

# Curso Diseño de Puentes - AASHTO

Prof. Dr. Matías A. Valenzuela

# Agradecimientos

- Dr. Rafael Foinquinos Mera
- Dr. Carlos G. Matos Flores-Guerra
- Dr. Sergio F. Breña
- Dr. Hernán Pinto Arancet
- Ing. José Luis Seguel

# Tópicos del Curso

- 1. Filosofía del Código LRFD
- 2. Cargas de Servicio en Subestructuras
- 3. Cargas Extremas en Puentes
- 4. Análisis Estructural Caso 1
- 5. Introducción al Concreto Estructural
- 6. Propiedades materiales Concreto Estructural
- 7. Diseño Flexión
- 8. Diseño Corte
- 9. Diseño de Puente 1 Vano
- 10. Acero Estructural
- 11. Viga Acero Estructural
- 12. Diseño Puente 3 vanos continuo
- **13. Losa Estructural**

# LOSA ESTRUCTURAL

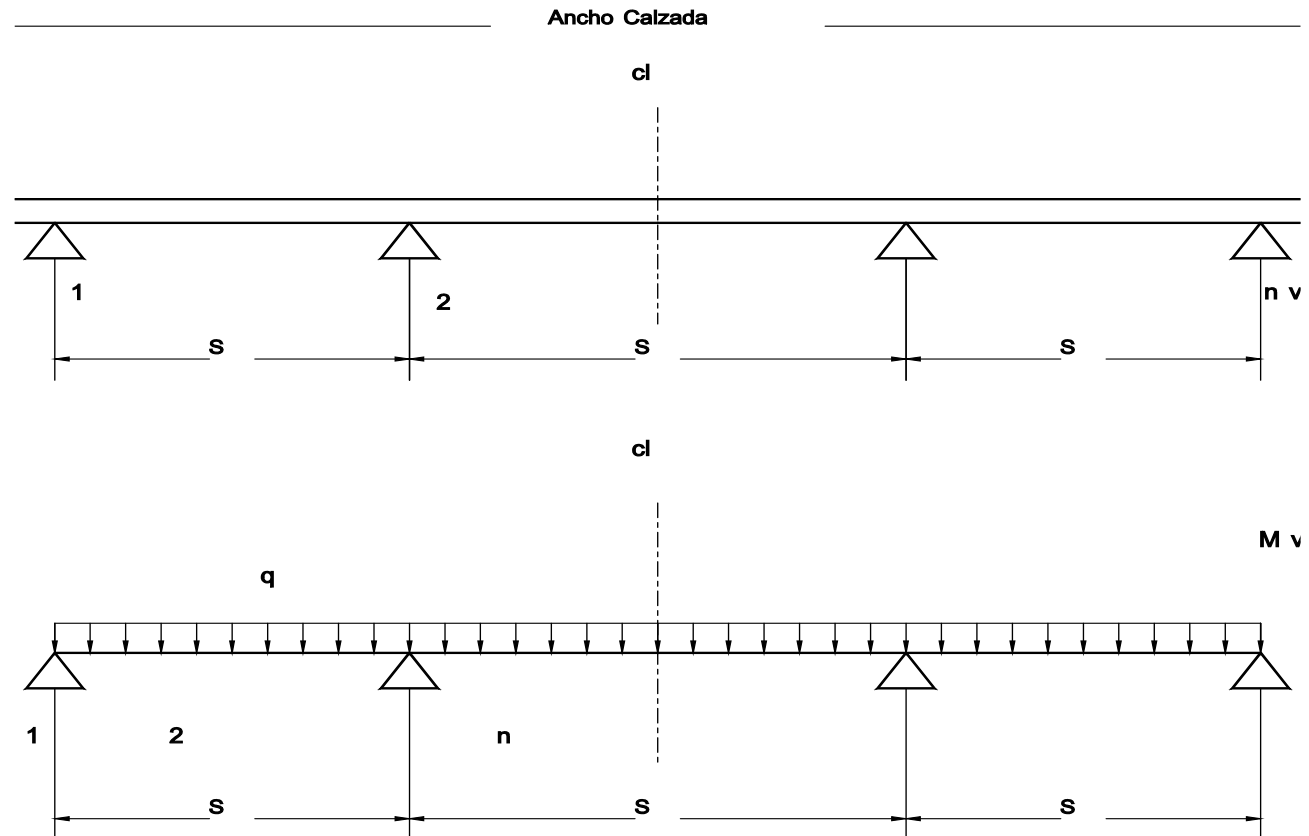
La **losa estructural** de un puente carretero corresponde a aquel elemento que soporta directamente las cargas y que las traspasa a las vigas longitudinales y travesaños.

