

INTRODUCCIÓN

1. GENERALIDADES.-

Puente, palabra de mucha significación, pues Fue, es y será la solución de un sin número de problemas que surgen día a día, en nuestro diario vivir, para la población en general, puente significa vinculo que genera el desarrollo de los pueblos, para el estado boliviano, puente, significa, logro, unión, hermandad, para los ingenieros civiles, los puentes son: el motivo de nuestra existencia, no solamente por vincular las artes y ciencias exactas, sino porque el diseño de los puentes, es desarrollo, mientras más se investigue a cerca del diseño y optimización en el cálculo de puentes, mayor será el aporte al desarrollo de los pueblos y país en que habitamos.

2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL TEMA.-

El crecimiento motorizado en todo el mundo, exige constantemente nuevos puentes, las exigencias en cuanto a la construcción y al aspecto externo crece día a día, y en una época en que todo el mundo ve de una forma clara y sensible la problemática de dominar el tránsito que crece progresivamente.

El trazado de las carreteras, exige hoy la planificación simultánea de los puentes, previniendo los tramos según las necesidades del rendimiento calculado, es decir sin preocuparse por trazos curvilíneos, cauces de ríos, contrariamente a antaño, donde las carreteras tenían que diseñarse según las posiciones de los puentes rectos primeramente planificados.

Los puentes oblicuos (esviajados) y curvos, testimonian la porfía del Ingeniero en la reflexión, investigación y la expresividad de sus creaciones.

La solución óptimamente satisfactoria desde el punto de vista económico, técnico y estético, garantizando además la seguridad y rapidez en su ejecución.

Sabemos que el diseño de toda estructura debe ser seguro contra la falla y además proporcionar satisfactoriamente y calificadamente el servicio para el que fue proyectada.

Los caminos constituyen los modelos más valiosos en nuestro medio, los cuales se ven interrumpidos por depresiones de la superficie del terreno, las cuales están obligadas a depender de otras obras de arte como los puentes, que son obras de paso destinadas a salvar depresiones del terreno; de acuerdo a este contexto las obras de paso “Puentes” poseen una importancia vital en las vías. Por lo tanto cualquier mejoramiento en los caminos es inútil sin la construcción de puentes, que permiten pasos sobre corrientes de agua o cruces de desnivel, además de la circulación de peatones, vehículos, agua y otros.

Nuestra región y país en general está constituido por cadenas montañosas y los caminos deben atravesar las laderas, presentándose quebradas de diverso ancho y profundidades, por lo cual surge la necesidad de construir obras de arte para salvar estas dificultades técnicas, en muchos de los casos, se presentan ángulos de esviaje entre el eje del camino y quebrada, entonces, los constructores prefieren elegir badenes, alcantarillas dobles o triples, etc. Generalmente adoptan este tipo de obras alternativas porque la estimación de costos de puentes losa esviajados no es sencillo, el espesor de losa y cuantías de acero se conocen luego de haber realizado el diseño completo del puente, además la disposición de armaduras debe ser particularizado de acuerdo a la variación del ángulo de esviaje.

También se observan puentes ya construidos rectos, pero con curvas de entrada y salida en el alineamiento horizontal, provocando una serie de problemas a los usuarios. Casos en los que un puente esviajado era la solución más adecuada pero, justamente por las dificultades en el cálculo prefieren elegir alternativas que no son las mejores.

3. HIPOTESIS

Los esfuerzos provocados por las cargas de peso propio y carga viva, en puentes losa difieren mucho si el ángulo de esviaje se incrementa y no solamente que varían en cuanto a su magnitud, sino aparecen otros esfuerzos en diferentes lugares, como por ejemplo, torsión, momentos negativos en las esquinas de la losa y otros.

Las cargas se transmiten a los apoyos extremos en forma proporcional a los varios posibles recorridos, es decir que la carga trata de llegar al apoyo siguiendo una dirección perpendicular a las caras de los estribos y de las pilas. Se puede ver entonces que los planos de esfuerzo máximo no son paralelos al eje del camino en correspondencia con el puente, con lo cual la deformación de la losa tendrá que ser la de una superficie alabeada.

Si las reacciones que las losas de puentes transmiten a los estribos, no son uniformes, y la ubicación de la resultante se desplaza hacia los costados, es de tener muy en cuenta para el análisis de la estabilidad del estribo y las fundaciones.

4. OBJETIVOS.-

Los objetivos planteados en el presente trabajo son de carácter general y específico.

4.1. Objetivo General

Establecer la variación de los esfuerzos en puentes losa esviajados, con respecto a los rectos. Conocer sus magnitudes de cada uno de ellos y depurar los datos para construir gráficas en función de la longitud y ángulo de esviaje de los puentes, además de tabular todos los resultados máximos, para que sean de utilidad y fácil acceso.

4.2. Objetivos Específicos

Análisis de Normativas

Análisis estructural, tomando en cuenta las líneas de influencia, reacciones y esfuerzos solicitantes, siguiendo un procedimiento analítico manual detallado.

Análisis estructural a través de un software basado en elementos finitos.

Determinar los esfuerzos de puentes losa para longitudes entre 2 y 8 metros con incremento de un metro.

Para cada longitud de puente de: 2,3,4,5,6,7, y 8 metros, se determinaran los esfuerzos para los siguientes ángulos de esviaje, 0,5,10,15,20,25,30,35,40,45,50,55,y 60 grados.

Para cada una de las distintas longitudes de puente y ángulo de esviaje, se considerarán ancho de puentes de 4 y 7.3 m.

Seleccionar los esfuerzos máximos para cada caso y tabularlos.

Análisis de resultados.

Construir graficas con los resultados obtenidos.

5. JUSTIFICACION.-

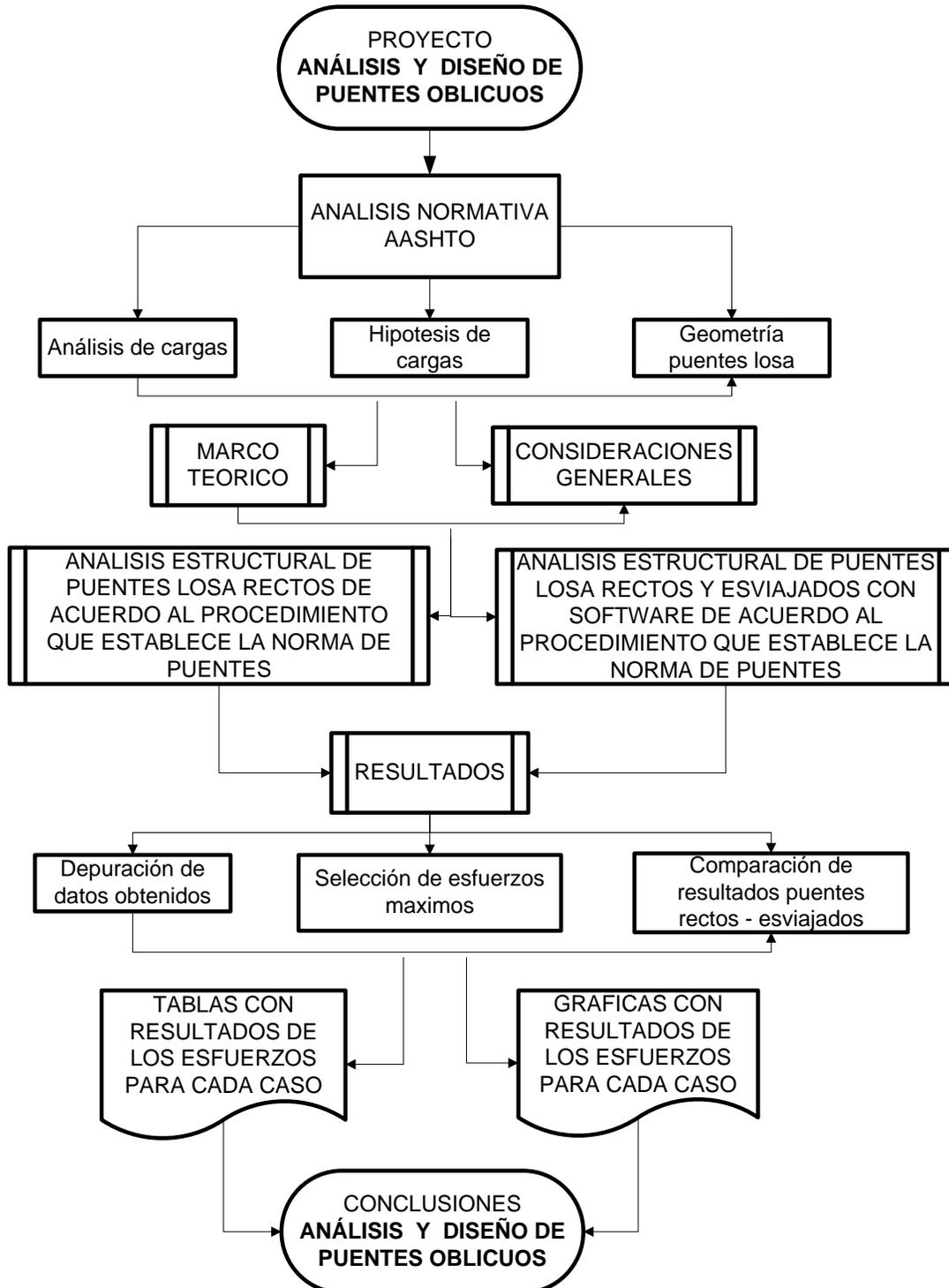
5.1. Teórica (académica).- Profundizar conocimientos adquiridos en el diseño de superestructuras de puentes, especialmente en el análisis estructural.

5.2 Metodológica (técnica).-La metodología que se usara será: procedimiento analítico detallado y a través de un programa computarizado para el cálculo de esfuerzos.

5.3. Práctica (social institucional).-El presente trabajo será un aporte significativo para los estudiantes y profesionales dedicados a la construcción de puentes porque se mostrarán los resultados tabulados y a través de gráficas.

6. ALCANCE DEL PROYECTO DE GRADO.-

Figura. 1



6.1. Puente.-

La idea del puente es tan primitiva como el hombre, al llegar a un curso de agua o a una quebrada nace inmediatamente la idea de valerse de algún elemento que permita cruzarlo.

La idea del hombre de colocar troncos de árboles o grandes piedras en los sitios estrechos de las quebradas es lo más primitivo que se conoce.

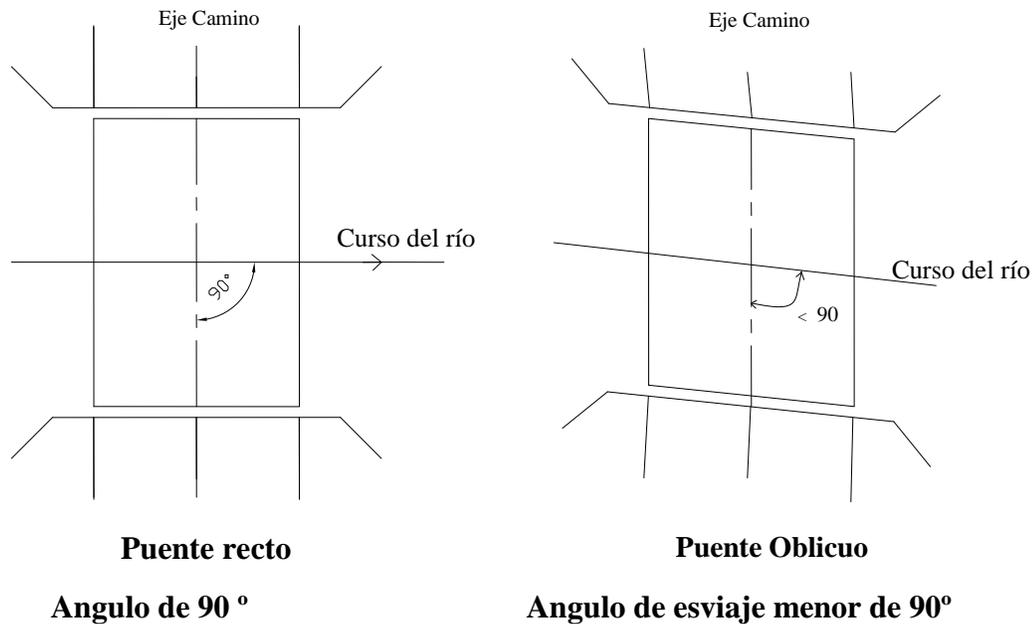
Las estructuras que en general están destinadas a salvar una depresión del terreno, un cruce a desnivel o el paso sobre una corriente de agua, para así permitir la continuidad de una vía, se denominan "PUENTE".

Se pueden clasificar de diversas, maneras, por su longitud, por su objeto o servicio, según el material del que estén compuestos, según el mecanismo por el cual se transmitan las cargas a la infraestructura, según sus condiciones estáticas y según el ángulo que forma el eje del puente con un paso inferior al de la corriente de agua.

6.2. Puente Oblicuo.-

Se tardó varios años hasta que se dispusiera una solución cerrada y fácilmente utilizable por el constructor y la computadora para relacionar entre flexión torsión.

El caso que se estudiará corresponde al análisis y diseño de puentes oblicuos o esviados que se describe a continuación:

Figura.2

Se denomina ángulo de esviaje al ángulo formado por el eje del camino con la intersección del eje del curso del agua o río.

El estudio de los puentes oblicuos, toma una particular importancia en las losas de hormigón armado, ya que los esfuerzos en estas losas difieren de los de una losa recta; diferencia que aumenta con el ángulo de esviaje.

6.3. Características Importantes De Los Puentes Oblicuos.-

Es más difícil construir una estructura oblicua que una recta.

Las cargas verticales aplicadas en los puentes oblicuos, producen momentos importantes de torsión. La estructura debe ser resistente a la torsión.

Estos dos factores limitan una fácil solución; los sistemas estructurales que han sido usados, han presentado dificultades de ejecución.

Un alineamiento oblicuo, exige consideraciones especiales de apoyo.

Los movimientos, debido a la temperatura, deben ser considerados con cuidado.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 **GENERALIDADES.-**

La superestructura es la parte de un puente que permite el paso de camiones peatones etc., sobre un río, quebrado, arroyo etc., la superestructura descansa en los estribos mediante un sistema de apoyo.

Por seguridad, a los costados de la superestructura se colocan barandas o parapetos que impiden que un vehículo que se sale de su pista de circulación pueda caer fuera de la estructura; asimismo, estos elementos sirven de protección a los eventuales peatones que utilicen el puente. En la superestructura también se colocan elementos para evacuar las aguas que precipitan en el tablero, son las barbacanas; normalmente tubos de plástico, cemento asbesto u otro material similar que descargan directamente hacia el cauce.

1.2 **FUNCIONALIDAD, RESISTENCIA Y SEGURIDAD ESTRUCTURAL.-**

Para que una estructura cumpla sus propósitos debe ser segura contra el colapso y funcional en condiciones de servicio. La funcionalidad requiere que las deflexiones sean pequeñas, que las fisuras si existen que se mantengan en límites tolerables

1.3 **SUPERESTRUCTURAS DE PUENTES.-**

La superestructura, elemento estructural característico de un puente, está directamente sometida a la acción de las cargas móviles, la fuerza de frenado, el impacto y los fenómenos atmosféricos.

1.4 **TIPOS DE CARGAS EN LA SUPERESTRUCTURA.-**

La estructura de un puente en su generalidad está sometida a una serie de cargas, las mismas que tienen distinto origen y naturaleza. Esta debe ser

dimensionada tomando en cuenta las siguientes cargas y fuerzas, cuando ellas existan:

- 1.- Carga muerta o permanente
- 2.- Carga viva o no permanente
- 3.- Impacto o efecto dinámico de la carga viva

Las cargas vivas para estas están dadas por la norma American Association of State Highway and Transportation Officials (ASSTHO).

1.5 CARGA MUERTA.-

La carga muerta consiste en el peso total de la estructura, incluyendo la calzada, capa de rodadura, aceras, conductos de servicio público como cables, tuberías, etc.

La distribución de la carga muerta es un factor muy significativo en el diseño de puentes: en la mayoría de los casos, la carga muerta es asumida como uniformemente distribuida en la dirección longitudinal del elemento estructural que se está tratando, tal es el caso de la losa o tablero, y de la viga principal o longitudinal.

1.6 CARGA VIVA, CAMIÓN TIPO.-

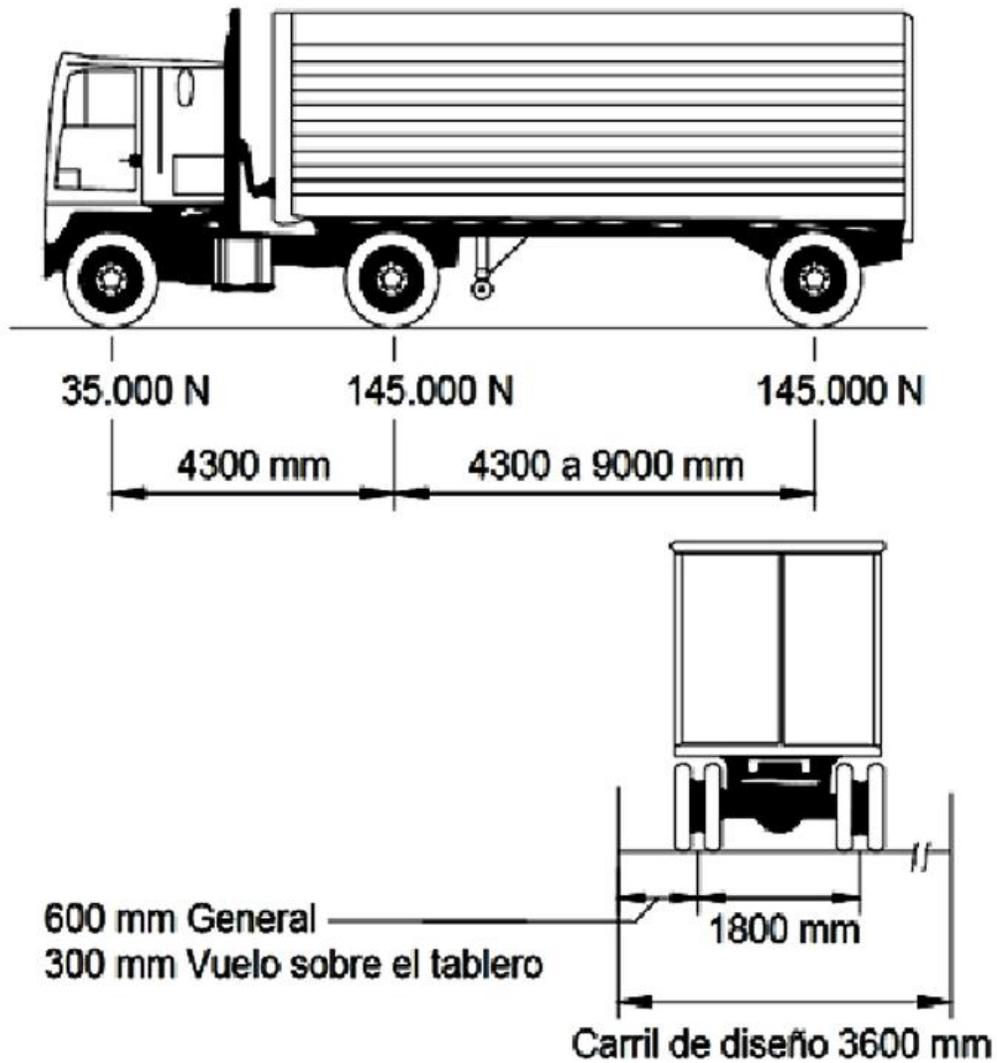
La carga viva sobre la calzada de los puentes consistirá de camiones tipo o cargas por faja de tráfico equivalentes a un convoy o caravana de camiones. Según la AASHTO se consideran dos tipos de camión: el camión tipo H y el camión tipo HS, siendo este último el más pesado.

El camión tipo HS, es designado así por consistir en un camión de dos ejes que arrastra a otros dos o más ejes de un acoplado o su carga equivalente por faja de tráfico. Este camión tipo es designado por las letras HS seguidas de dos dígitos que indican el peso bruto del camión y del acoplado respectivamente. El espaciamiento entre el eje trasero del camión y el primer eje del acoplado es Variable, permitiendo esta variación una mejor distribución de las cargas en puentes de luces continuas, en las que las cargas de los ejes más pesados pueden ser ubicadas en los tramos

adyacentes para producir los máximos momentos negativos. Este modo de designar fue empleado por la AASHTO en el año 1944.

Figura.3

Las Figuras muestran la distribución de cargas vivas de un camión tipo.



En resumen, se puede concluir que, de acuerdo con las normas AASHTO existen dos sistemas de carga para puentes vehiculares: el del camión tipo por una parte y el de la carga equivalente.

Tanto la carga procedente del camión tipo como de la carga equivalente se asumen que ocupan un ancho de carga de 3.00 metros. Estas cargas podrán ser ubicadas en un ancho de acuerdo al tipo de esfuerzo máximo que se está buscando

1.6.1 Faja de tráfico.-Las cargas vivas provenientes de los camiones tipo, actuando sobre la calzada del puente, deben ser aplicadas dentro de una faja de tráfico, la misma que consiste en una línea paralela al tráfico que ocupa un ancho mínimo de 3.60 metros.

El ancho de calzada, medido entre los bordillos de las aceras correspondientes, depende directamente del ancho de la faja de tráfico y del número de vías que se consideren necesarias en el puente, pudiendo determinarse de acuerdo con la siguiente relación:

$$W = \frac{W_c}{N}$$

Donde:

W : Ancho de la faja de tráfico

W_c: Ancho libre de calzada (distancia entre bordillos)

N: Número de fajas de tráfico.

1.6.2 Reducción de la intensidad de carga.- Cuando los esfuerzos máximos en algún miembro son producidos, por la carga simultánea de un cierto número de fajas de tráfico, los siguientes porcentajes de la carga viva se emplearán, en vista de la improbable coincidencia de las cargas:

Una o dos fajas de tráfico 100 %

Tres fajas de tráfico 90 %

Cuatro o más fajas de tráfico 75 %

1.7 CARGAS EN LOS BORDILLOS.-

Los bordillos serán diseñados para resistir una fuerza lateral de 7.36KN por metro lineal de bordillo aplicada en el coronamiento del bordillo o en un punto cuya altura sobre el piso sea de 25 cm. Según AASHTO

1.8 PUENTE LOSA.

1.8.1 Calculo del espesor mínimo de la losa = h

Según la norma ASTHO se tiene la siguiente CUADRO. que recomienda el espesor de la losa.

Cuadro. 1

Profundidades mínimas tradicionales para superestructuras de profundidad constante

SUPERESTRUCTURA		Profundidad mínima (incluyendo tablero) Si se usan elementos de profundidad variable, estos valores se pueden ajustar para considerar los cambios de rigidez relativa en las secciones en momentos negativos y positivos	
Material	Tipo	Tramos simples	Tramos continuos
Hormigón Armado	Losas con armadura principal en paralela al trafico	$\frac{1.2(s + 300)}{30}$	$\frac{s + 3000}{30}$ > 165mm
	Vigas T	0.070 L	0.065 L
	Vigas cajón	0.060 L	0.055 L
	Vigas de estructuras peatonales	0.035 L	0.033L
Hormigón Pretensado	Losas	$0,030L \geq 165 \text{ mm}$	$0,027L \geq 165 \text{ mm}$
	Vigas cajón coladas in situ	0,045 L	0,040 L
	Vigas doble T prefabricadas	0,045 L	0,040 L
	Vigas de estructuras peatonales	0,033 L	0,030 L
	Vigas cajón adyacentes	0,030 L	0,025 L
Acero	Profundidad total de la viga doble T compuesta	0,040 L	0,032 L
	Profundidad de la porción de sección doble T de la viga doble T compuesta	0,033 L	0,027 L
	Cerchas	0,100 L	0,100 L

Como en este caso el puente es de losa maciza y esta simplemente apoyado y con armadura principal paralela al tráfico se usa la siguiente expresión

$$h = \frac{1.2 * (s + 3000)}{30} \quad (2.1)$$

Donde.-

S= luz libre del puente desde ejes de apoyo en (mm)

1.8.2 Momento por carga muerta.-

Peso propio: Esta es una carga que debe ser definida previo pre dimensionamiento de la estructura, es muy importante, motivo por el que debe ser estimada de la manera más exacta, tampoco debe ser exagerada ya que la limitación de longitud de vanos fundamentalmente se debe al peso muerto de las estructuras para el pre diseño se tiene una serie de datos que guardan relación con obras que ya han sido construidas.

