | 0.07 |
| El Playón | 68255 | 0.25 | 0.25 | Alta | 0.14 | 0.07 |
| Encino | 68264 | 0.20 | 0.25 | Alta | 0.09 | 0.05 |
| Enciso | 68266 | 0.25 | 0.25 | Alta | 0.10 | 0.05 |
| Floridablanca | 68276 | 0.25 | 0.25 | Alta | 0.13 | 0.08 |
| Galán | 68296 | 0.15 | 0.20 | Intermedia | 0.20 | 0.10 |
| Gámbita | 68298 | 0.20 | 0.20 | Intermedia | 0.07 | 0.05 |
| Goepsa | 68327 | 0.15 | 0.20 | Intermedia | 0.09 | 0.06 |
| Girón | 68307 | 0.20 | 0.25 | Alta | 0.18 | 0.10 |

Nivel de riesgo sísmico: **ALTA**

**Tabla A.2.4-3**
**Valores del coeficiente $F_a$, para la zona de periodos cortos del espectro**

| Tipo de Perfil | Intensidad de los movimientos sísmicos | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | $A_a \leq 0.1$ | $A_a = 0.2$ | $A_a = 0.3$ | $A_a = 0.4$ | $A_a \geq 0.5$ |
| A | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 |
| B | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| C | 1.2 | 1.2 | 1.1 | 1.0 | 1.0 |
| D | 1.6 | 1.4 | 1.2 | 1.1 | 1.0 |
| E | 2.5 | 1.7 | 1.2 | 0.9 | 0.9 |
| F | véase nota | véase nota | véase nota | Véase nota | véase nota |

**Nota**: Para el perfil tipo **F** debe realizarse una investigación geotécnica particular para el lugar específico y debe llevarse a cabo un análisis de amplificación de onda de acuerdo con A.2.10.

Aa = **0.25** Apendice A-4 (NSR-10)
Fa = **1.30** Tabla A2.4-3 (NSR-10)

**Tabla A.2.4-4**
**Valores del coeficiente $F_v$, para la zona de periodos intermedios del espectro**

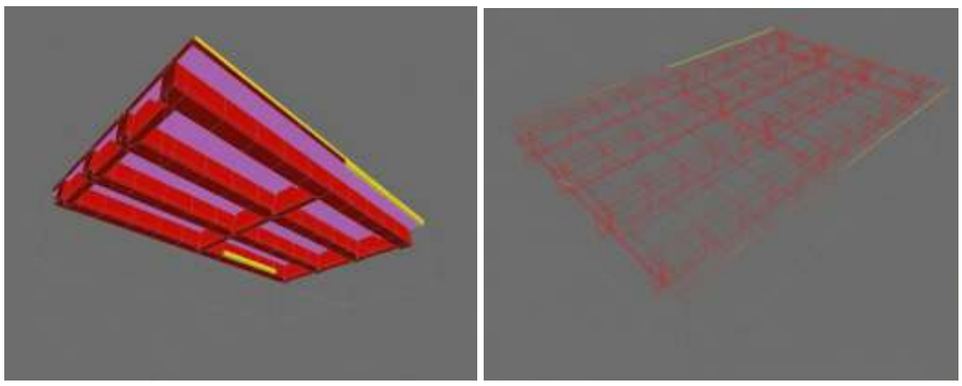
| Tipo de Perfil | Intensidad de los movimientos sísmicos | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | $A_v \leq 0.1$ | $A_v = 0.2$ | $A_v = 0.3$ | $A_v = 0.4$ | $A_v \geq 0.5$ |
| A | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 |
| B | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| C | 1.7 | 1.6 | 1.5 | 1.4 | 1.3 |
| D | 2.4 | 2.0 | 1.8 | 1.6 | 1.5 |
| E | 3.5 | 3.2 | 2.8 | 2.4 | 2.4 |
| F | véase nota | véase nota | véase nota | Véase nota | véase nota |

**Nota**: Para el perfil tipo **F** debe realizarse una investigación geotécnica particular para el lugar específico y debe llevarse a cabo un análisis de amplificación de onda de acuerdo con A.2.10.

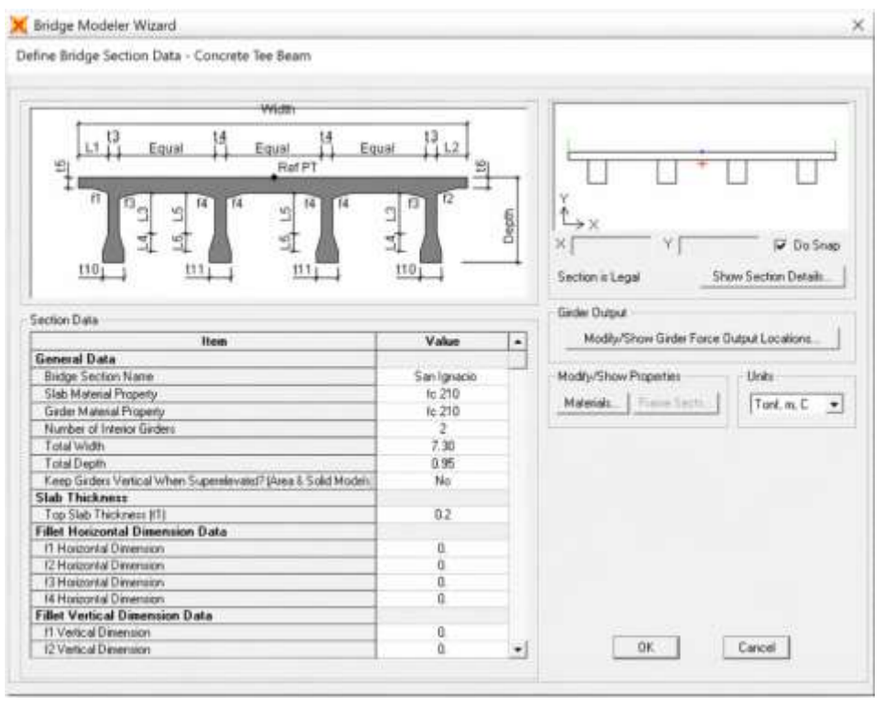
Av = **0.25** Apendice A-4 (NSR-10)
Fv = **1.90** Tabla A2.4-4 (NSR-10)
Perfil del Suelo: **D**

## 14. MODELO MATEMATICO

Se utilizó un modelo matemático creado en el Programa Sap2000 a través del módulo de Puentes que incorpora la versión 14.2.2.



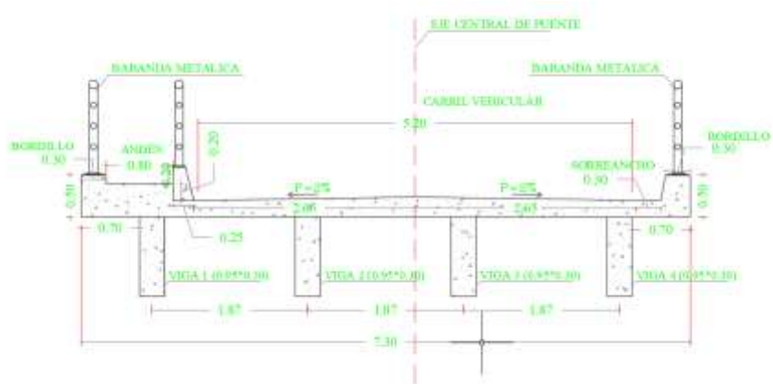
**Modelación de vigas, riostras y tablero del puente.**




**Sección transversal de análisis**

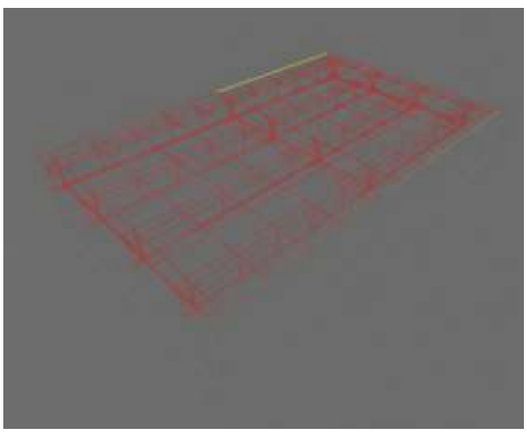
## Diseño de la Barrera de tráfico

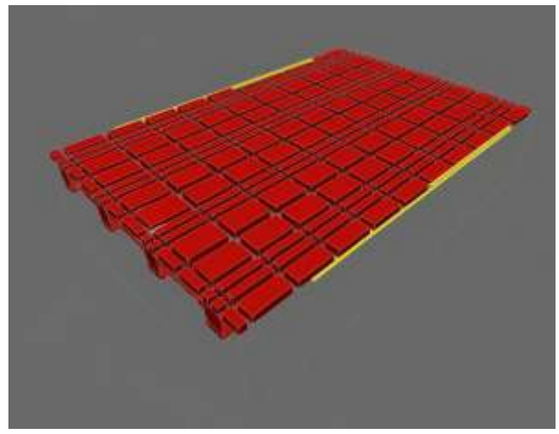
Para la protección vehicular se utilizarán barreras de protección baranda metálica como se evidencia en el corte estructural.



