

LIBRO: **PRY. PROYECTO**

TEMA: **CAR. Carreteras**

PARTE: **6. PROYECTO DE PUENTES Y ESTRUCTURAS**

TÍTULO: 01. Proyectos de Nuevos Puentes y Estructuras Similares

CAPÍTULO: 007. *Distribución de Cargas*

A. CONTENIDO

Esta Norma contiene los criterios generales para cuantificar los efectos de la carga viva en sistemas de piso de superestructuras de puentes y estructuras similares, a que se refiere la Norma N·PRY·CAR·6·01·001, *Ejecución de Proyectos de Nuevos Puentes y Estructuras Similares*, mediante el procedimiento simplificado denominado *distribución de cargas*, señalando las limitaciones para su aplicación y mencionando los métodos especiales de análisis estructural que se aplican cuando la estructura no satisface dichas limitaciones, para proyectos que realice la Secretaría con recursos propios o mediante un Contratista de Servicios.

B. DEFINICIÓN

El procedimiento de distribución de cargas, permite determinar en forma simplificada los efectos de la carga viva en los elementos del sistema de piso de una superestructura.

La distribución de cargas en el caso de las losas, consiste en la definición de un ancho efectivo en el que se supone se distribuye la carga de rueda y en el caso de largueros, piezas de puente (Figura 1), vigas y vigas maestras, en la determinación del llamado factor de concentración, que es la fracción de carga de rueda que se aplicará para su análisis.

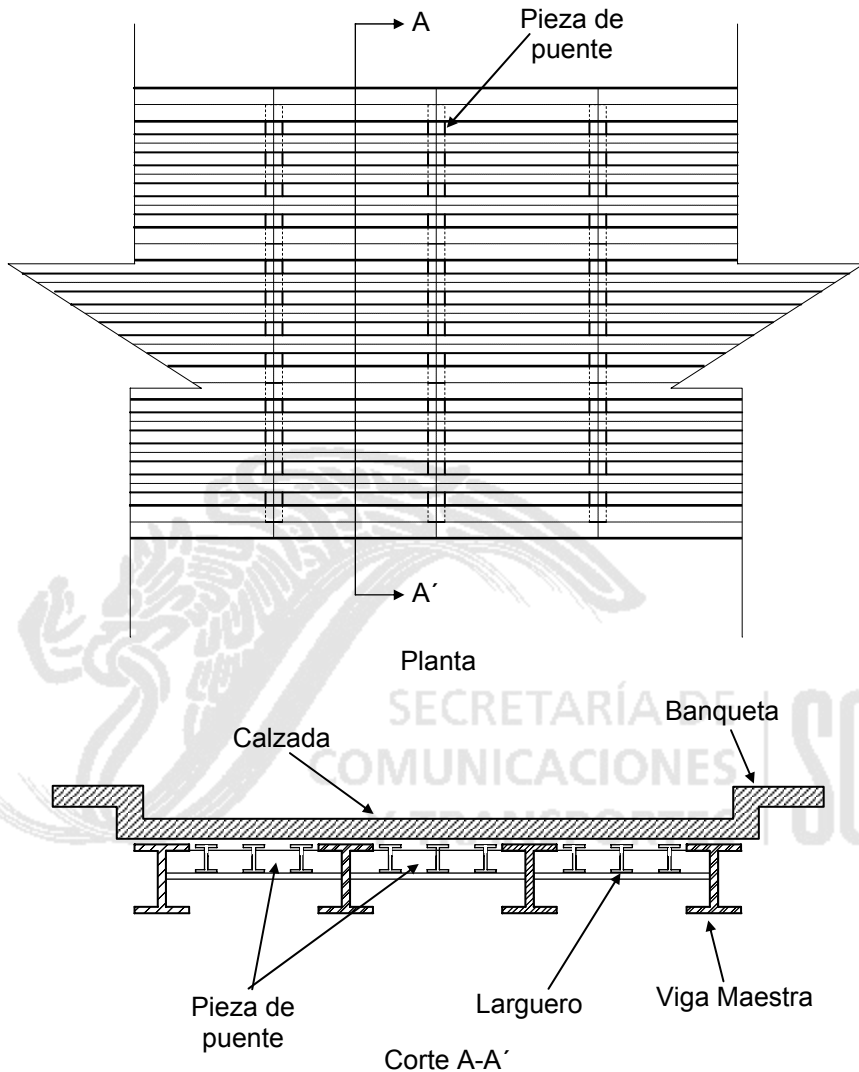


FIGURA 1.- Detalle de pieza de puente

Las cargas de rueda nominales son las indicadas en el Párrafo E.1.2.2. de la Norma N-PRY-CAR-6-01-003, *Cargas y Acciones*. Estas cargas de rueda son virtuales y se aplican únicamente con fines de análisis estructural y no representan a rueda alguna de ningún camión real.

C. REFERENCIAS

Son referencias de esta Norma, las Normas aplicables del Título 03. *Diseño de Estructuras de Concreto*, de la Parte 6. *Proyecto de Puentes y Estructuras*, del Libro PRY. *Proyecto*, del Tema CAR. *Carreteras*.

