

1. INTRODUCCIÓN
2. CONCEPCIÓN DEL DISEÑO DE PUENTES
3. MATERIALES
4. CARGAS Y FACTORES DE CARGA
5. TIPOLOGIAS DE PUENTES
6. FUNDAMENTOS DE DISEÑO
7. PUENTE DE UNA LUZ DE VIGA Y LOSA EN CONCRETO REFORZADO
 - 7.1. ESTUDIOS BASES
 - 7.2. TABLERO DE VIGA Y LOSA
 - 7.2.1 Materiales

Las propiedades de los materiales del tablero son las siguientes:

Concreto:	Viga:	$f'_{cv} = 21 \text{ MPa}$
	Losa:	$f'_{cl} = 21 \text{ MPa}$
Acero de refuerzo:	Longitudinal (Flexión)	$f_{yt} = 420 \text{ MPa}$
	Flejes (Cortante)	$f_{yt} = 420 \text{ MPa}$
Peso específico del concreto reforzado		$\gamma_c := 24 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$
Peso específico del pavimento		$\gamma_{pav} := 22.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$

7.2.2 Geometría del tablero

Las dimensiones de los componentes del tablero se presentan en las siguientes

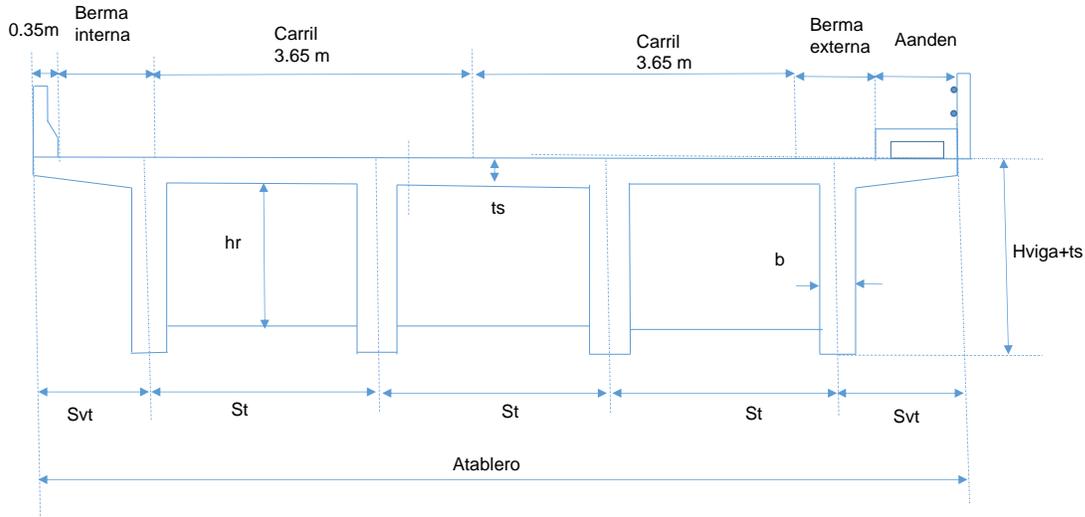


Figura 7-1 Sección transversal del tablero. Berma externa de 1.94 m y la interna de 1 m.

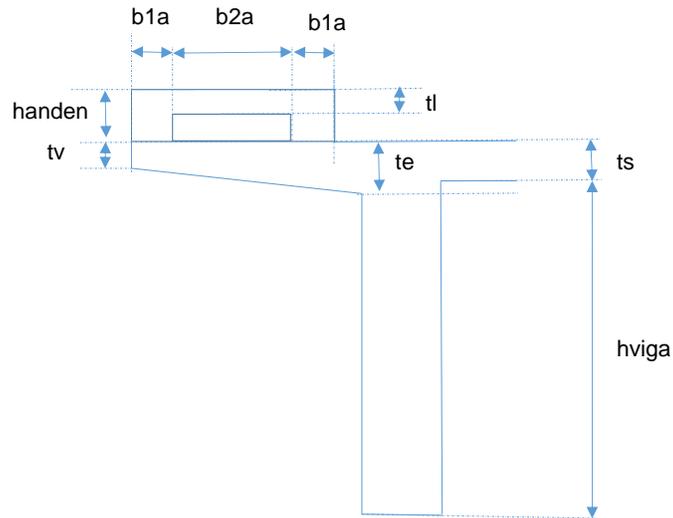


Figura 7-2 Geometría de la losa en voladizo con baranda y andén.

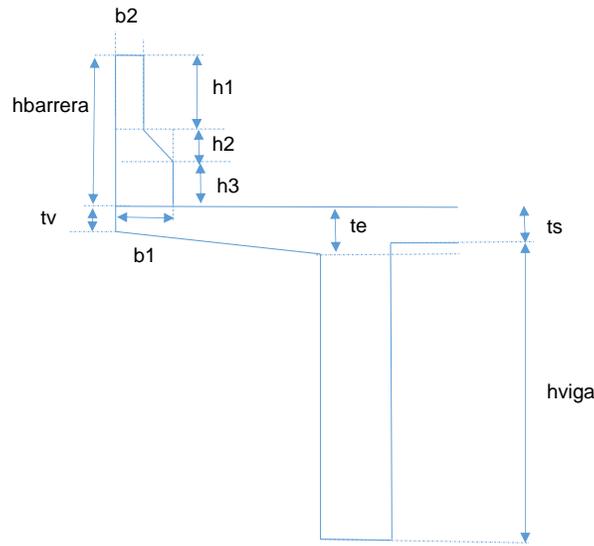


Figura 7-3 Geometría de la losa en voladizo con barrera de tráfico

TABLERO	$S_{vt} = 1.45 \text{ m}$	$S_t = 2.9 \text{ m}$	$A_{tablero} := 3 \cdot S_t + 2 \cdot S_{vt} = 11.6 \text{ m}$
VIGAS	$L_{viga} = 25 \text{ m}$	$h_{viga} = 1.76 \text{ m}$	$b = 0.39 \text{ m}$ $N_v = 4$
DIAFRAGMA:	$N_r = 1$	$h_r = 1.51 \text{ m}$	$b_r = 0.25 \text{ m}$
LOSA:	$ts = 0.19 \text{ m}$	$tv = 0.15 \text{ m}$	$te = 0.29 \text{ m}$ $epav = 0.05 \text{ m}$
ANDEN	$handen = 0.3 \text{ m}$	$tl = 0.1 \text{ m}$	$b1a = 0.2 \text{ m}$ $b1b = 0.6 \text{ m}$
	$Area_{anden} := (b1a \cdot 2 + b1b) \cdot handen - (handen - tl) \cdot (b1b) = 0.18 \text{ m}^2$		
APOYO	$D_{apoyo} = 0.6 \text{ m}$		
BARRERA DE TRAFICO	$b1 = 0.36 \text{ m}$	$b2 = 0.18 \text{ m}$	$h1 = 0.545 \text{ m}$ $h2 = 0.18 \text{ m}$
	$h3 = 0.125 \text{ m}$	$h_{barrera} := h1 + h2 + h3 = 0.85 \text{ m}$	
	$Area_{barrera} := h_{barrera} \cdot b2 + h3 \cdot (b1 - b2) + h2 \cdot \frac{(b1 - b2)}{2} = 0.192 \text{ m}^2$		

Se determina el ancho efectivo de la viga “T”, que corresponde al menor valor de los siguientes valores:

$$n := \frac{\sqrt{f'_{cv}}}{\sqrt{f'_{cl}}} = 1$$

$$bei := \min\left(12 \cdot ts + b, \frac{L_{viga}}{4}, S_t\right) \cdot \frac{1}{n} = 2.67 \text{ m}$$

7.2.3 Diseño de vigas

7.2.3.1 Evaluación manual de carga muerta (DC y DW)

La carga muerta (DC) por metro de la viga interior y exterior respectivamente son las siguiente:

$$Pbaranda := 1.5 \frac{kN}{m} \quad Pbarrera := Areabarrera \cdot \gamma_c = 4.601 \frac{kN}{m}$$

$$Panden := Areaanden \cdot \gamma_c = 4.32 \frac{kN}{m}$$

$$Wdcve := h_{viga} \cdot b \cdot \gamma_c + ts \cdot \left(\frac{b}{2} + \frac{S_t}{2}\right) \cdot \gamma_c + (te + tv) \cdot \frac{\left(S_{vt} - \frac{b}{2}\right)}{2} \cdot \gamma_c + \frac{Pbaranda}{Nv} + \frac{Pbarrera}{Nv} + \frac{Panden}{Nv} = 33.206 \frac{kN}{m}$$

$$Wdcvi := h_{viga} \cdot b \cdot \gamma_c + ts \cdot S_t \cdot \gamma_c + \frac{Pbaranda}{Nv} + \frac{Pbarrera}{Nv} + \frac{Panden}{Nv} = 32.303 \frac{kN}{m}$$

También se incluye la carga puntual que genera la riostra ubicada en el centro de la luz:

$$Pdcvi := h_r \cdot b_r \cdot (S_t - b) \cdot \gamma_c = 22.741 \text{ kN}$$

$$Pdcve := h_r \cdot b_r \cdot \left(\frac{S_t}{2} - \frac{b}{2}\right) \cdot \gamma_c = 11.37 \text{ kN}$$

La carga muerta (DW – superficie de rodadura) por metro de la viga interior y exterior respectivamente es la siguiente:

$$Wdwvi := \gamma_{pav} \cdot S_t \cdot epav = 3.263 \frac{kN}{m}$$

$$Wdwve := \gamma_{pav} \cdot \left(\frac{S_t}{2} + S_{vt} - b1 \right) \cdot epav = 2.858 \frac{kN}{m}$$

Se determinan el momento máximo en el centro de la luz de cada una de las vigas:

$$Mdcvi := Wdcvi \cdot \frac{L_{viga}^2}{8} + Pdcvi \cdot \frac{L_{viga}}{4} = (2.666 \cdot 10^3) \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$Mdcve := Wdcve \cdot \frac{L_{viga}^2}{8} + Pdcve \cdot \frac{L_{viga}}{4} = (2.665 \cdot 10^3) \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$Mdwvi := Wdwvi \cdot \frac{L_{viga}^2}{8} = 254.883 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$Mdwve := Wdwve \cdot \frac{L_{viga}^2}{8} = 223.242 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

También el cortante máximo en el eje de cada viga:

$$Vdcvi := Wdcvi \cdot \frac{L_{viga}}{2} + \frac{Pdcvi}{2} = 415.155 \text{ kN}$$

$$Vdcve := Wdcve \cdot \frac{L_{viga}}{2} + \frac{Pdcve}{2} = 420.765 \text{ kN}$$

$$Vdwvi := Wdwvi \cdot \frac{L_{viga}}{2} = 40.781 \text{ kN}$$

$$Vdwve := Wdwve \cdot \frac{L_{viga}}{2} = 35.719 \text{ kN}$$

7.2.3.3 Evaluación aproximada de carga viva (LL+IM)

Se determina a continuación los factores de distribución para la viga interior para un solo carril

$$S := S_t = (2.9 \cdot 10^3) \text{ mm}$$

$$L_{viga} = (2.5 \cdot 10^4) \text{ mm}$$

$$ts = 190 \text{ mm}$$

$$I := h_{viga}^3 \cdot \frac{b}{12} = 0.177 \text{ m}^4$$

Inercia de la sección simple de la viga

$$e := \left(\frac{h_{viga}}{2} + ts - \frac{ts}{2} \right) = 0.975 \text{ m}$$

$$n = 1$$

$$A := h_{viga} \cdot b = 0.686 \text{ m}^2$$

$$kg1 := n \cdot (I + A \cdot e^2) = 0.83 \text{ m}^4$$

$$gm1 := 0.06 + \left(\frac{S}{4300 \cdot \text{mm}} \right)^{0.4} \cdot \left(\frac{S}{L_{viga}} \right)^{0.3} \cdot \left(\frac{kg1}{L_{viga} \cdot (ts)^3} \right)^{0.1} = 0.584$$

Para dos carriles:

$$gm2 := 0.075 + \left(\frac{S}{2900 \cdot \text{mm}} \right)^{0.6} \cdot \left(\frac{S}{L_{viga}} \right)^{0.2} \cdot \left(\frac{kg1}{L_{viga} \cdot (ts)^3} \right)^{0.1} = 0.836$$

Para cortante de viga interior un solo carril:

$$gv1 := 0.36 + \left(\frac{S}{7600 \cdot \text{mm}} \right) = 0.742$$

Para cortante de viga interior dos carriles

$$gv2 := 0.2 + \left(\frac{S}{3600 \cdot \text{mm}} \right) - \left(\frac{S}{10700 \cdot \text{mm}} \right)^2 = 0.932$$

Los factores de distribución para viga exterior se determinan aplicando la regla de la palanca. Para ello, se localizan los camiones en la siguiente posición y se determinan los efectos de las cargas en viga exterior.

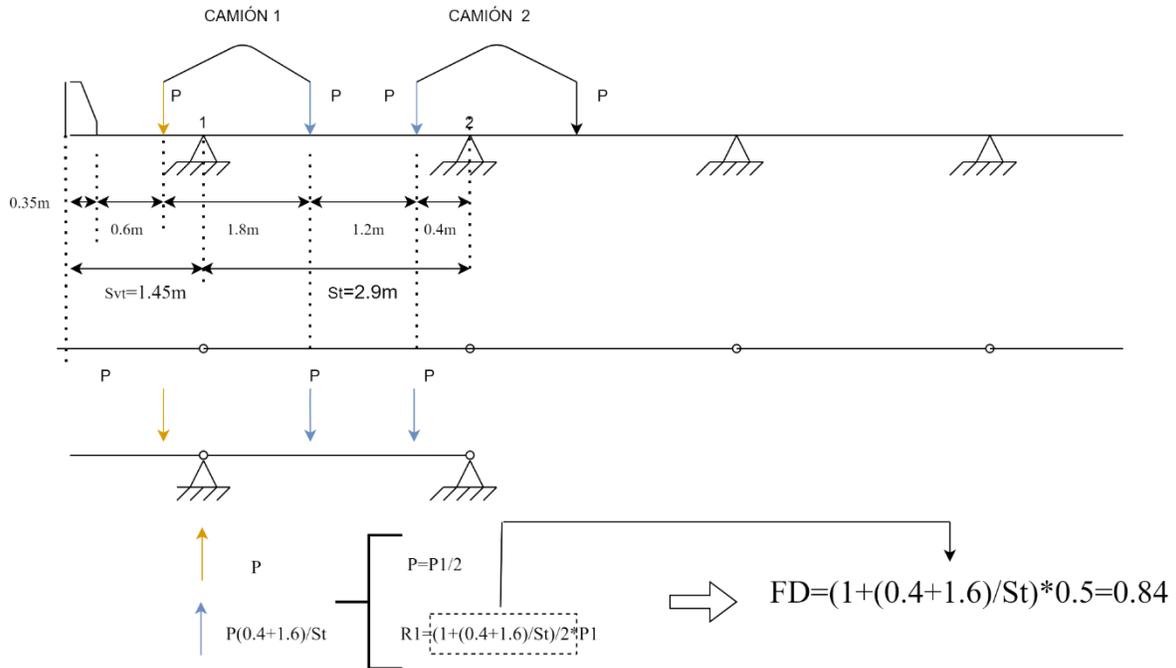


Figura 7-4 Localización de los camiones para la determinación del factor de distribución viga exterior (dos carriles cargados)