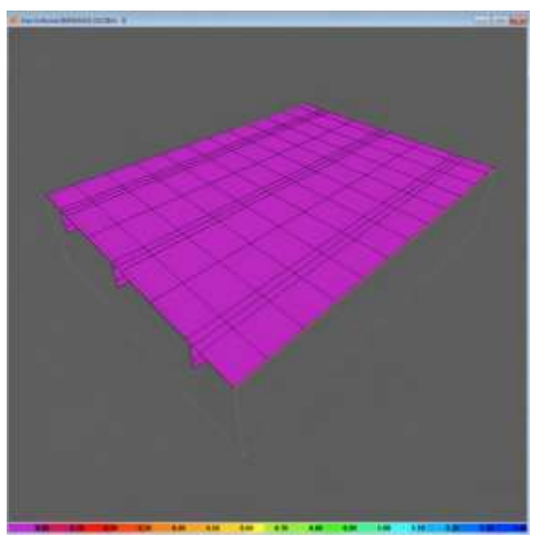

***Barrera de protección***

**Diseño del tablero y de la sección transversal de la viga cajón**

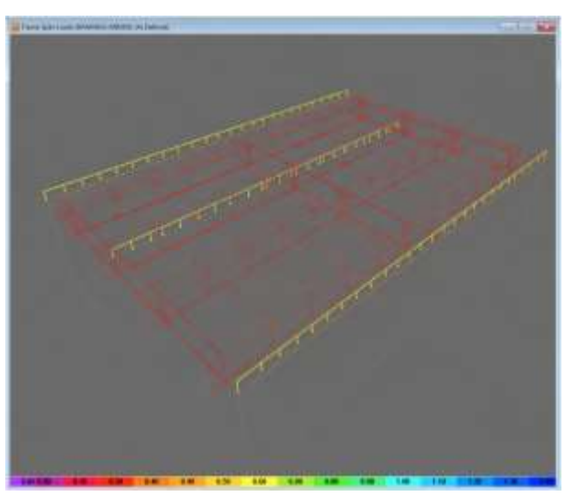




**Carga muerta sobre el tablero**

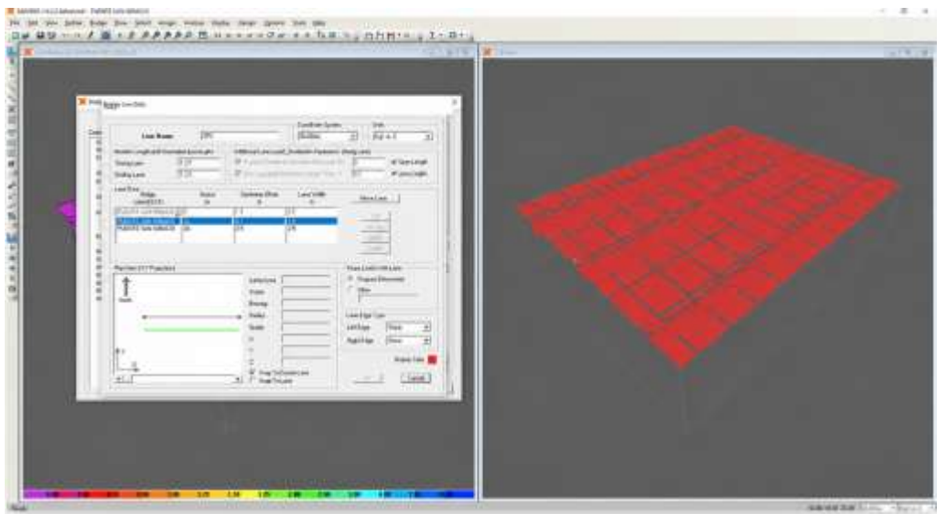


**Asignación de carga muerta por rodadura y andenes**

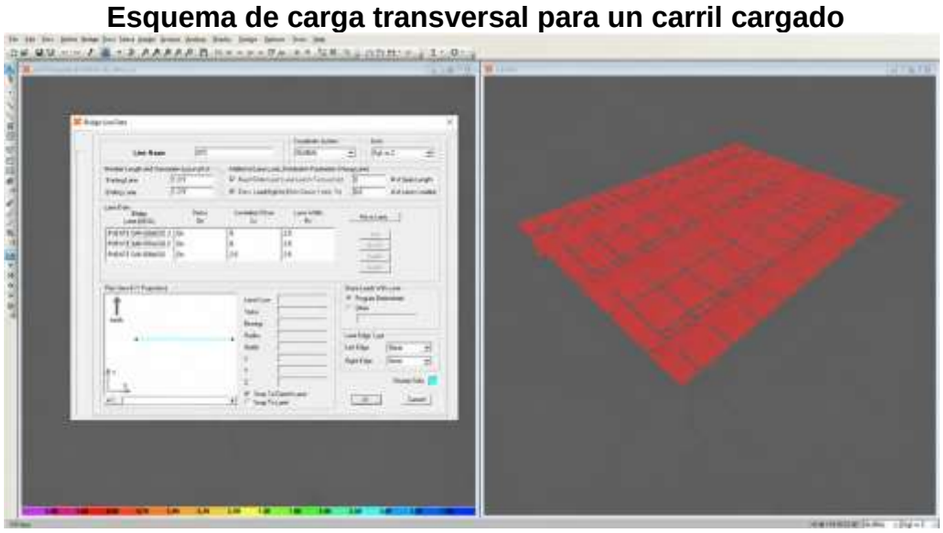


**Asignación de carga muerta por barandas y barrera de tráfico**

**Carga viva sobre el tablero**



**Esquema de carga transversal para un carril cargado**



**Esquema de carga transversal para dos carriles cargados**

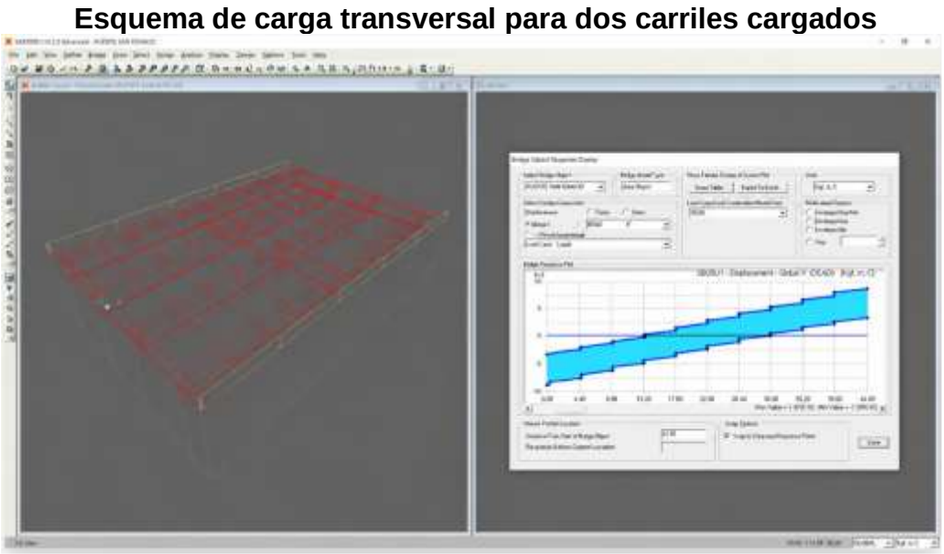


**Diagrama de cortante de diseño**

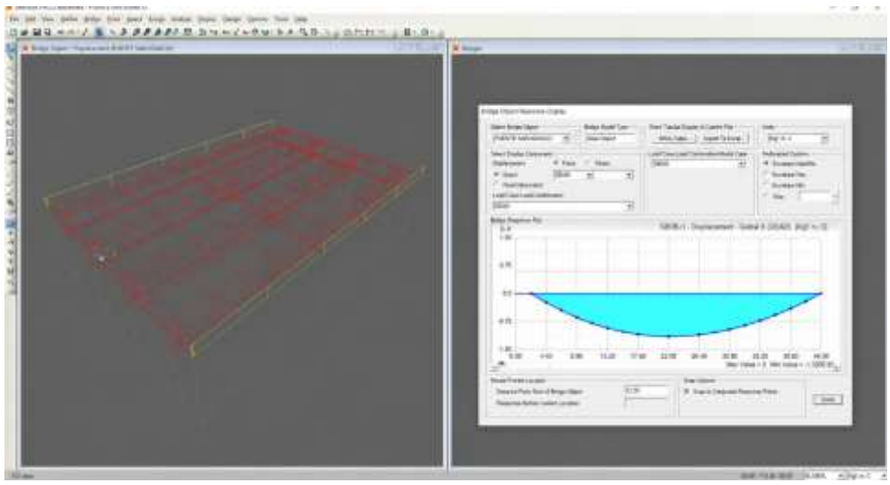
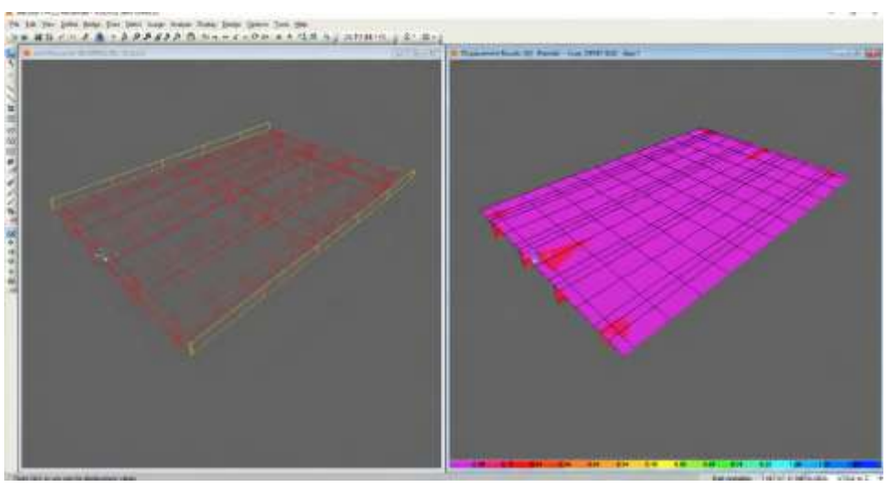
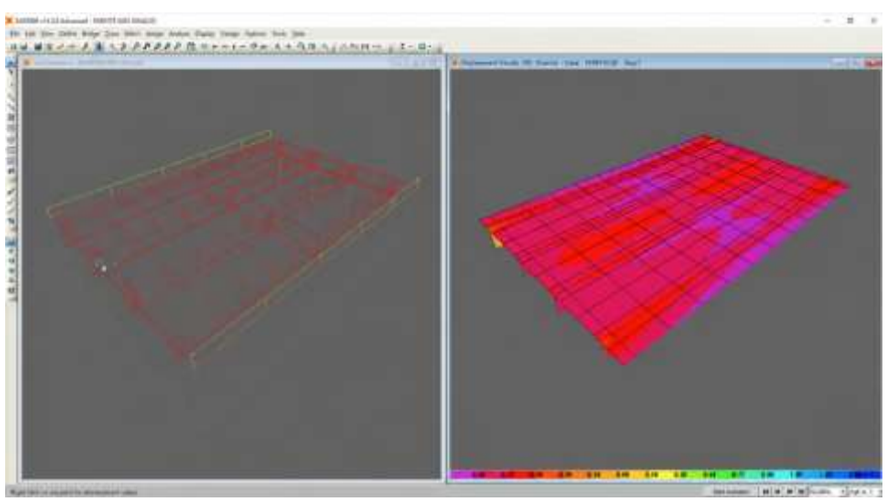