La carga muerta de la superestructura, para el caso de puentes losa generalmente está constituida la losa de hormigón, bordillo, aceras, barandas si existes y capa de rodadura, se denominan carga muerta permanente y complementarias si tienen tuberías cables y otros servicio públicos la carga muerta de la infraestructura la constituyen su coronamiento elevación y fundación

Para losa simplemente apoyada:

$$M_m = \frac{q \cdot L^2}{8} \quad (2.2)$$

Donde:

M_m = Momento por carga muerta

q = carga total muerta

L = Luz libre del puente

1.8.3 Momento de flexión por carga viva.-

Carga viva.- Los originan las cargas producidas por vehículos tipo, personas e impactos de acuerdo a norma AASHTO, ubicadas en los lugares más críticos de manera tal que produzcan los mayores esfuerzos.

En todos los casos la permanencia de la carga viva sobre los puentes en general son inferiores a las 24 horas.

El reglamento ASSTHO distingue dos tipos de carga viva camión tipo que se toma como carga única por cada faja de tráfico y correspondiente carga equivalente que relanza al camión tipo al haberse sobrepasado una determinada longitud

$$\text{Factor de carga} = \frac{S}{5} = \quad (S_{\text{max}} = 10 \text{ pies}) \quad (2.3)$$

Donde

$$\text{Carga por rueda trasera} = 1.1 \times 16000 = 17600 \text{ lb}$$

$$\text{Carga por rueda delantera} = 1.1 \times 4000 = 4400 \text{ lb}$$

1.8.4 Teorema de BARRE

Donde:

$$a = b = 14 \text{ pies}$$

$$P1 = \text{Carga de la rueda trasera}$$

$$P2 = \text{Carga de la otra rueda trasera} = P1$$

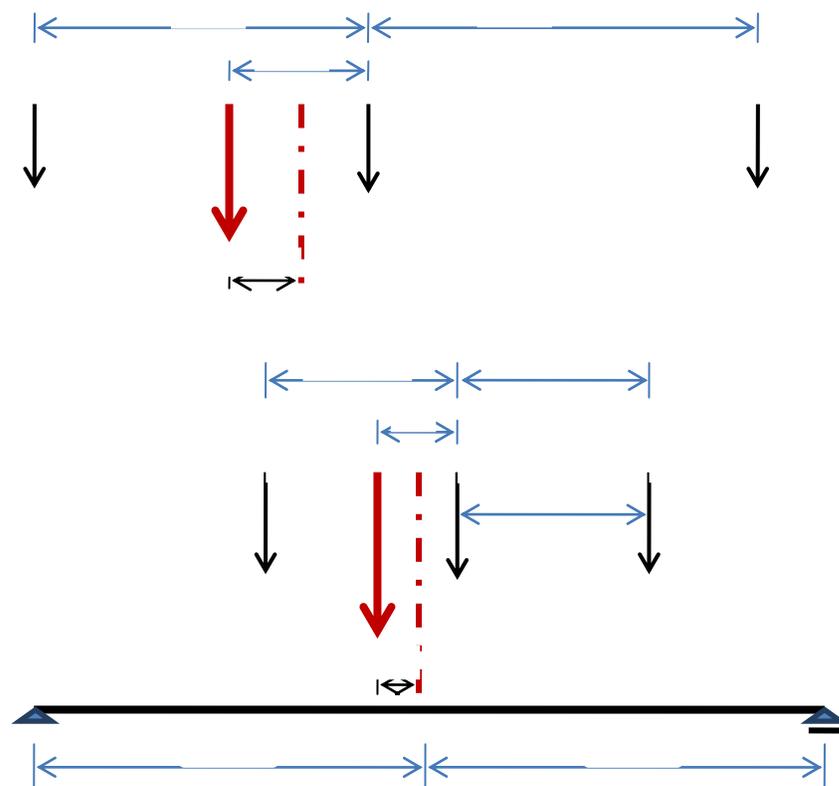
$$P3 = \text{carga de la rueda delantera}$$

$$R = \text{resultante de las tres anteriores cargas}$$

$$R = (P1 \cdot 2) + P3 \quad (2.4)$$

En la siguiente figura podemos encontrar a detalles todos estos valores

Figura.4



Momento en P2 (Mp2)

$$M_{p2} = P2 \cdot a \quad (2.5)$$

Momento en P3 (Mp3)

$$M_{p3} = P3 \cdot (a + b) \quad (2.6)$$

Distancia desde P1 hasta la resultante de la carga (D)

$$D = \frac{M_{p2} + M_{p3}}{R} \quad (2.7)$$

Distancia desde P2 hasta la resultante (X)

$$X = a - D \quad (2.8)$$

$$D1 = \frac{1}{2} - D - \frac{X}{2} \quad (2.9)$$

Reacción máxima de la carga viva = R1

$$R1 = \frac{[P1 \cdot (1 - D1)] + \left[P1 \cdot \left(\frac{1}{2} \right) - X \right] + P3 \cdot [a + a + D1]}{L} \quad (2.10)$$

Donde:

L= luz libre del puente (pies)

Momento máximo por carga viva = Mmax

$$M_{max} = R1 \cdot \left(\frac{1}{2} + X \right) - P1 \cdot a \quad (2.11)$$

1.8.5 Efectos dinámicos de las cargas móviles de impacto.- Si un vehículo cruza un puente a una velocidad normal, este produce un incremento de esfuerzos en las partes de la estructura del puente, tan grandes como los que produciría un vehículo en posición estática sobre el mismo. Este incremento de esfuerzos debido al efecto de las fuerzas del vehículo en movimiento se conoce como impacto.

$$I = \frac{50}{S + 125} < 0.30 \quad (2.12)$$

Donde:

S= Luz libre desde ejes de apoyo

1.8.6 Momento total a flexión.-Es la sumatoria de los 3 momentos que son los siguientes:

$$M_t = M_m + M_v + M_i \quad (2.13)$$

Donde:

M_m= Momento muerto

Mv= Momento vivo

Mi= Momento por impacto

1.8.7 Diseño de la losa método de rotura.-

$\phi = 0.9$ Factor de reducción de la capacidad

$\beta = 0.85$ Es un factor que según el ACI 10.2.7.3 se debe tomar como 0.85 para resistencias del concreto $f'c$ hasta 280 kg/cm^2 .

$$M_u = 1.3 \cdot (M_m + 1.67 \cdot (M_v + M_i)) \quad (2.14)$$

Donde:

Mu= Momento ultimo

Mm= Momento muerto

Mv= Momento vivo

Mi= Momento por impacto

1.8.8 Cuantía balanceada = (ρ_b)

$$\rho_b = \left(\frac{0.85 \cdot \beta \cdot f_c}{f_y} \right) \cdot \left(\frac{87000}{87000 + f_y} \right) \quad (2.15)$$

Donde:

ρ_b = Cuantía balanceada

f_c = resistencia del hormigón (lp/pulg²)

f_y = resistencia del acero (lp/pulg²)

1.8.9 Cuantía máxima (ρ_{max})

$$\rho_{max} = \rho_b \cdot 0.75 \quad (2.16)$$

1.8.10 Cuantía mínima (ρ_{min})

$$\rho_{min} = 3 \cdot \frac{\sqrt{f_c}}{f_y} \quad (2.17)$$

1.8.11 Comprobando el espesor de la losa (d)

$$d = \sqrt{\frac{M_u \cdot 100}{\theta \cdot \rho \cdot b \cdot f_y \cdot \left(1 + \frac{\rho \cdot f_y}{1.7 \cdot f_c}\right)}} \quad (2.18)$$

Donde:

d = Espesor de la losa (cm)

Mu= Momento ultimo (kg.m)

ρ = Cuantía de acero adoptada entre la ρ_{max} y la ρ_{min}

b = 100 cm de losa

f_y = Modulo de resistencia del acero (kg/cm²)

f_c = modulo de resistencia del hormigón (kg/cm²)

1.8.12 Hallando la nueva cuantía para el área de acero.

$$\rho = \frac{\theta \cdot b \cdot d^2 \cdot f_y - \sqrt{(\theta \cdot b \cdot d^2 \cdot f_y)^2 - 4 \cdot \left(\frac{\theta \cdot b \cdot d^2 \cdot f_y^2}{1.7 \cdot f_y}\right) \cdot (M_u \cdot 100)}}{2 \cdot \left(\frac{\theta \cdot b \cdot d^2 \cdot f_y^2}{1.7 \cdot f_y}\right)} \quad (2.19)$$

$$\rho_{max} \leq \rho \leq \rho_{min}$$

Donde:

ρ = Nueva cuantía para el hallar el área de acero necesaria

$\phi = 0.9$ Factor de reducción de la capacidad

$b = 100$ cm de losa

$d =$ canto útil de la losa

$f_y =$ Modulo de resistencia del acero (kg/cm²)

$f_c =$ modulo de resistencia del hormigón (kg/cm²)

$M_u =$ Momento ultimo (kg.m)

1.8.13 Área de acero a flexión en dirección al tráfico. (A_s)

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d \quad (2.20)$$

Donde:

$\rho =$ Nueva cuantía para hallar el área de acero necesaria

$b = 100$ cm de losa

$d =$ canto útil de la losa

1.8.14 Acero de repartición (En losa con armadura principal paralelo al tráfico).

$$A_{sr} = \frac{100}{\sqrt{S}} < 50\% A_s \quad (2.21)$$

Donde:

$A_{sr} =$ Acero de repartición

$S =$ Luz libre del puente desde los apoyos

1.8.15 Acero por repartición y temperatura (A_{st})

$$A_{st} = 0.0018 \cdot b \cdot d > 2.645 \text{ cm}^2 \quad (2.22)$$

Donde:

$b = 100$ cm de losad = canto útil de la losa

1.9 PUENTES ESIVAJADOS

Con respecto a puentes que tienen ángulo de esviaje, el autor del libro Puentes, Ing. Hugo Belmonte Gonzales, establece:

En la generalidad de los casos los puentes modernos son esviajados, no presentando mayores problemas si este lleva vigas, en cambio cuando se trata de losas simplemente apoyadas los esfuerzos que en ella se presentan difieren de las losas rectas, aumentando esta diferencia con el ángulo de esviaje.

Las cargas se transmiten a los apoyos extremos tratando de seguir el camino más corto para llegar a ellos. Se puede observar entonces que los planos de esfuerzo máximo no son paralelos al eje del camino con lo que la deformación de la losa a la de una superficie alabeada.

La determinación exacta de estas variaciones de reacción es muy difícil, sin embargo a continuación se presenta un procedimiento simplificado que permite soluciones rápidas y racionales.

Tratándose de tramos con varias losas esviajadas, la reacción sobre las pilas se va compensando tendiendo a la uniformidad.

Si el esviaje es hasta 20° , para el cálculo se considerara como luz la que se mide a lo largo de la línea central en el eje del camino procediéndose luego como si la losa fuera recta incrementando las reacciones en las esquinas de los ángulos obtusos entre 0 y 50% sobre la reacción medida en proporción al ángulo de esviaje.

Si el ángulo está entre 20° y 50° se tomará como luz, la distancia perpendicular a la cara de los apoyos, procediéndose luego como si la losa fuese recta con lo que se define su espesor y armadura, pero como no es recomendable disponer la armadura A_1 perpendicularmente a la cara de los estribos porque no se cubren las solicitaciones de torsión en las esquinas con ángulos agudos, lo que se hace es proyectar esta armadura para lo que se multiplica el área de acero por la secante al cuadrado del ángulo de esviaje con lo que se obtiene la armadura paralela al eje del camino.

En este caso, las reacciones en las esquinas de los ángulos obtusos se incrementan entre 50 y 90% sobre la reacción media y proporcionalmente al ángulo de esviaje comprendido entre 20 y 50°.

Para esviajes mayores a 50° no se debe emplear losa por muy cortos que sean los tramos recomendándose en este caso las vigas T, las cuales provocan reacciones mayores en correspondencia con el ángulo obtuso pero en menor proporción que las losas despreciándose este incremento en el cálculo.

El Tablero Oblicuo.-

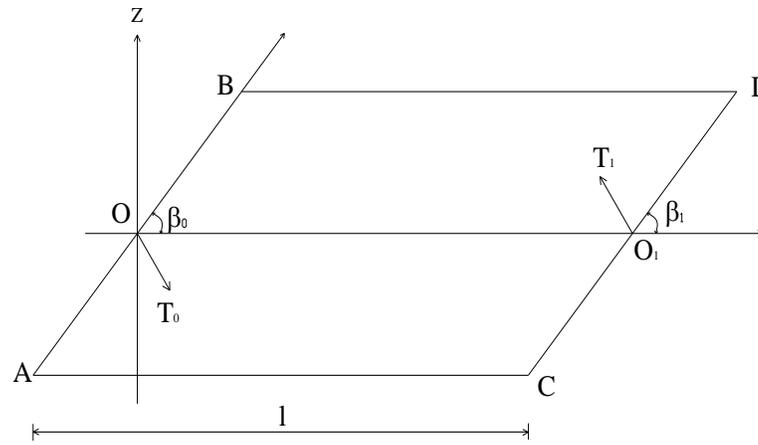
La oblicuidad del contorno determina un modo específico de comportamiento resistente de los tableros de puentes. Su efecto es similar a una deformación de torsión impuesta al tablero, que perturba sustancialmente su respuesta.

Las variables significativas en este fenómeno se pueden agrupar en dos grandes apartados. En el primero están las que dependen de la geometría en planta del tablero y de sus vinculaciones externas, es decir la magnitud de la oblicuidad, la relación ancho luz y el tipo de vinculaciones de contorno. El segundo lo constituyen las diversas morfologías resistentes del tablero que se decantan en la distribución de rigideces en planta. Podemos tener tableros losa, macizos o aligerados, tableros de vigas y por último el tablero cajón.

Generalidades Sobre Puentes Oblicuos.-

Tramo independiente sobre apoyos oblicuos. Supongamos una viga bi-apoyada sobre dos líneas que tienen una oblicuidad β_1 con el eje. Esta abstracción de cálculo corresponde a un planteamiento real, en el cual el tablero tiene un ancho de calzada muy pequeño y sus apoyos se instalan con una oblicuidad.

Figura. 5



La Figura.5 Representa la planta en tramo independiente oblicuo ABCD; el eje OX está dirigido según la fibra media de la viga y el eje OY (horizontal) es normal a ella y el OZ está dirigido según la vertical ascendente.

Sea l la luz del tramo. En el origen $x = 0$, el apoyo permite sólo rotaciones de la recta AB, el ángulo $(OX, AB) = \beta_0$ define la oblicuidad del apoyo.

Del mismo modo, en el extremo $x = l$, el apoyo permite sólo rotaciones alrededor de la recta CD y el ángulo $(OX, CD) = \beta_1$ define la oblicuidad del mismo.

1.9.1 Cálculo De Los Esfuerzos Cuando Ambos Apoyos Tienen La Misma Oblicuidad.-

El Tablero Oblicuo.- La oblicuidad del contorno determina un modo específico de comportamiento resistente de los tableros de puentes. Su efecto es similar a una deformación de torsión impuesta al tablero.

Suponiendo que la oblicuidad de ambos apoyos es igual.

$$\beta_0 = \beta_1 = \beta$$

Dado que las fuerzas exteriores aplicadas al tablero son cargas verticales, los elementos de reducción de las reacciones de apoyo respecto a los centros de gravedad de las correspondientes secciones se limitan a una fuerza vertical y a un par de eje normal al de rotación de apoyo.

Así tenemos cuatro reacciones desconocidas; las reacciones verticales R_0 y R_1 y los pares T_0 y T_1 normales a AB y CD como la estática proporciona tres ecuaciones de equilibrio.

$$F_V = 0 \quad (\text{Proyección de las fuerzas sobre OZ})$$

$$M_X = 0 \quad (\text{Proyección de los momentos sobre OX y OY})$$

$$M_Y = 0 \quad (\text{OX y OY})$$

El tramo oblicuo independiente es simplemente hiperestático.

Supongamos primero que las cargas están centradas; es decir aplicadas a lo largo de la ficha media. La ecuación que se obtiene como proyección de los momentos sobre OX se reduce a:

$$T_0 + T_1 = 0$$

Y las otras dos ecuaciones de equilibrio de la estática son las de la viga simplemente apoyada de la misma luz y sometida a idénticas cargas.

En función de la incógnita hiperestática T_0 el momento flector M_X y el par de torsión C_X se expresa por las fórmulas:

$$(\text{Momento flector}) \quad M_X = m_X - T_0 \cos \beta$$

Ecuación (2.23.)

$$(\text{Momento torsor}) \quad C_X = T_0 \sin \beta$$

Designamos M_X , según es usual, el momento flector correspondiente a la viga simplemente apoyada.

Determinar T_0 Mediante el teorema de Menabrea.

Si por EI rigidez a flexión GK rigidez de torsión del tablero que constituye el tramo, el trabajo potencial del sistema vale:

$$W = \frac{1}{2} \cdot \int_0^1 \frac{M^2}{EI} dx + \frac{1}{2} \cdot \int_0^1 \frac{C^2}{GK} dx$$

El Teorema de Menabrea conduce a:

$$\frac{dW}{dT_0} = \int_0^1 \frac{M}{EI} \left(\frac{dM}{dT_0} \right) dx + \int_0^1 \frac{C}{GK} \left(\frac{dC}{dT_0} \right) dx = 0$$

De la ecuación 2.23. se tiene:

$$\frac{dM}{dT_0} = -\cos \beta$$

$$\frac{dC}{dT_0} = \text{sen} \beta$$

Reemplazando obtenemos así la condición:

$$-\cos \beta \cdot \int_0^1 \frac{M}{EI} dx + \text{sen} \beta \cdot \int_0^1 \frac{C}{GK} dx = 0$$

Multiplicando por (-1)

$$\cos \beta \cdot \int_0^1 \frac{M}{EI} dx - \text{sen} \beta \cdot \int_0^1 \frac{C}{GK} dx = 0 \quad \text{Ecuación (2.24.)}$$

Sustituyendo en esta ecuación M y C por sus valores de 1 se obtiene la ecuación siguiente:

$$\cos \beta \cdot \left[\int_0^1 \frac{m_x - T_0 \cdot \cos \beta}{EI} dx \right] - \text{sen} \beta \cdot \left[\int_0^1 \frac{T_0 \cdot \text{sen} \beta}{GK} dx \right] = 0$$

$$\cos \beta \cdot \int_0^l \frac{m_x}{EI} dx - T_0 \cdot \cos^2 \beta \cdot \int_0^l \frac{dx}{EI} - T_0 \cdot \sin^2 \beta \cdot \int_0^l \frac{dx}{GK} = 0$$

$$T_0 \cdot \left[\cos^2 \beta \cdot \int_0^l \frac{dx}{EI} + \sin^2 \beta \cdot \int_0^l \frac{dx}{GK} \right] = \cos \beta \cdot \int_0^l \frac{m_x}{EI} dx \quad \text{Ecuación (2.25.)}$$

Así el problema queda resuelto. La viga se halla sometida a un par de torsión constante $T_0 \sin \beta$ y desde el punto de vista de los momentos flectores, todo sucede como si la viga estuviese sometida a los momentos de empotramiento.

$$M_0 = M_1 = -T_0 \cdot \cos \beta$$

Definiendo el coeficiente β por.

$$\int_0^l \frac{dx}{GK} = \lambda \cdot \int_0^l \frac{dx}{EI} \quad \lambda = \frac{EI}{GK}$$

La ecuación 3.3. escribiremos de la forma:

$$T_0 \cdot [\cos^2 \beta + \lambda \cdot \sin^2 \beta] \cdot \int_0^l \frac{dx}{EI} = \cos \beta \cdot \int_0^l \frac{m_x}{EI} dx \quad \text{Ecuación (2.26.)}'$$

Si se trata de un puente recto $\beta = \frac{\pi}{2}$

$$\cos \beta = 0 \quad T_0 = 0$$

Los esfuerzos se reducen entonces a los de la viga simplemente apoyada.

Lo mismo sucede para un tramo que tenga pequeña rigidez o torsión (secciones abiertas) ya que X es muy grande.

Por lo contrario, en el caso de secciones tubulares que tienen gran rigidez a torsión, los momentos flectores son más pequeños que los de la viga simplemente apoyada.