Con el objeto de resistir las solicitaciones actuantes (D, L) interesa calcular la cuantía de acero de refuerzo de la losa estructural en los centros de los tramos de las vigas (M+) y en las secciones sobre las vigas (M-).

El cálculo estructural de la losa apoyada sobre vigas se realiza aplicando el método de rigidez, al modelar la sección transversal del tablero como una viga continua de varios tramos ( $n^\circ$  de tramos =  $n^\circ$  de vigas - 1), con apoyos en las vigas longitudinales, cargada con las cargas muertas (peso propio más cargas permanentes) como carga distribuida.

# LOSA ESTRUCTURAL

## Modelo Tablero



## LOSA ESTRUCTURAL

Aprovechando las condensaciones estáticas y geométricas que se producen en este modelo de cálculo, es posible simplificar el problema anterior para quedarse con un sólo grado de libertad (que corresponde al giro producido) por cada nudo, por lo cual, la determinación de esfuerzos (momentos en los apoyos provocados por la carga muerta) se realiza rápidamente aplicando el método de rigidez.

## LOSA ESTRUCTURAL

Las armaduras a la flexión de la losa de calzada para las secciones correspondientes a los centros de las vigas (momento positivo), a las zonas de momento negativo y a las que sostienen los pasillos son calculadas por factores de carga (método de rotura), empleándose la siguiente combinación de cargas:

$$\text{Combinación} = 1.3 (D + 1.67 L)$$

donde:

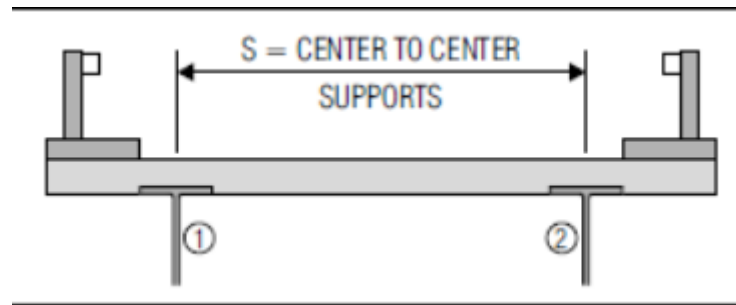
D: cargas muertas

L: cargas vivas

# LOSA ESTRUCTURAL

## SEPARACION ENTRE VIGAS

Para las vigas simplemente apoyadas, la separación entre las vigas,  $S$ , se tomará como la distancia entre los centros de las vigas, pero no podrá exceder la distancia libre entre los bordes de las alas más el espesor de la losa.



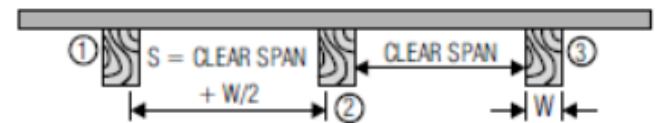
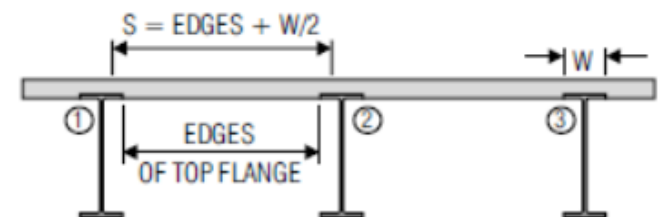
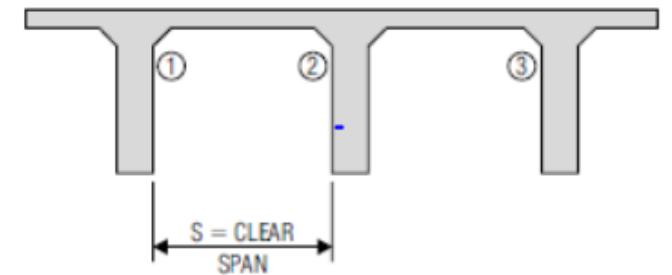