Para dos carriles(m=1):

$$a := S_{vt} + S_t - b_1 - 0.6 \text{ m} - 1.8 \text{ m} - 1.2 \text{ m} = 0.39 \text{ m}$$

$$b := S_{vt} + S_t - b_1 - 0.6 \text{ m} - 1.8 \text{ m} = 1.59 \text{ m}$$

$$gmve1 := \left(1 + \frac{a+b}{S_t}\right) \cdot 0.5 = 0.841$$

$$gmve1 := gmve1 \cdot 1 = 0.841$$

Afectado por el factor de presencia multiple

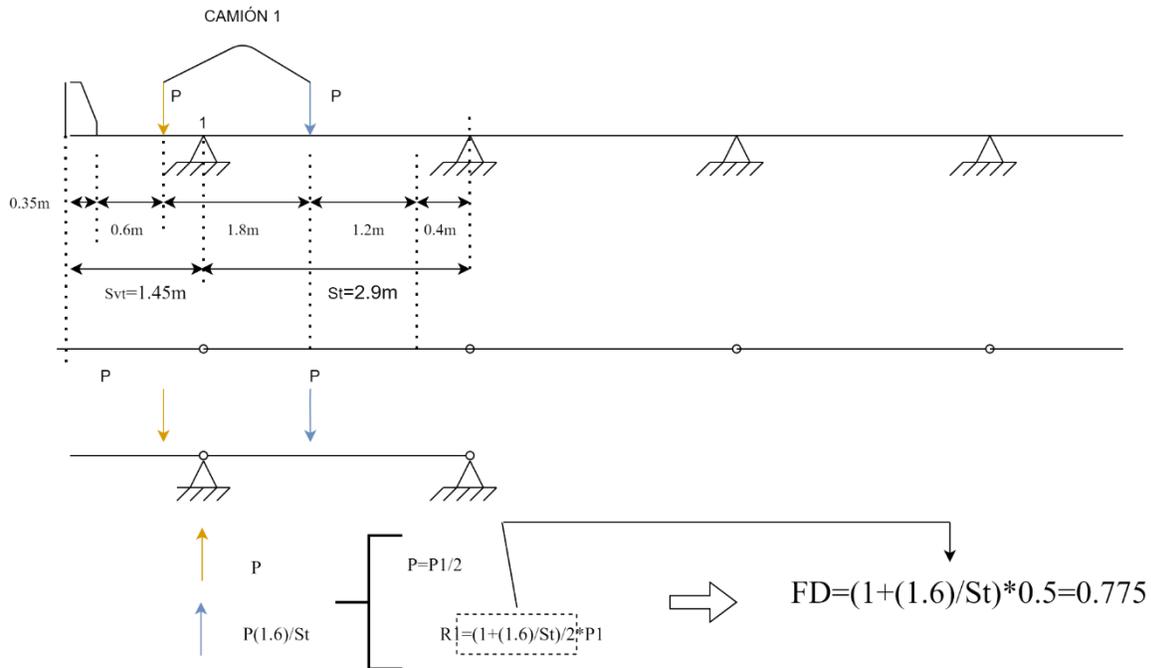


Figura 7-5 Localización de los camiones para la determinación del actor de distribución viga exterior (Un carril cargado)

Para un carril (m=1.2):

$$gmve2 := \left(1 + \frac{a}{S_t}\right) \cdot 0.5 = 0.774$$

$$gmve2 := gmve2 \cdot 1.2 = 0.929$$

$$gmve := \max(gmve1, gmve2) = 0.929$$

Determinados los factores de distribución para cada tipo de sollicitación y viga, que se resumen en la siguiente tabla, se procede a evaluar el momento máximo y la localización que genera el camión de diseño.

Tabla 7-1 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

	Un solo carril			Dos carriles			Definitivo
	Fd	ím	Fd*	Fd	ím	Fd*	
Viga interior (M)	0.58	NA	0.58	0.84	NA	0.84	0.836
Viga interior (V)	0.74	NA	0.74	0.93	NA	0.93	0.932
Viga exterior (M)	0.77	1.20	0.93	0.84	1.00	0.84	0.929
Viga exterior (V)	0.77	1.20	0.93	0.84	1.00	0.84	0.929

Para ello, se determinó la función de momento en función de una distancia variable “x” como se observa continuación:

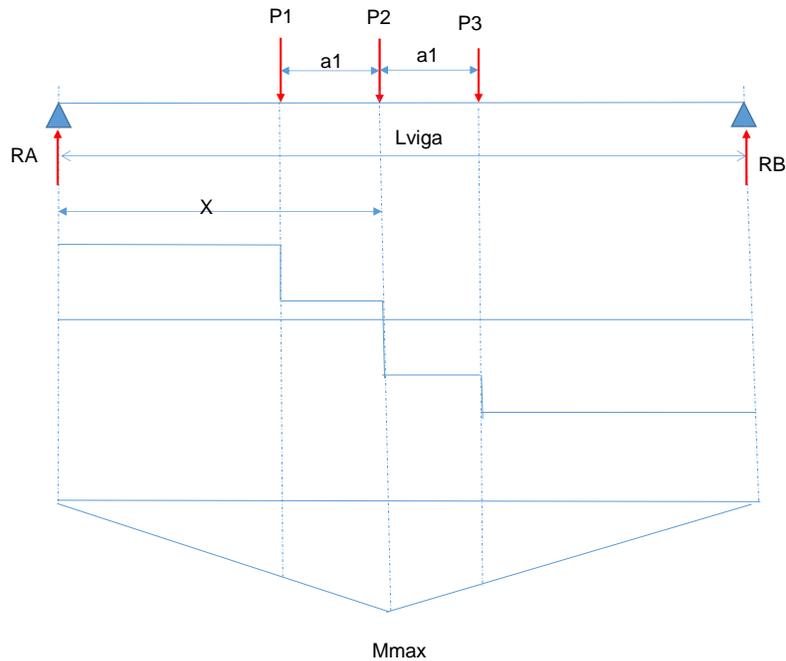


Figura 7-6 Localización del camión de diseño para evaluar el momento máximo

Al realizar la derivada parcial de la función de momento con respecto a la distancia “X”, se encontró que la localización de momento máximo es la siguiente:

$$X = \frac{P3 * Lviga - P3 * a1 - P2 * Lviga + P1 * Lviga + P1 * a1}{2(P1 + P2 + P3)} \quad 7-1$$

Para este diseño se tiene:

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

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

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

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

Localización del momento máximo:

$$x := \frac{(P3 \cdot L_{viga} - P3 \cdot a1 + P2 \cdot L_{viga} + P1 \cdot L_{viga} + P1 \cdot a1)}{2 (P1 + P2 + P3)} = 13.217 \text{ m}$$

Reacción producida por la carga de diseño en el punto B:

$$RB := \frac{(P1 \cdot (x - a1) + P2 \cdot (x) + P3 \cdot (x + a1))}{L_{viga}} = 169.68 \text{ kN}$$

Reacción en el punto A:

$$RA := P1 + P2 + P3 - RB = 190.32 \text{ kN}$$

Con ello, se determina el momento máximo para la viga interior teniendo en cuenta el impacto y el factor de distribución correspondiente. También el momento producido por la línea de carga afecta por el factor de distribución sin factor de impacto.

$$IM := 1.33 \quad \text{Impacto}$$

$$Wc := 10.3 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{Carga de carril de diseño}$$

$$Mmaxvi1 := (RA \cdot (x - a1) + (RA - P1) \cdot a1) \cdot gm \cdot IM = (2.032 \cdot 10^3) \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$Mmaxvi2 := \left(-\frac{(Wc \cdot x^2)}{2} + \frac{Wc \cdot L_{viga} \cdot x}{2} \right) \cdot gm = 670.477 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$Mmaxvi := Mmaxvi1 + Mmaxvi2 = (2.702 \cdot 10^3) \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Esto mismo se hace para la viga exterior, donde cambia es los factores de distribución:

o

$$M_{maxve1} := (RA \cdot (x - a1) + (RA - P1) \cdot a1) \cdot gm_{vve} \cdot IM = (2.258 \cdot 10^3) \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{maxve2} := \left(-\frac{(Wc \cdot x^2)}{2} + \frac{Wc \cdot L_{viga}}{2} \cdot x \right) \cdot gm_{vve} = 745.07 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{maxve} := M_{maxve1} + M_{maxve2} = (3.003 \cdot 10^3) \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Igualmente se hacen los cálculos anteriores, pero para el centro de la luz de cada viga. Las reacciones son las siguientes:

$$RB := \frac{\left(P1 \cdot \left(\frac{L_{viga}}{2} - a1 \right) + P2 \cdot \left(\frac{L_{viga}}{2} \right) + P3 \cdot \left(\frac{L_{viga}}{2} + a1 \right) \right)}{L_{viga}} = 159.36 \text{ kN}$$

Reacción en el punto A:

$$RA := P1 + P2 + P3 - RB = 200.64 \text{ kN}$$

El momento máximo de la viga interior en $X=L_{viga}/2$:

$$M_{maxvi1} := \left(RA \cdot \left(\frac{L_{viga}}{2} - a1 \right) + (RA - P1) \cdot a1 \right) \cdot gm \cdot IM = (2.024 \cdot 10^3) \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{maxvi2} := \frac{(Wc \cdot L_{viga}^2)}{8} \cdot gm = 672.688 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{maxvi} := M_{maxvi1} + M_{maxvi2} = (2.696 \cdot 10^3) \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento máximo de la viga exterior en $X=L_{viga}/2$:

$$M_{maxve1} := \left(RA \cdot \left(\frac{L_{viga}}{2} - a1 \right) + (RA - P1) \cdot a1 \right) \cdot g_{mvve} \cdot IM = (2.249 \cdot 10^3) \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{maxve2} := \frac{(Wc \cdot L_{viga}^2)}{8} \cdot g_{mvve} = 747.527 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{maxve} := M_{maxve1} + M_{maxve2} = (2.996 \cdot 10^3) \text{ kN}\cdot\text{m}$$

La evaluación de cortante se muestra más adelante, donde es necesario identificar una distancia crítica, lo cual depende del valor “dv” y este del refuerzo a flexión.

7.2.3.4 Evaluación mediante modelo estructural de carga muerta (DC y DW) y viva (LL+IM)

Con el objeto de evaluar las cargas, empleando un modelo estructural del tablero en elementos finitos desarrollado en el programa CSIBridge. Para ello, se define el “Bridge layout line data” como se observa en la siguiente figura:

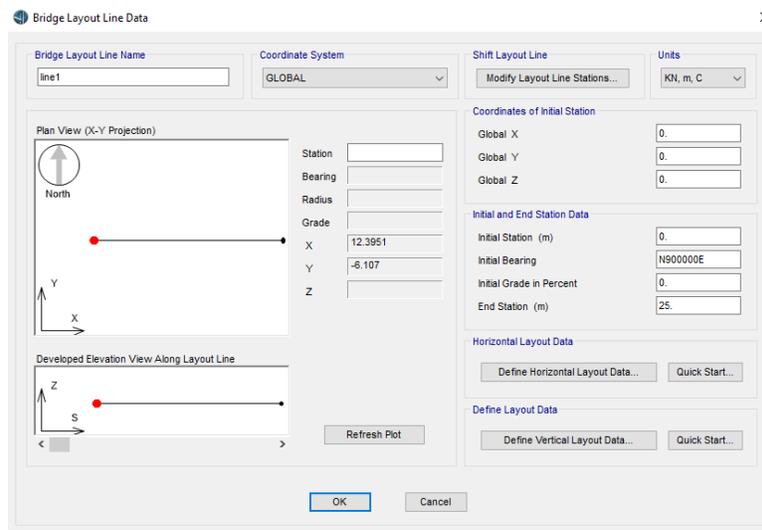


Figura 7-7 Definición “Bridge layout line data” del tablero del puente. Fuente: (CCP-14(INVIAS), 2014)

Posteriormente se construye el modelo estableciendo: propiedades mecánicas de los materiales, geometría del tablero, apoyos y riostra como se observa en Figura 7-8, Figura 7-9 y Figura 7-10.

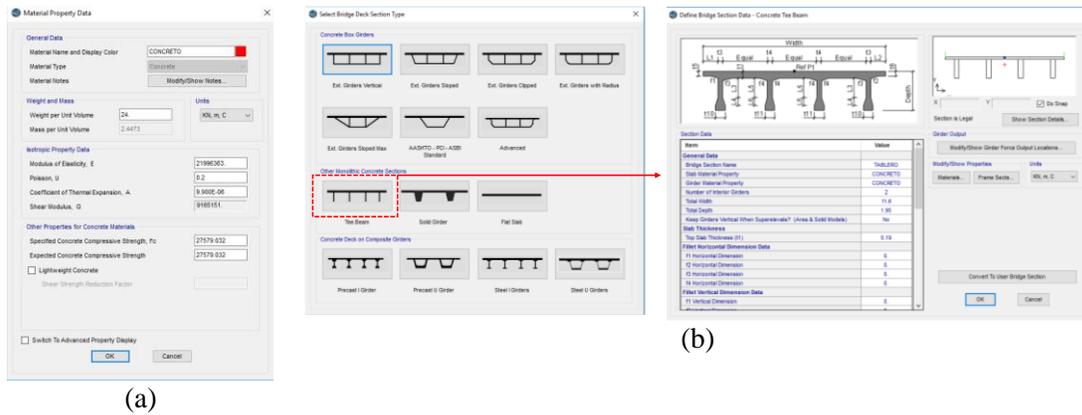


Figura 7-8 (a) Materiales. (b) Geometría de tablero del puente. Fuente: (CCP-14(INVIAS), 2014)

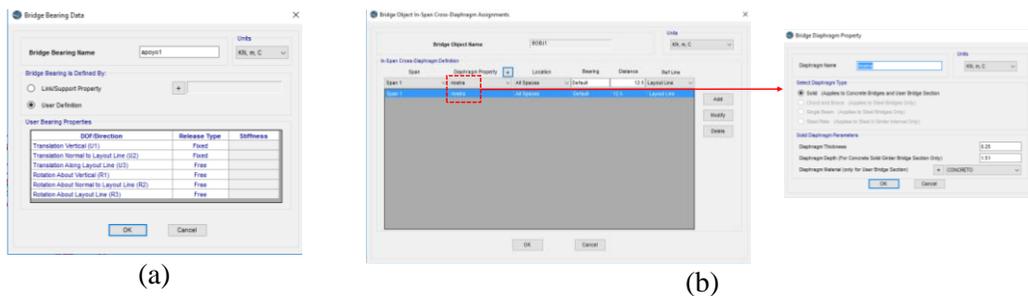


Figura 7-9 (a) Apoyos. (b) Riostra. Fuente: Referencia [Error! No se encuentra el origen de la referencia.]

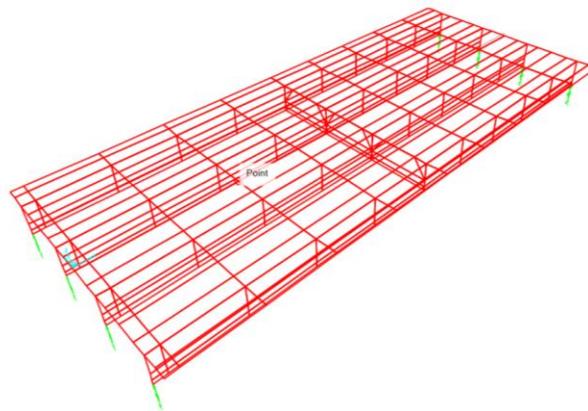


Figura 7-10 Modelo estructural del tablero del puente en concreto reforzado. Fuente: (CCP-14(INVIAS), 2014)

Se evalúa y se asignan las cargas muertas correspondientes a peso propio(es automático y corresponde a la losa, vigas y riostras), barandas, barras y pavimento como se observa en las siguientes figuras.

