



## FACULTAD DE INGENIERÍA

### PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA

#### ESPECIALIZACIÓN EN ESTRUCTURAS

**“ DISEÑO DE UN PUENTE CARRETERO  
DE CONCRETO, CONSTRUIDO CON TRABES  
PRESFORZADAS TIPO AASHTO ”**

**TESINA QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE  
*INGENIERO ESPECIALISTA EN ESTRUCTURAS***

**PRESENTA: ING. JORGE OLIVOS LARA**

**DIRECTOR DE TESINA:  
M. EN I. VICTORIANO ARMANDO GALLEGOS SUAREZ**

Ciudad Universitaria, México 2013





Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# Contenido

1. Introducción. ....	3
2. Objetivo. ....	5
3. Memoria descriptiva. ....	5
3.a. Materiales. ....	7
3.b. Proyecto geométrico. ....	8
3.c. Condiciones de carga. ....	9
3.d. Factores de carga. ....	9
3.e. Combinaciones de carga. ....	9
3.f. Camión de diseño. ....	11
3.g. Consideraciones sísmicas. ....	12
4. Análisis estructural. ....	13
4.a. Análisis de cargas verticales (Cargas Móviles). ....	13
4.b. Análisis de cargas horizontales (Carga Sísmica). ....	15
5. Modelo. ....	18
6. Resultados del análisis estructural. ....	19
6.a. Diagramas de elementos mecánicos. ....	19
6.b. Modos de vibración. ....	22
6.c. Revisión de desplazamientos. ....	25
7. Diseño estructural. ....	26
7.a. Diseño de losa de concreto. ....	26
7.b. Diseño de travesaño tipo AASHTO. ....	31
7.c. Diseño de viga diafragma. ....	49
7.d. Diseño de cabezal. ....	53
7.e. Diseño de pila. ....	57
7.f. Diseño de zapata. ....	63
7.g. Diseño de neopreno. ....	73
8. Referencias bibliográficas. ....	81

## **1. Introducción.**

La necesidad humana de cruzar pequeños arroyos y ríos fue el comienzo de la historia de los puentes. Hasta el día de hoy la técnica ha pasado desde una simple losa hasta grandes puentes colgantes que miden varios kilómetros y que cruzan bahías. Los puentes se han convertido a lo largo de la historia no solo en un elemento muy básico para una sociedad sino en símbolo de su capacidad tecnológica.



Es un hecho que hoy en día los métodos constructivos emplean recurrentemente sistemas basados en la prefabricación; estos sistemas nacen con las producciones en serie, viéndose favorecidos con la aparición del presfuerzo, de tal modo que al producir piezas o elementos prefabricados presforzados (pretensados o postensados) su aplicación ha sido creciente.

Hay campos de la construcción en donde métodos prefabricados presforzados prácticamente son los únicos que se utilizan, por ejemplo, en viaductos, puentes vehiculares, puentes peatonales. Las grandes ventajas de estos sistemas han traído como consecuencia que en nuestro país sea cada vez más común el uso de esta tecnología.

Es por eso que se ha decidido mostrar en éste documento algunas de las características del diseño de un puente con elementos prefabricados presforzados.

## Diseño de un Puente Carretero de Concreto, Construido con Trabes Presforzadas Tipo AASHTO.

---



*Transporte de trabe prefabricada tipo AASHTO.*



*Izaje de trabe prefabricada tipo AASHTO para puente.*



*Colocación de trabe prefabricada tipo AASHTO para puente.*

## **2. Objetivo.**

El presente documento se ha elaborado con el objetivo de detallar el análisis y el diseño estructural de un puente carretero, estructurado con traves de concreto presforzado tipo AASHTO apoyadas sobre pilas de concreto, losas y algunos otros elementos estructurales igualmente de concreto.

## **3. Memoria descriptiva.**

En México, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) tiene publicadas normas con especificaciones para el análisis y diseño de puentes que pueden ser consultadas a través de su portal de internet: <http://normas.imt.mx/>.

Por su parte, la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) también publica especificaciones para el análisis y diseño de puentes, las cuales resultan ser equivalentes a las publicadas por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) ya que cubren los requisitos y/o características establecidos en el documento normativo nacional.

Aunado a lo anterior, las especificaciones publicadas en las normas de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) tienen un contenido más amplio referente al diseño de puentes, fundamentado con base en estudios normados y experiencia ganada con los años.

Por lo anterior, se ha decidido realizar el presente trabajo obedeciendo a las especificaciones publicadas en las normas del American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), sin embargo, dado que el fenómeno sísmico es un problema estudiado localmente y plasmado en cada reglamento, se atenderán las solicitudes sísmicas con base en lo establecido en las normas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). Entonces, el uso de las normas de la SCT será exclusivamente para el cálculo de las acciones sísmicas.

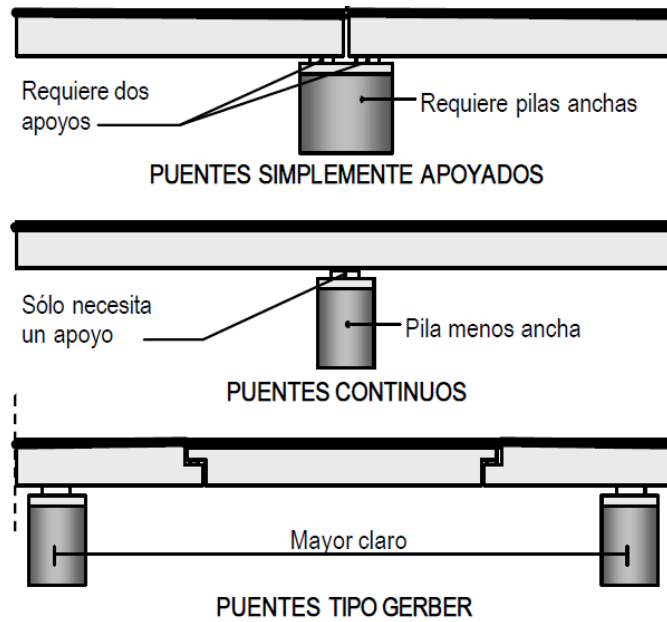
El software de análisis estructural que se ha utilizado es SAP2000 v14.

Se propone considerar zona sísmica C y tipo de suelo II de acuerdo con la norma vigente de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (N-PRY-CAR-6-01-005/01 Capítulo 005. Sismo) y también se propone considerar una resistencia del suelo de 50 Ton/m<sup>2</sup>. No existen limitaciones en el tipo de vehículos que podrán transitar en el puente.

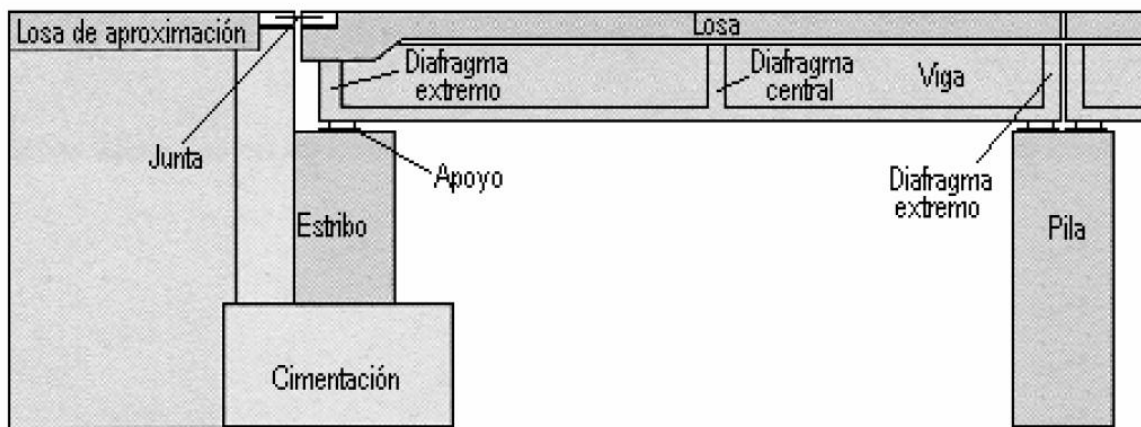
Por simplicidad se propone un puente de tipo simplemente apoyado.



## Diseño de un Puente Carretero de Concreto, Construido con Traveses Presforzados Tipo AASHTO.



*Tipos de puentes según su apoyo.*



*Elementos que forman la subestructura y la superestructura de un puente.*

## **Diseño de un Puente Carretero de Concreto, Construido con Trabes Presforzadas Tipo AASHTO.**

---

Secciones utilizadas en el proyecto:

- Losa: espesor de 20cm.
- Trabe: tipo AASHTO VI.
- Diafragma central: 30cm x 100cm.
- Diafragma extremo: 30cm x 100cm.
- Cabezal: 130cm x 180cm.
- Pila: 220cm x 220cm.
- Zapata cuadrada: 750cm x 750cm.
- Neopreno: 50cm x 50cm x 15cm.

### **3.a. Materiales.**

Los materiales utilizados fueron los siguientes:

- Concreto 250.

$$f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Peso volumétrico} = 2.4 \text{ Ton/m}^3$$

$$E = 15113(f'c)^{0.5} = 238\,957 \text{ kg/cm}^2$$

- Concreto 500.

$$f'c = 500 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Peso volumétrico} = 2.4 \text{ Ton/m}^3$$

$$E = 15113(f'c)^{0.5} = 337\,936 \text{ kg/cm}^2$$

- Acero de refuerzo.

$$Fy = 4\,200 \text{ kg/cm}^2$$

$$E = 2\,000\,000 \text{ kg/cm}^2$$

- Acero de presfuerzo 270ksi.

$$Fpy = 16\,200 \text{ kg/cm}^2$$

$$Fpu = 18\,999 \text{ kg/cm}^2$$

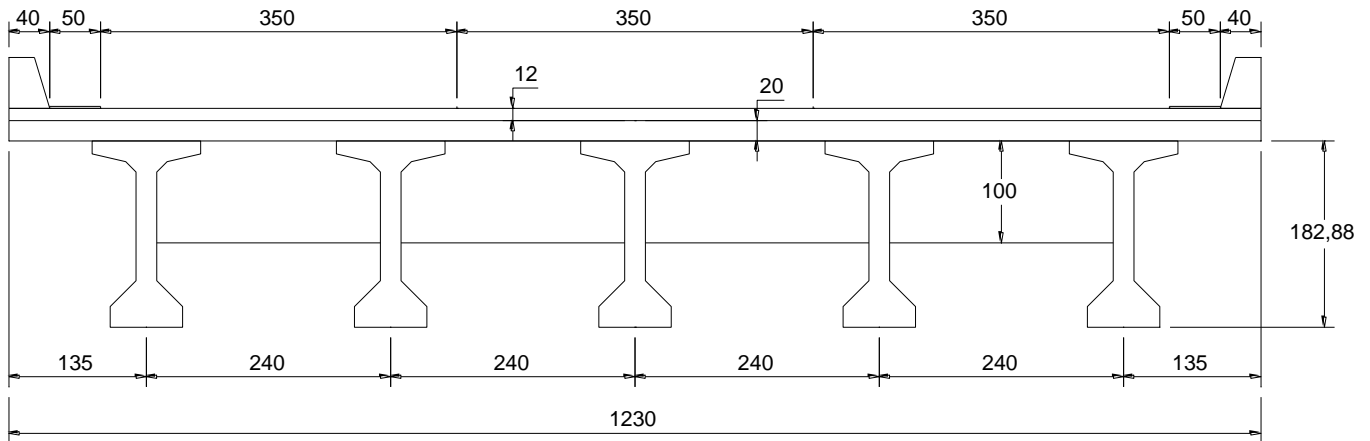
$$E = 1\,960\,000 \text{ kg/cm}^2$$



# Diseño de un Puente Carretero de Concreto, Construido con Traveses Presforzados Tipo AASHTO.

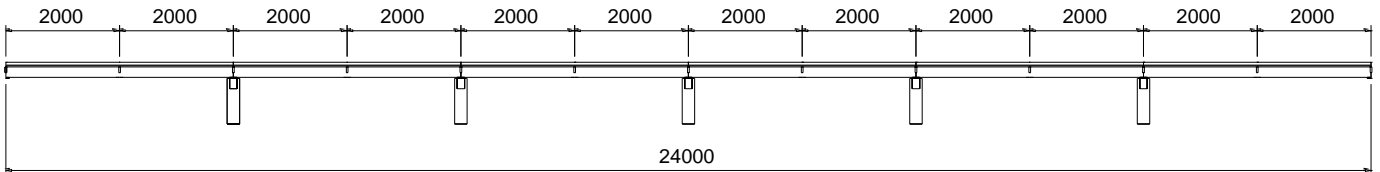
## 3.b. Proyecto geométrico.

Se trata de un puente carretero de 3 carriles de 3.5m, en cuyos extremos se asignan 50cm para acotamientos y 40cm para guarnición.

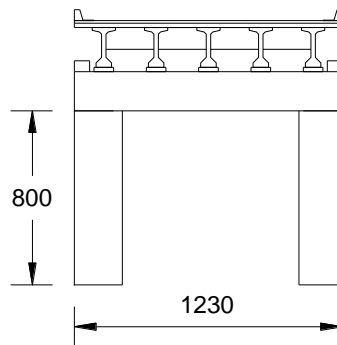


Detalle de superestructura, vista frontal del puente [cm]

Longitudinalmente se tienen 6 claros de 40m cada uno, apoyados respectivamente sobre pilas de 8m de altura. Además, se colocan vigas diafragma a cada 20m para rigidizar los tableros.



Vista lateral del puente completo [cm]



Vista frontal del puente completo [cm]

### **3.c. Condiciones de carga.**

- Condiciones de carga permanente.
  - Carga Muerta (CM): considera el peso propio de la estructura.
  - Sobrecarga Muerta (SCM): considera el peso de elementos no estructurales, como es el caso de pavimento, guarnición y banqueteta.
  
- Condiciones de carga variable.
  - Carga Viva de Camiones (CVC): considera la carga debida al tránsito de vehículos sobre el puente y sus distintas combinaciones de posición - *No se considera carga viva de personas por tratarse de un puente carretero.*
  
- Condiciones de carga accidental.
  - Carga sísmica (S): considera la carga lateral debida a efectos sísmicos.

### **3.d. Factores de carga.**

En la tabla 3.22.1A del capítulo 3 de la norma AASHTO se especifican los siguientes factores de carga.

- Cargas gravitacionales (Grupo X):  $1.3 [ (CM+SCM) + 1.67(CVC+i) ]$
  
- Cargas accidentales (Grupo VII):  $1.3 ( 0.75CM + S )$

### **3.e. Combinaciones de carga.**

Como se menciona al principio de este documento, los efectos sísmicos, sin factores de carga, han sido calculados con base en la norma N-PRY-CAR-6-01-005/01 Capítulo 005 Sismo de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).

En la norma N-PRY-CAR-6-01-005/01 Capítulo 005 Sismo, Cláusula M. Combinación de Efectos Sísmicos, se establece que los efectos sísmicos calculados, suponiendo que cada fuerza equivalente actúa en la respectiva dirección de cada uno de los ejes ortogonales de la estructura, se combinan para evaluar el efecto total, de la siguiente manera:

## Diseño de un Puente Carretero de Concreto, Construido con Traveses Presforzados Tipo AASHTO.

$$S_t = S_x + 0.3S_y$$

$$S_t = S_y + 0.3S_x$$

Donde:

$S_t$  = Efecto sísmico de diseño.

$S_x$  = Efecto sísmico considerando que el sismo actúa únicamente en la dirección X.

$S_y$  = Efecto sísmico considerando que el sismo actúa únicamente en la dirección Y.

Finalmente, se realizaron las combinaciones del efecto sísmico como se establece en la norma de la SCT y se amplificaron con los factores de carga que marca el manual AASHTO, dando como resultado la siguiente tabla:

Factores de carga de cada combinación.

	Comb.	C. Perm.		C. Var.	C. Accidental	
		CM	SCM	CVC	Sx	Sy
	0	1.00	1.00	-	-	-
C. Gravitacionales	1	1.30	1.30	2.17	-	-
C. Accidentales	2	0.97	0.97	-	0.39	1.3
C. Accidentales	3	0.97	0.97	-	0.39	-1.3
C. Accidentales	4	0.97	0.97	-	1.3	0.39
C. Accidentales	5	0.97	0.97	-	1.3	-0.39
C. Accidentales	6	0.97	0.97	-	-0.39	1.3
C. Accidentales	7	0.97	0.97	-	-0.39	-1.3
C. Accidentales	8	0.97	0.97	-	-1.3	0.39
C. Accidentales	9	0.97	0.97	-	-1.3	-0.39

La combinación de carga empleada para diseñar la superestructura (losa y trabe) ha sido la especificada en la norma AASHTO en su capítulo 3:  $M_u = 1.3 (M_{cm} + 1.67M_{cv} + i)$ . Para lo cual se ha empleado exclusivamente la Carga Viva de Camiones y se ha calculado la CM y SCM de manera manual, haciendo uso de hojas de cálculo.

El diafragma y el cabezal se han diseñado para la combinación 1 de la tabla anterior. El neopreno, como lo recomienda la norma AASHTO, se ha diseñado para la combinación 0 (sin factores de carga).

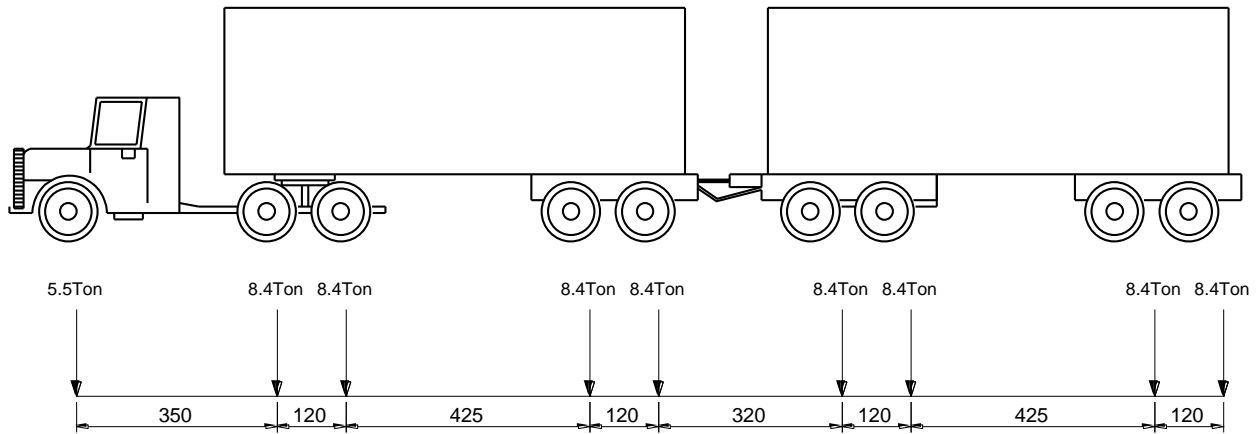
Para el caso de la subestructura (pila y zapata), el diseño se realizó empleando el resultado de las combinaciones 2 a 9 de la tabla anterior.

### 3.f. Camión de diseño.

El diseñador debe considerar el camión adecuado para el proyecto; se debe diseñar para el camión que produzca los efectos más desfavorables en el puente, y que además, sea posible que se presente en la vida útil del puente.

Deberán despreciarse camiones que no van a transitar en el puente durante su vida útil por algún tipo de restricción. También habrá de verificarse que el camión de diseño quepa dentro del puente y que sea el que produzca los efectos más desfavorables.

El camión de diseño para este proyecto es el T3S2R4, dado que no se especifican limitaciones en el proyecto, y es el camión más pesado que cabe longitudinalmente dentro de los claros del puente.



*Cargas del camión T3S2R4 [ton, cm]*



*Camiones T3S2R4.*

### **3.g. Consideraciones sísmicas.**

Clasificación de la estructura según su importancia.

De acuerdo con la norma vigente de diseño sísmico N-PRY-CAR-6-01-005/01 de la SCT Cláusula B.1. la estructura se clasifica como Tipo A por sus dimensiones y por tratarse de un puente de autopista.

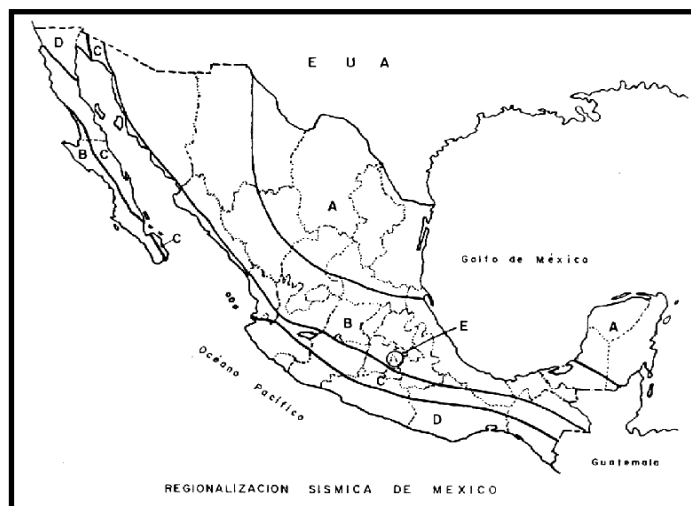
Clasificación de la estructura según su comportamiento sísmico.

De acuerdo con la norma vigente de diseño sísmico N-PRY-CAR-6-01-005/01 de la SCT Cláusula B.2. la estructura se clasifica como Tipo 1s:

*“Estructuras regulares en las cuales la superestructura está formada por tramos libremente apoyados o continuos de armaduras, losas, losas sobre trabes, vigas de cajón de acero, concreto o mixtas y que cumplen además con los siguientes requisitos:*

- *Con menos de seis (6) claros si son continuos.*
- *Con eje longitudinal recto o en curvatura reducida.*
- *Sin cambios bruscos en la rigidez y masa de elementos sucesivos de la superestructura y subestructura, exceptuando los estribos.*
- *Con claro máximo menor o igual que cuarenta (40) metros y ancho de calzada hasta de treinta (30) metros.”*

Entonces, el coeficiente sísmico empleado ha sido  $c = 0.50$  de estructuras Tipo B multiplicado por un factor de amplificación de 1.5 para hacerlo válido en estructuras tipo A, dando como resultado  $c_{\text{diseño}} = 0.75$ ; el cual se obtuvo de la Tabla 1.- “Valores característicos del espectro sísmico para estructuras Tipo B” de la norma N-PRY-CAR-6-01-005/01 de la SCT, para la zona sísmica C y tipo de suelo II, propuestos.



*Regionalización sísmica de la República Mexicana. (Figura 1 N-PRY-CAR-6-01-005/01)*

## Diseño de un Puente Carretero de Concreto, Construido con Trabes Presforzadas Tipo AASHTO.

Para la determinación de las cargas por sismo:

Método simplificado (Cláusula F de la norma N-PRY-CAR-6-01-005/01 de la SCT):

*“Este método es aplicable a estructuras que, según su comportamiento sísmico, son del Tipo 1s. El análisis se realiza en dos direcciones ortogonales, considerando para cada una de ellas el efecto de una fuerza horizontal equivalente (S) independiente, aplicada en el centro de gravedad de la estructura y sus efectos combinados como se indica en la Clausula M. de esta Norma. Dicha fuerza horizontal se determina mediante la siguiente expresión:  $S = (c/Q)W$*

Donde:

$S$  = Fuerza horizontal equivalente

$c$  = Ordenada máxima del espectro sísmico correspondiente a la zona sísmica donde se ubique la estructura y al tipo de suelo en que se desplantara, y que se obtiene de la Tabla 1 de esta Norma

$Q$  = Factor de comportamiento sísmico, que se obtiene como indica la Clausula K de esta Norma

$W$  = peso de la estructura”

## 4. Análisis estructural.

### 4.a. Análisis de cargas verticales (Cargas Móviles).

Para el análisis por cargas verticales, se han analizado los elementos mecánicos que producen cada una de las posibles posiciones del camión a lo largo del puente, longitudinal y transversalmente.

Se obtuvo una envolvente de momento, una envolvente de cortante y una envolvente de fuerza axial en cada dirección y se diseñó para los elementos mecánicos más desfavorables.

Longitudinalmente las cargas “P” de diseño son las ya mencionadas:

3 - General Vehicles 2 - Loads									
VehName	LoadType	UnifLoad	UnifType	UnifWidth	AxleLoad	AxleType	AxleWidth	MinDist	MaxDist
Text	Text	Tonf/m	Text	m	Tonf	Text	m	m	m
T3S2R4	Leading Load	0	Zero Width		5.5	One Point			
T3S2R4	Fixed Length	0	Zero Width		8.4	One Point		3.5	
T3S2R4	Fixed Length	0	Zero Width		8.4	One Point		1.2	
T3S2R4	Fixed Length	0	Zero Width		8.4	One Point		4.25	
T3S2R4	Fixed Length	0	Zero Width		8.4	One Point		1.2	
T3S2R4	Fixed Length	0	Zero Width		8.4	One Point		3.2	
T3S2R4	Fixed Length	0	Zero Width		8.4	One Point		1.2	
T3S2R4	Fixed Length	0	Zero Width		8.4	One Point		4.25	
T3S2R4	Fixed Length	0	Zero Width		8.4	One Point		1.2	

*Asignación de cargas de camión T3S2R4 en SAP2000.*

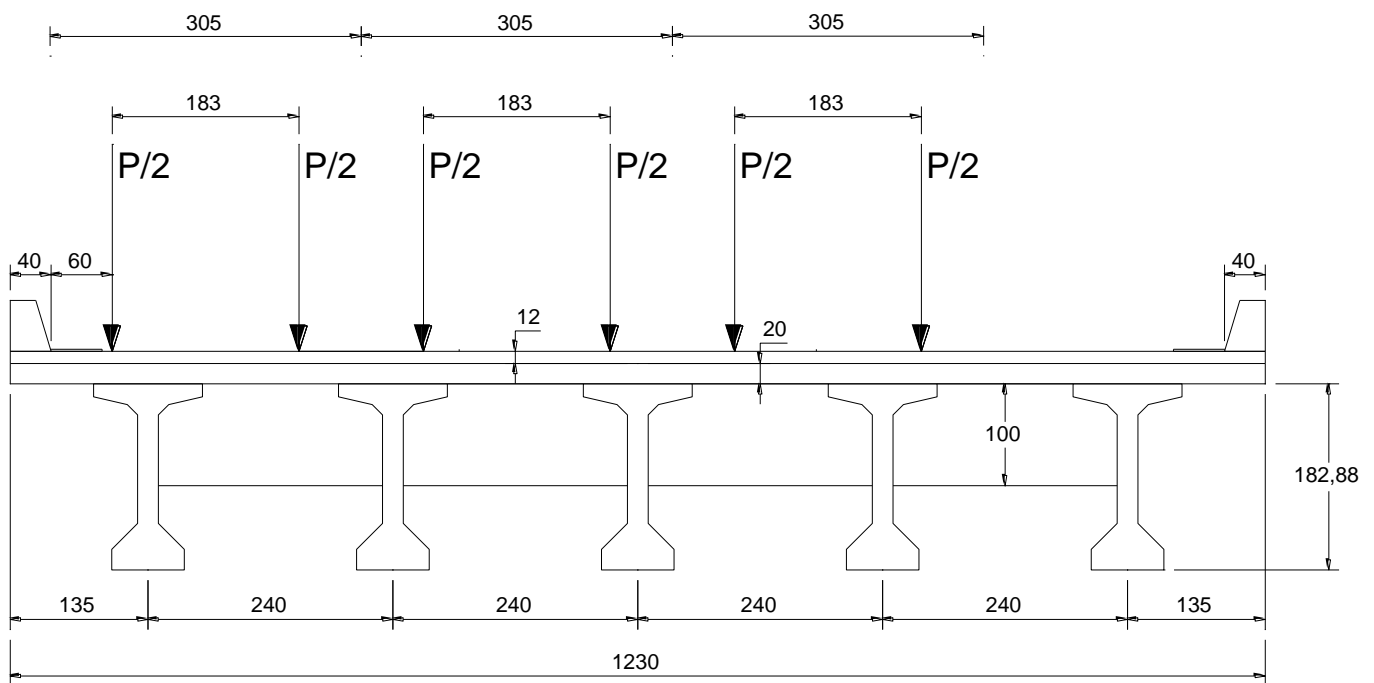
## Diseño de un Puente Carretero de Concreto, Construido con Trabes Presforzadas Tipo AASHTO.

Transversalmente, la carga "P" se divide entre dos (por tener dos neumáticos en cada eje) y se coloca cada mitad de "P" en la línea de rodamiento de los neumáticos. Nótese que cada eje de neumáticos descarga el peso en dos puntos.

La separación de las cargas transversales es la recomendada por las normas AASHTO, y la necesaria para que se considere que los tres camiones circulan juntos uno del otro (caso más desfavorable).

La siguiente imagen muestra la bajada de cargas de 3 camiones a la carpeta de rodamiento.

El ancho de camión de diseño es de 3.05m, y la separación entre neumáticos es de 1.83m.



