

LIBRO: **PRY. PROYECTO**
TEMA: **CAR. Carretera**
PARTE: **6. PROYECTO DE PUENTES Y ESTRUCTURAS**
TÍTULO: 01. Proyectos de Nuevos Puentes y Estructuras Similares
CAPÍTULO: 003. Cargas y Acciones

A. CONTENIDO

Esta Norma contiene los criterios generales para determinar las cargas y acciones a que se refieren los Párrafos E.3.2.3. y E.4.1.1. de la Norma N-PRY-CAR-6-01-001, *Ejecución de Proyectos de Nuevos Puentes y Estructuras Similares*, que deben utilizarse en la ejecución del anteproyecto o del proyecto de un puente o estructura similar, que realice la Secretaría con recursos propios o mediante un Contratista de Servicios.

B. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN

Las cargas y acciones sobre las estructuras viales se definen y clasifican como sigue:

B.1. CARGAS PERMANENTES

Las cargas permanentes son las que tienen una variación despreciable durante la vida de la estructura y son:

- Cargas muertas
- Empujes de tierras
- Empujes hidrostáticos

B.2. CARGAS VARIABLES

Las cargas variables son las que tienen una variación importante durante la vida de la estructura, con una alta frecuencia de ocurrencia y son:

- Carga viva
- Impacto
- Fuerza centrífuga

B.3. CARGAS EVENTUALES

Las cargas eventuales son las producidas por acciones que ocurren ocasionalmente durante la vida de la estructura, como:

- Viento
- Sismo
- Frenaje
- Fricción
- Variación de temperatura
- Empuje dinámico del agua
- Subpresión
- Contracción por fraguado
- Acortamiento de arcos
- Flujo plástico
- Asentamientos diferenciales
- Oleaje

B.4. CLASIFICACIÓN DE CARGAS CON FINES DE DISEÑO

B.4.1. Cargas de servicio

Se denominan cargas de servicio a las que se considera que, con su valor real, actúan sobre la estructura y que se emplean en el diseño estructural por el método de cargas de trabajo, según lo indicado en las Normas de los Títulos PRY-CAR-6-03, *Diseño de Estructuras de Concreto* y PRY-CAR-6-04, *Diseño de Estructuras de Acero*.

B.4.2. Cargas últimas

Se denominan cargas últimas a las que tienen un valor igual al de la carga de servicio multiplicado por un factor de carga y que se emplean en el diseño estructural por el método de factores de carga, según lo indicado en las Normas de los Títulos PRY-CAR-6-03, *Diseño de Estructuras de Concreto* y PRY-CAR-6-04, *Diseño de Estructuras de Acero*.

C. REFERENCIAS

Son referencias de esta Norma, las Normas aplicables de los Títulos 03. *Diseño de Estructuras de Concreto* y 04. *Diseño de Estructuras de Acero*, de la Parte 6. *Proyecto de Puentes y Estructuras*, del Libro PRY. Proyecto, del Tema CAR. Carreteras; el *Reglamento sobre el Peso, Dimensiones y Capacidad de los Vehículos de Autotransporte que Transitan en los Caminos y Puentes de Jurisdicción Federal*, publicado por la Secretaría, así como las recomendaciones para plataformas marinas del *American Petroleum Institute* o el *Manual de Protección de Costas* del Centro de Investigación de Ingeniería de Costas del Departamento del Ejército de los Estados Unidos de América.

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
Características Generales de Proyecto	N-PRY-CAR-6-01-002
Viento	N-PRY-CAR-6-01-004
Sismo	N-PRY-CAR-6-01-005
Combinaciones de Cargas	N-PRY-CAR-6-01-006

D. CARGAS PERMANENTES

D.1. CARGAS MUERTAS

Las cargas muertas son las debidas al peso propio de los elementos estructurales y de los no estructurales como la carpeta asfáltica en la calzada de la estructura; las guarniciones, banquetas y parapetos; las tuberías, conductos, cables, postes y otros elementos de instalaciones de servicio público, así como los equipos, casetas y señales que ocupan una posición fija sobre la estructura; y en pasos inferiores de ferrocarril (PIF), los rieles, durmientes, balasto y accesorios. En la determinación de las cargas muertas se considera lo siguiente:

- D.1.1.** En el diseño de la subestructura también se consideran como cargas muertas el peso del relleno de las excavaciones para su construcción y el peso de terraplenes que graviten sobre la cimentación.
- D.1.2.** Cuando sea necesario colocar una carpeta asfáltica en la calzada de la estructura y exista la posibilidad de que durante su operación se coloquen sobrecarpetas, para el diseño de la

PRY. PROYECTO
CAR. CARRETERAS

N-PRY-CAR-6-01-003/01

superestructura, la carga muerta de la carpeta se determina considerando un incremento en el espesor de dicha carpeta asfáltica.

D.1.3. Es conveniente evitar la colocación de carpetas asfálticas sobre los puentes y estructuras similares, procurando que la superficie superior del concreto de las losas de la calzada sea la superficie de rodamiento. En este caso, si se prevé que la estructura estará sujeta al tránsito pesado, se incrementa el recubrimiento de la parrilla superior del acero de refuerzo de las losas, en cero coma cinco (0,5) centímetros por encima del recubrimiento normal y este sobrepeso se considera como capa de desgaste.

D.1.4. Para el cálculo de la carga muerta de materiales de uso común, pueden tomarse los pesos volumétricos que se indican en la Tabla 1 de esta Norma. En el caso de materiales no incluidos en esa Tabla, el peso volumétrico nominal se determina mediante un estudio estadístico de los pesos volumétricos obtenidos de muestras del material y será igual al valor que tenga una probabilidad de no ser excedido del dos (2) por ciento.

TABLA 1.- Peso volumétrico de materiales de uso común

Material	Peso volumétrico kN/m ³ (kg/m ³)
Acero o fundición de acero	77,00 (7 850)
Hierro colado	70,73 (7 210)
Aleaciones de aluminio	27,47 (2 800)
Madera tratada o sin tratar	7,85 (800)
Concreto asfáltico	21,58 (2 200)
Concreto hidráulico simple	22,56 (2 300)
Concreto hidráulico reforzado	23,54 (2 400)
Tierra, arena, grava o balasto compactados	18,64 (1 900)
Tierra, arena o grava sueltas	15,70 (1 600)
Macadam o grava compactada con rodillo	21,97 (2 240)
Relleno de escorias	9,42 (960)
Pavimento (que no sea de madera)	23,54 (2 400)
Mampostería de piedra	26,68 (2 720)
Vía de ferrocarril (rieles, guarda riel y accesorios)	2,94 kN/m (300 kg/m)

D.2. EMPUJES DE TIERRAS

Los elementos estructurales que retienen rellenos, se calculan para resistir los empujes de tierra, mediante el procedimiento de Rankine o cualquier otro debidamente documentado, que tome en cuenta principios de mecánica de suelos, de interacción suelo-estructura y de flexibilidad de la cimentación. En la determinación del empuje se considera lo siguiente:

- D.2.1.** La presión mínima a considerar en el diseño, es la equivalente a la que produciría un líquido con peso volumétrico de cuatro coma siete (4,7) kilonewtons por metro cúbico (480 kg/m^3).
- D.2.2.** En las secciones de marcos rígidos, donde el empuje de tierras resulte favorable, para determinar los elementos mecánicos de diseño se considera una reducción de cincuenta (50) por ciento del empuje calculado.
- D.2.3.** Cuando la carga viva vehicular pueda acercarse a una distancia de la parte superior de la estructura, igual o menor a la mitad de su altura, se incrementa el empuje de tierras suponiendo que la altura se aumenta en sesenta (60) centímetros por efecto de la carga viva. Si se colocan losas de aproximación adecuadamente reforzadas y apoyadas en uno de sus extremos sobre la estructura, no se considera el efecto de sobrecarga por carga viva.

D.3. EMPUJES HIDROSTÁTICOS

En el diseño de los elementos estructurales que retienen rellenos, se considera la acción del empuje hidrostático suponiendo saturado el relleno. Esta acción puede despreciarse si se prevé la inclusión de elementos para el drenaje total del relleno en el respaldo de la estructura, mediante drenes de tubos, capas de piedra quebrada o grava, y/o tubos perforados.