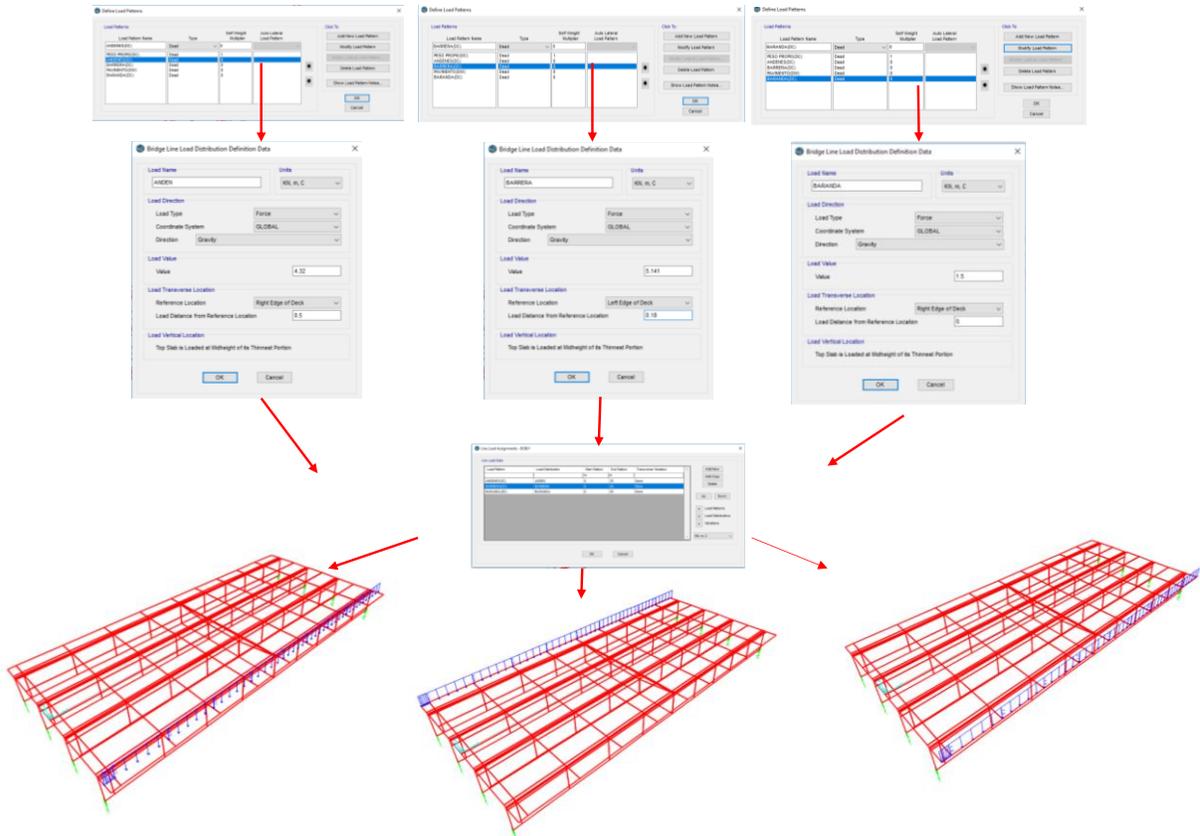


Figura 7-11 Evaluación y asignación de la carga muerta de andén, baranda y barrera (DC).
Fuente: (CCP-14(INVIAS), 2014)

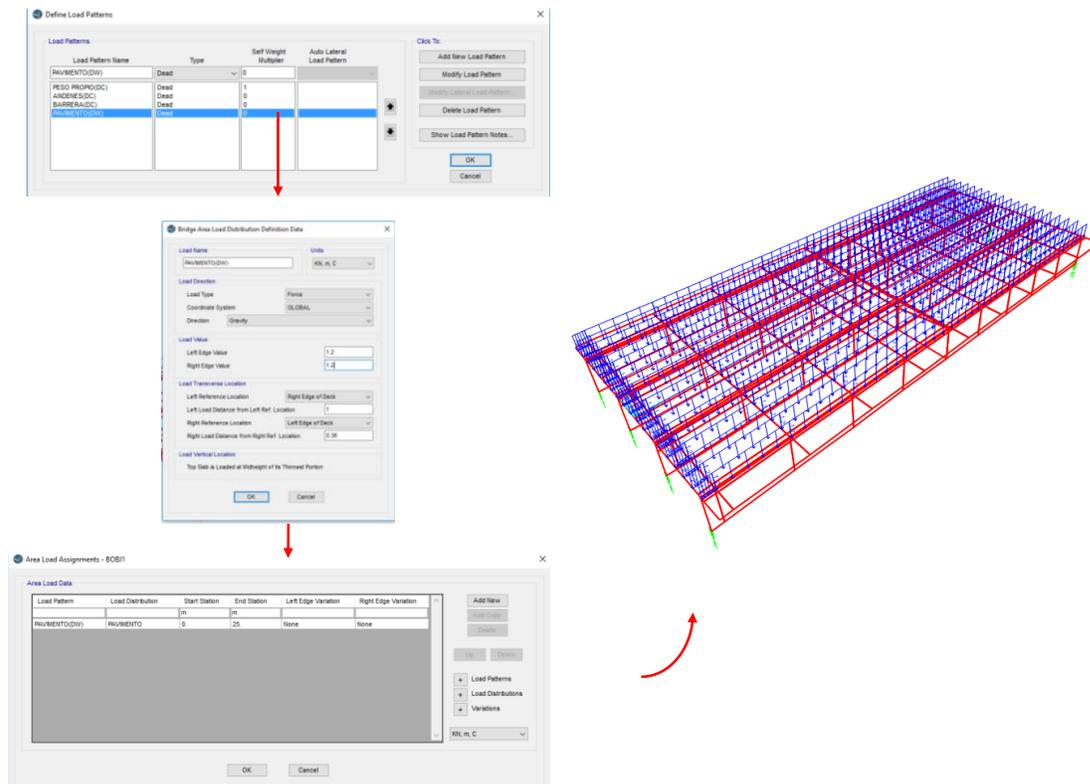


Figura 7-12 Evaluación y asignación de la carga muerta de pavimento (DW). Fuente: (CCP-14(INVIAS), 2014)

Para la carga viva se define la carga de diseño CC-14 como se observa a continuación:

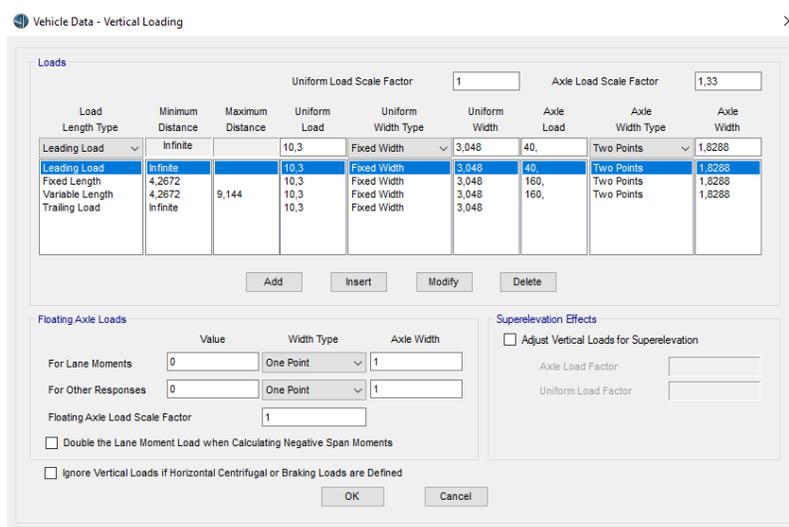


Figura 7-13 Carga de diseño CC-14. Fuente: (CCP-14(INVIAS), 2014)

Posteriormente se establecen tres condiciones de carga, una concéntrica y dos excéntricas, como se exponen a continuación

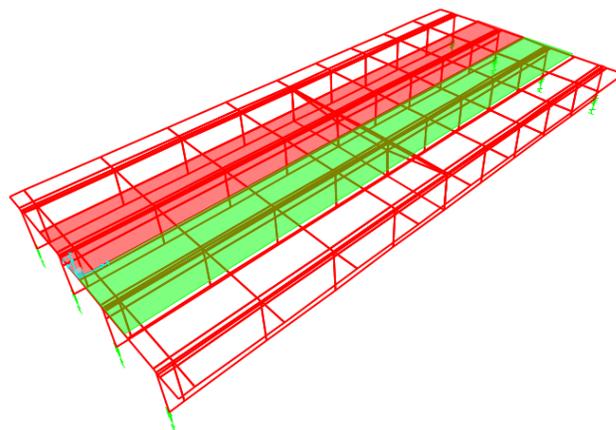
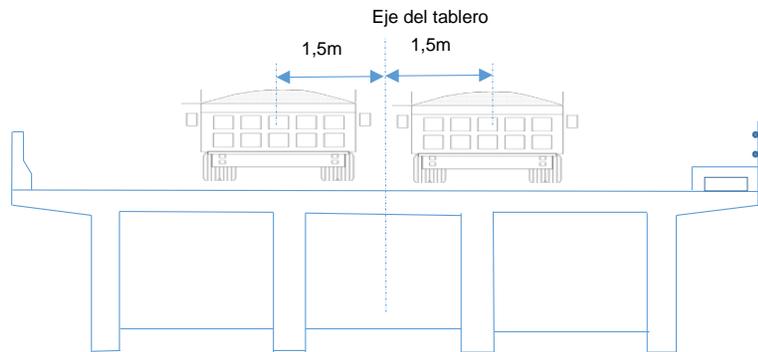
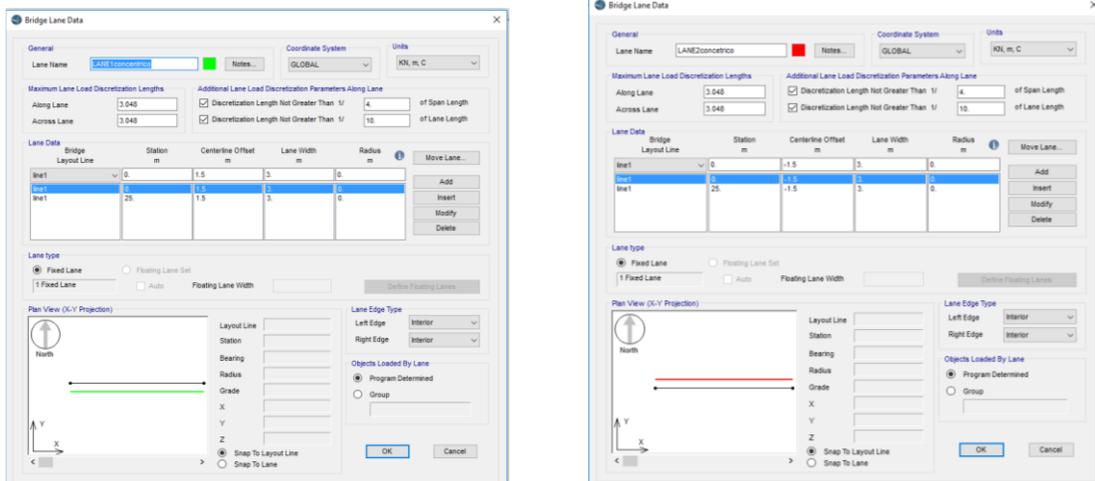


Figura 7-14 Condición de carga viva concéntrica. Fuente(CCP-14(INVIAS), 2014)

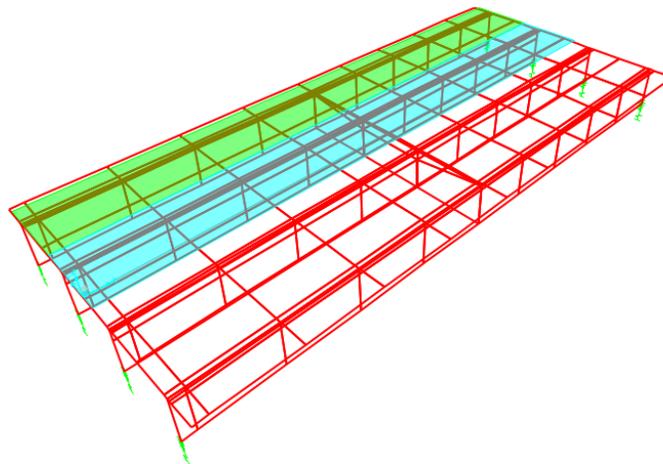
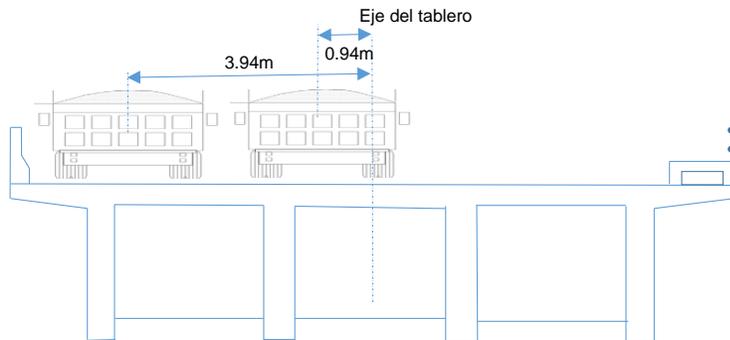
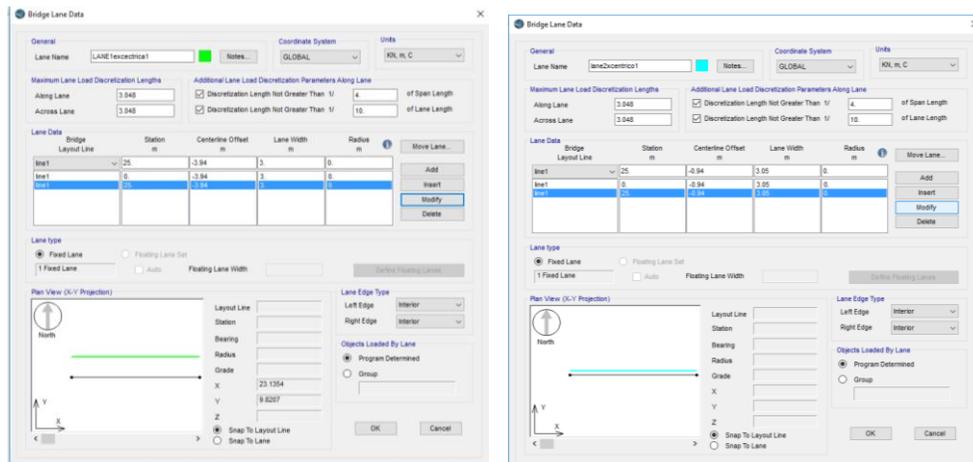


Figura 7-15 Condición de carga viva excéntrica del lado de la barrera. Fuente: (CCP-14(INVIAS), 2014)