Además, esta Norma se complementa con las siguientes:

NORMAS	DESIGNACIÓN
Ejecución de Proyectos de Nuevos Puentes y Estructuras Similares	N-PRY-CAR-6-01-001
Cargas y Acciones	N-PRY-CAR-6-01-003
Combinaciones de Cargas	N-PRY-CAR-6-01-006
Diseño por Cargas de Servicio para Estructuras de Acero	N-PRY-CAR-6-04-002

D. LIMITACIONES DEL MÉTODO SIMPLIFICADO

Para la aplicación del método simplificado de análisis, contenido en esta Norma, la superestructura del puente debe satisfacer las siguientes condiciones:

- El ancho de la sección resistente es constante
- Los apoyos pueden asimilarse a líneas que cubren todo el ancho inferior de la sección transversal del elemento de análisis
- En superestructuras esviajadas constituidas por una sola losa plana o aligerada, se cumple que el ángulo de esviajamiento (ε) es menor que:

$$\varepsilon \leq \arctan \frac{L}{6A}$$

Donde:

ε = Ángulo de esviajamiento, (grados)

A = Ancho de la losa medido normalmente a su eje longitudinal, sin voladizos. En tramos de sección cajón, es la distancia promedio entre caras externas de las almas exteriores, Figura 2 de esta Norma, (m)

L = Claro entre ejes de apoyo, medido paralelamente al eje del camino para puentes libremente apoyados. En puentes continuos L es el ochenta (80) por ciento del claro en tramos

extremos, en tramos intermedios el sesenta (60) por ciento y el veinte (20) por ciento de la suma de los claros adyacentes para la revisión del momento negativo sobre un apoyo intermedio, Figura 3 de esta Norma, (m)

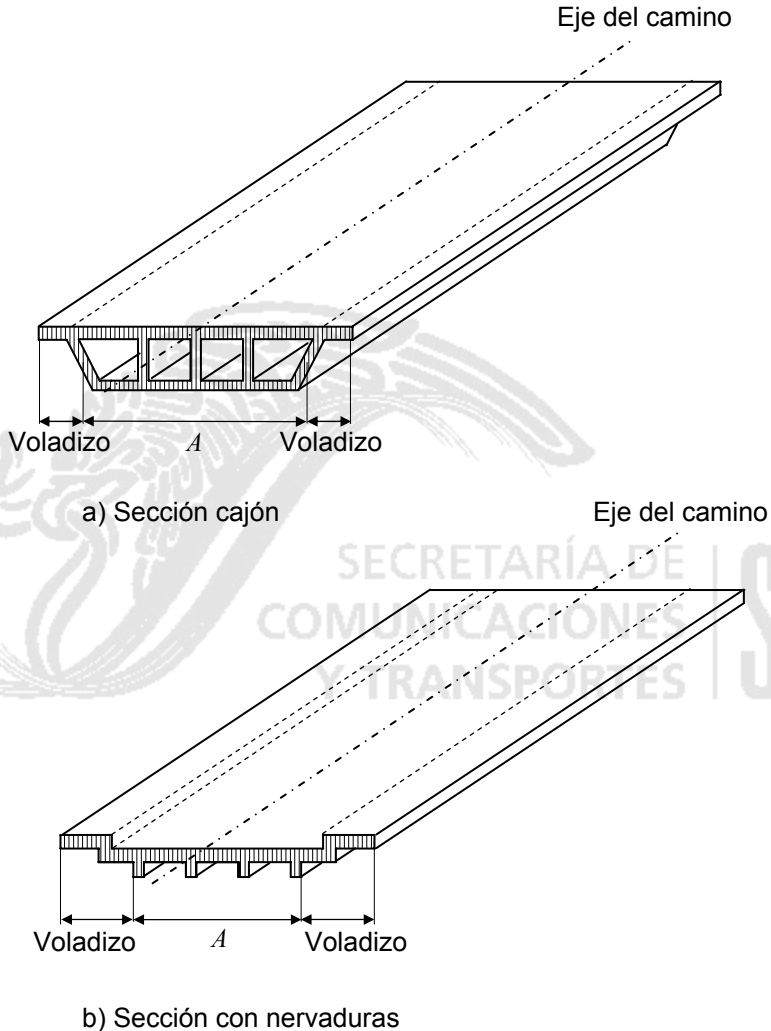
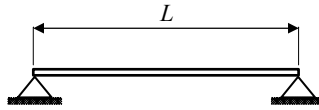
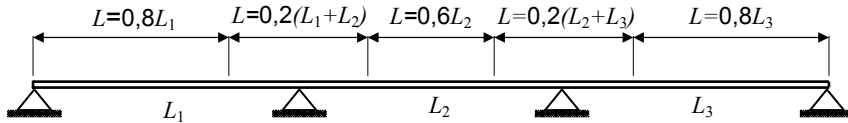


FIGURA 2.- Ancho efectivo A para dos ejemplos de secciones



a) Puentes libremente apoyado



Donde:

L = Longitud efectiva

$L_1, L_2, y L_3$ = Claro entre apoyos

FIGURA 3.- Longitud efectiva necesaria para la medición del esviamiento

- Para superestructuras formadas por losas sobre vigas múltiples se cumple que:

$$\varepsilon \leq \arctan \frac{L}{18S}$$

Donde:

S = Separación entre vigas adyacentes medida entre centros de almas, (m)

- En puentes curvos la relación $2L^2/AR$ no excede de uno (1),

Donde:

L' = Longitud del claro medida a lo largo de la curva del eje central de la superestructura, (m)

R = Radio de curvatura del eje central de la superestructura, (m)

- Las losas planas, macizas o aligeradas, tienen un peralte constante en su sección transversal. En la proximidad de una orilla libre

tendrán peralte variable, siempre y cuando la longitud acartelada en la dirección transversal sea menor de dos coma cinco (2,5) metros.