*Ubicación transversal de cargas [cm]*



**Diseño de un Puente Carretero de Concreto,  
Construido con Trabes Presforzadas Tipo AASHTO.**

### 4.b. Análisis de cargas horizontales (Carga Sísmica).

**Datos**

Area de seccion de trabe	6,999.99 cm <sup>2</sup>
Numero de trabes	5
Ancho del puente	1,230.00 cm
Espesor de losa	20.00 cm
Espesor de pavimento	12.00 cm
Numero de claros	6

**Cargas**

Carga muerta

	w [ton/m]	w [ton/m <sup>2</sup> ]
Peso propio trabe	1.68	
Peso de losa		0.48
Peso de pavimento		0.26

	No de piezas	w/pza [tom/m]	w [ton/m]
Guarnicion	2.00	0.48	0.96
Barandal	0.00	0.00	0.00
Banqueta	0.00	0.00	0.00
		total	0.96

Carga viva

Se considera una carga de 250 kg/m<sup>2</sup> para puentes urbanos

Para puentes carreteros la carga viva es cero.

carga viva = 0.00 kg/m<sup>2</sup>

**Cargas por trabe (CM + CV)**

Bt = Ancho tributario correspondiente a cada trabe

Trabe	Bt [m]	w pp [ton/m]	w losa [ton/m]	w pav [ton/m]	w gnn [ton/m]	w cv [ton/m]
1	2.55	1.68	1.22	0.67	0.19	0.00
2	2.40	1.68	1.15	0.63	0.19	0.00
3	2.40	1.68	1.15	0.63	0.19	0.00
4	2.40	1.68	1.15	0.63	0.19	0.00
5	2.55	1.68	1.22	0.67	0.19	0.00
	suma	8.40	5.90	3.25	0.96	0.00



Long. claros [m]	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00
------------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

## Diseño de un Puente Carretero de Concreto, Construido con Trabes Presforzadas Tipo AASHTO.

pp [ton]	336.00	336.00	336.00	336.00	336.00	336.00	336.00
losa [ton]	236.16	236.16	236.16	236.16	236.16	236.16	236.16
pav [ton]	129.89	129.89	129.89	129.89	129.89	129.89	129.89
gbb [ton]	38.40	38.40	38.40	38.40	38.40	38.40	38.40
cv [ton]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<u>total [ton]</u>	740.45	740.45	740.45	740.45	740.45	740.45	740.45

### Descargas por pila

Apoyo	1	2	3	4	5	6	7
w [ton]	370.22	740.45	740.45	740.45	740.45	740.45	370.22

### Diafragma

b =	0.30 m						
h =	1.00 m						
L =	12.30 m						
diaf/apoyo =	1.50	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.50
w [ton]	13.28	17.71	17.71	17.71	17.71	17.71	13.28

### Cabezal

b =	1.30 m						
h =	1.80 m						
L =	12.30 m						
w [ton] =	69.08	69.08	69.08	69.08	69.08	69.08	69.08

### Columna

b =	2.20 m						
h =	2.20 m						
cols/apoyo	2.00						
H [m] =	0.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	0.00
Consideramos la mitad de la columna para el peso para sismo							
w [ton] =	0.00	92.93	92.93	92.93	92.93	92.93	0.00

### Peso total por apoyo

Apoyo	1	2	3	4	5	6	7
w total [ton]	452.58	920.16	920.16	920.16	920.16	920.16	452.58

## Diseño de un Puente Carretero de Concreto, Construido con Trabes Presforzadas Tipo AASHTO.

---

### Calculo de fuerza sísmicas

Espectro de diseño

Zona sísmica    **C**

Terreno            **II**

$$a_0 = 0.13$$

$$c = 0.50$$

$$T_a = 0.30 \quad \text{seg}$$

$$T_b = 1.40 \quad \text{seg}$$

$$r = 0.67$$

$$a = a_0 + (c - a_0) T / T_a \quad \text{para } T < T_a$$

$$a = c \quad \text{para } T_a < T < T_b$$

$$a = c (T_b / T)^r \quad \text{para } T > T_b$$

$$1.5 c = 0.75 \quad (\text{estructura tipo A})$$

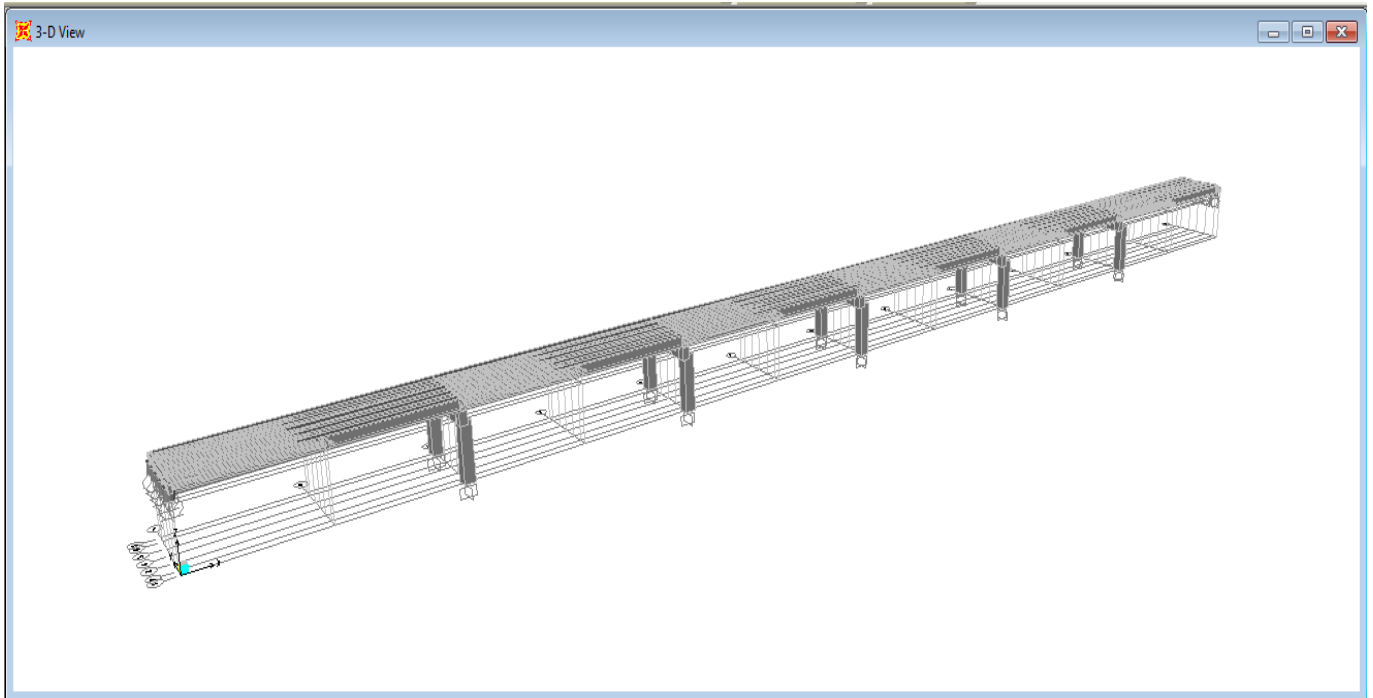
$$Q = 2$$

### Análisis sísmico estático

Apoyo	1	2	3	4	5	6	7
V[ton] = W c / Q	169.72	345.06	345.06	345.06	345.06	345.06	169.72

## **5. Modelo.**

Modelo realizado en el programa SAP2000 v14.

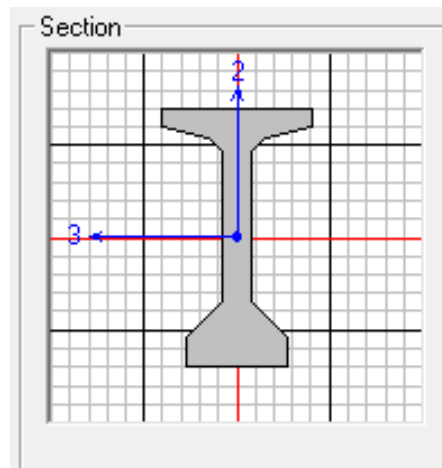


## 6. Resultados del análisis estructural.

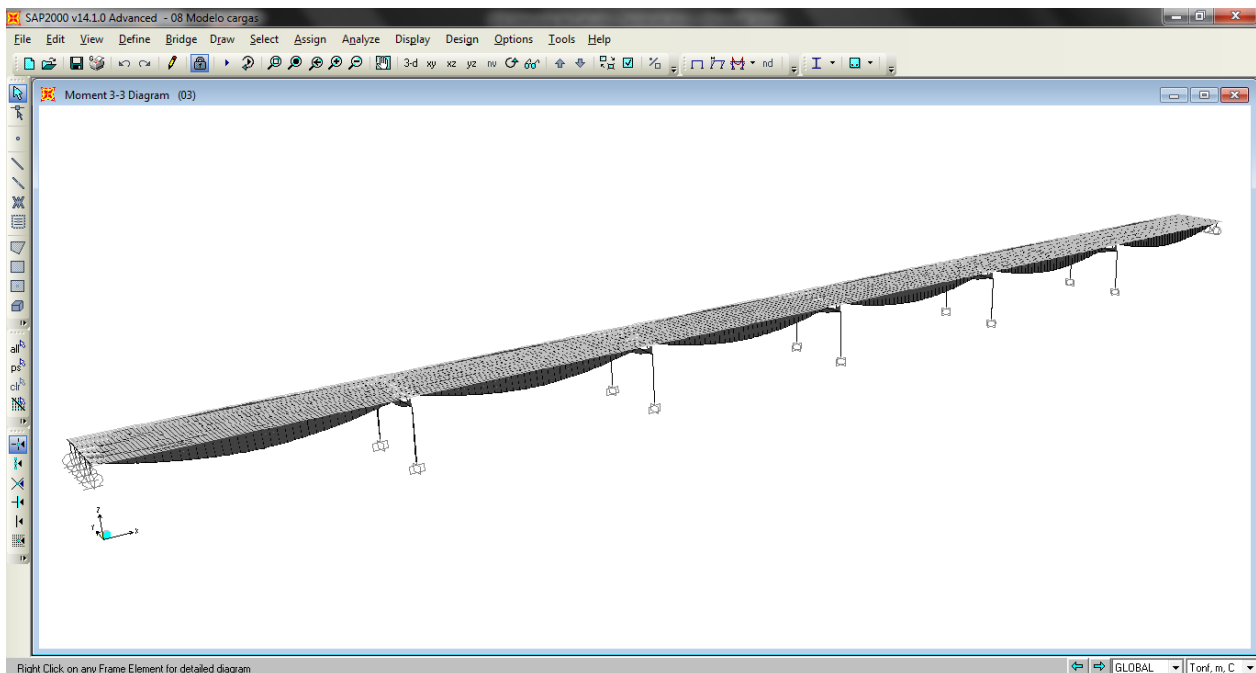
### 6.a. Diagramas de elementos mecánicos.

A continuación se muestran las envolventes de los diagramas de elementos mecánicos en la estructura debidos a las cargas móviles.

Considérense los siguientes ejes locales:

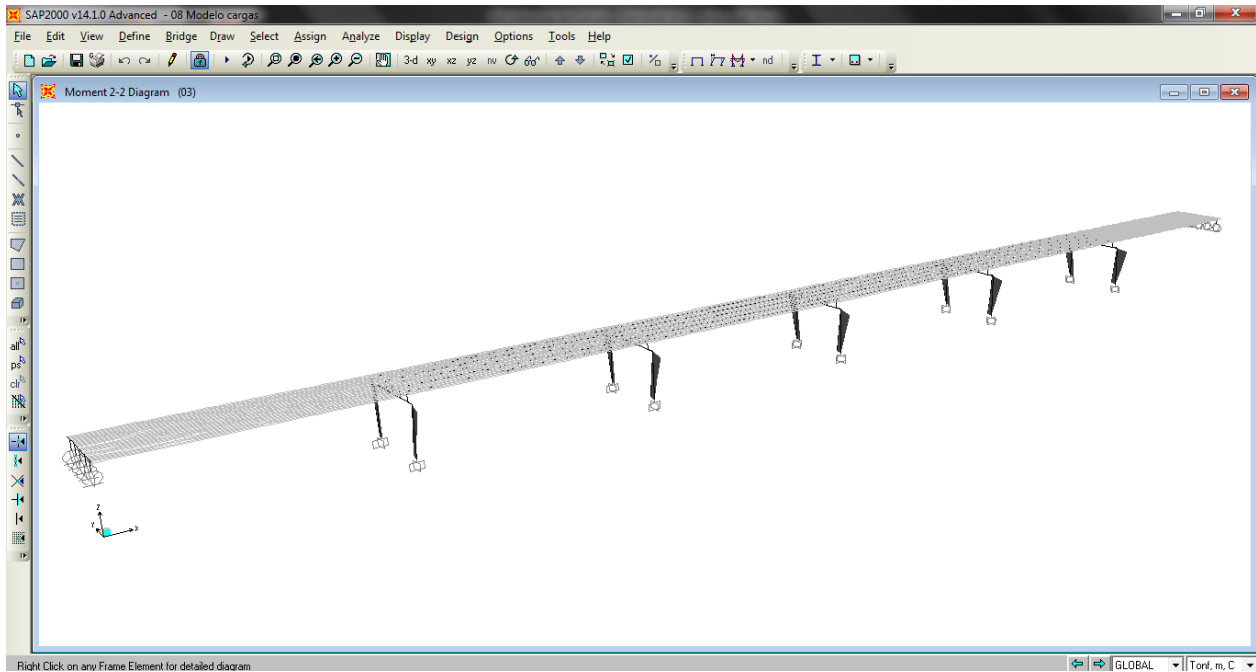


Momento alrededor del eje local 3-3.

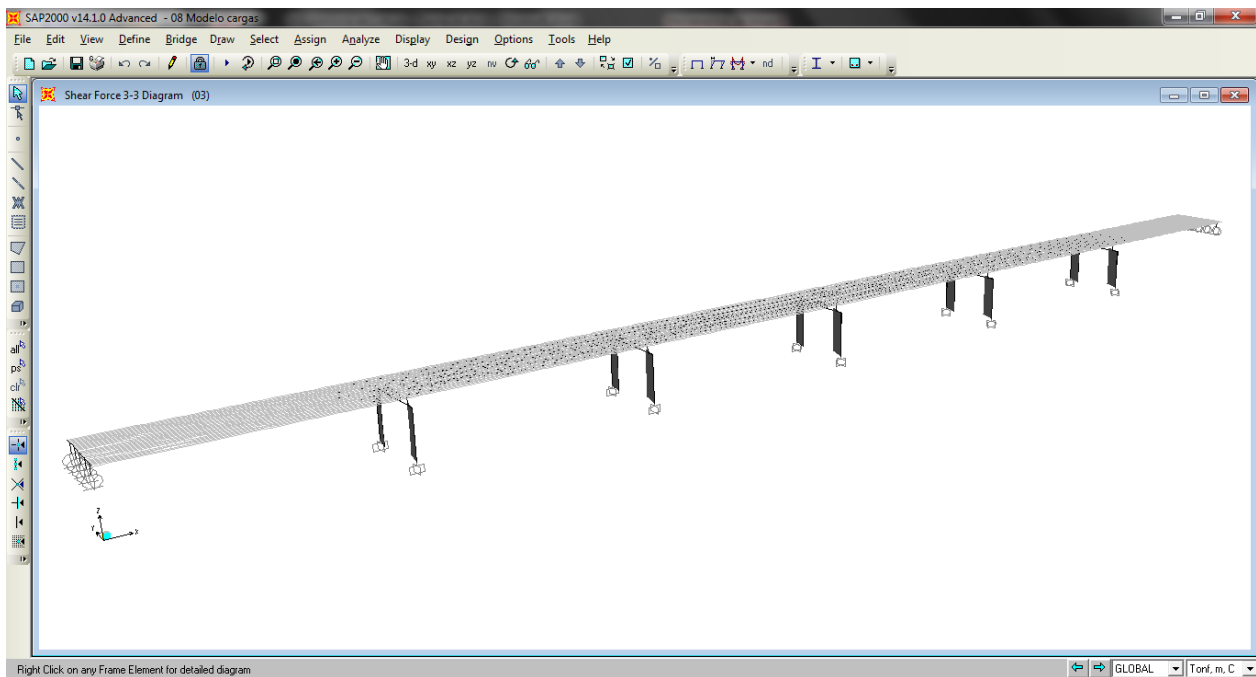


# Diseño de un Puente Carretero de Concreto, Construido con Trabes Presforzadas Tipo AASHTO.

Momento alrededor del eje local 2-2.

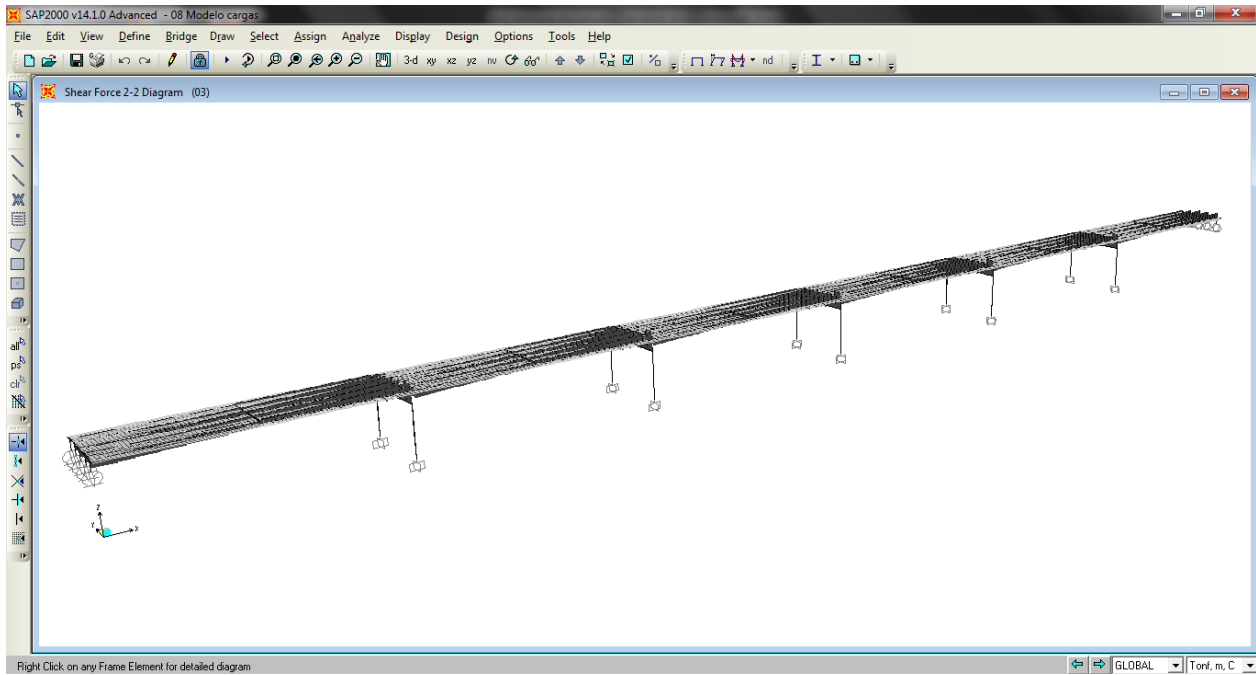


Cortante en el eje local 3-3.

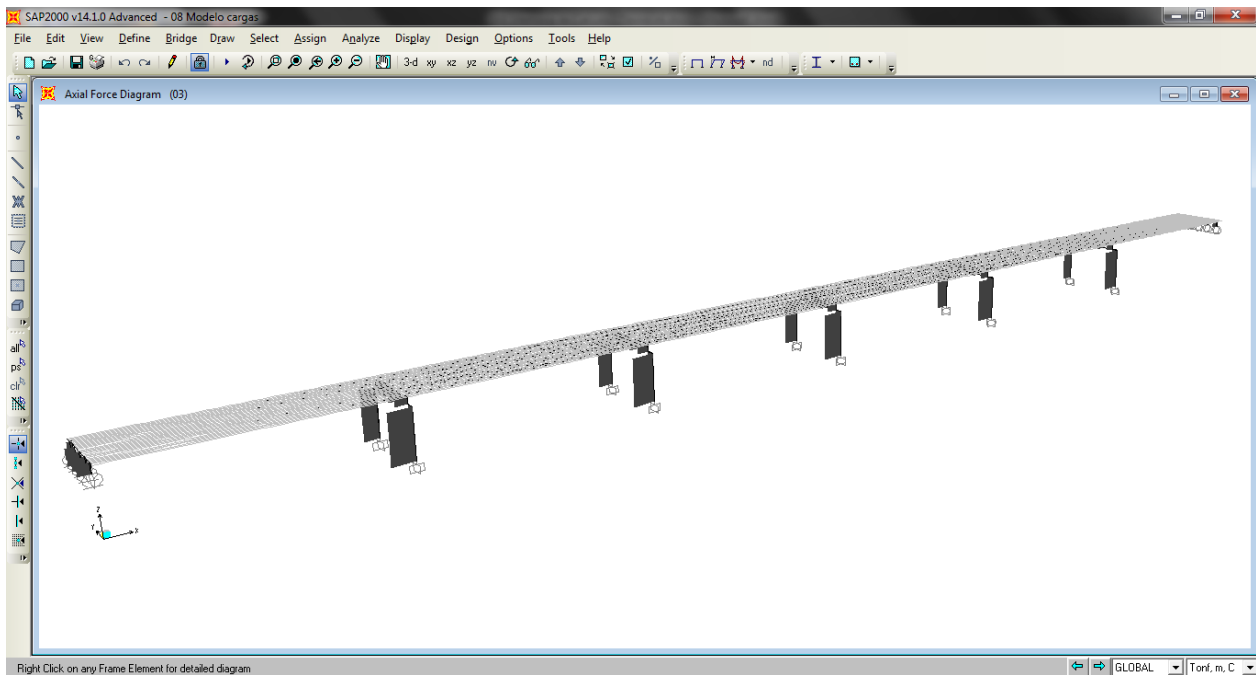


# Diseño de un Puente Carretero de Concreto, Construido con Trabes Presforzadas Tipo AASHTO.

Cortante en el eje local 2-2.



Fuerza axial.





# Diseño de un Puente Carretero de Concreto, Construido con Traveses Presforzados Tipo AASHTO.

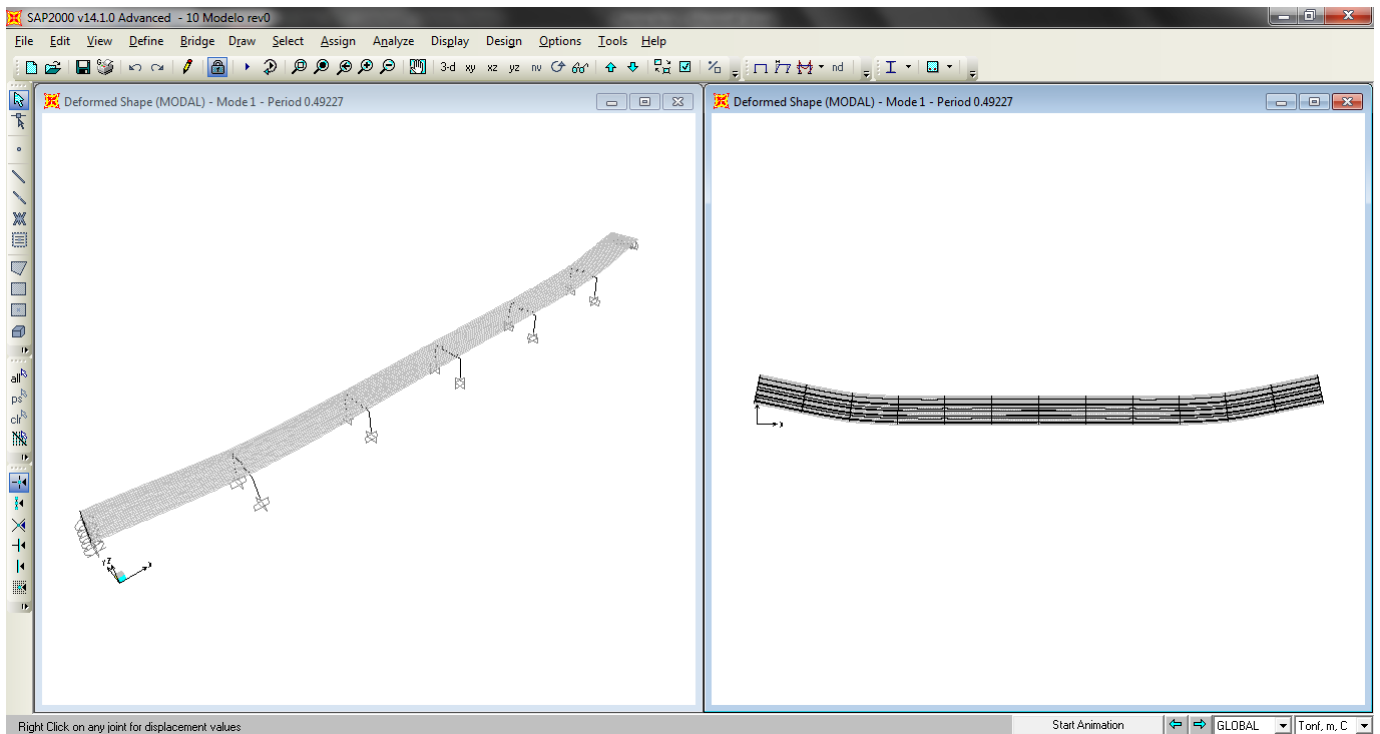
## 6.b. Modos de vibración.

El modelo se ha realizado en el programa de análisis y diseño estructural SAP2000, con las características previamente mencionadas.

A continuación se muestran los primeros modos de vibrar de la estructura con el fin de comprobar que los periodos para este tipo de puentes resultan ser cortos (menos de 1 segundo); de lo contrario debe verificarse el modelo para recalibrarlo, puesto que se podría estar incurriendo en un error en los apoyos al modelar los neoprenos.

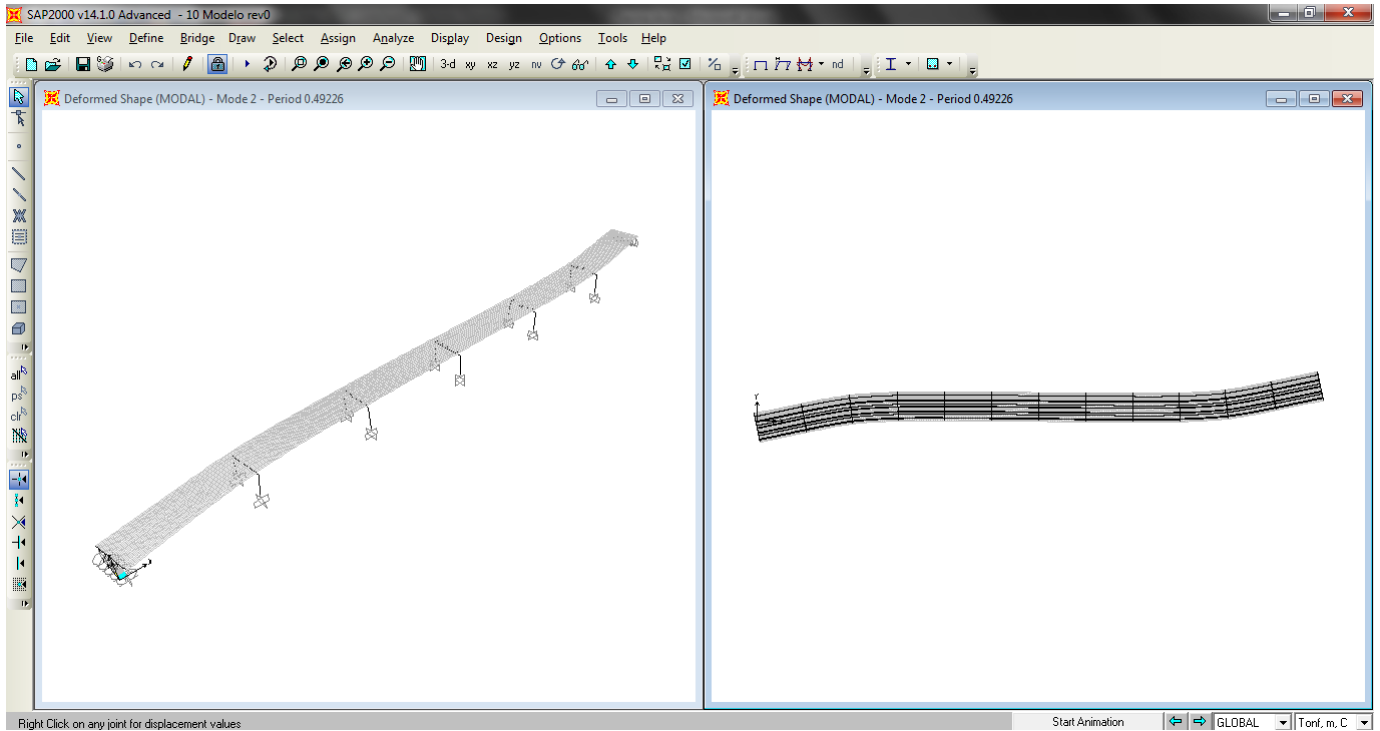
El periodo fundamental de la estructura resulta ser de 0.49227s.

Modos 1. Periodo de 0.49227s.

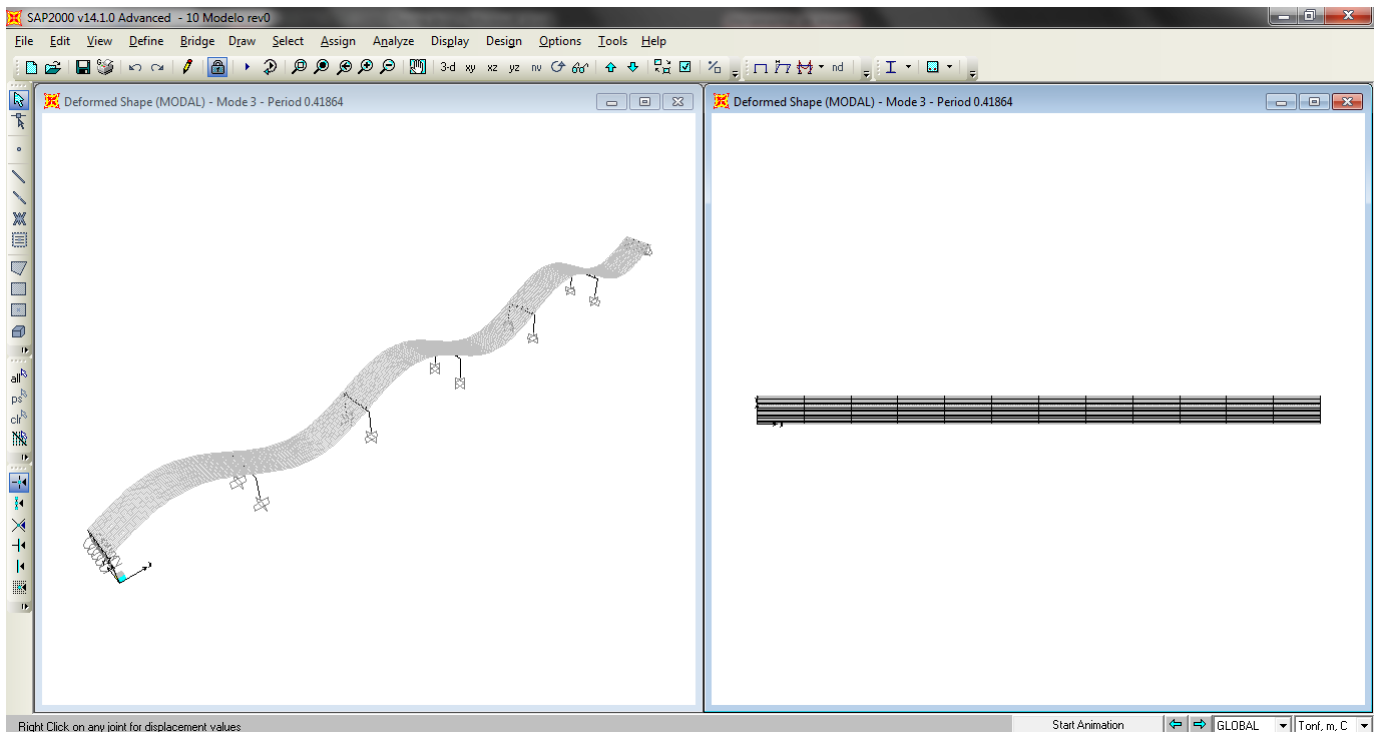


# Diseño de un Puente Carretero de Concreto, Construido con Trabes Presforzadas Tipo AASHTO.

Modos 2. Periodo de 0.49226s.

