

**TABLA DE CONTENIDO**

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>2</b>
<b>2. CONCEPCION DEL DISEÑO DE PUENTES.....</b>	<b>2</b>
<b>3. FUNDAMENTOS .....</b>	<b>2</b>
<b>4. TIPOLOGIAS DE PUENTES.....</b>	<b>2</b>
<b>5. MATERIALES.....</b>	<b>2</b>
<b>6. CARGAS Y FACTORES DE CARGA .....</b>	<b>2</b>
<b>7. PUENTE DE UNA LUZ DE VIGA Y LOSA EN CONCRETO REFORZADO .....</b>	<b>2</b>
<b>8. PUENTES DE DOS LUCES DE VIGA Y LOSA EN CONCRETO PREEFORZADO.</b>	<b>2</b>
<b>9. PUENTE EN VIGA CAJON DE UNA SOLA LUZ.....</b>	<b>2</b>
<b>9.1. TABLERO DE VIGA CAJON.....</b>	<b>3</b>
9.1.1    Materiales .....	3
9.1.2    Predimensionamiento .....	4
9.1.3    Evaluación de cargas .....	5
9.1.4    Modelo estructural.....	9
9.1.5    Diagramas de tensionamiento.....	11
9.1.6    Diseño a flexión.....	15
9.1.7    Diseño a cortante y torsión.....	21
9.1.8    Revisión de las almas .....	29
<b>10. REFERENCIAS.....</b>	<b>29</b>
<b>4 BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>





---

## ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla 3-1 Momento resistente para diferentes áreas de acero..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Tabla 4-1. Resultados de ensayo de módulo de corte sobre muestras de goma tipo CR. Fuente: tomado de Laboratorio Prove Materiali, Politecnico di Milano (2008). ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Tabla 5-1. Características del concreto por clase. Fuente: CCP-14 [1]..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Tabla 5-2.. Denominaciones del acero de refuerzo ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Tabla 4-1. Peso unitario de los materiales. Fuente: CCP-14 [1] ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Tabla 4-2.. Factores de presencia múltiple de la carga viva. Fuente: CCP-14 [1];**¡Error! Marcador no definido.**
- Tabla 4-3. Amplificación por carga dinámica. Fuente: CCP-14 [1] ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Tabla 4-4.. Combinaciones de carga. Fuente: CCP-14 [1]..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Tabla 4-5. Factores para carga permanente. Fuente: CCP-14 [1] ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Tabla 6-1. Resumen de los resultados de factores de reducción para viga interior y exterior. Nota: Los factores de presencia múltiple aplican solamente a los calculados por el método de la palanca. .... **¡Error! Marcador no definido.**
- Tabla 6-2. Solicitaciones máximas de carga muerta(DC) mediante la evaluación manual y modelo estructural. El cortante está determinado al eje de la viga. .... **¡Error! Marcador no definido.**
- Tabla 6-3.: Solicitaciones máxima de carga muerta(DC) mediante la evaluación manual y modelo estructural. El cortante está determinado al eje de la viga. .... **¡Error! Marcador no definido.**
- Tabla 6-4. Solicitaciones máxima de carga viva mediante la evaluación manual y modelo estructural. El cortante está determinado al eje de la viga..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Tabla 6-5. Solicitaciones mayoradas mediante la evaluación manual y modelo estructural. El cortante está determinado al eje de la viga..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Tabla 6-6.: Momento de agrietamiento por evaluación manual..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Tabla 6-7.: Recubrimientos para las armaduras principales no protegidas. **¡Error! Marcador no definido.**
- Tabla 6-8.: Determinación del refuerzo a flexión cada 2 m y en el centro de la luz;**¡Error! Marcador no definido.**
- Tabla 6-9.: Determinación del refuerzo a flexión cada 2 m y en el centro de la luz;**¡Error! Marcador no definido.**
- Tabla 6-10. Determinación del refuerzo a flexión cada 2 m y en el centro de la luz (ajustando el número de barras en las abscisas que no cumplan)..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Tabla 6-11.: Cortantes a una distancia crítica por el método manual y modelo estructural..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Tabla 6-12. Refuerzo necesario a cortante cada 2 metros ..... **¡Error! Marcador no definido.**

---

Tabla 6-13. Longitudes de desarrollo de barras a tracción.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 6-14. Longitudes de desarrollo de barras a compresión .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 6-15. Condiciones para el empalme .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 6-16. Cantidades de obra de una viga (sin incluir refuerzo de losa) .	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 7-1.. Coeficiente de balastro.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 7-2. Propiedades mecánicas de los torones que hace parte de los cables. Fuente: CCP-14 [1]	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 7-3. Información de los cables .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 7-4.. Esfuerzos admisibles en el cable. Fuente: CCP-14 [1] .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 7-5. Fuerza en el gato y en centro de la luz de cada cable teniendo en cuenta solamente perdidas por fricción y curvatura .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 7-6. Valores del factor del sitio (Fpga). Fuente: CCP-14 [1] .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 7-7.. Valores del factor del sitio (Fa). Fuente: CCP-14 [1] .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 7-8.. Valores del factor del sitio (Fv). Fuente: CCP-14 [1].....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 7-9.. Zonas de desempeño sísmico Fuente: CCP-14 [1] .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 7-10. Factores de modificación de respuesta Fuente: CCP-14 [1] ....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 7-11.. Participación modal de masa – 90 modos de vibración Fuente: Fuente: CCSIBRIDGE [4] .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 7-12.. Cuadro con la determinación de cada fuerza y momento proporcionado por el acero y el concreto para el punto balanceado .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 7-13. Diseño inicial flexión de viga cabezal .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 7-14. Fuerzas en pilotes por combinación de carga 1 .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 7-15. Fuerzas en pilotes por combinación de carga 2 .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 7-16. Fuerzas en pilotes por combinación de carga 3 .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 7-17.. Fuerzas en pilotes por combinación de carga 4 .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 7-18. Propiedades de un aislador elastómero. Fuente: FIP INDUSTRIALE [25];	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 7-19. Propiedades mecánicas para análisis y diseño de apoyos elastoméricos de bajo amortiguamiento. (Fuente: Naeim et al. [17]).	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 7-20.. Participación modal de masa – 90 modos de vibración Fuente: Fuente: CCSIBRIDGE [4] .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 7-21. Comparación en el diseño de la pila sin y con aisladores sísmicos;	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 7-22. Tipo de cargas usadas.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

---

Tabla 8-1. Resultados de momentos máximos de carga muerta y viva basados en modelo estructural y análisis manual .....	11
Tabla 8-2. . Definición de las características de los ocho cables por alma .....	11
Tabla 8-3. Combinaciones de carga – Servicio I y III.....	16
Tabla 8-4. . Determinación del $d'$ del grupo de cables en el centro de la luz.....	19
Tabla 8-5. . Secciones de estudio .....	22
Tabla 8-6. Fuerzas efectivas de cada cable en cada sección de estudio(kN).....	24
Tabla 8-7. . Coordenadas en “y” en cada cable en cada sección de estudio (m).....	25
Tabla 8-8. . Esfuerzos efectivos en cada sección (Mpa) .....	25
Tabla 8-9. . Resumen de esfuerzos efectivos en cada sección (Mpa) .....	26
Tabla 8-10. . Distancias efectivas “ $d_p$ ” y “ $d_v$ ” en cada sección.....	26
Tabla 8-11. . Fuerzas internas en cada sección ( $v_d, v_i, M_{max}$ ) .....	28
Tabla 8-12. . Momentos de agrietamiento en cada sección.....	28
Tabla 8-13. . Separación necesaria en cada sección.....	29

---

## ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 3-1. Caso del concreto no agrietado. Fuente: Propia. .... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 3-2 Caso del concreto agrietado. Nota: Las propiedades son de sección transformada ( $I_t$ ,  $S_t$ , etc). “ $n$ ” es la relación entre el módulo de elasticidad del acero y del concreto. Fuente: Propia. **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 3-3. Fisuras de flexión de una viga simplemente apoyada. Fuente: Propia. **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 3-4. Caso del concreto en resistencia última. Fuente: Propia. .... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 3-5. Fisuras de flexión en la zona de tensión y de aplastamiento en la zona de compresión de una viga simplemente apoyada. Fuente: Propia. .... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 3-6. Parte en detalladle las fisuras de flexión en la zona de tensión y de aplastamiento en la zona de compresión de una viga simplemente apoyada mostrada en la Figura 3 - 1. Fuente: Nawy (1998) [42] ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 3-7. Diagrama momento vs curvatura. Fuente: McCormac et al (2009) **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**[41] ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 3-8. Viga normal y viga transformada. Fuente: Adaptada de McCormac et al (2009) **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**[41] ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 3-9 Determinación de los esfuerzos elásticos de flexión. Fuente: Propia. **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 3-10 Diagrama de deformaciones y fuerzas ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 3-11 (A) Entrepisos con vigas en forma de "T" y "L". (B) Viga en forma de "T" pero que trabaja como viga rectangular. (C) Elemento que trabaja como viga "T" ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 3-12 Grieta a cortante en viga principal de concreto reforzado, con un espesor mayor de 0,6 mm. Fuente: Muñoz [37]. ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 3-13. . Grieta a cortante en viga principal de concreto reforzado. Espesor de la grieta mayor a 0,6 mm. Regional Boyacá. Fuente: Muñoz [37]. ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 3-14. Esquema para identificación de grietas a flexión y cortante. Fuente: Muñoz [37]. ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 3-15 Flujograma de la evaluación de cortante de las vigas de concreto reforzado **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 3-16 Flujograma para la evaluación de cortante de las vigas de concreto preesforzado ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 3-17 Variables para evaluar cortante para viga de concreto reforzado y preesforzado ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 3-18 Viga postensada de puente en construcción. Fuente: Propia. .. **¡Error! Marcador no definido.**

- 
- Figura 3-19 Caso1: Viga simplemente apoyada de concreto simple y con una carga en el centro. Fuente: Propia. .... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 3-20 Esfuerzo en la viga simple sin pre esfuerzo. Fuente: Propia. ... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 3-21 Caso 2: Esfuerzo en la viga simple con pre-esfuerzo concéntrico. Fuente: Propia. .... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 3-22 Caso 3: Esfuerzo en la viga simple con pre esfuerzo excéntrico pero con el doble de la carga puntual. Fuente: Propia..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 3-23 Diagrama de deformaciones en el caso balanceado..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 4-1 Efecto de la aislación sísmica y disipación en pila de puente.Fuente: Galvis et.al [14].... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 4-2 de respuesta con aisladores.Fuente: Galvis et.al [14] ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 4-3 del periodo del suelo y la aislación sísmica. Fuente: Galvis et.al [14];**¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 4-4 Clasificación del aislamiento sísmico. Fuente: Galvis et.al [14];**¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 4-5 Apoyo de goma de alto amortiguamiento, puente Marga Marga Chile. Tomado de (Seismic Protection Technologies 2011). Fuente: Galvis et.al [14] ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 4-6 Apoyo de goma de alto amortiguamiento, puente Marga Marga Chile. Tomado de (Seismic Protection Technologies 2011). Fuente: Galvis et.al [14] ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 4-7 Puente Puertachuelo - Colombia Fuente: Galvis et.al [14]..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 4-8 Puente Portachuelo. Fuente: tomado de planos de construcción, cortesía Pedelta Colombia S.A.S. .... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 4-9. Esquema de apoyos en estribos. Fuente: tomado de planos de construcción, cortesía Pedelta Colombia S.A.S..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 4-10 Esquema de apoyos en pilas. Fuente: tomado de planos de construcción, cortesía Pedelta Colombia S.A.S..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 4-1 Camión de diseño. Fuente: CCP-14 [1]..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 6-1. Sección transversal del tablero. Berma externa de 1.94 m y la interna de 1 m. .... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 6-2. Geometría de la losa en voladizo con baranda y andén. .... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 6-3. Geometría de la losa en voladizo con barrera de tráfico..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 6-4. **Cargas y diagrama de momento por carga DC** ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 6-5.. **Diagrama de momento producto de la carga muerta (DW)**;**¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 6-6. **Hipótesis de carga viva (LL) - Un solo camión** ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 6-7. Envolvente de momentos por carga viva (LL) - Un solo camión y dos camiones** ..... **¡Error! Marcador no definido.**