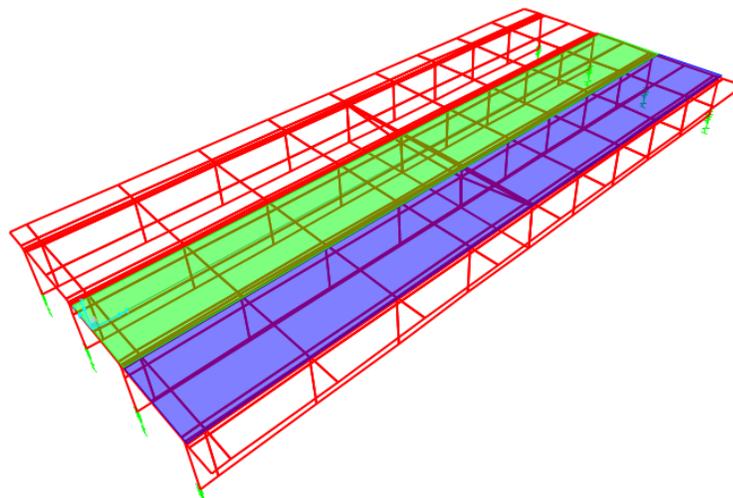
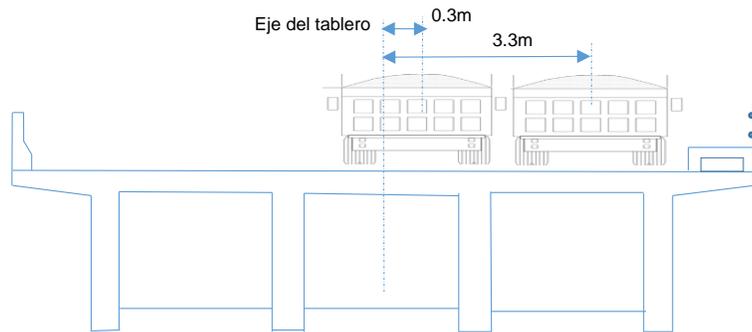
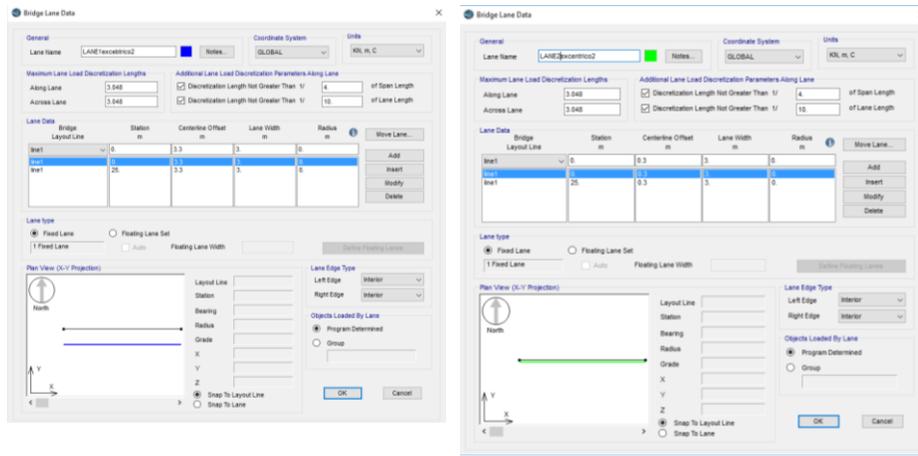


Figura 7-16 Condición de carga viva excéntrica del lado del andén. Fuente: (CCP-14(INVIAS), 2014)

Se generan las diferentes condiciones de carga empleando la opción de “Moving load” del programa, incluyendo una combinación de carga que genera la envolvente, como se observa a continuación:

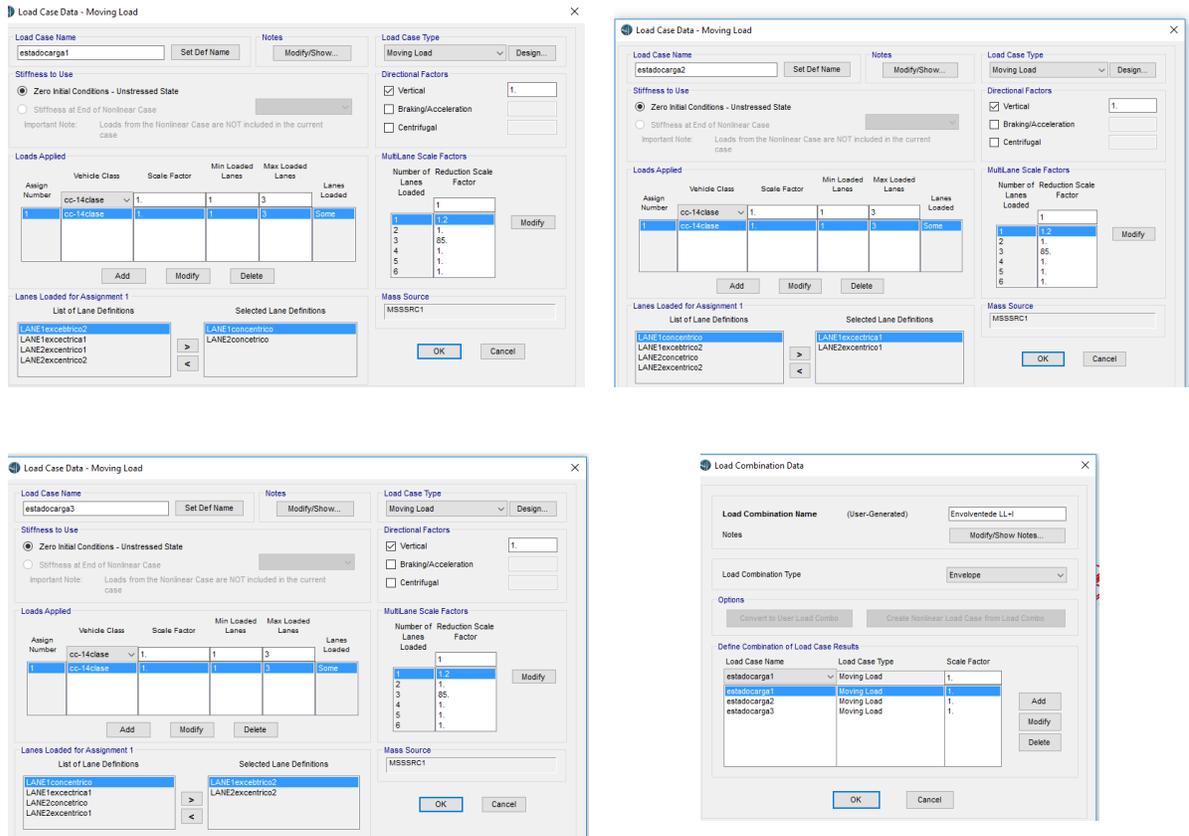


Figura 7-17 Condiciones de carga viva empleando el “Moving load” y la combinación de carga para generar una envolvente. Fuente: (CCP-14(INVIAS), 2014)

Definidas las condiciones de carga se establecen las diferentes combinaciones de carga basados en las que especifica la norma como se observa a continuación:

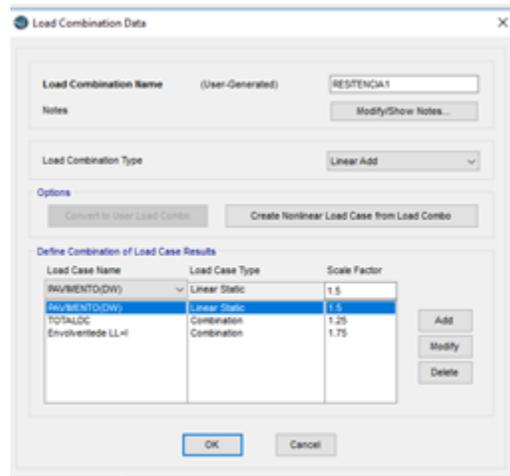


Figura 7-18 Combinación de carga – Resistencia 1. Fuente: (CCP-14(INVIAS), 2014)

7.2.3.5 Diseño a flexión

Se presentan a continuación el diseño a flexión de la viga, empleando la combinación de carga de resistencia I, para lo cual se determinaron las envolventes que se obtuvieron de esta sollicitación determinadas en forma manual y a través del modelo estructural que se observan a continuación:

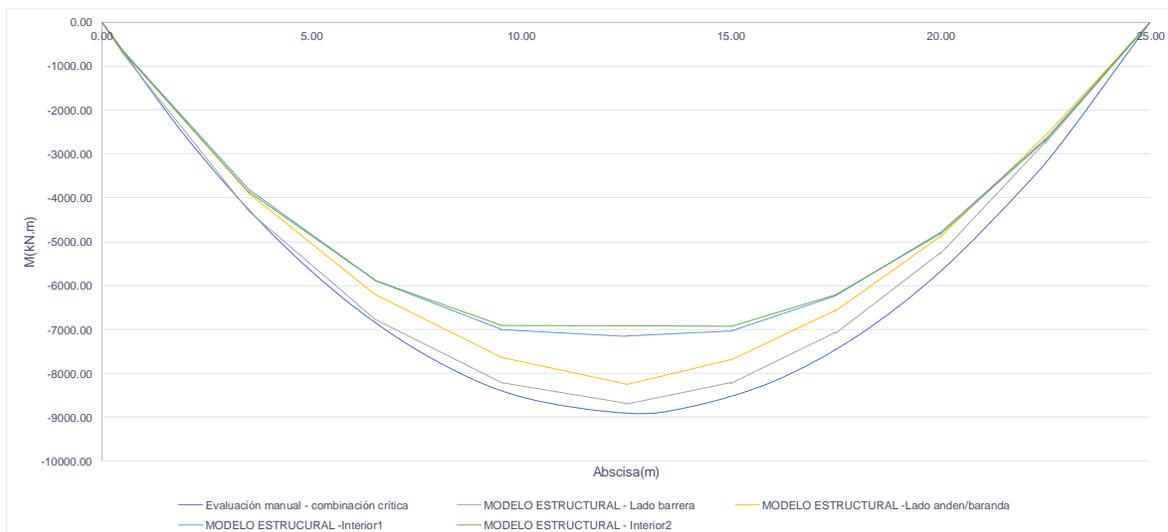


Figura 7-19 Diagrama de momento por combinación de carga mayorada : Resistencia 1.

El siguiente diseño a flexión se basó en el mayor momento ultimo mayorado **obtenido del modelo estructural** Se considera para comenzar en un $d' = 0.13 \text{ m}$ y un factor de reducción de resistencia de 0.9, datos que se confirman más adelante.

$$d' := 0.13 \text{ m}$$

$$dp := h_{\text{viga}} + ts - d' = 1.82 \text{ m}$$

Se considera inicialmente que el eje neutro de la viga queda dentro de la aleta y que se puede diseñar como una viga rectangular considerando que el ancho que queda a compresión es el “ bei ” efectivo como se observa a continuación:

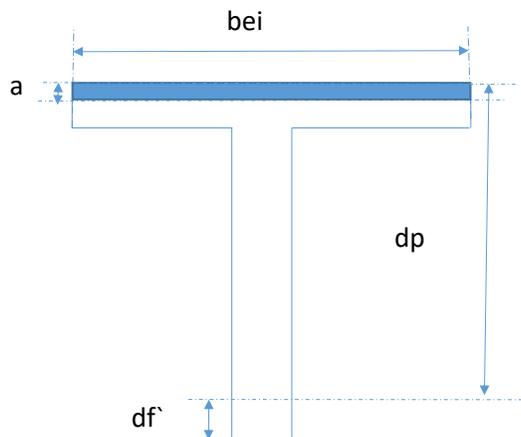


Figura 7-20 Sección transversal de viga T

De esta forma se determina la cuantía y área de acero necesaria considerando un factor de reducción de resistencia de 0.9.

$$bei = 2.67 \text{ m}$$

$$Rn := \frac{Mu}{bei \cdot dp^2} = 0.985 \text{ MPa}$$

$$m := \frac{f_{yt}}{0.85 \cdot f'_{cv}} = 23.529$$

$$\phi := 0.9$$

$$\rho := \frac{1}{m} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - 2 \cdot Rn \cdot \frac{m}{\phi \cdot f_{yt}}} \right) = 0.003$$

$$A_s := \rho \cdot b_{ei} \cdot d_p = 130.74 \text{ cm}^2$$

Conociendo el área se determina la localización del eje neutro, al hacer equilibrio (Compresión=tensión) :

$$a := \frac{(A_s \cdot f_{yt})}{0.85 \cdot f'_{cv} \cdot b_{ei}} = 0.115 \text{ m}$$

Como $a < t_s$, se confirma que esta viga se puede trabajar como una viga rectangular con ancho “ b_{ei} ” y distancia efectiva “ d_p ”. Se determina la deformación unitaria para verificar el factor de resistencia seleccionado:

$$\epsilon_{cu} := 0.003 \quad B1 := 0.85$$

$$c := B1 \cdot a = 0.073 \text{ m}$$

$$\epsilon_t := \frac{d}{c} \cdot \epsilon_{cu} - \epsilon_{cu} = 0.054$$

Con la deformación unitaria se ingresa a la siguiente gráfica y se comprueba que está controlado por flexión, luego el factor de reducción es de 0.9.