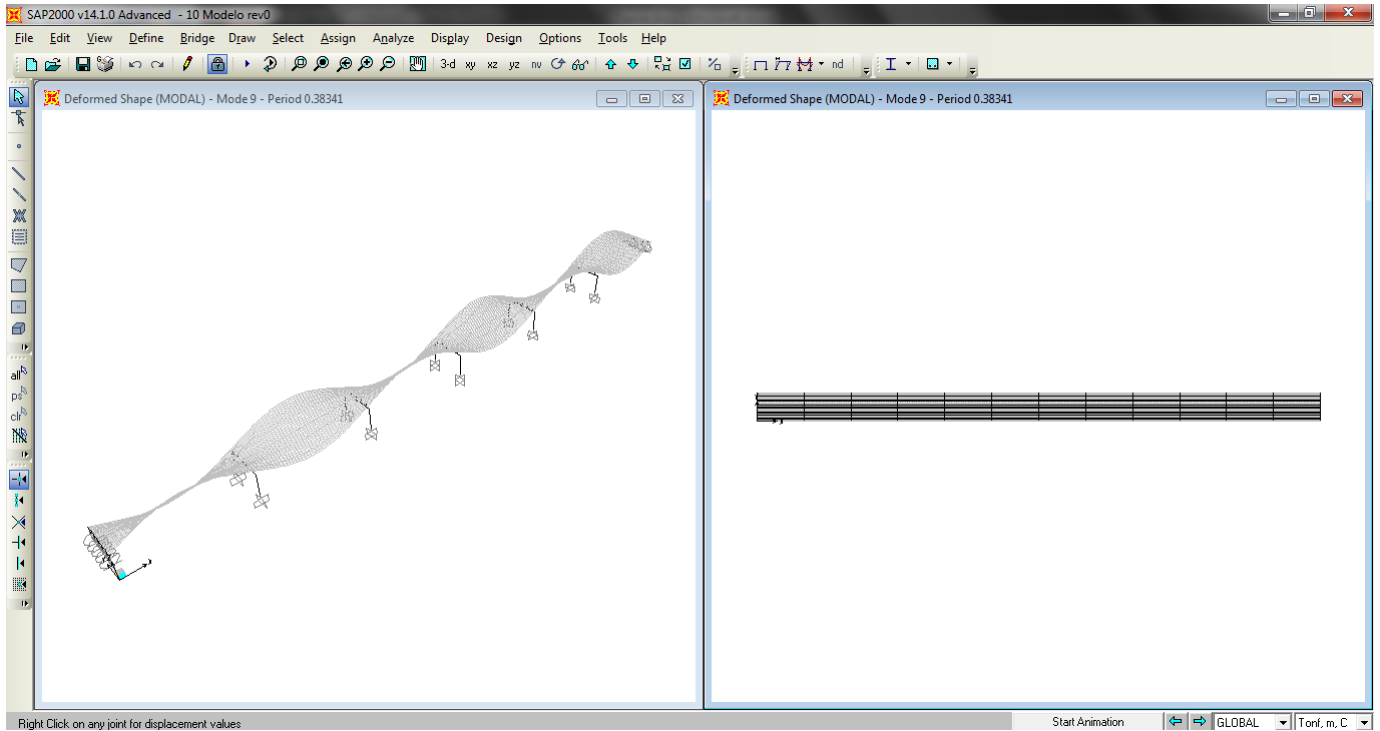


Modos 3. Periodo de 0.41861s.



## Diseño de un Puente Carretero de Concreto, Construido con Trabes Presforzadas Tipo AASHTO.

Modos 9. Periodo de 0.38341s.

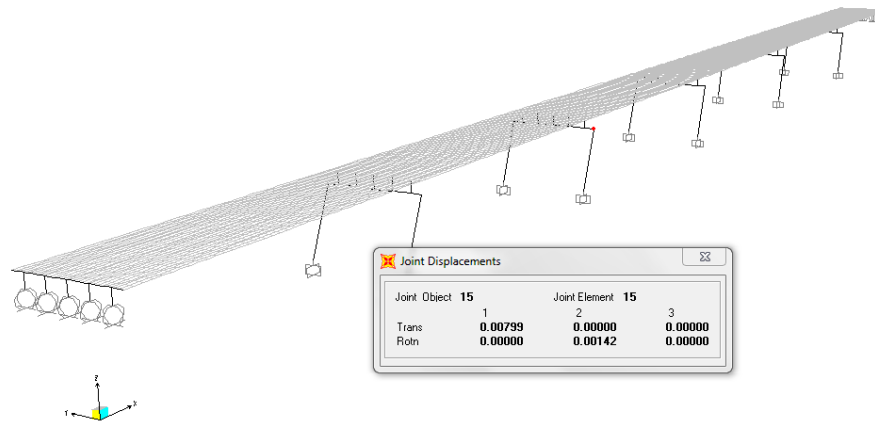


# Diseño de un Puente Carretero de Concreto, Construido con Trabes Presforzadas Tipo AASHTO.

## 6.c. Revisión de desplazamientos.

Dado que en la Norma AASHTO no se especifica un límite en los desplazamientos laterales de los puentes, se aceptara como limite el 0.012 de la altura del puente; similar a la deriva de entrepiso permitida para edificios con elementos estructurales que pueden resistir desplazamientos apreciables.

Revisión de desplazamientos en sentido X.

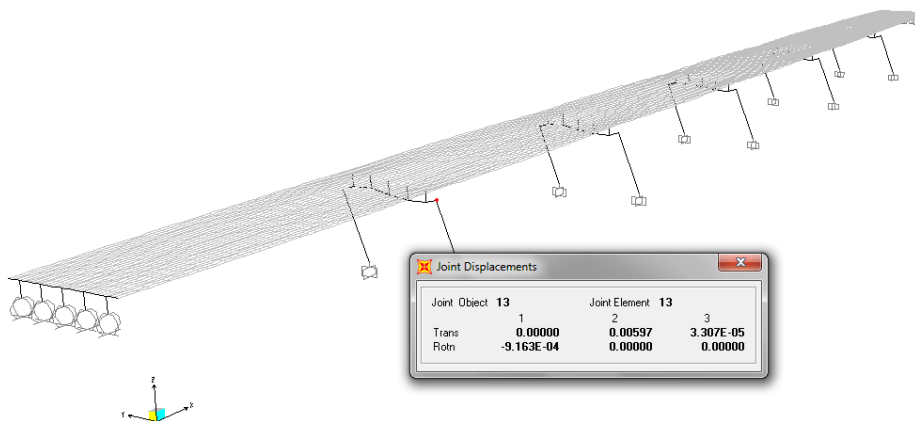


Desplazamiento máximo =  $0.007 \times Q = 0.007 \times 2 = 0.014$

Desplazamiento máximo permisible = 0.012

se acepta, entonces "Ok"

Revisión de desplazamientos en sentido Y.



Desplazamiento máximo =  $0.005 \times Q = 0.005 \times 2 = 0.010$

Desplazamiento máximo permisible = 0.012

entonces "Ok"

# Diseño de un Puente Carretero de Concreto, Construido con Trabes Presforzadas Tipo AASHTO.

## 7. Diseño estructural.

### 7.a. Diseño de losa de concreto.

#### Datos

Ancho total del puente		1,230.00 cm
Longitud del claro del puente		4,000.00 cm
Longitud del volado		135.00 cm
Separacion entre apoyos (vigas)		240.00 cm
Ancho de apoyos		100.00 cm
Numero de apoyos		5
Ancho de guarnicion		40.00 cm
Alto de guarnicion (altura sobre la losa)		50.00 cm
Esesor pavimento	e =	12.00 cm
Esesor de losa concreto	h =	20.00 cm
f'c		250.00 kg/cm <sup>2</sup>
fy		4,200.00 kg/cm <sup>2</sup>

#### Cargas de diseño

w losa =	0.48 T/m <sup>2</sup>	(losa)
w pav =	0.26 T/m <sup>2</sup>	(pavimento)
w gyb =	0.48 T/m	(guarnicion y barandal)

#### Momentos de carga viva

Claros interiores, positivo y negativo

$$M = (S + 0.61) P / 9.74$$

P =	16,000.00 lb	HS20
P =	7,264.00 kg	
S =	240.00 cm	
M =	2.24 T/m	

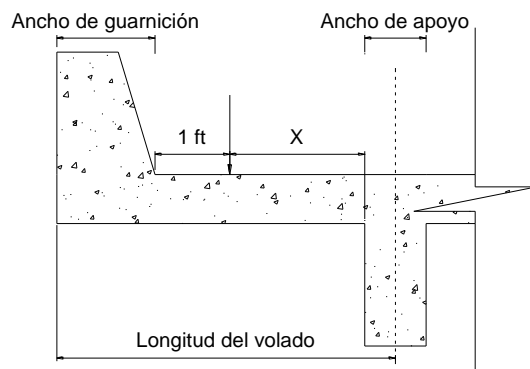
Factor de reduccion de momento

$$f = 0.80$$

Momentos positivos y negativos

$$M = 1.80 \text{ T/m}$$

#### Volados



# Diseño de un Puente Carretero de Concreto, Construido con Traveses Presforzados Tipo AASHTO.

$X = \text{Long. volado} - (\text{Ancho guarnicion} + 1\text{ft} + 0.5 \text{ Ancho apoyo})$

$X = 14.50 \text{ cm}$

$E = 0.8X + 1.143$ , X en m

$E = 1.26 \text{ m}$

Momento en el volado por metro de ancho

$M = P X / E$

$M = 0.84 \text{ Tm}$

## Impacto

$I = 15.24 / (L + 38.1) \leq 0.3$

$I = 0.20$

## Calculo de momentos de diseño, en 1 m de ancho.

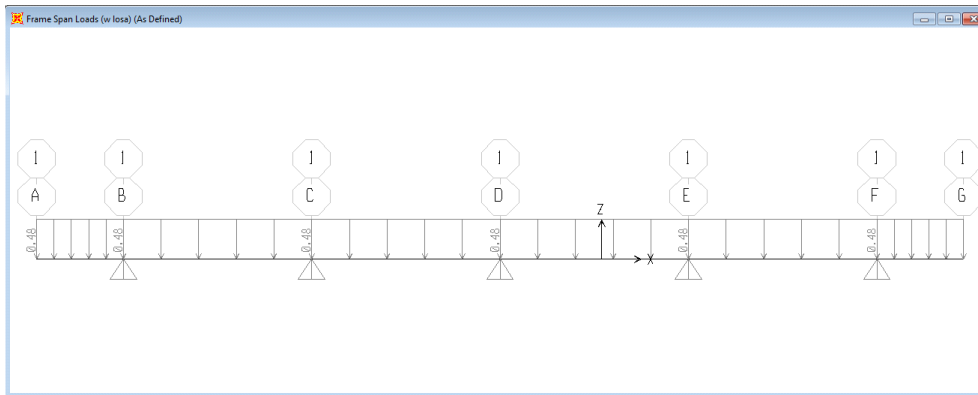
Cargas muertas de diseño, en un metro de ancho.

$P_{gyb} = 0.48 \text{ T}$

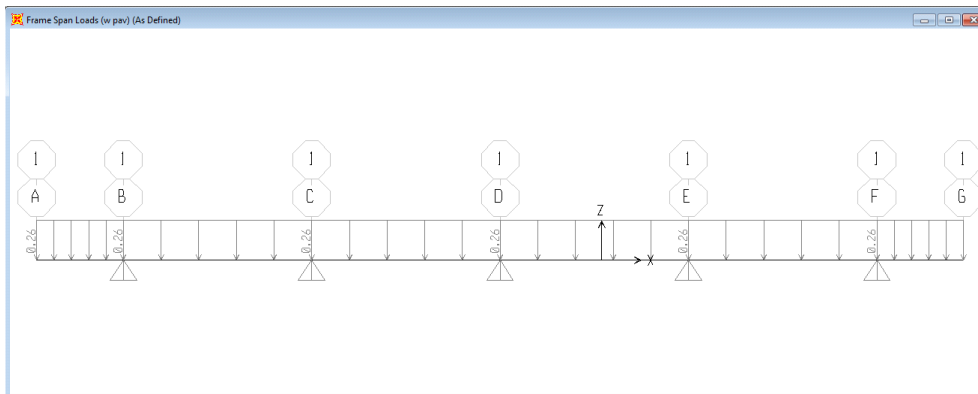
$w_{losa} = 0.48 \text{ T/m}$

$w_{pav} = 0.26 \text{ T/m}$

w losa



w pav



## Diseño de un Puente Carretero de Concreto, Construido con Trabes Presforzadas Tipo AASHTO.

P gyb

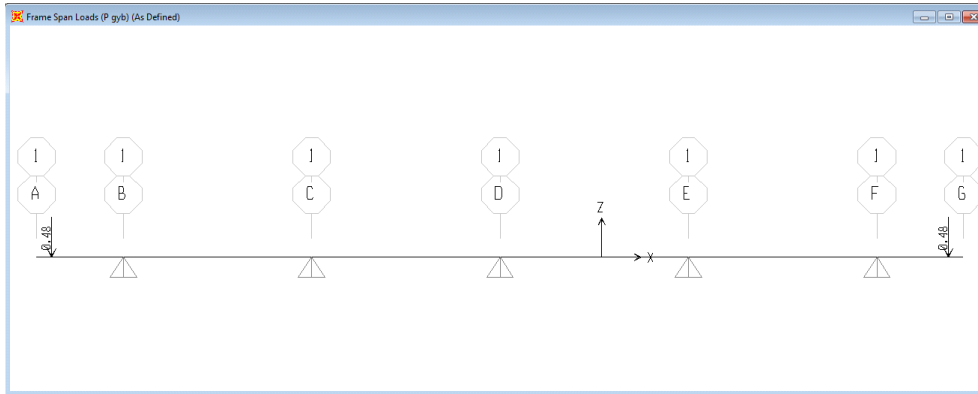
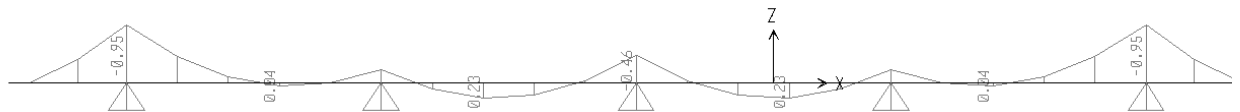


Diagrama de momentos de carga muerta



$$M_u = 1.3 ( M_{cm} + 1.67M_{cv+i} )$$

	Volado	Claro 1			Claro 2			Claro 3			Claro 4			Volado
	M-	M-	M+	M-	M-	M+	M-	M-	M+	M-	M-	M+	M-	M-
M <sub>cm</sub>	-0.94	-0.94	0.00	-0.22	-0.22	0.21	-0.46	-0.46	0.21	-0.22	-0.22	0.00	-0.94	-0.94
M <sub>cv+i</sub>	-1.00	-2.15	2.15	-2.15	-2.15	2.15	-2.15	-2.15	2.15	-2.15	-2.15	2.15	-2.15	-1.00
M <sub>u</sub>	-3.39	-5.88	4.66	-4.95	-4.95	4.93	-5.26	-5.26	4.93	-4.95	-4.95	4.66	-5.88	-3.39

### Acero principal

b = 100.00 cm (Ancho de losa)  
h = 20.00 cm

vars # 4  
d<sub>b</sub> = 1.27 cm  
a<sub>s</sub> = 1.27 cm<sup>2</sup>  
r = 2.00 cm  
y<sub>g</sub> = 2.64  
d = 17.37

$$MR = f_i A_s f_y ( d - a/2 )$$

$$A_s = MR / ( f_i f_y ( d - a/2 ) )$$

$$T = A_s f_y$$

$$C = a b 0.85 f'_c$$

$$C = T$$

$$a = A_s f_y / b 0.85 f'_c$$



## Diseño de un Puente Carretero de Concreto, Construido con Trabes Presforzadas Tipo AASHTO.

a propuest [cm]	1.05	1.87	1.46	1.56	1.56	1.55	1.66	1.66	1.55	1.56	1.56	1.46	1.87	1.05
es [1]	0.04	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.04
fs [kg/cm <sup>2</sup> ]	4,200.00	4,200.00	4,200.00	4,200.00	4,200.00	4,200.00	4,200.00	4,200.00	4,200.00	4,200.00	4,200.00	4,200.00	4,200.00	4,200.00
As [cm <sup>2</sup> ]	5.33	9.47	7.41	7.89	7.89	7.87	8.41	8.41	7.87	7.89	7.89	7.41	9.47	5.33
<b>S[cm]=100as/As</b>	<b>23.77</b>	<b>13.38</b>	<b>17.09</b>	<b>16.06</b>	<b>16.06</b>	<b>16.10</b>	<b>15.06</b>	<b>15.06</b>	<b>16.10</b>	<b>16.06</b>	<b>16.06</b>	<b>17.09</b>	<b>13.38</b>	<b>23.77</b>
a calc [cm]	1.05	1.87	1.46	1.56	1.56	1.55	1.66	1.66	1.55	1.56	1.56	1.46	1.87	1.05
dif =	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

$$\Sigma A_s = 108.54 \text{ cm}^2$$

### Acero de distribucion

$$\% = 121 / S^{1/2} < 67\% \quad S = \text{claro del puente, en m}$$

$$\begin{aligned} \% &= 19.13 \\ A_s \text{ dist} &= 20.77 \text{ cm}^2 \\ \text{varilla \#} &= 4 \\ d \text{ var} &= 1.27 \text{ cm} \\ A \text{ var} &= 1.27 \text{ cm}^2 \\ s &= 75.03 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\text{Usar vars \#} \quad 4 \quad @ \quad 75.03 \text{ cm}$$

### Acero por contraccion y temperatura, por cada m

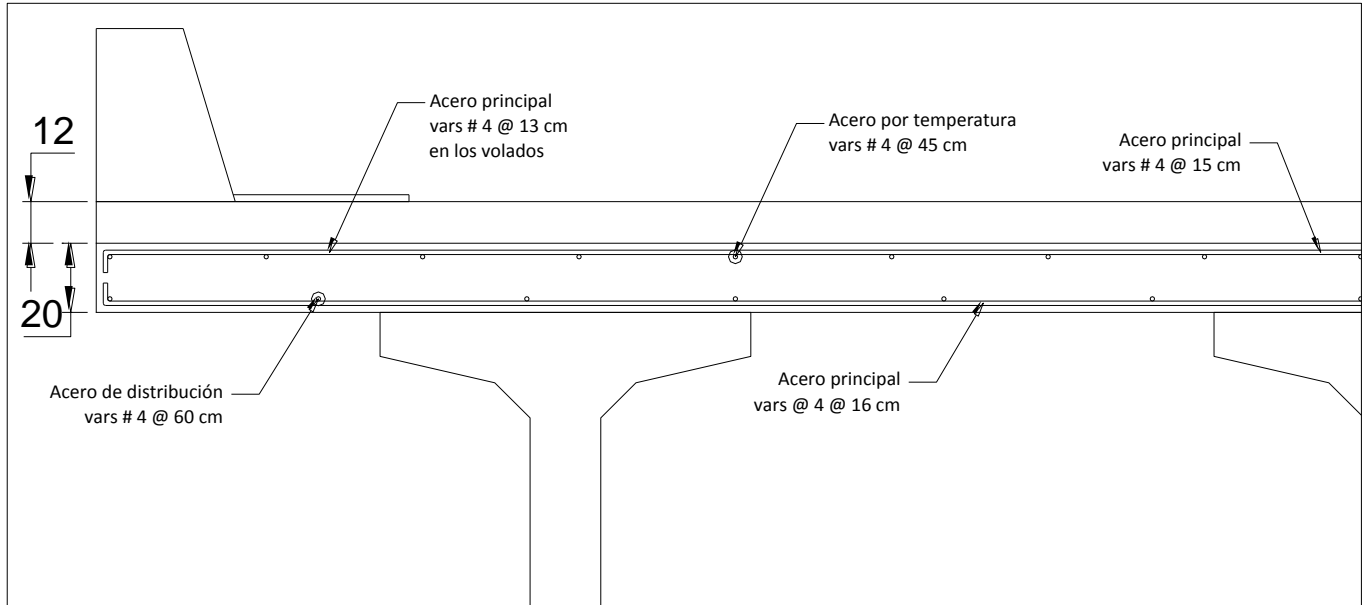
$$\begin{aligned} a_s &= 2.64 \text{ cm}^2/\text{m} \\ \text{varilla \#} &= 4 \\ d \text{ var} &= 1.27 \text{ cm} \\ A \text{ var} &= 1.27 \text{ cm}^2 \\ s &= 47.98 \end{aligned}$$

$$\text{Usar vars \#} \quad 4 \quad @ \quad 47.98 \text{ cm}$$

No es necesario revisar cortante porque se usaron las cargas vivas de AASHTO

## Diseño de un Puente Carretero de Concreto, Construido con Traves Presforzadas Tipo AASHTO.

Esquema de losa de concreto [cm]



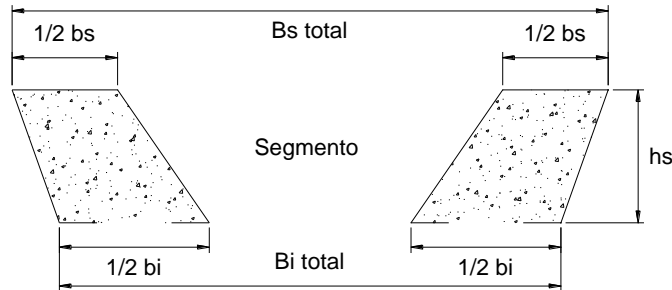
# Diseño de un Puente Carretero de Concreto, Construido con Trabes Presforzadas Tipo AASHTO.

## 7.b. Diseño de trabe tipo AASHTO.

### Datos

Ancho de losa	240.00	cm		
Espesor de losa	20.00	cm		
Ancho de pavimento	240.00	cm		
Espesor de pavimento	12.00	cm		
Concreto en losa	250.00	kg/cm <sup>2</sup>		
Concreto en trabe	500.00	kg/cm <sup>2</sup>		
Longitud de la trabe	4,000.00	cm		
Acero de refuerzo	4,200.00	kg/cm <sup>2</sup>		
Acero presfuerzo (grado)	270.00	ksi	=	18,999.94 kg/cm <sup>2</sup>
			fpy =	16,200.49 kg/cm <sup>2</sup>

### Datos de la sección



#### Notas:

- \* La sección está dividida en 6 segmentos.
- \* Los cementos están numerados (1, 2, 3, ...) de abajo hacia arriba de la sección.
- \* En el caso de secciones macizas NO se requiere información de "Bi total" y "Bs total".
- \* Si no hay hueco en el segmento, entonces "bi" = "Bi total" y "bs" = "Bs total" del segmento en cuestión.

Tipo de sección: Sección maciza

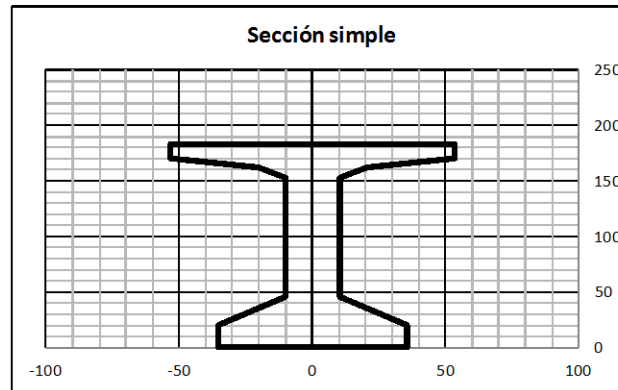
Segmento	bi [cm]	bs [cm]	hs [cm]	yci	yi	Ai [cm <sup>2</sup> ]	Ai yi	I [cm <sup>4</sup> ]	A (yi-yc) <sup>2</sup>
1	71.12	71.12	20.32	10.16	10.16	1,445.16	14,682.81	49,725.78	9,775,835.38
2	71.12	20.32	25.40	10.35	30.67	1,161.29	35,614.55	56,011.39	4,426,441.88
3	20.32	20.32	106.68	53.34	99.06	2,167.74	214,736.09	2,055,850.26	95,953.94
4	20.32	40.64	10.16	5.64	158.04	309.68	48,942.70	2,565.22	1,334,179.10
5	40.64	106.68	7.62	4.38	166.94	561.29	93,701.23	2,533.99	3,118,011.64
6	106.68	106.68	12.70	6.35	176.53	1,354.84	239,169.20	18,210.12	9,587,776.41

b min = 20.32      20.32

H = 182.88

A = 6,999.99 cm<sup>2</sup>  
 Σ Ai yi = 646,846.58  
 Σ I = 2,184,896.76  
 Σ A (yi-yc)<sup>2</sup> = 28,338,198.36  
 yc = 92.41  
 I = 30,523,095.12 cm<sup>4</sup>

## Diseño de un Puente Carretero de Concreto, Construido con Trabes Presforzadas Tipo AASHTO.



Modulo de elasticidad

$$E = k f'c^{1/2}$$

$k =$  **14,000.00**

$E \text{ losa} =$  221,359.44 kg/cm<sup>2</sup>

$E \text{ trabe} =$  313,049.52 kg/cm<sup>2</sup>

$n =$  0.71

Segmento	bi [cm]	bs [cm]	hs [cm]	h total	yci	yi	Ai [cm <sup>2</sup> ]	Ai yi	I [cm <sup>4</sup> ]	A (yi-yc) <sup>2</sup>
1	-	-	182.88	182.88	92.41	92.41	6,999.99	646,846.58	30,523,095.12	7,534,876.26
2	169.71	169.71	20.00	202.88	10.00	192.88	3,394.11	654,656.43	113,137.08	15,539,858.37

$$A = 10,394.10 \text{ cm}^2$$

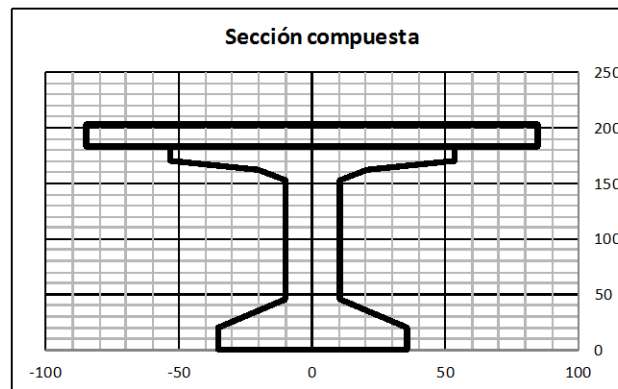
$$\Sigma Ai yi = 1,301,503.01$$

$$\Sigma I = 30,636,232.21$$

$$\Sigma A (yi-yc)^2 = 23,074,734.62$$

$$yc = 125.22$$

$$I = 53,710,966.83 \text{ cm}^4$$



Resumen

Seccion	Simple	Compuesta	
H	182.88	202.88	cm
Area	6,999.99	10,394.10	cm <sup>2</sup>
Inercia	30,523,095.12	53,710,966.83	cm <sup>4</sup>
yi	92.41	125.22	cm
ys	90.47	77.66	cm
yst =	-	57.66	cm
Si =	330,312.08	428,947.98	cm <sup>3</sup>
Ss =	337,371.82	691,577.46	cm <sup>3</sup>
Sst =	-	931,440.22	cm <sup>3</sup>

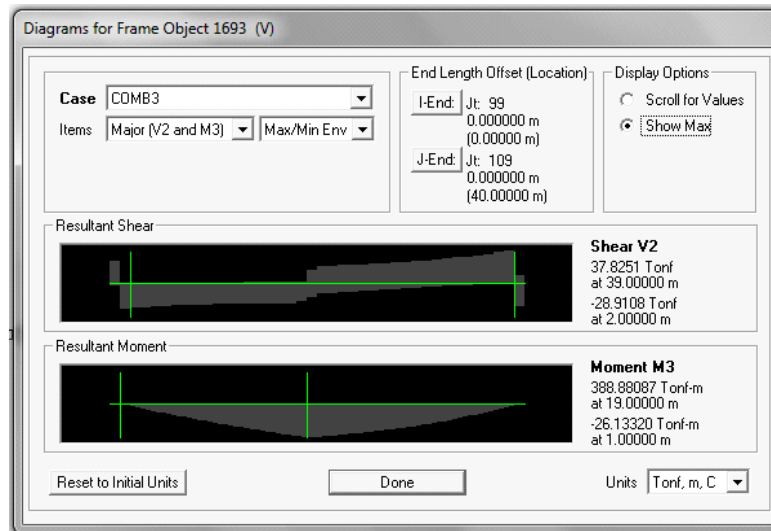
Modulo de seccion superior de trabe

# Diseño de un Puente Carretero de Concreto, Construido con Trabes Presforzadas Tipo AASHTO.

## Cargas en la trabe

	$w_{CM}$ [T/m]	$w_{scm}$ [T/m]	
Peso propio	1.68		
Losa	1.15		
Pavimento		0.69	
Guarnición y banqueteta		0.19	↗ peso de guarniciones y banquetetas entre no. de trabes
Instalaciones		0.05	
Diafragma		0.09	carga equivalente
	$w_{scm} =$	1.02	
Factor de concentración	1		
Factor de impacto			
$I = 15.24/(38.1+L) < 0.3$		$I =$	0.20