# LOSA ESTRUCTURAL

## SEPARACION ENTRE VIGAS

Para losas continuas apoyadas sobre más de 2 apoyos, se usara la distancia efectiva,  $S$ , para cálculo de la distribución de las cargas y del momento de flexión

- Para losas monolíticas con vigas,  $S$  será la distancia libre entre las vigas.
- Para el caso de losas apoyadas sobre vigas de acero, el valor de  $S$  será tomada como la distancia entre los bordes de las alas más medio ancho del ala comprimida.
- Para losas apoyadas sobre vigas de madera,  $S$  se calculará como la distancia libre más medio espesor de la viga.



# LOSA ESTRUCTURAL

## **DISTANCIA DE LA CARGA DE RUEDA**

### **i. Caso Normal:**

En el diseño de las losas de calzada, el centerline o línea del medio de la carga de rueda del camión deberá estar localizada a 0.305 m a partir de la cara interior del guardarueda.

Si este último elemento, o los pasillos no son usados, la carga de rueda estará ubicada a 0.305 m desde la cara interior de la baranda.

# LOSA ESTRUCTURAL

## **DISTANCIA DE LA CARGA DE RUEDA**

### **ii. Caso Eventual:**

Para la situación eventual de que el camión se suba encima del pasillo, en el diseño de este último elemento, de la losa y de los miembros soportantes, una carga de rueda localizada sobre el pasillo deberá estar ubicada a 0.305 m, desde la cara interior de la baranda.

Para el método de diseño por cargas de servicio, cuando se utilice la combinación de cargas muertas, cargas vivas más impacto no podrá ser más grande que un 150% de la tensiones admisibles.

**Nota: Las cargas de rueda no deberán ser aplicadas a los pasillos protegidos del tránsito por barreras.**

# LOSA ESTRUCTURAL

## **MOMENTO DE FLEXION**

El cálculo de los momentos de flexión para tomar los efectos de carga viva propuesto por la norma de diseño está basado principalmente en la **teoría de Westergaard**, y depende del tipo de camión utilizado y de la distancia entre las vigas.

El momento de flexión por cargas vivas por metro de ancho de losa deberá ser calculado de acuerdo a los métodos dados bajo los casos A y B, mostrados a continuación, a no ser que métodos más exactos sean utilizados.

# LOSA ESTRUCTURAL

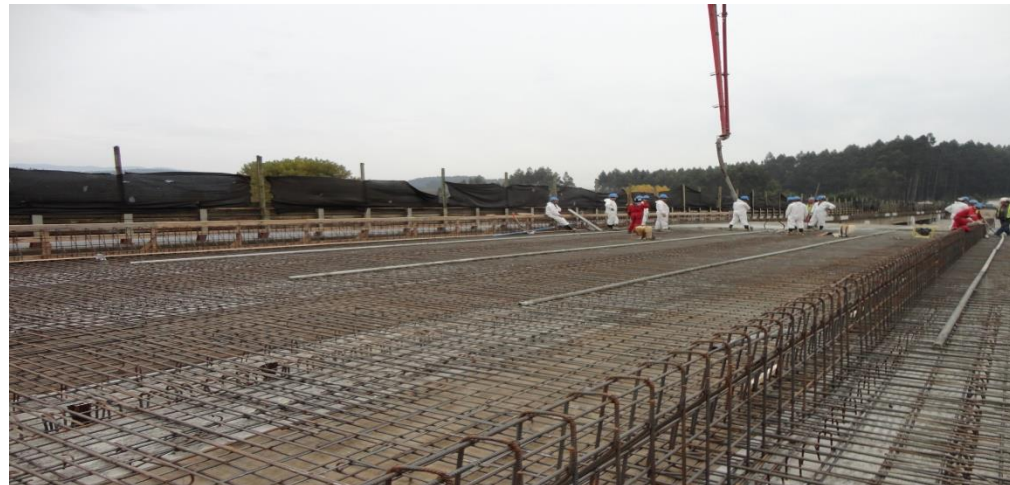
## MOMENTO DE FLEXION

### CASO A: Armadura principal perpendicular al tránsito.

El momento de flexión causado por las cargas vivas para vigas simplemente apoyadas se determinará por las siguientes fórmulas (el impacto no está considerado):