**Diagrama de momento de diseño**



**Refuerzo longitudinal para la sección transversal (As [mm²])**



**Refuerzo a cortante para la sección transversal (As [mm²])**

**Diseño a flexión viga**

A continuación, se relacionan los momentos actuantes en la viga:

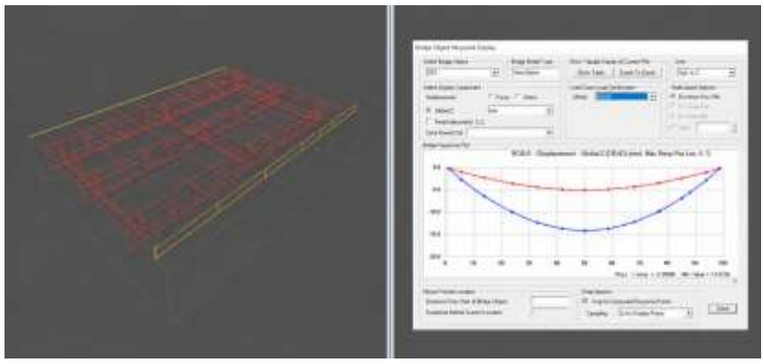


**Diagrama de momentos por carga permanente [kN·m]**

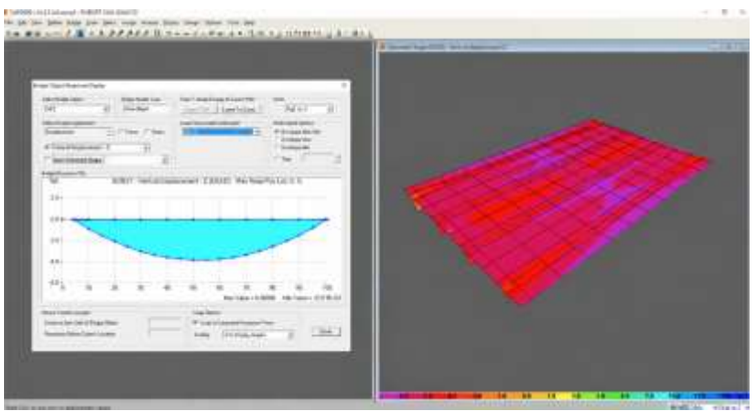


**Diagrama de momentos por carga sobreimpuesta [kN·m]**

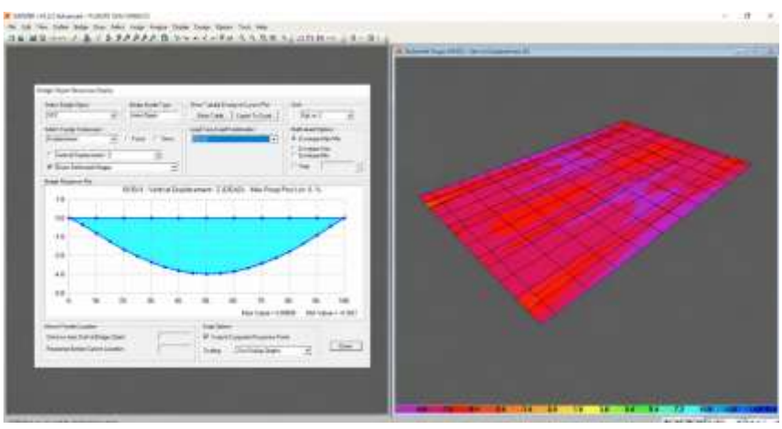
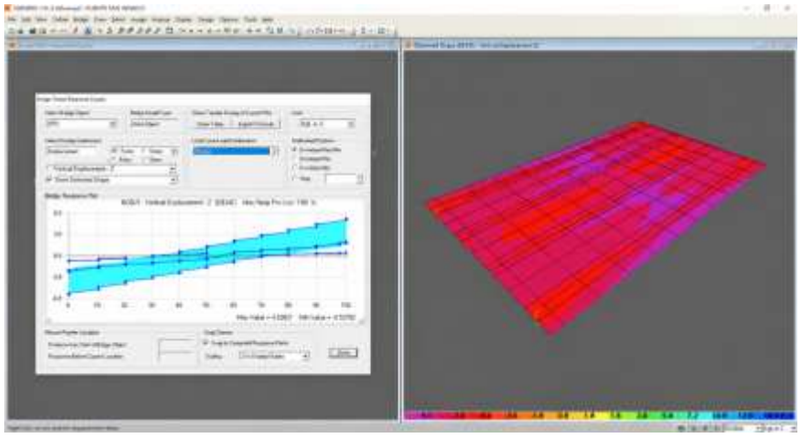
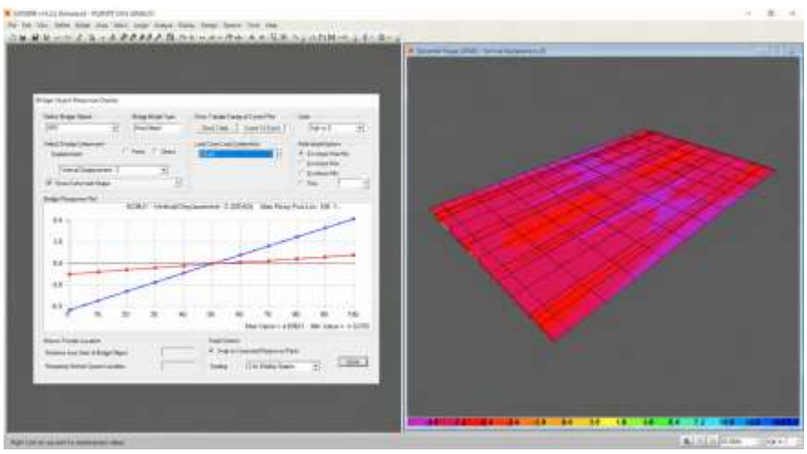


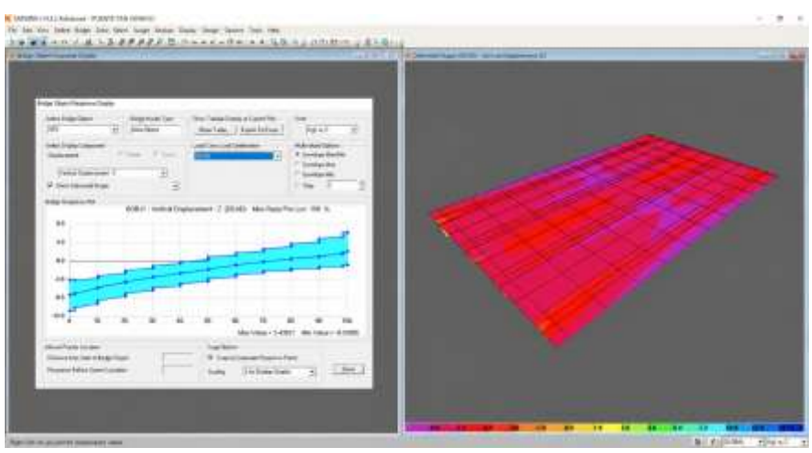
**Diagrama de momentos por carga viva más impacto [kN·m]**

### 14.1.1. Diseño a cortante

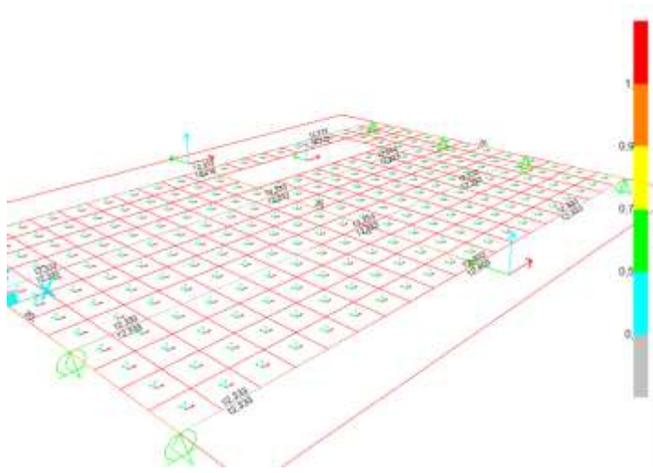
En la siguiente figura se presentan las máximas fuerzas cortantes para los casos de carga y la combinación de diseño:



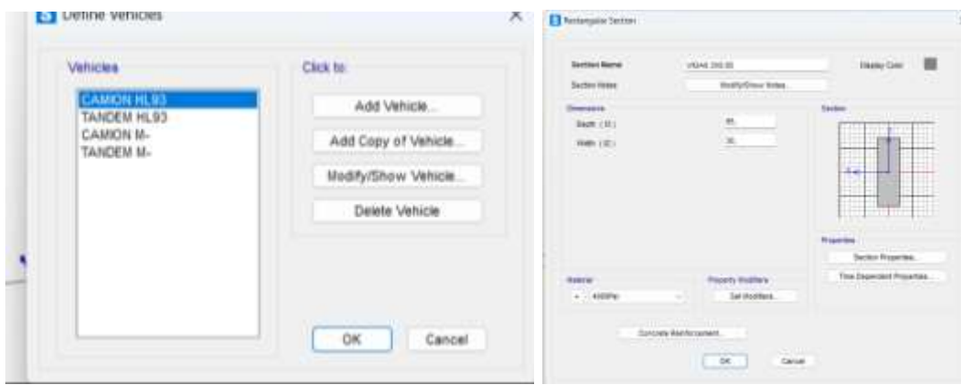




**Se utilizó un modelo matemático creado en el Programa Sap2000.**



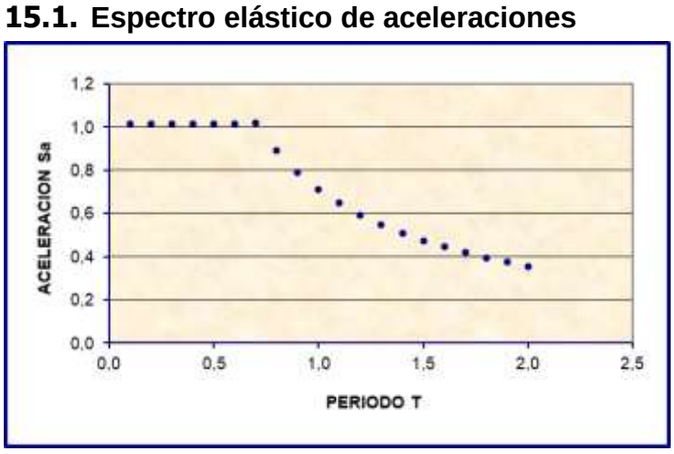
**Diseño**




**Definicion de vehiculos según CCP-14 y asignacion de seccion de viga principal.**

## 15. ESPECTRO DE CÁLCULO

### 15.1. Espectro elástico de aceleraciones




**Coef.Amplificación:**

NSR-10 (A.2.6.1)

**Parámetros necesarios para la definición del espectro**

**$A_a$**: Aceleración horizontal pico efectiva (NSR-10, A.2.2) — **$A_a$** : *0.25* g

**$A_v$**: Velocidad horizontal pico efectiva (NSR-10, A.2.2) — **$A_v$** : *0.25* g

**$F_a$**: Coeficiente de amplificación de la aceleración en zona de periodos cortos (NSR-10, Tabla A.2.4-3) — **$F_a$** : *1.30*

Tipo de perfil de suelo (NSR-10, A.2.4) — **Suelo** : *D*

**$A_a$**: Aceleración horizontal pico efectiva (NSR-10, A.2.2) **$A_a$** : *0.25* g

**$F_v$**: Coeficiente de amplificación de la aceleración en zona de periodos intermedios (NSR-10, Tabla A.2.4-4) **$F_v$** : *1.90*

Tipo de perfil de suelo (NSR-10, A.2.4) **Suelo** : *D*

**$A_v$**: Velocidad horizontal pico efectiva (NSR-10, A.2.2) **$A_v$** : *0.25* g

## 12. PLACA DE APROXIMACION

El diseño de la losa de aproximación se realiza conforme a los lineamientos de la Sección A.4.9 del CCP, considerando una losa maciza apoyada sobre el estribo y el terraplén, sometida a carga vehicular concentrada con efecto dinámico.

### 12.1 Materiales

- Concreto: f'c=210 kg/cm2
- Acero de refuerzo: fy=4200 kg/cm2
- Módulo de elasticidad: Ec=218820 kg/cm2
- Factor de reducción: ϕ=0.90

### 12.2 Geometría y parámetros de diseño

- Longitud de losa: L=3.00 m – 5 m
- Luz de cálculo: S=1.50 m
- Espesor: h=0.30 m
- Ancho de diseño: b=1.00 m
- Altura viga de borde: t=0.45 m
- Carga por llanta: P=7.50 t
- Impacto: I=0.30

### 12.3 Análisis estructural

La losa se modela como una franja de 1.0 m de ancho, simplemente apoyada, sometida a carga concentrada distribuida según criterios del CCP.

El momento máximo se estima mediante:

M=0.10*P*S
M=0.10*7.50*1.50=1.125 t·m/m

Aplicando factor de mayoración e impacto:

Mu=2.17*M*(1+I)
Mu=2.17*1.125*1.30=3.17 t·m/m

Para mantener la seguridad estructural se asume un valor de momento mayor al obtenido.

### 12.4 Diseño a flexión – refuerzo longitudinal

Datos:

- b=100 cm
- d=24 cm
- Mu=9.9 t·m

Parámetro:

k=Mu/bd2 = 0.0171

Cuantía: ρ=0.0048

Área de acero requerida:

As=11.54 cm2/m

- Barra #4 @ 0.20 m – doble parrilla

Asprov=2*1.27/0.20 = 12.7 cm2/m > As=11.54 cm2/m ✓ **Cumple**

Se adopta el refuerzo mostrado en planos por criterios de uniformidad constructiva, control de fisuración y experiencia en obras similares, siendo superior al mínimo requerido.

### 12.5 Refuerzo transversal (distribución)

Se adopta refuerzo equivalente al 35% del principal:

Ast=4.0 cm2/m

Refuerzo adoptado: doble parrilla #4 @ 20 cm

### 12.6 Verificación a cortante

Esfuerzo cortante aproximado:

$$Vu \approx \frac{P}{2} = 3.75\,t$$

Resistencia del concreto:

$$Vc = 0.53\sqrt{f'c} \cdot b \cdot d$$

$$Vc \approx 0.53 \cdot \sqrt{210} \cdot 100 \cdot 24 = 18.4\,t$$

$$\phi Vc = 0.90 \cdot 18.4 = 16.6\,t$$

**Vu < φVc = CUMPLE,** no requiere refuerzo a cortante.

### 12.7 Viga longitudinal de borde

Momento:

$$M = 0.10 \cdot P \cdot S = 1.125\, t \cdot m$$

$$Mu = 2.17 \cdot M = 2.44\, t \cdot m$$

(Se mantiene valor conservador de 4.1 t·m)

Área requerida:

**As=2.82 cm2**

Refuerzo adoptado: 2 barras #4 ✓ **Cumple**

## 13. DISEÑO CIMENTACION

El estribo corresponde a una estructura de contención en concreto reforzado que sirve de apoyo al tablero del puente y retiene el material de relleno de acceso.

Debido a las condiciones geotécnicas del sitio, caracterizadas por suelos aluviales con potencial colapsable, se adopta una **cimentación profunda mediante pilotes**, con el fin de garantizar la estabilidad y evitar asentamientos diferenciales.

Parámetros generales obtenidos del estudio de suelos:

| Parámetro | Símbolo | Valor | Unidad | Observaciones |
|---|---|---|---|---|
| Tipo de suelo | — | SM – GM | — | Arenas limosas y gravas limosas |
| Origen del suelo | — | Aluvial | — | Depósitos recientes |
| Estado de compacidad | — | Media a firme | — | Condición natural |
| Peso unitario | γ | 19.9 | kN/m³ | Valor representativo |
| Ángulo de fricción interna | φ | 32 | ° | Suelo granular |
| Cohesión | c | 0 | kPa | Se asume nula |
| Nivel freático | — | > 10.75 | m | No detectado en exploración |

| Parámetro | Símbolo | Valor | Unidad | Observaciones |
|---|---|---|---|---|
| Capacidad portante admisible | $q_a$dm | 240 – 475 | kPa | Según profundidad y estrato |
| Tipo de comportamiento | — | Colapsable | — | Sensible a la humedad |
| Resistencia por fricción lateral | — | 50 – 80 | kPa | Estimado para pilotes |
| Resistencia de punta | — | 2000 – 4000 | kPa | Estimado para pilotes |

El sistema estructural está conformado por:

- Fuste del estribo (muro)
- Viga cabezal (encepado)
- Pilotes de cimentación
- Sistema de drenaje posterior
- Losa de aproximación

## 13.1 PARÁMETROS DE DISEÑO

### 13.1.1 Materiales

Concreto: f′c=21 MPa
Acero de refuerzo: fy=420 MPa
Factor de reducción: ϕ=0.90

### 13.1.2 Geometría principal

- Altura total del estribo: 2.10 m
- Altura fuste: 1.25 m
- Ancho base (encepado): 1.20 m
- Espesor encepado: 0.85 m
- Apoyo de vigas (neopreno): 0.55 m
- Apoyo losa aproximación: 0.30 m

### 13.1.3 Cargas de diseño

- Carga vertical: aprox V=280 kN
- Carga horizontal: aprox H=60.6 kN
- Altura de aplicación: h=2.10 m

Momento en la base: M=H*h M=127.3 Kn.m

### 13.1.4 SISTEMA DE CIMENTACIÓN

Se adopta una cimentación profunda mediante:

- 5 pilotes
- Diámetro: 0.40 m
- Longitud: 7.0 m
- Separación: 1.28 m

## 13.2 ANÁLISIS DEL GRUPO DE PILOTES

### 13.2.1 Carga promedio

$$P_{avg} = \frac{V}{5} = 56\,kN$$

### 13.2.2 Distribución por momento

La distribución de cargas se calcula considerando la acción combinada de carga vertical y momento:

$$P_i = \frac{V}{n} \pm \frac{M \cdot x_i}{\sum x^2}$$

| PILOTE | CARGA (KN) |
|---|---|
| P1 | 36.1 |
| P2 | 46.1 |
| P3 | 56.0 |
| P4 | 65.9 |
| P5 | 75.9 |

### 13.2.3 5. Capacidad de los pilotes

<u>Área de punta:</u>

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

A= 0.126 m2

<u>Capacidad portante estimada</u>

- Considerando suelo granular:

Resistencia por punta ≈ 2000 kPa
Fricción lateral ≈ 60 kPa
Qadm≈250−300 kN

<u>Verificación</u>
Pmax= 75.9 Kn < Qadm **Cumple en compresión**

Pmin= 36.1 Kn > 0 **No hay traccion**

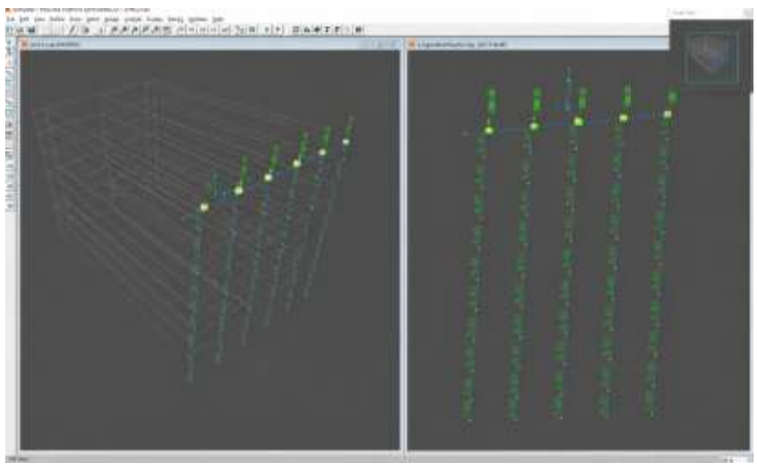
Carga lateral

Hi= H/5 = 12.1 kN Cumple

Longitud de apoyo mínima

De acuerdo con A.3.5.9

**Diseño de apoyo 1**



**Carga muerta**

$$N = (200 + 0.0017L + 0.0067H)(1 + 0.000125S^2) \quad (4.7.4.4\text{-}1)$$

donde:

$N$ = longitud mínima de apoyo medida perpendicularmente al eje del apoyo (mm)

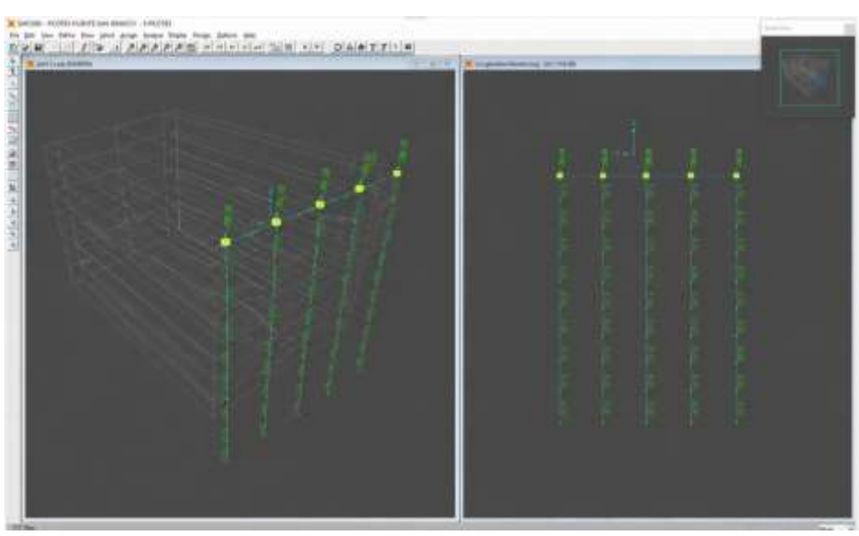
$L$ = longitud del tablero del puente hasta la junta de expansión adyacente, o hasta el final del tablero; para articulaciones dentro de una luz, $L$ debe ser la suma de las distancias a cada lado de la articulación; para puentes de una sola luz, $L$ es la longitud del tablero (mm)

$H$ = para estribos, altura promedio de las columnas que soportan el tablero del puente desde el estribo hasta la próxima junta de expansión (mm)

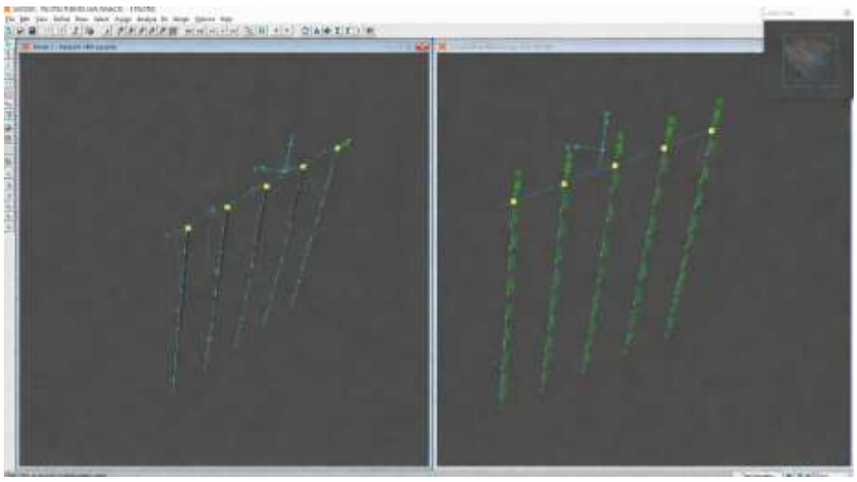
para columnas y/o pilas, altura de columna o de pila (mm)

para articulaciones dentro de una luz, altura promedio de las dos columnas o pilares adyacentes (mm)

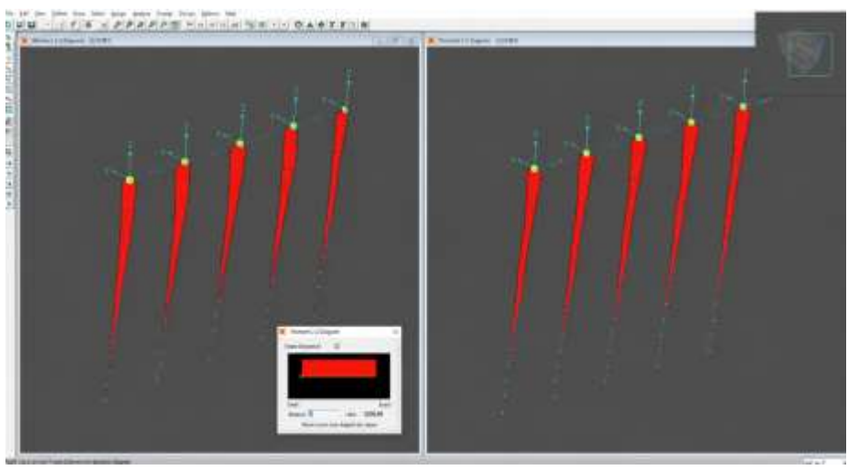
$S$ = esviaje del apoyo medido desde una línea perpendicular a la luz (grados)