- Los puentes de losas sobre vigas tienen todas las vigas paralelas, de igual rigidez y colocadas a la misma separación, con variaciones no mayores de diez (10) por ciento respecto a la media. El número mínimo de vigas es cuatro (4).
- En los puentes sobre vigas en los que la losa de la calzada tiene voladizos, la longitud de cada voladizo será menor al sesenta (60) por ciento de la separación entre vigas y además menor de uno coma ocho (1,8) metros. Además el ancho de la superficie de rodadura sobre el voladizo es inferior a noventa (90) centímetros.
- En losas planas, de sección maciza o aligerada, la relación de aspecto L/A será mayor de dos coma cinco (2,5). En esta relación L es para puentes libremente apoyados normales igual al claro; para puentes libremente apoyados esviados L es el largo del rectángulo mayor que puede inscribirse dentro de la vista en planta de la sección resistente de la superestructura (de ancho A), como se muestra en la Figura 4 de esta Norma.
- En puentes continuos sin esviamiento L es el claro de menor longitud; en esviados L es la longitud del mayor rectángulo que puede inscribirse en la planta del claro de menor longitud, como se muestra en la Figura 5 de esta Norma.

En el caso de que estas condiciones no se satisfagan, se requiere emplear alguno de los métodos especiales listados en la Cláusula I. de esta Norma.

E. DISTRIBUCIÓN DE CARGAS SOBRE LARGUEROS, PIEZAS DE PUENTE Y VIGAS LONGITUDINALES

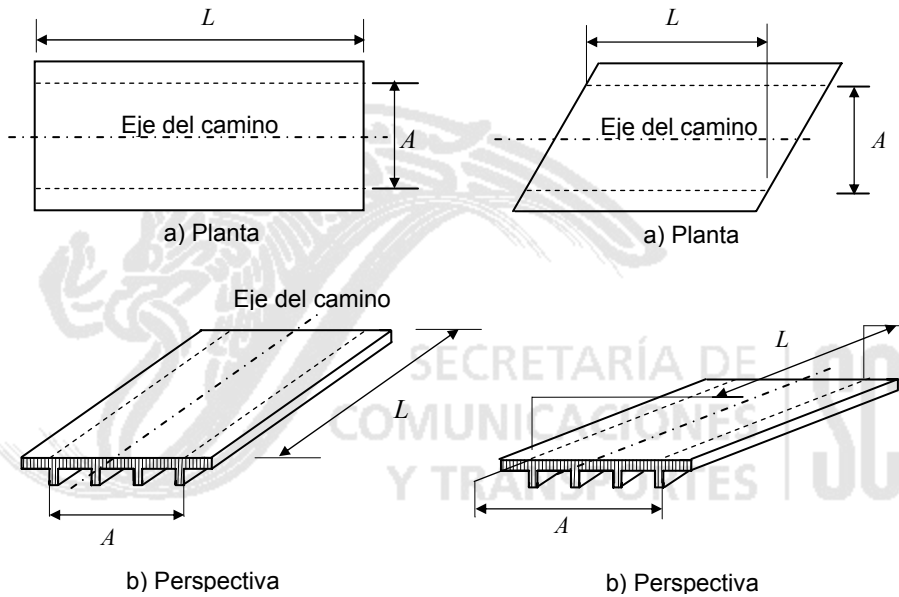
Las previsiones de esta Cláusula no son aplicables a superestructuras de piso ortotrópico, que son aquellas en que la calzada está conformada por una placa de acero con propiedades elásticas diferentes en dos direcciones ortogonales, ya que la placa es el patín superior de elementos longitudinales y transversales soldados a ella.

E.1. POSICIÓN DE LAS CARGAS PARA CALCULAR LA FUERZA CORTANTE

Para el cálculo de la fuerza cortante de diseño en los elementos del sistema de piso, se considera que no hay distribución

longitudinal de la carga por rueda adyacente al elemento donde se desea calcular la fuerza.

La distribución lateral de la carga por rueda en los extremos de vigas, piezas de puente o largueros se realiza suponiendo que el piso actúa como viga simplemente apoyada entre elementos. Para las cargas que estén en otras posiciones del claro, la distribución para fuerza cortante se hará de acuerdo con lo indicado en las Fracciones E.2. y E.3. de esta Norma (Figura 6 de esta Norma).



b) Perspectiva

Puente normal

Donde:

L = Longitud del claro

A = Ancho efectivo

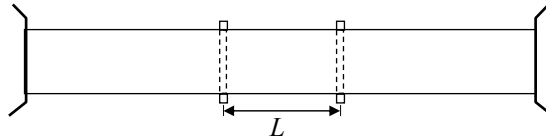
b) Perspectiva

Puente esviado

FIGURA 4.- Longitud del claro para puentes libremente apoyados

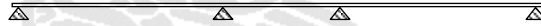


Elevación

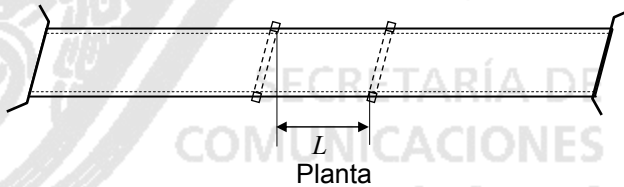


Planta

Puente continuo normal



Elevación



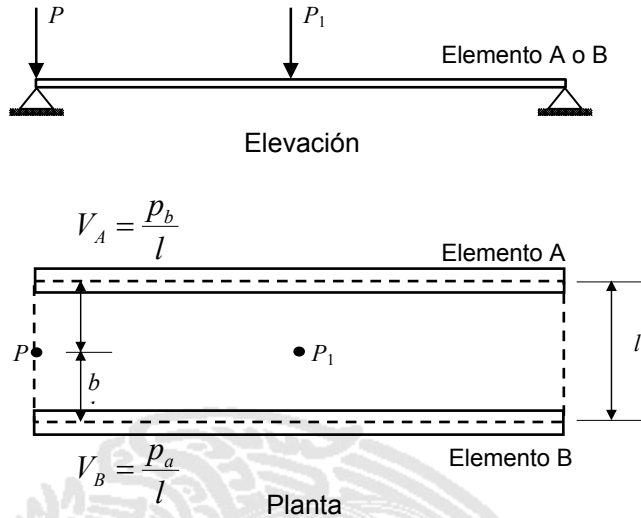
Planta

Puente continuo esviado

FIGURA 5.- Longitud del claro para puentes continuos

E.2. MOMENTOS FLEXIONANTES EN ELEMENTOS LONGITUDINALES

Para momentos flexionantes en largueros o vigas longitudinales, se considerará que no hay distribución longitudinal de la carga por rueda; la distribución lateral se determinará de la siguiente manera:



P está en el extremo de los elementos de piso y se reparte como si el piso trabajara como viga libremente apoyada entre los elementos A y B

P_1 está en otra posición y se reparte como se indica en las Fracciones E.2. y E.3. de esta Norma

Donde:

P = Carga de rueda en el extremo

P_1 = Carga de rueda en otra posición

V_A = Cortante en el extremo del elemento A

V_B = Cortante en el extremo del elemento B

a = Distancia desde la carga de rueda al extremo A

b = Distancia desde la carga de rueda al extremo B

l = Separación entre A y B

FIGURA 6.- Posición de las cargas para calcular la fuerza cortante

E.2.1. Largueros y vigas interiores

El momento flexionante por carga viva para cada elemento interior se calculará aplicando al larguero los factores de de

concentración (fracciones de la carga por rueda) que se indican en la Tabla 1 de esta Norma.

TABLA 1.- Distribución de cargas de rueda en vigas longitudinales^[*]

Unidades en m

Clase de piso	Puente con un solo carril de tránsito	Puente con dos o más carriles de tránsito
De concreto sobre vigas metálicas o traveses de concreto presforzado	$S_L / 2,15$ Para $S_L \leq 3,00$	$S_L / 1,65$ Para $S_L \leq 4,20$
De concreto sobre vigas "T" de concreto	$S_L / 2$ Para $S_L \leq 1,80$	$S_L / 1,8$ Para $S_L \leq 3,00$
De concreto sobre traveses múltiples de sección cajón de concreto	$S_L / 2,45$ Para $S_L \leq 3,60$	$S_L / 2,15$ Para $S_L \leq 4,80$
Parrilla de acero con espesor menor de 10 cm	$S_L / 1,35$ Para $S_L \leq 1,80$	$S_L / 1,2$ Para $S_L \leq 3,20$
Parrilla de acero con espesor mayor de 10 cm	$S_L / 1,8$ Para $S_L \leq 1,80$	$S_L / 1,5$ Para $S_L \leq 3,20$

[*] Cuando el valor excede del límite indicado en la Tabla para cada caso, la carga de cada larguero es la reacción de las cargas por rueda considerando que el piso entre largueros actúa como una viga simplemente apoyada.

S_L es la separación entre largueros o vigas adyacentes, medida entre centros de almas, en metros.

E.2.2. Vigas exteriores

E.2.2.1. Vigas de acero y vigas "T" de concreto

Se considera que la carga muerta que soporta la viga exterior corresponde a la parte de la losa de piso que tributa al propio elemento. Si las guarniciones, parapetos y carpeta asfáltica se colocan después del fraguado de la losa, se pueden considerar distribuidos igualmente entre todas las vigas bajo la calzada.

El momento flexionante por carga viva para las vigas exteriores, se determina aplicando a la viga la reacción

de la carga por rueda obtenida suponiendo que el piso actúa como una viga simplemente apoyada entre largueros o vigas.

Si las vigas exteriores soportan la carga viva peatonal sobre la banqueta así como la carga viva vehicular y el impacto, y la estructura se diseña por el método de los esfuerzos de trabajo, los esfuerzos permisibles se incrementan en un veinticinco (25) por ciento para la combinación de carga muerta, carga viva sobre la banqueta, carga viva vehicular e impacto, siempre que la capacidad de carga del elemento no sea menor que la que podría requerirse si no existiera banqueta.

Si la combinación de la carga viva sobre la banqueta así como la carga viva vehicular más impacto rigen el diseño y la estructura es diseñada por el método del factor de carga, puede utilizarse el valor de $\beta = 1,12$ en lugar de $\beta=1,5$ indicado en la Norma N-PRY-CAR-6-01-006, *Combinaciones de Cargas*.

La capacidad de carga de la viga exterior nunca será inferior a la de cualquier viga interior.