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

$$c := \frac{a}{B1} = 0.136 \text{ m} \quad \epsilon_{cu} := 0.003$$

$$\epsilon_t := \frac{d_p}{c} \cdot \epsilon_{cu} - \epsilon_{cu} = 0.037$$

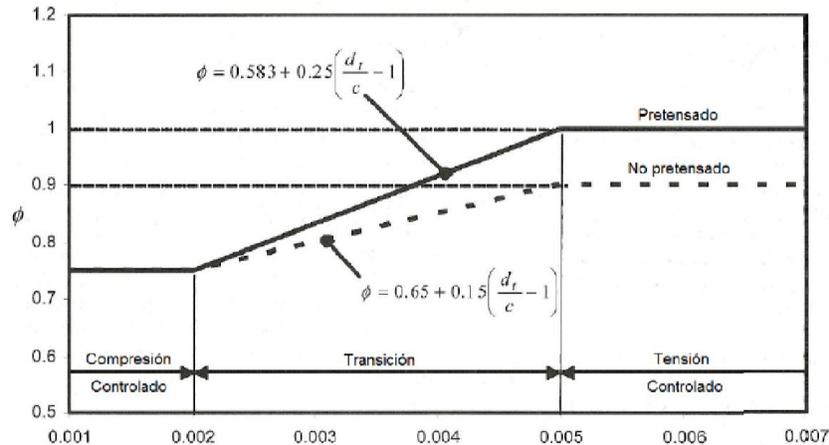


Figura 7-21 Factor de reducción de resistencia a flexión. Fuente: Adaptado de la Figura C.5.5.4.2.1-1 de la (CCP-14(INVIAS), 2014)

Se verifica si se cumple con los requerimientos mínimos de refuerzo (cuantía mínima), aplicando el numeral 5.7.3.3.2 de (CCP-14(INVIAS), 2014). El M_{dnc} se tomó como el mayor del modelo estructural y es el momento de carga muerta sin mayorar.

$$\gamma_1 := 1.6 \quad \gamma_3 := 0.75 \quad f_r := 0.62 \cdot \left(\sqrt{\frac{f'_{cv}}{\text{MPa}}} \right) \cdot \text{MPa} = 2.841 \text{ MPa}$$

$$M_{dnc} = (2.942 \cdot 10^3) \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$S_{nc} := \frac{h_{viga}^3 \cdot b}{12} = 0.201 \text{ m}^3$$

$$Y := \frac{\left(b \cdot h_{viga} \cdot \frac{h_{viga}}{2} + b_{ei} \cdot t_s \cdot \left(h_{viga} + \frac{t_s}{2} \right) \right)}{b \cdot h_{viga} + b_{ei} \cdot t_s} = 1.294 \text{ m}$$

$$I_v := b \cdot \frac{h_{viga}^3}{12} + b_{ei} \cdot \frac{t_s^3}{12} + b \cdot h_{viga} \cdot \left(Y - \frac{h_{viga}}{2} \right)^2 + b_{ei} \cdot t_s \cdot \left(h_{viga} + \frac{t_s}{2} - Y \right)^2 = 0.456 \text{ m}^4$$

$$S_c := \frac{I_v}{Y} = 0.352 \text{ m}^3$$

$$M_{cr} := \gamma_3 \cdot \left(\gamma_1^2 \cdot f_r \cdot S_c - M_{dnc} \cdot \left(\frac{S_c}{S_{nc}} - 1 \right) \right) = 267.426 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{min} := \text{if}(M_{cr} < 1.33 \cdot Mu, M_{cr}, 1.33 \cdot Mu) = 267.426 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\text{if}(Mu > M_{min}, \text{“Cumple”}, \text{“No cumple”}) = \text{“Cumple”}$$

Se encuentra que el momento último utilizado para el diseño es mayor que el momento mínimo determinado anteriormente, con lo cual se cumple con este requisito. Igualmente se debe verificar que las cuantías requeridas sean menores que la cuantía máxima, para asegurar que sea una sección subreforzada. Esto se cumple teniendo en cuenta que la cuantía requerida es menor que la cuantía máxima que para este cálculo es de 0.0159, teniendo en cuenta una resistencia a la compresión de 21 Mpa y un límite de fluencia de 420 Mpa.

Se procede a verificar la distancia efectiva real, para lo cual se define la cantidad de barras en el centro de la luz. Para ello, se emplean las recomendaciones del numeral 5.10.3 de la norma y considerando que la viga va a ser prefabricada, para lo cual la separación mínima entre barras es el mayor valor de:

- El diámetro de la barra ($d_b=2.54$ cm)
- 1.33 tamaño máximo agregado
- 2.5 cm.

Por no conocer el tamaño máximo del agregado, lo cual depende de la construcción, se optó por una separación entre barras de 2.54 cm. Utilizando barras 8 con un área de 5.1 cm^2 y un recubrimiento de $r=40$ mm basados en la tabla 5.12.3-1 de la norma (en la opción de otras situaciones interiores), se tiene lo siguiente:

Tabla 7-2 : Recubrimientos para las armaduras principales no protegidas.

Situación	Recubrimiento (mm)
Exposición directa al agua salada	100
Hormigonado contra el suelo	75
Ubicaciones costeras	75
Exposición a sales anticongelantes	60
Superficies de losa de los puentes con tránsito de neumáticos con clavos o cadenas	60
Otras situaciones exteriores	50
Otras situaciones interiores	
• Hasta Barras No. 11	40
• Barras No. 14 y No. 18	50
Fondo de losas vaciadas <i>in situ</i>	
• Hasta Barras No. 11	25
• Barras No. 14 y No. 18	50
Encofrados inferiores para paneles prefabricados	20
Pilotes prefabricados de concreto armado	
• Ambientes no corrosivos	50
• Ambientes corrosivos	75
Pilotes prefabricados de concreto presforzado	50
Pilotes vaciados <i>in situ</i>	
• Ambientes no corrosivos	50
• Ambientes corrosivos	
– En general	75
– Refuerzo protegido	75
• Cáscaras	50
• Concreto vaciado con bentonita, concreto vaciado por el sistema tremie o construcción con lechada	75

$$As_{No8} := 5.1 \text{ cm}^2 \quad Nbarras := \frac{As}{As_{No8}} = 25.635 \quad \text{Se opta por 26}$$

$$r := 4 \text{ cm} \quad de := 1.27 \cdot \text{cm} \quad db := 2.54 \text{ cm} \quad nbfila := 6 \quad sep := 2.54 \text{ cm}$$

$$bmin := 2 \cdot r + nbfila \cdot db + (nbfila - 1) \cdot sep + 2 \cdot de = 0.385 \text{ m} \quad \text{Menor que } b \text{ -Ok}$$

Se opta por 26 barras con la distribución que se observa en la siguiente figura. Se comprobó con el cálculo anterior que caben 6 barras por cada fila.

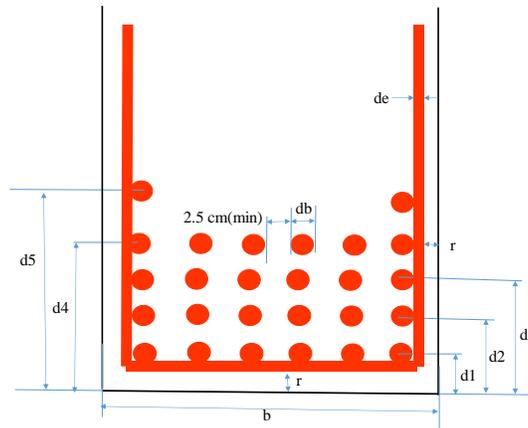


Figura 7-22 Refuerzo a flexión de la viga principal

Ahora se procede a determinar el d^{real} :

$$d1 := r + de + \frac{db}{2} = 0.065 \text{ m}$$

$$d3 := d2 + \frac{db}{2} + sep + \frac{db}{2} = 0.167 \text{ m} \quad d4 := d3 + \frac{db}{2} + sep + \frac{db}{2} = 0.218 \text{ m}$$

$$d5 := d4 + \frac{db}{2} + sep + \frac{db}{2} = 0.269 \text{ m} \quad d2 := d1 + \frac{db}{2} + sep + \frac{db}{2} = 0.116 \text{ m}$$

$$d^{\text{real}} := \frac{(6 \cdot As_{No8} \cdot d1 + 6 \cdot As_{No8} \cdot d2 + 6 \cdot As_{No8} \cdot d3 + 6 \cdot As_{No8} \cdot d4 + 2 \cdot As_{No8} \cdot d5)}{(26 \cdot As_{No8})} = 0.151 \text{ m}$$

Posteriormente se determinan el área de acero, la distancia efectiva y el momento resistente reales, encontrándose que es mayor al momento último actuante, por lo cual se cumple con el diseño.

$$d_{real} := h_{viga} + t_s - d'_{real} = 1.799 \text{ m}$$

$$A_{sreal} := 26 \cdot A_{s_{No8}} = 132.6 \text{ cm}^2$$

$$\rho := \frac{A_{sreal}}{b_{ei} \cdot d_{real}} = 0.003$$

$$oMn := 0.9 \cdot A_{sreal} \cdot f_{yt} \cdot d_{real} \cdot \left(1 - 0.59 \cdot \rho \cdot \frac{f_{yt}}{f'_{cv}} \right) = (8.722 \cdot 10^3) \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\text{if}(oMn \geq Mu, \text{“Cumple”}, \text{“No cumple”}) = \text{“Cumple”}$$

Se determina el refuerzo a flexión necesario, no solamente en el centro de la luz, si no cada 2 metros para poder realizar el despiece(Para la viga con mayor momento último):

Tabla 7-3 Determinación del refuerzo a flexión cada 2 m y en el centro de la luz

x(m)	MU(kN.m)	Rn(Mpa)	Cuantía	As(cm2)	N.de Barras
0.00	0.00				
2.00	-2564.14	0.29	0.00077	37.61	7.00
4.00	-4682.34	0.53	0.00142	69.22	13.00
6.00	-6354.60	0.72	0.00195	94.53	18.00
8.00	-7580.93	0.86	0.00233	113.30	22.00
10.00	-8361.32	0.95	0.00258	125.34	24.00
12.50	-8709.71	0.98	0.00269	130.74	26.00
14.00	-8584.29	0.97	0.00265	128.79	25.00
16.00	-8026.86	0.91	0.00247	120.17	23.00
18.00	-7023.51	0.79	0.00216	104.75	20.00
20.00	-5574.21	0.63	0.00170	82.68	16.00
22.00	-3678.98	0.42	0.00112	54.19	10.00
23.00	-2564.14	0.29	0.00077	37.61	7.00
25.00	0.00	0.00	0.00000	0.00	

Tabla 7-4 Determinación del refuerzo a flexión cada 2 m y en el centro de la luz

x(m)	d´ (real) (cm)	d(real) (m)	Asreal(cm2)	cuantia real	OMnreal(kN.m)	Verificación
0.00						
2.00	7.27	1.88	35.70	0.0007	2512.11	No cumple
4.00	9.67	1.85	66.30	0.0013	4571.29	No cumple
6.00	11.62	1.83	91.80	0.0019	6222.58	No cumple
8.00	13.47	1.82	112.20	0.0023	7488.79	No cumple
10.00	14.16	1.81	122.40	0.0025	8116.68	No cumple
12.50	15.14	1.80	132.60	0.0028	8721.51	Cumple
14.00	14.67	1.80	127.50	0.0026	8419.53	No cumple
16.00	13.83	1.81	117.30	0.0024	7803.17	No cumple
18.00	12.64	1.82	102.00	0.0021	6857.42	No cumple
20.00	10.99	1.84	81.60	0.0017	5564.67	No cumple
22.00	8.57	1.86	51.00	0.0010	3550.51	No cumple
23.00	7.27	1.88	35.70	0.0007	2512.11	No cumple
25.00						

Se ajustan los puntos que no cumplen aumentando el número de barras:

Tabla 7-5 : 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 cumplieran)

x(m)	N.de Barras ajustado	d´ (real) (cm)	d(real) (m)	Asreal(cm2)	cuantia real	OMnreal(kN.m)	Verificación
0.00							
2.00	8	7.8100	1.87	40.80	0.00082	2859.11	Cumple
4.00	14	10.1686	1.85	71.40	0.00145	4903.29	Cumple
6.00	19	11.6200	1.83	96.90	0.00198	6560.02	Cumple
8.00	23	13.8287	1.81	117.30	0.00242	7803.17	Cumple
10.00	25	14.6680	1.80	127.50	0.00265	8419.53	Cumple
12.50	26	15.1369	1.80	132.60	0.00276	8721.51	Cumple
14.00	26	15.1369	1.80	132.60	0.00276	8721.51	Cumple
16.00	24	14.1600	1.81	122.40	0.00253	8116.68	Cumple
18.00	21	13.0714	1.82	107.10	0.00220	7173.54	Cumple
20.00	18	11.3212	1.84	91.80	0.00187	6232.95	Cumple
22.00	14	8.8491	1.86	71.40	0.00144	4938.90	Cumple
23.00	8	7.8100	1.87	40.80	0.00082	2859.11	Cumple
25.00							

Se debe revisar que se cumpla con retracción y temperatura basados en el numeral 5.10.8 de la norma:

$$br := \frac{b}{mm} = 390$$

$$hr := \frac{h_{viga}}{mm} = 1.76 \cdot 10^3$$

$$f_{ytr} := \frac{f_{yl}}{MPa} = 420$$

$$As := \frac{750 \cdot br \cdot hr}{2 \cdot (br + hr) \cdot f_{ytr}} \cdot \frac{mm^2}{m} = 2.85 \frac{cm^2}{m}$$

7.2.3.6 Diseño a cortante

Para el diseño a cortante se emplea la combinación de carga de resistencia 1. Se debe determinar el cortante a una distancia crítica que indica en la siguiente figura:

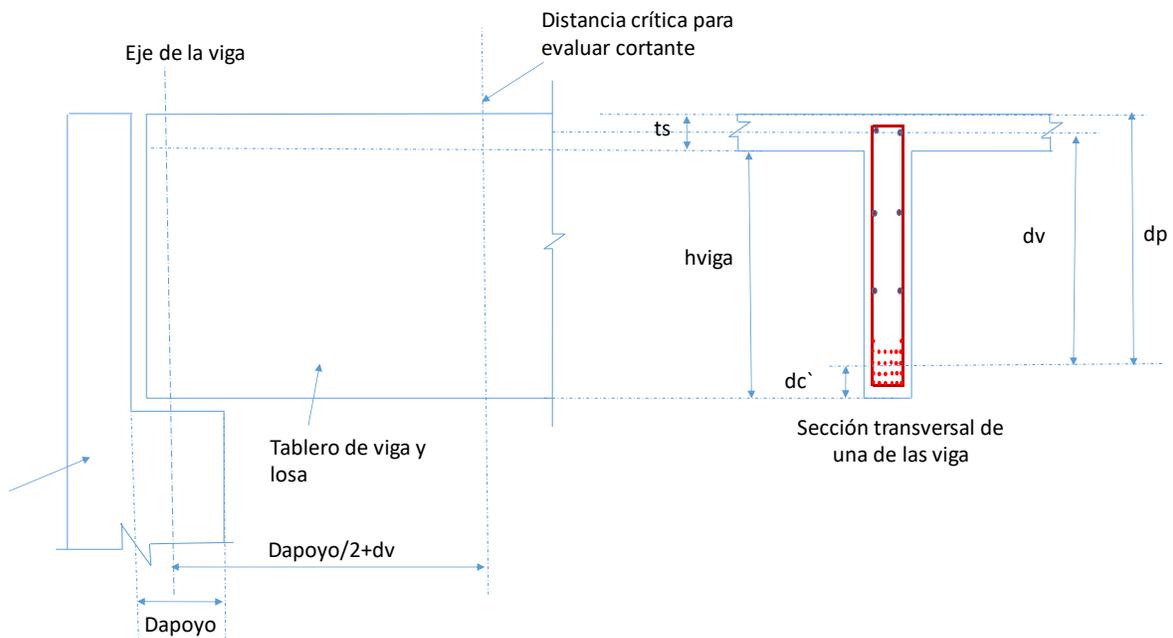


Figura 7-23 Localización de la distancia crítica para evaluar cortante en la viga.