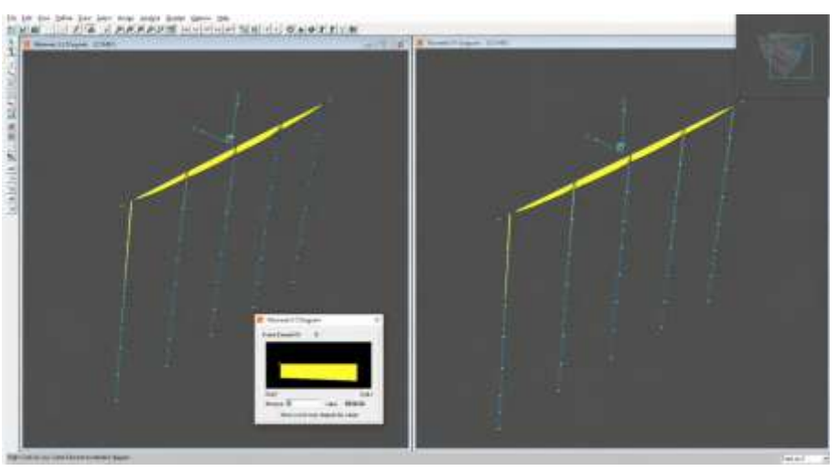
**Carga viva**



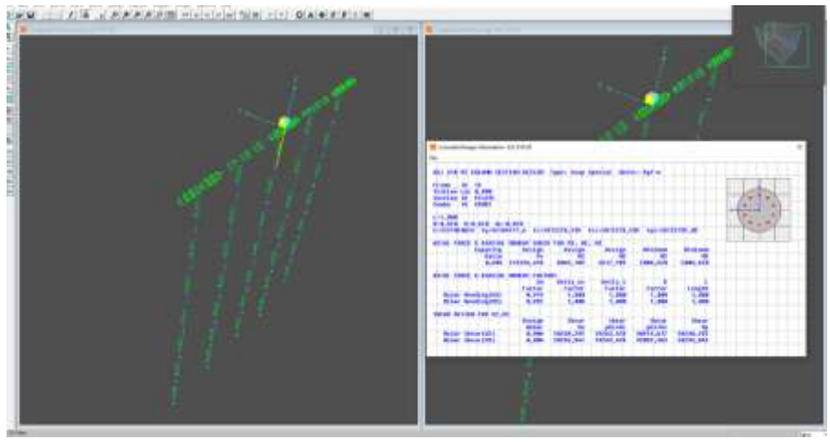
**Carga sismo**

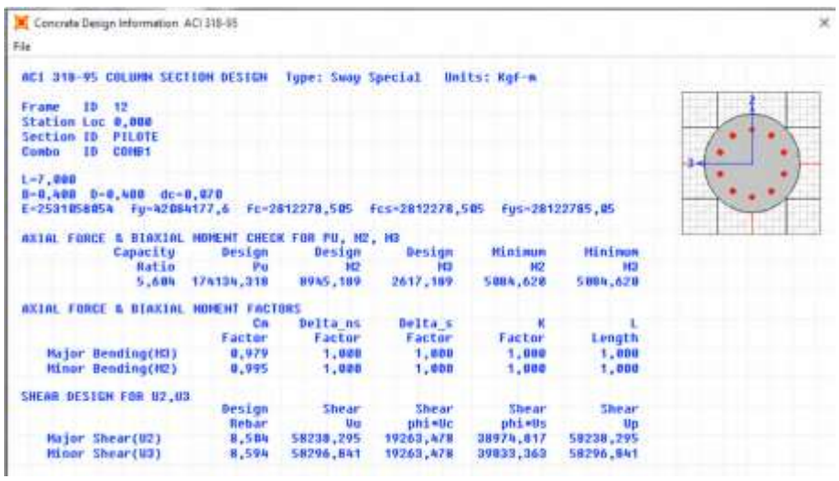


**Momento en direccion al puente**



**Momento en direccion transversal al puente**





Concrete Design Information ACI 318-95

File

```
ACI 318-95 COLUMN SECTION DESIGN   Type: Sway Special   Units: Kgf-m

Frame   ID  12
Station Loc 0,000
Section ID  PILOTE
Combo   ID  COMB1

L=7,000
B=0,400  D=0,400  dc=0,070
E=2531058054  Fy=42084177,6  Fc=2812278,505  Fcs=2812278,505  Fys=28122785,05

AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT CHECK FOR PU, M2, M3
            Capacity      Design      Design      Design     Minimum     Minimum
               Ratio          Pu          M2          M3          M2          M3
               5,604   174134,318    8945,189    2617,189    5084,620    5084,620

AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT FACTORS
                              Cm    Delta_ns    Delta_s           K           L
                          Factor      Factor     Factor      Factor      Length
   Major Bending(M3)       0,979       1,000      1,000       1,000       1,000
   Minor Bending(M2)       0,995       1,000      1,000       1,000       1,000

SHEAR DESIGN FOR U2,U3
                          Design       Shear      Shear       Shear       Shear
                           Rebar          Vu    phi*Vc     phi*Vs          Vp
   Major Shear(U2)         8,584   58238,295  19263,478   38974,817   58238,295
   Minor Shear(U3)         8,594   58296,841  19263,478   39033,363   58296,841
```



**Revision Cortante**

## 14. DISEÑO VIGA-LOSA

### 14.1 DATOS GENERALES

- Luz de la viga:

L=10.00 mL

- Sección:

b=0.30 m; h=0.95 m

- Altura útil:

d≈0.90 m

- Concreto:

f'c=28 MPa

- Acero:

fy=420 MPa

Factor de reducción:

ϕ=0.90

### 14.2 CARGAS POR PESO PROPIO

<u>Losa:</u>

$$w_{losa} = 7.30 \times 0.25 \times 24 = 43.8\, kN/m$$

Carga por viga (4 vigas):

$$= 43.8/4 = 10.95\, kN/m$$

VIGA

$$w_{viga} = 0.30 \times 0.95 \times 24 = 6.84\, kN/m$$

Carpeta + bordillos + andén + barandas = APROX 26 KN/m

$$= 26/4 = 6.5\, kN/m$$

TOTAL CARGA MUERTA

$$w_{pp} = 10.95 + 6.84 + 6.5 = 24.3\, kN/m$$

## 14.3 MOMENTO POR PESO PROPIO

Se consideran:

- Losa de concreto
- Peso propio de la viga
- Carpeta asfáltica
- Andenes
- Diafragmas

Momento:

$$M_{pp} = \frac{wL^2}{8}$$

$$M_D = \frac{26 \cdot (10)^2}{8} = 325\, kN \cdot m$$

## 14.4 CARGA VIVA (LL)

Tomando HL-93 del modelo estructural

$$M_{LL} = 140\, kN \cdot m$$

Impacto

$$IM = 33\%$$

$$M_{IM} = 1.33 \cdot M_{LL} = 1.33 \cdot 140 = 186\, kN \cdot m$$

## 14.5 MOMENTO TOTAL FACTORIZADO

Combinación:

$$1.25D + 1.50DW + 1.75LL$$

Aproximando:

$$M_u = 1.25M_D + 1.75M_{LL+IM}$$

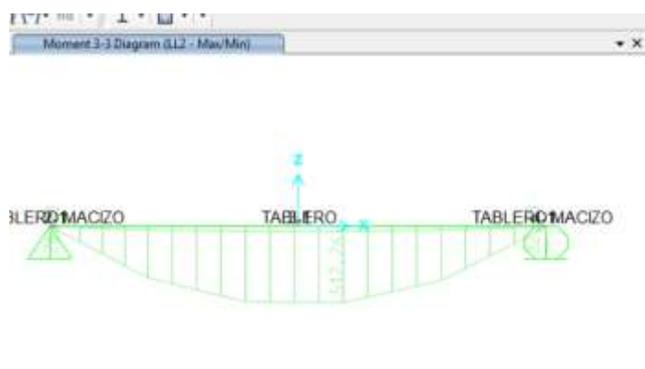
$$M_u = 1.25(325) + 1.75(186)$$

$$M_u = 406 + 325 = 731\,kN \cdot m$$

El momento máximo de diseño se obtuvo a partir del modelo estructural desarrollado en SAP2000, considerando las combinaciones de carga definidas según la normativa aplicable.

El valor máximo de momento flector en la viga principal se presenta en la mitad del vano, con un valor de: Mu=512 kN·m

Este valor corresponde a la envolvente de combinaciones, por lo cual ya incluye los factores de mayoración.




## 14.6 DISEÑO A FLEXIÓN

Se utiliza:

$$M_n = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

Acero requerido

$$A_s \approx 31.7\,cm^2$$

$$\phi M_n = 777\,kN \cdot m > 512\,kN \cdot m$$

**Acero adoptado**

8 barras #7

As=31.7 cm2 **CUMPLE**

## 14.7 VERIFICACIÓN DE EJE NEUTRO

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{31.7}{30 \cdot 90} = 0.0117$$

$$\rho < \rho_{bal}$$

$$\frac{a}{d} = 0.24 < 0.85$$

Cumple ductilidad

## 14.8 VERIFICACIÓN POR CORTE

Cortante máximo:

$$V = \frac{wL}{2}$$

Tomando:

- $M_u = 512\,kN \cdot m$

$$V_u \approx \frac{4M}{L}$$

$$V_u = \frac{4 \times 512}{10} = 205\,kN$$

Resistencia del concreto:

$$f'c = 28\,MPa$$

$$\sqrt{28} = 5.29$$

$$V_c = 0.17 \times 5.29 \times 0.30 \times 0.90$$

$$V_c \approx 0.243\,MN = 243\,kN$$

Vu < φVc → Cumple (Se dejan estribos por norma)

Resistencia de diseño:

$$\phi = 0.75$$

$$\phi V_c = 0.75 \times 243 = 182\,kN$$

Diseño de estribos:

$$V_s = V_u - \phi V_c$$

$$V_s = 205 - 182 = 23\,kN$$

Acero de corte requerido:

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s}$$

Para estribos Ø3/8:

$$A_v = 2 \times 0.71 = 1.42\,cm^2$$

$$s = \frac{A_v f_y d}{V_s}$$

$$s = \frac{1.42 \times 420 \times 90}{23000}$$

$$s \approx 2.3\, m$$

El cortante último en la viga se estimó a partir del momento máximo obtenido del modelo estructural, obteniéndose 205 Kn, la resistencia del concreto se calculó mediante Vc= 243 Kn, y aplicando el factor de reducción ϕVc=182Kn dado que Vu>ϕVc. Se requiere refuerzo a cortante. El refuerzo calculado resulta mínimo, por lo que se adopta:

**Refuerzo adoptado:**

Ø3/8 @ 15 cm (apoyos)

Ø3/8 @ 20 cm (centro)

## 14.9 VERIFICACIÓN A FATIGA (SERVICIO)

- **Datos adoptados**
- fc′=28 MPa
- $f_r = 0.62\sqrt{f'_c} = 0.62\sqrt{28} = 3.28\, MPa$
- fy=420 MPa
- Es=200,000 MPa
- Sección: b=0.30 m, h=0.95 m, d≈0.90 m
- Acero: As=31.7 cm2=3170 mm2

Momento de servicio: Se toma como referencia el momento máximo del modelo:

Mserv≈512 kN·m

Esfuerzo en el acero:

$$f_s \approx \frac{M}{A_s z}$$

Tomando z≈0.9d≈0.81 m=810 mm

$$f_s = \frac{512 \times 10^6}{3170 \times 810} \approx 200\, MPa$$

Note: El esfuerzo en el acero bajo cargas de servicio se mantiene dentro de rangos admisibles, garantizando un adecuado comportamiento frente a fatiga. La sección presenta suficiente capacidad para soportar cargas repetitivas propias del tránsito vehicular.

**CUMPLE**

## 14.10 VERIFICACIÓN DE AGRIETAMIENTO

Relación modular

$$n = \frac{E_s}{E_c} \approx \frac{200{,}000}{4700\sqrt{28}} \approx 8.0$$

Momento de agrietamiento:

$$M_{cr} = f_r \, \frac{I_g}{y_t}$$

Con:

$$I_g = \frac{bh^3}{12} = \frac{0.30 \cdot 0.95^3}{12} \approx 0.021\, m^4$$
$$y_t = h/2 = 0.475\, m$$

$$M_{cr} = 3.28 \times \frac{0.021}{0.475} \approx 145\, kN \cdot m$$

Comparación:

$$M_{serv} = 512\, kN \cdot m > M_{cr}$$

Control de fisuración:

Parámetros de control:

- Cuantía:

$$\rho = \frac{31.7}{30 \times 90} = 0.0117$$

Nota: La sección presenta fisuración controlada bajo condiciones de servicio. La cuantía de acero, separación de barras y recubrimiento garantizan que el ancho de fisura se mantenga dentro de los límites permisibles, asegurando durabilidad y buen comportamiento estructural.