Para pisos de concreto soportados por cuatro (4) o más vigas de acero, la fracción de la carga por rueda no será menor que:

$$S_V / 1,65 \quad \text{para } S_V \leq 1,80 \text{ m}$$

$$S_V / (1,22 + 0,25S_V) \quad \text{para } 1,80 \leq S_V \leq 4,30 \text{ m}$$

Donde:

S_V = Distancia entre el larguero exterior y el interior adyacente medida entre centros de almas, (m)

E.2.2.2. Trabes de concreto de sección cajón

La carga muerta que soporta el alma exterior se determinará de la misma manera que para las vigas de acero o T de concreto. La fracción de la carga por rueda en el alma exterior será igual a $W_e/2,10$ en que W_e representa el ancho de la losa colaborante con el alma exterior, en metros, y es la distancia desde el punto

medio entre el alma exterior y la interior adyacente, hasta la orilla de la losa. La parte en voladizo de la losa que se prolongue más allá de la trabe exterior, no excederá de $S_V/2$.

E.2.3. Capacidad total de largueros y vigas

La capacidad total conjunta de carga de todas las vigas y largueros de un claro, no será menor que la requerida para soportar el total de las cargas viva y muerta en el claro.

E.3. MOMENTOS FLEXIONANTES EN PIEZAS DE PUENTE

Se denomina piezas de puente a las vigas transversales, normales a la dirección del tránsito, que soportan los largueros y se apoyan sobre las vigas maestras longitudinales (Figura 1).

Para calcular los momentos flexionantes en las piezas de puente, se considera que no hay distribución transversal de las cargas por rueda.

Cuando se suprimen los largueros longitudinales y el piso se apoya directamente sobre las piezas de puente, éstas se diseñarán para la fracción de carga por rueda que se indica en la Tabla 2 de esta Norma.

TABLA 2.- Distribución de cargas de rueda en piezas de puente

Concreto	$S_p / 1,85$ ^[*]
Rejilla de acero con espesor ≤ 10 cm	$S_p / 1,35$
Rejilla de acero con espesor > 10 cm	$S_p / 1,85$ ^[*]
Placa de acero corrugado de 5 cm de espesor mínimo	$S_p / 1,65$

[*] Si S_p resulta mayor que el denominador, la carga sobre la pieza de puente será la reacción de las cargas por rueda, considerando que el piso entre piezas de puente actúa como una viga simple, S_p es la separación entre piezas de puente medida entre centros de almas, (m)

E.4. VIGAS MÚLTIPLES PREFABRICADAS DE CONCRETO

Una superestructura de vigas múltiples consiste en vigas prefabricadas de concreto reforzado o presforzado adosadas una

al lado de otra. La interacción entre las vigas se logra mediante llaves de cortante longitudinales y continuas usadas conjuntamente con tirantes transversales tales como pernos, barras o torones, que pueden ser presforzados o no, o por otros medios mecánicos. En el caso de secciones canal, vigas "T" o vigas doble "T" se requieren diafragmas extremos de peralte completo para asegurar la distribución lateral de las cargas. Para calcular los momentos flexionantes no se considerará la distribución longitudinal de carga por rueda, y la distribución lateral se determinará aplicando a cada viga la fracción de la carga por rueda obtenida mediante las siguientes expresiones:

$$\text{Fracción de la carga por rueda} = S_s / D$$

Donde:

S_s = Ancho del patín superior del elemento prefabricado, (m)

D = Ancho teórico de distribución de una rueda, (m)

$$D = (5,75 - 0,5N_L) + 0,7N_L(1 - 0,2C)^2, \quad \text{cuando } C \leq 5$$

$$D = (5,75 - 0,5N_L), \quad \text{cuando } C > 5$$

Donde:

$$C = K \left(\frac{W}{L_s} \right)$$

C = Factor de variación del ancho teórico de distribución, (adimensional)

K = Constante que relaciona la inercia y la torsión de una sección determinada, (adimensional)

N_L = Número de bandas de tránsito para diseño, (adimensional)

W = Ancho total del puente medido perpendicularmente a las vigas longitudinales, (m)

L_s = Claro medido paralelamente a las vigas longitudinales; para vigas con diafragmas extremos colados en el sitio, L_s es el claro libre entre diafragmas extremos, (m)

$$K = \left[(1 + \mu) \frac{I}{J} \right]^{1/2}$$

Si el valor de $(I/J)^{1/2}$ excede de cinco (5), la distribución de la carga viva se determinará por un método más exacto, por ejemplo el método de la placa articulada o el análisis de una parrilla.

Donde:

I = Momento de inercia, (cm⁴)

J = Momento equivalente polar de inercia o constante de torsión, (cm⁴)

μ = Módulo de Poisson para las vigas, (adimensional)

En lugar de métodos más exactos, J se puede calcular por las siguientes expresiones.

Para vigas rectangulares sin huecos, vigas canales o vigas "T":

$$J = \sum \left[\left(\frac{1}{3} \right) b t^3 \left(1 - 0,630 \frac{t}{b} \right) \right]$$

Donde:

b = Ancho de cada componente rectangular, (cm)

t = Espesor de cada componente rectangular, (cm)

Los patines y las almas de secciones abiertas se consideran como componentes rectangulares separados cuyos valores se suman para calcular J . Obsérvese que en el caso de vigas rectangulares con huecos circulares, el valor de J , en forma aproximada, puede obtenerse despreciando los huecos.