Supongamos ahora cargas cualquiera; el apoyo origen da un par T_0 normal a AB y una reacción vertical igual a la que corresponde a la viga simplemente apoyada,

aumentada en una reacción complementaria R , en estas condiciones, como expresiones del momento flector M y del par de torsión C , tenemos.

$$M_X = m_{(x)} - T_0 \cos \beta + R_X$$

$$C_X = \gamma_{(x)} + T_0 \operatorname{Sen} \beta \quad \text{Ecuación (2.27.)}$$

Siendo $y_{(x)}$ el momento respecto de OX de las cargas verticales aplicadas en las reacciones de abscisas inferiores ax , por tanto, tenemos $y_{(0)}$ y en general $y_{(1)} \neq 0$

Los valores M_1 y C_1 y $C_{(x)}$ para $x = l$ son:

$$M_1 = -T_0 \cdot \cos \beta + Rl$$

$$C_1 = T_0 \cdot \operatorname{sen} \beta + \gamma_{(l)}$$

Y como el momento de componentes M_1 y C_1 debe ser normal al eje CD de la articulación de apoyo, se tiene:

$$C_1 \cdot \cos \beta + M_1 \cdot \operatorname{sen} \beta = 0$$

Sustituyendo M_1 y C_1 por sus valores, obtenemos R

$$(T_0 \cdot \operatorname{sen} \beta + \gamma_{(l)}) \cdot \cos \beta - (T_0 \cdot \cos \beta + Rl) \cdot \operatorname{sen} \beta = 0$$

$$T_0 \cdot \operatorname{sen} \beta \cdot \cos \beta + \gamma_{(l)} \cdot \cos \beta - T_0 \cdot \cos \beta \cdot \operatorname{sen} \beta + R \cdot l \cdot \operatorname{sen} \beta = 0$$

$$R = -\frac{\gamma_{(l)}}{l \cdot \operatorname{tg} \beta} \quad \text{Ecuación (2.28.)}$$

T_0 es, pues la única incógnita hiperestática que queda. La aplicación del teorema de Menabrea, reemplazando los valores de M y C se obtiene la fórmula siguiente, que da

$$T_0: \frac{dW}{dT_0} = \int_0^l \frac{M}{EI} \left(\frac{dM}{dT_0} \right) dx + \int_0^l \frac{C}{GK} \left(\frac{dC}{dT_0} \right) dx = 0$$

De la ecuación (3.4.) se tiene:

$$\frac{dM}{dT_0} = -\cos \beta$$

$$\frac{dC}{dT_0} = \operatorname{sen} \beta$$

Reemplazando obtenemos así la condición:

Ecuación (2.29.)

$$T_0 \left[\cos^2 \beta \cdot \int_0^1 \frac{dx}{EI} + \operatorname{sen}^2 \beta \cdot \int_0^1 \frac{dx}{GK} \right] = \cos \beta \cdot \int_0^1 \frac{m_{(x)} + Rx}{EI} dx - \operatorname{sen} \beta \cdot \int_0^1 \frac{\gamma_{(x)}}{GK} dx$$

Si introducimos el valor $M_0 = -T_0 \cos \beta$ (momento flector en el origen) en las fórmulas anteriores se escribe:

Ecuación (2.30.)

$$M_{(x)} = m_{(x)} - T_0 \cdot \cos \beta + Rx$$

R satisface la relación

$$R = \frac{M_1 - M_0}{l}$$

$$M_{(x)} = m_{(x)} + M_0 + M_1 \frac{x}{l} - M_0 \frac{x}{l}$$

$$M_{(x)} = m_{(x)} + M_0 \left(1 - \frac{x}{l} \right) + M_1 \frac{x}{l}$$

Apliquemos los resultados anteriores al caso de una carga concentrada P, con una excentricidad $y = e$ y aplicada en la sección de abscisa, en el supuesto de que la viga es de sección constante. En este caso:

$$\gamma_x = \begin{cases} 0 & \text{Para } x < \alpha \\ -Pe & \text{Para } x > \alpha \end{cases}$$

La Ecuación (2.31.) da entonces:

$$R = \frac{Pe}{l \cdot \operatorname{tg} \beta}$$

La ecuación (2.32.) permite obtener To:

$$T_o \left[\cos^2 \beta \cdot \int_0^l \frac{dx}{EI} + \operatorname{sen}^2 \beta \cdot \int_0^l \frac{dx}{GK} \right] = \cos \beta \cdot \int_0^l \frac{m_{(x)} + Rx}{EI} dx - \operatorname{sen} \beta \cdot \int_0^l \frac{\gamma_{(x)}}{GK} dx$$

$$T_o [\cos^2 \beta + \lambda \cdot \operatorname{sen}^2 \beta] \cdot \int_0^l \frac{dx}{EI} = \cos \beta \cdot \int_0^l \frac{m_{(x)}}{EI} dx + \cos \beta \cdot \int_0^l \frac{Rx}{EI} dx - \operatorname{sen} \beta \cdot \int_0^l \frac{\gamma_{(x)}}{GK} dx$$

$$T_o [\cos^2 \beta + \lambda \cdot \operatorname{sen}^2 \beta] \cdot \int_0^l \frac{dx}{EI} = \frac{P(1-\alpha)}{2l} \alpha \cdot \cos \beta \cdot \int_0^l \frac{dx}{EI} + \cos \beta \cdot \frac{Pe}{1 \cdot \operatorname{tg} \beta} \alpha \cdot \int_0^l \frac{dx}{EI} - \operatorname{sen} \beta \cdot Pe \cdot \lambda \left(1 - \frac{\alpha}{l} \right) \cdot \int_0^l \frac{dx}{EI}$$

$$T_o [\cos^2 \beta + \lambda \cdot \operatorname{sen}^2 \beta] = \frac{P\alpha(1-\alpha)}{2l} \cos \beta + \frac{Pe}{\operatorname{sen} \beta} \left[\frac{1}{2} \cos^2 \beta - \lambda \left(1 - \frac{\alpha}{l} \right) \operatorname{sen}^2 \beta \right]$$

En el caso de un puente recto

$$\beta = \frac{\pi}{2}$$

$$T_o = Pe \left(1 - \frac{\alpha}{l} \right)$$

$R = 0$

$$M_{(x)} = m_{(x)} =$$

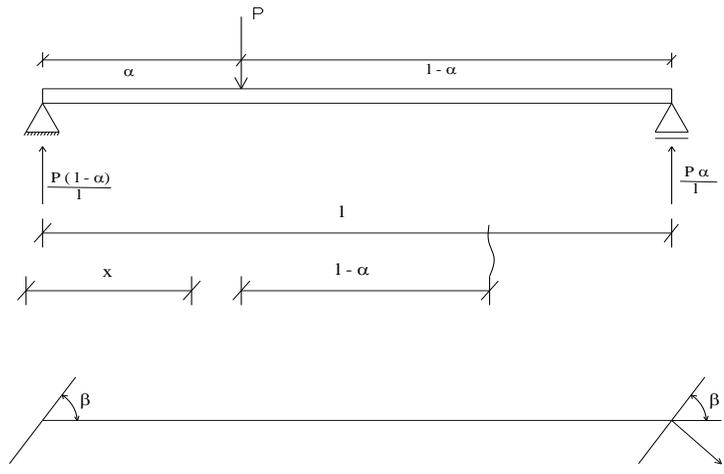
$$C_{(x)} \begin{cases} Pe \left(1 - \frac{\alpha}{l} \right) & \text{Para } x < \alpha \\ -Pe \cdot \frac{\alpha}{l} & \text{Para } x > \alpha \end{cases}$$

1.9.1.1 Aplicación Práctica De Las Ecuaciones Desarrolladas.-

1.9.1.1.1 Carga Puntual.-

Se considera una carga concentrada P aplicada a la sección de abscisa.

Figura.6



$$\text{Para } 0 < x < \alpha \quad m(x) = \frac{P \cdot (1-x)}{1} \cdot x$$

$$\text{Para } \alpha \leq x \leq 1 \quad m(x) = \frac{P \cdot (1-x)}{1} \cdot x - P \cdot (x - \alpha)$$

$$m(x) = \frac{P \cdot 1 \cdot x - P \cdot \alpha \cdot x + P \cdot 1 \cdot \alpha}{1} = \frac{P \cdot (1 \cdot \alpha - \alpha \cdot x)}{1}$$

$$m(x) = P \cdot \left(\alpha - \frac{\alpha \cdot x}{1} \right)$$

De la ecuación (2.33.)

$$T_{O(\alpha)} \cdot [\cos^2 \beta + \lambda \cdot \sin^2 \beta] \cdot \int_0^1 \frac{dx}{EI} = \cos \beta \cdot \int_0^1 \frac{m_x}{EI} dx$$

$$T_{O(\alpha)} \cdot [\cos^2 \beta + \lambda \cdot \sin^2 \beta] \cdot \left[\frac{1}{EI} \right] = \frac{\cos \beta}{EI} \cdot \left[\int_0^\alpha \frac{P \cdot (1-\alpha)}{1} \cdot x \cdot dx + \int_\alpha^1 P \cdot \left(\alpha - \frac{\alpha \cdot x}{1} \right) dx \right]$$

$$B = \cos \beta \left[\frac{P \cdot (1-\alpha)}{1} \cdot \frac{x^2}{2} \right]_0^\alpha + [P \cdot x \cdot x]_\alpha^1 - P \left[\frac{\alpha \cdot x^2}{21} \right]_\alpha^1$$

$$B = \cos \beta \left[\frac{P \cdot (1 - \alpha)}{1} \left[\frac{\alpha^2}{2} \right] + [P \cdot \alpha \cdot 1 - P \cdot \alpha^2] \right] - \left[P \frac{\alpha \cdot 1^2}{2l} - P \frac{\alpha^3}{2l} \right]$$

$$B = \cos \beta \left[\frac{P \cdot (1 - \alpha) \cdot \alpha^2}{2l} + P \cdot \alpha \cdot 1 - P \cdot \alpha^2 - P \frac{\alpha \cdot 1}{2} - P \frac{\alpha^3}{2l} \right]$$

$$B = \cos \beta \left[\frac{Pl\alpha^2 - P\alpha^3 + 2Pl^2\alpha - 2Pl\alpha^2 - Pl^2\alpha + P\alpha^3}{2l} \right]$$

$$B = \cos \beta \left[\frac{Pl^2\alpha - P\alpha^2l}{2l} \right]$$

$$B = P \cdot \cos \beta \left[\frac{\alpha \cdot (l^2 - \alpha \cdot l)}{2l} \right]$$

Luego en forma total

$$T_{O(\alpha)} \cdot [\cos^2 \beta + \lambda \cdot \text{sen}^2 \beta] \cdot [1] = P \cdot \cos \beta \left[\frac{\alpha \cdot (l^2 - \alpha \cdot l)}{2l} \right]$$

$$T_{O(\alpha)} \cdot [\cos^2 \beta + \lambda \cdot \text{sen}^2 \beta] = P \cdot \cos \beta \left[\frac{\alpha \cdot \left(\frac{l^2}{1} - \alpha \right)}{2l} \right]$$

$$T_{O(\alpha)} = \frac{P \cdot \cos \beta}{\cos^2 \beta + \lambda \cdot \text{sen}^2 \beta} \cdot \frac{\alpha \cdot (1 - \alpha)}{2l}$$

$$T_{O(\alpha)} = \frac{P \cdot 1 \cdot (-\xi - \xi^2) \cos \beta}{2(\cos^2 \beta + \lambda \cdot \text{sen}^2 \beta)} \quad \text{con} \quad \xi = \frac{\alpha}{1}$$

El momento de empotramiento

$$M_{O(\alpha)} = M_{I(\alpha)} = -T_{O(\alpha)} \cdot \cos \beta \quad \text{Ecuación (2.34.)}$$

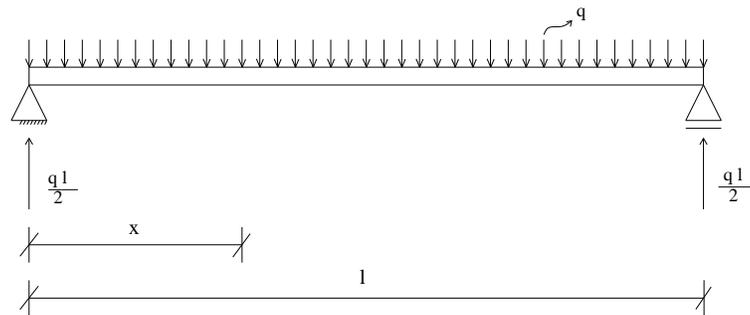
$$M_{O(\alpha)} = M_{I(\alpha)} = -\frac{P \cdot \cos \beta}{\cos^2 \beta + \lambda \cdot \text{sen}^2 \beta} \cdot \frac{\alpha \cdot (1 - \alpha)}{2l} \cdot \cos \beta$$

$$M_{O(\alpha)} = M_{I(\alpha)} = -\frac{P \cdot \cos^2 \beta}{\cos^2 \beta + \lambda \cdot \text{sen}^2 \beta} \cdot \frac{\alpha \cdot (1 - \alpha)}{2l}$$

$$M_{O(\alpha)} = M_{I(\alpha)} = -\frac{P}{1 + \lambda \cdot \text{tg}^2 \beta} \cdot \frac{\alpha \cdot (1 - \alpha)}{2l}$$

1.9.1.1.2 Carga Uniformemente Distribuida.-

Figura.7



$$m(x) = \frac{ql}{2} x - \frac{qx^2}{2}$$

$$m(x) = \frac{q}{2} \cdot (lx - x^2)$$

$$T_0[\cos^2 \beta + \lambda \cdot \text{sen}^2 \beta] \cdot \int_0^l \frac{dx}{EI} = \cos \beta \cdot \int_0^l \frac{m_x}{EI} dx$$

$$T_0[\cos^2 \beta + \lambda \cdot \text{sen}^2 \beta] \cdot \left[\frac{1}{EI} \right] = \frac{\cos \beta}{EI} \cdot \left[\frac{q}{2} \int_0^l (lx - x^2) \cdot dx \right]$$

$$T_0[\cos^2 \beta + \lambda \cdot \text{sen}^2 \beta] \cdot l = \frac{q}{2} \cos \beta \cdot \left[\frac{lx^2}{2} - \frac{x^3}{3} \right]_0^l$$

$$T_o[\cos^2 \beta + \lambda \cdot \text{sen}^2 \beta] \cdot l = \frac{q}{2} \cos \beta \cdot \left[\frac{l^3}{2} - \frac{l^3}{3} \right] = q \cdot \cos \beta \cdot \left[\frac{3l^3 - 2l^3}{12} \right]$$

$$T_{o(\alpha)} = \frac{\cos \beta}{\cos^2 \beta + \lambda \cdot \text{sen}^2 \beta} \cdot \frac{ql^2}{12}$$

Por consiguiente el momento de empotramiento

$$M_{o(\alpha)} = M_{1(\alpha)} = -T_o \cdot \cos \beta = -\frac{\cos^2 \beta}{\cos^2 \beta + \lambda \cdot \text{sen}^2 \beta} \cdot \frac{ql^2}{12}$$

$$M_{o(\alpha)} = M_{1(\alpha)} = -\frac{1}{1 + \lambda \cdot \text{tg}^2 \beta} \cdot \frac{ql^2}{12}$$

1.9.1.1.2.1 Otra Forma De Obtener Los Valores De Los Momentos En Viga Oblicua Apoyada.

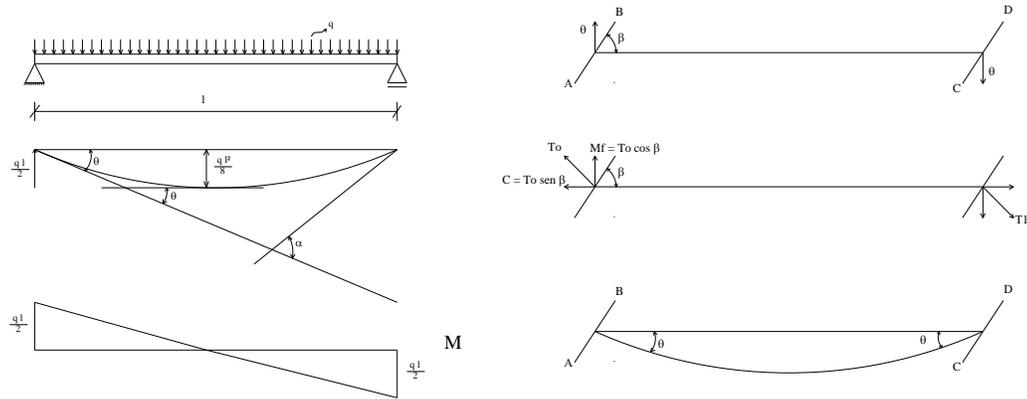
Supongamos una viga bi-apoyada sobre dos líneas que tienen la misma oblicuidad β con eje, en la cual el tablero tiene un ancho muy pequeño

Si la viga está solicitada con una carga uniformemente repartida q , esta viga es hiperestática.

Para hacerla isostática suponemos que tiene apoyo simple y recto en sus extremos. La viga se deformará en sus extremos de valor:

$$\theta = \frac{ql^3}{24EI}$$

Figura. 8



$$M_x = \frac{ql}{2}x - \frac{qx^2}{2}$$

$$M_x = \frac{ql^2}{4} - \frac{ql^2}{8}$$

$$\alpha = \int_A^B \frac{M}{EI} dx = \int_A^B \frac{q}{2} \frac{(lx - x^2)}{EI} dx$$

$$\alpha = \frac{q}{2EI} \int_0^l (lx - x^2) dx = \frac{q}{2EI} \left[\frac{lx^2}{2} - \frac{x^3}{3} \right]_0^l$$

$$\alpha = \frac{q}{2EI} \left[\frac{l^3}{2} - \frac{l^3}{3} \right] = \frac{q}{2EI} \left[\frac{3l^3 - 2l^3}{6} \right]$$

$$\alpha = \frac{ql^3}{12EI} \quad \theta = \frac{1}{2} \alpha = \frac{1}{2} \cdot \frac{ql^3}{12EI}$$

$$\theta = \frac{ql^3}{24EI}$$

$$\theta = \int_0^{\frac{l}{2}} \frac{M}{EI} dx = \frac{q}{2EI} \int_0^{\frac{l}{2}} (lx - x^2) dx = \frac{q}{2EI} \left[\frac{lx^2}{2} - \frac{x^3}{3} \right]_0^{\frac{l}{2}} = \frac{q}{2EI} \left[\frac{1}{2} \left(\frac{l^2}{2^2} \right) - \frac{l^3}{3(2^3)} \right]$$

$$\theta = \frac{q}{2EI} \left[\frac{l^3}{8} - \frac{l^3}{24} \right] = \frac{q}{2EI} \left[\frac{3l^3 - l^3}{24} \right] = \frac{q}{2EI} \left[\frac{2l^3}{24} \right]$$

$$\theta = \frac{ql^3}{24EI}$$

Que determinará que los apoyos A y B tengan un movimiento vertical incompatible con los apoyos oblicuos reales. Para anularlos será necesario introducir, en el apoyo, un momento T_o de eje perpendicular a la línea de apoyos.

La obtención de este momento la realizamos anulando el giro total que produce según la perpendicular a la línea de apoyos:

$$\frac{ql^3}{24EI} \cdot \cos \beta = T_o \left[\frac{\text{sen}^2 \beta}{GJ} + \frac{\cos^2 \beta}{EI} \right] \frac{1}{2} \quad \text{Ecuación (2.35.)}$$

Donde se deduce:

$$T_o = \frac{ql^2 \cos \beta}{12EI \left[\frac{\cos^2 \beta}{EI} + \frac{\text{sen}^2 \beta}{GJ} \right]}$$

Si llamamos

$$R = \frac{1}{\lambda} = \frac{GJ}{EI} \quad \lambda = \frac{EI}{GJ}$$

$R = \frac{GJ}{EI}$ = Relación entre las rigideces a torsión y flexión de la viga

$$T_o = \frac{ql^2 \cos \beta}{12[\cos^2 \beta + \lambda \cdot \text{sen}^2 \beta]} \quad \text{Ecuación (2.36.)}$$

Según la descomposición y las leyes de fuerzas resultantes son:

$$M_f = T_o \cdot \cos \beta \quad (\text{Momento Flector})$$

$$C = T_o \cdot \operatorname{sen} \beta \quad (\text{Momento Torsor})$$

Luego resulta:

El Momento Flector

$$M_1 = M_2 = \frac{q l^2 \cos \beta}{12[\cos^2 \beta + \lambda \cdot \operatorname{sen}^2 \beta]} \cdot \cos \beta$$

$$M_1 = M_2 = \frac{q l^2 \cos^2 \beta}{12[\cos^2 \beta + \lambda \cdot \operatorname{sen}^2 \beta]} = \frac{q l^2}{12[1 + \lambda \cdot \operatorname{tg}^2 \beta]}$$

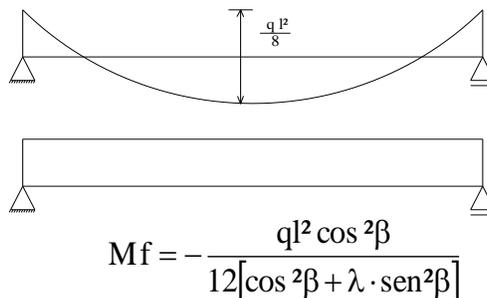
El Momento Torsor

$$C = -\frac{q l^2 \cos^2 \beta}{12[\cos^2 \beta + \lambda \cdot \operatorname{sen}^2 \beta]} \cdot \operatorname{tg} \beta$$

$$C = -\frac{q l^2}{12} \frac{\operatorname{tg} \beta}{[1 + \lambda \cdot \operatorname{tg}^2 \beta]}$$

Donde aparecen momentos flectores negativos en los extremos, y una ley de momentos torsores constante a lo largo de la viga.

Figura.9



$$M_f = -\frac{ql^2}{12[1 + \lambda \cdot \operatorname{tg}^2\beta]}$$

$$C = -\frac{ql^2 \cos^2\beta}{12[\cos^2\beta + \lambda \cdot \operatorname{sen}^2\beta]} \cdot \operatorname{tg}\beta$$

$$C = \frac{ql^2}{12} \frac{\operatorname{tg}\beta}{[1 + \lambda \cdot \operatorname{tg}^2\beta]}$$

Donde:

1. Una viga bi-apoyada, oblicua, se comporta a efectos de la flexión como una viga con empotramientos elásticos, la cual depende de la relación de rigideces a flexión y torsión de la viga y de la oblicuidad.
2. En el caso de valores de $\frac{GK}{EI}$ pequeños, lo que corresponde a vigas T y doble T, W, etc. el momento torsor resulta también tan pequeño y la ley de momentos flectores es prácticamente igual a la de las vigas rectas.
3. Por el contrario, para valores $\frac{GK}{EI}$ grandes, que corresponden a la viga cajón, las leyes de los momentos flectores negativos y la ley de momentos torsores alcanzan valores muy importantes conforme crece la oblicuidad.

CAPÍTULO II

DISEÑO DE INGENIERIA RESULTADOS OBTENIDOS

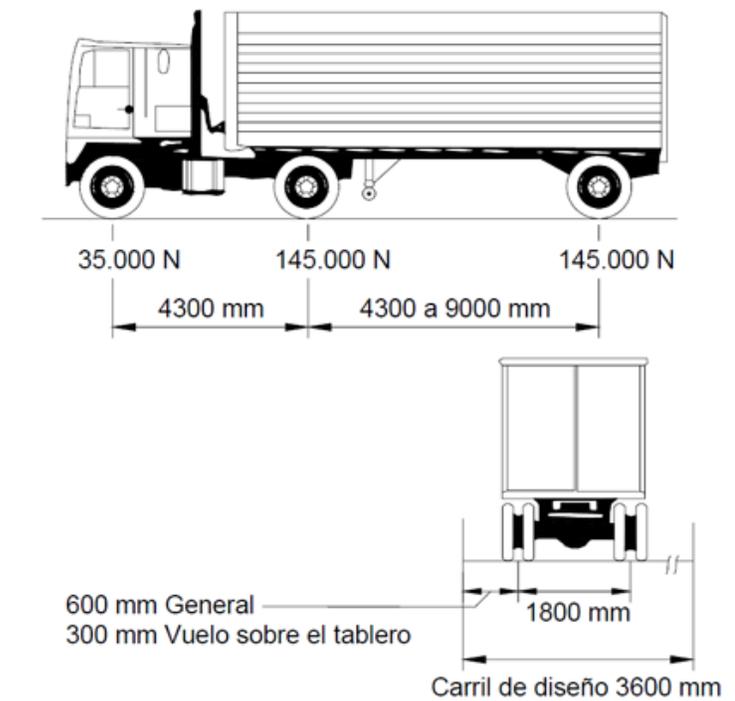
2.1 GENERALIDADES

El ejemplo presentado a continuación muestra el procedimiento de **cálculo para determinar los momentos flectores, armaduras de refuerzo y deflexiones.**

Se ha procedido de acuerdo a las recomendaciones de la Norma AASHTO. El cálculo corresponde a puentes losa de hormigón armado sin ángulo de esviaje.

El procedimiento para la determinación del momento flector máximo en el centro del vano que se ha seguido es, asemejando una viga simplemente apoyada de un metro de ancho con las cargas que la Norma AASHTO recomienda.

Figura.10



El espesor de losas en todos los casos ha sido determinado siguiendo las recomendaciones de la Norma.

La carga equivalente se la determinó en base a la recomendación también de la AASHTO y corresponde cargar la losa con una carga uniformemente distribuida en el ancho efectivo de 3.6 metros de 9.35 Kn/m mas una carga puntual de 80 KN en el centro del vano. Asumiendo que el cálculo se realiza por metro de ancho de losa.

Se determinó el momento que provocan las cargas muertas, las vivas y por impacto, luego se afecta por los coeficientes y se realiza la combinación de cargas también como está señalado en la Norma.

Obtenidos los momentos flectores y cortantes máximos, se procede al cálculo de acero de refuerzo y a determinar la deflexión máxima. (ver memoria de cálculo adjunta) este procedimiento corresponde a puente sin ángulo de esviaje.

Para los puentes con ángulo de esviaje, el autor del Libro Puentes, Ing. Hugo Belmonte, señala que, la determinación exacta de las variaciones de las reacciones en los apoyos es muy difícil, sin embargo presenta un procedimiento simplificado que permite soluciones rápidas.

Si bien el autor plantea algunas recomendaciones, pero estas están referidas a una proyección de armaduras en función a los parámetros de una losa recta, de acuerdo al ángulo de esviaje para que el armado sea paralelo al eje del camino. Como el mismo autor indica, son recomendaciones racionales pero no se constituyen de ninguna manera en un procedimiento analítico de cálculo.

Por tanto, para determinar los esfuerzos que provocan las cargas en los puentes con esviaje, es necesario modelar las estructuras en tres dimensiones y realizar el análisis estructural por elementos finitos.

Entonces se ha utilizado un software especializado que basa su estructura de cálculo en elementos finitos, se han estudiado y calculado detalladamente los puentes losa haciendo variar la luz efectiva cada metro, desde los 2 m hasta los 8m de longitud, además para cada una de esas luces, se ha calculado los puentes con ángulos de esviaje desde 0° hasta los 60° con un incremento cada 5°. Se han calculado para anchos de 4 metros y 7.30.