Para ello, se determina “dv” y la distancia crítica “dcritica”: Se tiene en cuenta el acero a flexión determinado a una distancia de dos metros del apoyo y su correspondiente d’:

$$d' := 0.0781 \text{ m} \quad Dapoyo = 0.6 \text{ m} \quad Asreal := 8 \cdot 5.1 \text{ cm}^2 = 40.8 \text{ cm}^2$$

$$dp := h_{viga} + ts - d' = 1.872 \text{ m}$$

$$a := \frac{f_{yt} \cdot Asreal}{0.85 \cdot f'_{cv} \cdot bei} = 0.036 \text{ m} \quad dv1 := dp - \frac{a}{2} = 1.854 \text{ m}$$

$$dv := \max(dv1, 0.72 \cdot (h_{viga} + ts), 0.9 \cdot dp) = 1.854 \text{ m}$$

$$dcritica := \frac{Dapoyo}{2} + dv = 2.154 \text{ m}$$

Posteriormente se determinan los cortantes por carga muerta (DC y DW) a esta distancia crítica:

$$Vdcvi_d := \left(Vdcvi - \frac{Pdcvi}{2} \right) \cdot \frac{\left(\frac{L_{viga}}{2} - dcritica \right)}{\frac{L_{viga}}{2}} + \frac{Pdcvi}{2} = 345.578 \text{ kN}$$

$$Vdcve_d := \left(Vdcve - \frac{Pdcve}{2} \right) \cdot \frac{\left(\frac{L_{viga}}{2} - dcritica \right)}{\frac{L_{viga}}{2}} + \frac{Pdcve}{2} = 349.241 \text{ kN}$$

$$Vdwwi_d := Vdwwi \cdot \frac{\left(\frac{L_{viga}}{2} - dcritica \right)^2}{\frac{L_{viga}}{2}} = 33.754 \text{ kN}$$

$$Vdwve_d := Vdwve \cdot \frac{\left(\frac{L_{viga}}{2} - dcritica \right)^2}{\frac{L_{viga}}{2}} = 29.564 \text{ kN}$$

También el cortante para cada viga por carga viva. Para el cortante máximo, es necesario construir una envolvente de cortante, para lo cual se determina la reacción de la viga en el apoyo cuando el camión está en el apoyo y cuando está en el centro de la luz, como se observa en la siguiente figura:

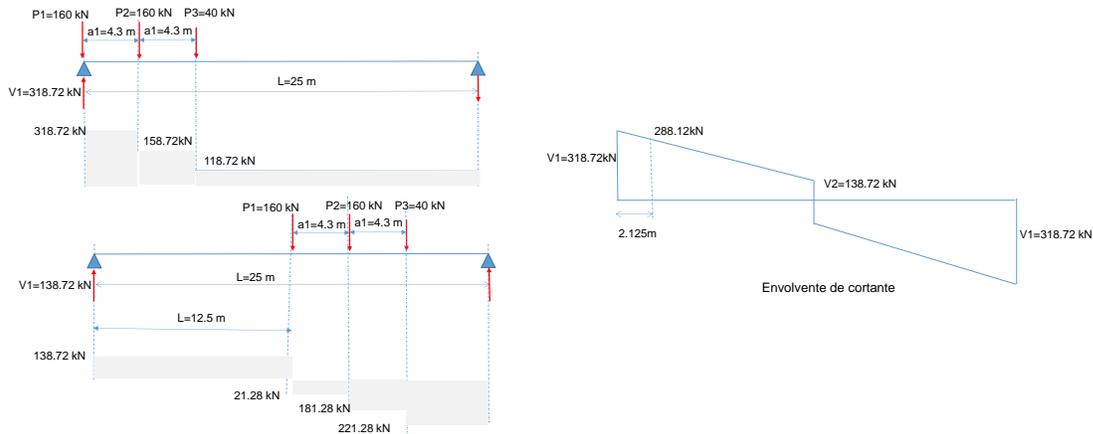


Figura 7-24 *Envolvente aproximada de cortante producto del camión de diseño en movimiento sin incluir factor de distribución e impacto*

Los valores de cortante V1 y V2 son los siguientes:

$$V1 := P1 + \frac{(P2 \cdot (L_{viga} - a1) + P3 \cdot (L_{viga} - 2 \cdot a1))}{L_{viga}} = 318.72 \text{ kN}$$

$$V2 := \frac{\left(P1 \cdot \left(\frac{L_{viga}}{2} \right) + P2 \cdot \left(\frac{L_{viga}}{2} - a1 \right) + P3 \cdot \left(\frac{L_{viga}}{2} - 2 \cdot a1 \right) \right)}{L_{viga}} = 138.72 \text{ kN}$$

$$V_{maxvi1} := \left(V1 - \frac{(V1 - V2) \cdot d_{critica}}{2} \right) \cdot gv \cdot IM = 356.664 \text{ kN}$$

$$V_{maxvi2} := \frac{(Wc \cdot L_{viga})}{2} \cdot \frac{\left(\frac{L_{viga}}{2} - d_{critica} \right)}{L_{viga}} \cdot gv = 99.329 \text{ kN}$$

$$V_{maxvi} := V_{maxvi1} + V_{maxvi2} = 387.032 \text{ kN}$$

$$V_{maxve1} := \left(V1 - \frac{(V1 - V2) \cdot d_{critica}}{\frac{L_{viga}}{2}} \right) \cdot g_{mvve} \cdot IM = 355.465 \text{ kN}$$

$$V_{maxve2} := \frac{(W_c \cdot L_{viga})}{2} \cdot \frac{\left(\frac{L_{viga}}{2} - d_{critica} \right)}{\frac{L_{viga}}{2}} \cdot g_{mvve} = 98.995 \text{ kN}$$

$$V_{maxve} := V_{maxve1} + V_{maxve2} = 454.459 \text{ kN}$$

Cortante último para viga interior a la distancia crítica:

$$V_{uvi} := 1.25 \cdot V_{dcvi_d} + 1.5 \cdot V_{dwvi_d} + 1.75 \cdot V_{maxvi} = (1.16 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

Cortante último para viga exterior a la distancia crítica:

$$V_{uve} := 1.25 \cdot V_{dcve_d} + 1.5 \cdot V_{dwve_d} + 1.75 \cdot V_{maxve} = (1.276 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

$$V_u := \max(V_{uvi}, V_{uve}) = (1.276 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

Se presenta un cuadro con los cortantes últimos a la distancia crítica por el método manual y el modelo estructura:

Tabla 7-6 Cortantes a una distancia crítica por el método manual y modelo estructural.

Viga	Cortante último(kN)	
	Manual	Modelo estructural
Interior	1159.9	1108.5
Exterior(Lado de la Barrera)	1276.2	1245.5
Exterior(Lado del andén y baranda)		1116.2

Se optó el diseño empleando el método simplificado. Empleando las solicitaciones del modelo estructural son necesario flejes No. 4 cada 0.24 m a la distancia crítica.

$$bv := b = 0.39 \text{ m} \quad \beta := 2 \quad \theta := 45^\circ \quad Vu = (1.246 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

$$V_c := 0.083 \cdot \beta \cdot \sqrt{\frac{f'_{cv}}{\text{MPa}}} \cdot \text{MPa} \cdot dv \cdot bv = 550.014 \text{ kN} \quad bv = 0.39 \text{ m}$$

$$Vs := \frac{Vu}{0.90} - V_c = 833.875 \text{ kN}$$

$$Av := 2.54 \text{ cm}^2$$

$$Sep := \frac{Av \cdot f_{yt} \cdot dv \cdot \cot(\theta)}{Vs} = 0.237 \text{ m}$$

La separación máxima de los flejes según el numeral 5.8.2.7 de la norma es:

$$S_{max} := \text{if} \left(\frac{Vu}{dv \cdot bv} \leq 0.125 \cdot f'_{cv}, \text{if}(0.4 \cdot dv > 0.6 \cdot \text{m}, 0.6 \cdot \text{m}, 0.4 \cdot dv), \text{if}(0.8 \cdot dv > 0.3 \cdot \text{m}, 0.3 \cdot \text{m}, 0.8 \cdot dv) \right) = 0.6 \text{ m}$$

Y la separación mínima de los flejes según el numeral 5.8.2.5 de la norma es:

$$\frac{0.083 \cdot \sqrt{\frac{f'_{cv}}{\text{MPa}}} \cdot bv \cdot Sep \cdot \text{MPa}}{f_{yt}} = 0.849 \text{ cm}^2$$

$$\text{if} \left(Av \geq \frac{0.083 \cdot \sqrt{\frac{f'_{cv}}{\text{MPa}}} \cdot bv \cdot Sep \cdot \text{MPa}}{f_{yt}}, \text{“Cumple”}, \text{“No cumple”} \right) = \text{“Cumple”}$$

De esta ecuación se determina S_{min} considerando el área de las ramas Av asumida:

$$S_{min} := \frac{Av \cdot f_{yt}}{0.083 \cdot \sqrt{\frac{f'_{cv}}{\text{MPa}}} \cdot bv \cdot \text{MPa}} = 0.719 \text{ m}$$

Posteriormente se determina el refuerzo necesario a cortante en la viga cada 2 metros con lo cual se hace el correspondiente despiece.

Tabla 7-7 Refuerzo necesario a cortante cada 2 metros

x(m)	VU(kN.m)	d' (real) (m)	As real(cm2)	a(m)	c(m)	dv(m)	Vc(kN)	Vs(KN)	S No. 4(cm)
0.00	0.00								
2.18	1245.50	1.87	40.80	3.60	4.23	1.854	550.01	833.87	23.7
4.00	1032.00	1.85	71.40	6.29	7.40	1.89	562.05	584.61	34.6
6.00	885.00	1.83	96.90	8.54	10.05	1.88	558.18	425.16	47.2
8.00	694.00	1.81	117.30	10.34	12.16	1.87	555.10	216.01	92.4
10.00	515.00	1.80	127.50	11.24	13.22	1.87	553.56	18.66	1066.6

7.2.3.7 Planos/despiece de la viga

Para el despiece es importante tener en cuenta las siguientes recomendaciones de la CCP-14:

- La separación libre entre barras longitudinales no debe ser menor a:
 - 2.5 cm a 3.8 cm (Depende si es prefabricado o construcción en sitio)
 - Diámetro de las barras (db)
 - 1.33 diámetro del agregado grueso
- Los paquetes de barras son válidos con las siguientes condiciones:
 - Máximo 4 barras por paquete
 - Paquete debe quedar en esquina de estribo o gancho suplementario.
 - No puede usarse para paquetes barras mayores a No.10
- Se deben cumplir con todas las especificaciones de detallado de refuerzo que la norma de puentes indica en el numeral 5.10 de CCP-14. Se deben considerar traslapos de barras a tracción o a compresión.
- Los empalmes a tracción deben ser mayores o iguales a 300 mm y pueden ser de clase A, B y C
 - Clase A: 1.0Ld
 - Clase B: 1.3Ld
 - Clase C: 1.7Ld
- Las longitudes de desarrollo para barras No. 12 o menores que están tracción debe ser calculada como el menor valor de las siguientes dos expresiones:

$$Ldh = \frac{0.02Abfy}{\sqrt{fc}} \quad \begin{array}{l} 7 - 1 \\ \text{CCP-14 5.11.2.1.1} \end{array}$$

No menor

$$Ldh = 0.06dbfy \quad \begin{array}{l} 7 - 2 \\ \text{CCP-14 5.11.2.1.1} \end{array}$$

fy	420 Mpa							
fc	21 Mpa							
Longitud de desarrollo								
						Clase traslapo		
Barras	db (mm)	As(mm)	Ld(mm)	Ld(mm) límite	Ld def(mm)	A	B	C
4	12.7	129	236	320	320	320	416	544
5	15.875	199	365	400	400	400	520	680
6	19.05	284	521	480	521	521	677	885
7	22.225	387	709	560	709	709	922	1206
8	25.4	505	926	640	926	926	1203	1574
9	28.575	645	1182	720	1182	1182	1537	2010
10	31.75	819	1501	800	1501	1501	1952	2552

Tabla 7-8 Longitudes de desarrollo de barras a tracción

Y para barras compresión se tiene:

$$Ldb \geq \frac{0.24dbfy}{\sqrt{fc}} \quad \begin{matrix} 7 - 3 \\ \text{CCP-14 5.11.2.2.1} \end{matrix}$$

No menor

$$Ldb \geq 0.044dbfy \quad \begin{matrix} 7 - 4 \\ \text{CCP-14 5.11.2.2.1} \end{matrix}$$

Tabla 7-9 Longitudes de desarrollo de barras a compresión

fy	420 Mpa							
fc	21 Mpa							
Longitud de desarrollo								
						Clase traslapo		
Barras	db (mm)	As(mm)	Ld(mm)	Ld(mm) límite	Ld def(mm)	A	B	C
4	12.7	129	279	235	279	279	363	475
5	15.875	199	349	293	349	349	454	594
6	19.05	284	419	352	419	419	545	712
7	22.225	387	489	411	489	489	636	831
8	25.4	505	559	469	559	559	726	950
9	28.575	645	629	528	629	629	817	1069
10	31.75	819	698	587	698	698	908	1187

Tabla 7-10 Condiciones para el empalme

Relación $\frac{A_s \text{ provista}}{A_s \text{ requerida}}$	Porcentaje de A_s empalmado con la longitud de traslapeo requerida		
	50	75	100
≥ 2	A	A	B
< 2	A	A	B

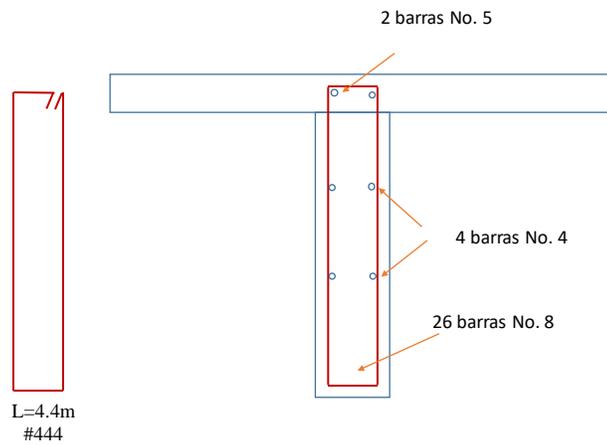


Figura 7-25 Despiece del refuerzo a flexión y cortante de la de viga. Sección transversal

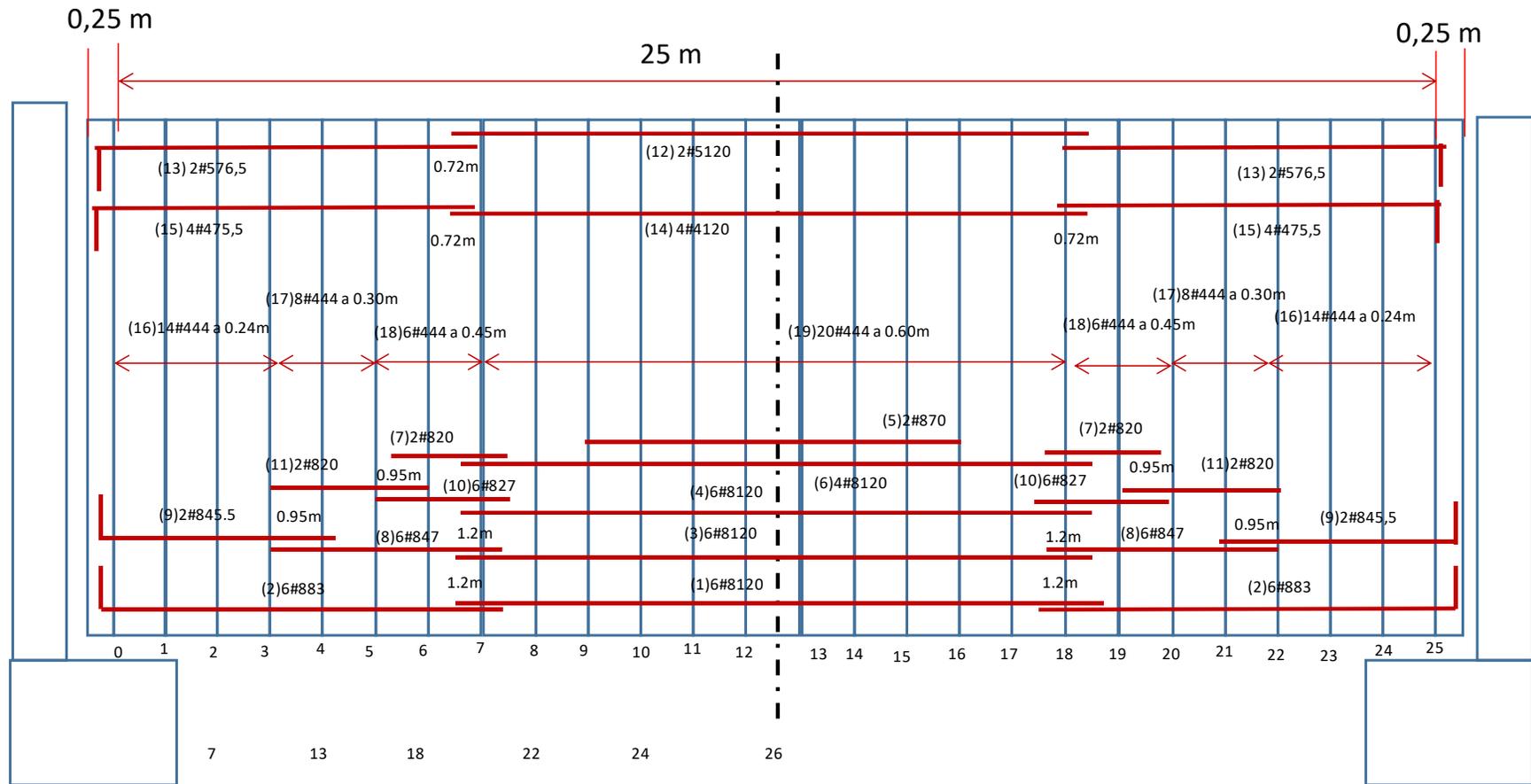


Figura 7-26 Despiece del refuerzo a flexión y cortante de la de viga

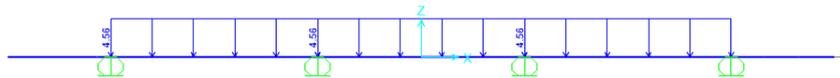
Tabla 7-11 Cantidades de obra de una viga (sin incluir refuerzo de losa)