- Figura 6-8. Geometría de voladizo..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 6-9 Localización de los camiones para la determinación del actor de distribución viga exterior (dos carriles cargados)..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 6-10 Localización de los camiones para la determinación del actor de distribución viga exterior (Un carril cargado) ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 6-11. Localización del camión de diseño para evaluar el momento máximo; **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 6-12. Definición “Bridge layout line data” del tablero del puente. Fuente: Referencia [4] .... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 6-13 (a) Apoyos. (b) Riostra. Fuente: Referencia [4] ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 6-14. Modelo estructural del tablero del puente en concreto reforzado. Fuente: Referencia [4] ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 6-15 Evaluación y asignación de la carga muerta de andén, baranda y barrera (DC). Fuente: Referencia [4]..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 6-16. Evaluación y asignación de la carga muerta de pavimento (DW). Fuente: Referencia [4] ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 6-17. Carga de diseño CC-14. Fuente: Referencia [4] ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 6-18. Condición de carga viva concéntrica. Fuente: Referencia [4] **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 6-19. .... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 6-20. Condición de carga viva excéntrica del lado del andén. Fuente: Referencia [4] ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 6-21. Condiciones de carga viva empleando el “Moving load” y la combinación de carga para generar una envolvente. Fuente: Referencia [4]..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 6-22. Combinación de carga – Resistencia 1. Fuente: Referencia [4]; **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 6-23 Diagrama de momento por combinación de carga mayorada : Resistencia 1. **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 6-24. **Sección transversal de viga T**..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 6-25 Factor de reducción de resistencia a flexión. Fuente: Adaptado de la Figura C.5.5.4.2.1-1 de la CCP-14 [2] ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 6-26. Refuerzo a flexión de la viga principal..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 6-27. Localización de la distancia crítica para evaluar cortante en la viga. **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 6-28. Envolvente aproximada de cortante producto del camión de diseño en movimiento sin incluir factor de distribución e impacto ..... **¡Error! Marcador no definido.**

---

Figura 6-29. **Despiece del refuerzo a flexión y cortante de la de viga. Sección transversal ..... ¡Error! Marcador no definido.**

Figura 6-30**Despiece del refuerzo a flexión y cortante de la de viga ..... ¡Error! Marcador no definido.**

Figura 6-31. Sección transversal losa - despiece y cantidades de obra ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura 6-32Planta superior de losa - despiece..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura 6-33 Planta inferior de losa - despiece..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura 7-1Perfil longitudinal del puente..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura 7-2Carta de diseño de la capacidad de carga última de pilotes con un diámetro de 1.5 metros.  
..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura 7-3Carta de diseño de la capacidad de carga última de pilotes con un diámetro de 2.0 metros.  
..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura 7-4 Sección transversal del tablero. Berma externa de 1.94 m y la interna de 1 m. .... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura 7-5. Geometría de la losa en voladizo con baranda y andén..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura 7-6 Geometría de la barrera de tráfico ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura 7-7 Geometría de sección simple y compuesta respectivamente en el centro de la luz..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura 7-8 Geometría de sección simple y compuesta respectivamente en bloque de anclaje ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura 7-9Propiedades de la sección simple y compuesta respectivamente **¡Error! Marcador no definido.**

Figura 7-10Propiedades de la sección simple y compuesta respectivamente en bloque de anclaje.... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura 7-11Modelo estructural del puente ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura 7-12Layout Line data y uno de los lane bridge..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura 7-13Materiales y secciones transversales de viga I, columna, viga cabezal y riostra..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura 7-14Definición tablero de puente..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura 7-15Definición pila del puente..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura 7-16 Definición del puente..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura 7-17 Geometría de los cables 1,2 y 3 - Primer tensionamiento ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura 7-18 Geometría de los cables 4 y 5 – Segundo tensionamiento..... **¡Error! Marcador no definido.**

**Figura 7-19 Diagrama de tensionamiento del cable 1 ..... ¡Error! Marcador no definido.**

**Figura 7-20Diagrama de tensionamiento del cable 2 ..... ¡Error! Marcador no definido.**

**Figura 7-21Diagrama de tensionamiento del cable 3 ..... ¡Error! Marcador no definido.**

- 
- Figura 7-22 Diagrama de tensionamiento del cable 4 ..... ¡Error! Marcador no definido.
- Figura 7-23 Diagrama de tensionamiento del cable 5 ..... ¡Error! Marcador no definido.
- Figura 7-24 Viga postensada construyéndose al lado de obra – puente en construcción de la autopista sur - Bogotá. Fuente: Propia ..... ¡Error! Marcador no definido.
- Figura 7-25 Etapa 1: Fotos de construcción de viga y primer tensionamiento. Fuente: Tomado de R. Fajardo [11] ..... ¡Error! Marcador no definido.
- Figura 7-26 Etapa 1: Valores/diagramas de los esfuerzos actuantes y deformados de las cuatro vigas por peso propio y primer tensionamiento ..... ¡Error! Marcador no definido.
- Figura 7-27 Etapa 1: Esfuerzos actuantes y admisibles a lo largo de las vigas ¡Error! Marcador no definido.
- Figura 7-28 Etapa 2: Fotos de construcción de riostras y losa. Fuente: Tomado de R. Fajardo [11] ..... ¡Error! Marcador no definido.
- Figura 7-29 Etapa 2: Valores/diagramas de los esfuerzos actuantes y deformados de la viga por la construcción de la losa y las riostras..... ¡Error! Marcador no definido.
- Figura 7-30 Etapa 2: Esfuerzos actuantes y admisibles a lo largo de las vigas ¡Error! Marcador no definido.
- Figura 7-31 Etapa 3: Fotos de segundo tensionamiento. Fuente: Tomado de R. Fajardo [11] ... ¡Error! Marcador no definido.
- Figura 7-32 Etapa 3: Valores/diagramas de los esfuerzos actuantes y deformados de la viga por el segundo tensionamiento ..... ¡Error! Marcador no definido.
- Figura 7-33 Etapa 3: Esfuerzos actuantes y admisibles a lo largo de las vigas ¡Error! Marcador no definido.
- Figura 7-34 Cargas de pavimento, baranda, andén y barreras ..... ¡Error! Marcador no definido.
- Figura 7-35 Diagrama de momento de los efectos de las otras cargas.. ¡Error! Marcador no definido.
- Figura 7-36 Etapa 4: Esfuerzos actuantes y admisibles a lo largo de las vigas ¡Error! Marcador no definido.
- Figura 7-37 Seis condiciones de carga viva ..... ¡Error! Marcador no definido.
- Figura 7-38 Envoltorio de los diagramas de momento de las cuatro vigas del tablero del puente ..... ¡Error! Marcador no definido.
- Figura 7-39 Etapa 5: Esfuerzos actuantes y admisibles a lo largo de las vigas ¡Error! Marcador no definido.
- Figura 7-40 Esfuerzos actuantes y admisibles de la viga interior ..... ¡Error! Marcador no definido.
- Figura 7-41 Esfuerzos actuantes y admisibles de la viga exterior..... ¡Error! Marcador no definido.
- Figura 7-42 Esfuerzos actuantes y admisibles de la viga interior para  $t = \infty$  ¡Error! Marcador no definido.

---

**Figura 7-43** Esfuerzos actuantes y admisibles de la viga exterior para  $t=\infty$ ; **Error! Marcador no definido.**

**Figura 7-44** Esfuerzos actuantes y admisibles de la viga exterior e interior para  $t=\infty$  a lo largo de la viga..... **Error! Marcador no definido.**

Figura 7-45 ..... **Error! Marcador no definido.**

Figura 7-46 Momento nominal factorizado resistente y momento último actuante a lo largo de la viga interior y exterior ..... **Error! Marcador no definido.**

Figura 7-47 Localización de la distancia efectiva “ $d_p$ ” en la sección de estudio; **Error! Marcador no definido.**

Figura 7-48 Valor de  $V_{cw}$  y  $V_{ci}$  a lo largo de la viga exterior ..... **Error! Marcador no definido.**

Figura 7-49 Perfil de la pila. Fuente: Propia ..... **Error! Marcador no definido.**

Figura 7-50 Planta cimentación de la pila. Fuente: Propia..... **Error! Marcador no definido.**

Figura 7-51 Reacción vertical en pila por carga muerta (DC). Fuente: CCSIBRIDGE [4]; **Error! Marcador no definido.**

Figura 7-52 Reacción vertical en pila por carga muerta (DW). Fuente: CCSIBRIDGE [4] ..... **Error! Marcador no definido.**

Figura 7-53 Reacción vertical en pila por carga viva (LL+IM). Fuente: CCSIBRIDGE [4] ..... **Error! Marcador no definido.**

Figura 7-54. Mapa con los valores de PGA. Fuente: CCP-14 [1] ..... **Error! Marcador no definido.**

Figura 7-55. Mapa con los valores de  $S_s$ . Fuente: CCP-14 [1] ..... **Error! Marcador no definido.**

Figura 7-56. Mapa con los valores de  $S_1$ . Fuente: CCP-14 [1] ..... **Error! Marcador no definido.**

Figura 7-57 Espectro de respuesta. Fuente: CCP-14 [1] ..... **Error! Marcador no definido.**

Figura 7-58 Espectro de respuesta en CSI-Bridge. Fuente: CCSIBRIDGE [4]; **Error! Marcador no definido.**

Figura 7-59 Asignación de la masa a partir de las cargas muertas. Fuente: CCSIBRIDGE [4] ..... **Error! Marcador no definido.**

Figura 7-60 Espectro Análisis dinámico espectral para la combinación de carga de sismo en un 100% en “x”. Fuente: CCSIBRIDGE [4] ..... **Error! Marcador no definido.**

Figura 7-61 Definición del número de modos de vibración. Fuente: CCSIBRIDGE [4]; **Error! Marcador no definido.**

Figura 7-62 Algunos modos de vibración de los noventa (90). Fuente: CCSIBRIDGE [4] ..... **Error! Marcador no definido.**

Figura 7-63 Sección transversal columna - pila ..... **Error! Marcador no definido.**

Figura 7-64 Distribución del refuerzo longitudinal y transversal de la pila; **Error! Marcador no definido.**

---

Figura 7-65 Diagrama de deformaciones unitarias y localización de “c” para el punto balanceado ...; **Error! Marcador no definido.**

Figura 7-66 Carta de diseño para evaluación a flexo compresión en sentido “x”. Incluye los valores de momento y carga axial actuantes..... **Error! Marcador no definido.**