Para vigas de sección cajón:

$$J = \frac{2t t_f (b-t)^2 (d-t_f)^2}{bt + dt_f - t^2 - t_f^2}$$

Donde:

b = Ancho total del cajón, (cm)

d = Peralte total del cajón, (cm)

t = Espesor de cualquier alma, (cm)

t_f = Espesor de cualquier patín, (cm)

Esta fórmula supone que tanto los patines como las almas son del mismo espesor y que se toma el ancho de uno de ellos.

Con fines de diseño preliminar se pueden tomar los valores de K indicados en la Tabla 3 de esta Norma.

TABLA 3.- Valores de K

Tipo de superestructura	Tipo de viga	K
Únicamente vigas múltiples	Vigas rectangulares macizas	0,7
	Vigas rectangulares con huecos circulares	0,8
	Vigas de sección cajón	1,0
	Vigas canales, vigas "T", vigas "TT"	2,2

F. DISTRIBUCIÓN DE CARGAS PARA LOSAS DE CONCRETO

F.1. LONGITUD DE CLAROS EFECTIVOS

Se denomina claro efectivo, S_e , al valor del claro que se utilizará en el cálculo de losa.

F.1.1. Losas simplemente apoyadas

La longitud del claro efectivo, S_e es la distancia entre ejes de apoyo, pero sin que exceda el claro libre más el espesor de la losa.

F.1.2. Losas continuas

Para el cálculo de losas continuas sobre más de dos (2) apoyos, las longitudes de claro efectivo S_e se toman como sigue:

Para losas monolíticas sobre vigas o muros sin cartelas o para losas continuas sobre vigas prefabricadas en las que la relación del ancho del patín superior de la viga al espesor mínimo de la losa es menor de cuatro (4).

Para losas apoyadas sobre vigas de acero o sobre vigas prefabricadas de concreto en que la relación del ancho del patín superior de la viga al espesor mínimo de la losa es mayor de cuatro (4), S_e es la distancia entre orillas de patines superiores más un medio ($\frac{1}{2}$) del ancho del patín superior de la viga.

F.2. DISTANCIA DE LA CARGA POR RUEDA A LA ORILLA

Para el diseño de losas, se considerará que el eje de la carga por rueda queda a treinta (30) centímetros de la cara de la guarnición. Si no existen guarniciones ni banquetas, la carga de rueda se considera a treinta (30) centímetros de la cara interior del parapeto.

F.3. MOMENTO FLEXIONANTE

El momento flexionante, por metro de ancho de losa, se calculará según los casos A y B que se detallan a continuación, a menos que se empleen métodos más exactos, considerando el área de contacto de la llanta que se indica en la Norma N-PRY-CAR-6-01-003, *Cargas y Acciones*.

F.3.1. Caso A.- Refuerzo principal perpendicular a la dirección del tránsito (claros de 0,60 m a 7,30 m)

A menos que se realice un análisis más detallado, el momento flexionante por carga viva para claros libremente apoyados se determina según la siguiente expresión:

$$M = \frac{S_e + 0,60}{7,5} P$$

Donde:

S_e = Claro efectivo, (m), (ver Fracción F.1. de esta Norma)

P = Carga sobre una rueda trasera de camión; 61,3 kN (6 250 kg) para el modelo IMT 66.5 y 44,1 kN (4 500 kg) para el modelo IMT 20.5 de acuerdo con lo indicado en la Norma N-PRY-CAR-6-01-003, *Cargas y Acciones*

El momento se obtiene en kg-m por metro de ancho de losa.

Este momento se incrementará para tomar los efectos de impacto según se indica en la Norma N-PRY-CAR-6-01-003, *Cargas y Acciones*.

En losas continuas sobre tres o más apoyos, se aplica un factor de reducción por continuidad de cero coma ocho (0,8) a la expresión anterior, tanto para momentos positivos como negativos.

F.3.2. Caso B.- Refuerzo principal paralelo a la dirección del tránsito

El ancho de distribución de la carga por rueda, E , es:

$$E = 1,20 + 0,06S_e ; \leq 2,10, \quad (\text{m})$$

Para el cálculo del momento flexionante y de la fuerza cortante máximos se colocan los trenes de carga de los modelos IMT 66.5 ó IMT 20.5, según corresponda, en las posiciones más desfavorables, considerando carga uniformemente distribuida w o w' que actúa en ese ancho E , de los modelos mencionados. Los elementos mecánicos así calculados se incrementan por impacto según la Norma N-PRY-CAR-6-01-003, *Cargas y Acciones*.

F.4. ADHERENCIA Y CORTANTE

Las losas diseñadas por momento flexionante de acuerdo con la Fracción F.3. de esta Norma se consideran adecuadas por adherencia y cortante.

F.5. LOSAS EN VOLADIZO

Al aplicar la fórmula siguiente para diseñar losas en voladizo, se considera que la losa soporta por sí sola la carga con independencia de los efectos de cualquier elemento de apoyo a lo largo del extremo libre del voladizo.