## 14.11 Verificación de capacidad resistente

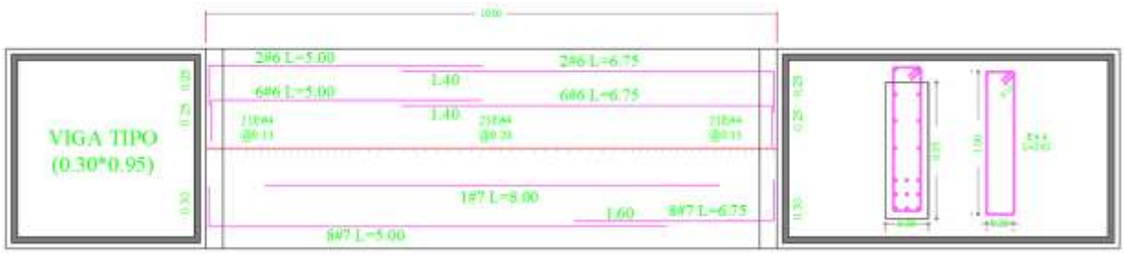
$$M_n = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$M_n = 31.7 \times 420 \times (0.90 - 0.25)$$

$$M_n \approx 8640\, kN \cdot cm = 864\, kN \cdot m$$

$$\phi M_n = 0.90 \times 864 = 777\, kN \cdot m$$

$\phi M_n = 777\, kN \cdot m \; > \; M_u = 512\, kN \cdot m$ CUMPLE




## 15. DISEÑO DEL ESTRIBO

### 15.1 Datos generales

- Altura total del estribo: H ≈ 2.10 m
- Ancho de zapata/encepado: B = 0.96 m
- Espesor encepado: h = 0.85 m
- Concreto: f'c = 28 MPa (estribo/encepado)
- Acero: fy = 420 MPa
- Peso específico del suelo: γ ≈ 18 kN/m³
- Ángulo de fricción: φ ≈ 28° (ajusta con tu estudio)

### 15.2 Empuje de tierras (activo)

Coeficiente de empuje activo:

$$K_a = \frac{1 - \sin\varphi}{1 + \sin\varphi} \approx 0.36$$

Empuje resultante:

$$P_a = \frac{1}{2} K_a \gamma H^2 = 0.5(0.36)(18)(2.10)^2 \approx 14.3\, kN/m$$

Actúa a H/3 desde la base.

### 15.3 Cargas verticales (por metro)

Peso propio estribo + encepado (aprox): 280kN/m

### 15.4 Verificación de volteo

Momento desestabilizante:

$$M_v = P_a \cdot \frac{H}{3} \approx 14.3 \cdot 0.70 = 10.0\, kN \cdot m$$

Momento estabilizante (por peso):

$$M_r = W \cdot \frac{B}{2} \approx 280 \cdot 0.48 = 134.4\,kN \cdot m$$

$$FS_{volteo} = \frac{M_r}{M_v} \approx 13.4\,(> 1.5)$$

CUMPLE

### 15.5 Verificación de deslizamiento

Resistencia por fricción:

$$R = \mu W \quad (\mu \approx 0.5) \Rightarrow R \approx 140\,kN/m$$

$$FS_{desl} = \frac{R}{P_a} \approx \frac{140}{14.3} \approx 9.8\ (> 1.5)$$

CUMPLE

### 15.6 Presiones en la base

Excentricidad:

$$e = \frac{M_v}{W} \approx \frac{10.0}{280} = 0.036\,m$$

$$\frac{B}{6} = 0.16\,m \quad \Rightarrow e < B/6$$

CUMPLE

Presiones:

$$q_{max,min} = \frac{W}{B}\left(1 \pm \frac{6e}{B}\right)$$

$$q_{prom} = \frac{280}{0.96} \approx 292\,kPa$$

$$q_{max} \approx 357\,kPa \quad ; \quad q_{min} \approx 227\,kPa$$

### 15.7 Diseño del fuste (muro)

$$M = P_a \cdot \frac{H}{3} \approx 10.0\,kN \cdot m/m$$

Acero requerido (aprox):

$$A_s \approx 8\text{–}9\,cm^2/m$$

**Refuerzo adoptado**

Vertical: **Ø12 mm @ 15 cm**

Horizontal: **Ø10 mm @ 20 cm**

## 15.8 Encepado (viga cabezal)

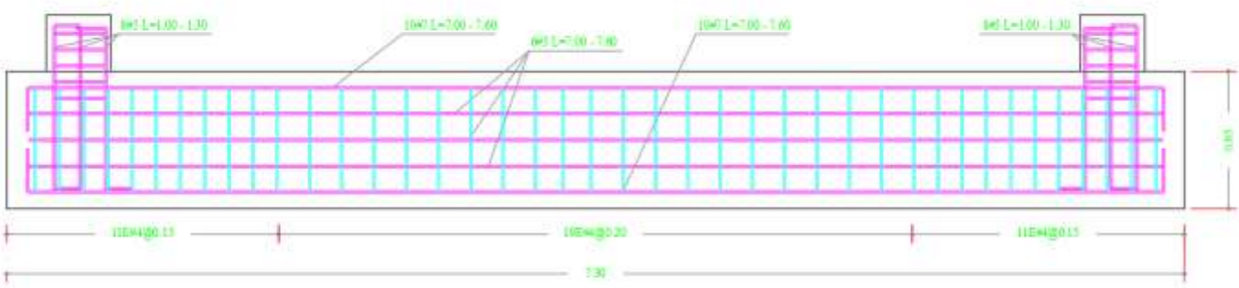
Trabaja como viga sobre pilotes (modelo de viga continua).

- Momento (aprox.):

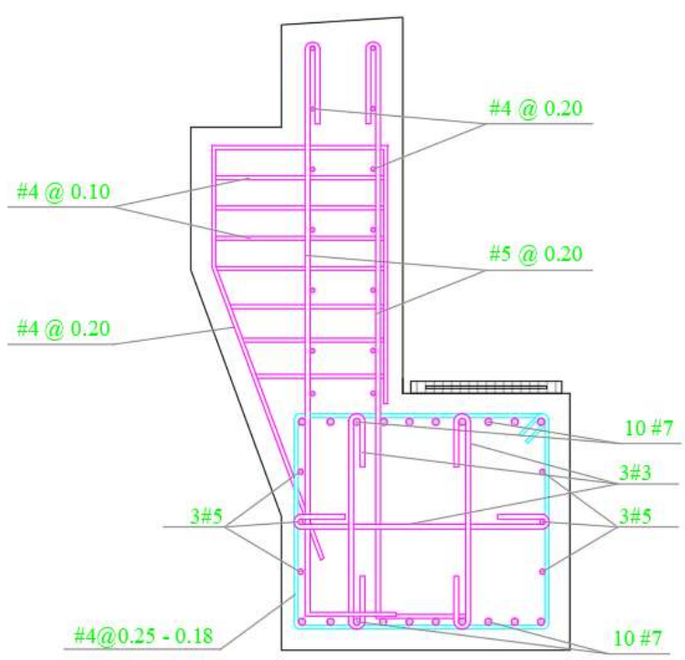
$$M_u \approx 60\text{–}80\, kN \cdot m$$

**Refuerzo**

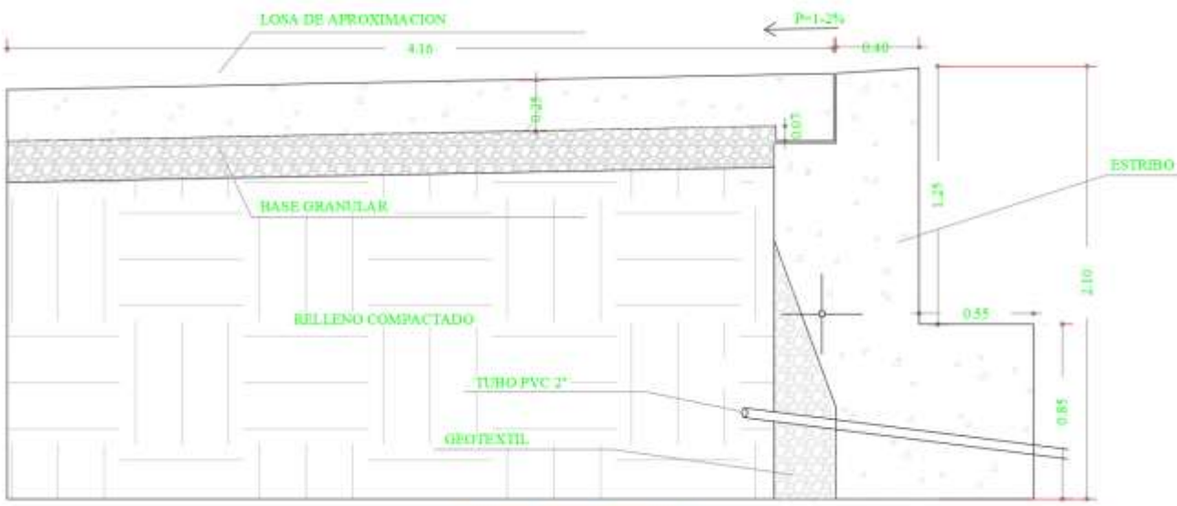
- Inferior: 6 Ø16 mm
- Superior: 4 Ø16 mm
- Estribos: Ø10 mm @ 15 cm



VIGA CABEZAL DE ESTRIBO
ESC 1:20




DESPIECE ESTRIBO
ESC 1:20




CORTE ESTRUCTURAL ESTRIBO
ESC 1:20

## 16. ANCLAJE DE PILOTES

### 16.2 Datos

- Número de pilotes: 5
- Diámetro: 0.40 m
- Longitud: 7.0 m
- Separación: ≈ 1.25–1.30 m
- Concreto: f'c = 28 MPa
- Acero: fy = 420 MPa

### 16.3 Carga por pilote

Carga total (por estribo):

$$Q_{total} \approx 280\,kN$$

$$Q_{pilote} = \frac{280}{5} = 56\,kN$$

### 16.4 Capacidad portante

Punta

$$Q_p \approx 200\,kN$$

Fricción

$$Q_f \approx 150\,kN$$

$$Q_{ult} \approx 350\,kN$$

$$Q_{adm} = \frac{350}{2.5} \approx 140\,kN$$

Verificación= 56<140 **CUMPLE**

## 16.5 Diseño estructural del pilote

Área:

$$A = 0.1256\, m^2$$

Esfuerzo:

$$\sigma = \frac{56}{0.1256} \approx 446\, kPa$$

Estructuralmente Seguro.