Los resultados de cada uno de estos cálculos, han sido depurados para seleccionar los esfuerzos máximos, y se han agrupado en los siguientes grupos:

- *Momento máximo positivo en el vano central de la losa.*
- *Momento máximo positivo en el bordillo o viga de borde.*
- *Momento máximo negativo en el bordillo que se produce cerca a los apoyos.*
- *Cortante máximo en los bordillos.*
- *Momento máximo negativo en las esquinas de losa de ángulos agudos.*
- *Torsión.*
- *Deflexión máxima producida.*

Los cuadros 3.1 hasta el 3.14, muestran los resultados de esfuerzos máximos mayorados obtenidos para distintas luces de puentes y ángulos de esviaje, además para anchos de 4 y 7.30 metros.

Los resultados de todas las CUADRO.s, se obtuvieron en base a las siguientes hipótesis de cálculo:

Norma AASHTO para puentes.

Camión tipo HS-20

Carga equivalente.

Carga uniforme de 9.35 KN/m² en una franja de 3.6 m por carril de tráfico.

Carga tipo borde de cuchillo de 80 Kn/m en la franja de 3.6 m por carril (carga transversal al eje del puente).

Carga en aceras de 4.87 Kn/m

Carga de impacto, 7.35 KN/m, equivalente a una carga horizontal en el borde de la acera a una altura de 25 cm desde la superficie de rodadura.

Pesos específicos del hormigón armado 24 Kn/m³

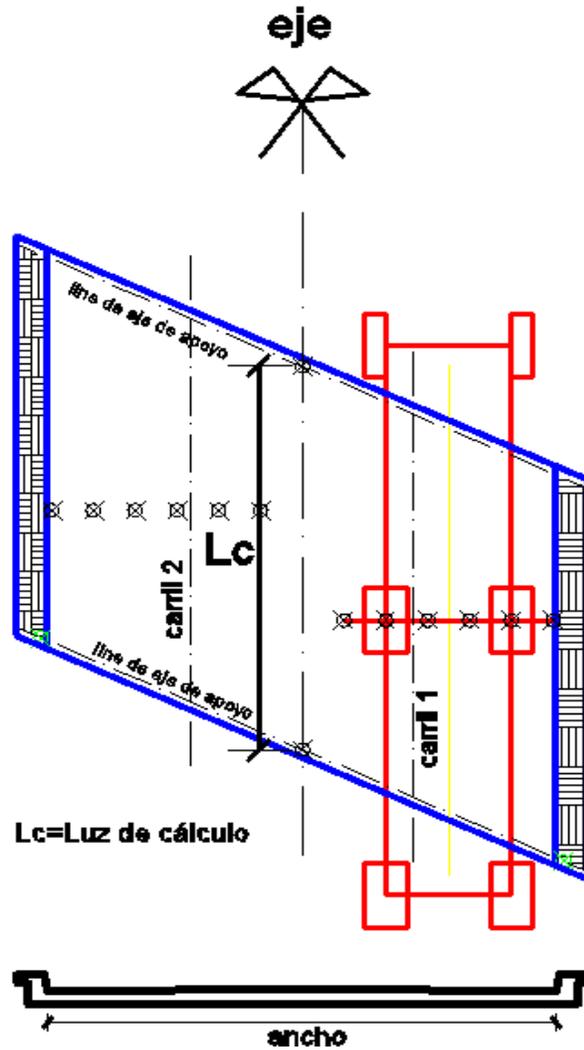
Losa del puente apoyada en sus extremos.

Aceras sin barandado.

Luz de cálculo se refiere a la distancia medida sobre el eje. (Grafico 3.1)

Figura.11

Esquema estructural de cálculo en planta.



Para anchos de 4 metros, corresponde una sola carga debido a carga móvil, pero cuando se trata de puente de 7.3 m, corresponde el análisis a dos franjas de tráfico, motivo por el que se procedió a establecer una nueva hipótesis de cálculo.

Para puente de dos carriles, 7.3 m de ancho se ha basado en la hipótesis de que dos camiones tipo pasan al mismo tiempo y sus trenes tipo se ubican en el centro mismo de la luz por carril.

La hipótesis de cálculo más desfavorable es cuando ambos carriles están cargados, las solicitaciones son mayores. Tratándose de puentes esviajados en particular.

Figura.12

Esquema estructural de la sección transversal del cálculo.

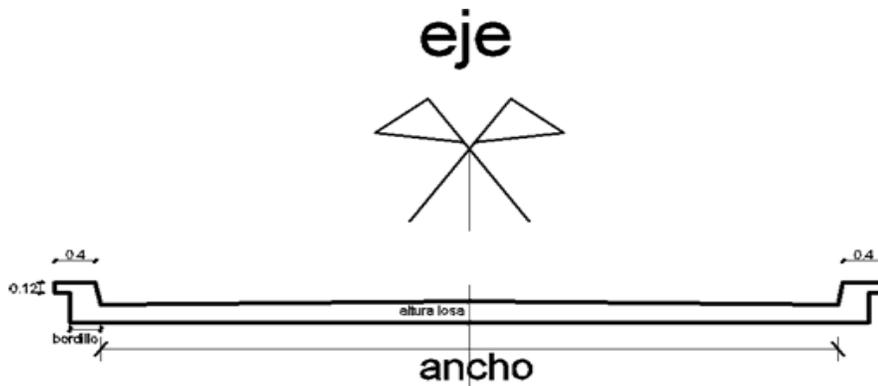
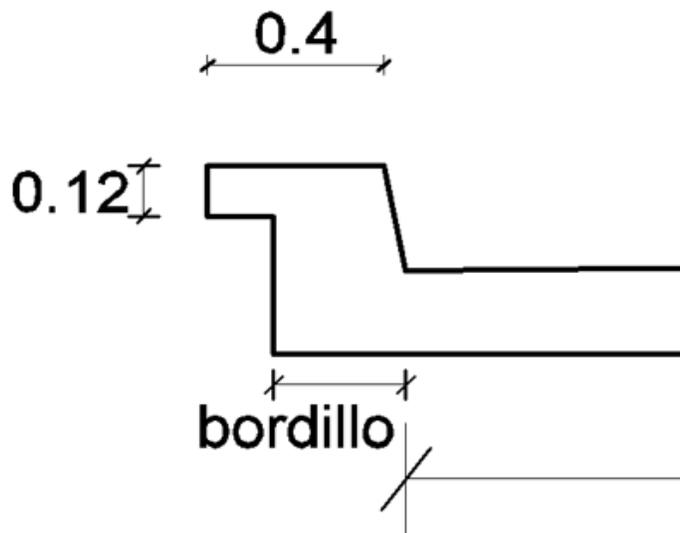


Figura.13

Esquema estructural del bordillo y acera



Por tanto, los resultados corresponden estrictamente a las hipótesis de cálculo y su muestran en los CUADRO.s, adjunto a cada CUADRO. se encuentra el grafico general que muestra como se distribuyen los esfuerzos:

2.2 CALCULO ESTRUCTURAL SUPERESTRUCTURA

PUENTE LOSA

2.2.1 DATOS OBLIGADOS PARA EL CÁLCULO:

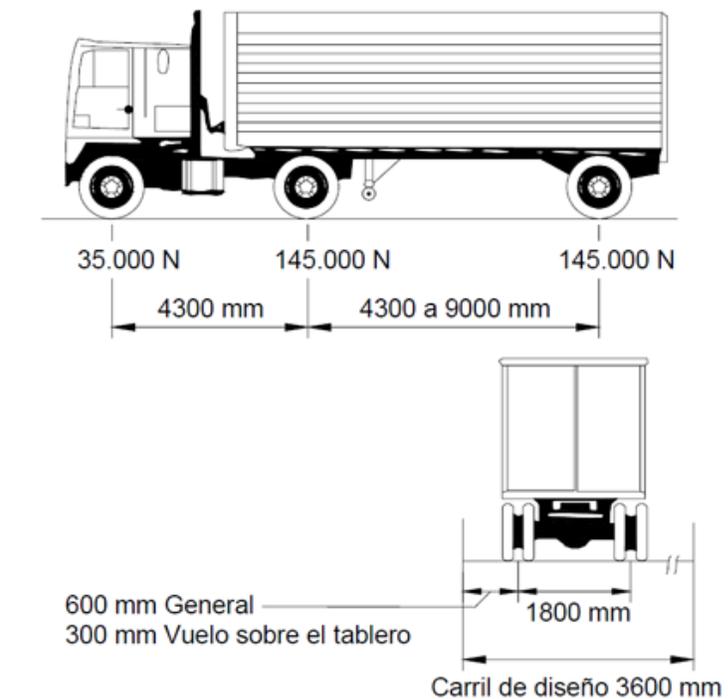
Luz libre (m) $L := 4 \text{ m}$

Ancho de apoyos (m) $a := 0.25 \text{ m}$

Ancho libre de calzada (m) $c := 4 \text{ m}$

Carga viva HS20 o HS25 (AASHTO)

Carga rueda trasera (A) $:= 72 \text{ KN}$ Carga rueda delantera B $:= 18 \text{ KN}$



Altura de la superficie de rodamiento (m) $r := 0.05 \text{ m}$

Resistencia de hormigos $f_c := 250 \text{ kg/cm}^2$

Resistencia de acero $f_y := 4200 \text{ kg/cm}^2$

Peso específico del hormigón (kg/m^3) $\tau := 2400 \text{ kg/m}^3$

2.2.1.1 Cálculo del espesor mínimo de la losa = h.

$$s := (L + a) * 1000$$

$$s = 4250$$

$$h := \frac{1.2 * (s + 3000)}{30}$$

$$h = 290 \text{ mm}$$

$$h := \frac{h}{1000} - 0.03 \quad h = 0.26 \text{ m}$$

2.2.1.2 Momento debido a carga muerta.

$q_1 =$ Peso de la losa (kg/m^2)

$$q_1 := \tau \cdot h \cdot l$$

$$q_1 = 624 \text{ kg/m}$$

$q_2 =$ carga debido a la superficie de rodadura

$$q_2 := r \cdot \tau \cdot l \quad q_2 = 120 \quad \text{kg/m}$$

$$q_t := q_1 + q_2 \quad q_t = 744$$

$$M_m := \frac{q_t \cdot (L + a)^2}{8} \quad M_m = 1679.81 \text{ kg.m}$$

2.2.1.3 Momento de flexión por carga viva (Mv).

Como la luz es pequeña se toma la carga de la rueda más pesada

$$A := 7.92 \text{ KN}$$

$$a := 4.3 \text{ m} \quad b := 1 \text{ m}$$

$$R := (A \cdot 1)$$

$$R = 7.92 \text{ KN}$$

Momento de p

$$M_o := A \cdot (L) \quad M_o = 31.68 \text{ KN.m}$$

$$M_{\max} := \frac{A(L)}{4} M_{\max} = 7.92 \text{ KN.m}$$

$$M_v := M_{\max} \quad M_v = 7.92 \text{ kg.m}$$

2.2.1.4 Carga Equivalente.

$$M_{\max} := 935 \frac{L^2}{8} + 8000 \frac{L}{4} \quad M_{\max} = 9870 \text{ kg.m}$$

Como el momento por el teorema de Barre sale menor, se toma $M_{\max} = 9870 \text{ kg.m}$

$$M_v := M_{\max} \quad M_v = 9870 \text{ kg.m}$$

2.2.1.5 Coeficiente de impacto.

$$S := L$$

$$I := \frac{50}{S+125} \quad I < 0.30 \quad I = 0.39 \quad \text{Entonces } I = 0.30$$

$$I := 0.30$$

2.2.1.6 Momento por impacto.

$$M_i := I \cdot M_v \quad M_i = 2961 \text{ kg.m}$$

2.2.1.7 Momento total de flexión

$$M_t := M_m + M_v + M_i \quad M_t = 14510.81 \text{ kg.m}$$

2.2.1.8 Diseño de la losa por método de rotura.

$\theta := 0.9$ factor de reducción de la capacidad

$\beta_1 := 0.85$ para $f_c < 30 \text{ Mpa}$

$$M_v = 9870 \quad M_m = 1679.81 \quad M_i = 2961$$

$$M_u := 1.3 [M_m + 1.67(M_v + M_i)] \quad M_u = 30039.86 \text{ kg.m}$$

Cuantía balanceada = pb

$$f_c := \frac{f_c}{10} \quad f_y := \frac{f_y}{10} \quad \text{kg/m}$$

$$f_c = 25 \quad f_y = 420 \quad \text{kg/m}$$

$$PI = \left(\frac{0.85 \cdot \beta_1 \cdot FC}{f_y} \right) \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \quad \text{Cuantía balanceada} = \quad PI = 0.03$$

$$P_{\max} := pi \cdot 0.75$$

$$\text{Cuantía máxima } p_{\max} = 0.02$$

$$P_{\min} := \frac{\sqrt{f_c}}{f_y - 4} \quad \text{cuantía mínima} \quad p_{\min} = 0 \quad p_{\min} > 0.003$$

Como la cuantía mínima es 0.003 y la cuantía máxima es $p_{\max} = 0.02$

Adoptamos una cuantía entre la cuantía máxima y la cuantía mínima.

$$p := 0.015 \quad f_c := 250 \text{ kg/cm}^2$$

$$b := 100 \text{ cm} \quad f_y := 4200 \text{ kg/cm}^2$$

$d =$ Comprobando el espesor de la losa

$$d := \sqrt{\frac{M_u \cdot 100}{\theta \cdot p \cdot b \cdot f_y \cdot \left(1 - \frac{p \cdot f_y}{1.7 \cdot f_c}\right)}} \quad d = 24.94 \quad \text{cm menor que h entonces ok}$$

Como la altura de la losa por norma sale $h = 0.26 \text{ m}$ se toma $h = 0.26$

$$M_u = 30039.86 \quad f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2 \quad d := (h \cdot 100) - 3$$

$$F_c = 250 \text{ kg/cm}^2 \quad b = 100 \text{ cm} \quad d = 23 \text{ cm}$$

canto útil de la losa

Hallando nueva cuantía = z

$$z = \frac{\theta \cdot b \cdot d^2 \cdot f_y - \sqrt{(\theta \cdot b \cdot d^2 \cdot f_y)^2 - 4 \cdot \left(\frac{\theta \cdot b \cdot d^2 \cdot f_y \cdot f_y}{1.7 \cdot f_y}\right) \cdot (M_u \cdot 100)}}{2 \cdot \left(\frac{\theta \cdot b \cdot d^2 \cdot f_y \cdot f_y}{1.7 \cdot f_y}\right)}$$

$$P_{\max} < z > p_{\min} \quad z = 0.02 \quad \text{entonces} \quad z = 0.02$$

$$d = 23 \text{ cm} \quad b = 100 \text{ cm}$$

Hallando el área del acero principal

$$A_s := z \cdot b \cdot d$$

$$As := 34.86 \text{ cm}^2$$

El área de acero paralelo en dirección del tráfico es $As = 34.86 \text{ cm}^2$

USAR θ 20 mm / Cada 11 cm

2.2.1.9 Acero de repetición (En losa con armadura principal paralelo al tráfico)

$$S := L * 3.28$$

$$Asr := \frac{100}{\sqrt{S}} < 50 \% \text{ As} \quad Asr := \frac{100}{\sqrt{S}} \quad Asr = 27.61$$

$$As = 34.86 \quad Asr := \frac{Asr}{100} \cdot As$$

Asr = Armadura positiva perpendicular al As paralelo al tráfico

$$Asr = 9.63 \text{ cm}^2 \quad \text{USAR } 0.10 \text{ mm/ cada } 10 \text{ cm}$$

2.2.1.10 Acero por retracción y temperatura

$$Ast := 0.0018 \cdot b \cdot d > 2.64 \quad Ast := 0.0018 \cdot b \cdot d$$

Ast = Armadura negativa se lo coloca como parrilla

$$Ast := 0.0018 \cdot b \cdot d \text{ cm}^2 \quad Ast = 4.14 \text{ USAR } \theta 8 \text{ mm / Cada } 11 \text{ cm}$$

2.2.1.11 Calculo de la deflexión de la losa

$$h := h \cdot 100 \quad h = 26 \quad L := L \cdot 100 \quad L = 400$$

$$I := \frac{b \cdot \left(\frac{h}{2}\right)^3}{12} I = 18308.33 \quad \text{cm}^4 \quad E := 2000000 \text{ kg/cm}^2$$

$$d := \frac{h}{4} R = 7.92 \quad A := b \cdot \frac{h}{2} \quad A = 1300$$

$$yc := \frac{h}{2} \quad yc = 13 \quad Io := I + A * d^2 \quad Io = 73233.33$$

menor que $L/800$

$$\Delta_{\max} := \frac{R \cdot \left(\frac{L}{2}\right)}{E \cdot Io \cdot 48} * \left[3 \cdot L^2 - 4 * \left(\frac{L}{2}\right)^2 \right] * 1000 \quad \Delta_{\max} = 0.07 \text{ mm}$$

Cuadro.2

Momento Máximo positivo en losa del
puente

[KN.m]

$$M_{\max} = 1.3 \cdot (M_m + 1.67 \cdot (M_v + M_i))$$

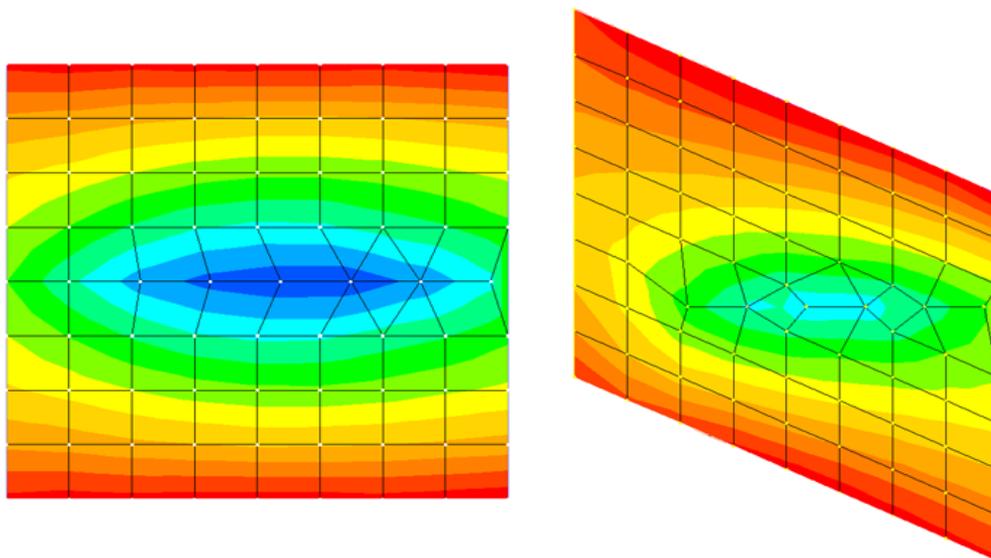
Ancho 4 metros

Momentos mayorados

Espesor losa	20 cm	24 cm	29 cm	32 cm	36 cm	45 cm	55 cm
Ang/Luz	2	3	4	5	6	7	8
0	87,32	122,61	170,82	225,58	292,05	426,94	599,15
5	87,52	120,20	163,87	214,58	277,74	425,80	591,21
10	85,58	118,66	162,04	212,33	275,09	421,15	590,25
15	83,74	114,30	158,30	209,03	270,15	411,93	599,93
20	76,38	107,76	150,37	199,90	262,11	414,51	592,98
25	74,95	104,84	150,11	201,32	264,00	396,93	571,20
30	69,98	100,45	143,95	193,45	253,91	395,50	584,90
35	63,90	95,43	136,07	183,27	241,11	374,54	554,17
40	63,35	90,34	124,39	170,13	227,17	358,38	532,73
45	59,52	81,63	112,14	152,76	203,66	346,78	509,00
50	58,74	74,42	103,91	140,90	191,48	309,30	468,37
55	44,31	94,47	96,84	131,30	170,62	287,80	426,50
60	36,12	71,92	68,89	97,00	146,09	275,80	399,20

Figura.14

Distribución de Momentos Máximo positivo en losa del puente.



Cuadro. 3
Momento Máximo negativo en ángulo agudo y apoyos
de losa del puente

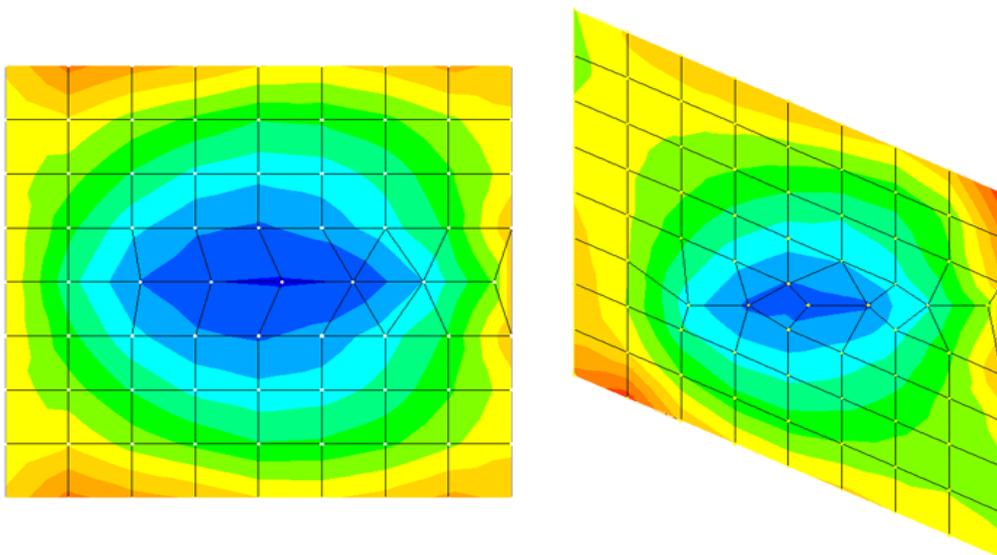
[KN.m]

$M_{max} = 1.3 \cdot (M_m + 1.67 \cdot (M_v + M_i))$

Ancho 4 metros **Momentos mayorados**

Espesor losa	20 cm	24 cm	29 cm	32 cm	36 cm	45 cm	55 cm
Ang/Luz	2	3	4	5	6	7	8
0	67,68	65,84	50,84	39,51	43,38	83,09	115,96
5	60,85	60,83	47,79	47,43	61,69	106,35	149,38
10	48,96	49,51	51,40	51,32	77,35	132,82	187,76
15	74,31	70,40	55,44	58,83	93,12	160,58	228,68
20	73,35	66,27	57,42	70,45	110,56	189,34	271,08
25	62,55	54,11	57,12	80,74	126,19	215,89	310,89
30	47,15	88,18	60,38	87,39	138,08	237,47	344,58
35	49,79	76,80	58,75	92,23	146,68	253,13	370,02
40	32,22	47,23	52,64	91,89	148,95	259,58	383,67
45	54,34	59,01	77,80	88,99	143,12	258,46	393,64
50	22,31	36,18	63,26	86,91	136,75	256,62	401,00
55	19,79	76,47	78,87	111,06	129,61	235,63	381,12
60	40,75	48,94	67,25	119,59	164,23	224,25	333,27

Figura.15
Distribución de Momento Máximo negativo en ángulo agudo y apoyos de losa del Puente.