Número	Número barra	Esquema	L(m)	Cantidad	Peso(kg/m)	Peso total(kg)
1	8		12	6	3.97	285.8
2	8		8.3	12	3.97	395.4
3	8		12	6	3.97	285.8
4	8		12	6	3.97	285.8
5	8		7	2	3.97	55.6
6	8		12	4	3.97	190.6
7	8		2	4	3.97	31.8
8	8		4.7	12	3.97	223.9
9	8		4.55	4	3.97	72.3
10	8		2.7	12	3.97	128.6
11	8		2.9	4	3.97	46.1
12	5		12	2	1.55	37.2
13	5		7.65	4	1.55	47.4
14	4		12	4	0.99	47.5
15	4		7.55	8	0.99	59.8
16	4		4.4	28	1.99	245.2
17	4		4.4	16	1.99	140.1
18	4		4.4	12	1.99	105.1
19	4		4.4	20	1.99	175.1
						2859.1
	Volumen VIGA SIN LOSA					17.5 m3
	Cuantia					163.3 kg/m3

7.2.4 Diseño de losa

7.2.3.1 Luces interiores

Para el diseño a flexión de las luces interior se elaboró un modelo estructural, consistente en la losa (que se simula como una viga con un ancho de un metro) apoyada en las cuatro vigas principales (que simulan como apoyos de segundo genero), al cual se le asignaron las diferentes cargas (DC, DW y LL). Para la carga muerta (DC) se tiene:



Peso de losa en las luces interiores de 4.56 kN/m



Peso de la losa en los voladizos que son acartelados con una carga trapezoidal que varía de 3.6 a 6.96 kN/m



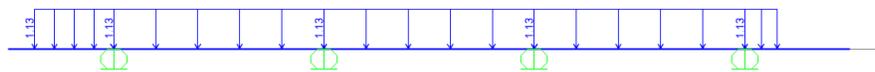
Peso de andén(4.32 kN/m), barrera(4.6 kN/m) y baranda (1.5KN/m)



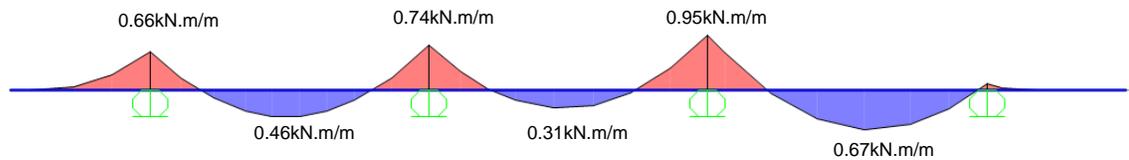
Diagrama de momento producto de la carga muerta (DC)

Figura 7-27.. Cargas y diagrama de momento por carga DC

Con estos cinco tipos de cargas muerta se construye el diagrama de momento, donde: $M_{DC+}=2.2$ KN.m/m . $M_{DC-}=10.4$ KN.m/m(lado de la barrera de tráfico) y $M_{DC-}=10.9$ KN.m/m(lado anden / baranda)



Peso del pavimento $22.5 \cdot 0.05 = 1.125$ kN/m



Con estos cinco tipos de cargas muerta se construye el diagrama de momento, donde los máximos son: $M_{DW+}=0.67$ KN.m/m y $M_{DW-}=0.95$ KN.m/m.

Figura 7-28. Diagrama de momento producto de la carga muerta (DW)

Para la determinación de los momentos máximos positivos y negativos presentes en las luces interiores producidas por la carga viva (LL), se desarrolló un programa de análisis matricial en Visual Basic para Excel, el cual determina los momentos producto del movimiento con dos condiciones:

- Un solo camión
- Dos camiones

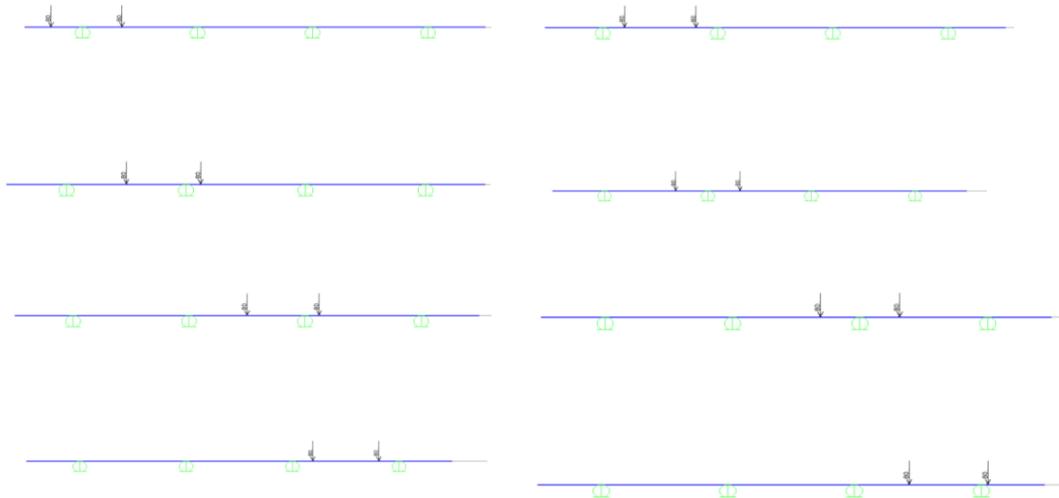


Figura 7-29. Hipótesis de carga viva (LL) - Un solo camión

También se hizo el análisis moviendo dos camiones, con lo cual se obtuvo las siguientes envolventes:

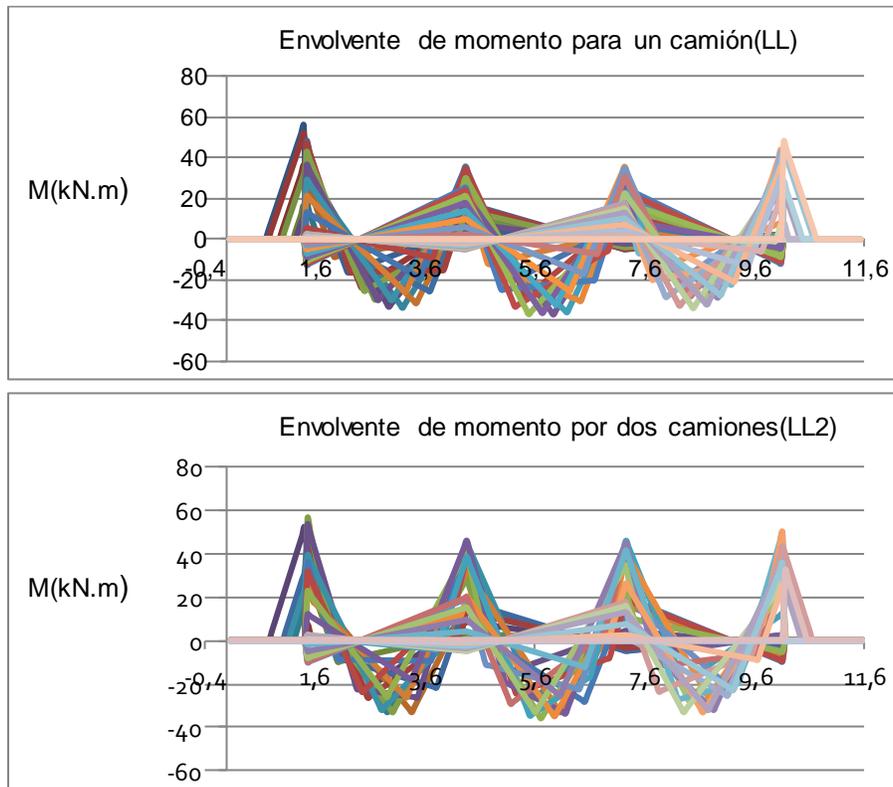


Figura 7-30. Envoltura de momentos por carga viva (LL) - Un solo camión y dos camiones

Se presenta el cálculo manual a flexión para el apoyo 1:

Para el apoyo 1:

$$M_{DC} := 10.37 \frac{\text{kN}\cdot\text{m}}{\text{m}}$$

$$M_{DW} := 0.66 \frac{\text{kN}\cdot\text{m}}{\text{m}}$$

$$M_{u1} := 58 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \text{Un solo carril}$$

$$M_{u2} := 59 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \text{Dos carriles}$$

$$E := 1.22 \text{ m} + 0.25 \cdot S_t = 1.945 \text{ m} \quad \text{Ancho de distribución para momento negativo}$$

$$M_{LL} := \max\left(M_{u1} \cdot \frac{1.2}{E} \cdot 1.33, M_{u2} \cdot \frac{1.0}{E} \cdot 1.33\right) = 47.593 \frac{\text{kN}\cdot\text{m}}{\text{m}}$$

$$M_u := 1.25 \cdot M_{DC} + 1.5 \cdot M_{DW} + 1.75 \cdot M_{LL} = 97.24 \frac{\text{kN}\cdot\text{m}}{\text{m}}$$

$$M_{dnc} := (M_{DC} + M_{DW}) = 11.03 \frac{1}{\text{m}} \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$S_c := \frac{ts^3 \cdot 1 \cdot \text{m}}{12} = (5.716 \cdot 10^{-4}) \text{ m}^4$$

$$S_{nc} := S_c$$

$$M_{cr} := \gamma_3 \cdot \left(\gamma_1^2 \cdot fr \cdot \frac{S_c}{\text{m}^2} - M_{dnc} \cdot \left(\frac{S_c}{S_{nc}} - 1 \right) \right) = 3.118 \frac{1}{\text{m}} \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{min} := \text{if}(M_{cr} < 1.33 \cdot M_u, M_{cr}, 1.33 \cdot M_u) = 3.118 \frac{1}{\text{m}} \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$\text{if}(M_u > M_{min}, \text{"Cumple"}, \text{"No cumple"}) = \text{"Cumple"}$$

$$r := 2.5 \text{ cm} \quad A_{s_{No5}} := 1.99 \text{ cm}^2 \quad db_{No5} := \frac{5}{8} \cdot 2.54 \text{ cm} = 1.588 \text{ cm}$$

$$d_f := \left(r + \frac{db_{No5}}{2} \right) = 0.033 \text{ m}$$

$$dp := ts - d_f = 0.157 \text{ m}$$

$$m := \frac{f_{yt}}{0.85 \cdot f'_{cv}} = 23.529$$

$$Rn := \frac{Mu}{dp^2} = 3.942 \text{ MPa}$$

$$S := \frac{As_{No5}}{As} \cdot 1 \text{ m} = 0.104 \text{ m}$$

$$\rho := \frac{1}{m} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - 2 \cdot Rn \cdot \frac{m}{0.9 \cdot f_{yt}}} \right) = 0.012$$

$$As := \rho \cdot dp \cdot 100 \text{ cm} = 19.116 \text{ cm}^2$$

Se presenta el cálculo manual a flexión entre los ejes 1 y 2:

$$M_{DC} := 2.17 \frac{kN \cdot m}{m}$$

$$M_{DW} := 0.46 \frac{kN \cdot m}{m}$$

$$M_{u1} := 38 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{Un solo carril}$$

$$M_{u2} := 38 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{Dos carriles}$$

$$E := 0.66 \text{ m} + 0.55 \cdot S_t = 2.255 \text{ m} \quad \text{Ancho de distribución para momento positivo}$$

$$M_{LL} := \max \left(M_{u1} \cdot \frac{1.2}{E} \cdot 1.33, M_{u2} \cdot \frac{1.0}{E} \cdot 1.33 \right) = 26.895 \frac{kN \cdot m}{m}$$

$$Mu := 1.25 \cdot M_{DC} + 1.5 \cdot M_{DW} + 1.75 \cdot M_{LL} = 50.469 \frac{kN \cdot m}{m}$$

$$Mdnc := (M_{DC} + M_{DW}) = 2.63 \frac{1}{m} \cdot kN \cdot m$$

$$Sc := \frac{ts^3 \cdot 1 \cdot m}{12} = (5.716 \cdot 10^{-4}) m^4$$

$$Snc := Sc$$

$$Mcr := \gamma_3 \cdot \left(\gamma_1^2 \cdot fr \cdot \frac{Sc}{m^2} - Mdnc \cdot \left(\frac{Sc}{Snc} - 1 \right) \right) = 3.118 \frac{1}{m} \cdot kN \cdot m$$

$$Mmin := \text{if}(Mcr < 1.33 \cdot Mu, Mcr, 1.33 \cdot Mu) = 3.118 \frac{1}{m} \cdot kN \cdot m$$

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

$$r := 2.5 \text{ cm} \quad As_{No5} := 1.99 \text{ cm}^2 \quad db_{No5} := \frac{5}{8} \cdot 2.54 \text{ cm} = 1.588 \text{ cm}$$

$$d_f := \left(r + \frac{db_{No5}}{2} \right) = 0.033 \text{ m}$$

$$dp := ts - d_f = 0.157 \text{ m}$$

$$Rn := \frac{Mu}{dp^2} = 2.046 \text{ MPa}$$

$$m := \frac{f_{yt}}{0.85 \cdot f'_{cv}} = 23.529$$

$$As_{No4} := 1.29 \cdot \text{cm}^2$$

$$\rho := \frac{1}{m} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - 2 \cdot Rn \cdot \frac{m}{0.9 \cdot f_{yt}}} \right) = 0.006$$

$$Sp := \frac{As_{No4}}{As} \cdot 1 \text{ m} = 0.141 \text{ m}$$

$$Sp := \frac{As_{No5}}{As} \cdot 1 \text{ m} = 0.218 \text{ m}$$

$$As := \rho \cdot dp \cdot 100 \text{ cm} = 9.124 \text{ cm}^2$$

También se determina a continuación el refuerzo de repartición y el de retracción de fraguado.

$$reparticion := \frac{3840 \text{ m}^{\frac{1}{2}}}{\sqrt{1000 \cdot S_t}} = 71.307$$

Porcentaje de repartición en la parte inferior de la losa paralelo al tráfico

$$Asr := \min \left(\frac{reparticion}{100} \cdot As, \frac{67}{100} \cdot As \right) = 6.113 \text{ cm}^2$$

$$As_{No4} := 1.29 \text{ cm}^2$$

$$Sp := \frac{As_{No4}}{As} \cdot 1 \text{ m} = 0.141 \text{ m}$$

No. 4 a 0.14 m (Parte inferior losa paralelo tráfico)

Aplicando el numeral 5.10.8 se tiene:

$$br := \frac{L_{viga}}{mm} = 2.5 \cdot 10^4$$

$$hr := \frac{ts}{mm} = 190$$

$$f_{ytr} := \frac{f_{yl}}{MPa} = 420$$

$$As := \frac{750 \cdot br \cdot hr}{2 \cdot (br + hr) \cdot f_{ytr}} \cdot \frac{mm^2}{m} = 1.684 \frac{cm^2}{m}$$

Se opta por 3 cm²/m:

$$Sp := \frac{As_{No4}}{3 \text{ cm}^2} \cdot 1 \text{ m} = 0.43 \text{ m}$$

No.4 a 0.43 m (Parte superior losa paralelo tráfico)

7.2.3.2 Voladizo

Se determinan el momento y cortante DC y DW por metro para el voladizo.