E. CARGAS VARIABLES**E.1. CARGAS VIVAS**

Las cargas vivas son las debidas al peso de las cargas móviles aplicadas que corresponden a camiones, autobuses, automóviles, equipos para construcción y trabajos agrícolas, ciclistas, peatones,

ganado y, en pasos inferiores de ferrocarril (PIF), al tren. En casos especiales, la Secretaría podrá ordenar que la estructura se diseñe para cargas vivas diferentes a las mencionadas, por ejemplo, para los casos de puentes ubicados en los accesos a instalaciones militares o industriales. En la determinación de las cargas vivas se toma en cuenta lo siguiente:

E.1.1. Ubicación de las cargas vivas vehiculares en los carriles de circulación

E.1.1.1. El número de carriles a considerar en el diseño de la estructura, se determina dividiendo el ancho de calzada a que se refiere la Cláusula E. de la Norma N-PRY-CAR-6-01-002, *Características Generales de Proyecto*, entre tres coma cinco (3,5) metros, redondeado el resultado a la unidad inferior. No se utilizan en el diseño fracciones de carril. Cuando se trate de la revisión estructural por carga viva de estructuras existentes, se consideran dos carriles cuando el ancho de calzada sea mayor de cinco coma cinco (5,5) metros y menor de diez coma cinco (10,5) metros.

E.1.1.2. Las cargas móviles, concentradas y uniformemente distribuidas, se colocan dentro del carril, en la posición más desfavorable para producir solicitaciones máximas en el elemento que se esté diseñando. No se toma en cuenta la posibilidad de que invadan los carriles adyacentes al que les corresponde.

E.1.1.3. Se considera que el eje de las ruedas derechas de los vehículos, se acerca a la cara de la guarnición o al límite del carril correspondiente, treinta (30) centímetros como mínimo para el diseño de los voladizos de la losa de calzada, o sesenta (60) centímetros como mínimo para el diseño de otros elementos de la superestructura.

E.1.1.4. En el caso de banquetas que no estén separadas de la calzada por un parapeto vehicular, se considera como condición extraordinaria, la posibilidad de que una rueda sobre la banqueta se acerque treinta (30) centímetros a la cara de la guarnición.

E.1.2. Modelos de cargas vivas vehiculares

Para los análisis longitudinal y transversal o tridimensional de la superestructura, se consideran los modelos de cargas vivas debidas a los vehículos, que se indican a continuación:

- Modelos IMT 66.5

Aplicables a estructuras que se proyecten para carreteras de los tipos ET, A, B y C, según la clasificación establecida en el *Reglamento sobre el Peso, Dimensiones y Capacidad de los Vehículos de Autotransporte que Transitan en los Caminos y Puentes de Jurisdicción Federal*, así como para las autopistas, que son carreteras de los tipos ET y A, con accesos controlados.

- Modelos IMT 20.5

Aplicables a estructuras que se proyecten para carreteras de Tipo D, según la clasificación establecida en el *Reglamento sobre el Peso, Dimensiones y Capacidad de los Vehículos de Autotransporte que Transitan en los Caminos y Puentes de Jurisdicción Federal*, así como para caminos rurales.

Estos modelos de cargas son virtuales, únicamente con fines de análisis estructural y no representan un vehículo real.

E.1.2.1. Modelos de cargas vivas vehiculares para el análisis longitudinal

a) Modelo IMT 66.5

Este modelo de cargas vivas para el análisis longitudinal de claros iguales o mayores de treinta (30) metros, consiste en tres cargas concentradas (P_1, P_2, P_3) y una carga uniformemente distribuida (w), con los valores que enseguida se indican y distribuidas como se muestra en la Figura 1 de esta Norma. Para carreteras de Tipo C, según la clasificación establecida en el *Reglamento sobre el Peso, Dimensiones y Capacidad de los Vehículos de Autotransporte que Transitan en los Caminos y Puentes de Jurisdicción Federal*, esas cargas deben multiplicarse por un factor de reducción de nueve décimos (0,9).