Cuadro. 4

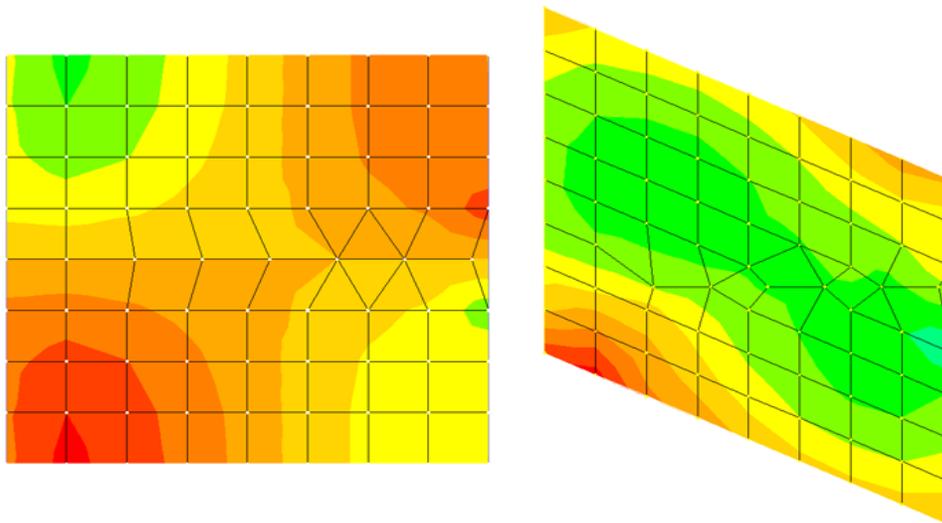
$M_{max} = 1.3 \cdot (M_m + 1.67 \cdot (M_v + M_i))$

Torsión máxima [KN.m] **Momentos mayorados**

Ancho 4 metros

Espesor losa	20 cm	24 cm	29 cm	32 cm	36 cm	45 cm	55 cm
Ang/Luz	2	3	4	5	6	7	8
0	45,63	49,57	50,86	50,86	50,95	48,89	49,39
5	42,89	50,46	56,22	59,31	63,31	69,56	78,17
10	32,71	41,51	49,87	56,06	63,68	78,88	100,95
15	51,76	54,35	62,50	70,21	78,22	85,71	129,00
20	44,16	50,09	63,55	74,40	86,35	107,91	161,51
25	31,27	41,84	58,07	72,25	88,71	130,87	199,54
30	28,23	56,65	70,13	85,36	100,88	157,38	238,40
35	32,71	42,70	67,94	86,57	106,14	183,11	276,68
40	25,66	30,87	45,13	66,40	107,44	205,36	310,96
45	17,14	50,76	65,10	90,46	115,28	220,05	334,98
50	23,19	27,80	41,34	65,98	116,57	222,71	342,95
55	15,48	31,00	33,04	63,94	109,44	205,93	324,74
60	18,89	21,90	38,32	59,73	92,91	178,26	276,50

Figura. 16
Distribución de Torsión Máxima



Cuadro.5

Ancho 4

Deflexión máxima (mm)

metros

Espesor losa	20 cm	24 cm	29 cm	32 cm	36 cm	45 cm	55 cm
Ang/Luz	2	3	4	5	6	7	8
max AASHTO	2,81	4,06	5,31	6,56	7,81	9,06	10,31
0	1,53	2,84	4,07	6,46	8,83	10,08	10,57
5	1,51	2,67	3,81	6,13	8,51	9,99	10,48
10	1,45	2,59	3,70	5,96	8,28	9,73	10,22
15	1,36	2,47	3,53	5,69	8,05	9,49	9,94
20	1,24	2,90	3,30	5,33	7,66	8,99	9,42
25	1,09	2,07	2,99	4,91	7,15	8,38	8,76
30	0,92	1,82	2,64	4,56	6,55	7,65	8,01
35	0,74	1,53	2,25	3,93	5,86	6,85	7,19
40	0,58	1,23	1,84	3,69	5,12	6,00	6,32
45	0,43	0,93	1,42	2,77	4,33	5,12	5,41
50	0,31	0,68	1,03	2,18	3,53	4,22	4,51
55	0,18	0,50	0,75	1,67	2,75	3,32	3,61
60	0,60	0,34	0,62	1,21	2,08	2,48	2,76

Cuadro.6**Momento Máximo positivo en el
bordillo**

[KN.m]

$$M_{\max} = 1.3 \cdot (M_m + 1.67 \cdot (M_v + M_i))$$

Ancho 4 metros

Momentos mayorados

b/h (borde)	30x45	30x49	30x54	30x57	30x61	30x70	30x80
Espesor losa	20 cm	24 cm	29 cm	32 cm	36 cm	45 cm	55 cm
Ang/Luz	2	3	4	5	6	7	8
0	71,18	149,38	228,95	327,49	455,25	483,45	587,34
5	74,21	150,11	225,60	319,45	441,69	479,58	582,36
10	74,19	148,74	222,39	314,22	433,85	471,01	574,85
15	75,46	150,67	225,91	318,54	437,25	475,26	574,46
20	62,62	135,70	209,80	299,97	416,60	453,07	548,38
25	48,12	118,09	189,87	276,47	388,21	423,51	514,02
30	33,76	116,50	190,21	275,20	383,03	417,12	503,51
35	21,39	93,42	164,64	244,54	345,45	378,79	458,66
40	20,21	72,75	139,18	213,02	305,49	331,71	402,25
45	17,11	43,89	110,72	152,17	271,22	300,71	365,32
50	13,62	39,78	88,87	150,87	227,35	250,68	305,97
55	13,08	20,01	51,81	125,28	192,97	204,00	257,66
60	29,25	25,65	40,26	65,65	141,41	138,43	202,36

Cuadro. 7

Momento Máximo negativo en el bordillo (extremos) [KN.m] Momentos
Mayorados
 $M_{max} = 1.3 \cdot (M_m + 1.67 \cdot (M_v + M_i))$
 Ancho 4 metros

b/h (borde)	30x45	30x49	30x54	30x57	30x61	30x70	30x80
Espesor losa	20 cm	24 cm	29 cm	32 cm	36 cm	45 cm	55 cm
Ang/Luz	2	3	4	5	6	7	8
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,67
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,72	8,46
15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,39	19,77
20	0,00	0,00	0,00	0,00	1,95	23,00	35,00
25	0,00	0,00	0,00	1,83	14,47	38,06	54,03
30	0,00	0,00	0,00	8,24	25,00	56,34	76,59
35	0,00	0,00	0,00	15,97	40,24	77,01	102,38
40	0,00	0,00	0,00	24,13	56,39	99,04	130,16
45	0,00	2,42	0,00	31,36	71,52	121,11	158,29
50	0,00	1,97	2,59	26,34	81,09	139,60	184,24
55	2,85	3,68	7,97	22,25	80,03	146,64	202,67
60	4,50	7,29	14,14	27,19	52,69	131,46	202,36

Cuadro. 8

Cortante Máximo en el bordillo (apoyos) [KN] $Q_{max} = 1.3 \cdot (Q_m + 1.67 \cdot (Q_v + Q_i))$
 Ancho 4 metros **Cortantes mayorados**

b/h (borde)	30x45	30x49	30x54	30x57	30x61	30x70	30x80
Espesor losa	20 cm	24 cm	29 cm	32 cm	36 cm	45 cm	55 cm
Ang/Luz	2	3	4	5	6	7	8
0	67,19	90,25	117,52	149,45	186,38	203,98	234,12
5	73,17	98,20	128,72	164,42	205,21	227,25	263,46
10	79,11	105,12	138,50	178,02	225,95	251,01	293,48
15	61,65	112,38	147,76	191,18	239,75	274,95	232,40
20	42,89	116,58	156,11	203,95	257,78	297,48	351,56
25	33,55	120,83	163,00	215,05	273,49	318,34	377,12
30	61,25	95,95	168,06	224,40	287,37	336,30	398,15
35	40,62	73,60	169,79	230,28	297,64	349,27	413,05
40	38,20	70,23	171,50	232,20	302,52	355,83	419,91
45	21,40	81,27	107,22	220,21	300,17	354,99	417,57
50	26,54	50,33	74,95	200,18	285,56	344,31	404,64
55	27,00	59,02	90,28	112,77	241,10	314,62	381,34
60	23,36	37,67	81,10	116,59	145,08	229,05	328,74

Cuadro.9

Momento Máximo positivo en losa del puente

[KN.m]

$$M_{\max} = 1.3 \cdot (M_m + 1.67 \cdot (M_v + M_i))$$

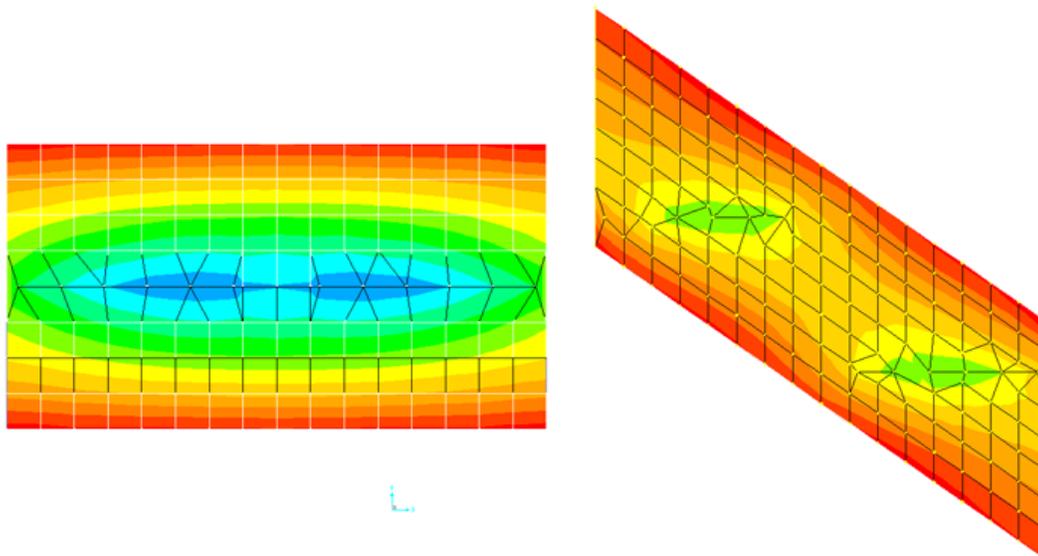
Ancho 7,3 metros

Momentos mayorados

Espesor losa	20 cm	24 cm	29 cm	32 cm	36 cm	45 cm	55 cm
Ang/Luz	2	3	4	5	6	7	8
0	101,95	154,75	227,19	326,61	456,25	541,07	758,61
5	99,04	150,62	221,40	322,30	452,04	537,20	750,13
10	99,59	149,79	219,85	318,37	447,49	529,38	757,44
15	93,76	143,75	212,29	308,36	432,68	515,91	737,79
20	87,72	134,49	199,79	292,12	412,56	502,35	716,99
25	86,87	131,01	193,44	281,70	398,09	482,82	726,27
30	78,78	121,80	179,83	263,56	375,43	472,11	710,33
35	69,98	109,65	163,94	242,13	349,26	450,92	676,10
40	58,07	94,57	142,51	212,03	320,38	413,89	624,47
45	61,37	88,13	131,44	196,39	305,59	398,82	603,88
50	46,79	88,48	121,92	168,66	264,88	419,05	603,85
55	54,79	93,05	104,41	142,03	233,07	409,05	586,24
60	41,11	75,56	90,80	236,24	427,74	272,70	424,14

Figura.17

Distribución de Momentos Máximo positivo en losa del puente.



Cuadro.10
Momento Máximo negativo en ángulo agudo y apoyos de losa del puente

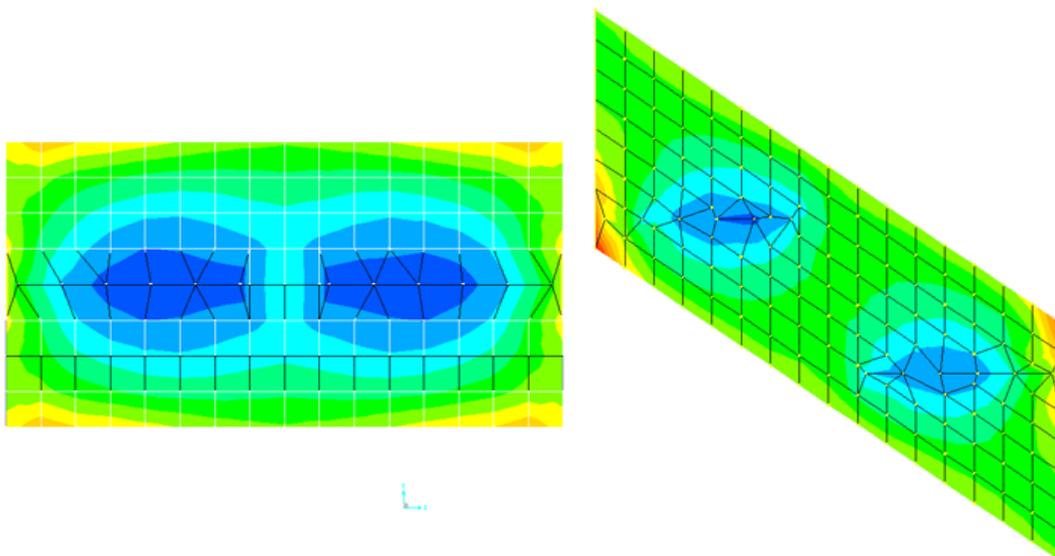
[KN.m]

$M_{max} = 1.3 \cdot (M_m + 1.67 \cdot (M_v + M_i))$

Ancho 7,3 metros **Momentos mayorados**

Espesor losa	20 cm	24 cm	29 cm	32 cm	36 cm	45 cm	55 cm
Ang/Luz	2	3	4	5	6	7	8
0	73,07	67,81	49,49	44,96	56,98	83,43	115,26
5	65,98	68,96	58,92	50,95	73,19	104,21	145,69
10	73,18	74,60	51,99	52,23	91,38	126,81	187,57
15	88,96	86,83	61,38	62,45	111,84	154,90	236,68
20	80,83	73,70	59,71	76,51	136,45	189,44	288,36
25	70,79	102,40	75,79	91,95	164,80	224,70	340,60
30	44,58	96,91	64,42	105,11	189,39	254,70	386,61
35	38,09	85,78	114,70	116,05	208,46	278,20	423,41
40	36,37	61,82	93,29	121,49	218,57	291,06	446,08
45	49,07	59,89	88,34	127,06	214,50	291,91	457,49
50	23,24	40,83	83,88	162,61	208,48	290,51	463,06
55	21,02	78,85	61,31	154,40	225,39	266,36	435,20
60	30,32	36,36	60,28	225,30	249,72	487,84	594,68

Figura.18
Distribución de Momento Máximo negativo en ángulo agudo y apoyos de losa del puente



Cuadro.11

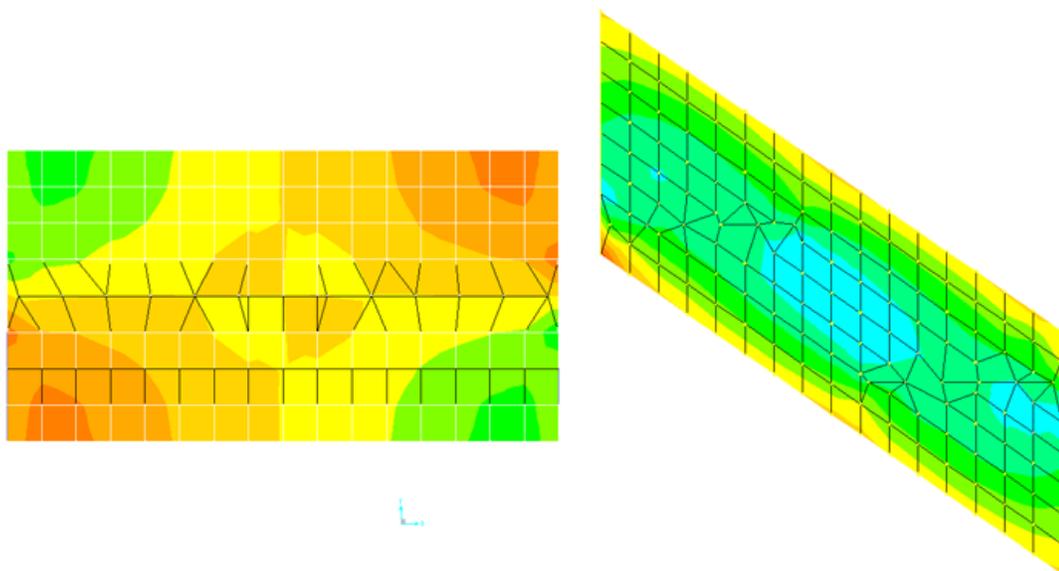
$$M_{\max} = 1.3 \cdot (M_m + 1.67) \cdot (M_v + M_i)$$

Torsión máxima [KN.m]

Ancho 7,3 metros

Momentos mayorados

Espesor losa	20 cm	24 cm	29 cm	32 cm	36 cm	45 cm	55 cm
Ang/Luz	2	3	4	5	6	7	8
0	59,73	64,03	64,44	64,75	60,75	57,69	56,94
5	52,62	61,88	69,16	78,21	83,01	84,37	94,84
10	53,79	61,54	58,51	66,67	83,21	101,58	126,58
15	63,61	66,60	76,21	95,69	116,59	131,90	169,51
20	58,42	68,14	84,27	105,90	129,51	154,09	204,09
25	41,75	59,45	69,10	98,57	131,43	163,51	223,95
30	30,17	61,81	78,04	104,20	139,00	172,36	273,22
35	30,63	49,33	76,38	108,10	157,28	204,64	321,30
40	19,14	34,94	55,56	92,06	164,75	232,36	363,33
45	18,77	32,75	74,38	115,27	178,22	248,35	391,65
50	15,81	31,99	48,62	93,68	182,13	251,88	398,79
55	14,86	56,06	38,38	83,84	171,14	232,50	373,46
60	16,03	22,74	33,04	173,46	278,62	195,54	309,86

Figura.19
Distribución de Torsión Máxima.

Cuadro.12

**Deflexión máxima
(mm)**

Ancho 7,3 metros

Espesor losa	20 cm	24 cm	29 cm	32 cm	36 cm	45 cm	55 cm
Ang/Luz	2	3	4	5	6	7	8
max AASHTO	2,81	4,06	5,31	6,56	7,81	9,06	10,31
0	1,75	3,72	5,86	7,19	10,89	12,54	13,29
5	1,72	3,66	5,77	7,10	10,75	12,41	13,15
10	1,64	3,49	5,52	6,82	10,35	12,13	12,87
15	1,53	3,24	5,13	6,38	9,71	11,58	12,29
20	1,38	2,92	4,65	5,80	8,93	10,85	11,51
25	1,22	2,54	4,06	5,11	8,20	9,97	10,57
30	1,02	2,19	3,45	4,38	7,38	8,98	9,52
35	0,83	1,82	2,85	3,76	6,50	7,92	8,43
40	0,66	1,45	2,27	3,21	5,60	6,86	7,31
45	0,48	1,08	1,72	2,67	4,70	5,79	6,20
50	0,32	0,78	1,25	2,13	3,81	4,75	5,13
55	0,23	0,50	0,97	1,67	2,98	3,74	4,11
60	0,17	0,35	0,79	1,27	2,28	2,83	3,17

Cuadro.13

$$M_{max} = 1.3 \cdot (M_m + 1.67) \cdot (M_v + M_i)$$

Momento Máximo positivo en el bordillo [KN.m]

Ancho 7,3 metros

Momentos mayorados

b/h (borde)	30x45	30x49	30x54	30x57	30x61	30x70	30x80
Espesor losa	20 cm	24 cm	29 cm	32 cm	36 cm	45 cm	55 cm
Ang/Luz	2	3	4	5	6	7	8
0	76,67	170,22	227,63	438,88	549,11	596,85	733,42
5	80,16	172,94	280,11	436,38	544,16	590,58	725,88
10	91,11	183,80	291,34	448,28	557,31	604,51	738,26
15	80,80	175,99	280,64	433,41	538,86	581,44	712,14
20	69,45	157,08	258,25	405,26	506,95	549,62	673,21
25	54,99	137,77	233,11	370,85	465,19	506,22	622,87
30	37,88	131,92	226,83	357,79	448,25	487,78	595,29
35	28,03	108,01	196,77	317,93	401,06	436,62	534,18
40	25,35	82,32	164,03	272,99	347,38	377,73	462,54
45	21,87	55,72	132,84	233,49	305,02	340,42	418,10
50	18,27	43,94	99,11	187,05	250,23	277,66	342,06
55	16,73	38,01	65,49	128,54	187,09	223,85	285,06
60	14,59	31,11	52,35	91,88	126,44	187,82	244,12

Cuadro.14**Momento Máximo negativo en el bordillo
(extremos)**

[KN.m]

**Momentos
mayorados**

Ancho 7,3 metros

$$M_{max} = 1.3 \cdot (M_m + 1.67 \cdot (M_v + M_i))$$

b/h (borde)	30x45	30x49	30x54	30x57	30x61	30x70	30x80
Esp losa	20 cm	24 cm	29 cm	32 cm	36 cm	45 cm	55 cm
Ang/Luz	2	3	4	5	6	7	8
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,71
20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,75	27,71
25	0,00	0,00	0,00	0,00	6,08	29,00	50,43
30	0,00	0,00	0,00	0,00	23,61	51,05	78,67
35	0,00	0,00	0,00	9,65	41,17	77,63	112,05
40	0,00	0,00	0,00	22,09	68,13	106,73	148,91
45	0,00	0,00	0,00	34,03	93,99	135,09	187,58
50	2,76	1,78	7,62	39,17	107,53	158,78	220,66
55	4,71	4,75	12,68	29,11	109,23	167,52	240,86
60	7,57	12,03	21,88	39,00	63,29	148,74	232,55

Cuadro.15**Cortante Máximo en el bordillo
(apoyos)**

[KN]

$$Q_{max} = 1.3 \cdot (Q_m + 1.67 \cdot (Q_v + Q_i))$$

Ancho 7,3 metros

Cortantes mayorados

b/h (borde)	30x45	30x49	30x54	30x57	30x61	30x70	30x80
Esp losa	20 cm	24 cm	29 cm	32 cm	36 cm	45 cm	55 cm
Ang/Luz	2	3	4	5	6	7	8
0	76,68	104,65	138,01	184,99	221,34	226,14	267,94
5	81,27	112,08	149,00	200,41	243,67	252,33	302,40
10	86,01	121,92	160,35	215,71	266,39	279,27	337,97
15	78,33	131,14	171,82	231,68	289,61	306,47	373,81
20	59,79	137,32	181,77	246,46	311,80	333,30	408,48
25	49,70	140,85	189,79	259,66	332,04	357,21	439,16
30	70,62	114,34	196,68	271,70	349,63	377,89	464,58
35	52,33	92,70	200,58	280,95	363,10	393,50	482,68
40	32,48	83,11	199,80	284,15	369,19	400,94	490,37
45	32,15	96,59	136,48	277,64	367,01	402,43	489,88
50	36,34	80,01	120,97	259,09	350,99	386,85	471,13
55	35,33	62,62	113,50	174,57	300,96	351,46	438,03
60	34,92	59,08	93,59	147,58	173,64	254,51	375,68