Camión HS20-44:

$$M_{flexion} = \left( \frac{S + 0.61}{9.74} \right) P_{20}$$



# LOSA ESTRUCTURAL

## MOMENTO DE FLEXION

donde:

$M_{\text{flexión}}$ : Momento de las cargas vivas sin impacto en vigas simplemente apoyadas, en toneladas por metro, por metro de ancho de la losa.

S: Distancia efectiva entre los ejes de las vigas, en m.

$P_{20}$ : Carga sobre la rueda trasera del camión = 7.26 ton

Para las losas continuas apoyadas sobre más de tres vigas, un factor de continuidad de 0.8 se aplicará sobre las fórmulas de arriba, tanto para los momentos positivos y los negativos.

# LOSA ESTRUCTURAL

## MOMENTO DE FLEXION

### CASO B: Armadura principal paralela al tránsito.

La armadura principal paralela al tránsito corresponde principalmente al diseño de puentes losa, estructuras sin vigas longitudinales, donde todas las sollicitaciones producidas las resiste la losa.

El ancho de la losa sobre la cual es distribuida la carga de rueda del camión está dada por la expresión:

$$E = 1.219 + 0.06S \leq 2.134m$$

E: Ancho de la losa de distribución de la carga de rueda, para armadura principal en sentido paralelo al tránsito, en m. Cuando se utilice como carga viva la carga de faja, se distribuirán sobre un ancho de 2E.

# LOSA ESTRUCTURAL

## MOMENTO DE FLEXION

Para vigas simplemente apoyadas, el máximo momento por carga viva por metro de ancho de la losa, sin impacto, se evaluará aproximadamente por las siguientes expresiones, que dependen del tipo de camión.

Camión HS 20:

Para  $L \leq 15.24$  m

$$M_{LL} = 1.34S \left[ \frac{tm}{m} \right]$$

Para  $15.24 < L \leq 30.48$  m

$$M_{LL} = 1.94S - 9.1 \left[ \frac{tm}{m} \right]$$

$M_{LL}$  : Momento por sobrecarga móvil por metro de ancho de losa, en el sentido longitudinal, ton m/m.



# LOSA ESTRUCTURAL

## **MOMENTO EN LOSAS EN VOLADIZO**

Bajo las siguientes fórmulas para la distribución de cargas sobre las losas en voladizo, la losa está diseñada para soportar las cargas en forma independiente de los efectos del refuerzo de borde que se coloquen a lo largo de la punta del voladizo.

La distribución dada incluye los efectos de las ruedas sobre elementos paralelos.

# LOSA ESTRUCTURAL

## MOMENTO EN LOSAS EN VOLADIZO

### CASO A: Armadura principal perpendicular al tránsito

Cada rueda sobre los elementos perpendiculares al tránsito deberá ser distribuida sobre un ancho de acuerdo a la expresión:

$$E = 0.8X + 1.143[m]$$

El momento por metro de ancho de losa será evaluado por la expresión:

$$M_{LL} = \frac{P}{E} X$$

donde:

E: Ancho de distribución de la carga de la rueda, en m.

$M_{LL}$ : Momento de sobrecarga móvil, en tonm/m

P: Carga de rueda del camión.

# LOSA ESTRUCTURAL

## MOMENTO EN LOSAS EN VOLADIZO

### CASO B: Armadura principal paralela al tránsito

El ancho de distribución para cada carga de rueda sobre los elementos paralelos al tránsito será dado por la siguiente expresión:

$$E = 0.35X + 0.98 \leq 2.314[m]$$

y el momento por sobrecarga móvil por metro de ancho de losa será:

$$M_{LL} = \frac{P}{E} X$$

# LOSA ESTRUCTURAL

## ARMADURA DE REPARTICION

Para proveer una distribución lateral de las cargas vivas concentradas, se deberá colocar una armadura de refuerzo, **armadura de repartición**, sobre la armadura principal en la parte inferior de la losa.