Figura 7-67 Carta de diseño para evaluación a flexo compresión en sentido “y”. Incluye los valores de momento y carga axial actuantes..... **Error! Marcador no definido.**

Figura 7-68 Diagrama de interacción con refuerzo comercial – 144 barras No 7; **Error! Marcador no definido.**

Figura 7-69 Diagrama de interacción con refuerzo comercial – 144 barras No 8; **Error! Marcador no definido.**

Figura 7-70 Envoltorio de diagramas de momento de viga y pila. .... **Error! Marcador no definido.**

Figura 7-71. Envoltorio de cortante de viga cabezal..... **Error! Marcador no definido.**

Figura 7-72 Sistema de coordenadas y numeración de pilotes..... **Error! Marcador no definido.**

Figura 7-73 Resumen de la evaluación de fuerza axial de los pilotes..... **Error! Marcador no definido.**

Figura 7-74 Modelo estructural incluyendo dados y pilotes ..... **Error! Marcador no definido.**

Figura 7-75 Modelo estructural incluyendo dados y pilotes. .... **Error! Marcador no definido.**

Figura 7-76 Fuerzas internas en los pilotes. .... **Error! Marcador no definido.**

Figura 7-77 Geometría y localización de las barras longitudinales del pilote; **Error! Marcador no definido.**

Figura 7-78 Localización de “c” para el punto balanceado..... **Error! Marcador no definido.**

Figura 7-79 Carta de diseño de pilotes y solicitaciones M y P provenientes del modelo estructural..; **Error! Marcador no definido.**

. Figura 7-80 Sección transversal de pilote con 40 barras No. 11 ..... **Error! Marcador no definido.**

Figura 7-81 Diagrama de interacción con 40 barras No. 11..... **Error! Marcador no definido.**

Figura 7-82 Modelo de tirante y puntal del dado de la pila del puente. .... **Error! Marcador no definido.**

Figura 7-83 Reacciones de los pilotes en el modelo de tirante y puntal del dado de la pila del puente. .... **Error! Marcador no definido.**

Figura 7-84 Fuerzas internas del dado de la pila del puente. .... **Error! Marcador no definido.**

Figura 7-85 Área del puntal a compresión. .... **Error! Marcador no definido.**

Figura 7-86 Curva esterificada típica de un aislador elastómero durante ensayo dinámico. Fuente: FIP INDUSTRIALE [25] ..... **Error! Marcador no definido.**

Figura 7-87 Variación del módulo de corte. Fuente: FIP INDUSTRIALE [25]; **Error! Marcador no definido.**

Figura 7-88 Catalogo selección de aislador sísmico. Fuente: FIP INDUSTRIALE [25]; **Error! Marcador no definido.**

- 
- Figura 7-89 Aislador sísmico SI-S800-200. Z=850 mm H=367 mm. Fuente: FIP INDISTRIALE [25] ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 7-90 Modelo estructural con los correspondientes aisladores..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 7-91 Algunos modos de vibración de los noventa (90). Fuente: CCSIBRIDGE [4] ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 7-92 Carta de diseño para evaluación a flexo compresión en sentido “y”. Incluye los valores de momento y carga axial actuantes..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 7-93 Diagrama de interacción con refuerzo comercial – 144 barras No 6; **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 7-94 Resumen de la evaluación de fuerza axial de los pilotes..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 7-95 Modelo estructural modificado con los 4 pilotes: L=18 metros y D=1.5 m. 90 modos de vibración..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 7-96 Carta de diseño de pilotes y solicitaciones M y P provenientes del modelo estructural.. **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 7-97 Diagrama de interacción con 40 barras No. 11..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 7-98 Modelo de tirante y puntal del dado de la pila del puente. .... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 7-99 Fuerzas internas del dado de la pila del puente. .... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 7-100 Área del puntal a compresión. .... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 7-101 Corte transversal del estribo. .... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 7-102 Corte longitudinal del estribo. .... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 7-103 Planta del estribo con los correspondientes pilotes. .... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 7-104 Localización de las fuerzas DC, DW y LL..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 7-105 Localización de las fuerzas por peso propio del concreto y el suelo; **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 7-106 Localización del empuje de tierras (EH) a nivel de cimentación; **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 7-107 Localización del empuje de tierras dinámico (EQ1) a nivel de cimentación ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 7-108 Localización de las fuerzas inerciales (EQ2) a nivel de cimentación; **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 7-109 Localización de La fuerza de sismo de la superestructura (EQ3) a nivel de cimentación ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 7-110 Localización de La fuerza de FRENADO A nivel de cimentación; **¡Error! Marcador no definido.**

---

Figura 7-111 Cargas actuantes en los pilotes y capacidad de carga. Combinaciones de carga: Evento extremo 1(PT1) y resistencia 1(PT2) .....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 7-112 Modelo de tirante y puntal del dado del estribo del puente. ...	¡Error! Marcador no definido.
Figura 7-113 Cargas en un nudo. ....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 7-114 Área del puntal a compresión. ....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 7-115 Diagramas de momento, carga axial y cortante de los seis pilotes para la combinación de carga evento extremo 1. ....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 7-116 Carta de diseño pilotes de D=2 m.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 7-117 Diagrama de interacción circular de D=2 m.62 barras No. 8	¡Error! Marcador no definido.
Figura 7-118 Nuevo perfil del estribo .....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 7-119 Cargas actuantes en los pilotes y capacidad de carga. Combinaciones de carga: Evento extremo 1(PT1) y resistencia 1(PT2) .....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 7-120 Modelo de tirante y puntal del dado del estribo del puente. ...	¡Error! Marcador no definido.
Figura 7-121 Cargas en un nudo. ....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 7-122 Área del puntal a compresión. ....	¡Error! Marcador no definido.
. Figura 8-1 Sección transversal de viga cajón – centro de la luz.....	4
Figura 8-2 Sección transversal - zona de estribos .....	5
Figura 8-3 Un solo carril cargado excéntrico .....	6
Figura 8-4 Dos carriles cargados excéntricos.....	7
Figura 8-5 Modelo estructural del tablero del puente .....	9
Figura 8-6 Modelo estructural .....	10
Figura 8-7 Condiciones de carga viva analizadas .....	10
Figura 8-8 Disposición de los 16 cables de prees fuerza. Tiene anclajes móviles en sus dos lados. Cada cable está compuesto por 20 torones de 0.6 pulgadas de diámetro. ....	13
Figura 8-9 Diagrama de tensionamiento de los cables 1 y 5 .....	14
Figura 8-10 Diagrama de tensionamiento de los cables 2 y 6 .....	14
Figura 8-11 Diagrama de tensionamiento de los cables 3 y 7 .....	15
Figura 8-12 Diagrama de tensionamiento de los cables 4 y 8 .....	15
Figura 8-13 Perímetro y área de la sección cajón cerrada.....	23





## **1. INTRODUCCIÓN**

## **2. CONCEPCION DEL DISEÑO DE PUENTES**

## **3. FUNDAMENTOS**

## **4. TIPOLOGIAS DE PUENTES**

## **5. MATERIALES**

## **6. CARGAS Y FACTORES DE CARGA**

## **7. PUENTE DE UNA LUZ DE VIGA Y LOSA EN CONCRETO REFORZADO**

## **8. PUENTES DE DOS LUCES DE VIGA Y LOSA EN CONCRETO PREESFORZADO**

## **9. PUENTE EN VIGA CAJON DE UNA SOLA LUZ**

Este ejercicio consiste en el análisis y diseño estructural del tablero de un puente constituido por una luz de 58 metros simplemente apoyada en dos estribos.



### 9.1.2 Predimensionamiento

El predimensionamiento del tablero se basa en el criterio del ingeniero y el empleo de las recomendaciones mínimas de la norma de puentes. Para la altura de la viga cajón sugiere (según tabla 2.5.2.6 de la norma (AIS, 2014)) como mínimo:

$$h_{viga} := 0.045 \cdot L_{viga} = 2.61 \text{ m}$$

Por lo tanto, se opta por una altura del entrepiso ( $h_{viga}$ ) de tres (3) metros. Dicho entrepiso consta de una losa superior e inferior de 0.25 metros de espesor, y dos almas de 0.4 metros de espesor. Dos barreras de tráfico, una baranda peatonal, un andén de 1.5 metros., dos bermas y dos carriles de 3.65 metros para un ancho total de 14.2 metros como se observa a continuación:

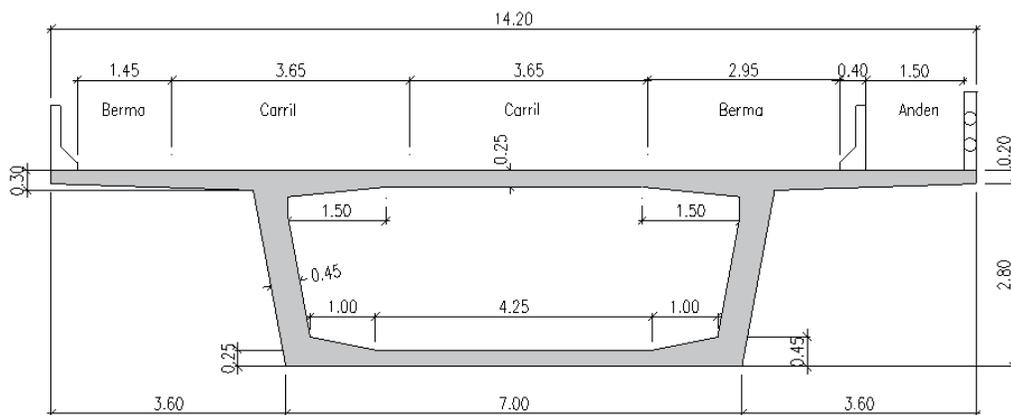
$$L_{viga} = 58 \text{ m} \quad h_{viga} = 3 \text{ m} \quad A = 8 \text{ m}^2 \quad I = 10 \text{ m}^4 \quad J = 22.24 \text{ m}^4$$

$$b_1 = 0.4 \text{ m} \quad b_2 = 0.16 \text{ m} \quad h_1 = 0.425 \text{ m} \quad h_2 = 0.28 \text{ m} \quad h_3 = 0.125 \text{ m}$$

$$h_{barrera} := h_1 + h_2 + h_3 = 0.83 \text{ m} \quad a_{tablero} = 14.2 \text{ m} \quad b_{bar} = 0.2 \text{ m} \quad epav = 0.075 \text{ m}$$