## 16.6 Refuerzo del pilote

Longitudinal

6 barras Ø16 mm
Estribos (espiral o anillos)

- Ø8 mm @ 20 cm
- En cabeza: @10 cm

## 16.7 Conexión pilote–encepado:

Empotramiento: **40 cm dentro del encepado**
Ganchos: 90° con longitud ≥ 12ϕ
Verificación de punzonamiento: Con h = 0.85 m

## 16.8 Verificación de punzonamiento

Perímetro crítico:

$$u = \pi D = 1.26\, m$$

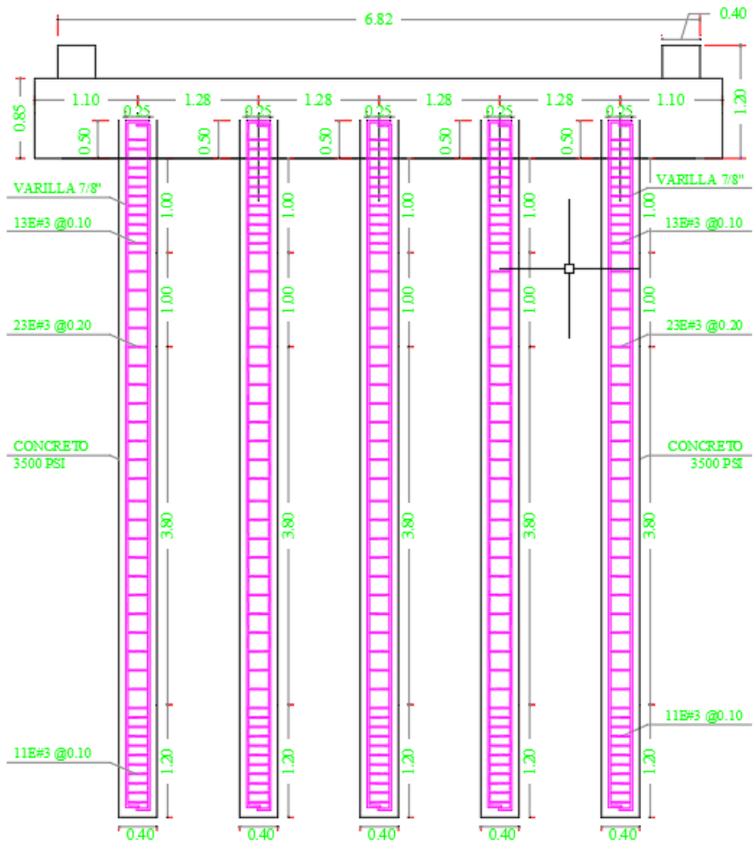
Carga crítica:

$$V = 65\, kN$$

Resistencia:

$$V_c >> V$$

**NO hay punzonamiento**




DETALLE ESTRUCTURAL PILOTES
ESC 1:50

## 17. CONCLUSIONES

Del análisis estructural y geotécnico realizado para el puente, se concluye lo siguiente:

El sistema estructural adoptado, compuesto por estribos en concreto reforzado apoyados sobre pilotes y vigas principales en concreto, es adecuado para las condiciones del sitio y garantiza un comportamiento seguro frente a las cargas actuantes.

La solución de cimentación profunda mediante pilotes resulta apropiada, considerando la presencia de suelos de origen aluvial con características potencialmente colapsables, permitiendo transferir las cargas hacia estratos más competentes.

El diseño de las vigas principales cumple con los requisitos de resistencia a flexión y corte, así como con los criterios de servicio, incluyendo control de fisuración y verificación por fatiga.

El refuerzo longitudinal y transversal adoptado en las vigas permite una adecuada distribución de esfuerzos, garantizando un comportamiento dúctil y seguro ante solicitaciones extremas.

El sistema de drenaje propuesto en los estribos contribuye a la estabilidad del relleno, evitando la acumulación de agua y reduciendo el riesgo de pérdida de capacidad del suelo.

Las verificaciones estructurales realizadas indican que todos los elementos cumplen con los factores de seguridad exigidos por la normativa vigente.

En general, el diseño estructural propuesto es funcional, seguro y constructivamente viable para las condiciones del proyecto.

## 18. PROCESO CONSTRUCTIVO

El proceso constructivo del puente deberá desarrollarse siguiendo una secuencia lógica que garantice la estabilidad de la estructura y la calidad de los materiales empleados:

### 18.1 Preparación del terreno

- Limpieza y desmonte del área de trabajo.
- Nivelación y replanteo topográfico de los ejes del puente.

### 18.2 Ejecución de pilotes

- Perforación hasta la profundidad de diseño (≈ 7.0 m).
- Limpieza del fondo del pilote.
- Colocación de la canasta de refuerzo.
- Vaciado del concreto mediante método adecuado (tremie si aplica).

### 18.3 Construcción del encepado (viga cabezal)

- Excavación hasta la cota de fundación.
- Colocación de formaleta.
- Instalación del acero de refuerzo, incluyendo anclaje de pilotes.
- Vaciado y curado del concreto.

### 18.4 Construcción del estribo

- Armado del refuerzo del fuste.
- Colocación de formaletas.
- Vaciado del concreto.

- Curado adecuado para garantizar resistencia.

### 18.5 Sistema de drenaje

- Colocación de material granular filtrante.
- Instalación de geotextil.
- Ubicación de tubería drenante.

### 18.6 Relleno y compactación

- Relleno por capas controladas.
- Compactación al menos al 95% Proctor.

### 18.7 Construcción de vigas

- Instalación de formaletas y cimbras.
- Colocación del refuerzo longitudinal y transversal.
- Vaciado del concreto.
- Curado estructural.

### 18.8 Losa de aproximación

- Preparación de la base granular.
- Colocación de refuerzo.
- Vaciado del concreto con pendiente adecuada.

### 18.9 Acabados y puesta en servicio

- Instalación de apoyos (neoprenos).
- Colocación de carpeta de rodadura.
- Señalización y limpieza final.

## 19. RECOMENDACIONES

Con el fin de garantizar el adecuado desempeño de la estructura durante su vida útil, se establecen las siguientes recomendaciones:

**Durante la construcción**

- Garantizar el cumplimiento de las especificaciones de los materiales, especialmente resistencia del concreto y calidad del acero.

- Verificar el correcto posicionamiento del refuerzo antes del vaciado.
- Controlar la compactación del relleno detrás del estribo.
- Asegurar la correcta ejecución del sistema de drenaje.

**Control de calidad**

- Realizar ensayos de resistencia del concreto.
- Verificar alineación y verticalidad de pilotes.
- Inspeccionar recubrimientos y anclajes del acero.

**Operación y mantenimiento**

- Mantener libres los sistemas de drenaje.
- Evitar acumulación de agua en la zona del estribo.
- Realizar inspecciones periódicas para detectar fisuras o asentamientos.

**Consideraciones estructurales**

- No modificar la estructura sin análisis previo.
- Evitar sobrecargas no contempladas en el diseño.
- Garantizar que futuras intervenciones respeten el sistema estructural existente.

## 20. DOCUMENTOS DE REFERENCIA

Los entes reguladores, especificaciones y guías citadas, así como sus anexos y actualizaciones, forman parte de estos criterios de diseño con el alcance indicado donde se referencian.
Todos los diseños de ingeniería civil deberán estar dentro de los parámetros de las normas, estándares y especificaciones mencionados en este numeral. Deberá usarse la última revisión de éstas.

## 21. NORMAS

### NORMAS Y REFERENCIAS APLICADAS

Para el desarrollo del presente diseño estructural y geotécnico del puente, se tuvieron en cuenta las siguientes normas, especificaciones técnicas y documentos de referencia:

1. **Normativa estructural**

**American Concrete Institute (ACI)**
ACI 318-19: *Building Code Requirements for Structural Concrete*
Utilizado para el diseño de elementos en concreto reforzado, incluyendo verificación a flexión, corte, desarrollo de acero y control de fisuración.

2. **Normativa de puentes**

**AASHTO**

AASHTO LRFD Bridge Design Specifications
Aplicado para la definición de cargas vehiculares, factores de impacto, combinaciones de carga y criterios de diseño estructural en puentes.

3. **Normativa nacional (Colombia)**

**Instituto Nacional de Vías (INVÍAS)**
Manual de Diseño de Puentes
Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras
Utilizado como guía principal para el diseño geométrico, estructural y constructivo del puente, así como para los criterios de cimentación, drenaje y detalles constructivos.

4. **Normativa sísmica**

**Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio**
NSR-10 (Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente)
Considerado para los parámetros sísmicos y criterios de diseño estructural aplicables.

**CALCULÓ**

**LADY D. MORANTES JAIME**
**MAGISTER EN ESTRUCTURAS**
**TP # 68202-303573 STD**