La cantidad del refuerzo de repartición será un porcentaje del refuerzo de acero requerido para tomar el momento positivo, dado por las

CASO A: Armadura principal perpendicular al tránsito.

$$\text{Porcentaje} = \frac{55.2}{\sqrt{S}} \leq 50\%$$

CASO B: Armadura principal paralela al tránsito.

$$\text{Porcentaje} = \frac{121.5}{\sqrt{S}} \leq 67\%$$

# LOSA ESTRUCTURAL

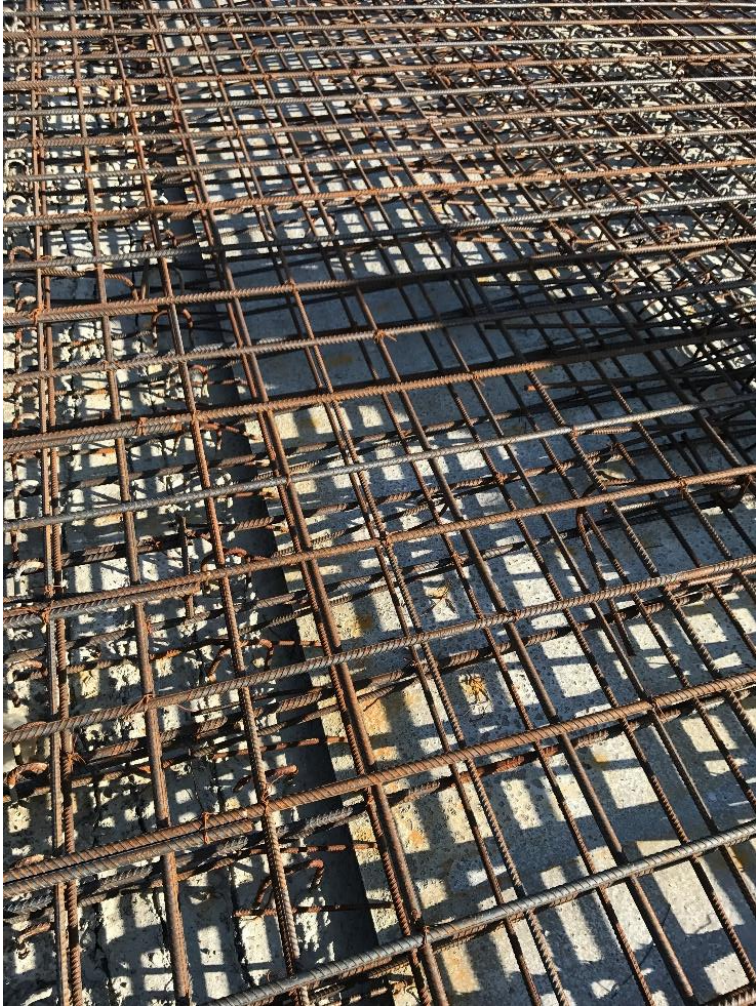
## **ARMADURA DE REPARTICION**

donde:

S: separación entre los ejes de la viga, en m

Cuando se trate de armadura principal perpendicular al tránsito, la cantidad especificada como armadura de repartición será usada en la porción central de la losa, y una cantidad no menor que un 50% de dicha armadura, se utilizará en los otros dos cuartos de la losa.