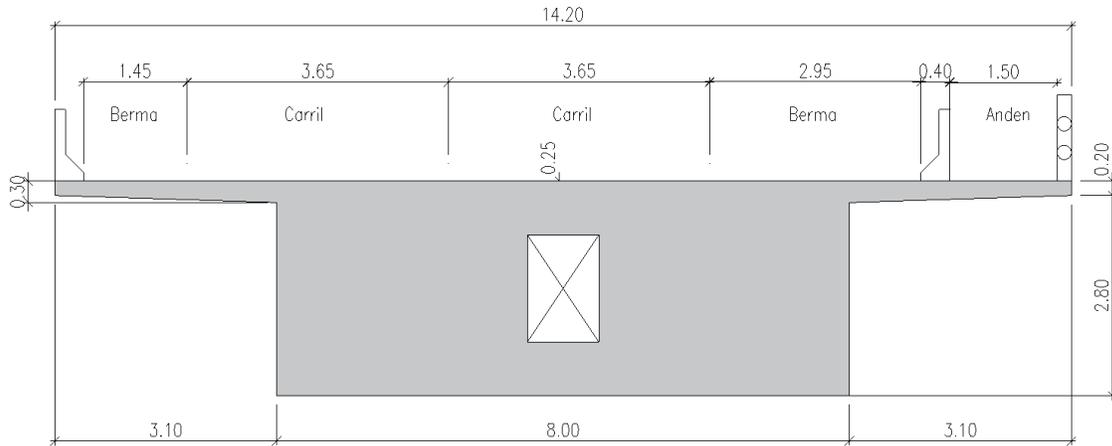
$$A_{rebarrera} := h_{barrera} \cdot b_2 + h_3 \cdot (b_1 - b_2) + h_2 \cdot \frac{(b_1 - b_2)}{2} = 0.196 \text{ m}^2 \quad a_{anden} = 1.5 \text{ m}$$

$$S_{vt} = 3.375 \text{ m} \quad S_t = 7.45 \text{ m}$$



. Figura 9-1 Sección transversal de viga cajón – centro de la luz

**Tiene dos bloques de anclaje en los extremos necesarios para el proceso de tensionamiento, como se presenta a continuación:**



**Figura 9-2 Sección transversal - zona de estribos**

### 9.1.3 Evaluación de cargas

#### 9.1.3.1 Carga muerta (DC y DW)

Se determina a continuación la carga muerta (DC y DW). En esta parte no se tuvo en cuenta el peso de la zona de anclaje a cada lado, lo que es pendiente por revisar.

$$P_{baranda} := 1.5 \frac{kN}{m} \quad P_{barrera} := A_{reabarrera} \cdot \gamma_c = 4.714 \frac{kN}{m} \quad A_{reabarrera} = 0.196 m^2$$

$$W_{dc} := A \cdot \gamma_c + P_{baranda} + P_{barrera} \cdot 2 = 202.927 \frac{kN}{m}$$

$$M_{dc} := W_{dc} \cdot \frac{L_{viga}^2}{8} = (8.533 \cdot 10^4) kN \cdot m$$

$$W_{dw} := \gamma_{pav} \cdot (a_{tablero} - b_1 \cdot 2 - b_{bar} - a_{anden}) \cdot e_{pav} = 19.744 \frac{kN}{m}$$

$$M_{dw} := W_{dw} \cdot \frac{L_{viga}^2}{8} = (8.302 \cdot 10^3) kN \cdot m$$

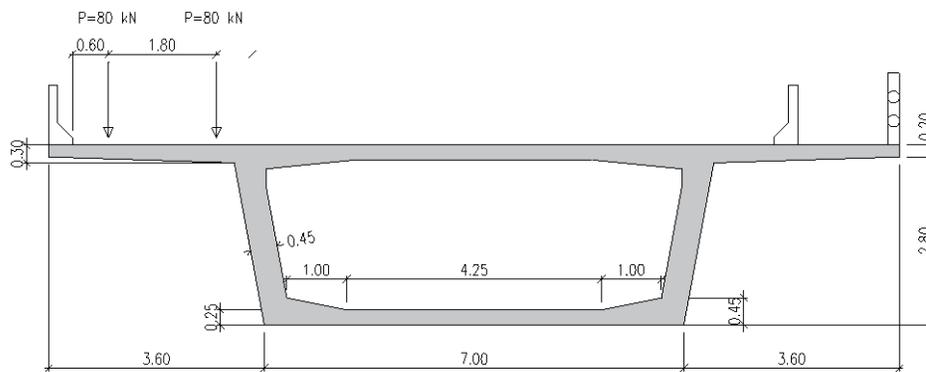
Cortante ( En el eje de la viga)

$$V_{dc} := W_{dc} \cdot \frac{L_{viga}}{2} = (5.885 \cdot 10^3) kN$$

$$V_{dw} := W_{dw} \cdot \frac{L_{viga}}{2} = 572.569 kN$$

### 9.1.3.2 Carga viva (LL e IM)

Se hallan los factores de distribución empleando el método de la palanca. Se analiza para un solo carril cargado excéntrico:

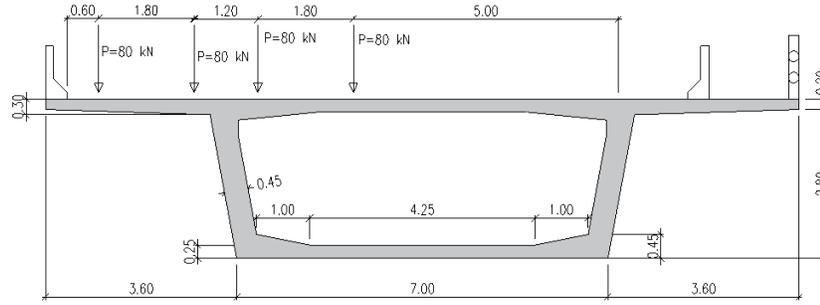


*Figura 9-3 Un solo carril cargado excéntrico*

$$gm2 := (2) \cdot 0.5 = 1$$

$$gm2 := gm2 \cdot 1.2 = 1.2$$

Después se analiza para dos carriles cargados excéntricos:



**Figura 9-4 Dos carriles cargados excéntricos**

$$a := 5 \cdot m$$

$$b := a + 1.8 \cdot m = 6.8 \text{ m}$$

$$d := c + 1.8 \cdot m = 9.8 \text{ m}$$

$$c := b + 1.2 \cdot m = 8 \text{ m}$$

$$S_t = 7.45 \text{ m}$$

$$gm1 := \left( 2 + \frac{a+b}{S_t} \right) \cdot 0.5 = 1.792$$

$$gm1 := gm1 \cdot 1 = 1.792$$

$$gm := \max(gm1, gm2) = 1.792$$

Con estos factores se hallan el momento máximo en el centro de la luz:

$$P1 := 160 \text{ kN}$$

$$P2 := 160 \text{ kN}$$

$$P3 := 40 \text{ kN}$$

$$a1 := 4.3 \text{ m}$$

$$P1 := 160 \text{ kN}$$

$$P2 := 160 \text{ kN}$$

$$P3 := 40 \text{ kN}$$

$$a1 := 4.3 \text{ m}$$

Determinación de las reacciones cuando la carga del medio del camión queda en la luz central. Reacción en el punto B:

$$RB := \frac{\left( P1 \cdot \left( \frac{L_{viga}}{2} - a1 \right) + P2 \cdot \left( \frac{L_{viga}}{2} \right) + P3 \cdot \left( \frac{L_{viga}}{2} + a1 \right) \right)}{L_{viga}} = 171.103 \text{ kN}$$

Reacción en el punto A:

$$RA := P1 + P2 + P3 - RB = 188.897 \text{ kN}$$

Momento máximo viga interior en el centro de la luz afectado por el factor de distribución e impacto, el cual incluye camión de diseño y carga de diseño:

$$Mmax1 := \left( RA \cdot \left( \frac{L_{viga}}{2} - a1 \right) + (RA - P1) \cdot a1 \right) \cdot gm \cdot IM = (1.142 \cdot 10^4) \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$Mmax2 := \frac{(Wc \cdot L_{viga}^2)}{8} \cdot gm = (7.761 \cdot 10^3) \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$Mmax := Mmax1 + Mmax2 = (1.918 \cdot 10^4) \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Y el momento por carga viva de todo el tablero:

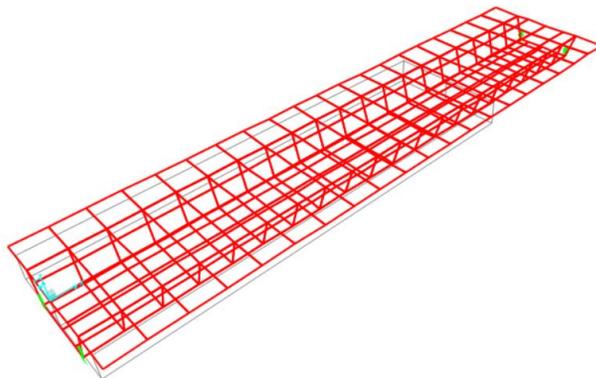
$$M_{max1t} := \left( RA \cdot \left( \frac{L_{viga}}{2} - a1 \right) + (RA - P1) \cdot a1 \right) \cdot 2 \cdot IM = (1.274 \cdot 10^4) \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{max2t} := \frac{(Wc \cdot L_{viga}^2)}{8} \cdot 2 = (8.662 \cdot 10^3) \text{ kN}\cdot\text{m}$$

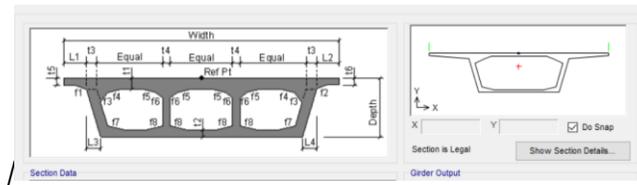
$$M_{max t} := M_{max1t} + M_{max2t} = (2.14 \cdot 10^4) \text{ kN}\cdot\text{m}$$

#### 9.1.4 Modelo estructural

Se construye el modelo estructural del tablero del puente, como se observa a continuación:

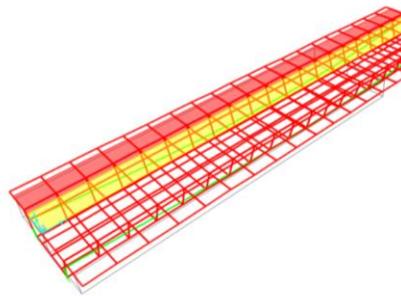


*Figura 9-5 Modelo estructural del tablero del puente*

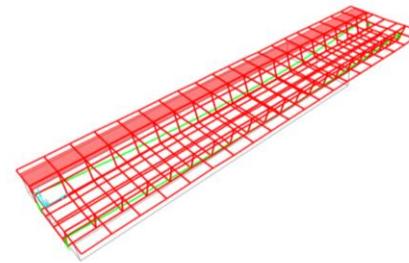


**Figura 9-6 Modelo estructural**

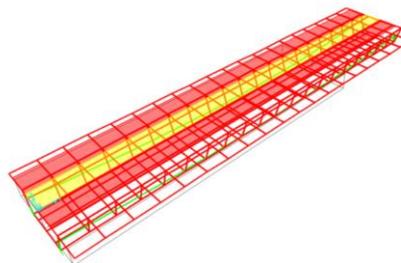
Se agregó en el modelo la carga muerta (DC y DW). También la carga viva, para lo cual se analizaron las siguientes condiciones de carga:



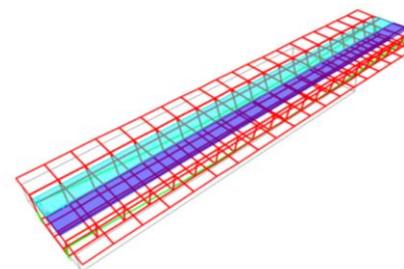
**Dos carriles cargados excéntricos**



**Un carril cargado excéntricos**



**Tres carriles cargados excéntricos**



**Dos carriles cargados concéntrico**

**Figura 9-7 Condiciones de carga viva analizadas**

**Se obtuvieron los siguientes resultados de momento máximo para carga muerta y viva. El de viva se obtuvo basado en la envolvente construido en el modelo estructural, .**