GRÁFICO . 1
 $M_{max}(-)$ en losa esquinas
 angulo agudo
 4 m de ancho

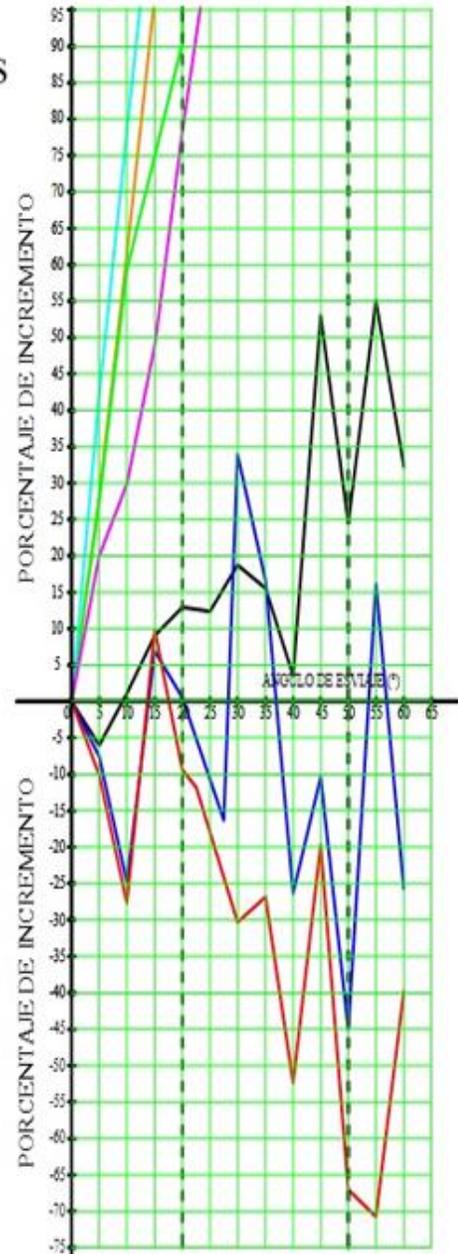
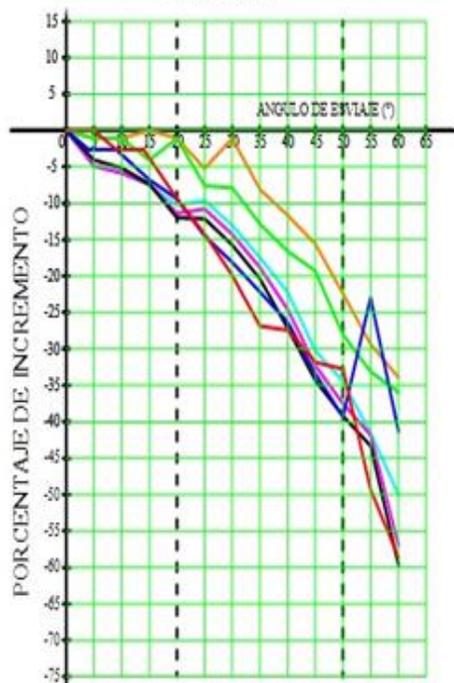


GRÁFICO . 2

$M_{max}(+)$ de losa en vano
 4 m de ancho



Luz libre=2 m ———

Luz libre=3 m ———

Luz libre=4 m ———

Luz libre=5 m ———

Luz libre=6 m ———

Luz libre=7 m ———

Luz libre=8 m ———

Luz libre=2 m ———

Luz libre=3 m ———

Luz libre=4 m ———

Luz libre=5 m ———

Luz libre=6 m ———

Luz libre=7 m ———

Luz libre=8 m ———

GRÁFICO. 3

Mmax(-) en bordillo apoyo
4 m de ancho

GRÁFICO. 4

Mmax(+) en bordillo
4 m de ancho

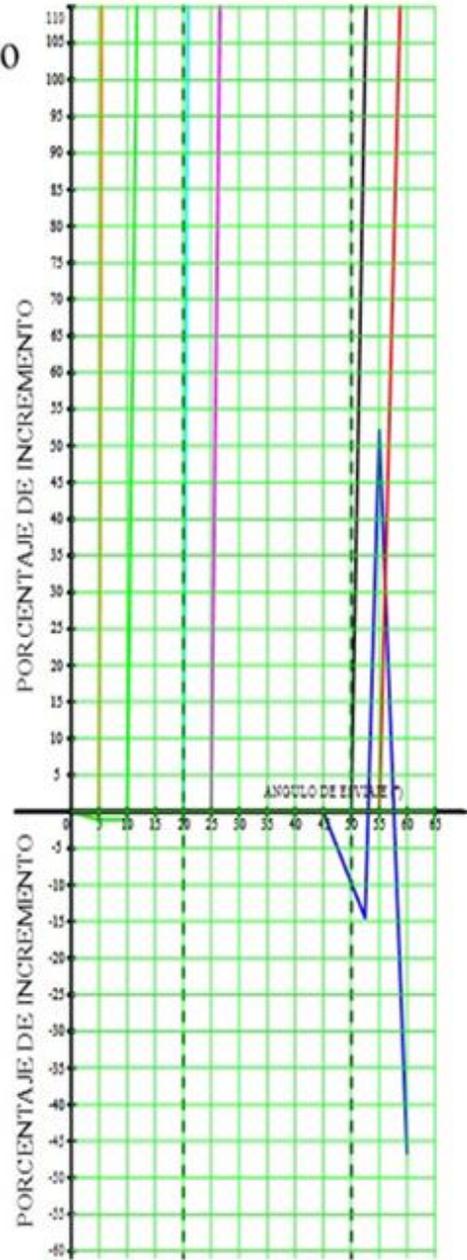
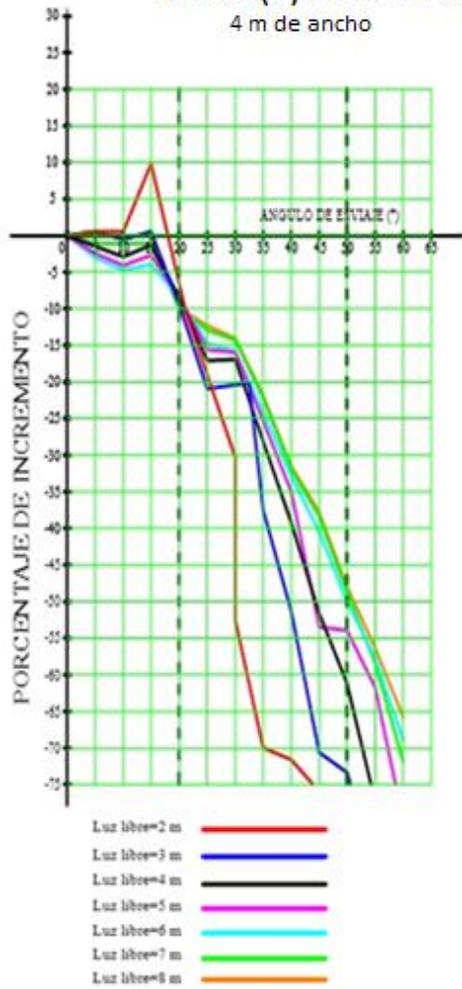
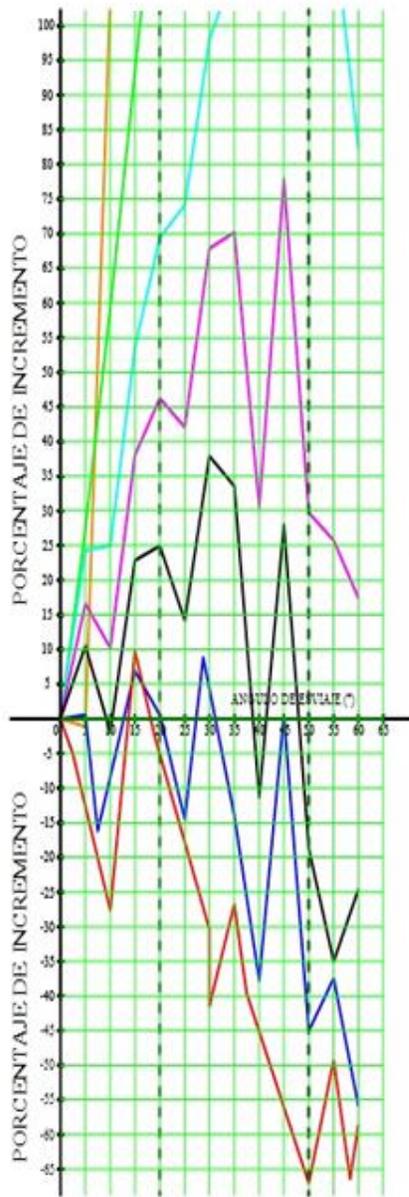


GRÁFICO. 5

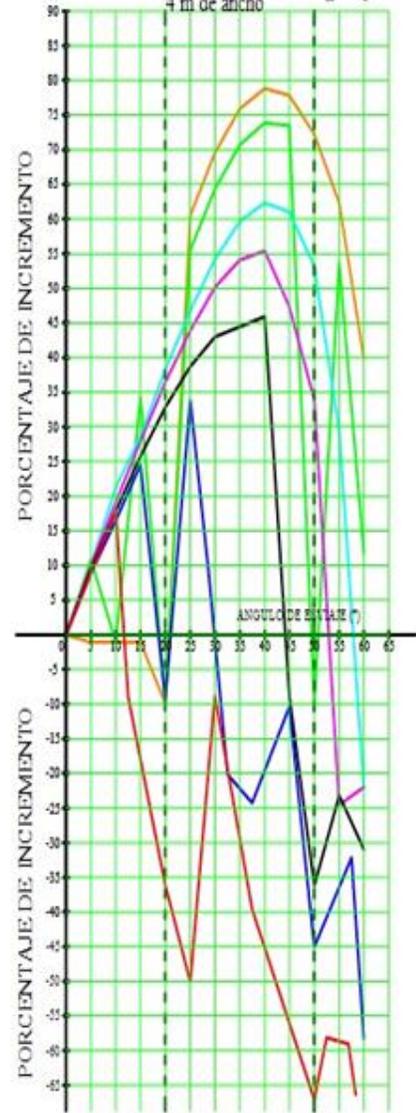
Torsión
4 m de ancho



- Luz libre=2 m —
- Luz libre=3 m —
- Luz libre=4 m —
- Luz libre=5 m —
- Luz libre=6 m —
- Luz libre=7 m —
- Luz libre=8 m —

GRÁFICO. 6

Vmax en bordillo apoyo
4 m de ancho

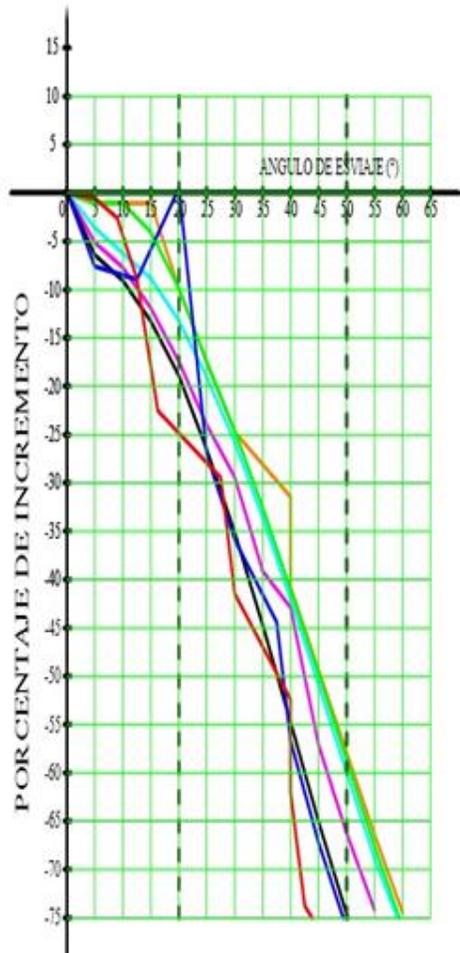


- Luz libre=2 m —
- Luz libre=3 m —
- Luz libre=4 m —
- Luz libre=5 m —
- Luz libre=6 m —
- Luz libre=7 m —
- Luz libre=8 m —

GRÁFICO. 7

Deflexión máxima

puentes 4 metros de ancho

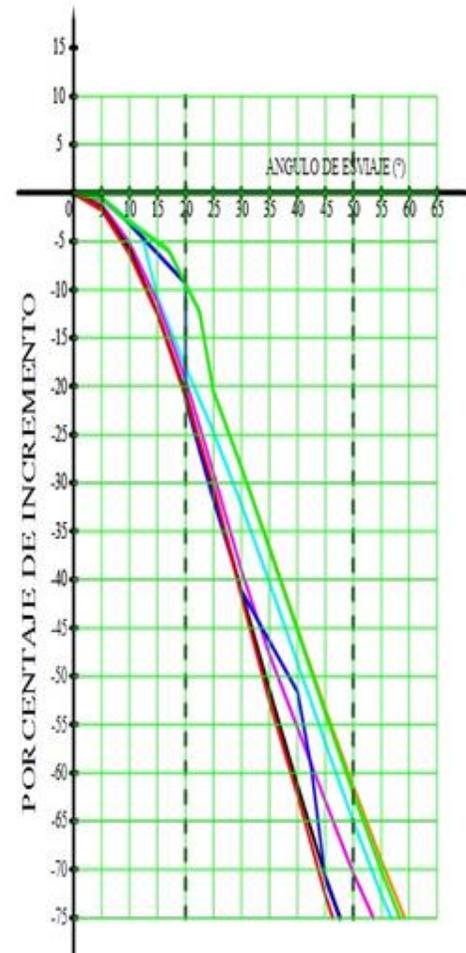


Luz libre=2 m ———
 Luz libre=3 m ———
 Luz libre=4 m ———
 Luz libre=5 m ———
 Luz libre=6 m ———
 Luz libre=7 m ———
 Luz libre=8 m ———

GRÁFICO. 8

Deflexión máxima

puentes 7.3 metros de ancho



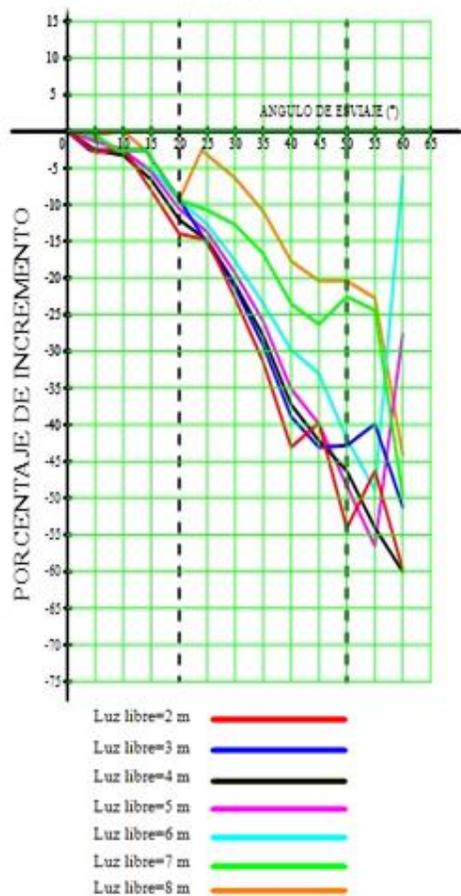
Luz libre=2 m ———
 Luz libre=3 m ———
 Luz libre=4 m ———
 Luz libre=5 m ———
 Luz libre=6 m ———
 Luz libre=7 m ———
 Luz libre=8 m ———

GRÁFICO. 9

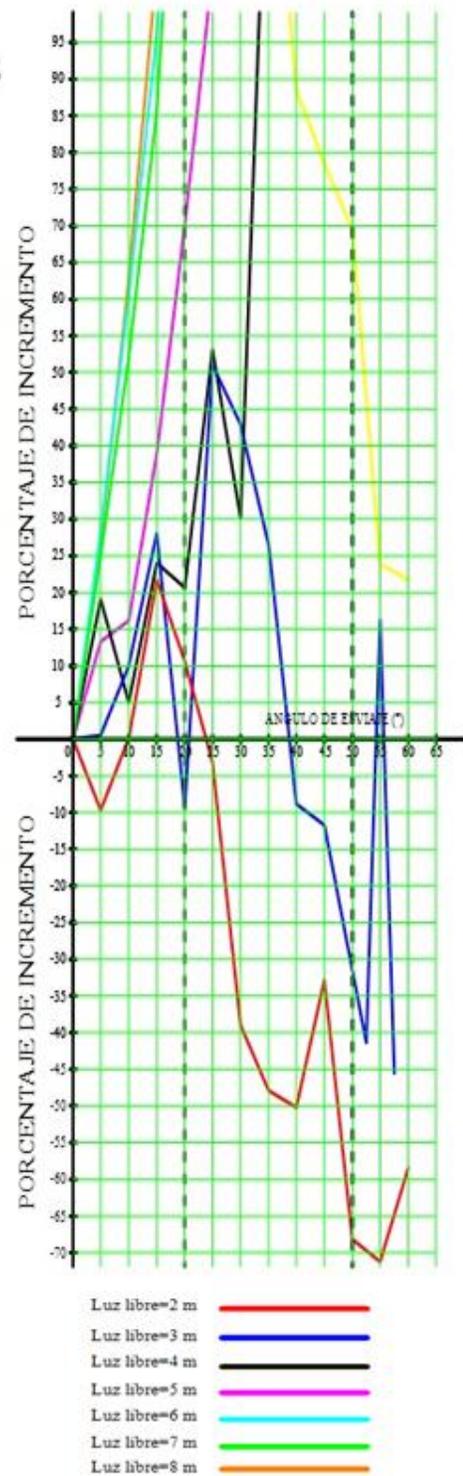
Mmax(-) en losa esquinas
angulo agudo
7.3 m de ancho

GRÁFICO. 10

Mmax(+) de losa en vano
7.3 m de ancho



Luz libre=2 m —
Luz libre=3 m —
Luz libre=4 m —
Luz libre=5 m —
Luz libre=6 m —
Luz libre=7 m —
Luz libre=8 m —

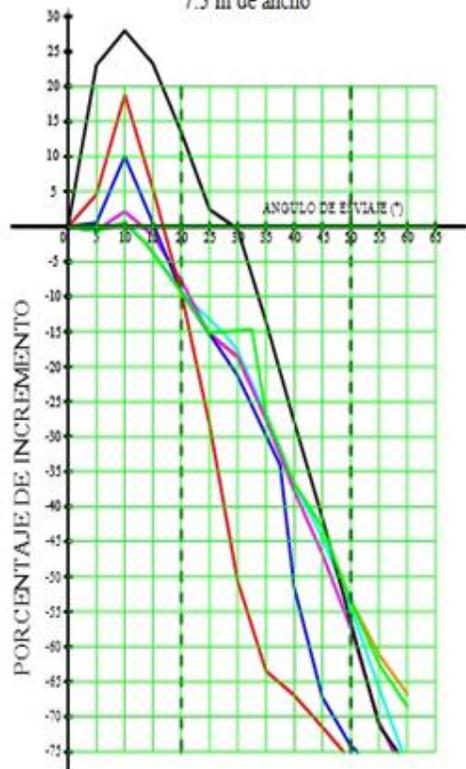


Luz libre=2 m —
Luz libre=3 m —
Luz libre=4 m —
Luz libre=5 m —
Luz libre=6 m —
Luz libre=7 m —
Luz libre=8 m —

GRÁFICO. 11

Mmax(+) en bordillo

7.3 m de ancho

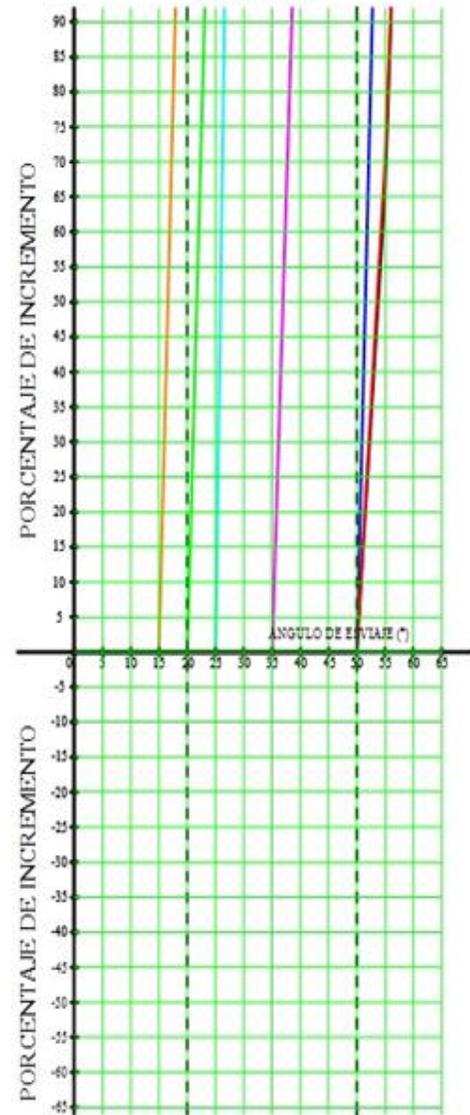


Luz libre=2 m —
 Luz libre=3 m —
 Luz libre=4 m —
 Luz libre=5 m —
 Luz libre=6 m —
 Luz libre=7 m —
 Luz libre=8 m —

GRÁFICO. 12

Mmax(-) en bordillo apoyo

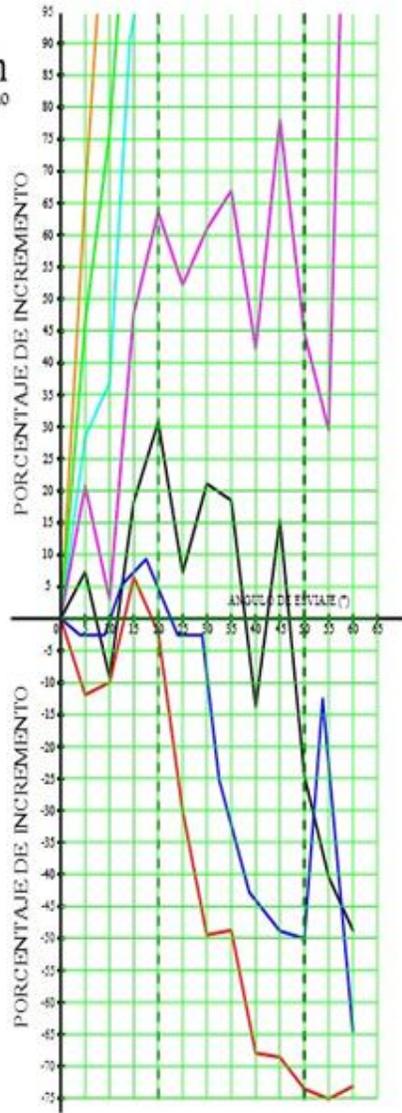
7.3 m de ancho



Luz libre=2 m —
 Luz libre=3 m —
 Luz libre=4 m —
 Luz libre=5 m —
 Luz libre=6 m —
 Luz libre=7 m —
 Luz libre=8 m —

GRÁFICO. 13

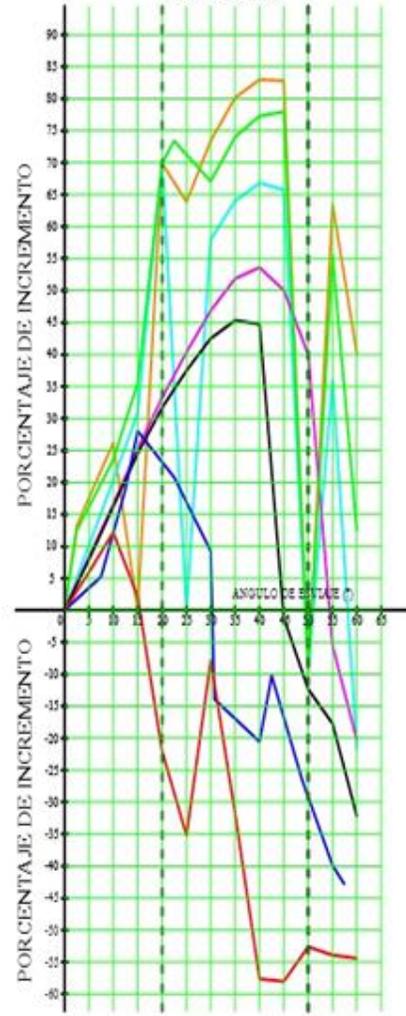
Torsión
7.3 m de ancho



- Luz libre=2 m —
- Luz libre=3 m —
- Luz libre=4 m —
- Luz libre=5 m —
- Luz libre=6 m —
- Luz libre=7 m —
- Luz libre=8 m —

GRÁFICO. 14

Vmax en bordillo apoyo
7.3 m de ancho



- Luz libre=2 m —
- Luz libre=3 m —
- Luz libre=4 m —
- Luz libre=5 m —
- Luz libre=6 m —
- Luz libre=7 m —
- Luz libre=8 m —

GRÁFICO. 15
Mmax(-) en losa esquinas
 angulo agudo
 ancho de puente entre 4
 y 7.3 (valores medios)