## Elementos mecánicos



## Fuerzas cortantes en Ton.

X/L	X [m]	Vpp	Vlosa	Vscm	Vcv	Vcv+i	Vu
0.00	0.00	33.60	23.04	20.46	29.00	34.66	175.48
0.05	2.00	30.24	20.74	18.42	28.91	34.55	165.22
0.10	4.00	26.88	18.43	16.37	26.87	32.11	149.91
0.15	6.00	23.52	16.13	14.32	25.71	30.73	136.87
0.20	8.00	20.16	13.82	12.28	24.69	29.51	124.20
0.25	10.00	16.80	11.52	10.23	23.81	28.46	111.90
0.30	12.00	13.44	9.22	8.19	23.15	27.67	100.16
0.35	14.00	10.08	6.91	6.14	22.77	27.21	89.15
0.40	16.00	6.72	4.61	4.09	22.64	27.06	78.79
0.45	18.00	3.36	2.30	2.05	22.83	27.28	69.26
0.50	20.00	0.00	0.00	0.00	15.88	18.98	41.20
0.55	22.00	-3.36	-2.30	-2.05	-22.83	-27.28	-69.26
0.60	24.00	-6.72	-4.61	-4.09	-22.64	-27.06	-78.79
0.65	26.00	-10.08	-6.91	-6.14	-22.77	-27.21	-89.15
0.70	28.00	-13.44	-9.22	-8.19	-23.15	-27.67	-100.16
0.75	30.00	-16.80	-11.52	-10.23	-23.81	-28.46	-111.90
0.80	32.00	-20.16	-13.82	-12.28	-24.69	-29.51	-124.20
0.85	34.00	-23.52	-16.13	-14.32	-25.71	-30.73	-136.87
0.90	36.00	-26.88	-18.43	-16.37	-26.87	-32.11	-149.91
0.95	38.00	-30.24	-20.74	-18.42	-28.91	-34.55	-165.22
1.00	40.00	-33.60	-23.04	-20.46	-29.00	-34.66	-175.48

## Diseño de un Puente Carretero de Concreto, Construido con Traveses Presforzados Tipo AASHTO.

Momentos flexionantes en Ton\*m

X/L	X [m]	Mpp	Mlosa	Mscm	Mcv	Mcv+i	Mu
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.05	2.00	63.84	43.78	38.88	14.05	16.79	226.90
0.10	4.00	120.96	82.94	73.67	66.88	79.93	534.38
0.15	6.00	171.36	117.50	104.37	116.98	139.81	814.72
0.20	8.00	215.04	147.46	130.97	164.46	196.55	1,068.22
0.25	10.00	252.00	172.80	153.48	209.90	250.86	1,296.38
0.30	12.00	282.24	193.54	171.90	252.87	302.21	1,498.08
0.35	14.00	305.76	209.66	186.22	293.73	351.05	1,674.26
0.40	16.00	322.56	221.18	196.45	333.06	398.05	1,826.43
0.45	18.00	332.64	228.10	202.59	371.85	444.41	1,957.14
0.50	20.00	336.00	230.40	204.64	387.47	463.08	2,007.70
0.55	22.00	332.64	228.10	202.59	371.85	444.41	1,957.14
0.60	24.00	322.56	221.18	196.45	333.06	398.05	1,826.43
0.65	26.00	305.76	209.66	186.22	293.73	351.05	1,674.26
0.70	28.00	282.24	193.54	171.90	252.87	302.21	1,498.08
0.75	30.00	252.00	172.80	153.48	209.90	250.86	1,296.38
0.80	32.00	215.04	147.46	130.97	164.46	196.55	1,068.22
0.85	34.00	171.36	117.50	104.37	116.98	139.81	814.72
0.90	36.00	120.96	82.94	73.67	66.88	79.93	534.38
0.95	38.00	63.84	43.78	38.88	14.05	16.79	226.90
1.00	40.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Elementos mecanicos ultimos

X/L	X	Vu [T]	Mu [Tm]
0.00	0.00	175.48	0.00
0.05	2.00	165.22	226.90
0.10	4.00	149.91	534.38
0.15	6.00	136.87	814.72
0.20	8.00	124.20	1,068.22
0.25	10.00	111.90	1,296.38
0.30	12.00	100.16	1,498.08
0.35	14.00	89.15	1,674.26
0.40	16.00	78.79	1,826.43
0.45	18.00	69.26	1,957.14
0.50	20.00	41.20	2,007.70
0.55	22.00	-69.26	1,957.14
0.60	24.00	-78.79	1,826.43
0.65	26.00	-89.15	1,674.26
0.70	28.00	-100.16	1,498.08
0.75	30.00	-111.90	1,296.38
0.80	32.00	-124.20	1,068.22
0.85	34.00	-136.87	814.72
0.90	36.00	-149.91	534.38
0.95	38.00	-165.22	226.90
1.00	40.00	-175.48	0.00

Mu max = 2,007.70

## Diseño de un Puente Carretero de Concreto, Construido con Trabes Presforzadas Tipo AASHTO.

### Esfuerzos en la trabe

Esfuerzos en fibra superior de trabe en kg/cm<sup>2</sup>

X/L	X	fs pp	fs losa	fs scm	fs cv+i	fs total
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.05	2.00	18.92	12.98	4.17	1.80	37.88
0.10	4.00	35.85	24.59	7.91	8.58	76.93
0.15	6.00	50.79	34.83	11.20	15.01	111.84
0.20	8.00	63.74	43.71	14.06	21.10	142.61
0.25	10.00	74.69	51.22	16.48	26.93	169.32
0.30	12.00	83.66	57.37	18.46	32.45	191.92
0.35	14.00	90.63	62.15	19.99	37.69	210.46
0.40	16.00	95.61	65.56	21.09	42.74	225.00
0.45	18.00	98.60	67.61	21.75	47.71	235.67
0.50	20.00	99.59	68.29	21.97	49.72	239.57
0.55	22.00	98.60	67.61	21.75	47.71	235.67
0.60	24.00	95.61	65.56	21.09	42.74	225.00
0.65	26.00	90.63	62.15	19.99	37.69	210.46
0.70	28.00	83.66	57.37	18.46	32.45	191.92
0.75	30.00	74.69	51.22	16.48	26.93	169.32
0.80	32.00	63.74	43.71	14.06	21.10	142.61
0.85	34.00	50.79	34.83	11.20	15.01	111.84
0.90	36.00	35.85	24.59	7.91	8.58	76.93
0.95	38.00	18.92	12.98	4.17	1.80	37.88
1.00	40.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Esfuerzos en fibra inferior de trabe en kg/cm<sup>2</sup>

X/L	X	fi pp	fi losa	fi scm	fi cv+i	fi total
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.05	2.00	-19.33	-13.25	-9.06	-3.91	-45.56
0.10	4.00	-36.62	-25.11	-17.17	-18.63	-97.54
0.15	6.00	-51.88	-35.57	-24.33	-32.59	-144.38
0.20	8.00	-65.10	-44.64	-30.53	-45.82	-186.10
0.25	10.00	-76.29	-52.31	-35.78	-58.48	-222.87
0.30	12.00	-85.45	-58.59	-40.07	-70.45	-254.57
0.35	14.00	-92.57	-63.47	-43.41	-81.84	-281.29
0.40	16.00	-97.65	-66.96	-45.80	-92.80	-303.21
0.45	18.00	-100.70	-69.05	-47.23	-103.60	-320.59
0.50	20.00	-101.72	-69.75	-47.71	-107.96	-327.14
0.55	22.00	-100.70	-69.05	-47.23	-103.60	-320.59
0.60	24.00	-97.65	-66.96	-45.80	-92.80	-303.21
0.65	26.00	-92.57	-63.47	-43.41	-81.84	-281.29
0.70	28.00	-85.45	-58.59	-40.07	-70.45	-254.57
0.75	30.00	-76.29	-52.31	-35.78	-58.48	-222.87
0.80	32.00	-65.10	-44.64	-30.53	-45.82	-186.10
0.85	34.00	-51.88	-35.57	-24.33	-32.59	-144.38
0.90	36.00	-36.62	-25.11	-17.17	-18.63	-97.54
0.95	38.00	-19.33	-13.25	-9.06	-3.91	-45.56
1.00	40.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



## Diseño de un Puente Carretero de Concreto, Construido con Traveses Presforzados Tipo AASHTO.

Esfuerzos en fibra superior de losa en kg/cm<sup>2</sup>

X/L	X	fsl scm	fsl cv+i	fsl total
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.05	2.00	5.62	2.43	8.05
0.10	4.00	10.65	11.56	22.21
0.15	6.00	15.09	20.22	35.31
0.20	8.00	18.94	28.42	47.36
0.25	10.00	22.19	36.27	58.47
0.30	12.00	24.86	43.70	68.56
0.35	14.00	26.93	50.76	77.69
0.40	16.00	28.41	57.56	85.96
0.45	18.00	29.29	64.26	93.55
0.50	20.00	29.59	66.96	96.55
0.55	22.00	29.29	64.26	93.55
0.60	24.00	28.41	57.56	85.96
0.65	26.00	26.93	50.76	77.69
0.70	28.00	24.86	43.70	68.56
0.75	30.00	22.19	36.27	58.47
0.80	32.00	18.94	28.42	47.36
0.85	34.00	15.09	20.22	35.31
0.90	36.00	10.65	11.56	22.21
0.95	38.00	5.62	2.43	8.05
1.00	40.00	0.00	0.00	0.00

Calculo aproximado del numero de torones

		Distribución de torones al centro del claro				
Toron No.	1/2"	Lecho	#torones	yi	#tor yi	#torones acum. en cada lecho
Area toron =	0.99 cm <sup>2</sup>	1	11	5	55.00	11
Ep =	1,960,000.00 kg/cm <sup>2</sup>	2	13	10	130.00	24
Fuerza inicial de tensado		3	13	15	195.00	37
Fi = % Fpu		4	13	20	260.00	50
% =	0.75	5	9	25	225.00	59
Fpu =	18,999.94 kg/cm <sup>2</sup>	6	6	30	180.00	65
Fi =	14,107.45 kg	7	0	0	0.00	0
		8	0	0	0.00	0
#torones =	72.17				1,045.00	
		#tor =	65			
		yg =	16.08 cm			
		e =	yi - yg =	76.33 cm		

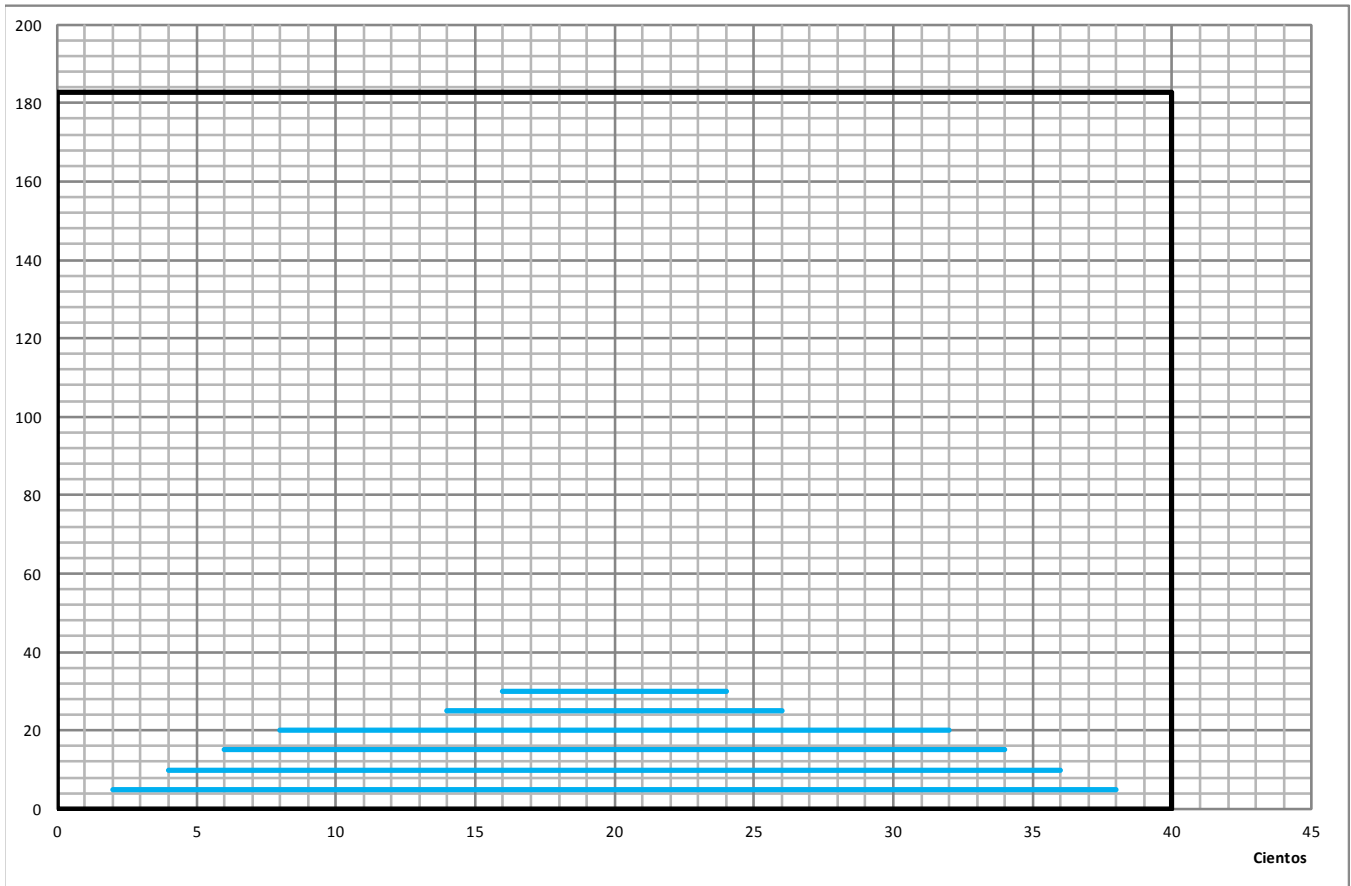
Enductar torones de arriba hacia abajo (empezando por el lecho 8)

Esfuerzos debidos al presfuerzo en kg/cm<sup>2</sup>

X/L	X	#torones ef	e	Fi	Fi / A	Fi e / Ss	Fi e / Si	fs pfzo	fi pfzo
0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.05	2.00	11	87.41	155,181.99	22.17	40.20	41.06	-18.04	63.23
0.10	4.00	20	85.16	282,149.08	40.31	71.22	72.74	-30.91	113.05
0.15	6.00	30	83.24	423,223.62	60.46	104.42	106.65	-43.96	167.11
0.20	8.00	40	81.41	564,298.16	80.61	136.16	139.07	-55.55	219.69
0.25	10.00	45	80.41	634,835.43	90.69	151.30	154.54	-60.61	245.23
0.30	12.00	50	79.61	705,372.70	100.77	166.44	170.00	-65.67	270.77
0.35	14.00	55	78.50	775,909.97	110.84	180.53	184.39	-69.69	295.24
0.40	16.00	60	77.49	846,447.24	120.92	194.42	198.57	-73.50	319.50
0.45	18.00	65	76.33	916,984.51	131.00	207.47	211.90	-76.47	342.90
0.50	20.00	65	76.33	916,984.51	131.00	207.47	211.90	-76.47	342.90
0.55	22.00	65	76.33	916,984.51	131.00	207.47	211.90	-76.47	342.90
0.60	24.00	60	77.49	846,447.24	120.92	194.42	198.57	-73.50	319.50
0.65	26.00	55	78.50	775,909.97	110.84	180.53	184.39	-69.69	295.24
0.70	28.00	50	79.61	705,372.70	100.77	166.44	170.00	-65.67	270.77
0.75	30.00	45	80.41	634,835.43	90.69	151.30	154.54	-60.61	245.23
0.80	32.00	40	81.41	564,298.16	80.61	136.16	139.07	-55.55	219.69
0.85	34.00	30	83.24	423,223.62	60.46	104.42	106.65	-43.96	167.11
0.90	36.00	20	85.16	282,149.08	40.31	71.22	72.74	-30.91	113.05
0.95	38.00	11	87.41	155,181.99	22.17	40.20	41.06	-18.04	63.23
1.00	40.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

## Diseño de un Puente Carretero de Concreto, Construido con Trabes Presforzadas Tipo AASHTO.

Esquema de torones efectivos en la trabe.



Trotones efectivos en cada sección de análisis (estos torones ya han cumplido con una longitud de desarrollo)

Lecho	#torones	0.00 m	2.00 m	4.00 m	6.00 m	8.00 m	10.00 m	12.00 m	14.00 m	16.00 m
1	11	0	11	11	11	11	11	11	11	11
2	13	0	0	9	13	13	13	13	13	13
3	13	0	0	0	6	13	13	13	13	13
4	13	0	0	0	0	3	8	13	13	13
5	9	0	0	0	0	0	0	0	5	9
6	6	0	0	0	0	0	0	0	0	1
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Σ	0	11	20	30	40	45	50	55	60

Torones enductados físicamente hasta la distancia indicada (ahí comienzan la longitud de desarrollo, en ese punto el pfzo. de los torones enductados vale 0):

	0.00 m	2.00 m	4.00 m	6.00 m	8.00 m	10.00 m	12.00 m	14.00 m	16.00 m
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	13	4	0	0	0	0	0	0	0
13	13	13	7	0	0	0	0	0	0
13	13	13	13	10	5	0	0	0	0
9	9	9	9	9	9	9	9	4	0
6	6	6	6	6	6	6	6	6	5
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

## Diseño de un Puente Carretero de Concreto, Construido con Trabes Presforzadas Tipo AASHTO.

### Esfuerzos en etapa de transferencia

$f'_{ci} = \% f'_c$

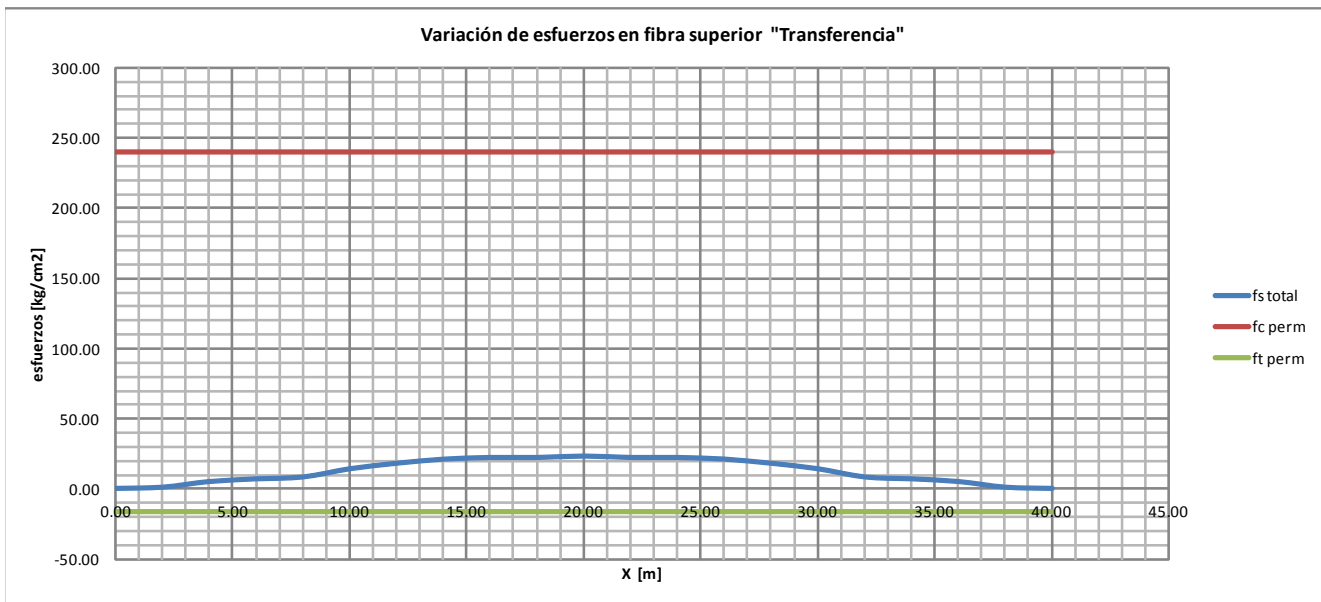
$\% = 0.80$

$f'_{ci} = 400.00 \text{ kg/cm}^2$

Fibra superior

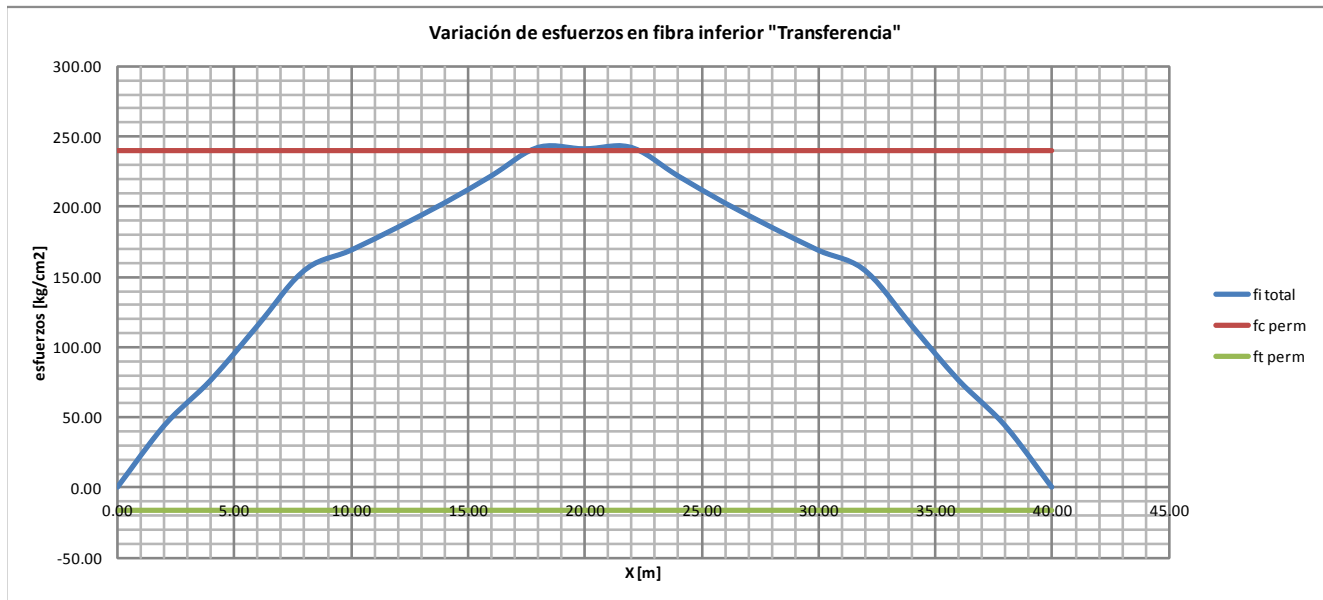
esfuerzos permisibles

X/L	X	fs pp	fs pfzo	fs total	esfuerzos permisibles		X/L
					fc perm	ft perm	
					$0.6 f'_{ci}$	$0.8 f'_{ci}^{1/2}$	
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	240.00	-16.00	0.00
0.05	2.00	18.92	-18.04	0.89	240.00	-16.00	0.05
0.10	4.00	35.85	-30.91	4.94	240.00	-16.00	0.10
0.15	6.00	50.79	-43.96	6.83	240.00	-16.00	0.15
0.20	8.00	63.74	-55.55	8.19	240.00	-16.00	0.20
0.25	10.00	74.69	-60.61	14.08	240.00	-16.00	0.25
0.30	12.00	83.66	-65.67	17.99	240.00	-16.00	0.30
0.35	14.00	90.63	-69.69	20.94	240.00	-16.00	0.35
0.40	16.00	95.61	-73.50	22.11	240.00	-16.00	0.40
0.45	18.00	98.60	-76.47	22.13	240.00	-16.00	0.45
0.50	20.00	99.59	-76.47	23.12	240.00	-16.00	0.50
0.55	22.00	98.60	-76.47	22.13	240.00	-16.00	0.55
0.60	24.00	95.61	-73.50	22.11	240.00	-16.00	0.60
0.65	26.00	90.63	-69.69	20.94	240.00	-16.00	0.65
0.70	28.00	83.66	-65.67	17.99	240.00	-16.00	0.70
0.75	30.00	74.69	-60.61	14.08	240.00	-16.00	0.75
0.80	32.00	63.74	-55.55	8.19	240.00	-16.00	0.80
0.85	34.00	50.79	-43.96	6.83	240.00	-16.00	0.85
0.90	36.00	35.85	-30.91	4.94	240.00	-16.00	0.90
0.95	38.00	18.92	-18.04	0.89	240.00	-16.00	0.95
1.00	40.00	0.00	0.00	0.00	240.00	-16.00	1.00



## Diseño de un Puente Carretero de Concreto, Construido con Traveses Presforzados Tipo AASHTO.

Fibra inferior					esfuerzos permisibles		
X/L	X	fi pp	fi pfzo	fi total	fc perm	ft perm	X/L
					0.6 f'ci	0.8 f'ci <sup>1/2</sup>	
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	240.00	-16.00	0.00
0.05	2.00	-19.33	63.23	43.91	240.00	-16.00	0.05
0.10	4.00	-36.62	113.05	76.43	240.00	-16.00	0.10
0.15	6.00	-51.88	167.11	115.24	240.00	-16.00	0.15
0.20	8.00	-65.10	219.69	154.59	240.00	-16.00	0.20
0.25	10.00	-76.29	245.23	168.94	240.00	-16.00	0.25
0.30	12.00	-85.45	270.77	185.32	240.00	-16.00	0.30
0.35	14.00	-92.57	295.24	202.67	240.00	-16.00	0.35
0.40	16.00	-97.65	319.50	221.84	240.00	-16.00	0.40
0.45	18.00	-100.70	342.90	242.19	240.00	-16.00	0.45
0.50	20.00	-101.72	342.90	241.18	240.00	-16.00	0.50
0.55	22.00	-100.70	342.90	242.19	240.00	-16.00	0.55
0.60	24.00	-97.65	319.50	221.84	240.00	-16.00	0.60
0.65	26.00	-92.57	295.24	202.67	240.00	-16.00	0.65
0.70	28.00	-85.45	270.77	185.32	240.00	-16.00	0.70
0.75	30.00	-76.29	245.23	168.94	240.00	-16.00	0.75
0.80	32.00	-65.10	219.69	154.59	240.00	-16.00	0.80
0.85	34.00	-51.88	167.11	115.24	240.00	-16.00	0.85
0.90	36.00	-36.62	113.05	76.43	240.00	-16.00	0.90
0.95	38.00	-19.33	63.23	43.91	240.00	-16.00	0.95
1.00	40.00	0.00	0.00	0.00	240.00	-16.00	1.00



# Diseño de un Puente Carretero de Concreto, Construido con Trabes Presforzadas Tipo AASHTO.

## Calculo de pérdidas de presfuerzo

### a) Pérdidas inmediatas

#### a.1) Acortamiento elástico

$$\Delta AE = E_p / E_{ci} f_{cgp}$$

$$E_p = 1,960,000.00 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_{ci} = 280,000.00 \text{ kg/cm}^2$$

$f_{cgp}$  = Esfuerzo en el centroide del acero de presfuerzo debido a la fuerza inicial de presfuerzo y al momento por peso propio, al centro del claro.

$$f_{cgp} = - F_i / A_{ss} - (F_i * e) / (I_{ss}) + (M_{pp}) / (e / I_{ss}) ; \text{ al centro del claro.}$$

$$f_{cgp} = 79.32 \text{ kg/cm}^2$$

$$\Delta AE = 555.21 \text{ kg/cm}^2$$

#### a.2) Relajación instantánea

$$\Delta RE_i = \log(t) (f_i / f_{py} - 0.55) f_i / 40$$

Horas transcurridas desde el tensado hasta la transferencia de pfzo t = 18.00 hrs

$$f_i = 14,107.45 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{py} = 16,200.49 \text{ kg/cm}^2$$

$$\Delta RE_i = 142.03 \text{ kg/cm}^2$$

### b) Pérdidas diferidas

#### b.1) Flujo plástico

$$\Delta FP = 12 f_{cgp} - 7 f_{cdp} \geq 0$$

$f_{cdp}$  =  $M_{losa} / (e / I_{ss}) + M_{scm} / (e / I_{ss})$  ; al centro del claro

$$f_{cdp} = 108.79 \text{ kg/cm}^2$$

$$\Delta FP = 190.25 \text{ kg/cm}^2$$

#### b.2) Contracción

$$\Delta CC = 1193 - 10.5H$$

Humedad ambiental promedio del sitio H = 80.00 %

$$\Delta CC = 353.00 \text{ kg/cm}^2$$

#### b.3) Relajación diferida

$$\Delta RE_d = 0.25 (1408 - 0.4 \Delta AE - 0.2 (\Delta CC + \Delta FP))$$

$$\Delta RE_d = 269.32 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Perdidas} = \Delta AE + \Delta RE_i + \Delta FP + \Delta CC + \Delta RE_d$$