Viga	Modelo estructural			Análisis manual		
	Mdc(KN.m)	Mdw(KN.m)	MIl(kN.m)	Mdc(KN.m)	Mdw(KN.m)	MIl(kN.m)
Derecha	43449	4108	14507			19180
Izquierda	43559	4213	13309			
Tablero	87008	8321	27816	85530	8302	21400

**Tabla 9-1. Resultados de momentos máximos de carga muerta y viva basados en modelo estructural y análisis manual**

### 9.1.5 Diagramas de tensionamiento

El preesfuerzo consisten en ocho cables localizado en cada alma, con las siguientes características:

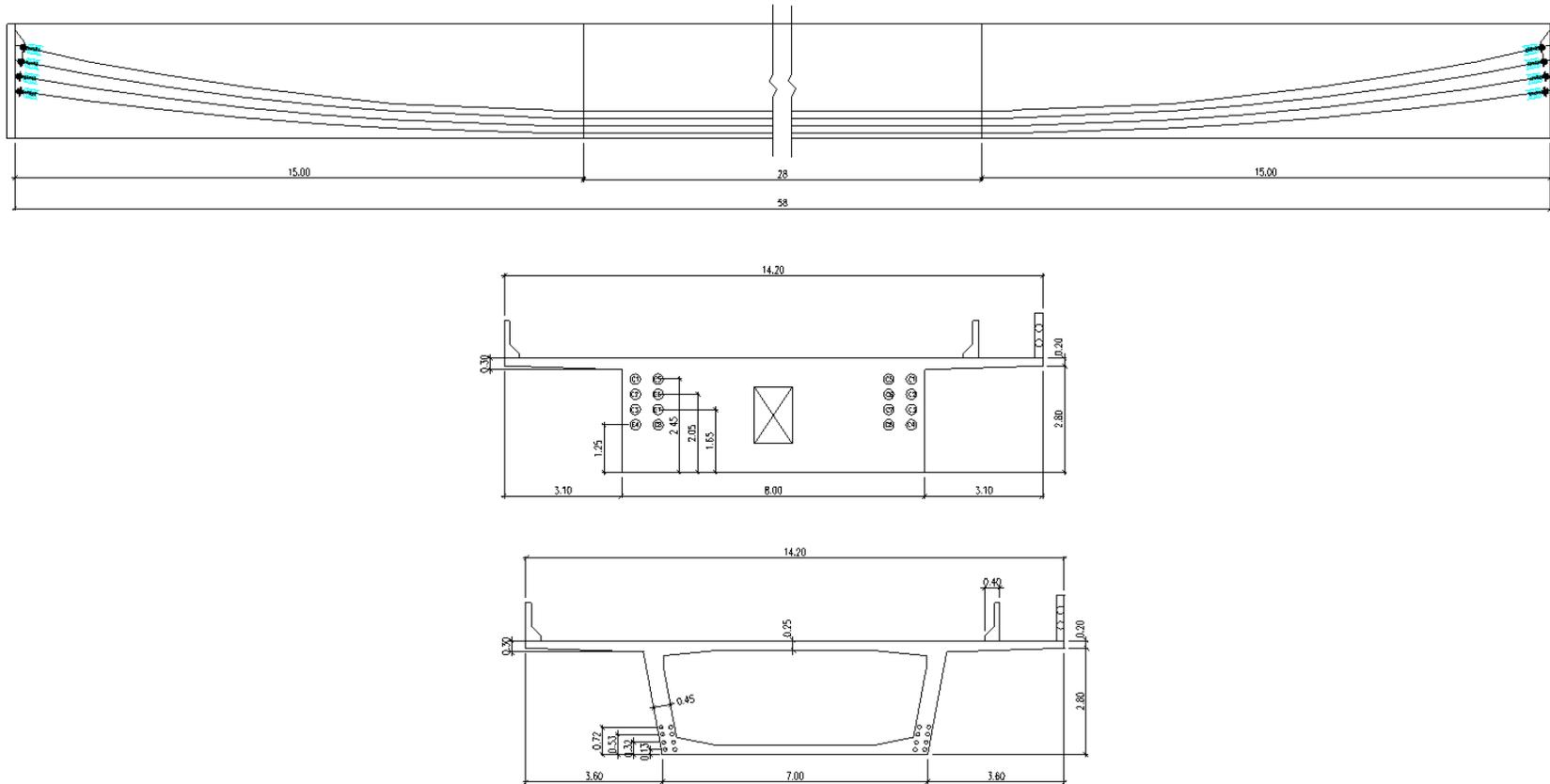
N	Aps(cm2)	Lp(m)	Y1(m)	Y2(m)	f(m)	alfa(rad)	Pgato (kN)	Pcentro(kN)	Pinfinito(kN)
1	28	58	2.45	0.72	1.73	0.119310345	3750	3515.9	2988.5
2	28	58	2.05	0.53	1.52	0.104827586	3750	3526.1	2997.2
3	28	58	1.65	0.32	1.33	0.091724138	3750	3535.3	3005.0
4	28	58	1.25	0.13	1.12	0.077241379	3750	3545.6	3013.8
5	28	58	2.45	0.72	1.73	0.119310345	3750	3515.9	2988.5
6	28	58	2.05	0.53	1.52	0.104827586	3750	3526.1	2997.2
7	28	58	1.65	0.32	1.33	0.091724138	3750	3535.3	3005.0
8	28	58	1.25	0.13	1.12	0.077241379	3750	3545.6	3013.8
224							<b>30000</b>	<b>28245.9</b>	<b>24009.0</b>

**Tabla 9-2. . Definición de las características de los ocho cables por alma**

Son 20 torones con diámetros de 0.6 pulgadas por cable y con una fuerza en el gato de 3750 kN. Esta fuerza se determinó teniendo en cuenta cumpliendo con lo máximo que recomienda la norma:

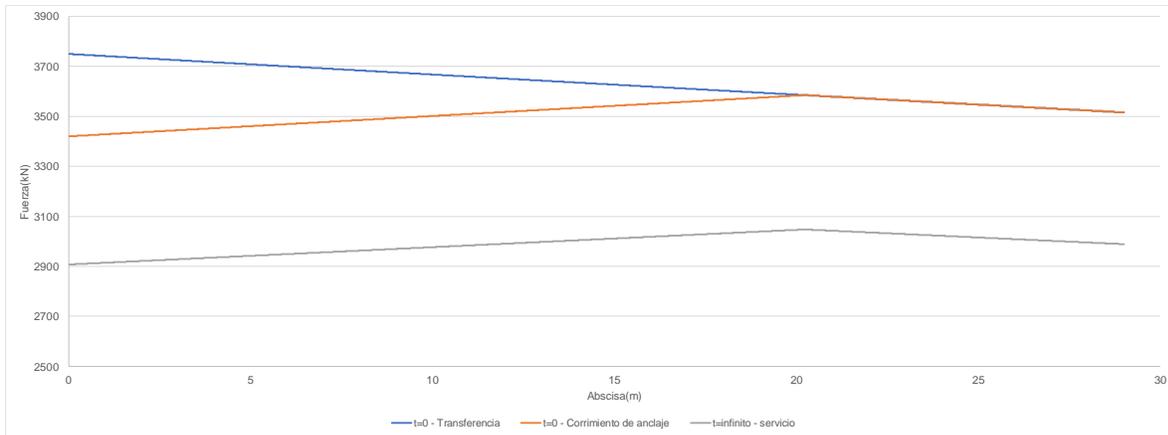
$$Pgato := 0.8 \cdot F_{py} \cdot 20 \cdot 1.4 \cdot \text{cm}^2 = (3.75 \cdot 10^3) \text{ kN}$$



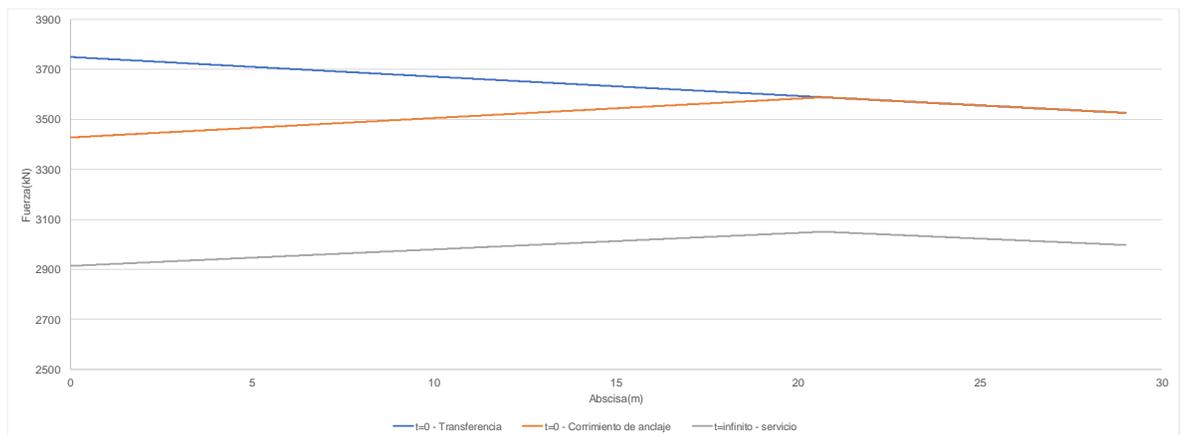


**Figura 9-8 Disposición de los 16 cables de prees fuerza. Tiene anclajes móviles en sus dos lados. Cada cable está compuesto por 20 torones de 0.6 pulgadas de diámetro.**

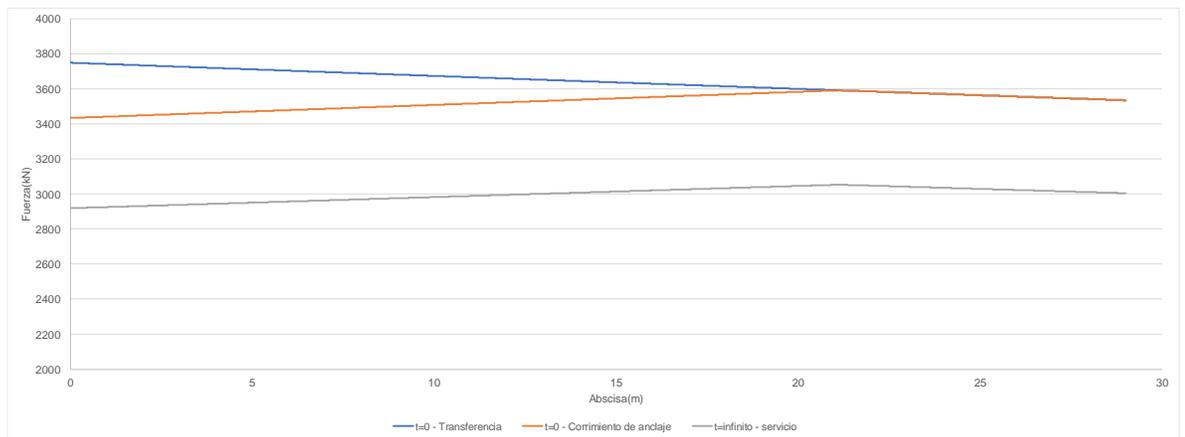
Las pérdidas instantáneas son las producidas por fricción y curvatura, como también la de penetración de cuña, con lo cual se obtiene la fuerza en el centro de la luz de cada cable empleando lo que se especifica en el numeral 5.9.5.2.2 de la CCP-2014( NO se incluyeron pérdidas por acortamiento elástico). Las reológicas son producto de retracción y fraguado, flujo plástico del concreto y las de relajación del acero. Para este caso, se consideraron aproximadamente una pérdida del 15%. Se presenta a continuación los diagramas de tensionamiento de cada uno de los ocho cables, que incluye las pérdidas instantáneas y reológicas, siendo iguales los del 1 y 5, 2 y 5, 3 y 7, 4 y 8:



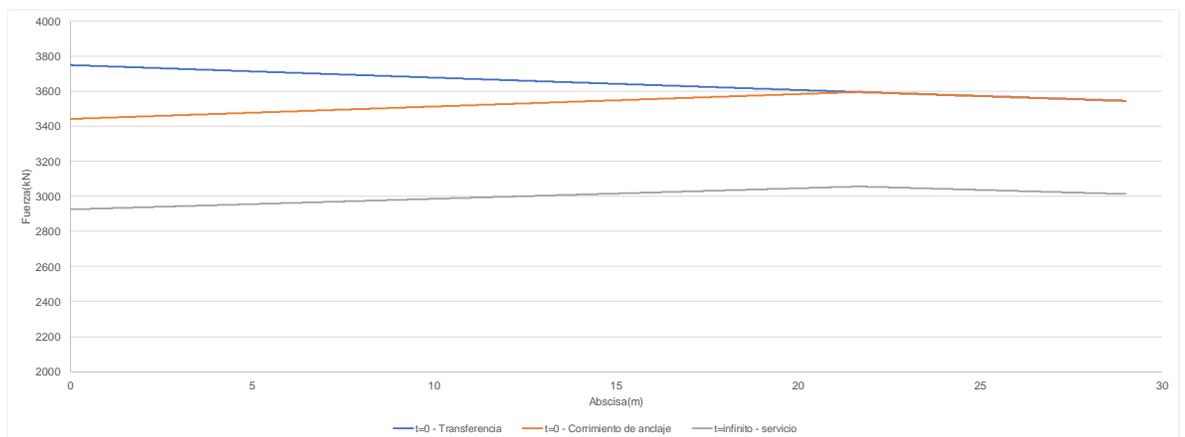
**Figura 9-9 Diagrama de tensionamiento de los cables 1 y 5**



**Figura 9-10 Diagrama de tensionamiento de los cables 2 y 6**



**Figura 9-11 Diagrama de tensionamiento de los cables 3 y 7**



**Figura 9-12 Diagrama de tensionamiento de los cables 4 y 8**

## 9.1.6 Diseño a flexión

### 9.1.6.1 Revisión de esfuerzos (Servicio)

Para esta revisión se emplea la combinación de carga servicio I y III:

Estado Límite de la Combinación de carga	<i>EH</i>	<i>LL</i>
	<i>EV</i>	<i>IM</i>
	<i>ES</i>	<i>CE</i>
	<i>EL</i>	<i>BR</i>
	<i>PS</i>	<i>PL</i>
	<i>CR</i>	<i>LS</i>
	<i>SH</i>	
Resistencia I (a menos que se indique)	$\gamma_p$	1.75
Resistencia II	$\gamma_p$	1.35
Resistencia III	$\gamma_p$	-
Resistencia IV	$\gamma_p$	-
Resistencia V	$\gamma_p$	1.35
Evento Extremo I	$\gamma_p$	$\gamma_{EQ}$
Evento Extremo II	$\gamma_p$	0.50
Servicio I	1.00	1.00
Servicio II	1.00	1.30
Servicio III	1.00	0.80
Servicio IV	1.00	-

**Tabla 9-3. Combinaciones de carga – Servicio I y III**

Para transferencia(t=0) los esfuerzos admisibles según la norma son los siguientes a tracción:

$$0.62 \cdot \left( \frac{f'_{cv}}{MPa} \cdot 0.8 \right)^{0.5} \cdot MPa = 3.921 MPa$$

Y a compresión:

$$0.6 \cdot f'_{cv} \cdot 0.8 = 24 MPa$$

Y los actuales son los siguientes, los cuales son menores a los admisibles aplicando la combinación de carga de servicio I ( los negativos son a tracción y los positivos a compresión):

$$P_{t1} := P_{t1} \cdot 2 = (5.634 \cdot 10^7) N$$

$$h_{viga} = 3 m$$

$$y_b = 1.981 \text{ m} \quad S_b := \frac{I}{y_b} = 5.048 \text{ m}^3 \quad S_t := \frac{I}{h_{viga} - y_b} = 9.814 \text{ m}^3 \quad A = 8.039 \text{ m}^2$$

$$M_1 := \left( A \cdot \gamma_c \cdot \frac{L_{viga}^2}{8} \right) = (8.113 \cdot 10^4) \text{ kN}\cdot\text{m} \quad e_t = 1.556 \text{ m}$$

$$M_2 := \left( (P_{barrera} \cdot 2 + \gamma_{pav} \cdot (atablero - b_1 \cdot 2 - b_{bar} - a_{anden}) \cdot e_{pav} + P_{baranda}) \cdot \frac{L_{viga}^2}{8} \right) = (1.29 \cdot 10^4) \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$f_{b1} := \frac{-M_1}{S_b} + \frac{P_{t1}}{A} + \frac{P_{t1} \cdot e_t}{S_b} = 8.303 \text{ MPa}$$

$$f_{t1} := \frac{M_1}{S_t} + \frac{P_{t1}}{A} - \frac{P_{t1} \cdot e_t}{S_t} = 6.342 \text{ MPa}$$

$$f_{b2} := f_{b1} + \frac{-M_2}{S_b} = 5.749 \text{ MPa}$$

$$f_{t2} := f_{t1} + \frac{M_2}{S_t} = 7.657 \text{ MPa}$$

Tomando la del modelo estructural

$$M_U := 27816 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$f_{b3} := f_{b2} + \frac{-M_U}{S_b} = 0.238 \text{ MPa}$$

$$f_{t3} := f_{t2} + \frac{M_U}{S_t} = 10.491 \text{ MPa}$$

Para servicio( $t=\infty$ ) los esfuerzos admisibles según la norma son los siguientes a tracción:

$$0.52 \cdot \left( \frac{f'_{cv}}{\text{MPa}} \right)^{0.5} \cdot \text{MPa} = 3.677 \text{ MPa}$$

Y a compresión:

$$0.45 \cdot f'_{cv} = 22.5 \text{ MPa}$$

Y los actuales son los siguientes, los cuales son menores a los admisibles (1 aplicando la combinación de carga de servicio I y III (Los esfuerzos negativos son a tracción y los positivos a compresión). La combinación servicio III es aplicable solamente para la carga viva y en la fibra inferior.:

$$P_{t2} := P_{t2} \cdot 2 = (4.789 \cdot 10^7) \text{ N}$$

$$f_{b1} := \frac{-M1}{Sb} + \frac{P_{t2}}{A} + \frac{P_{t2} \cdot e_t}{Sb} = 4.647 \text{ MPa}$$

$$f_{t1} := \frac{M1}{St} + \frac{P_{t2}}{A} - \frac{P_{t2} \cdot e_t}{St} = 6.631 \text{ MPa}$$

$$f_{b2} := f_{b1} + \frac{-M2}{Sb} = 2.092 \text{ MPa}$$

$$f_{t2} := f_{t1} + \frac{M2}{St} = 7.945 \text{ MPa}$$

$$f_{b3} := f_{b2} + \frac{-0.8 \cdot Mu}{Sb} = -2.316 \text{ MPa}$$

$$f_{t3} := f_{t2} + \frac{Mu}{St} = 10.78 \text{ MPa}$$

#### 9.1.6.2 Resistencia última

La resistencia última a flexión se evalúa a continuación basados en compatibilidad de deformaciones. Inicialmente se tiene fuerza efectiva en el centro de la luz y el área de los torones de acero (Teniendo en cuenta la carga de preesfuerzo de las dos almas)

Fuerza efectiva total de preesfuerzo  $P_{fectiva} := P_{t2} \cdot 2 = (9.578 \cdot 10^4) \text{ kN}$

Area total de los cables (Asp)  $Apst := Aps \cdot 2 = 448 \text{ cm}^2$

Se determina el  $d'$  del cable promedio y distancia efectiva ( $d_p$ ) en el centro de la luz:

N	Aps(cm2)	Y2(m)	Aps*Y2
1	28	0.72	20.16
2	28	0.53	14.84
3	28	0.32	8.96
4	28	0.13	3.64
5	28	0.72	20.16
6	28	0.53	14.84
7	28	0.32	8.96
8	28	0.13	3.64
			95.2
224			

$$d' = 0.425$$

Tabla 9-4. . Determinación del  $d'$  del grupo de cables en el centro de la luz

$d'$  acero activo

$$d' = 0.425 \text{ m}$$

Distancia efectiva del acero activo ( $d_p$ )

$$d_p := h_{viga} - d' = 2.575 \text{ m}$$

Esfuerzo efectivo del preesfuerzo

$$F_{se} := \frac{P_{efectiva}}{A_{pst}} = (2.144 \cdot 10^3) \text{ MPa}$$

Deformación unitaria inicial de los cables

$$e_{se} := \frac{F_{se}}{E_s} = 0.011$$

También se determina el  $d'$  del acero de refuerzo a tracción y la correspondiente distancia efectiva, considerando un recubrimiento de 40 mm aplicando **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Se considera que el refuerzo principal de la losa superior está compuesto por barras No. 5

$$r := 4 \cdot \text{cm}$$

$$d't := r + \frac{5}{8} \cdot 2.54 \cdot \text{cm} + \frac{1.27}{2} \cdot \text{cm} = 0.062 \text{ m}$$

Distancia efectiva del acero pasivo a tracción

$$d := h_{viga} - d't = 2.938 \text{ m}$$

Posteriormente se hace un proceso interactivo variando el eje neutro estructural “c” hasta que se presente equilibrio, es decir que las fuerzas de tracción sean iguales a las de compresión. Se encontró que esta condición se cumple con un  $c=0.1908 \text{ m}$ , donde la fuerza a compresión queda en la aleta y no en las alamas.