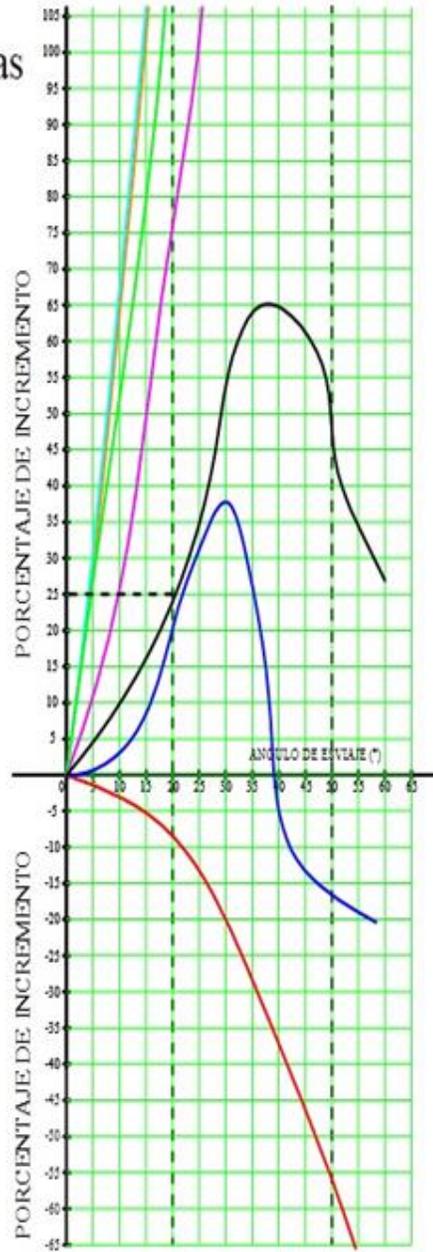


GRÁFICO. 16
Mmax(+) de losa en vano
 ancho de puente entre 4
 y 7.3 (valores medios)

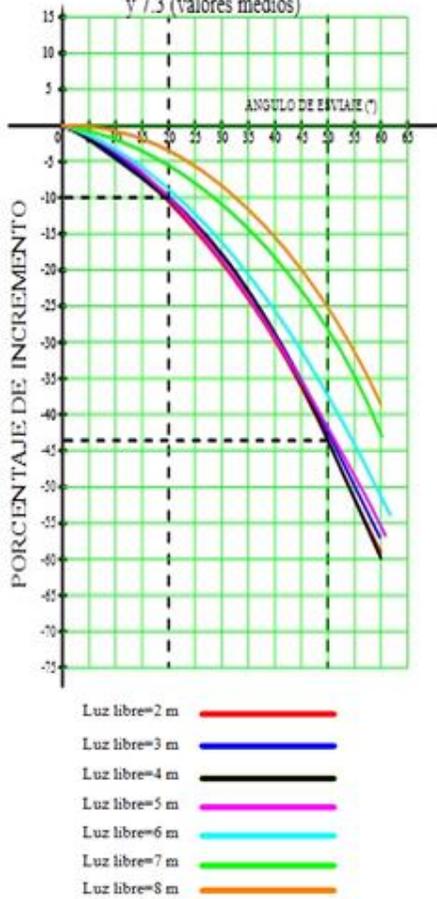


GRÁFICO. 17
 $M_{max}(+)$ en bordillo
 ancho de puente entre 4
 y 7.3 (valores medios)

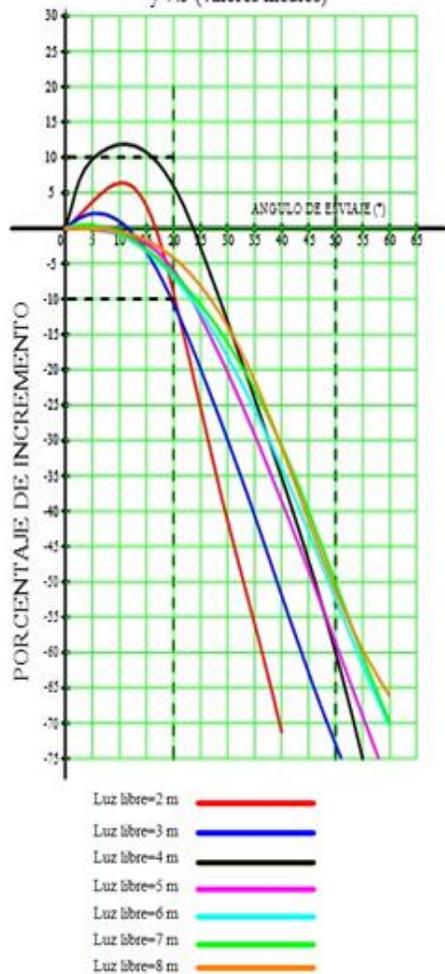


GRÁFICO. 18
 $M_{max}(-)$ en bordillo apoyo
 ancho de puente entre 4
 y 7.3 (valores medios)

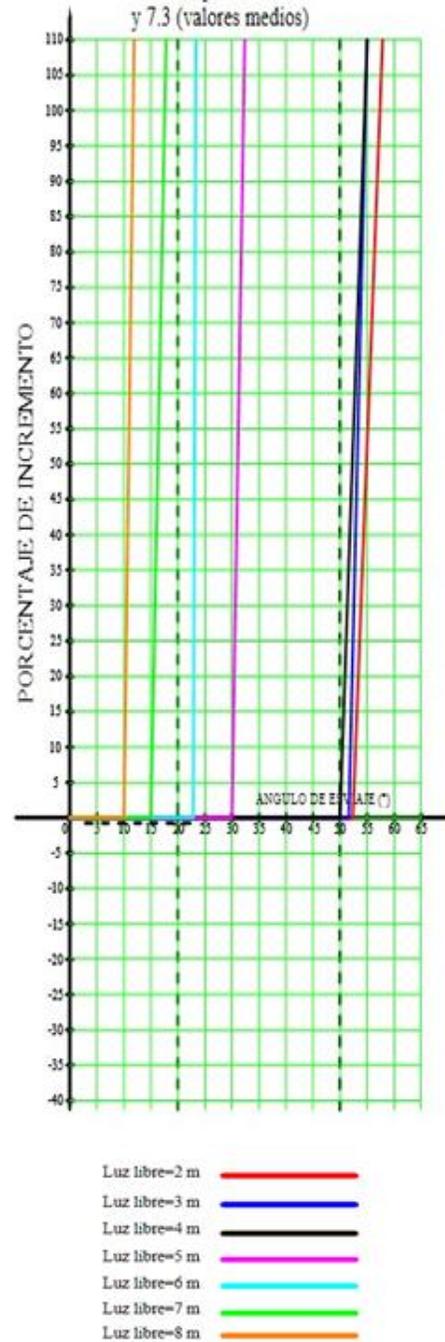
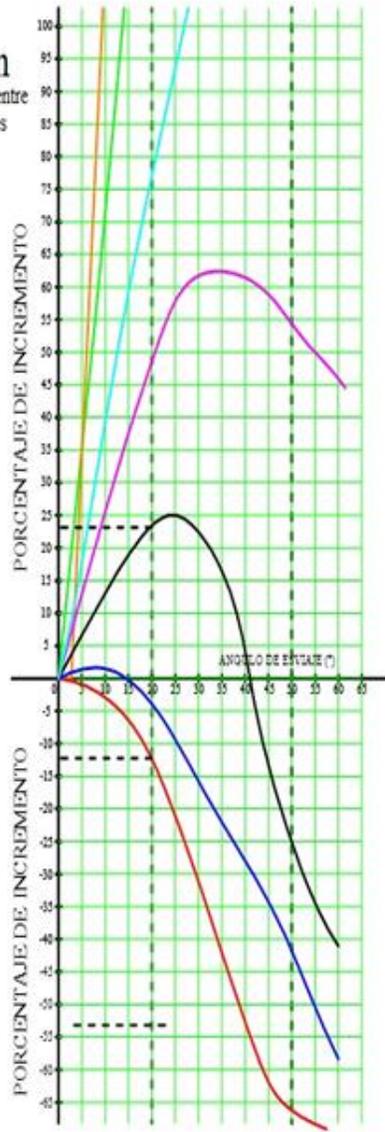


GRÁFICO. 19

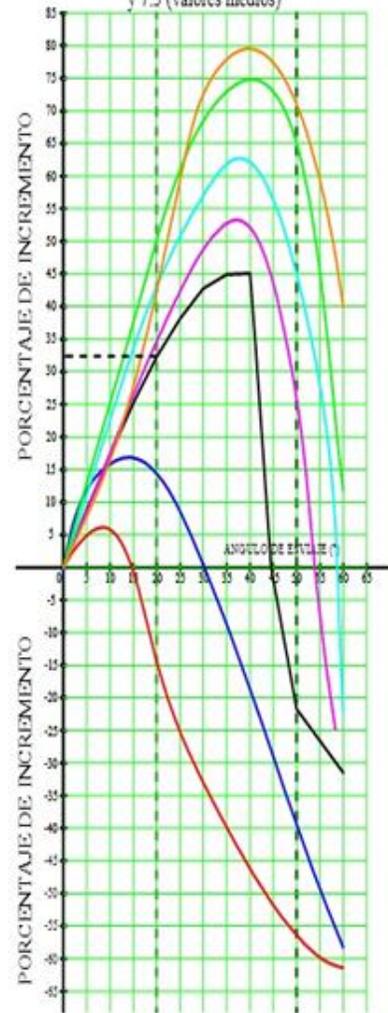
Torsión
ancho de puente entre
4 y 7.3 (valores
medios)



- Luz libre=2 m —
- Luz libre=3 m —
- Luz libre=4 m —
- Luz libre=5 m —
- Luz libre=6 m —
- Luz libre=7 m —
- Luz libre=8 m —

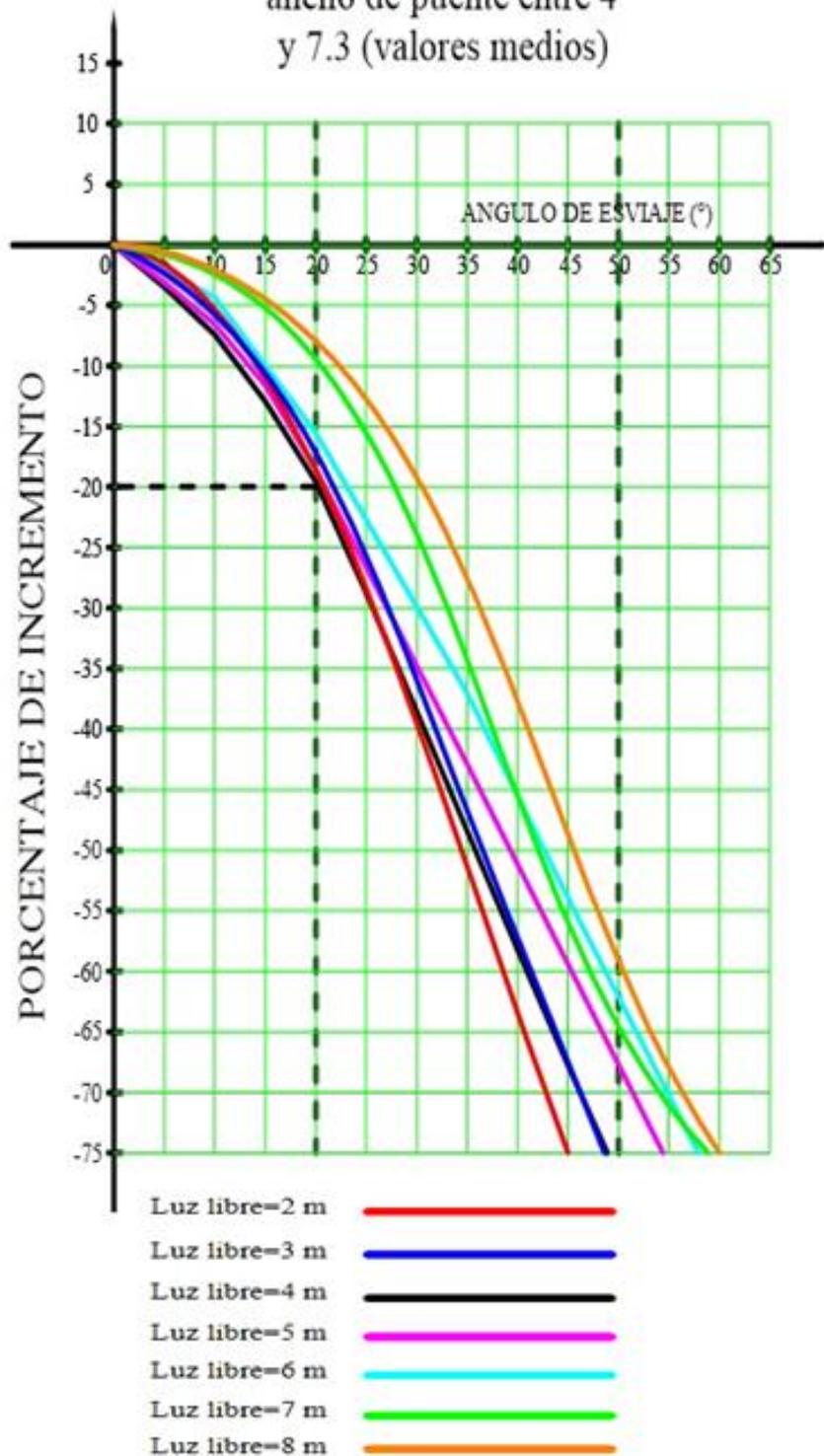
GRÁFICO. 20

Vmax en bordillo apoyo
ancho de puente entre 4
y 7.3 (valores medios)



- Luz libre=2 m —
- Luz libre=3 m —
- Luz libre=4 m —
- Luz libre=5 m —
- Luz libre=6 m —
- Luz libre=7 m —
- Luz libre=8 m —

GRÁFICO. 21
Deflexión máxima
 ancho de puente entre 4
 y 7.3 (valores medios)



Cuadro. 16
Luz = 2 m; Ancho = 4 m

espesor losa (cm)	Luz	Ancho	Angulo de esviaje	Mmax (+)		Mmax (-)	V(max)	Mmax (-)	Torsión	Deflexión (mm)	1/800(Luz)
				en losa vano central	en bordillo vano central						
20	2	4	0	87,32	71,18	0,00	67,19	67,68	45,63	1,53	2,81
20	2	4	5	87,52	74,21	0,00	73,17	60,85	42,89	1,51	2,81
20	2	4	10	85,58	74,19	0,00	79,11	48,96	32,71	1,45	2,81
20	2	4	15	83,74	75,46	0,00	61,65	74,31	51,76	1,36	2,81
20	2	4	20	76,38	62,62	0,00	42,89	73,35	44,16	1,24	2,81
20	2	4	25	74,95	48,12	0,00	33,55	62,55	31,27	1,09	2,81
20	2	4	30	69,98	33,76	0,00	61,25	47,15	28,23	0,92	2,81
20	2	4	35	63,90	21,39	0,00	40,62	49,79	32,71	0,74	2,81
20	2	4	40	63,35	20,21	0,00	38,20	32,22	25,66	0,58	2,81
20	2	4	45	59,52	17,11	0,00	21,40	54,34	17,14	0,43	2,81
20	2	4	50	58,74	13,62	0,00	26,54	22,31	23,19	0,31	2,81
20	2	4	55	44,31	13,08	2,85	27,00	19,79	15,48	0,18	2,81
20	2	4	60	36,12	29,25	4,50	23,36	40,75	18,89	0,60	2,81

Cuadro.17
Luz = 2 m; Ancho = 7,3 m

espesor losa (cm)	Luz	Ancho	Angulo	Mmax (+)		Mmax (-)	V(max)	Mmax (-)	Torsión	Deflexión (mm)	1/800(Luz)
				en losa vano central	en bordillo vano central	en bordillo apoyo	en bordillo apoyo	En Losa esquina Ang agudo	en losa		Deflexión max permitida (AASHTO1991)
20	2	7,3	0	101,95	76,67	0,00	76,68	73,07	59,73	1,75	2,81
20	2	7,3	5	99,04	80,16	0,00	81,27	65,98	52,62	1,72	2,81
20	2	7,3	10	99,59	91,11	0,00	86,01	73,18	53,79	1,64	2,81
20	2	7,3	15	93,76	80,80	0,00	78,33	88,96	63,61	1,53	2,81
20	2	7,3	20	87,72	69,45	0,00	59,79	80,83	58,42	1,38	2,81
20	2	7,3	25	86,87	54,99	0,00	49,70	70,79	41,75	1,22	2,81
20	2	7,3	30	78,78	37,88	0,00	70,62	44,58	30,17	1,02	2,81
20	2	7,3	35	69,98	28,03	0,00	52,33	38,09	30,63	0,83	2,81
20	2	7,3	40	58,07	25,35	0,00	32,48	36,37	19,14	0,66	2,81
20	2	7,3	45	61,37	21,87	0,00	32,15	49,07	18,77	0,48	2,81
20	2	7,3	50	46,79	18,27	2,76	36,34	23,24	15,81	0,32	2,81
20	2	7,3	55	54,79	16,73	4,71	35,33	21,02	14,86	0,23	2,81
20	2	7,3	60	41,11	14,59	7,57	34,92	30,32	16,03	0,17	2,81

Cuadro.18
Luz = 3 m; Ancho = 4 m

espesor losa (cm)	Luz	Ancho	Angulo de esviaje	Mmax (+)		Mmax (-)	V(max)	Mmax (-)	Torsión	Deflexión (mm)	1/800(Luz)
				en losa vano central	en bordillo vano central	en bordillo apoyo	en bordillo apoyo	En Losa esquina Ang agudo	en losa		Deflexión max permitida (AASHTO 1991)
24	3	4	0	122,61	149,38	0,00	90,25	65,84	49,57	2,84	4,06
24	3	4	5	120,20	150,11	0,00	98,20	60,83	50,46	2,67	4,06
24	3	4	10	118,66	148,74	0,00	105,12	49,51	41,51	2,59	4,06
24	3	4	15	114,30	150,67	0,00	112,38	70,40	54,35	2,47	4,06
24	3	4	20	107,76	135,70	0,00	116,58	66,27	50,09	2,90	4,06
24	3	4	25	104,84	118,09	0,00	120,83	54,11	41,84	2,07	4,06
24	3	4	30	100,45	116,50	0,00	95,95	88,18	56,65	1,82	4,06
24	3	4	35	95,43	93,42	0,00	73,60	76,80	42,70	1,53	4,06
24	3	4	40	90,34	72,75	0,00	70,23	47,23	30,87	1,23	4,06
24	3	4	45	81,63	43,89	2,42	81,27	59,01	50,76	0,93	4,06
24	3	4	50	74,42	39,78	1,97	50,33	36,18	27,80	0,68	4,06
24	3	4	55	94,47	20,01	3,68	59,02	76,47	31,00	0,50	4,06
24	3	4	60	71,92	25,65	1,29	37,67	48,94	21,90	0,34	4,06

Cuadro.19
Luz = 3 m; Ancho = 7,3 m

espesor losa (cm)	Luz	Ancho	Angulo de esviaje	Mmax (+)		Mmax (-)	V(max)	Mmax (-)	Torsión	Deflexión (mm)	1/800(Luz)
				en losa vano central	en bordillo vano central	en bordillo apoyo	en bordillo apoyo	En Losa esquina Ang agudo	en losa		Deflexión max permitida (AASHTO 1991)
24	3	7	0	154,75	170,22	0,00	104,65	67,81	64,03	3,72	4,06
24	3	7	5	150,62	172,94	0,00	112,08	68,96	61,88	3,66	4,06
24	3	7	10	149,79	183,80	0,00	121,92	74,60	61,54	3,49	4,06
24	3	7	15	143,75	175,99	0,00	131,14	86,83	66,60	3,24	4,06
24	3	7	20	134,49	157,08	0,00	137,32	73,70	68,14	2,92	4,06
24	3	7	25	131,01	137,77	0,00	140,85	102,40	59,45	2,54	4,06
24	3	7	30	121,80	131,92	0,00	114,34	96,91	61,81	2,19	4,06
24	3	7	35	109,65	108,01	0,00	92,70	85,78	49,33	1,82	4,06
24	3	7	40	94,57	82,32	0,00	83,11	61,82	34,94	1,45	4,06
24	3	7	45	88,13	55,72	0,00	96,59	59,89	32,75	1,08	4,06
24	3	7	50	88,48	43,94	1,78	80,01	40,83	31,99	0,78	4,06
24	3	7	55	93,05	38,01	4,75	62,62	78,85	56,06	0,50	4,06
24	3	7	60	75,56	31,11	12,03	59,08	36,36	22,74	0,35	4,06

Cuadro.20
Luz = 4 m; Ancho = 4 m

espesor losa (cm)	Luz	Ancho	Angulo de esviaje	Mmax (+)		Mmax (-)	V(max)	Mmax (-)	Torsión	Deflexión (mm)	1/800(Luz)
				en losa vano central	en bordillo vano central	en bordillo apoyo	en bordillo apoyo	En Losa esquina Ang agudo	en losa		Deflexión max permitida (AASHTO 1991)
29	4	4	0	170,82	228,95	0,00	117,52	50,84	50,86	4,07	5,31
29	4	4	5	163,87	225,60	0,00	128,72	47,79	56,22	3,81	5,31
29	4	4	10	162,04	222,39	0,00	138,50	51,40	49,87	3,70	5,31
29	4	4	15	158,30	225,91	0,00	147,76	55,44	62,50	3,53	5,31
29	4	4	20	150,37	209,80	0,00	156,11	57,42	63,55	3,30	5,31
29	4	4	25	150,11	189,87	0,00	163,00	57,12	58,07	2,99	5,31
29	4	4	30	143,95	190,21	0,00	168,06	60,38	70,13	2,64	5,31
29	4	4	35	136,07	164,64	0,00	169,79	58,75	67,94	2,25	5,31
29	4	4	40	124,39	139,18	0,00	171,50	52,64	45,13	1,84	5,31
29	4	4	45	112,14	110,72	0,00	107,22	77,80	65,10	1,42	5,31
29	4	4	50	103,91	88,87	2,59	74,95	63,26	41,34	1,03	5,31
29	4	4	55	96,84	51,81	7,97	90,28	78,87	33,04	0,75	5,31
29	4	4	60	68,89	40,26	14,14	81,10	67,25	38,32	0,62	5,31

Cuadro. 21
Luz = 4 m; Ancho = 7,3 m

espesor losa (cm)	Luz	Ancho	Angulo de esviaje	Mmax (+)		Mmax (-)	V(max)	Mmax (-)	Torsión	Deflexión (mm)	1/800(Luz) Deflexión max permitida (AASHTO 1991)
				en losa vano central	en bordillo vano central	en bordillo apoyo	en bordillo apoyo	En Losa esquina Ang agudo	en losa		
29	4	7,3	0	227,19	227,63	0,00	138,01	49,49	64,44	5,86	5,31
29	4	7,3	5	221,40	280,11	0,00	149,00	58,92	69,16	5,77	5,31
29	4	7,3	10	219,85	291,34	0,00	160,35	51,99	58,51	5,52	5,31
29	4	7,3	15	212,29	280,64	0,00	171,82	61,38	76,21	5,13	5,31
29	4	7,3	20	199,79	258,25	0,00	181,77	59,71	84,27	4,65	5,31
29	4	7,3	25	193,44	233,11	0,00	189,79	75,79	69,10	4,06	5,31
29	4	7,3	30	179,83	226,83	0,00	196,68	64,42	78,04	3,45	5,31
29	4	7,3	35	163,94	196,77	0,00	200,58	114,70	76,38	2,85	5,31
29	4	7,3	40	142,51	164,03	0,00	199,80	93,29	55,56	2,27	5,31
29	4	7,3	45	131,44	132,84	0,00	136,48	88,34	74,38	1,72	5,31
29	4	7,3	50	121,92	99,11	7,62	120,97	83,88	48,62	1,25	5,31
29	4	7,3	55	104,41	65,49	12,68	113,50	61,31	38,38	0,97	5,31
29	4	7,3	60	90,80	52,35	21,88	93,59	60,28	33,04	0,79	5,31