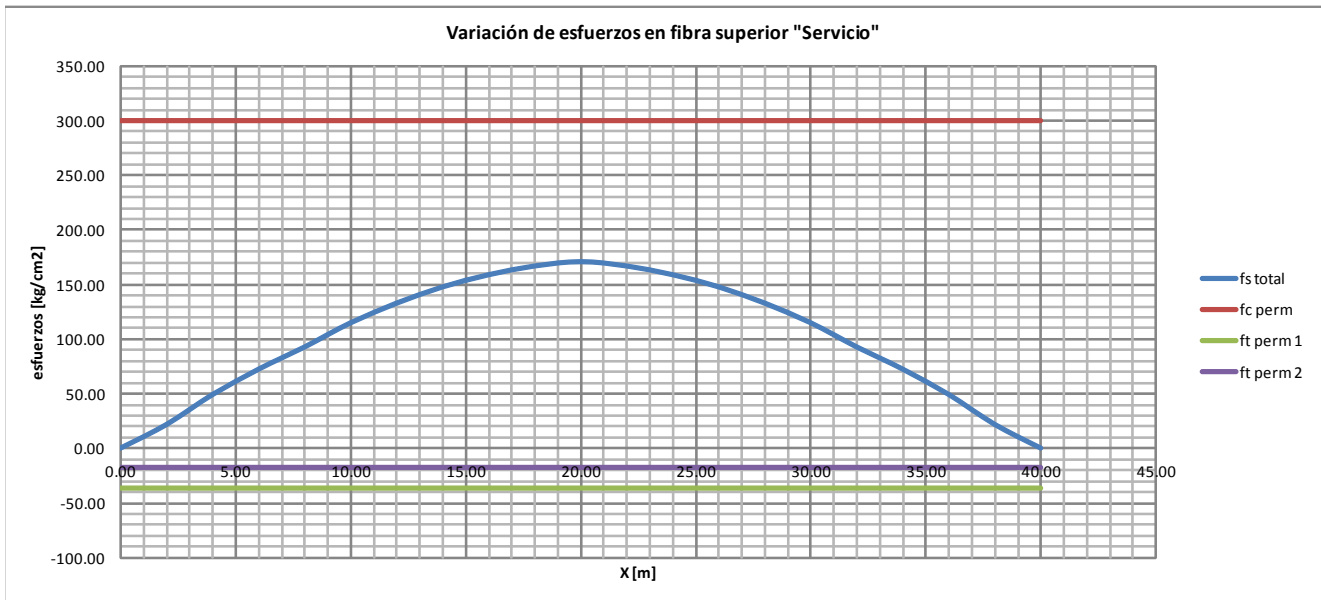
$$\text{Perdidas} = 1,509.81 \text{ kg/cm}^2$$

## Diseño de un Puente Carretero de Concreto, Construido con Trabes Presforzadas Tipo AASHTO.

### Esfuerzos en etapa de servicio

σ <sub>i</sub> =	14,249.95 kg/cm <sup>2</sup>	esfuerzo inicial
σ <sub>e</sub> =	12,740.15 kg/cm <sup>2</sup>	esfuerzo efectivo
Fe = σ <sub>e</sub> At =	12,612.75 kg	fuerza efectiva del toron
% perdidas =	0.11	
Fe / Fi =	0.89	

X/L	X	fs total de cargas	fs pfzo ef	fs total	esfuerzos permisibles		
					fc perm 0.6 f'c	ft perm 1 1.6 f'c <sup>1/2</sup>	ft perm 2 0.8 f'c <sup>1/2</sup>
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	300.00	-35.78	-17.89
0.05	2.00	37.88	-16.12	21.75	300.00	-35.78	-17.89
0.10	4.00	76.93	-27.64	49.29	300.00	-35.78	-17.89
0.15	6.00	111.84	-39.30	72.53	300.00	-35.78	-17.89
0.20	8.00	142.61	-49.66	92.95	300.00	-35.78	-17.89
0.25	10.00	169.32	-54.19	115.13	300.00	-35.78	-17.89
0.30	12.00	191.92	-58.72	133.21	300.00	-35.78	-17.89
0.35	14.00	210.46	-62.31	148.15	300.00	-35.78	-17.89
0.40	16.00	225.00	-65.71	159.29	300.00	-35.78	-17.89
0.45	18.00	235.67	-68.37	167.30	300.00	-35.78	-17.89
0.50	20.00	239.57	-68.37	171.21	300.00	-35.78	-17.89
0.55	22.00	235.67	-68.37	167.30	300.00	-35.78	-17.89
0.60	24.00	225.00	-65.71	159.29	300.00	-35.78	-17.89
0.65	26.00	210.46	-62.31	148.15	300.00	-35.78	-17.89
0.70	28.00	191.92	-58.72	133.21	300.00	-35.78	-17.89
0.75	30.00	169.32	-54.19	115.13	300.00	-35.78	-17.89
0.80	32.00	142.61	-49.66	92.95	300.00	-35.78	-17.89
0.85	34.00	111.84	-39.30	72.53	300.00	-35.78	-17.89
0.90	36.00	76.93	-27.64	49.29	300.00	-35.78	-17.89
0.95	38.00	37.88	-16.12	21.75	300.00	-35.78	-17.89
1.00	40.00	0.00	0.00	0.00	300.00	-35.78	-17.89



## Diseño de un Puente Carretero de Concreto, Construido con Trabes Presforzadas Tipo AASHTO.

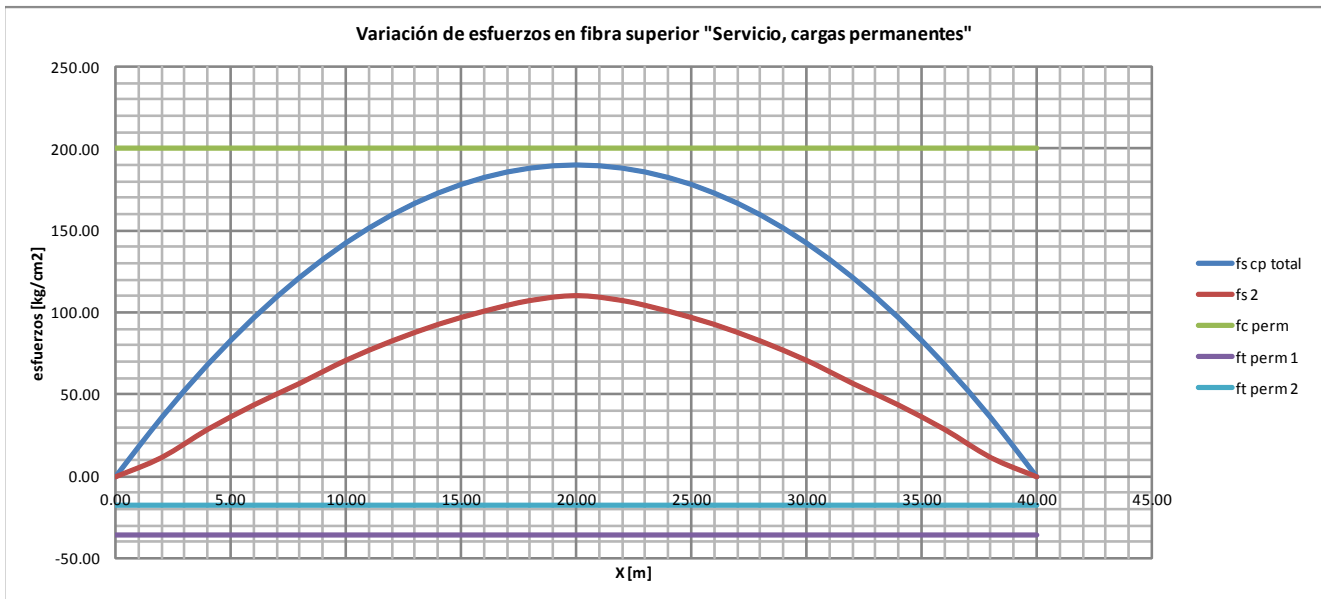
Esfuerzos para fibra superior

Cargas permanentes

cp = cargas permanentes

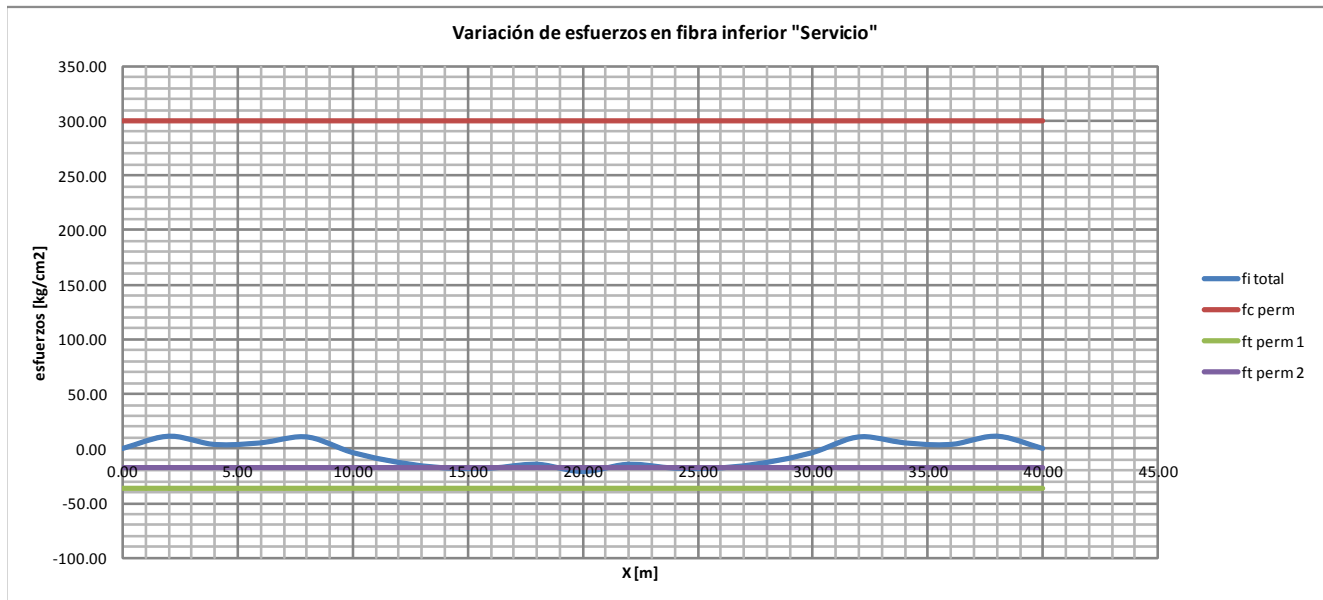
Fibra superior cp

X/L	X	fs <sub>cp</sub> total	fs 2 = fs <sub>cvH</sub> + 0.5(fs <sub>cp</sub> + pfzo)	fc perm 0.4 f'c	ft perm 1 1.6 f'c <sup>1/2</sup>	ft perm 2 0.8 f'c <sup>1/2</sup>
0.00	0.00	0.00	0.00	200.00	-35.78	-17.89
0.05	2.00	36.07	11.78	200.00	-35.78	-17.89
0.10	4.00	68.35	28.94	200.00	-35.78	-17.89
0.15	6.00	96.83	43.77	200.00	-35.78	-17.89
0.20	8.00	121.51	57.02	200.00	-35.78	-17.89
0.25	10.00	142.39	71.03	200.00	-35.78	-17.89
0.30	12.00	159.48	82.83	200.00	-35.78	-17.89
0.35	14.00	172.77	92.92	200.00	-35.78	-17.89
0.40	16.00	182.26	101.01	200.00	-35.78	-17.89
0.45	18.00	187.96	107.51	200.00	-35.78	-17.89
0.50	20.00	189.86	110.46	200.00	-35.78	-17.89
0.55	22.00	187.96	107.51	200.00	-35.78	-17.89
0.60	24.00	182.26	101.01	200.00	-35.78	-17.89
0.65	26.00	172.77	92.92	200.00	-35.78	-17.89
0.70	28.00	159.48	82.83	200.00	-35.78	-17.89
0.75	30.00	142.39	71.03	200.00	-35.78	-17.89
0.80	32.00	121.51	57.02	200.00	-35.78	-17.89
0.85	34.00	96.83	43.77	200.00	-35.78	-17.89
0.90	36.00	68.35	28.94	200.00	-35.78	-17.89
0.95	38.00	36.07	11.78	200.00	-35.78	-17.89
1.00	40.00	0.00	0.00	200.00	-35.78	-17.89



## Diseño de un Puente Carretero de Concreto, Construido con Trabes Presforzadas Tipo AASHTO.

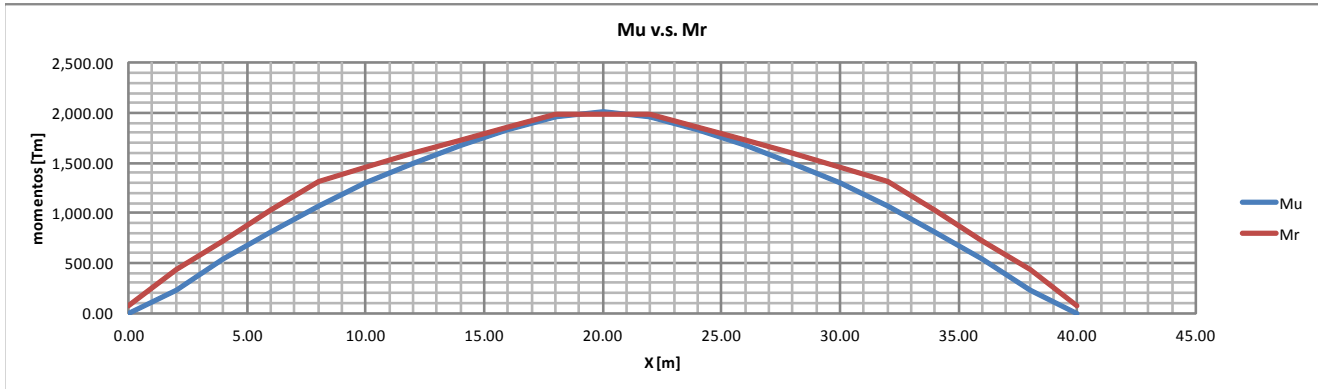
Fibra inferior				esfuerzos permisibles			
X/L	X	fi total de cargas	fi pfzo ef	fi total	fc perm 0.6 f'c	ft perm 1 1.6 f'c <sup>1/2</sup>	ft perm 2 0.8 f'c <sup>1/2</sup>
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	300.00	-35.78	-17.89
0.05	2.00	-45.56	56.53	10.97	300.00	-35.78	-17.89
0.10	4.00	-97.54	101.07	3.53	300.00	-35.78	-17.89
0.15	6.00	-144.38	149.41	5.03	300.00	-35.78	-17.89
0.20	8.00	-186.10	196.41	10.31	300.00	-35.78	-17.89
0.25	10.00	-222.87	219.24	-3.62	300.00	-35.78	-17.89
0.30	12.00	-254.57	242.08	-12.49	300.00	-35.78	-17.89
0.35	14.00	-281.29	263.96	-17.34	300.00	-35.78	-17.89
0.40	16.00	-303.21	285.64	-17.57	300.00	-35.78	-17.89
0.45	18.00	-320.59	306.57	-14.03	300.00	-35.78	-17.89
0.50	20.00	-327.14	306.57	-20.57	300.00	-35.78	-17.89
0.55	22.00	-320.59	306.57	-14.03	300.00	-35.78	-17.89
0.60	24.00	-303.21	285.64	-17.57	300.00	-35.78	-17.89
0.65	26.00	-281.29	263.96	-17.34	300.00	-35.78	-17.89
0.70	28.00	-254.57	242.08	-12.49	300.00	-35.78	-17.89
0.75	30.00	-222.87	219.24	-3.62	300.00	-35.78	-17.89
0.80	32.00	-186.10	196.41	10.31	300.00	-35.78	-17.89
0.85	34.00	-144.38	149.41	5.03	300.00	-35.78	-17.89
0.90	36.00	-97.54	101.07	3.53	300.00	-35.78	-17.89
0.95	38.00	-45.56	56.53	10.97	300.00	-35.78	-17.89
1.00	40.00	0.00	0.00	0.00	300.00	-35.78	-17.89







## Diseño de un Puente Carretero de Concreto, Construido con Trabes Presforzadas Tipo AASHTO.



### Fuerza cortante

$H = 202.88 \text{ cm}$   
 $b \text{ min} = 20.32 \text{ cm}$   
 $\text{Estribo \#} = 4$   
 $db = 1.27 \text{ cm}$   
 $as = 1.27 \text{ cm}^2$   
 $\# \text{ de ramas} = 2$   
 $Av = 2.53 \text{ cm}^2$   
 $Av \text{ min} = 1.04 \text{ cm}^2$

$vcr \text{ min} = \phi 0.53 f'c^{1/2} = 10.07 \text{ kg/cm}^2$   
 $vcr \text{ min} = \phi 0.45 f'c^{1/2} = 8.55 \text{ kg/cm}^2$   
 $vsr \text{ max} = \phi 2.12 f'c^{1/2} = 40.29 \text{ kg/cm}^2$   
 $\phi = 0.85$

$S \text{ max } 1 = 60.96 \text{ cm}$   
 $S \text{ max } 2 = 40.64 \text{ cm}$

$\text{cortante } vcr \text{ m\u00ednimo (concreto reforzado)}$   
 $\text{cortante } vcr \text{ m\u00ednimo (concreto presforzado)}$   
 $\text{cortante } vsr \text{ m\u00e1x}$

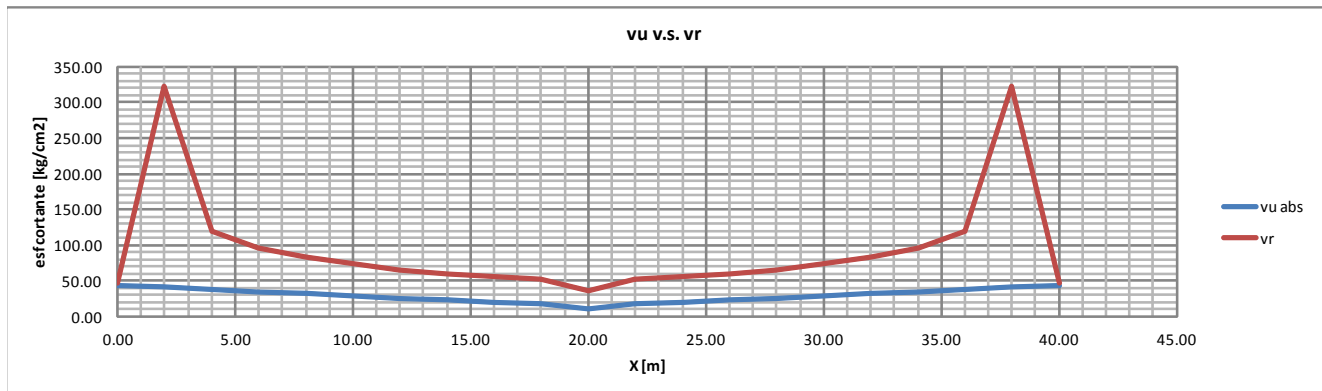
$\text{para } vsr > \phi 1.06 f'c^{1/2} = 20.15 \text{ kg/cm}^2$

$Mcr = (I/Yt) * (1.59 * f'c^{1/2} + f_{pe} - f_d) \text{ kgcm}$   
 $vcr = (0.16 f'c^{1/2}) + (Vd/bd) + (Vi * Mcr / Mmax) / bd \text{ kg/cm}^2$

X/L	X	Vu [T]	d [cm]	vu [kg/cm <sup>2</sup> ]	Mcr [Tm]	vcr [kg/cm <sup>2</sup> ]	vsr [kg/cm <sup>2</sup> ]	S <sub>te\u00f3rica</sub> [cm]	S <sub>corregida</sub> [cm]
0.00	0.00	175.48	197.88	43.64	152.51	10.07	33.57	13.26	13.26
0.05	2.00	165.22	197.88	41.09	573.64	314.39	-273.30	-1.63	60.96
0.10	4.00	149.91	195.86	37.67	924.50	112.41	-74.74	-5.96	60.96
0.15	6.00	136.87	194.01	34.72	1,272.88	88.23	-53.51	-8.32	60.96
0.20	8.00	124.20	192.20	31.80	1,596.72	76.80	-45.00	-9.89	60.96
0.25	10.00	111.90	191.22	28.80	1,798.08	65.99	-37.20	-11.97	60.96
0.30	12.00	100.16	190.42	25.89	1,980.64	58.41	-32.53	-13.69	60.96
0.35	14.00	89.15	189.32	23.17	2,140.30	52.72	-29.54	-15.07	60.96
0.40	16.00	78.79	188.32	20.59	2,280.34	48.11	-27.52	-16.17	60.96
0.45	18.00	69.26	187.18	18.21	2,398.30	44.32	-26.11	-17.05	60.96
0.50	20.00	41.20	187.18	10.83	2,407.70	29.52	-18.69	-23.82	60.96
0.55	22.00	-69.26	187.18	-18.21	2,398.30	44.32	-26.11	-17.05	60.96
0.60	24.00	-78.79	188.32	-20.59	2,280.34	48.11	-27.52	-16.17	60.96
0.65	26.00	-89.15	189.32	-23.17	2,140.30	52.72	-29.54	-15.07	60.96
0.70	28.00	-100.16	190.42	-25.89	1,980.64	58.41	-32.53	-13.69	60.96
0.75	30.00	-111.90	191.22	-28.80	1,798.08	65.99	-37.20	-11.97	60.96
0.80	32.00	-124.20	192.20	-31.80	1,596.72	76.80	-45.00	-9.89	60.96
0.85	34.00	-136.87	194.01	-34.72	1,272.88	88.23	-53.51	-8.32	60.96
0.90	36.00	-149.91	195.86	-37.67	924.50	112.41	-74.74	-5.96	60.96
0.95	38.00	-165.22	197.88	-41.09	573.64	314.39	-273.30	-1.63	60.96
1.00	40.00	-175.48	197.88	-43.64	152.51	10.07	33.57	13.26	13.26

## Diseño de un Puente Carretero de Concreto, Construido con Trabes Presforzadas Tipo AASHTO.

X/L	X	S <sub>construcc</sub> [cm]	v <sub>sr</sub> [kg/cm <sup>2</sup> ]	v <sub>cr</sub> [kg/cm <sup>2</sup> ]	v <sub>r</sub> [kg/cm <sup>2</sup> ]	v <sub>u</sub> [kg/cm <sup>2</sup> ]	v <sub>u</sub> abs [kg/cm <sup>2</sup> ]
0.00	0.00	12.00	37.09	10.07	47.17	43.64	43.64
0.05	2.00	60.00	7.42	314.39	321.81	41.09	41.09
0.10	4.00	60.00	7.42	112.41	119.82	37.67	37.67
0.15	6.00	60.00	7.42	88.23	95.65	34.72	34.72
0.20	8.00	60.00	7.42	76.80	84.22	31.80	31.80
0.25	10.00	60.00	7.42	65.99	73.41	28.80	28.80
0.30	12.00	60.00	7.42	58.41	65.83	25.89	25.89
0.35	14.00	60.00	7.42	52.72	60.14	23.17	23.17
0.40	16.00	60.00	7.42	48.11	55.53	20.59	20.59
0.45	18.00	60.00	7.42	44.32	51.74	18.21	18.21
0.50	20.00	60.00	7.42	29.52	36.94	10.83	10.83
0.55	22.00	60.00	7.42	44.32	51.74	-18.21	18.21
0.60	24.00	60.00	7.42	48.11	55.53	-20.59	20.59
0.65	26.00	60.00	7.42	52.72	60.14	-23.17	23.17
0.70	28.00	60.00	7.42	58.41	65.83	-25.89	25.89
0.75	30.00	60.00	7.42	65.99	73.41	-28.80	28.80
0.80	32.00	60.00	7.42	76.80	84.22	-31.80	31.80
0.85	34.00	60.00	7.42	88.23	95.65	-34.72	34.72
0.90	36.00	60.00	7.42	112.41	119.82	-37.67	37.67
0.95	38.00	60.00	7.42	314.39	321.81	-41.09	41.09
1.00	40.00	12.00	37.09	10.07	47.17	-43.64	43.64



### Revisión de la sección compuesta

$$T = 1,265,209.44 \text{ kg}$$

$$T/m = 63,260.47 \text{ kg/m}$$

$$A_s/m = (T/m)/(0.9f_y) = 16.74 \text{ cm}^2$$

Estribo # 4  
 db = 1.27 cm  
 as = 1.27 cm<sup>2</sup>  
 # de ramas 2  
 S = 15.14 cm

## Diseño de un Puente Carretero de Concreto, Construido con Trabes Presforzadas Tipo AASHTO.

---

### Deformaciones

	Ei [kg/cm <sup>2</sup> ]	Ef [kg/cm <sup>2</sup> ]	w [kg/cm]	$\Delta_i$ [cm]	$\Delta_f$ [cm]
Peso propio	280,000.00		16.80	-6.55	
Losa		313,049.52	11.52		-4.02
scm		313,049.52	10.23		-2.03

Cv+i -3.57 del analisis estructural del puente

Presfuerzo 16.38

contraflecha inicial = 9.83 cm

Deformacion total sin considerar deformaciones a largo plazo

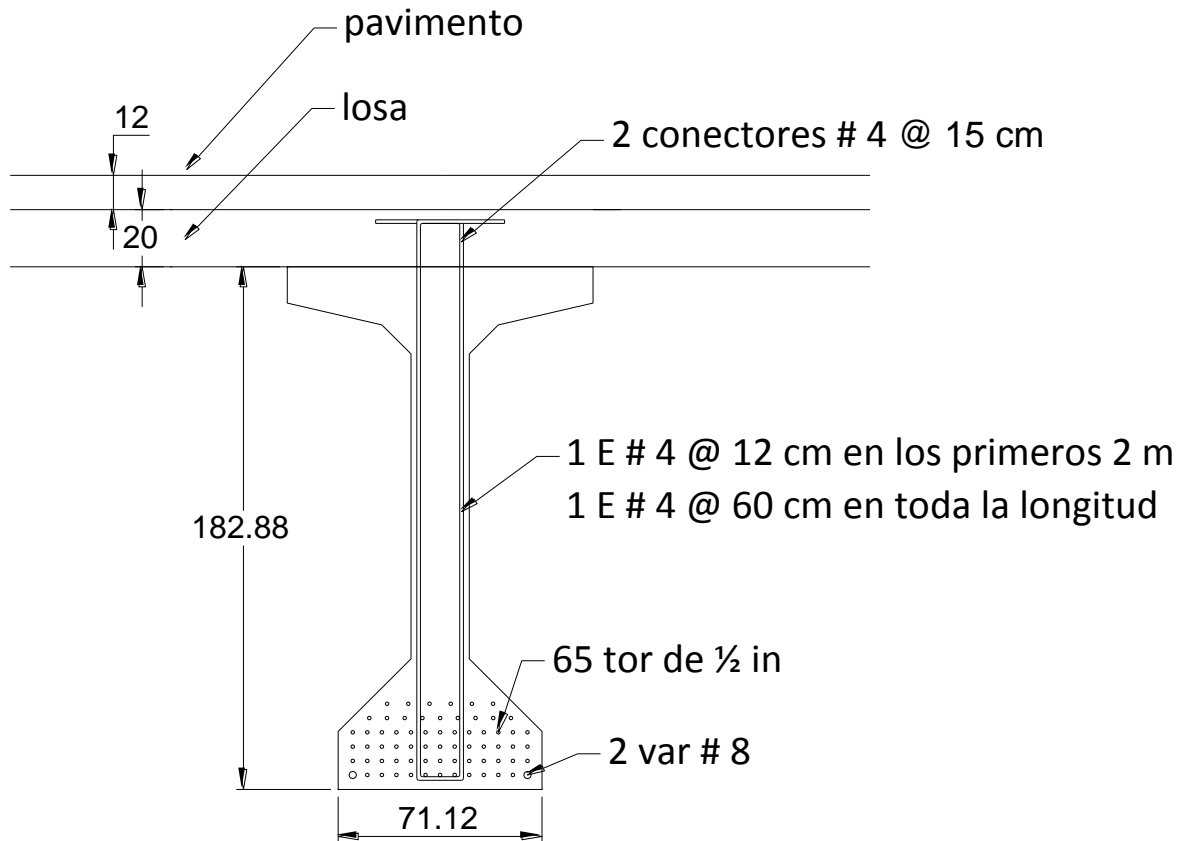
$\Delta =$  3.78 cm

Deformaciones permicibles para carga viva

L/1000 =	4.00	cm	Puentes con paso peatonal
L/800 =	5.00	cm	Puentes sin paso peatonal

## Diseño de un Puente Carretero de Concreto, Construido con Traves Presforzadas Tipo AASHTO.

Esquema de trabe tipo AASHTO [cm]



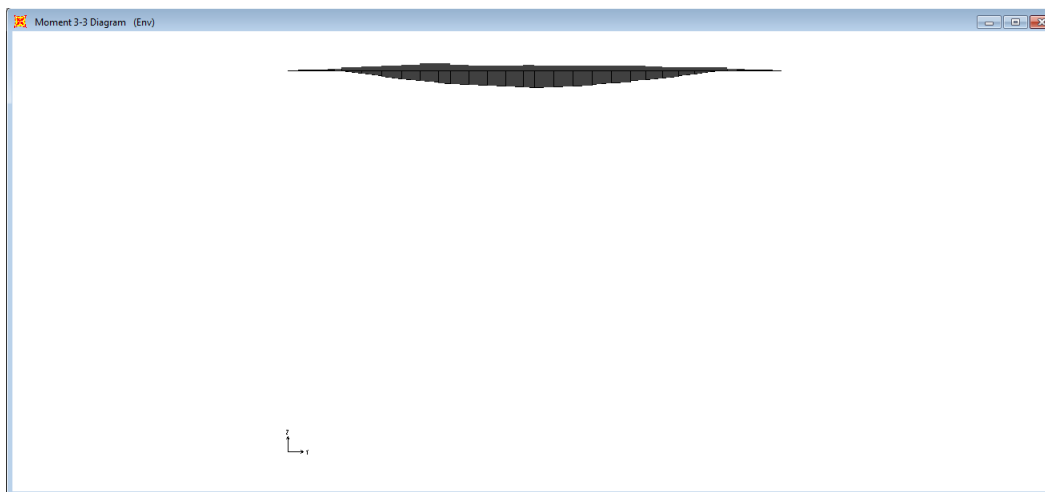
### **7.c. Diseño de viga diafragma.**

Elementos mecánicos SAP 2000

Momento máximo M3 = 41.82 Ton-m

Momento mínimo M3 = -25.22 Ton-m

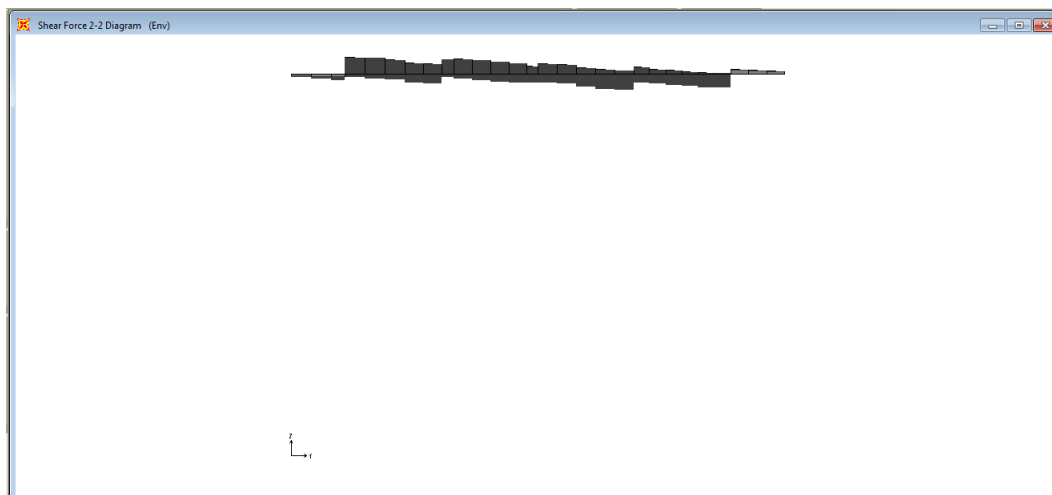
Forma de la envolvente de diagramas de momentos



Cortante máximo V2 = 13.81 Ton

Cortante mínimo V2 = -13.17 Ton

Forma de la envolvente de diagramas de cortantes



## Diseño de un Puente Carretero de Concreto, Construido con Trabes Presforzadas Tipo AASHTO.

Datos		
b =	30.00	cm
h =	100.00	cm
d =	95.00	cm
d <sub>1</sub> =	5.00	cm
d <sub>2</sub> =	50.00	cm
d <sub>3</sub> =	0.00	cm
d <sub>4</sub> =	0.00	cm
d <sub>5</sub> =	0.00	cm
f'c =	250.00	kg/cm <sup>2</sup>
β <sub>1</sub> =	0.85	
0.85 f'c =	212.50	kg/cm <sup>2</sup>
f <sub>y</sub> =	4,200.00	kg/cm <sup>2</sup>
A <sub>s</sub> =	15.20	cm <sup>2</sup>
A <sub>s1</sub> =	10.13	cm <sup>2</sup>
A <sub>s2</sub> =	5.70	cm <sup>2</sup>
A <sub>s3</sub> =	0.00	cm <sup>2</sup>
A <sub>s4</sub> =	0.00	cm <sup>2</sup>
A <sub>s5</sub> =	0.00	cm <sup>2</sup>
p =	1.03%	

Para que A' s fluya:

$$c \geq (6000 / (6000 - f_y)) \cdot d' = 16.67 \text{ cm}$$

Para que se presente la falla balanceada:

$$c_b = (6000 / (6000 + f_y)) \cdot d = 55.88 \text{ cm}$$

**Caso 1:** Resistencia a tensión pura:

$$P_{0t} = - \sum(A_{s_i} \cdot f_{y_i}) - A_s \cdot f_y = -130,326.00 \text{ kg}$$

$$M = 0.00 \text{ kg}\cdot\text{cm}$$

**Caso 2:** Resistencia a compresión pura:

$$P_{0c} = b \cdot t \cdot 0.85 \cdot f'c + \sum(A_{s_i} \cdot f_{y_i}) + A_s \cdot f_y = 767,826.00 \text{ kg}$$

$$M = 0.00 \text{ kg}\cdot\text{cm}$$

3 vars # 8

2 vars # 8

2 vars # 6

Ubicación del Centroides Plástico en relación a la posición del A<sub>s</sub>:

$$d'' = 43.75 \text{ cm}$$

### Revisión por flexión

$$M_u = 41.00 \text{ ton}\cdot\text{m}$$

$$M_u = 4100000.00 \text{ kg}\cdot\text{cm}$$

Estudio de compatibilidad de deformaciones según las hipótesis básicas de flexión.