F.5.1. Cargas de rueda

F.5.1.1. Caso A. Refuerzo perpendicular al tránsito

Para el cálculo del momento por carga viva en los voladizos se considera que la carga de rueda se

distribuye en el ancho E proporcionado por la siguiente fórmula.

$$E = 0,8X + 1,15$$

Donde:

X = Distancia del eje de la carga por rueda a la sección en consideración, (m)

El momento en kg-m por metro de ancho de losa es $\frac{PX}{E}$

F.5.1.2. Caso B. Refuerzo principal paralelo al tránsito

Para vigas en voladizo con trabajo paralelo a la dirección del tránsito, el ancho de distribución E de la carga por rueda es:

$$E = 0,35X + 1,00 \leq 2,10, \text{ (m)}$$

Donde:

X = Distancia del eje de la rueda a la sección en consideración, (m)

El momento en kg-m por metro de ancho de losa es $\frac{PX}{E}$.

F.5.2. Cargas de parapetos

Las cargas sobre los parapetos se determinan según la Norma N·PRY·CAR·6·01·003, *Cargas y Acciones*. El ancho de distribución de la losa que resiste las cargas del poste es:

$$E = 0,8X_p + 1,15, \text{ (m) cuando no existe guarnición; y}$$

$$E = 0,8X_p + 1,50, \text{ (m) cuando existe guarnición}$$

Donde:

X_p = Distancia desde el eje del poste a la sección en consideración, (m)

Las cargas de rueda y de parapeto no se aplican simultáneamente.

F.6. LOSAS APOYADAS PERIMETRALMENTE

Para losas apoyadas perimetralmente, con refuerzo en ambas direcciones, la fracción de la carga total tomada por el claro corto se determina por las siguientes expresiones:

$$p = \frac{b^4}{a^4 + b^4} \quad \text{para cargas uniformemente distribuidas}$$

$$p = \frac{b^3}{a^3 + b^3} \quad \text{para cargas concentradas en el centro}$$

Donde:

p = Fracción de la carga tomada por el claro corto, (adimensional)

a = Longitud del claro corto de la losa, (m)

b = Longitud del claro largo de la losa, (m)

Cuando la relación b/a es mayor de uno coma cinco (1,5) la carga total es tomada por el claro corto.

Los anchos efectivos de distribución E para cada claro se valúan como se indica en las Fracciones anteriores, para losas trabajando en una sola dirección.

Los elementos obtenidos con estas consideraciones se usan para diseñar el medio central de los claros corto y largo. Los cuartos extremos remanentes se diseñan para un momento reducido en cincuenta (50) por ciento. Al diseñar las vigas de apoyo se toma en cuenta que las cargas transmitidas por la losa no están uniformemente distribuidas en el claro de esas vigas.

F.7. LOSAS EN LAS MEDIANAS

Cuando en el ancho de la mediana (franja que separa carriles de tránsito) la losa tiene un nivel superior al de la superficie de rodadura en la calzada, dicha losa se diseña de acuerdo con lo prescrito en las Fracciones anteriores, colocando una carga de

rueda en la posición que produzca un máximo esfuerzo. Teniendo en cuenta que esta condición es poco frecuente, se puede considerar en el método de los esfuerzos de trabajo que los efectos combinados de carga muerta, carga viva e impacto no serán mayores que ciento cincuenta (150) por ciento de los esfuerzos admisibles; y en el método de los factores de carga, a la carga viva y al impacto se aplica un factor β igual a uno (1) en vez de uno coma cinco (1,5) indicado en la Norma N-PRY-CAR-6-01-006, *Combinaciones de Cargas*.

Si los paramentos que limitan la mediana son superficies inclinadas y sus intersecciones con la losa de la calzada y con el plano superior horizontal superior de la mediana son romas en lugar de aristas vivas de modo que se facilite el ascenso de una llanta, no serán aplicables en el diseño estas consideraciones de incremento de esfuerzos admisibles y decremento de los factores de carga.

F.8. VIGAS MARGINALES LONGITUDINALES

En todas las losas con refuerzo principal paralelo a la dirección del tránsito se pondrán vigas marginales. Estas pueden consistir en una sección de la losa con refuerzo adicional, una viga integrada a la losa con peralte mayor que ésta o bien una sección de la losa integrada a la guarnición.

La viga marginal longitudinal se diseña para un momento flexionante de $0,12PS_e$

Donde:

P = Carga por rueda, 61,3 kN (6 250 kg) para el modelo IMT 66.5 y 44,1 kN (4 500 kg) para el modelo IMT 20.5, incrementada por el factor de impacto correspondiente

S_e = Claro efectivo de la losa, (m)

El valor del momento para claros continuos se puede reducir en veinte (20) por ciento a menos que se haga un análisis más exacto para justificar una reducción mayor.

F.9. ORILLAS TRANSVERSALES SIN APOYO

Las consideraciones anteriormente hechas no toman en cuenta el efecto de las cargas en la proximidad de las orillas sin apoyo, por lo que en los extremos y puntos intermedios del puente donde se interrumpa la continuidad de la losa, las orillas se apoyarán sobre diafragmas u otros medios apropiados. Estos se calcularán para resistir momentos y cortantes totales producidos por las cargas por rueda que puedan actuar sobre ellos.

F.10. REFUERZO DE DISTRIBUCIÓN

Para permitir la distribución lateral de cargas vivas concentradas se coloca refuerzo transversal al refuerzo principal en todos los lechos inferiores de las losas, excepto en aquellas que tienen un colchón de terracería con espesor mayor de sesenta (60) centímetros.

La cuantía del refuerzo de distribución es un porcentaje del refuerzo principal requerido por momento positivo, que se determina por las siguientes expresiones:

- Para refuerzo principal paralelo a la dirección del tránsito:

$$R_{d1} = \frac{55}{\sqrt{S_e}}, \text{ máximo } 50 \%$$

- Para refuerzo principal perpendicular a la dirección del tránsito:

$$R_{d2} = \frac{120}{\sqrt{S_e}}, \text{ máximo } 67\%$$

Donde S_e es el claro efectivo, (m).