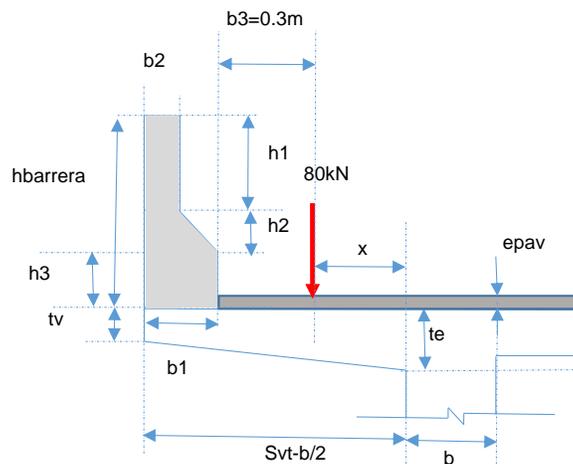


Figura 7-31.. Geometría de voladizo

$$1 \quad M_{DC1} := \left((tv) \cdot \left(S_{vt} - \frac{b}{2} \right) \cdot \frac{\left(S_{vt} - \frac{b}{2} \right)}{2} \right) \cdot \gamma_c = 2.835 \frac{1}{m} \cdot kN \cdot m$$

$$2 \quad M_{DC2} := \left((te - tv) \cdot \frac{\left(S_{vt} - \frac{b}{2} \right)}{2} \cdot \frac{\left(S_{vt} - \frac{b}{2} \right)}{3} \right) \cdot \gamma_c = 0.882 \frac{1}{m} \cdot kN \cdot m$$

$$3 \quad M_{DC3} := \left(hbarrera \cdot b2 \cdot \left(S_{vt} - \frac{b}{2} - \frac{b2}{2} \right) \right) \cdot \gamma_c = 4.278 \frac{1}{m} \cdot kN \cdot m$$

$$4 \quad M_{DC4} := \left((b1 - b2) \cdot h3 \cdot \left(S_{vt} - \frac{b}{2} - b2 - \frac{(b1 - b2)}{2} \right) \right) \cdot \gamma_c = 0.532 \frac{1}{m} \cdot kN \cdot m$$

$$5 \quad M_{DC5} := \left((b1 - b2) \cdot \frac{h2}{2} \cdot \left(S_{vt} - \frac{b}{2} - b2 - \frac{(b1 - b2)}{3} \right) \right) \cdot \gamma_c = 0.395 \frac{1}{m} \cdot kN \cdot m$$

$$M_{DC} := M_{DC1} + M_{DC2} + M_{DC3} + M_{DC4} + M_{DC5} = 8.921 \frac{1}{m} \cdot kN \cdot m$$

$$M_{DW} := \left(epav \cdot \frac{\left(S_{vt} - \frac{b}{2} - b1 \right)^2}{2} \right) \cdot \gamma pav = 0.451 \frac{1}{m} \cdot kN \cdot m$$

$$M_{LL} := \frac{P1}{2} \cdot \frac{x}{E} \cdot 1.33 \cdot 1.2 = 46.447 \frac{1}{m} \cdot kN \cdot m$$

$$E := 0.833 \cdot x + 1.14 \text{ m} = 1.636 \text{ m}$$

$$x := S_{vt} - \frac{b}{2} - b1 - 0.3 \text{ m} = 0.595 \text{ m}$$

Se realiza el diseño a flexión y se determinó que se necesitan varillas No. 5 cada 0.2m

$$Mu := 1.25 \cdot M_{DC} + 1.5 \cdot M_{DW} + 1.75 \cdot M_{LL} = 93.109 \frac{1}{m} \cdot kN \cdot m$$

$$r := 2 \text{ cm} \quad As_{No5} := 1.99 \text{ cm}^2 \quad db_{No5} := \frac{5}{8} \cdot 2.54 \cdot \text{cm}$$

$$d_f := \left(r + \frac{db_{No5}}{2} \right) = 0.028 \text{ m}$$

$$dp := te - d_f = 0.262 \text{ m}$$

$$Rn := \frac{Mu}{dp^2} = 1.356 \text{ MPa}$$

$$m := \frac{f_{yt}}{0.85 \cdot f'_{cv}} = 23.529$$

$$\rho := \frac{1}{m} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - 2 \cdot Rn \cdot \frac{m}{0.9 \cdot f_{yt}}} \right) = 0.004$$

$$As := \rho \cdot dp \cdot 100 \text{ cm} = 9.833 \text{ cm}^2$$

$$Sp := \frac{As_{No5}}{As} \cdot 1 \text{ m} = 0.202 \text{ m}$$

Se realiza el diseño a cortante, para lo cual se estima el que se produce por la carga muerta (DC y DW):

$$1 \quad V_{DC1} := \left((tv) \cdot \left(S_{vt} - \frac{b}{2} \right) \right) \cdot \gamma_c = 4.518 \frac{kN}{m}$$

$$2 \quad V_{DC2} := \left((te - tv) \cdot \frac{\left(S_{vt} - \frac{b}{2} \right)}{2} \right) \cdot \gamma_c = 2.108 \frac{kN}{m}$$

$$3 \quad V_{DC3} := (hbarrera \cdot b2) \cdot \gamma_c = 3.672 \frac{kN}{m}$$

$$4 \quad V_{DC4} := ((b1 - b2) \cdot h3) \cdot \gamma_c = 0.54 \frac{kN}{m}$$

$$5 \quad V_{DC5} := \left((b1 - b2) \cdot \frac{h2}{2} \right) \cdot \gamma_c = 0.389 \frac{kN}{m}$$

$$V_{DC} := V_{DC1} + V_{DC2} + V_{DC3} + V_{DC4} + V_{DC5} = 11.227 \frac{kN}{m}$$

$$V_{DW} := \left(epav \cdot \frac{\left(S_{vt} - \frac{b}{2} - b1 \right)}{2} \right) \cdot \gamma_{pav} = 0.503 \frac{kN}{m}$$

Se determina el cortante por carga viva y cortante último:

$$V_{LL} := 47.89 \cdot 1.2 \cdot 1.33 \frac{kN}{m} = 76.432 \frac{kN}{m}$$

$$V_{LL} := \frac{P1}{2} \cdot \frac{1}{E} \cdot 1.33 \cdot 1.2 = 78.061 \frac{kN}{m}$$

$$Vu := 1.25 \cdot V_{DC} + 1.5 \cdot V_{DW} + 1.75 \cdot V_{LL} = 151.397 \frac{kN}{m}$$

Se comprueba que el concreto de la losa en voladizo solamente asume el cortante último actuante, ya que V_s es negativo y por lo tanto no es necesario usar flejes.

$$As = 9.938 \text{ cm}^2 \quad d' := 0.03 \text{ m} \quad te = 0.29 \text{ m}$$

$$dp := te - d' = 0.26 \text{ m}$$

$$a := \frac{(As \cdot f_{yt})}{0.85 \cdot f'_{cv} \cdot 1 \cdot m} = 0.023 \text{ m}$$

$$dv1 := dp - \frac{a}{2} = 0.248 \text{ m}$$

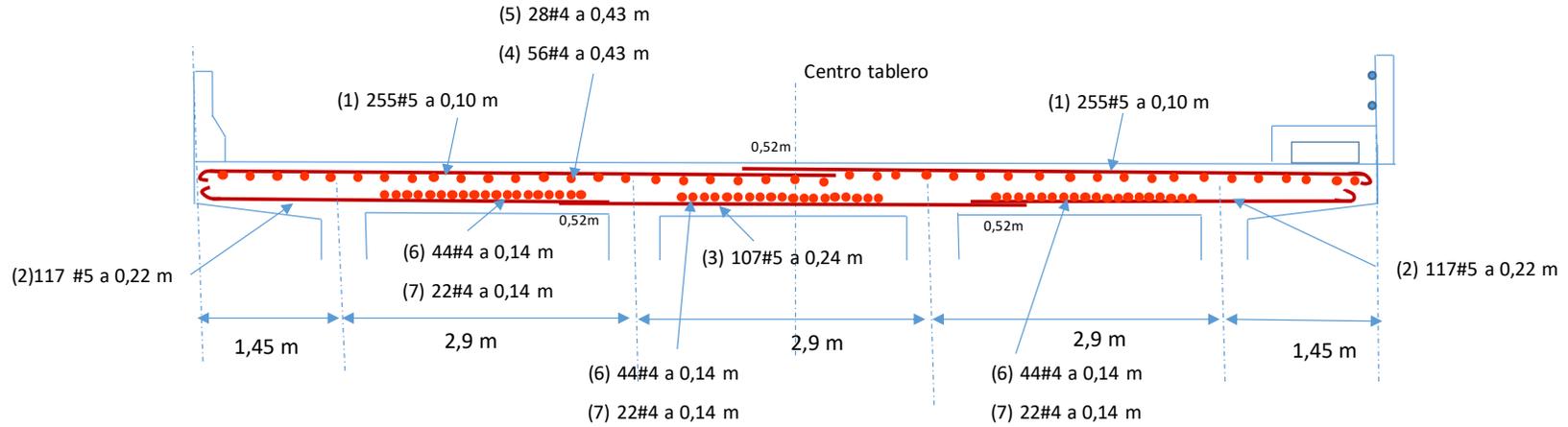
$$dv := \max(dv1, 0.72 \cdot (te), 0.9 \cdot dp) = 0.248 \text{ m}$$

$$V_c := 0.083 \cdot \beta \cdot \sqrt{\frac{f'_{cv}}{MPa}} \cdot MPa \cdot dv = 188.89 \frac{kN}{m}$$

Al ser V_s menor que 0, no necesita refuerzo a cortante.

$$Vs := \frac{Vu}{0.90} - V_c = -19.832 \frac{kN}{m} \quad 7.2.3.3 \text{ Despiece de losa}$$

Tabla 7-12 Cantidades de obra de una viga (sin incluir refuerzo de losa)



Número	Número barra	Esquema	L(m)	Cantidad	Peso(kg/m)	Peso total(kg)
1	5		6,175	510	1,55	4887,6
2	5		4,3	234	1,55	1559,6
3	5		4,4	107	1,55	729,7
4	4		12	56	0,56	376,3
5	4		2,4	28	0,56	37,6
6	4		12	132	0,56	887,0
7	4		2,4	66	0,56	88,7
						8566,7
		Volumen de la losa (se consideró de 0,19 m sin el acartelado)				56,2 m3
		Cuantía				152,4 kg/m3

Gancho 180 = 0,175m
 Traslado de No5 0,52 m
 Traslado de No4 0,42 m

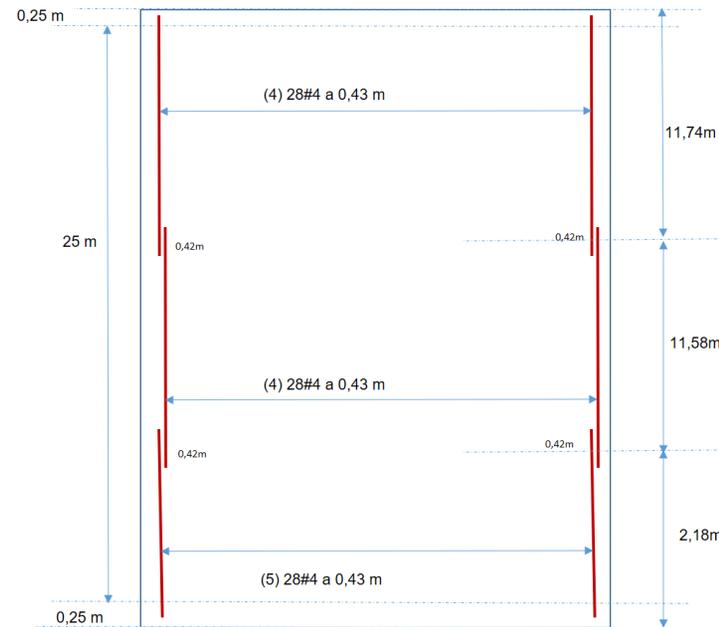


Figura 7-32 Planta superior de losa - despiece

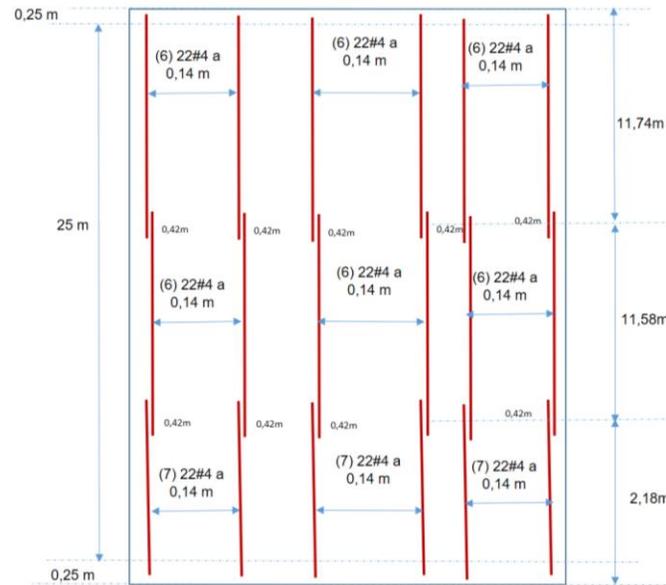


Figura 7-33 Planta inferior de losa - despiece

7.3 Referencias

CCP-14(INVIAS). (2014). *Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes – CCP-14. Norma de desarrollada por la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica Colombia, .*