Caso Flexión Pura	c [cm]	a [cm]	ε <sub>s<sub>i</sub></sub>	f <sub>s<sub>i</sub></sub> [kg/cm <sup>2</sup> ]	ε <sub>s</sub>	f <sub>s</sub> [kg/cm <sup>2</sup> ]	F [kg]	b [cm]	M=F·b [kg·cm]
C <sub>c1</sub> = t · b · 0.85f'c	10.38	8.83	-	-	-	-	-56,266.90	-46.83	2,635,254.14
C <sub>s1</sub> = A <sub>s1</sub> · f <sub>s1</sub>	-	-	0.00155543	3,110.87	-	-	-31,513.10	-46.25	1,457,416.95
C <sub>s2</sub> = A <sub>s2</sub> · f <sub>s2</sub>	-	-	-0.01144566	-4,200.00	-	-	23,940.00	-1.25	-29,876.59
C <sub>s3</sub> = A <sub>s3</sub> · f <sub>s3</sub>	-	-	0.003	4,200.00	-	-	0.00	-51.25	0.00
C <sub>s4</sub> = A <sub>s4</sub> · f <sub>s4</sub>	-	-	0.003	4,200.00	-	-	0.00	-51.25	0.00
C <sub>s5</sub> = A <sub>s5</sub> · f <sub>s5</sub>	-	-	0.003	4,200.00	-	-	0.00	-51.25	0.00
T <sub>s</sub> = A <sub>s</sub> · f <sub>s</sub>	-	-	-	-	0.02444675	4,200.00	63,840.00	43.75	2,793,129.08

$$P_n \text{ [kg]} = 0.00 \quad M_n \text{ [kg}\cdot\text{cm]} = 6,855,923.58$$

$$\phi = 0.90$$

$$MR = 61.70 \text{ ton}\cdot\text{m}$$

$$M_u = 41.00 \text{ ton}\cdot\text{m} \quad \text{ok}$$

## Diseño de un Puente Carretero de Concreto, Construido con Trabes Presforzadas Tipo AASHTO.

### Revisión por cortante

Cortante último  $V_u$

$$\begin{aligned} V_u &= 13.80 && \text{Ton} \\ V_u &= 13,800.00 && \text{kg} \\ d &= 57.35 && \text{cm} \\ b &= 30.00 && \text{cm} \\ v_u &= 8.02 && \text{kg/cm}^2 \\ \phi &= 0.85 \end{aligned}$$

Cortante mínimo que resiste el concreto  $v_{cr}$

$$\begin{aligned} v_{cr \text{ min}} &= \phi 0.53 f'c^{1/2} && \text{cortante } v_{cr} \text{ mínimo (concreto reforzado)} \\ v_{cr \text{ min}} &= 7.12 && \text{kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Comparación  $v_u$  v.s.  $v_{cr \text{ min}}$

$$\begin{aligned} v_u &= 8.02 && \text{kg/cm}^2 \\ v_{cr \text{ min}} &= 7.12 && \text{kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Refuerzo transversal propuesto

$$\begin{aligned} \text{vars \#} &= 4 \\ db &= 1.27 && \text{cm} \\ \text{ramas} &= 2 \\ A_v &= 2.53 && \text{cm}^2 \\ A_v \text{ min} &= 1.44 && \text{cm}^2 \quad \text{ok} \end{aligned}$$

$s$  requerida por tensión diagonal

$$\begin{aligned} v_{sr} &= v_u - v_{cr \text{ min}} \\ v_{sr} &= 0.90 && \text{kg/cm}^2 \\ s &= 335.91 && \text{cm} \end{aligned}$$

$s$  max perm

$$\begin{aligned} s_{\text{maxp } 1} &= 0.75h \text{ ó } 24\text{in} = 60.96 && \text{cm} && \text{para } v_{sr} \leq \phi 1.06 f'c^{1/2} \\ s_{\text{maxp } 2} &= s_{\text{max } 1} / 1.5 = 40.64 && \text{cm} && \text{para } v_{sr} > \phi 1.06 f'c^{1/2} \end{aligned}$$

$$\phi 1.06 f'c^{1/2} = 14.25 \quad \text{kg/cm}^2$$

$$s_{\text{maxp}} = 60.96 \quad \text{cm}$$

$s$  de diseño

$$\text{rige } s = 60.96 \quad \text{cm}$$

$$\text{usar } s = 50.00 \quad \text{cm}$$

Entonces usar:

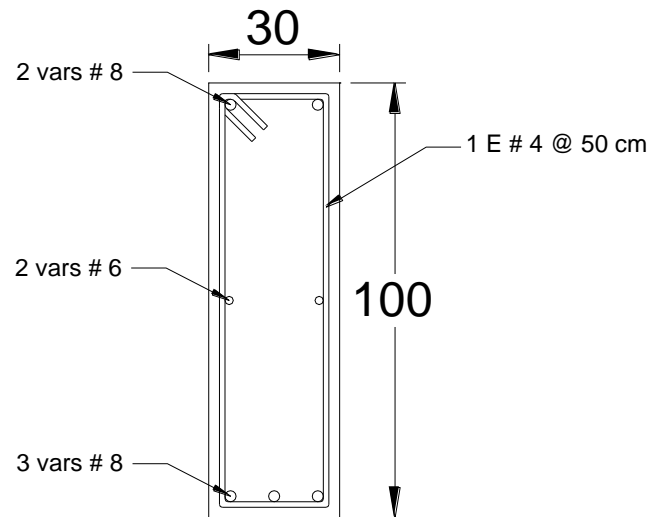
$$E\#4@50 \quad 2 \text{ ramas}$$



## Diseño de un Puente Carretero de Concreto, Construido con Traves Presforzadas Tipo AASHTO.

---

Esquema de viga diafragma [cm]



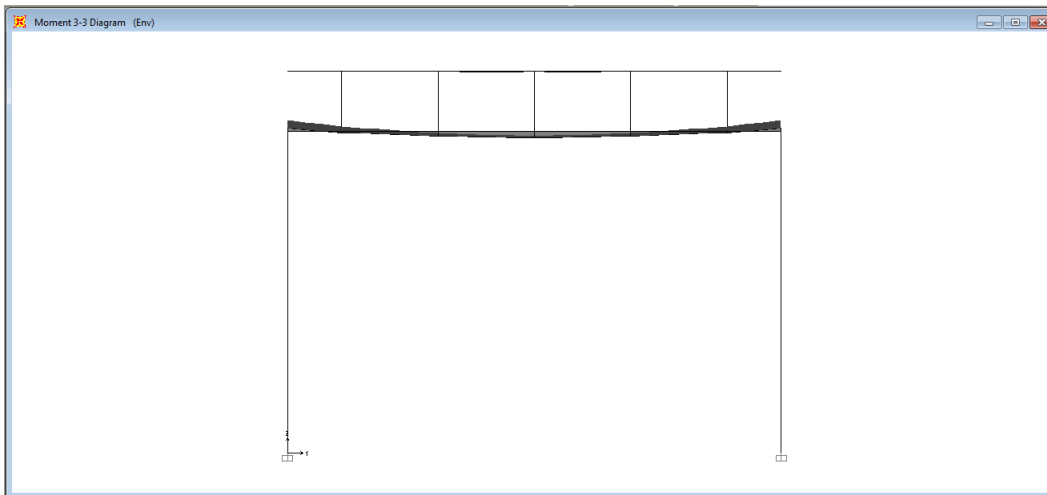
## 7.d. Diseño de cabezal.

Elementos mecánicos SAP 2000

Momento máximo M3 = 1411.28 Ton-m

Momento mínimo M3 = -846.59 Ton-m

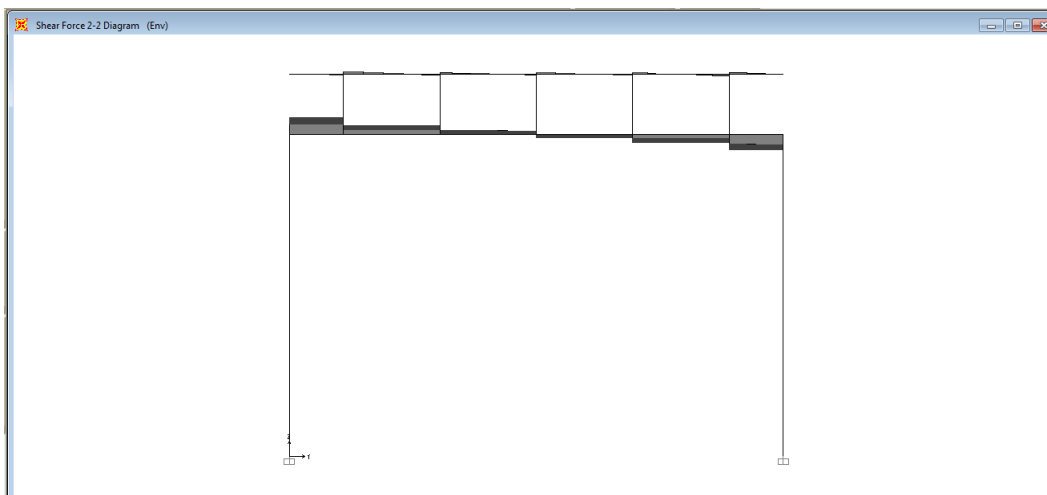
Forma de la envolvente de diagramas de momentos



Cortante máximo V2 = 697.05 Ton

Cortante mínimo V2 = -661.04 Ton

Forma de la envolvente de diagramas de cortantes



## Diseño de un Puente Carretero de Concreto, Construido con Trabes Presforzadas Tipo AASHTO.

Datos				
b =	130.00	cm	Para que A's fluya:	
h =	180.00	cm		$c \geq ( (6000) / (6000 - f_y) ) \cdot d' = 16.67 \text{ cm}$
d =	175.00	cm	Para que se presente la falla balanceada:	
d <sub>1</sub> =	5.00	cm		$c_b = ( (6000) / (6000 + f_y) ) \cdot d = 102.94 \text{ cm}$
d <sub>2</sub> =	15.00	cm		
d <sub>3</sub> =	85.00	cm		
d <sub>4</sub> =	155.00	cm	<b>Caso 1:</b> Resistencia a tensión pura:	
d <sub>5</sub> =	165.00	cm		$P_{ot} = - \sum(A_{si} \cdot f_{yi}) - A_s \cdot f_y = -1,662,486.00 \text{ kg}$
				M = 0.00 kg·cm
f' c =	250.00	kg/cm <sup>2</sup>	<b>Caso 2:</b> Resistencia a compresión pura:	
β <sub>1</sub> =	0.85			$P_{oc} = b \cdot t \cdot 0.85 \cdot f'c + \sum(A_{si} \cdot f_{yi}) + A_s \cdot f_y = 6,634,986.00 \text{ kg}$
0.85 f' c =	212.50	kg/cm <sup>2</sup>		M = 0.00 kg·cm
f <sub>y</sub> =	4,200.00	kg/cm <sup>2</sup>		
A <sub>s</sub> =	95.00	cm <sup>2</sup>	12 vars # 10	
A <sub>s1</sub> =	95.00	cm <sup>2</sup>	12 vars # 10	
A <sub>s2</sub> =	47.50	cm <sup>2</sup>	6 vars # 10	
A <sub>s3</sub> =	15.83	cm <sup>2</sup>	2 vars # 10	Ubicación del Centroides Plástico en relación a la posición del A <sub>s</sub> :
A <sub>s4</sub> =	47.50	cm <sup>2</sup>	6 vars # 10	
A <sub>s5</sub> =	95.00	cm <sup>2</sup>	12 vars # 10	d'' = 80.84 cm
p =	1.69%			

### Revisión por flexión

Mu = 1411.00 ton·m  
Mu = 141100000.00 kg·cm

Estudio de compatibilidad de deformaciones según las hipótesis básicas de flexión.

Caso Flexión Pura	c [cm]	a [cm]	ε <sub>s<sub>i</sub></sub>	f <sub>s<sub>i</sub></sub> [kg/cm <sup>2</sup> ]	ε <sub>s</sub>	f <sub>s</sub> [kg/cm <sup>2</sup> ]	F [kg]	b [cm]	M=F·b [kg·cm]
$C_{c1} = t \cdot b \cdot 0.85f'c$	23.82	20.25	-	-	-	-	-559,424.57	-84.03	47,010,723.26
$C_{s1} = A_{s1} \cdot f_{s1}$	-	-	0.00237039	4,200.00	-	-	-399,000.00	-89.16	35,574,601.16
$C_{s2} = A_{s2} \cdot f_{s2}$	-	-	0.00111117	2,222.35	-	-	-105,561.43	-79.16	8,356,179.73
$C_{s3} = A_{s3} \cdot f_{s3}$	-	-	-0.00770335	-4,200.00	-	-	66,486.00	-9.16	-608,971.96
$C_{s4} = A_{s4} \cdot f_{s4}$	-	-	-0.01651788	-4,200.00	-	-	199,500.00	60.84	12,137,699.42
$C_{s5} = A_{s5} \cdot f_{s5}$	-	-	-0.01777771	-4,200.00	-	-	399,000.00	70.84	28,265,398.84
$T_s = A_s \cdot f_s$	-	-	-	-	0.01903632	4,200.00	399,000.00	80.84	32,255,398.84

Pn [kg] = 0.00      Mn [kg·cm] = 162,991,029.29

φ = 0.90  
MR = 1,466.92 ton·m  
Mu = 1,411.00 ton·m      ok

## Diseño de un Puente Carretero de Concreto, Construido con Trabes Presforzadas Tipo AASHTO.

### Revisión por cortante

Cortante último  $V_u$

$$\begin{aligned} V_u &= 697.00 && \text{Ton} \\ V_u &= 697,000.00 && \text{kg} \\ d &= 106.60 && \text{cm} \\ b &= 130.00 && \text{cm} \\ v_u &= 50.30 && \text{kg/cm}^2 \\ \phi &= 0.85 \end{aligned}$$

Cortante mínimo que resiste el concreto  $v_{cr}$

$$\begin{aligned} v_{cr \text{ min}} &= \phi 0.53 f'_c{}^{1/2} && \text{cortante } v_{cr} \text{ mínimo (concreto reforzado)} \\ v_{cr \text{ min}} &= 7.12 && \text{kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Comparación  $v_u$  v.s.  $v_{cr \text{ min}}$

$$\begin{aligned} v_u &= 50.30 && \text{kg/cm}^2 \\ v_{cr \text{ min}} &= 7.12 && \text{kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Refuerzo transversal propuesto

$$\begin{aligned} \text{vars \#} &= 6 \\ db &= 1.91 && \text{cm} \\ \text{ramas} &= 6 \\ A_v &= 17.10 && \text{cm}^2 \\ A_v \text{ min} &= 11.60 && \text{cm}^2 \quad \text{ok} \end{aligned}$$

$s$  requerida por tensión diagonal

$$\begin{aligned} v_{sr} &= v_u - v_{cr \text{ min}} \\ v_{sr} &= 43.17 && \text{kg/cm}^2 \\ s &= 10.88 && \text{cm} \end{aligned}$$

$s$  max perm

$$\begin{aligned} s_{\text{maxp } 1} &= 0.75h \text{ ó } 24\text{in} = 60.96 && \text{cm} && \text{para } v_{sr} \leq \phi 1.06 f'_c{}^{1/2} \\ s_{\text{maxp } 2} &= s_{\text{max } 1} / 1.5 = 40.64 && \text{cm} && \text{para } v_{sr} > \phi 1.06 f'_c{}^{1/2} \end{aligned}$$

$$\phi 1.06 f'_c{}^{1/2} = 14.25 \quad \text{kg/cm}^2$$

$$s_{\text{maxp}} = 40.64 \quad \text{cm}$$

$s$  de diseño

$$r_{\text{ige } s} = 10.88 \quad \text{cm}$$

$$\text{usar } s = 12.00 \quad \text{cm}$$

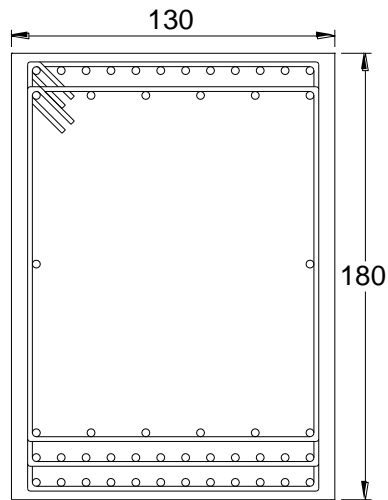
Entonces usar:

$$E\#6@12 \quad 6 \text{ ramas}$$

## Diseño de un Puente Carretero de Concreto, Construido con Trabes Presforzadas Tipo AASHTO.

---

Esquema de cabezal [cm]



50 vars #10  
3 E #6 @ 12cm en los extremos  
3 E #6 @ 25cm al centro

## Diseño de un Puente Carretero de Concreto, Construido con Trabes Presforzadas Tipo AASHTO.

### 7.e. Diseño de pila.

Para el caso del diseño de pilas a flexocompresión biaxial, no resulta conveniente obtener los elementos mecánicos de la envolvente porque se estaría sobrediseñando el elemento estructural. Resulta pertinente entonces, revisar aquellas combinaciones en las que se produzcan los máximos elementos mecánicos en el elemento estructural (con sus respectivos momentos y cargas axiales).

A continuación se muestra el resumen de elementos mecánicos de las combinaciones más desfavorables, en el que se destaca el máximo y el mínimo valor de la carga axial que puede experimentar la pila, así como el máximo y el mínimo valor de los momentos en ambas direcciones que puede experimentar la pila. También se muestran las combinaciones en las que la pila experimenta el máximo y el mínimo valor de los cortantes en ambas direcciones.

TABLE: Element Forces - Frames												
Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	V3	T	M2	M3	FrameElem	ElemStation
Text	m	Text	Text	Text	Tonf	Tonf	Tonf	Tonf-m	Tonf-m	Tonf-m	Text	m
13	0	COMB5	Combination	0	-445.0476	68.3098	-58.9207	-0.00011	635.35211	-0.00006123	13-1	0
7	8	COMB1	Combination	Min	-818.5321	-0.6378	-233.8448	-0.36226	464.02026	-5.06211	7-1	8
7	0	COMB4	Combination	0	-517.8654	227.7001	-238.785	-0.00007936	-1065.01301	0.00004398	7-1	0
7	0	COMB2	Combination	0	-486.3161	-227.7001	-102.1656	0.00003009	-871.17137	-0.00001667	7-1	0
12	0	COMB3	Combination	0	-554.6598	-68.3097	398.1767	0.00016	1291.12496	0.00008743	12-1	0
7	0	COMB5	Combination	0	-554.6729	68.3104	-398.1743	-0.00021	-1291.16159	0.00011	7-1	0
7	8	COMB5	Combination	0	-656.8937	68.3104	-398.1743	-0.00021	1894.23294	-546.48293	7-1	8
12	8	COMB3	Combination	0	-656.8806	-68.3097	398.1767	0.00016	-1894.28841	546.47776	12-1	8
11	8	COMB6	Combination	0	-620.0862	-227.7001	-238.785	0.00007936	845.26686	1821.60112	11-1	8
7	8	COMB4	Combination	0	-620.0862	227.7001	-238.785	-0.00007936	845.26686	-1821.60112	7-1	8

Se revisaron todas las combinaciones anteriores, la combinación más desfavorable es:

7	8	COMB5	Combination	0	-656.8937	68.3104	-398.1743	-0.00021	1894.23294	-546.48293	7-1	8
---	---	-------	-------------	---	-----------	---------	-----------	----------	------------	------------	-----	---

Entonces, los elementos mecánicos de diseño han sido:

Pu = 656 Ton

Mux = 1894 Ton-m

Muy = 546 Ton-m

Vu = 398 Ton

## Diseño de un Puente Carretero de Concreto, Construido con Trabes Presforzadas Tipo AASHTO.

Datos		
b =	220.00	cm
h =	220.00	cm
d =	210.00	cm
d <sub>1</sub> =	10.00	cm
d <sub>2</sub> =	50.00	cm
d <sub>3</sub> =	90.00	cm
d <sub>4</sub> =	130.00	cm
d <sub>5</sub> =	170.00	cm
f'c =	250.00	kg/cm <sup>2</sup>
β <sub>1</sub> =	0.85	
0.85 f'c =	212.50	kg/cm <sup>2</sup>
fy =	4,200.00	kg/cm <sup>2</sup>
As =	142.51	cm <sup>2</sup>
As <sub>1</sub> =	142.51	cm <sup>2</sup>
As <sub>2</sub> =	47.50	cm <sup>2</sup>
As <sub>3</sub> =	47.50	cm <sup>2</sup>
As <sub>4</sub> =	47.50	cm <sup>2</sup>
As <sub>5</sub> =	47.50	cm <sup>2</sup>
p =	0.98%	

Para que A's fluya:

$$c \geq (6000 / (6000 - f_y)) \cdot d' = 33.33 \text{ cm}$$

Para que se presente la falla balanceada:

$$c_b = (6000 / (6000 + f_y)) \cdot d = 123.53 \text{ cm}$$

**Caso 1:** Resistencia a tensión pura:

$$P_{0t} = -\sum(A_{s_i} \cdot f_{y_i}) - A_s \cdot f_y = -1,995,084.00 \text{ kg}$$

$$M = 0.00 \text{ kg}\cdot\text{cm}$$

**Caso 2:** Resistencia a compresión pura:

$$P_{0c} = b \cdot t \cdot 0.85 \cdot f'c + \sum(A_{s_i} \cdot f_{y_i}) + A_s \cdot f_y = 12,280,084.00 \text{ kg}$$

$$M = 0.00 \text{ kg}\cdot\text{cm}$$

18 vars # 10

18 vars # 10

6 vars # 10

6 vars # 10

6 vars # 10

6 vars # 10

Ubicación del Centroides Plástico en relación a la posición del As:

$$d'' = 100.00 \text{ [cm]}$$

### Revisión por flexocompresión biaxial

Pu =	656.00	ton	Pu =	656000.00	kg		
Mux =	1894.00	ton·m	Mux =	189400000.00	kg·cm	ex =	288.72 cm
Muy =	546.00	ton·m	Muy =	54600000.00	kg·cm	ey =	83.23 cm

### Estudio de compatibilidad de deformaciones según las hipótesis básicas de flexión.

Caso 2 Flexion Pura	c [cm]	a [cm]	ε <sub>s1</sub>	f <sub>s1</sub> [kg/cm <sup>2</sup> ]	ε <sub>s</sub>	f <sub>s</sub> [kg/cm <sup>2</sup> ]	F [kg]	b [cm]	M=F·b [kg·cm]
C <sub>c1</sub> = t · b · 0.85f'c	22.99	19.54	-	-	-	-	-913,454.12	-100.23	91,555,905.97
C <sub>s1</sub> = A <sub>s1</sub> · f <sub>s1</sub>	-	-	0.001694926	3,389.85	-	-	-483,087.88	-100.00	48,308,787.85
C <sub>s2</sub> = A <sub>s2</sub> · f <sub>s2</sub>	-	-	-0.003525369	-4,200.00	-	-	199,500.00	-60.00	-11,970,000.00
C <sub>s3</sub> = A <sub>s3</sub> · f <sub>s3</sub>	-	-	-0.008745664	-4,200.00	-	-	199,500.00	-20.00	-3,990,000.00
C <sub>s4</sub> = A <sub>s4</sub> · f <sub>s4</sub>	-	-	-0.013965959	-4,200.00	-	-	199,500.00	20.00	3,990,000.00
C <sub>s5</sub> = A <sub>s5</sub> · f <sub>s5</sub>	-	-	-0.019186254	-4,200.00	-	-	199,500.00	60.00	11,970,000.00
T <sub>s</sub> = A <sub>s</sub> · f <sub>s</sub>	-	-	-	-	0.02440655	4,200.00	598,542.00	100.00	59,854,200.00

$$P_n \text{ [kg]} = 0.00 \quad M_n \text{ [kg}\cdot\text{cm]} = 199,718,893.81$$

Caso 3	c [cm]	a [cm]	ε <sub>s1</sub>	f <sub>s1</sub> [kg/cm <sup>2</sup> ]	ε <sub>s</sub>	f <sub>s</sub> [kg/cm <sup>2</sup> ]	F [kg]	b [cm]	M=F·b [kg·cm]
C <sub>c1</sub> = t · b · 0.85f'c	25.57	21.74	-	-	-	-	-1,016,236.42	-99.13	100,740,696.85
C <sub>s1</sub> = A <sub>s1</sub> · f <sub>s1</sub>	-	-	0.001826922	3,653.84	-	-	-520,709.19	-100.00	52,070,919.41
C <sub>s2</sub> = A <sub>s2</sub> · f <sub>s2</sub>	-	-	-0.002865392	-4,200.00	-	-	199,500.00	-60.00	-11,970,000.00
C <sub>s3</sub> = A <sub>s3</sub> · f <sub>s3</sub>	-	-	-0.007557706	-4,200.00	-	-	199,500.00	-20.00	-3,990,000.00
C <sub>s4</sub> = A <sub>s4</sub> · f <sub>s4</sub>	-	-	-0.012250019	-4,200.00	-	-	199,500.00	20.00	3,990,000.00
C <sub>s5</sub> = A <sub>s5</sub> · f <sub>s5</sub>	-	-	-0.016942333	-4,200.00	-	-	199,500.00	60.00	11,970,000.00
T <sub>s</sub> = A <sub>s</sub> · f <sub>s</sub>	-	-	-	-	0.02163465	4,200.00	598,542.00	100.00	59,854,200.00

$$P_n \text{ [kg]} = 140,403.62 \quad M_n \text{ [kg}\cdot\text{cm]} = 212,665,816.26$$