Para refuerzo principal perpendicular a la dirección del tránsito, la cuantía de refuerzo de distribución determinada con la expresión anterior se usa en la mitad central del claro de la losa y en los cuartos extremos puede reducirse al cincuenta (50) por ciento.

G. DISTRIBUCIÓN DE CARGAS EN SISTEMAS DE PISO FORMADOS POR REJILLAS DE ACERO

G.1. GENERALIDADES

Las previsiones de esta Cláusula no se aplican a sistemas de piso ortotrópicos.

El sistema de piso se diseña como continuo. Sin embargo pueden utilizarse momentos para claros libremente apoyados reducidos veinte (20) por ciento.

En las Fracciones siguientes se indican procedimientos para la distribución de cargas suponiendo que la rejilla está compuesta por elementos principales que se apoyan en largueros, vigas o piezas de puente y por elementos secundarios que transfieren la carga a los elementos principales. Los elementos secundarios consisten en barras o perfiles metálicos soldados a los elementos principales.

G.2. REJILLAS RELLENAS CON CONCRETO

Para este tipo de rejilla se aplican los anchos de distribución y los momentos flexionantes especificados para losas de concreto en la Cláusula F. de esta Norma. También se aplican a estas rejillas rellenas de concreto las Fracciones F.1., F.8. y F.9. de esta Norma.

El diseño de la sección compuesta de acero y concreto de la rejilla rellena de concreto puede realizarse por el método de la sección transformada, según las Normas del Título 03. *Diseño de Estructuras de Concreto*, de la Parte 6. *Proyecto de Puentes y Estructuras*, del Libro PRY. *Proyecto*, del Tema CAR. *Carreteras*.

G.3. REJILLAS ABIERTAS

La carga de rueda se considera distribuida normalmente a los elementos principales, en un ancho igual a tres coma cinco (3,5) centímetros por nueve coma ocho (9,8) kilonewtons (1 t) de la carga de rueda más dos veces la distancia centro a centro entre elementos principales. La porción de carga asignada a cada elemento principal se aplica uniformemente en una longitud igual

al ancho de una rueda trasera (cincuenta (50) centímetros para IMT 66.5 e IMT 20.5). La capacidad de la sección se determina por el método del momento de inercia. Los esfuerzos permisibles son los que se indican en la Norma N-PRY-CAR-6-04-002, *Diseño por Cargas de Servicio para Estructuras de Acero*. Las orillas de las parrillas abiertas soportarán adecuadamente tanto en sentido transversal como longitudinal.

H. DISTRIBUCIÓN DE CARGAS EN SUPERESTRUCTURAS DE SECCIÓN CAJÓN

H.1. ALMAS INTERIORES

El momento flexionante por carga viva en cada una de las almas interiores de una superestructura de sección cajón con celdas múltiples se determina aplicando a la viga la porción de la carga por rueda ($FC = \text{Factor de concentración}$) determinada por la siguiente expresión:

$$FC = \frac{2N_L}{N_B} + K_i \frac{S}{L_s}$$

Donde:

N_L = Número de bandas de tránsito para diseño (Norma N-PRY-CAR-6-01-003, *Cargas y Acciones*)

N_B = Número de vigas ($4 \leq N_B \leq 10$)

S = Espaciamiento de las vigas ($2 \leq S \leq 3,35$), (m)

L_s = Longitud del claro, (m)

$K_i = 0,23 (A_C) - N_L (0,10N_L - 0,26) - 0,2N_B - 0,12$

A_C = Ancho de calzada, (m) ($9,75 \leq A_C \leq 20$)

H.2. ALMAS EXTERIORES

El momento flexionante por carga viva en las almas exteriores se determina aplicando a esas almas la reacción de las cargas por rueda calculada bajo la suposición de que el piso trabaja como una viga libremente apoyada entre las almas; pero la fracción así determinada no será menor que $2N_L / N_B$.

I. MÉTODOS ESPECIALES

Para el análisis estructural de sistemas de piso que no satisfagan los requisitos incluidos en la Cláusula D. de esta Norma, será obligatoria la aplicación de un método especial.

En el caso de que se satisfagan los requisitos de la Cláusula D. de esta Norma, la aplicación de un método especial es optativa, cuando a juicio del proyectista lo amerite la importancia de la obra.

Entre los métodos especiales de análisis pueden mencionarse los siguientes:

- Clásicos de fuerza y desplazamiento
- De diferencias finitas
- De elementos finitos
- De placas plegadas
- De franjas finitas
- De la parrilla análoga
- De series y otras funciones armónicas
- De las líneas de fluencia

El proyectista será responsable de la utilización de programas de cómputo para la aplicación de cualquier método, cuidando que las hipótesis básicas del método sean compatibles con la estructura específica que se analiza y cuidando el uso e interpretación adecuados de los resultados. Cuando se utilice un programa de cómputo, en la memoria de cálculo se incluirán el nombre, la versión y la fecha de edición de dicho programa.

J. BIBLIOGRAFÍA

American Association of State Highway and Transportation Officials, Inc. (AASHTO), *Standard Specifications for Highway Bridges*, 7ª Edición, Capítulo 3, EUA (1996).