Para ello, se tiene las deformaciones unitarias para el acero pasivo a compresión y tracción como también el acero activo:

$$B1 := \text{if} \left( f'_{cv} < 28 \cdot \text{MPa}, 0.85, \text{if} \left( 0.85 - 0.05 \cdot \frac{(f'_{cv} - 28 \text{ MPa})}{7 \cdot \text{MPa}} < 0.65, 0.65, 0.85 - 0.05 \cdot \frac{(f'_{cv} - 28 \text{ MPa})}{7 \cdot \text{MPa}} \right) \right) = 0.693$$

$$c := 0.1908 \cdot m$$

$$a := B1 \cdot c = 0.132 \text{ m}$$

$$d'c := r + \frac{1}{2} \cdot 2.54 \cdot \text{cm} + \frac{1.27}{2} \cdot \text{cm} = 0.059 \text{ m}$$

$$e1 := \frac{(c - d'c)}{c} \cdot 0.003 = 0.002 \qquad e2 := \frac{0.003}{c} \cdot (dp - c) = 0.037$$

$$ecu := e2 + ese = 0.048 \qquad e3 := \frac{0.003}{c} \cdot (d - c) = 0.043$$

Después se determina los esfuerzos y fuerzas del acero pasivo y activo. Se considero solamente el refuerzo pasivo de la primera fila a tracción y compresión. Para la de compresión 72 barras No. 4 separadas cada 0.2 metros y para el refuerzo a tracción 35 barras No. 4 también separada 0.2 metros.

$$k := 2 \cdot \left( 1.04 - \frac{F_{py}}{F_{pu}} \right) = 0.28$$

$$Fps := F_{pu} \cdot \left( 1 - k \cdot \frac{c}{dp} \right) = (1.821 \cdot 10^3) \text{ MPa}$$

$$Fs1 := \min(e1 \cdot Es, f_{yl}) = 408.094 \text{ MPa}$$

$$Fs2 := \min(e2 \cdot Es, f_{yl}) = 420 \text{ MPa}$$

$$Asc := 72 \cdot 1.29 \cdot \text{cm}^2 = 92.88 \text{ cm}^2$$

$$Ast := 35 \cdot 1.29 \cdot \text{cm}^2 = 45.15 \text{ cm}^2$$

$$T1 := Fs1 \cdot Asc = (3.79 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

$$CC := bei \cdot a \cdot 0.85 \cdot f'_{cv} = (7.978 \cdot 10^4) \text{ kN}$$

$$T3 := Fps \cdot Ast = (896 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

Posteriormente se revisa equilibrio, es decir que la sumatoria de las fuerzas a compresión sea igual a las de tracción, el cual se cumple con un error mínimo:

$$T1 + CC = (8.357 \cdot 10^4) \text{ kN}$$
$$T2 + T3 = (8.35 \cdot 10^4) \text{ kN}$$

Se determina el momento nominal resistente que es mayor al momento último mayorado determinado basado en la combinación de carga de resistencia I:

$$Mn := 0.9 \cdot \left( CC \cdot \left( c - \frac{a}{2} \right) + T1 \cdot (c - d'c) + T2 \cdot (dp - c) + T3 \cdot (d - c) \right) = (1.892 \cdot 10^5) \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$Mu := 1.25 \cdot Mdc + 1.5 \cdot Mdw + Mll \cdot 1.75 = (1.683 \cdot 10^5) \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\text{if}(Mn > Mu, \text{"Cumple"}, \text{"No cumple"}) = \text{"Cumple"}$$

### 9.1.7 Diseño a cortante y torsión

Se hace la revisión del cortante y torsión en las siguientes secciones de estudio:

Número	Distancia desde el eje(m)
1	2.5
2	5
3	7
4	9
5	12
6	14
7	16

**Tabla 9-5. . Secciones de estudio**

Las cargas producen un cortante que genera esfuerzos de cortantes y las que son excéntricas producen torsión que generan otros esfuerzos cortantes, los cuales se deben tener en cuenta. Según el numeral 5.8.2.1, para concreto de densidad normal debe investigarse los efectos torsionales cuando, donde el factor de reducción de resistencia es 0.9 (5.5.4.2 de la norma):

$$T_u \geq 0.25 \cdot \phi \cdot T_{cr}$$

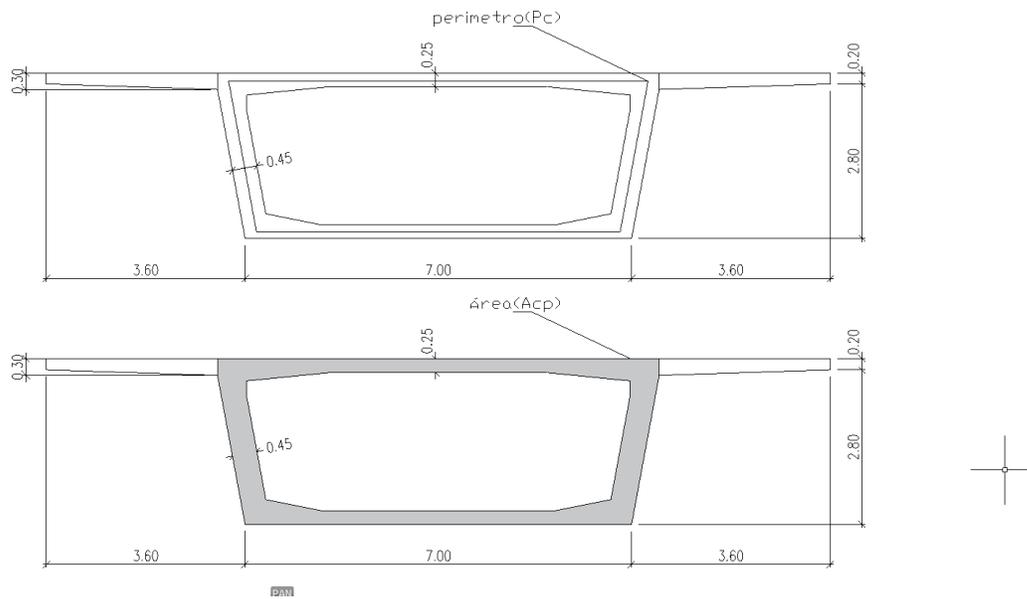
9 - 1

Donde  $T_u$  para la sección de estudio 1 es de 8426 KN.m (tomado del modelo estructural) y  $T_{cr}$  es:

$$T_{cr} := 0.328 \cdot \sqrt{\frac{f'_{cv}}{\text{MPa}}} \cdot \text{MPa} \cdot \frac{A_{cp}^2}{P_c} \cdot \sqrt{1 + \frac{\frac{f_{pc_0}}{\text{MPa}}}{0.328 \cdot \sqrt{\frac{f'_{cv}}{\text{MPa}}}}}$$

9 - 2

Donde  $A_{cp}$  es el área de la sección cerrada de la viga cajón y  $P_c$  el perímetro que se indica en la siguiente figura:



**Figura 9-13 Perímetro y área de la sección cajón cerrada**

Cuyos valores son:

$$Tu := 8426 \cdot \mathbf{kN \cdot m} \quad A = 8.039 \mathbf{m^2}$$

$$Acp := A - 2 \cdot 3.1 \cdot 0.5 \cdot (0.2 + 0.3) \cdot \mathbf{m^2} = 6.489 \mathbf{m^2}$$

$$Ao := (3.18 + 16.14) \cdot \mathbf{m^2} = 19.32 \mathbf{m^2}$$

$$Pc := 19.71 \cdot \mathbf{m} \quad fpc_0 := fpc_0 \cdot \mathbf{MPa} = 5.837 \mathbf{MPa} \quad bv := 0.45 \mathbf{m}$$

El esfuerzo compresión concéntrico producido por el prees fuerza es:

$$fpc_0 := fpc_0 \cdot \mathbf{MPa} = 5.837 \mathbf{MPa}$$

Donde se debe cumplir:

$$\frac{Acp^2}{Pc} = 2.136 \text{ m}^2 \cdot \text{m} \quad 2 \cdot Ao \cdot bv = 17.388 \text{ m}^2 \cdot \text{m}$$

$$\text{if}\left(\frac{Acp^2}{Pc} \leq 2 \cdot Ao \cdot bv, \text{“Cumple”}, \text{“No cumple”}\right) = \text{“Cumple”}$$

Por lo que Tcr es:

$$Tcr := 0.328 \cdot \sqrt{\frac{f'_{cv}}{\text{MPa}} \cdot \text{MPa}} \cdot \frac{Acp^2}{Pc} \cdot \sqrt{1 + \frac{\frac{fpc_0}{\text{MPa}}}{0.328 \cdot \sqrt{\frac{f'_{cv}}{\text{MPa}}}}} = (9.292 \cdot 10^3) \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para lo cual se determina que si es necesario tener en cuenta torsión:

$$\text{if}(Tu > 0.9 \cdot Tcr \cdot 0.25, \text{“Investigar torsión”}, \text{“no investigar torsión”}) = \text{“Investigar torsión”}$$

Por lo cual, se debe aumentar a la cortante último (Vu) la torsión según la ecuación 5.8.2.1-7 de la norma:

$$Vu = Vu + \frac{Tu \cdot ds}{2 \cdot Ao} \quad 9 - 3$$

Se determinó la fuerza de pres fuerza en cada sección de estudio, es decir en t=infinito, basados en los diagramas de tensionamiento mostrados en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** a REF\_Ref15966234 \h \\* MERGEFORMAT **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

Cable	Secciones de estudio						
	1	2	3	4	5	6	7
1	5849.0	5883.7	5911.4	5939.1	5980.7	6008.4	6036.1
2	5860.1	5893.2	5919.7	5946.2	5985.9	6012.4	6038.9
3	5870.5	5902.2	5927.6	5953.0	5991.0	6016.4	6041.8
4	5882.2	5912.4	5936.5	5960.7	5996.8	6021.0	6045.1
5	5849.0	5883.7	5911.4	5939.1	5980.7	6008.4	6036.1
6	5860.1	5893.2	5919.7	5946.2	5985.9	6012.4	6038.9
7	5870.5	5902.2	5927.6	5953.0	5991.0	6016.4	6041.8
8	5882.2	5912.4	5936.5	5960.7	5996.8	6021.0	6045.1

**Tabla 9-6. Fuerzas efectivas de cada cable en cada sección de estudio(kN)**

$$y = \begin{bmatrix} 2.165 & 1.905 & 1.716 & 1.543 & 1.314 & 1.183 & 1.068 \\ 1.799 & 1.571 & 1.405 & 1.253 & 1.052 & 0.937 & 0.835 \\ 1.431 & 1.231 & 1.085 & 0.953 & 0.777 & 0.676 & 0.587 \\ 1.065 & 0.897 & 0.775 & 0.663 & 0.515 & 0.43 & 0.355 \\ 2.165 & 1.905 & 1.716 & 1.543 & 1.314 & 1.183 & 1.068 \\ 1.799 & 1.571 & 1.405 & 1.253 & 1.052 & 0.937 & 0.835 \\ 1.431 & 1.231 & 1.085 & 0.953 & 0.777 & 0.676 & 0.587 \\ 1.065 & 0.897 & 0.775 & 0.663 & 0.515 & 0.43 & 0.355 \end{bmatrix} m$$

Tabla 9-7. . Coordenadas en “y” en cada cable en cada sección de estudio (m)

Se determina el esfuerzo efectivo producido por el preesforzado en cada sección de estudio:

Cable	Sección 1 - x=2.5m					Sección 2 - x=5m				
	P(kN)	Y(m)	e(m)	f1(Mpa)	f2(Mpa)	P(kN)	Y(m)	e(m)	f1(Mpa)	f2(Mpa)
1	5849.0	2.16	-0.18	0.7	-0.21	5883.68	1.905	0.076	0.7	0.1
2	5860.1	1.80	0.18	0.7	0.21	5893.23	1.571	0.410	0.7	0.5
3	5870.5	1.43	0.55	0.7	0.64	5902.24	1.231	0.750	0.7	0.9
4	5882.2	1.07	0.92	0.7	1.07	5912.40	0.897	1.084	0.7	1.3
5	5849.0	2.16	-0.18	0.7	-0.21	5883.68	1.905	0.076	0.7	0.1
6	5860.1	1.80	0.18	0.7	0.21	5893.23	1.571	0.410	0.7	0.5
7	5870.5	1.43	0.55	0.7	0.64	5902.2	1.23	0.750	0.7	0.9
8	5882.2	1.07	0.92	0.7	1.07	5912.4	0.90	1.084	0.7	1.3
	fcpe(Mpa)	9.2		5.8	3.4	fcpe(Mpa)	11.297		5.9	5.4
	fpc(Mpa)	5.8				fpc(Mpa)	5.9			