Cuadro. 22
Luz = 5 m; Ancho = 4 m

espesor losa (cm)	Luz	Ancho	Angulo de esviaje	Mmax (+)		Mmax (-)	V(max)	Mmax (-)	Torsión	Deflexión (mm)	1/800(Luz)
				en losa vano central	en bordillo vano central	en bordillo apoyo	en bordillo apoyo	En Losa esquina Ang agudo	en losa		Deflexión max permitida (AASHTO 1991)
32	5	4	0	225,58	327,49	0,00	149,45	39,51	50,86	6,46	6,56
32	5	4	5	214,58	319,45	0,00	164,42	47,43	59,31	6,13	6,56
32	5	4	10	212,33	314,22	0,00	178,02	51,32	56,06	5,96	6,56
32	5	4	15	209,03	318,54	0,00	191,18	58,83	70,21	5,69	6,56
32	5	4	20	199,90	299,97	0,00	203,95	70,45	74,40	5,33	6,56
32	5	4	25	201,32	276,47	1,83	215,05	80,74	72,25	4,91	6,56
32	5	4	30	193,45	275,20	8,24	224,40	87,39	85,36	4,56	6,56
32	5	4	35	183,27	244,54	15,97	230,28	92,23	86,57	3,93	6,56
32	5	4	40	170,13	213,02	24,13	232,20	91,89	66,40	3,69	6,56
32	5	4	45	152,76	152,17	31,36	220,21	88,99	90,46	2,77	6,56
32	5	4	50	140,90	150,87	26,34	200,18	86,91	65,98	2,18	6,56
32	5	4	55	131,30	125,28	22,25	112,77	111,06	63,94	1,67	6,56
32	5	4	60	97,00	65,65	27,19	116,59	119,59	59,73	1,21	6,56

Cuadro. 23
Luz = 5 m; Ancho = 7,3 m

espesor losa (cm)	Luz	Ancho	Angulo de esviaje	Mmax (+)		Mmax (-)	V(max)	Mmax (-)	Torsión	Deflexión (mm)	1/800(Luz)
				en losa vano central	en bordillo vano central	en bordillo apoyo	en bordillo apoyo	En Losa esquina Ang agudo	en losa		Deflexión max permitida (AASHTO 1991)
36	5	7,3	0	326,61	438,88	0,00	184,99	44,96	64,75	7,19	6,56
36	5	7,3	5	322,30	436,38	0,00	200,41	50,95	78,21	7,10	6,56
36	5	7,3	10	318,37	448,28	0,00	215,71	52,23	66,67	6,82	6,56
36	5	7,3	15	308,36	433,41	0,00	231,68	62,45	95,69	6,38	6,56
36	5	7,3	20	292,12	405,26	0,00	246,46	76,51	105,90	5,80	6,56
36	5	7,3	25	281,70	370,85	0,00	259,66	91,95	98,57	5,11	6,56
36	5	7,3	30	263,56	357,79	0,00	271,70	105,11	104,20	4,38	6,56
36	5	7,3	35	242,13	317,93	9,65	280,95	116,05	108,10	3,76	6,56
36	5	7,3	40	212,03	272,99	22,09	284,15	121,49	92,06	3,21	6,56
36	5	7,3	45	196,39	233,49	34,03	277,64	127,06	115,27	2,67	6,56
36	5	7,3	50	168,66	187,05	39,17	259,09	162,61	93,68	2,13	6,56
36	5	7,3	55	142,03	128,54	29,11	174,57	154,40	83,84	1,67	6,56
36	5	7,3	60	236,24	91,88	39,00	147,58	225,30	173,46	1,27	6,56

Cuadro.24
Luz = 6 m; Ancho = 4 m

espesor losa (cm)	Luz	Ancho	Angulo de esviaje	Mmax (+)		Mmax (-)	V(max)	Mmax (-)	Torsión en losa	Deflexión (mm)	1/800(Luz)
				en losa vano central	en bordillo vano central	en bordillo apoyo	en bordillo apoyo	En Losa esquina Ang agudo			Deflexión max permitida (AASHTO 1991)
36	6	4	0	292,05	455,25	0,00	186,38	43,38	50,95	8,83	7,81
36	6	4	5	277,74	441,69	0,00	205,21	61,69	63,31	8,51	7,81
36	6	4	10	275,09	433,85	0,00	225,95	77,35	63,68	8,28	7,81
36	6	4	15	270,15	437,25	0,00	239,75	93,12	78,22	8,05	7,81
36	6	4	20	262,11	416,60	1,95	257,78	110,56	86,35	7,66	7,81
36	6	4	25	264,00	388,21	14,47	273,49	126,19	88,71	7,15	7,81
36	6	4	30	253,91	383,03	25,00	287,37	138,08	100,88	6,55	7,81
36	6	4	35	241,11	345,45	40,24	297,64	146,68	106,14	5,86	7,81
36	6	4	40	227,17	305,49	56,39	302,52	148,95	107,44	5,12	7,81
36	6	4	45	203,66	271,22	71,52	300,17	143,12	115,28	4,33	7,81
36	6	4	50	191,48	227,35	81,09	285,56	136,75	116,57	3,53	7,81
36	6	4	55	170,62	192,97	80,03	241,10	129,61	109,44	2,75	7,81
36	6	4	60	146,09	141,41	52,69	145,08	164,23	92,91	2,08	7,81

Cuadro.25
Luz = 6 m; Ancho = 7,3 m

espesor losa (cm)	Luz	Ancho	Angulo de esviaje	Mmax (+)		Mmax (-)	V(max)	Mmax (-)	Torsión	Deflexión (mm)	1/800(Luz) Deflexión max permitida (AASHTO 1991)
				en losa vano central	en bordillo vano central	en bordillo apoyo	en bordillo apoyo	En Losa esquina Ang agudo	en losa		
40	6	7,3	0	456,25	549,11	0,00	221,34	56,98	60,75	10,89	7,81
40	6	7,3	5	452,04	544,16	0,00	243,67	73,19	83,01	10,75	7,81
40	6	7,3	10	447,49	557,31	0,00	266,39	91,38	83,21	10,35	7,81
40	6	7,3	15	432,68	538,86	0,00	289,61	111,84	116,59	9,71	7,81
40	6	7,3	20	412,56	506,95	0,00	311,80	136,45	129,51	8,93	7,81
40	6	7,3	25	398,09	465,19	6,08	332,04	164,80	131,43	8,20	7,81
40	6	7,3	30	375,43	448,25	23,61	349,63	189,39	139,00	7,38	7,81
40	6	7,3	35	349,26	401,06	41,17	363,10	208,46	157,28	6,50	7,81
40	6	7,3	40	320,38	347,38	68,13	369,19	218,57	164,75	5,60	7,81
40	6	7,3	45	305,59	305,02	93,99	367,01	214,50	178,22	4,70	7,81
40	6	7,3	50	264,88	250,23	107,53	350,99	208,48	182,13	3,81	7,81
40	6	7,3	55	233,07	187,09	109,23	300,96	225,39	171,14	2,98	7,81
40	6	7,3	60	427,74	126,44	63,29	173,64	249,72	278,62	2,28	7,81

Cuadro.26
Luz = 7 m; Ancho = 4 m

espesor losa (cm)	Luz	Ancho	Angulo de esviaje	Mmax (+)		Mmax (-)	V(max)	Mmax (-)	Torsión	Deflexión (mm)	1/800(Luz)
				en losa vano central	en bordillo vano central	en bordillo apoyo	en bordillo apoyo	En Losa esquina Ang agudo	en losa		Deflexión max permitida (AASHTO 1991)
45	7	4	0	426,94	483,45	0,00	203,98	83,09	48,89	10,08	9,06
45	7	4	5	425,80	479,58	0,00	227,25	106,35	69,56	9,99	9,06
45	7	4	10	421,15	471,01	2,72	251,01	132,82	78,88	9,73	9,06
45	7	4	15	411,93	475,26	11,39	274,95	160,58	85,71	9,49	9,06
45	7	4	20	414,51	453,07	23,00	297,48	189,34	107,91	8,99	9,06
45	7	4	25	396,93	423,51	38,06	318,34	215,89	130,87	8,38	9,06
45	7	4	30	395,50	417,12	56,34	336,30	237,47	157,38	7,65	9,06
45	7	4	35	374,54	378,79	77,01	349,27	253,13	183,11	6,85	9,06
45	7	4	40	358,38	331,71	99,04	355,83	259,58	205,36	6,00	9,06
45	7	4	45	346,78	300,71	121,11	354,99	258,46	220,05	5,12	9,06
45	7	4	50	309,30	250,68	139,60	344,31	256,62	222,71	4,22	9,06
45	7	4	55	287,80	204,00	146,64	314,62	235,63	205,93	3,32	9,06
45	7	4	60	275,80	138,43	131,46	229,05	224,25	178,26	2,48	9,06

Cuadro.27
Luz = 7 m; Ancho = 7,3 m

espesor losa (cm)	Luz	Ancho	Angulo de esviaje	Mmax (+)		Mmax (-)	V(max)	Mmax (-)	Torsión	Deflexión (mm)	1/800(Luz)
				en losa vano central	en bordillo vano central	en bordillo apoyo	en bordillo apoyo	En Losa esquina Ang agudo	en losa		Deflexión max permitida (AASHTO 1991)
45	7	7,3	0	541,07	596,85	0,00	226,14	83,43	57,69	12,54	9,06
45	7	7,3	5	537,20	590,58	0,00	252,33	104,21	84,37	12,41	9,06
45	7	7,3	10	529,38	604,51	0,00	279,27	126,81	101,58	12,13	9,06
45	7	7,3	15	515,91	581,44	0,00	306,47	154,90	131,90	11,58	9,06
45	7	7,3	20	502,35	549,62	11,75	333,30	189,44	154,09	10,85	9,06
45	7	7,3	25	482,82	506,22	29,00	357,21	224,70	163,51	9,97	9,06
45	7	7,3	30	472,11	487,78	51,05	377,89	254,70	172,36	8,98	9,06
45	7	7,3	35	450,92	436,62	77,63	393,50	278,20	204,64	7,92	9,06
45	7	7,3	40	413,89	377,73	106,73	400,94	291,06	232,36	6,86	9,06
45	7	7,3	45	398,82	340,42	135,09	402,43	291,91	248,35	5,79	9,06
45	7	7,3	50	419,05	277,66	158,78	386,85	290,51	251,88	4,75	9,06
45	7	7,3	55	409,05	223,85	167,52	351,46	266,36	232,50	3,74	9,06
45	7	7,3	60	272,70	187,82	148,74	254,51	487,84	195,54	2,83	9,06

Cuadro.28
Luz = 8 m; Ancho = 4 m

espesor losa (cm)	Luz	Ancho	Angulo de esviaje	Mmax (+)		Mmax (-)	V(max)	Mmax (-)	Torsión	Deflexión (mm)	1/800(Luz)
				en losa vano central	en bordillo vano central	en bordillo apoyo	en bordillo apoyo	En Losa esquina Ang agudo	en losa		Deflexión max permitida (AASHTO 1991)
55	8	4	0	599,15	587,34	0,00	234,12	115,96	49,39	10,57	10,31
55	8	4	5	591,21	582,36	0,67	263,46	149,38	78,17	10,48	10,31
55	8	4	10	590,25	574,85	8,46	293,48	187,76	100,95	10,22	10,31
55	8	4	15	599,93	574,46	19,77	232,40	228,68	129,00	9,94	10,31
55	8	4	20	592,98	548,38	35,00	351,56	271,08	161,51	9,42	10,31
55	8	4	25	571,20	514,02	54,03	377,12	310,89	199,54	8,76	10,31
55	8	4	30	584,90	503,51	76,59	398,15	344,58	238,40	8,01	10,31
55	8	4	35	554,17	458,66	102,38	413,05	370,02	276,68	7,19	10,31
55	8	4	40	532,73	402,25	130,16	419,91	383,67	310,96	6,32	10,31
55	8	4	45	509,00	365,32	158,29	417,57	393,64	334,98	5,41	10,31
55	8	4	50	468,37	305,97	184,24	404,64	401,00	342,95	4,51	10,31
55	8	4	55	426,50	257,66	202,67	381,34	381,12	324,74	3,61	10,31
55	8	4	60	399,20	202,36	202,36	328,74	333,27	276,50	2,76	10,31

Cuadro.29
Luz = 8 m; Ancho = 7,3 m

espesor losa (cm)	Luz	Ancho	Angulo de esviaje	Mmax (+)		Mmax (-)	V(max)	Mmax (-)	Torsión	Deflexión (mm)	1/800(Luz) Deflexión max permitida (AASHTO 1991)
				en losa vano central	en bordillo vano central	en bordillo apoyo	en bordillo apoyo	En Losa esquina Ang agudo	en losa		
55	8	7,3	0	758,61	733,42	0,00	267,94	115,26	56,94	13,29	10,31
55	8	7,3	5	750,13	725,88	0,00	302,40	145,69	94,84	13,15	10,31
55	8	7,3	10	757,44	738,26	0,00	337,97	187,57	126,58	12,87	10,31
55	8	7,3	15	737,79	712,14	10,71	373,81	236,68	169,51	12,29	10,31
55	8	7,3	20	716,99	673,21	27,71	408,48	288,36	204,09	11,51	10,31
55	8	7,3	25	726,27	622,87	50,43	439,16	340,60	223,95	10,57	10,31
55	8	7,3	30	710,33	595,29	78,67	464,58	386,61	273,22	9,52	10,31
55	8	7,3	35	676,10	534,18	112,05	482,68	423,41	321,30	8,43	10,31
55	8	7,3	40	624,47	462,54	148,91	490,37	446,08	363,33	7,31	10,31
55	8	7,3	45	603,88	418,10	187,58	489,88	457,49	391,65	6,20	10,31
55	8	7,3	50	603,85	342,06	220,66	471,13	463,06	398,79	5,13	10,31
55	8	7,3	55	586,24	285,06	240,86	438,03	435,20	373,46	4,11	10,31
55	8	7,3	60	424,14	244,12	232,55	375,68	594,68	309,86	3,17	10,31

CAPÍTULO III

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1. CONCLUSIONES

Los resultados que se muestran son comparativos respecto a esfuerzos en puentes sin ángulo de esviaje, bajo las mismas Normas, condiciones de carga, de apoyo, materiales, espesor de las losas, bordillo, etc.

Con respecto a los esfuerzos correspondientes a puentes sin esviaje, se ha determinado las variaciones en porcentaje para que sean comparables.

3.1.1. MOMENTO MAXIMO POSITIVO EN LA LOSA

Hasta un ángulo de esviaje de 20 grados, la variación de los momentos es de un (-10 %).

La variación de los momentos para un ángulo de esviaje de 20° resulta ser mayor en luces pequeñas. Para una luz de 2 m. corresponde una variación de -10%. Para una luz de 8 metros, el momento solamente varía en un -3%

Entre 20 y 50 grados de esviaje, la variación de los momentos flectores positivos, es mucho más considerable

Para un ángulo de esviaje de 50° y luz de 2 m la variación del momento es de -44% y para una luz de 8 m, la variación del momento es -25%

La variación de los momentos flectores positivos, en la losas de puentes esviajados, es mayor para luces pequeñas.

3.1.2. MOMENTO MAXIMO NEGATIVO EN ESQUINAS DE ÁNGULO AGUDO DE LA LOSA Y BORDES DE APOYO.

Hasta 20° de esviaje, las variaciones del momento flector negativo, varían sustancialmente pero además dependen de la luz de cálculo.

Para puentes de Luces mayores a 4 m, y ángulos de esviaje superiores a los 20°, el incremento del momento flector negativo en las esquinas de ángulo agudo es muy significativo, superando inclusive el 100% del esfuerzo determinado sin ángulo de esviaje.

Para luces mayores a 4 metros y ángulos de esviaje mayores a 20°, es necesario realizar determinar los esfuerzos resultantes a través de procedimientos de cálculo precisos, puede ser por elementos finitos.

3.1.3. MOMENTO MAXIMO POSITIVO EN EL BORDILLO

Hasta un ángulo de esviaje de 20°, la variación del momento flector varía en un -10% respecto al valor correspondiente a los puentes sin esviaje.

Para 50° de esviaje, la variación del momento flector es muy considerable, llegando hasta un -80% respecto al puente sin esviaje.

3.1.4. MOMENTO MAXIMO NEGATIVO EN EL BORDILLO

A medida que se incrementa el ángulo de esviaje, aparece un momento negativo en los extremos de los bordillos, constituyéndose en un esfuerzo muy importante a considerar, los puentes losa de luces menores, pueden soportar ángulos de esviaje grandes sin que existan momentos negativos en los extremos del bordillo, pero en luces mayores, el esfuerzo aparece ya en ángulos de esviaje mínimos.

En los puentes de luz igual a 2 metros, el esfuerzo negativo en los bordillos aparece recién cuando el ángulo de esviaje alcanza los 52°. En cambio en puentes cuya luz es igual a 8 metros, el momento flector negativo aparece a los 10° de esviaje.

3.1.5. TORSION EN LOSA

En puentes cuyas luces no superan los 4 metros, la torsión no es significativa, disminuyendo inclusive a medida que se incrementa el esviaje, pero cuando las luces superan los 5 metros, el incremento de la torsión es muy incidente.

Para una luz de 5 metros, la torsión se incrementa en un 22% y para unas luces mayores a 7 metros, supera el 100%

Para ángulos mayores a 20° de esviaje, el porcentaje de incremento con relación a un puente recto es muy sustancial por lo que se debe tener muchísimo cuidado al momento de realizar el diseño y disposición de armaduras.

3.1.6. CORTANTE MAXIMA EN EL BORDILLO

El incremento del esfuerzo cortante en la medida que aumenta el ángulo de esviaje, es considerable, llegando hasta el 80% en luces de 8 metros.

Hasta luces de 3 metros, el incremento del esfuerzo cortante no supera el +15% pero en luces mayores a 4 metros, varía desde el 45% hasta el 80.

3.1.7. DEFLEXIONES

Se ha determinado que, a medida que se incrementa el ángulo de esviaje, las deflexiones son menores.

Hasta los 20° de esviaje, el decremento de la deflexión es de -20 y para 50° alcanza un -75% de variación respecto a la calculada en puentes rectos.

Las deflexiones máximas que la AASHTO recomienda, y los espesores de losa de hormigón correspondientes, se cumplen hasta luces de 5 metros. Para luces mayores se ha podido verificar que las deflexiones calculadas exceden los límites máximos establecidos en la Norma. Este es un parámetro muy importante porque nos indica que los puentes losa son económicos hasta los 5 metros de luz, para longitudes mayores, se debe incrementar el espesor de losa, pero el peso propio también se incrementa notablemente haciéndose casi imposible obtener deflexiones menores a las recomendadas por la AASHTO.

3.2. RECOMEDACIONES

Concluido el estudio de puentes esviajados de luces hasta 10 metros, se ha llegado a muy interesantes significativas conclusiones, por tanto en base todo el estudio se recomienda lo siguiente:

3.2.1. Para conseguir los esfuerzos que provocan las cargas en las losas de puentes esviajados de 4 y 7.3 metros de ancho, se recomienda utilizar los cuadros, (3.15 al 3.28) de este documento.

3.2.2. Los cuadros, (3.15 al 3.28) solamente deben aplicarse para luces hasta los 8 metros, ángulos de esviaje hasta los 60° y anchos de calzada de 4 y 7.3 m.

3.2.3. Para luces intermedias se puede interpolar y conseguir los resultados de esfuerzos, pero debe verificarse en los graficos (3.1 al 3.21).

3.2.4. Los espesores de losas que están señalados en cada uno de los cuadros deben respetarse porque estos son los que mejor se comportan en cada uno de los casos, en caso de modificarse estos espesores, los resultados tabulados ya no corresponden a cada una de las luces de cálculo.

3.2.5. Para utilizar los cuadros (3.15 al 3.28) debe tenerse como datos, la luz de cálculo (entre 2 y 8 m), ancho del puente (de 4 o 7.3 m) y el ángulo de esviaje del puente (entre 0 y 60°), todos los demás datos son resultados.

3.2.6. Los cuadros (3.1 al 3.14) sirven para determinar los esfuerzos en las diferentes partes de los puentes losa, cada uno de ellos corresponde específicamente algún tipo de esfuerzo, se indica en cada uno de ellos. Estos cuadros nos sirven para comparar como varían ellos de acuerdo a los diferentes ángulos de esviaje, luz de cálculo y ancho del puente.

3.2.7. Las Figuras (3.5 a 3.10) sirven para determinar la ubicación de cada uno de los esfuerzos tabulados y consecuentemente para la correcta colocación de las armaduras de refuerzo.

3.2.8. Los gráficos (3.1 al 3.21) fueron elaborados para mostrar como varían los esfuerzos cuando se incrementa el ángulo de esviaje y la luz de los puentes. Además estos están particularizados para anchos de 4 y 7.3 m, pero además se realizó un estudio estadístico y se muestra como varían en general los puentes losa de 4 y 7.3.

3.2.9. El comportamiento de los esfuerzos en puentes losa esviajados tienen variaciones significativas, motivo por el que se recomienda en general realizar el estudio, análisis y determinación de esfuerzos, utilizando un procesos de cálculo basado en elementos finitos.

3.2.10. Se recomienda construir puentes losa solamente hasta 6 metros de luz y excepcionalmente hasta 8 m.

3.2.11. Se recomienda construir puentes losa esviajados hasta ángulos de 50° y excepcionalmente hasta los 60° .

A medida que se incrementa el ángulo de esviaje los esfuerzos se incrementan potencialmente, esto significa mayores armaduras de refuerzo y mayores cotos, por lo que siempre será racional un análisis previo.

BIBLIOGRAFIA

1. **ARTHUR H. NILSON.** *“desarrollo del marco teórico” duodécima edición.*

2. **DALCIO PICKLER BAESSO.** *Caminos Rurales Técnicas Adecuadas De Mantenimiento, Editorial Florianópolis.*

3. **FERNAND SINGER** *RESISTENCIA DE MATERIALES, Tercera edición.*

4. **FRITZ LEONHARDT.** *HORMIGON PRETENSADO, del Consejo superior de investigaciones científicas de Madrid España.*

5. **GUILLERMO CORNERO.** *PROYECTO, CONSTRUCCION Y CONSERVACION DE ALCANTARILLAS Tomos 1 y 2 Edición UNR de la Universidad Nacional de Rosario.*

6. **HUGO BELMONTE GONZALES.** *“DESARROLLO DEL MARCO TEÓRICO, METODOLOGÍA DISEÑO DEL PROCESO DE INVESTIGACIÓN” cuarta edición 1990.*

7. **IVÁN CHOQUETICLLA TAPIA.** *MANUAL DEL SAP 2000, Segunda edición Lima Perú.*

- 8. JORGE CRUZ RAMOS** *SAP 2000, Vol 1*
- 9. JOSÉ LUIS BOSIO VELASQUEZ** *PUENTES ANALISIS, DISEÑO Y CONSTRUCCION, american concrete institute.*
- 10. MAURICE ALBIGES** *ESTUDIO DE LAS ESTRUCTURAS POR LOS METODOS MATRICIALES Editores Técnicos Asociados Barcelona.*
- 11. MINISTERIO DE TRANSPORTE
INSTITUTO NACIONAL DE VIAS
COLOMBIA** *Código Colombiano de Diseño sísmico de puentes , Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica*
- 12. NORMA ASHTO 2005**
- 13. REGLAMENTO DE
CONSTRUCCIONESPARA EL VIENTO
DISTRITO FEDERAL DE MÉXICO** *MANUAL DE DISEÑO POR*
- 14. WILLAM A NASH** *RESISTENCIA DE MATERIALES, Serie Schaum Ed. Mc Graw Hill*
- 15. www.puentes.edu.bo**
- 16. www.superestructuraspuentes.htfs**