## Diseño de un Puente Carretero de Concreto, Construido con Traveses Presforzados Tipo AASHTO.

Caso 4	c [cm]	a [cm]	$\epsilon_{s_i}$	$f_{s_i}$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	$\epsilon_s$	$f_s$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	F [kg]	b [cm]	M=F·b [kg·cm]
$C_{c1} = t \cdot b \cdot 0.85f'_c$	28.16	23.94	-	-	-	-	-1,119,018.73	-98.03	109,699,515.50
$C_{s1} = A_{s1} \cdot f_{s1}$	-	-	0.001934669	3,869.34	-	-	-551,419.44	-100.00	55,141,944.50
$C_{s2} = A_{s2} \cdot f_{s2}$	-	-	-0.002326653	-4,200.00	-	-	199,500.00	-60.00	-11,970,000.00
$C_{s3} = A_{s3} \cdot f_{s3}$	-	-	-0.006587976	-4,200.00	-	-	199,500.00	-20.00	-3,990,000.00
$C_{s4} = A_{s4} \cdot f_{s4}$	-	-	-0.010849299	-4,200.00	-	-	199,500.00	20.00	3,990,000.00
$C_{s5} = A_{s5} \cdot f_{s5}$	-	-	-0.015110622	-4,200.00	-	-	199,500.00	60.00	11,970,000.00
$T_s = A_s \cdot f_s$	-	-	-	-	0.01937194	4,200.00	598,542.00	100.00	59,854,200.00

$$P_n \text{ [kg]} = 273,896.17 \quad M_n \text{ [kg·cm]} = 224,695,660.00$$

Caso 5	c [cm]	a [cm]	$\epsilon_{s_i}$	$f_{s_i}$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	$\epsilon_s$	$f_s$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	F [kg]	b [cm]	M=F·b [kg·cm]
$C_{c1} = t \cdot b \cdot 0.85f'_c$	30.75	26.13	-	-	-	-	-1,221,801.03	-96.93	118,432,361.92
$C_{s1} = A_{s1} \cdot f_{s1}$	-	-	0.002024289	4,048.58	-	-	-576,962.78	-100.00	57,696,278.20
$C_{s2} = A_{s2} \cdot f_{s2}$	-	-	-0.001878556	-3,757.11	-	-	178,462.84	-60.00	-10,707,770.38
$C_{s3} = A_{s3} \cdot f_{s3}$	-	-	-0.005781401	-4,200.00	-	-	199,500.00	-20.00	-3,990,000.00
$C_{s4} = A_{s4} \cdot f_{s4}$	-	-	-0.009684246	-4,200.00	-	-	199,500.00	20.00	3,990,000.00
$C_{s5} = A_{s5} \cdot f_{s5}$	-	-	-0.013587091	-4,200.00	-	-	199,500.00	60.00	11,970,000.00
$T_s = A_s \cdot f_s$	-	-	-	-	0.01748994	4,200.00	598,542.00	100.00	59,854,200.00

$$P_n \text{ [kg]} = 423,258.97 \quad M_n \text{ [kg·cm]} = 237,245,069.74$$

Caso 6 c = cb	c [cm]	a [cm]	$\epsilon_{s_i}$	$f_{s_i}$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	$\epsilon_s$	$f_s$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	F [kg]	b [cm]	M=F·b [kg·cm]
$C_{c1} = t \cdot b \cdot 0.85f'_c$	33.33	28.33	-	-	-	-	-1,324,583.33	-95.83	126,939,236.11
$C_{s1} = A_{s1} \cdot f_{s1}$	-	-	0.0021	4,200.00	-	-	-598,542.00	-100.00	59,854,200.00
$C_{s2} = A_{s2} \cdot f_{s2}$	-	-	-0.0015	-3,000.00	-	-	142,500.00	-60.00	-8,550,000.00
$C_{s3} = A_{s3} \cdot f_{s3}$	-	-	-0.0051	-4,200.00	-	-	199,500.00	-20.00	-3,990,000.00
$C_{s4} = A_{s4} \cdot f_{s4}$	-	-	-0.0087	-4,200.00	-	-	199,500.00	20.00	3,990,000.00
$C_{s5} = A_{s5} \cdot f_{s5}$	-	-	-0.0123	-4,200.00	-	-	199,500.00	60.00	11,970,000.00
$T_s = A_s \cdot f_s$	-	-	-	-	0.0159	4,200.00	598,542.00	100.00	59,854,200.00

$$P_n \text{ [kg]} = 583,583.33 \quad M_n \text{ [kg·cm]} = 250,067,636.11$$

Caso 7	c [cm]	a [cm]	$\epsilon_{s_i}$	$f_{s_i}$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	$\epsilon_s$	$f_s$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	F [kg]	b [cm]	M=F·b [kg·cm]
$C_{c1} = t \cdot b \cdot 0.85f'_c$	70.67	60.07	-	-	-	-	-2,808,116.67	-79.97	224,555,729.44
$C_{s1} = A_{s1} \cdot f_{s1}$	-	-	0.002575472	4,200.00	-	-	-598,542.00	-100.00	59,854,200.00
$C_{s2} = A_{s2} \cdot f_{s2}$	-	-	0.000877358	1,754.72	-	-	-83,349.06	-60.00	5,000,943.40
$C_{s3} = A_{s3} \cdot f_{s3}$	-	-	-0.000820755	-1,641.51	-	-	77,971.70	-20.00	-1,559,433.96
$C_{s4} = A_{s4} \cdot f_{s4}$	-	-	-0.002518868	-4,200.00	-	-	199,500.00	20.00	3,990,000.00
$C_{s5} = A_{s5} \cdot f_{s5}$	-	-	-0.004216981	-4,200.00	-	-	199,500.00	60.00	11,970,000.00
$T_s = A_s \cdot f_s$	-	-	-	-	0.00591509	4,200.00	598,542.00	100.00	59,854,200.00

$$P_n \text{ [kg]} = 2,414,494.03 \quad M_n \text{ [kg·cm]} = 363,665,638.88$$

Caso 8	c [cm]	a [cm]	$\epsilon_{s_i}$	$f_{s_i}$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	$\epsilon_s$	$f_s$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	F [kg]	b [cm]	M=F·b [kg·cm]
$C_{c1} = t \cdot b \cdot 0.85f'_c$	108.00	91.80	-	-	-	-	-4,291,650.00	-64.10	275,094,765.00
$C_{s1} = A_{s1} \cdot f_{s1}$	-	-	0.002722222	4,200.00	-	-	-598,542.00	-100.00	59,854,200.00
$C_{s2} = A_{s2} \cdot f_{s2}$	-	-	0.001611111	3,222.22	-	-	-153,055.56	-60.00	9,183,333.33
$C_{s3} = A_{s3} \cdot f_{s3}$	-	-	0.0005	1,000.00	-	-	-47,500.00	-20.00	950,000.00
$C_{s4} = A_{s4} \cdot f_{s4}$	-	-	-0.000611111	-1,222.22	-	-	58,055.56	20.00	1,161,111.11
$C_{s5} = A_{s5} \cdot f_{s5}$	-	-	-0.001722222	-3,444.44	-	-	163,611.11	60.00	9,816,666.67
$T_s = A_s \cdot f_s$	-	-	-	-	0.002833333	4,200.00	598,542.00	100.00	59,854,200.00

$$P_n \text{ [kg]} = 4,270,538.89 \quad M_n \text{ [kg·cm]} = 415,914,276.11$$



## Diseño de un Puente Carretero de Concreto, Construido con Traveses Presforzados Tipo AASHTO.

Caso 9	c [cm]	a [cm]	$\epsilon_{s_i}$	$f_{s_i}$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	$\epsilon_s$	$f_s$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	F [kg]	b [cm]	M=F·b [kg·cm]
$C_{c1} = t \cdot b \cdot 0.85f'c$	145.33	123.53	-	-	-	-	-5,775,183.33	-48.23	278,556,342.78
$C_{s1} = A_{s1} \cdot f_{s1}$	-	-	0.002793578	4,200.00	-	-	-598,542.00	-100.00	59,854,200.00
$C_{s2} = A_{s2} \cdot f_{s2}$	-	-	0.00196789	3,935.78	-	-	-186,949.54	-60.00	11,216,972.48
$C_{s3} = A_{s3} \cdot f_{s3}$	-	-	0.001142202	2,284.40	-	-	-108,509.17	-20.00	2,170,183.49
$C_{s4} = A_{s4} \cdot f_{s4}$	-	-	0.000316514	633.03	-	-	-30,068.81	20.00	-601,376.15
$C_{s5} = A_{s5} \cdot f_{s5}$	-	-	-0.000509174	-1,018.35	-	-	48,371.56	60.00	2,902,293.58
$T_s = A_s \cdot f_s$	-	-	-	-	0.00133486	2,669.72	380,462.48	100.00	38,046,247.71

$P_n$  [kg] = 6,270,418.82     $M_n$  [kg·cm] = 392,144,863.88

Caso 10	c [cm]	a [cm]	$\epsilon_{s_i}$	$f_{s_i}$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	$\epsilon_s$	$f_s$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	F [kg]	b [cm]	M=F·b [kg·cm]
$C_{c1} = t \cdot b \cdot 0.85f'c$	182.67	155.27	-	-	-	-	-7,258,716.67	-32.37	234,940,462.78
$C_{s1} = A_{s1} \cdot f_{s1}$	-	-	0.002835766	4,200.00	-	-	-598,542.00	-100.00	59,854,200.00
$C_{s2} = A_{s2} \cdot f_{s2}$	-	-	0.002178832	4,200.00	-	-	-199,500.00	-60.00	11,970,000.00
$C_{s3} = A_{s3} \cdot f_{s3}$	-	-	0.001521898	3,043.80	-	-	-144,580.29	-20.00	2,891,605.84
$C_{s4} = A_{s4} \cdot f_{s4}$	-	-	0.000864964	1,729.93	-	-	-82,171.53	20.00	-1,643,430.66
$C_{s5} = A_{s5} \cdot f_{s5}$	-	-	0.000208029	416.06	-	-	-19,762.77	60.00	-1,185,766.42
$T_s = A_s \cdot f_s$	-	-	-	-	0.00044891	897.81	127,946.93	100.00	12,794,693.43

$P_n$  [kg] = 8,175,326.33     $M_n$  [kg·cm] = 319,621,764.97

Caso 11 c = h	c [cm]	a [cm]	$\epsilon_{s_i}$	$f_{s_i}$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	$\epsilon_s$	$f_s$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	F [kg]	b [cm]	M=F·b [kg·cm]
$C_{c1} = t \cdot b \cdot 0.85f'c$	220.00	187.00	-	-	-	-	-8,742,250.00	-16.50	144,247,125.00
$C_{s1} = A_{s1} \cdot f_{s1}$	-	-	0.002863636	4,200.00	-	-	-598,542.00	-100.00	59,854,200.00
$C_{s2} = A_{s2} \cdot f_{s2}$	-	-	0.002318182	4,200.00	-	-	-199,500.00	-60.00	11,970,000.00
$C_{s3} = A_{s3} \cdot f_{s3}$	-	-	0.001772727	3,545.45	-	-	-168,409.09	-20.00	3,368,181.82
$C_{s4} = A_{s4} \cdot f_{s4}$	-	-	0.001227273	2,454.55	-	-	-116,590.91	20.00	-2,331,818.18
$C_{s5} = A_{s5} \cdot f_{s5}$	-	-	0.000681818	1,363.64	-	-	-64,772.73	60.00	-3,886,363.64
$T_s = A_s \cdot f_s$	-	-	-	-	-0.00013636	-272.73	-38,866.36	100.00	-3,886,636.36

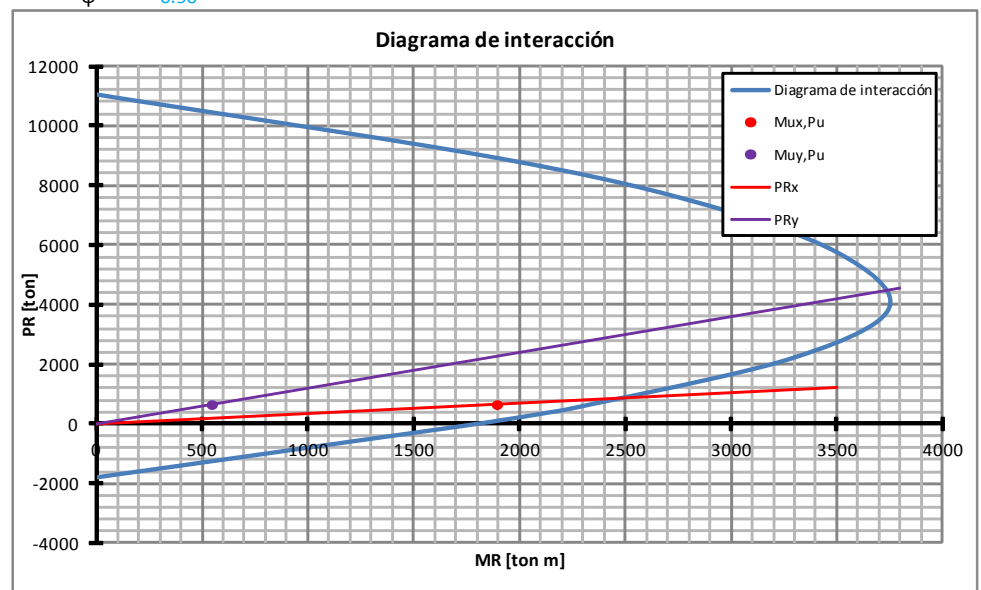
$P_n$  [kg] = 9,928,931.09     $M_n$  [kg·cm] = 209,334,688.64

### Diagrama de interacción

$\phi = 0.90$

	MR	PR
	ton m	ton
1	0.00	-1795.58
2	1797.47	0.00
3	1913.99	126.36
4	2022.26	246.51
5	2135.21	380.93
6	2250.61	525.23
7	3272.99	2173.04
8	3743.23	3843.49
9	3529.30	5643.38
10	2876.60	7357.79
11	1884.01	8936.04
12	0.00	11052.08

$P_u = 656.00$  ton  
 $M_{ux} = 1894.00$  ton m  
 $M_{uy} = 546.00$  ton m



## Diseño de un Puente Carretero de Concreto, Construido con Trabes Presforzadas Tipo AASHTO.

$$P_R = 1 / [1/P_{R_x} + 1/P_{R_y} - 1/P_{R_0}]$$

$$P_{R_x} = 800.00 \text{ ton}$$

$$P_{R_y} = 4400.00 \text{ ton}$$

$$P_{R_0} = 11052.08 \text{ ton}$$

$$P_R = 721.09 \text{ ton}$$

$$P_u = 656.00 \text{ ton}$$

$$P_u/P_R = 0.91 \text{ ok}$$

### Revisión por cortante

Cortante último  $V_u$

$$V_u = 398.00 \text{ Ton}$$

$$V_u = 398,000.00 \text{ kg}$$

$$d = 110.00 \text{ cm}$$

$$b = 220.00 \text{ cm}$$

$$v_u = 16.45 \text{ kg/cm}^2$$

$$\phi = 0.85$$

Cortante mínimo que resiste el concreto  $v_{cr}$

$$v_{cr \text{ min}} = \phi 0.53 f'c^{1/2} \text{ cortante } v_{cr \text{ min}} \text{ (concreto reforzado)}$$

$$v_{cr \text{ min}} = 7.12 \text{ kg/cm}^2$$

Comparación  $v_u$  v.s.  $v_{cr \text{ min}}$

$$v_u = 16.45 \text{ kg/cm}^2$$

$$v_{cr \text{ min}} = 7.12 \text{ kg/cm}^2$$

Refuerzo transversal propuesto

$$\text{vars \#} = 6$$

$$d_b = 1.91 \text{ cm}$$

$$\text{ramas} = 6$$

$$A_v = 17.10 \text{ cm}^2$$

$$A_v \text{ min} = 20.25 \text{ cm}^2 \quad \text{No cumple}$$

$s$  requerida por tensión diagonal

$$v_{sr} = v_u - v_{cr \text{ min}}$$

$$v_{sr} = 9.32 \text{ kg/cm}^2$$

$$s = 29.77 \text{ cm}$$

$s$  max perm

$$s_{\text{maxp } 1} = 0.75h \text{ ó } 24\text{in} = 60.96 \text{ cm} \quad \text{para } v_{sr} \leq \phi 1.06 f'c^{1/2}$$

$$s_{\text{maxp } 2} = s_{\text{max } 1} / 1.5 = 40.64 \text{ cm} \quad \text{para } v_{sr} > \phi 1.06 f'c^{1/2}$$

$$\phi 1.06 f'c^{1/2} = 14.25 \text{ kg/cm}^2$$

$$s_{\text{maxp}} = 60.96 \text{ cm}$$

## Diseño de un Puente Carretero de Concreto, Construido con Traves Presforzadas Tipo AASHTO.

---

s de diseño

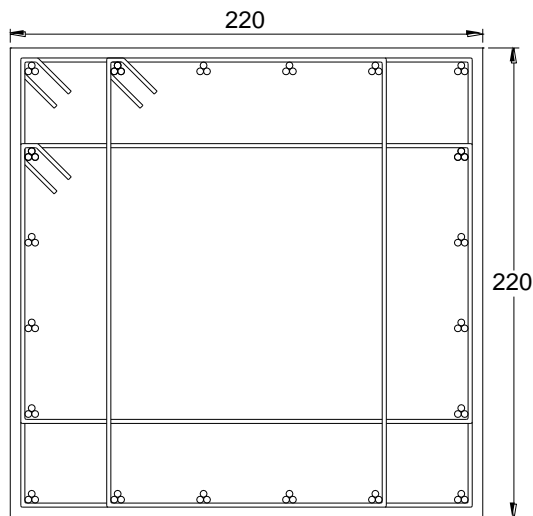
riges = 29.77 cm

usars = 30.00 cm

Entonces usar:

E#6@30                  6 ramas

Esquema de pila [cm]



60 vars #10  
3 E #6 @ 15cm en los extremos  
3 E #6 @ 30cm al centro

## Diseño de un Puente Carretero de Concreto, Construido con Trabes Presforzadas Tipo AASHTO.

### 7.f. Diseño de zapata.

Análogamente al diseño de pilas a flexocompresión biaxial, las zapatas también deben diseñarse para aquellas combinaciones que produzcan los efectos más desfavorables, no para la envolvente.

Combinaciones más desfavorables:

TABLE: Joint Reactions									
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	Text	Text	Text	Tonf	Tonf	Tonf	Tonf-m	Tonf-m	Tonf-m
14	COMB1	Combination	Max	0.6575	233.8448	818.5321	-464.02026	5.06211	0.36226
24	COMB3	Combination	0	-68.3097	-398.1767	656.8806	1894.28841	-546.47776	-0.00016
14	COMB4	Combination	0	227.7001	238.785	620.0862	-845.26686	1821.60112	0.00007936

Entonces, los elementos mecánicos de diseño han sido:

$P_u = 656 \text{ Ton}$

$M_{ux} = 1894 \text{ Ton-m}$

$M_{uy} = 546 \text{ Ton-m}$

#### Datos

$$f'_c := 250 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$f_y := 4200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

#### Peso propio de la cimentación

Dado

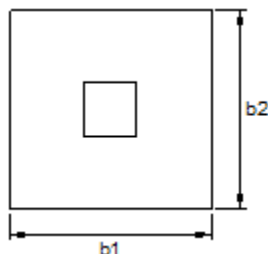
Geometría:  $L_{\text{dado}} := 0.3\text{m}$        $h_{\text{dado}} := 220\text{cm}$        $b_{\text{dado}} := h_{\text{dado}} = 220\text{cm}$

Volumen de dados:  $V_{\text{dados}} := h_{\text{dado}} \cdot b_{\text{dado}} \cdot L_{\text{dado}} = 1.452\text{m}^3$

Losa

Geometría:  $d_{\text{losa}} := 1.7\text{m}$        $b1_{\text{losa}} := 7.5\text{m}$        $b2_{\text{losa}} := b1_{\text{losa}} = 7.5\text{m}$

Volumen de losas:  $V_{\text{losa}} := d_{\text{losa}} \cdot b1_{\text{losa}} \cdot b2_{\text{losa}} = 95.625\text{m}^3$



$$prof_{\text{desplante}} := d_{\text{losa}} + L_{\text{dado}} = 2\text{m}$$

## Diseño de un Puente Carretero de Concreto, Construido con Trabes Presforzadas Tipo AASHTO.

---

Cimentación total

$$V_{\text{cimentación}} := V_{\text{dados}} + V_{\text{losa}} = 97.077 \text{ m}^3$$

$$w_{\text{concr}} := 2.4 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3}$$

$$W_{\text{cimentación}} := V_{\text{cimentación}} \cdot w_{\text{concr}} = 232.985 \text{ Ton}$$

$$FC := 1.1$$

Carga última

$$P_{u,\text{cargas}} := 650 \text{ Ton}$$

$$P_{u,\text{cimentación}} := FC \cdot W_{\text{cimentación}} = 256.283 \text{ Ton}$$

$$P_{u,\text{suelo}} := 1.4 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3} \cdot (b1_{\text{losa}} \cdot b2_{\text{losa}} \cdot L_{\text{dado}} - V_{\text{dados}}) = 21.592 \text{ Ton}$$

$$P_u := P_{u,\text{cargas}} + P_{u,\text{cimentación}} + P_{u,\text{suelo}} = 927.875 \text{ Ton}$$

$$M_{ux} := 1890 \text{ Ton}\cdot\text{m}$$

$$M_{uy} := 540 \text{ Ton}\cdot\text{m}$$

Resistencia del suelo

$$R_T := 50 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}$$

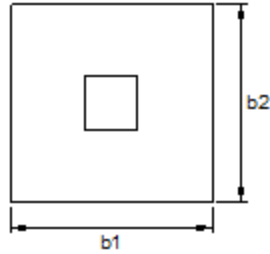
Obtención de los esfuerzos máximo y mínimo transmitidos de la losa al suelo.

$$\sigma'_{\text{max}} := \frac{P_u}{(b1_{\text{losa}} \cdot b2_{\text{losa}})} + \frac{M_{ux}}{\left(\frac{1}{12} \cdot b1_{\text{losa}} \cdot b2_{\text{losa}}^3\right)} \cdot \left(\frac{b2_{\text{losa}}}{2}\right) + \frac{M_{uy}}{\left(\frac{1}{12} \cdot b2_{\text{losa}} \cdot b1_{\text{losa}}^3\right)} \cdot \left(\frac{b1_{\text{losa}}}{2}\right) = 51.056 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}$$

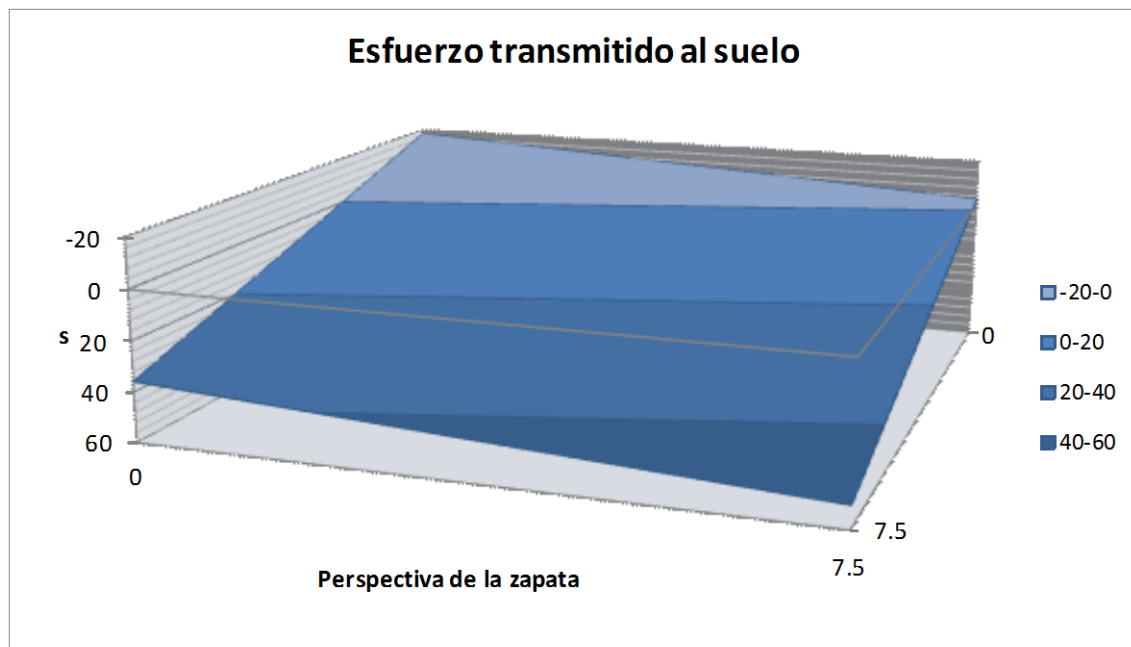
$$\sigma'_{\text{min}} := \frac{P_u}{(b1_{\text{losa}} \cdot b2_{\text{losa}})} - \frac{M_{ux}}{\left(\frac{1}{12} \cdot b1_{\text{losa}} \cdot b2_{\text{losa}}^3\right)} \cdot \left(\frac{b2_{\text{losa}}}{2}\right) - \frac{M_{uy}}{\left(\frac{1}{12} \cdot b2_{\text{losa}} \cdot b1_{\text{losa}}^3\right)} \cdot \left(\frac{b1_{\text{losa}}}{2}\right) = -18.064 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}$$

## Diseño de un Puente Carretero de Concreto, Construido con Traveses Presforzados Tipo AASHTO.

$$\sigma'_{min} = \frac{P}{A} - \frac{Mx}{I} \cdot y - \frac{My}{I} \cdot x$$



$$\sigma'_{max} = \frac{P}{A} + \frac{Mx}{I} \cdot y + \frac{My}{I} \cdot x$$



comentario = "Cuidado, se supera la resistencia del suelo"

$$\frac{\sigma'_{max}}{R_T} = 1.021$$

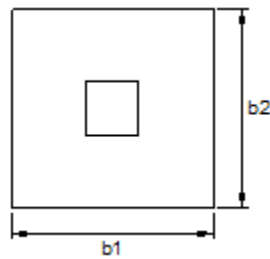
## Diseño de un Puente Carretero de Concreto, Construido con Traveses Presforzados Tipo AASHTO.

### Revisión del momento más desfavorable

$$\sigma_{max} := \frac{P_u}{(b1_{losa} \cdot b2_{losa})} + \frac{M_{ux}}{\left(\frac{1}{12} \cdot b1_{losa} \cdot b2_{losa}^3\right)} \cdot \left(\frac{b2_{losa}}{2}\right) + \frac{M_{uy}}{\left(\frac{1}{12} \cdot b2_{losa} \cdot b1_{losa}^3\right)} \cdot \left(\frac{b1_{losa}}{2}\right) = 51.056 \frac{Ton}{m^2}$$

$$\sigma_{min} := \frac{P_u}{(b1_{losa} \cdot b2_{losa})} - \frac{M_{ux}}{\left(\frac{1}{12} \cdot b1_{losa} \cdot b2_{losa}^3\right)} \cdot \left(\frac{b2_{losa}}{2}\right) + \frac{M_{uy}}{\left(\frac{1}{12} \cdot b2_{losa} \cdot b1_{losa}^3\right)} \cdot \left(\frac{b1_{losa}}{2}\right) = -2.704 \frac{Ton}{m^2}$$

$$\sigma_{min} = \frac{P}{A} - \frac{Mx}{I} \cdot y + \frac{My}{I} \cdot x$$

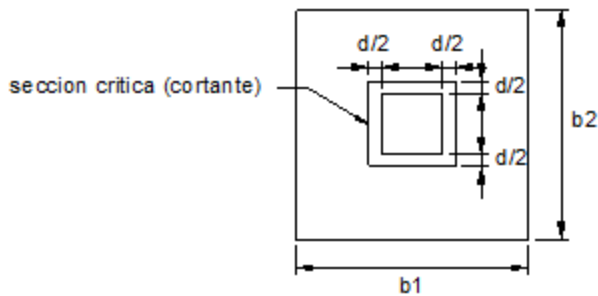


$$\sigma_{max} = \frac{P}{A} + \frac{Mx}{I} \cdot y + \frac{My}{I} \cdot x$$

### 1.- Revisión: Esfuerzo cortante de penetración

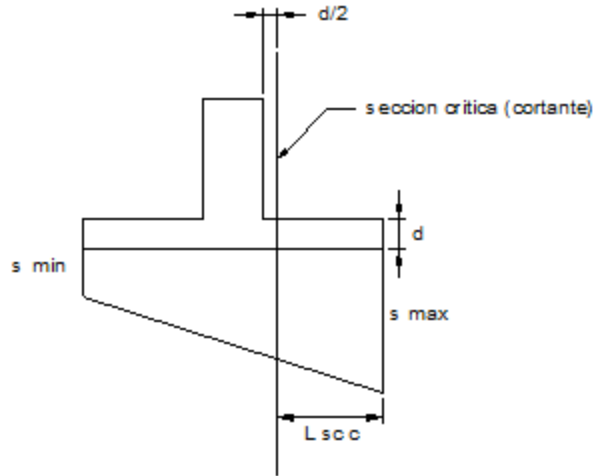
$$\phi := 0.8$$

Longitud de la sección crítica (medio peralte a partir del paño del dado):



$$L_{sc} := \frac{b2_{losa}}{2} - \frac{h_{dado}}{2} - \frac{d_{losa}}{2} = 180 \text{ cm}$$

## Diseño de un Puente Carretero de Concreto, Construido con Trabes Presforzadas Tipo AASHTO.



Por triangulos semejantes:

$$\frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{b2_{losa}} = \frac{\sigma_{sc\ c} - \sigma_{min}}{b2_{losa} - L_{sc\ c}}$$

Esfuerzo en la seccion critica de cortante:

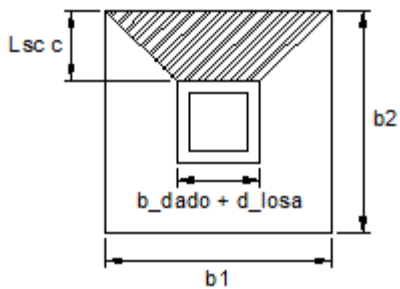
$$\sigma_{sc\ c} := \sigma_{min} + \left[ \left( \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{b2_{losa}} \right) \cdot (b2_{losa} - L_{sc\ c}) \right] = 38.153 \frac{Ton}{m^2}$$

Esfuerzo promedio

$$\sigma_{promc} := \frac{\sigma_{sc\ c} + \sigma_{max}}{2} = 44.604 \frac{Ton}{m^2}$$

Area de accion del esfuerzo

$$area_c := \frac{(b1_{losa}) + (b_{dado} + d_{losa})}{2} \cdot L_{sc\ c} = 10.26m^2$$