# LOSA ESTRUCTURAL



Puente La Laguna Ruta 43, IV Region



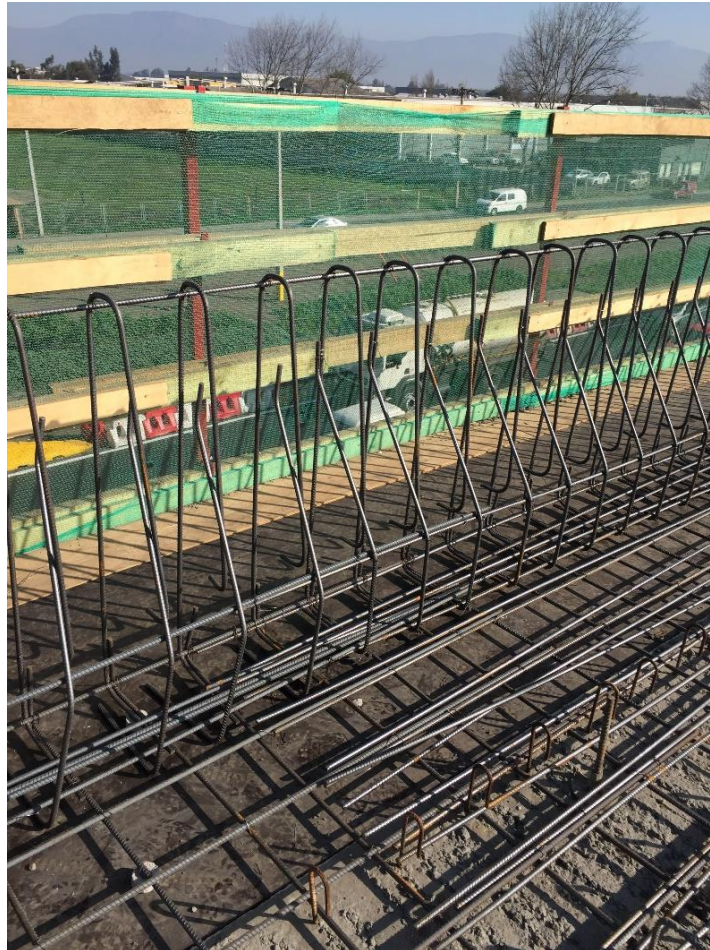
# LOSA ESTRUCTURAL

PS. La Montaña Ruta 5  
Santiago Lampa, RM



# LOSA ESTRUCTURAL

PS. La Montaña Ruta 5  
Santiago Lampa, RM





## CALCULO LOSA ESTRUCTURAL TABLERO

Para el diseño del tablero estructural se emplea el método de rigidez, tomando en cuenta las condensaciones geométricas y estáticas que se producen, con el objeto de simplificar el problema.

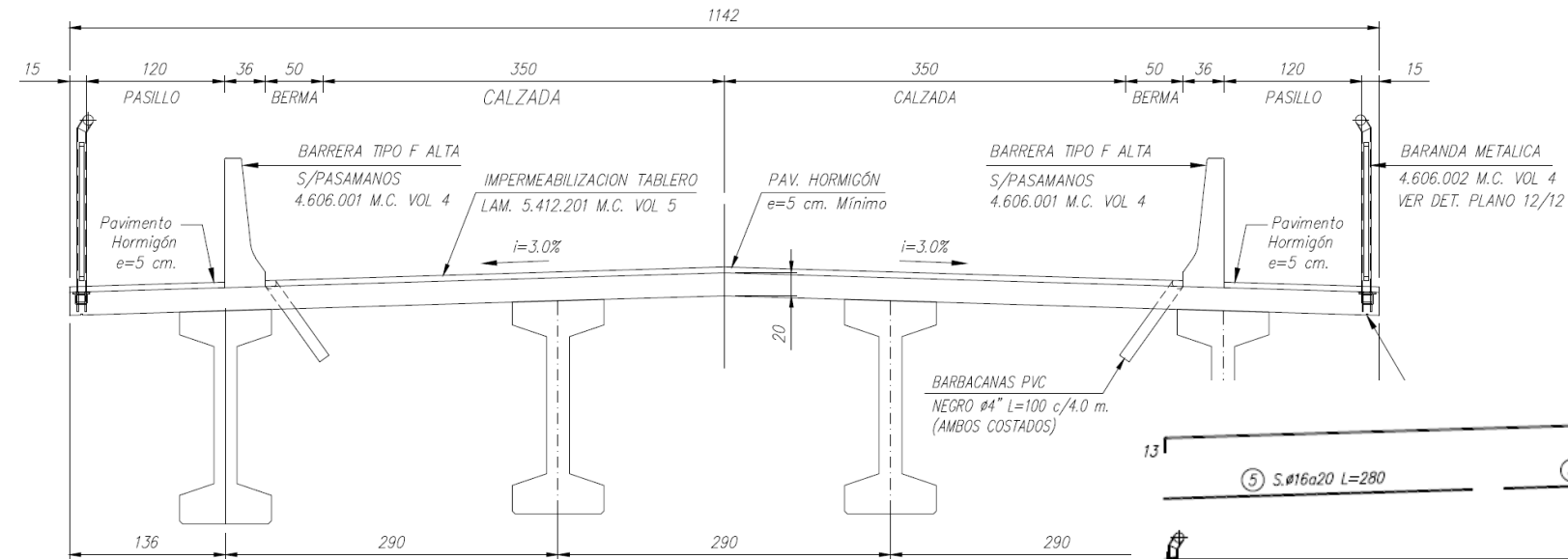
El algoritmo de cálculo de estos elementos comprende los siguientes pasos:

- **Entrada de datos geométricos del tablero:** ancho de calzada, ancho del pasillo; tipo, número y separación de vigas, espesor de la losa de hormigón, etc.
- **Aplicación del método de rigidez,** con lo cual se obtienen las cargas muertas actuantes en el tablero (momentos).
- **Determinación de las solicitaciones actuantes** provocadas por las cargas vivas (camión más peatón), según lo propuesto por la norma AASHTO.

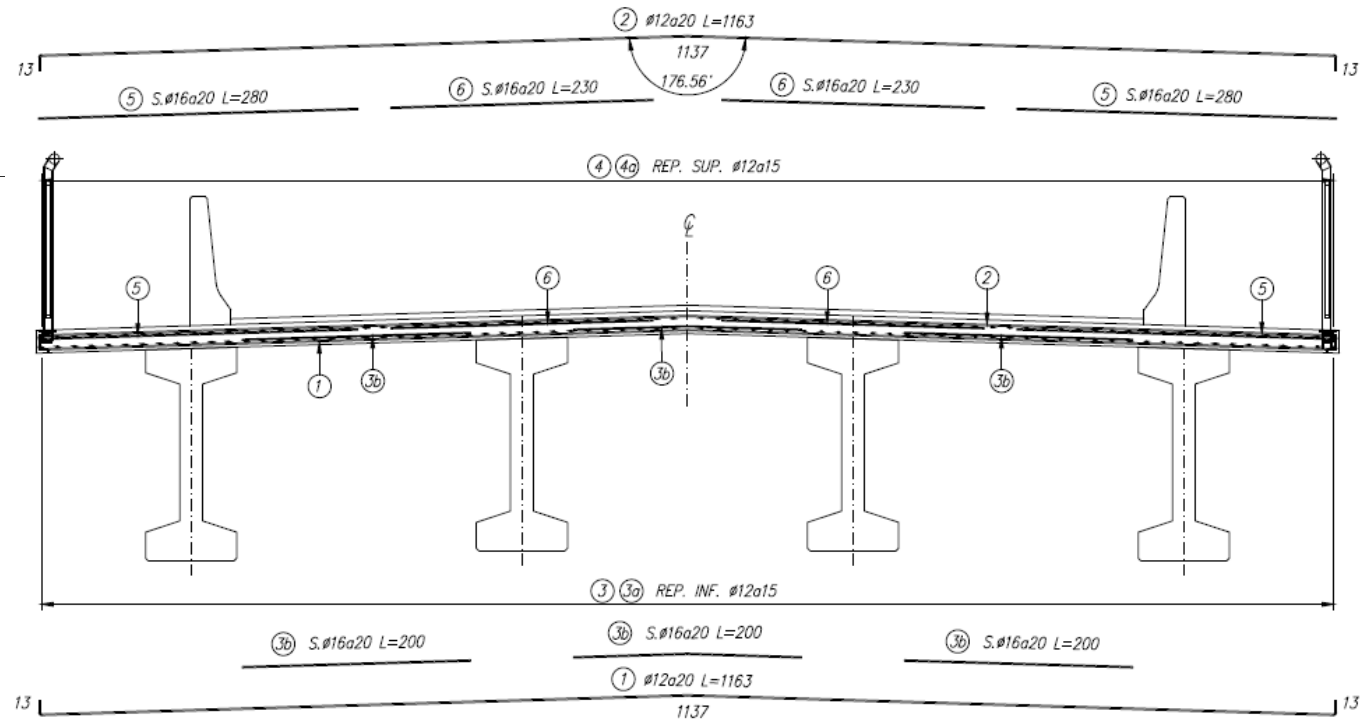
## CALCULO LOSA ESTRUCTURAL TABLERO

- **Determinación de los esfuerzos**, de acuerdo a las combinaciones de cargas consideradas.
- **Determinación de las cuantías de acero** de la losa (momento positivo y negativo) y pasillo para las combinaciones de cargas elegidas, de acuerdo con resultados obtenidos anteriormente.

# CALCULO LOSA ESTRUCTURAL TABLERO



**Ejemplo Calculo losa**



# CALCULO LOSA ESTRUCTURAL TABLERO

<b>XII. ARMADURA LOSA</b>					
<b>DATOS</b>					
Espesor Losa:		0,20 [m]			
Espesor Losa Equivalente:		0,20 [m]			
Espesor Pavimento:		0,07 [m]			
Separacion entre vigas, S:		2,90 [m]			
Ancho ala superior viga, $b_{superior}$ :		0,80 [m]			
Separacion efectiva viga, $S_o$ :		2,90 [m]			Se considerar la separacion entre ejes.
Peso Hormigon:		2,50 [ton/m]			
Peso Pavimento:		2,40 [ton/m]			
<b>CARGAS MUERTAS</b>					
Losa:		0,50 [ton/m]			
Pavimento:		0,17 [ton/m]			