Cable	Sección 3 - x=7m					Sección 4 - x=9m				
	P(kN)	Y(m)	e(m)	f1(Mpa)	f2(Mpa)	P(kN)	Y(m)	e(m)	f1(Mpa)	f2(Mpa)
1	5911.4	1.72	0.265	0.7	0.3	5939.1	1.5	0.438	0.7	0.5
2	5919.7	1.40	0.576	0.7	0.7	5946.2	1.3	0.728	0.7	0.9
3	5927.6	1.09	0.896	0.7	1.1	5953.0	1.0	1.028	0.7	1.2
4	5936.5	0.77	1.206	0.7	1.4	5960.7	0.7	1.318	0.7	1.6
5	5911.4	1.72	0.265	0.7	0.3	5939.1	1.5	0.438	0.7	0.5
6	5919.7	1.40	0.576	0.7	0.7	5946.2	1.3	0.728	0.7	0.9
7	5927.6	1.09	0.896	0.7	1.1	5953.0	1.0	1.028	0.7	1.2
8	5936.5	0.77	1.206	0.7	1.4	5960.7	0.7	1.318	0.7	1.6

Cable	Sección 5 - x=12					Sección 6 - x=14m				
	P(kN)	Y(m)	e(m)	f1(Mpa)	f2(Mpa)	P(kN)	Y(m)	e(m)	f1(Mpa)	f2(Mpa)
1	5980.7	1.3	0.667	0.7	0.8	6008.4	1.18	0.798	0.7	1.0
2	5985.9	1.1	0.929	0.7	1.1	6012.4	0.94	1.044	0.7	1.2
3	5991.0	0.8	1.204	0.7	1.4	6016.4	0.68	1.305	0.7	1.6
4	5996.8	0.5	1.466	0.7	1.7	6021.0	0.43	1.551	0.7	1.9
5	5980.7	1.3	0.667	0.7	0.8	6008.4	1.18	0.798	0.7	1.0
6	5985.9	1.1	0.929	0.7	1.1	6012.4	0.94	1.044	0.7	1.2
7	5991.0	0.8	1.204	0.7	1.4	6016.4	0.68	1.305	0.7	1.6
8	5996.8	0.5	1.466	0.7	1.7	6021.0	0.43	1.551	0.7	1.9
	fcpe(Mpa)	16.1		6.0	10.1	fcpe(Mpa)	17.2		6.0	11.2
	fpc(Mpa)	6.0				fpc(Mpa)	6.0			

Cable	Sección 7- x=16m				
	P(kN)	Y(m)	e(m)	f1(Mpa)	f2(Mpa)
1	6036.1	1.07	0.913	0.8	1.1
2	6038.9	0.84	1.146	0.8	1.4
3	6041.8	0.59	1.394	0.8	1.7
4	6045.1	0.36	1.626	0.8	1.9
5	6036.1	1.07	0.913	0.8	1.1
6	6038.9	0.84	1.146	0.8	1.4
7	6041.8	0.59	1.394	0.8	1.7
8	6045.1	0.36	1.626	0.8	1.9
	fcpe(Mpa)	18.2		6.0	12.2
	fpc(Mpa)	6.0			

Tabla 9-8. . Esfuerzos efectivos en cada sección (Mpa)

En resumen, se obtuvieron los siguientes esfuerzos:

Sección de estudio	X(m)	fcpe(Mpa)	fpc(Mpa)
1	2.5	9.2	5.8
2	5.0	11.3	5.9
3	7.0	12.8	5.9
4	9.0	14.2	5.9
5	12.0	16.1	6.0
6	14.0	17.2	6.0
7	16.0	18.2	6.0

Tabla 9-9. . Resumen de esfuerzos efectivos en cada sección (Mpa)

Se determinan las distancias “dp” y “dv”:

Sección de estudio	a(m)	dp(m)	dv(m)	0.72(hviga)(m)	0.9dp(m)	dv def (m)
1	0.066	1.39	1.35	2.16	1.25	2.16
2	0.067	1.60	1.57	2.16	1.44	2.16
3	0.067	1.75	1.72	2.16	1.58	2.16
4	0.067	1.90	1.86	2.16	1.71	2.16
5	0.067	2.09	2.05	2.16	1.88	2.16
6	0.067	2.19	2.16	2.16	1.97	2.16
7	0.067	2.29	2.26	2.16	2.06	2.26

Tabla 9-10. . Distancias efectivas “dp” y “dv” en cada sección

Para la sección 1 se tiene el siguiente diseño aplicando el flujograma que se presenta en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Los valores de carga viva fueron tomados del modelo estructural. La resistencia que le proporciona solamente el concreto a cortante es:

$$dp_2 := dp_0 = 1.385 \text{ m} \quad fcpe_2 := fcpe_0 \cdot MPa = 9.248 \text{ MPa}$$

$$M_{dnc} := -M_{dncx_0} = (1.338 \cdot 10^4) \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{cr} := Sb \cdot \left( fr + fcpe_0 \cdot MPa - \frac{M_{dnc}}{Sb} \right) = (5.543 \cdot 10^4) \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$Mmax := (-M_{DCx_0}) \cdot 1.25 + (-M_{DWx_0}) \cdot 1.5 + (28270 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}) \cdot 1.75 = (7.114 \cdot 10^4) \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$b_v := tw \cdot 2 = 0.8 \text{ m} \quad d_v := \max(dv1_0, dp_0 \cdot 0.9, (hviga) \cdot 0.72) = 2.16 \text{ m}$$

$$V_{ci} := 0.0525 \cdot \sqrt{\frac{f'_{cv}}{\text{MPa}}} \cdot \text{MPa} \cdot b_v \cdot d_v + V_d + V_i \cdot \frac{M_{cr}}{M_{max}} = (2.81 \cdot 10^4) \text{ kN}$$

$$V_{cw} := \left( 0.16 \cdot \sqrt{\frac{f'_{cv}}{\text{MPa}}} \cdot \text{MPa} + 0.3 \cdot f_{pc_0} \right) \cdot b_v \cdot d_v = (4.981 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

$$V_i := (V_{DCx_0}) \cdot 1.25 + (V_{DWx_0}) \cdot 1.5 + 10700 \cdot \text{kN} \cdot 1.75 = (2.7 \cdot 10^4) \text{ kN}$$

$$V_d := V_{DWx_0} + V_{DCx_0} = (6.419 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

$$V_c := \min(V_{ci}, V_{cw}) = (4.981 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

El refuerzo necesario de cortante incluyendo el efecto de torsión es y barras No. 4:

$$\text{cot0} := \text{if} \left( V_{ci} < V_{cw}, 1, 1 + 1.14 \cdot \left( \frac{f_{pc_0}}{\sqrt{\frac{f'_{cv}}{\text{MPa}}}} \right) \cdot \frac{1}{\text{MPa}} \right) = 1.941$$

$$\text{cot0} := \min(\text{cot0}, 1.8) = 1.8$$

$$V_u := V_i + \frac{T_u \cdot dp_0}{2 \cdot A_o} = (2.73 \cdot 10^4) \text{ kN}$$

$$V_s := \frac{V_u}{0.9} - V_c = (2.536 \cdot 10^4) \text{ kN}$$

$$A_v := 4 \cdot 1.99 \cdot \text{cm}^2 = 7.96 \text{ cm}^2$$

$$s := \frac{A_v \cdot f_{yt} \cdot d_v \cdot m \cdot \cot \theta}{V_s} = 0.051 \text{ m}$$

Al despejar “s” se obtiene varillas No 5 cada 0.05 m o No.6 cada 0.07 m Para las demás secciones de estudio se tiene las fuerzas internas

Sección de estudio	Viga				
	VDC(kN)	VDW(kN)	VII(kN)	Vd(kN)	Vi(kN)
1	5402.4	1016.6	10700.0	6419.0	27002.9
2	4892.7	920.7	10000.0	5813.4	24996.9
3	4485.0	844.0	9100.0	5329.0	22797.2
4	4077.3	767.3	8700.0	4844.5	21472.5
5	3465.7	652.2	7300.0	4117.8	18085.3
6	3057.9	575.4	6600.0	3633.4	16235.6
7	2650.2	498.7	5800.0	3148.9	14210.8

Sección de estudio	Viga				
	MDC(kN.m)	MDW(kN.m)	MII(kN.m)	Mmax(kN.m)	Vi/Mmax
1	14143.0	2661.4	28270.0	71143.4	0.38
2	27011.9	5083.0	54592.0	136925.4	0.18
3	36389.6	6847.7	71800.0	181408.5	0.13
4	44951.8	8458.9	89657.0	225777.9	0.10
5	56266.2	10588.1	109000.0	276964.9	0.07
6	62789.9	11815.7	127000.0	318460.8	0.05
7	68498.0	12889.8	135000.0	341207.2	0.04

**Tabla 9-11. . Fuerzas internas en cada sección (vd,vi,Mmax)**

Se determina el momento de agrietamiento:

Sección de estudio	Viga			
	Mdcn(kN.m)	fr(Mpa)	Fcpe(Mpa)	Mcr(kN.m)
1	13384.9	4.4	9.248	55429.4
2	25564.0	4.4	11.30	53593.4
3	34439.1	4.4	12.8	52350.7
4	42542.4	4.4	14.2	51299.9
5	53250.3	4.4	16.1	50064.0
6	59424.3	4.4	17.2	49455.6
7	64826.5	4.4	18.2	49009.3

**Tabla 9-12. . Momentos de agrietamiento en cada sección**

Después la resistencia a cortante que proporciona el concreto:

Sección de estudio	dv(m)	Viga						
		Vci(KN) (1)	0.16Raiz(fc)*bv*dv (kN) (2)	Vci (kN) (3) - Mayor entre (1) y (2)	Fpc(Mpa)	Vcw(kN) (4)	Vc(kN - Menor entre (3) y (4))	cot (0)
1.0	2.2	28099.0	1955.0	28099.0	5.8	4980.9	4980.9	1.80
2.0	2.160	16238.9	1955.0	16238.9	5.9	4997.6	4997.6	1.80
3.0	2.2	12549.2	1955.0	12549.2	5.9	5011.0	5011.0	1.80
4.0	2.2	10364.8	1955.0	10364.8	5.9	5024.4	5024.4	1.80
5.0	2.2	8028.4	1955.0	8028.4	6.0	5044.4	5044.4	1.80
6.0	2.2	6796.3	1955.3	6796.3	6.0	5058.5	5058.5	1.80
7.0	2.3	5859.9	2041.1	5859.9	6.0	5294.6	5294.6	1.80

Sección de estudio	Vc(kN)	Vs(KN)	S(m)
1.0	4980.9	25022.3	0.052
2.0	4997.6	22776.7	0.057
3.0	5011.0	20319.2	0.064
4.0	5024.4	18833.9	0.069
5.0	5044.4	15050.4	0.086
6.0	5058.5	12981.1	0.100
7.0	5294.6	10495.2	0.129

*Tabla 9-13. . Separación necesaria en cada sección*

### 9.1.8 Revisión de las almas

## 9.2. REFERENCIAS

AIS. (2014). *Norma Colombiana de Diseño Sismo Resistente de Puentes*. Bogotá, Colombia:: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS), Instituto Nacional de Vías (INVIAS).