Cortante de diseño

$$V_U := area_c \cdot \sigma_{promc} = 457.641Ton$$



## Diseño de un Puente Carretero de Concreto, Construido con Trabes Presforzadas Tipo AASHTO.

---

Esfuerzo cortante de diseño

$$v_u := \frac{V_u}{[(b_{\text{dado}} + d_{\text{losa}})(d_{\text{losa}})]} = 6.903 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Esfuerzo cortante que resiste el concreto

$$v_{cr} := \phi \cdot 0.53 \sqrt{f_c} \cdot \left( \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right)^{0.5} = 7.123 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Revision1 = "ok"

$$\frac{v_u}{v_{cr}} = 0.969$$

**2.- Revision: Compresión de la columna sobre la zapata**

$$\phi := 0.7$$

$$p_u := \frac{P_u}{(h_{\text{dado}} \cdot b_{\text{dado}})} = 19.171 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$p_{cr} := \phi (0.85 f_c) = 148.75 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Revision2 = "ok"

$$\frac{p_u}{p_{cr}} = 0.129$$

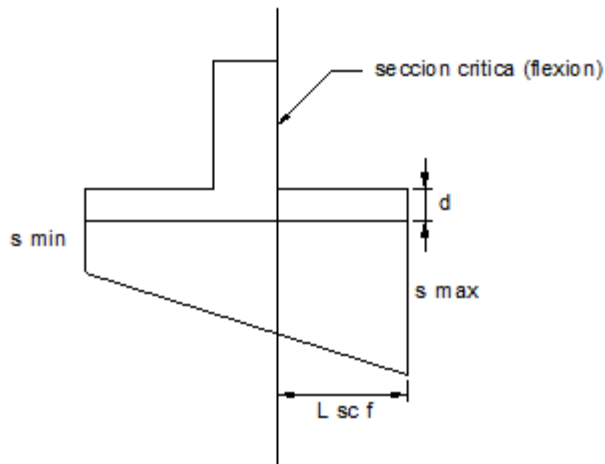
**3.- Revision: Flexión producida por la presión ascendente del suelo contra la zapata**

$$\phi := 0.9$$

Longitud de la sección crítica (paño de la contratrabe):

$$L_{scf} := \frac{b^2_{\text{losa}}}{2} - \frac{h_{\text{dado}}}{2} = 265 \text{ cm}$$

## Diseño de un Puente Carretero de Concreto, Construido con Traveses Presforzados Tipo AASHTO.



Por triángulos semejantes:

$$\frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{b2_{losa}} = \frac{\sigma_{scf} - \sigma_{min}}{b2_{losa} - L_{scf}}$$

Esfuerzo en la sección crítica de flexión:

$$\sigma_{scf} := \sigma_{min} + \left[ \left( \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{b2_{losa}} \right) \cdot (b2_{losa} - L_{scf}) \right] = 32.06 \frac{Ton}{m^2}$$

Esfuerzo promedio

$$\sigma_{promf} := \frac{\sigma_{scf} + \sigma_{max}}{2} = 41.558 \frac{Ton}{m^2}$$

Momento de diseño

$$M_U := [\sigma_{promf} \cdot (L_{scf} \cdot b1_{losa})] \cdot \frac{L_{scf}}{2} = 1094.403 Ton \cdot m$$

Momento resistente

varillas del numero: # de varilla := 1(      a cada: @ := 25cm

las barras que caben en el ancho de la losa, son: varillas := trunc  $\left( \frac{b1_{losa}}{@} - 1 \right) = 29$

el diametro de las barras es:  $\phi_{varilla} := \frac{\# \text{ de varilla}}{8} \cdot 2.54cm = 3.175cm$

entonces el area de acero es:  $A_s := varillas \cdot \left( \frac{\pi}{4} \phi_{varilla}^2 \right) = 229.602cm^2$

$$d := d_{losa} - 8cm = 162cm$$

## Diseño de un Puente Carretero de Concreto, Construido con Trabes Presforzadas Tipo AASHTO.

---

$$MR = FR A_s f_y (d - a/2)$$

$$T = A_s f_y$$

$$C = a b 0.85 f'_c$$

se debe cumplir que:  $C = T$

$$A_s = 229.60 \text{ cm}^2$$

$$f_y = 4,200.00 \text{ kg/cm}^2$$

$$a = 6.05 \text{ cm}$$

$$b = 750.00 \text{ cm}$$

$$f'_c = 250.00 \text{ kg/cm}^2$$

$$T = 964,327.67 \text{ kg}$$

$$C = 964,327.67 \text{ kg}$$

$$\text{diferencia} = 0.00 \text{ } <- \text{ debe ser } 0$$

$$d = 162.00 \text{ cm}$$

$$, = 0.90$$

$$MR = 137,973,295.80 \text{ kg}\cdot\text{cm}$$

$$MR = 1,379.73 \text{ Ton}\cdot\text{m}$$

$$M_R = 1379.733 \text{ Ton}\cdot\text{m}$$

Revision3 = "ok"

$$\frac{M_U}{M_R} = 0.793$$

#### 4.- Revision: Acero por cambios volumetricos.

$$A_{s_{temp}} := 0.003 b l_{osa} d_{losa} = 382.5 \text{ cm}^2$$

Acero por flexion

$$A_s = 229.60 \text{ cm}^2$$

$$A_s < A_{s_{temp}}$$

## Diseño de un Puente Carretero de Concreto, Construido con Trabes Presforzadas Tipo AASHTO.

---

entonces

Suministrado en el lecho superior:

varillas del numero: # de varilla  $T_1 := 8$  a cada:  $@_{T_1} := 25\text{cm}$

las barras que caben en el ancho de la losa, son:  $\text{varillas } T_1 := \text{tunc} \left( \frac{b_1 \text{ losa}}{@_{T_1}} - 1 \right) = 29$

el diametro de las barras es:  $\phi_{\text{varilla}.T_1} := \frac{\# \text{ de varilla } T_1}{8} \cdot 2.54\text{cm} = 2.54\text{cm}$

entonces el area de acero es:  $A_{sT_1} := \text{varillas } T_1 \cdot \left( \frac{\pi}{4} \phi_{\text{varilla}.T_1}^2 \right) = 146.945\text{cm}^2$

$$A_s + A_{sT_1} = 376.547\text{cm}^2$$

### 5.- Revision: Deslizamiento o falta de adherencia del acero con el concreto

Longitud de desarrollo necesaria

$$L_{db1} := 0.8 \frac{0.076 \phi_{\text{varilla}} \cdot f_y}{\sqrt{f_c} \cdot \sqrt{\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}} = 51.277\text{cm}$$

$$L_{db2} := 150\text{mm} = 15\text{cm}$$

$$L_{db3} := 8 \phi_{\text{varilla}} = 25.4\text{cm}$$

entonces  $L_{db} = 51.277\text{cm}$

Longitud de desarrollo disponible

$$L_{db \text{ disp}} := L_{scf} - 5\text{cm} = 260\text{cm}$$

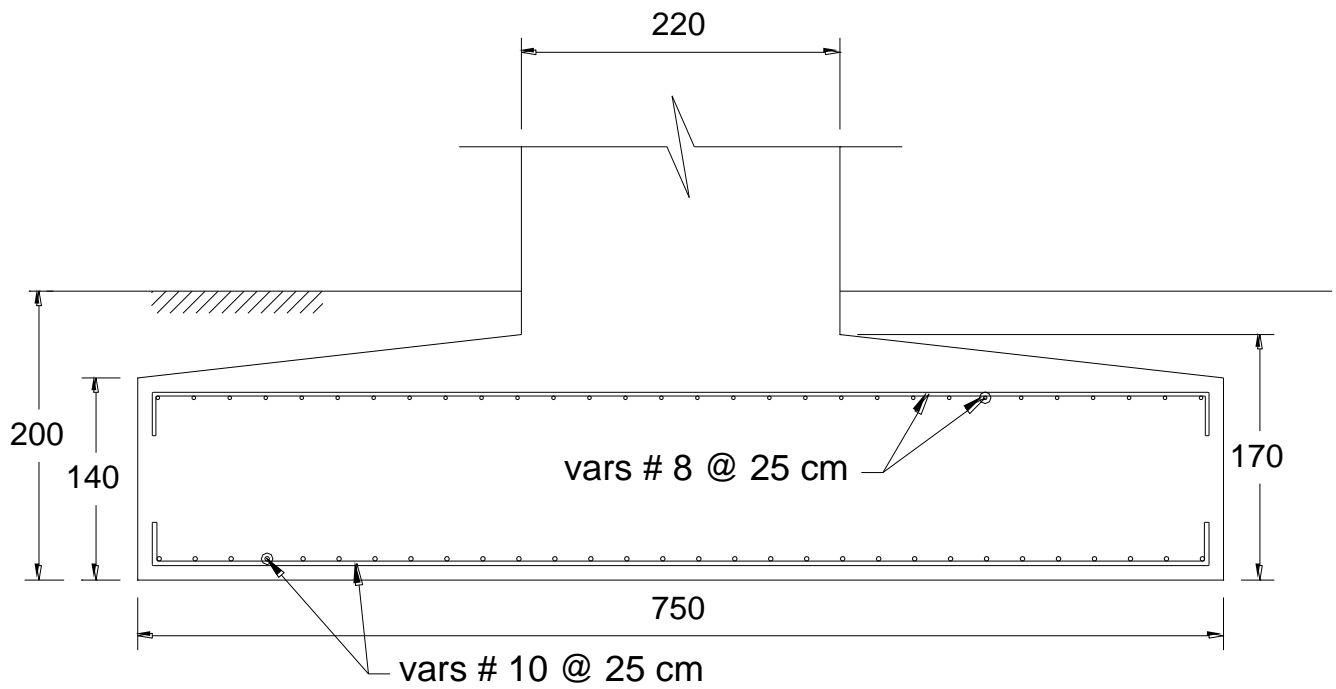
Revision5 = "ok"

$$\frac{L_{db}}{L_{db \text{ disp}}} = 0.197$$

## Diseño de un Puente Carretero de Concreto, Construido con Traves Presforzadas Tipo AASHTO.

---

Esquema de zapata [cm]



**Diseño de un Puente Carretero de Concreto,  
Construido con Trabes Presforzadas Tipo AASHTO.**

### 7.g. Diseño de neopreno.

Reacciones en el neopreno:

<b>TABLE: Joint Reactions</b>									
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	Text	Text	Text	Tonf	Tonf	Tonf	Tonf-m	Tonf-m	Tonf-m
60	03	Combination	Max	0	0	43.0031	0	0	0
60	03	Combination	Min	0	0	-1.6893	0	0	0
60	CM-NEOP	Combination		0	0	89.682	0	0	0
62	03	Combination	Max	0	0	43.3442	0	0	0
62	03	Combination	Min	0	0	-2.2414	0	0	0
62	CM-NEOP	Combination		0	0	81.7159	0	0	0
64	03	Combination	Max	0	0	40.7736	0	0	0
64	03	Combination	Min	0	0	-1.2776	0	0	0
64	CM-NEOP	Combination		0	0	83.795	0	0	0
66	03	Combination	Max	0	0	33.8842	0	0	0
66	03	Combination	Min	0	0	-0.5125	0	0	0
66	CM-NEOP	Combination		0	0	81.7187	0	0	0
68	03	Combination	Max	0	0	11.669	0	0	0
68	03	Combination	Min	0	0	-5.184	0	0	0
68	CM-NEOP	Combination		0	0	89.6862	0	0	0
120	03	Combination	Max	0	0	43.0032	0	0	0
120	03	Combination	Min	0	0	-1.6937	0	0	0
120	CM-NEOP	Combination		0	0	89.682	0	0	0
122	03	Combination	Max	0	0	43.3442	0	0	0
122	03	Combination	Min	0	0	-2.2425	0	0	0
122	CM-NEOP	Combination		0	0	81.7158	0	0	0
124	03	Combination	Max	0	0	40.7737	0	0	0
124	03	Combination	Min	0	0	-1.2779	0	0	0
124	CM-NEOP	Combination		0	0	83.795	0	0	0
126	03	Combination	Max	0	0	33.8841	0	0	0
126	03	Combination	Min	0	0	-0.515	0	0	0
126	CM-NEOP	Combination		0	0	81.7187	0	0	0
128	03	Combination	Max	0	0	11.669	0	0	0
128	03	Combination	Min	0	0	-5.1841	0	0	0
128	CM-NEOP	Combination		0	0	89.6862	0	0	0

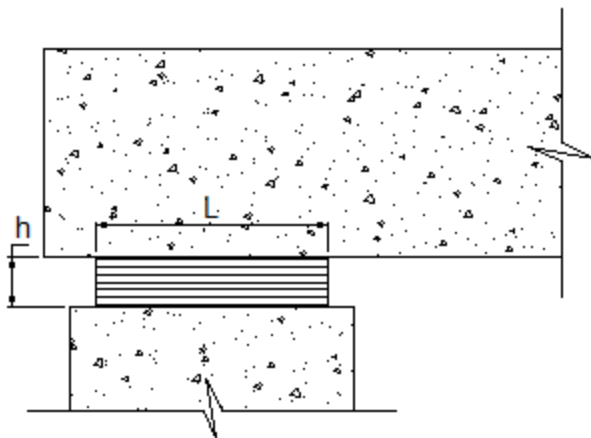
03 = 40.7736 Tonf carga viva de camiones

CM-NEOP = 89.682 Tonf carga muerta y sobrecarga sin factores

## Diseño de un Puente Carretero de Concreto, Construido con Traveses Presforzados Tipo AASHTO.

Desplazamientos máximos y mínimos en el neopreno debido a carga sísmica:

TABLE: Joint Displacements								
Joint	OutputCase	CaseType	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	Text	m	m	m	Radians	Radians	Radians
60	SX	LinStatic	0.008621	-3.187E-14	0	0	0	6.52E-16
60	SY	LinStatic	1.08E-08	0.006446	0	0	0	2.254E-09
62	SX	LinStatic	0.008621	-3.187E-14	0	0	0	6.52E-16
62	SY	LinStatic	5.394E-09	0.006446	0	0	0	2.254E-09
64	SX	LinStatic	0.008621	-3.187E-14	0	0	0	6.52E-16
64	SY	LinStatic	-1.683E-11	0.006446	0	0	0	2.254E-09
66	SX	LinStatic	0.008621	-3.187E-14	0	0	0	6.52E-16
66	SY	LinStatic	-5.428E-09	0.006446	0	0	0	2.254E-09
68	SX	LinStatic	0.008621	-3.187E-14	0	0	0	6.52E-16
68	SY	LinStatic	-1.084E-08	0.006446	0	0	0	2.254E-09
120	SX	LinStatic	0.008621	-2.729E-14	0	0	0	-5.429E-16
120	SY	LinStatic	-1.08E-08	0.006446	0	0	0	-2.255E-09
122	SX	LinStatic	0.008621	-2.729E-14	0	0	0	-5.429E-16
122	SY	LinStatic	-5.394E-09	0.006446	0	0	0	-2.255E-09
124	SX	LinStatic	0.008621	-2.729E-14	0	0	0	-5.429E-16
124	SY	LinStatic	1.682E-11	0.006446	0	0	0	-2.255E-09
126	SX	LinStatic	0.008621	-2.729E-14	0	0	0	-5.429E-16
126	SY	LinStatic	5.428E-09	0.006446	0	0	0	-2.255E-09
128	SX	LinStatic	0.008621	-2.729E-14	0	0	0	-5.429E-16
128	SY	LinStatic	1.084E-08	0.006446	0	0	0	-2.255E-09
		Max	0.008621	0.006446	0	0	0	2.254E-09
		Min	-1.084E-08	-3.187E-14	0	0	0	-2.255E-09



## Diseño de un Puente Carretero de Concreto, Construido con Traves Precoradas Tipo AASHTO.

### Datos

Reacción por Carga Muerta (sin factor de carga)

$$P_{CM} := 89 \text{ Ton}$$

Reacción por Carga Viva (sin factor de carga)

$$P_{CV} := 40 \text{ Ton}$$

Reacción total en el apoyo (sin factor de carga)

$$P_T := P_{CM} + P_{CV} = 129 \text{ Ton}$$

Desplazamiento horizontal de la superestructura sobre el neopreno

$$\Delta_0 := 2 \cdot 0.00862 \text{ in} = 17.242 \text{ mm}$$

Rotación debida a las cargas aplicables (sin factor de carga)

$$\theta_1 := 0 \text{ rad}$$

Rotación adicional recomendada por posibles incertidumbres

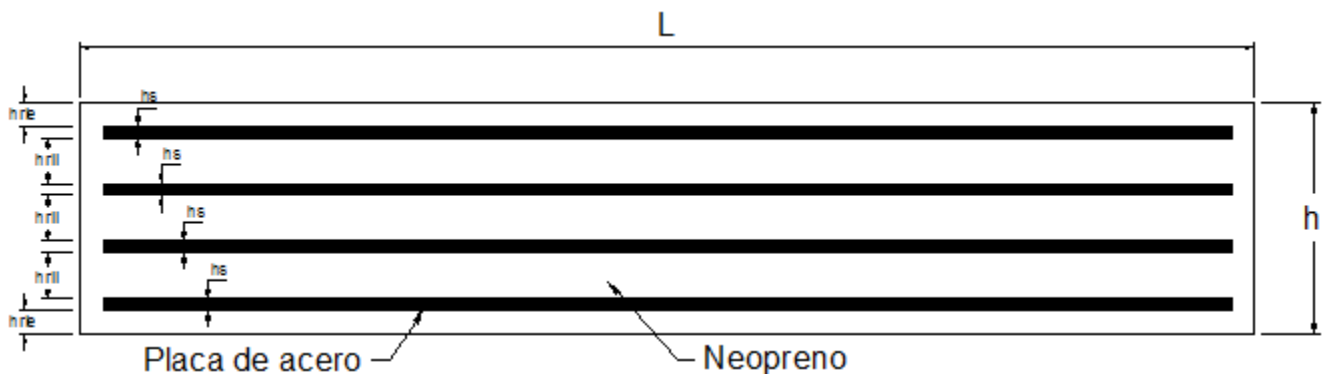
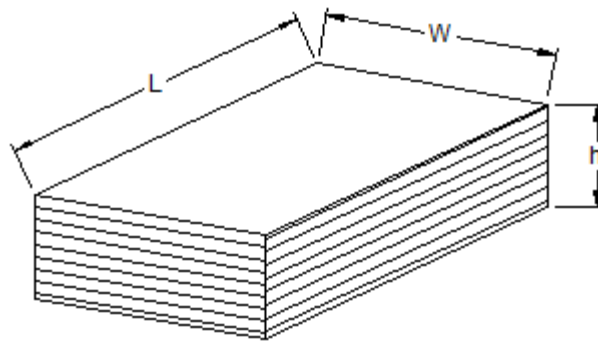
$$\theta_2 := 0.005 \text{ rad}$$

Rotación de diseño

$$\theta_s := \theta_1 + \theta_2 = 0.005 \text{ rad}$$

- Apoyo sujeto a deformaciones por cortante (apoyo móvil)
- Apoyo NO sujeto a deformaciones por cortante (apoyo fijo)

### Geometría

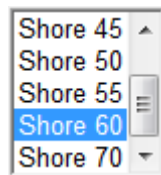




## Diseño de un Puente Carretero de Concreto, Construido con Traveses Presforzados Tipo AASHTO.

Dimensión paralela al eje longitudinal del puente	$L := 50cn$ <i>largo</i> $\frac{L}{3} = 16.667cn$	
Dimensión perpendicular al eje longitudinal del puente	$W := 50cn$ <i>ancho</i> $\frac{W}{3} = 16.667cn$ $\frac{W}{5} = 10cn$	
Área en planta del neopreno	$A := L \cdot W = 2500cn^2$	
Espesor de una capa intermedia de neopreno	$h_{rij} := 4cn$	<i>comentario1</i> = "h <sub>rii</sub> < W/5    ok"
Espesor de una capa extrema de neopreno	$h_{rie} := 2cn$	<i>comentario2</i> = "h <sub>rie</sub> < 0.70h <sub>rii</sub> ok"
Numero de capas intermedias de neopreno	$n := 2$	
Espesor de una placa de acero de refuerzo	$h_s := 1cn$	
Espesor de la capa más gruesa de neopreno	$h_{max} := \text{if}(h_{rij} < h_{rie}, h_{rie}, h_{rij})$ $h_{max} = 4cn$	
Espesor total neto de neopreno	$h_{rt} := (2 \cdot h_{rie}) + (n \cdot h_{rij})$ $h_{rt} = 12cn$	
Espesor total del neopreno	$h := (2 \cdot h_{rie}) + (n \cdot h_{rij}) + [(n + 1) \cdot h_s]$ $h = 15cn$	<i>comentario3</i> = "h < L/3 y h < W/3    ok"
Factor de forma de una capa intermedia de neopreno	$S_j := \frac{L \cdot W}{2 \cdot h_{rij} \cdot (L + W)} = 3.125$	

Dureza del neopreno



El hule más usado en México tiene dureza Shore 60.

## Diseño de un Puente Carretero de Concreto, Construido con Trabes Presforzadas Tipo AASHTO.

Propiedades mecánicas del hule natural vulcanizado.

Dureza Shore	Módulo de elasticidad E [MPa]	Módulo de cortante G [MPa]	Constante del material k	Deformación mínima de rotura [%]
37	1.35	0.40	0.87	650
40	1.50	0.45	0.85	600
45	1.80	0.54	0.80	600
50	2.20	0.64	0.73	500
55	3.25	0.81	0.64	500
60	4.45	1.06	0.57	400

Módulo de cortante del neopreno (23 °C)  $G = 10.809 \frac{kg}{cm^2}$

### Revisión 1. Esfuerzo de compresión

Para apoyo sujeto a deformaciones por cortante:

Esfuerzo de servicio en compresión por carga total  $\sigma_s \leq 1.66G \cdot S_j \leq 11.0MPa$   $1.66G \cdot S_j = 56.072 \frac{kg}{cm^2}$   
 $11MPa = 112.169 \frac{kg}{cm^2}$

Esfuerzo de servicio en compresión por carga viva  $\sigma_L \leq 0.66G \cdot S$   $0.66G \cdot S_j = 22.294 \frac{kg}{cm^2}$

Para apoyo NO sujeto a deformaciones por cortante:

Esfuerzo de servicio en compresión por carga total  $\sigma_s \leq 2.00G \cdot S_j \leq 12.0MPa$   $2.00G \cdot S_j = 67.556 \frac{kg}{cm^2}$   
 $12MPa = 122.366 \frac{kg}{cm^2}$

Esfuerzo de servicio en compresión por carga viva  $\sigma_L \leq 1.00G \cdot S$   $1.00G \cdot S_j = 33.778 \frac{kg}{cm^2}$

Donde:

$\sigma_s := \frac{P_T}{A} = 51.6 \frac{kg}{cm^2}$  Revision1a = "ok"

Entonces

$\sigma_L := \frac{P_{CV}}{A} = 16 \frac{kg}{cm^2}$  Revision1b = "ok"

## Diseño de un Puente Carretero de Concreto, Construido con Trabes Presforzadas Tipo AASHTO.

### Revisión 2. Deformación por cortante

Deformación máxima por cortante en el estado límite de servicio  $\Delta_s \leq \frac{h_{rt}}{2}$

Donde:

$$\Delta_s := \Delta_0 = 17.242mm \quad y \quad \frac{h_{rt}}{2} = 60mm \quad \text{Entonces} \quad \text{Revision2} = \text{"ok"}$$

### Revisión 3. Compresión y rotación combinados

Esfuerzo de servicio en compresión por carga total  $\sigma_s > 1.0G \cdot S_j \cdot \left(\frac{\theta_s}{n}\right) \cdot \left(\frac{B}{h_{rij}}\right)^2$

- La rotación es alrededor del eje transversal del neopreno
- La rotación es alrededor del eje longitudinal del neopreno

$$B = 0.5m$$

$$1.0G \cdot S_j \cdot \left(\frac{\theta_s}{n}\right) \cdot \left(\frac{B}{h_{rij}}\right)^2 = 13.195 \frac{kg}{cm^2}$$

$$\sigma_s = 51.6 \frac{kg}{cm^2} \quad \text{Entonces} \quad \text{Revision3a} = \text{"ok"}$$

Además

Para apoyo sujeto a deformaciones por cortante:  $\sigma_s < 1.875G \cdot S_j \cdot \left[1 - 0.20 \left(\frac{\theta_s}{n}\right) \cdot \left(\frac{B}{h_{rij}}\right)^2\right]$

$$\text{donde} \quad 1.875G \cdot S_j \cdot \left[1 - 0.20 \left(\frac{\theta_s}{n}\right) \cdot \left(\frac{B}{h_{rij}}\right)^2\right] = 58.386 \frac{kg}{cm^2}$$

Para apoyo NO sujeto a deformaciones por cortante:  $\sigma_s < 2.25G \cdot S_j \cdot \left[1 - 0.167 \left(\frac{\theta_s}{n}\right) \cdot \left(\frac{B}{h_{rij}}\right)^2\right]$

$$\text{donde} \quad 2.25G \cdot S_j \cdot \left[1 - 0.167 \left(\frac{\theta_s}{n}\right) \cdot \left(\frac{B}{h_{rij}}\right)^2\right] = 71.043 \frac{kg}{cm^2}$$

Entonces  $\text{Revision3b} = \text{"ok"}$

## Diseño de un Puente Carretero de Concreto, Construido con Trabes Presforzadas Tipo AASHTO.

### Revisión 4. Estabilidad del neopreno

El neopreno se considera estable si  $2 \cdot A'_1 \leq B'_1$  y  $2 \cdot A'_2 \leq B'_2$

donde 
$$A'_1 := \frac{1.92 \frac{h_{rt}}{L}}{\sqrt{1 + \frac{2.0L}{W}}} = 0.266$$

$$2 \cdot A'_1 = 0.532$$

$$B'_1 := \frac{2.67}{\left(S_i + 2.0\right) \cdot \left(1 + \frac{L}{4.0W}\right)} = 0.417$$

*Revision4a* = "No cumple"

y tambien 
$$A'_2 := \frac{1.92 \frac{h_{rt}}{W}}{\sqrt{1 + \frac{2.0W}{L}}} = 0.266$$

$$2 \cdot A'_2 = 0.532$$

$$B'_2 := \frac{2.67}{\left(S_i + 2.0\right) \cdot \left(1 + \frac{W}{4.0L}\right)} = 0.417$$

*Revision4b* = "No cumple"

Si el neopreno no cumple con alguna de las dos condiciones anteriores, debe cumplir con la siguiente condición:

Para apoyo sujeto a deformaciones por cortante: 
$$\sigma_s < \frac{G \cdot S_j}{2 \cdot A'_1 - B'_1} \quad \frac{G \cdot S_j}{2 \cdot A'_1 - B'_1} = 292.944 \frac{kg}{cm^2}$$

Para apoyo NO sujeto a deformaciones por cortante: 
$$\sigma_s < \frac{G \cdot S_j}{A'_1 - B'_1} \quad \frac{G \cdot S_j}{A'_1 - B'_1} = -224.086 \frac{kg}{cm^2}$$

entonces *Revision4c* = "Cumple"

## Diseño de un Puente Carretero de Concreto, Construido con Traveses Presforzados Tipo AASHTO.

### Revisión 5. Refuerzo

Espesor de una placa de acero de refuerzo  $h_s = 10\text{mm}$

En el estado limite de servicio se debe cumplir:  $h_s \geq \frac{3.0h_{max}\sigma_s}{F_y}$

donde  $F_y := 36\text{ksi} = 2531.05 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$

$h_{max} = 0.04\text{m}$

$\sigma_s = 51.6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$

entonces  $\frac{3.0h_{max}\sigma_s}{F_y} = 2.446\text{mm}$

En el estado limite de fatiga se debe cumplir:  $h_s \geq \frac{2.0h_{max}\sigma_L}{\Delta F_{TH}}$

donde  $\Delta F_{TH} := 165\text{MPa} = 1682.532 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$

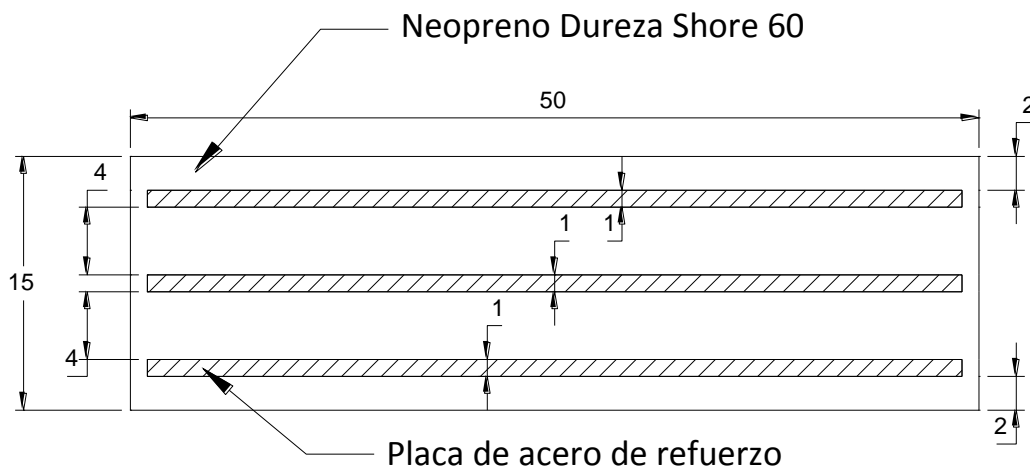
$h_{max} = 0.04\text{m}$

$\sigma_L = 16 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$

entonces  $\frac{2.0h_{max}\sigma_L}{\Delta F_{TH}} = 0.761\text{mm}$

Revision5 = "El refuerzo satisface el estado límite de servicio y de fatiga"

Esquema de neopreno [cm]



## **8. Referencias bibliográficas.**

- AASHTO Standard Specifications for Highway Bridge 16<sup>th</sup>, 1996.
- Norma N-PRY-CAR-6-01-005/01 Capitulo 005. Sismo. De la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
- Manual de Diseño de Obras Civiles, Diseño por Sismo. Comisión Federal de Electricidad, 1993.
- Reglamento de Construcción del Distrito Federal, 2004.
- Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcción del Distrito Federal, 2004.
- Manual ANIPPAC, Manual de Diseño de Estructuras Prefabricadas y Presforzadas. Instituto de Ingeniería UNAM.
- Building Code Requirements for Structural Concrete (American Concrete Institute 318-08).