Pasillo:		0,38 [ton/m]			
$M_{DL} +$ :		0,731 [ton/m]			
$M_{DL} -$ :		0,877 [ton/m]			
<b>CARGAS VIVAS</b>					
Camion:		HS 20-44 +20%			Solicitation dada por Norma AASHTO
Carga P:		7,257 [ton]			
Coefficiente Mayoracion:		1,20			
Coefficiente Impacto:		1,30			
Coefficiente Distribucion:		1,00			
Carga Total P:		11,322 [ton]			
$M_{II} = 0.8 P (S + 0.61) / 9.74$ :		3,264 [ton m]			Armadura transversal al transito

# CALCULO LOSA ESTRUCTURAL TABLERO

<b>ARMADURA TRANSVERSAL</b>		Momento Positivo	Momento Negativo
$M_u = 1.3$ (Mdl + 1.67 Mll)		8,04 [ton m]	8,23 [ton m]
f'c, H30:		250 [kg/cm <sup>2</sup> ]	250 [kg/cm <sup>2</sup> ]
fy A630-420H:		4200 [kg/cm <sup>2</sup> ]	4200 [kg/cm <sup>2</sup> ]
b:		100 [cm]	100 [cm]
r:		2,5 [cm]	3,8 [cm]
d:		17,5 [cm]	16,2 [cm]
A calculada:		13,12 [cm <sup>2</sup> ]	14,76 [cm <sup>2</sup> ]
Amin		3,15 [cm <sup>2</sup> ]	2,92 [cm <sup>2</sup> ]
Arequerida		13,12 [cm <sup>2</sup> ]	14,76 [cm <sup>2</sup> ]
Usar:		$\phi 12$ a 20 +S $\phi 16$ a 20	$\phi 12$ a 20 +S $\phi 16$ a 20
		15,70 [cm <sup>2</sup> ]	15,70 [cm <sup>2</sup> ]
<b>ARMADURA REPARTICION</b>			
Armadura M+		13,12 [cm <sup>2</sup> ]	
S minimo		2,90 [m]	
% Areparticion		67,00 [%]	
A reparticion		8,79 [cm <sup>2</sup> ]	
Usar:		$\phi 12$ a 15 centro vigas	
		7,67 [cm <sup>2</sup> ]	
		$\phi 12$ a 15 sobre vigas	
		7,53 [cm <sup>2</sup> ]	