PRY. PROYECTO
CAR. CARRETERAS

N-PRY-CAR-6-01-003/01

$$P_1 = 49 \text{ kN (5 t)}$$

$$P_2 = 235 \text{ kN (24 t)}$$

$$P_3 = 368 \text{ kN (37,5 t)}$$

Para claros iguales o mayores de noventa (90) metros.

$$w = 10 \text{ kN/m (1 t/m)}$$

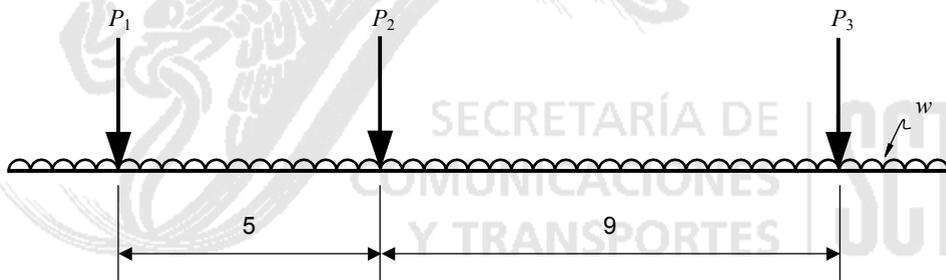
Para claros entre treinta (30) y noventa (90) metros.

$$w = 10(L - 30) / 60 \text{ (kN/m)}$$

Donde:

w = Carga uniformemente distribuida, (kN/m)

L = Longitud del claro, (m)



Dibujo fuera de escala
Acotaciones en metros

FIGURA 1.- Modelo de cargas vivas vehiculares IMT 66.5, para el análisis longitudinal de puentes y estructuras similares, con claros iguales o mayores de 30 m

Para claros menores de treinta (30) metros, $w = 0$ y P_2 se divide en dos (2) cargas iguales de ciento dieciocho (118) kilonewtons (12 t) y P_3 se divide en tres cargas iguales de ciento veintitrés (123) kilonewtons (12,5 t), en ambos casos, espaciadas uno coma dos (1,2) metros, como se muestra en la Figura 2 de esta Norma.

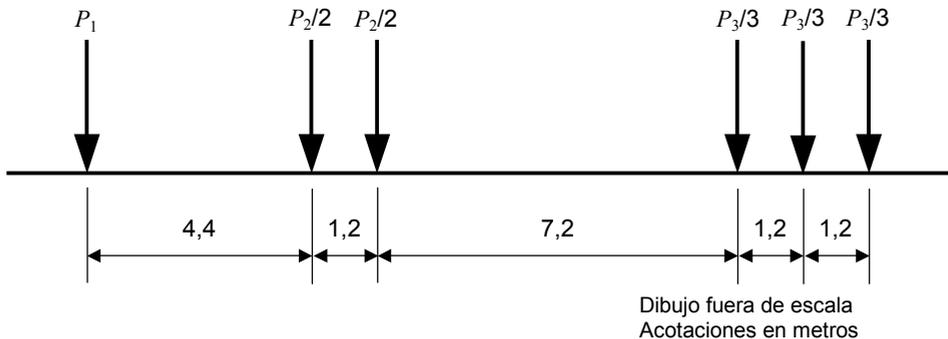


FIGURA 2.- Modelo de cargas vivas vehiculares IMT 66.5, para el análisis longitudinal de puentes y estructuras similares, con claros menores de 30 m

b) Modelo IMT 20.5

Este modelo de cargas vivas para el análisis longitudinal de claros iguales o mayores de quince (15) metros, consiste en dos cargas concentradas (P_4, P_5) y una carga uniformemente distribuida (w'), con los valores que enseguida se indican y distribuidas como se muestra en la Figura 3 de esta Norma:

$$P_4 = 25 \text{ kN (2,5 t)}$$

$$P_5 = 177 \text{ kN (18 t)}$$

$$w' = 8,8 \text{ kN/m (0,9 t/m)}$$

Si el claro es menor de quince (15) metros, P_5 se divide en dos cargas iguales de ochenta y ocho (88) kilonewtons (9 t), espaciadas uno coma dos (1,2) metros, como se muestra en la Figura 4 de esta Norma y la carga uniformemente distribuida w' se toma como:

$$w' = \frac{8,8}{15} L$$

Donde:

w' = Carga uniformemente distribuida, (kN/m)

L = Longitud del claro, (m)

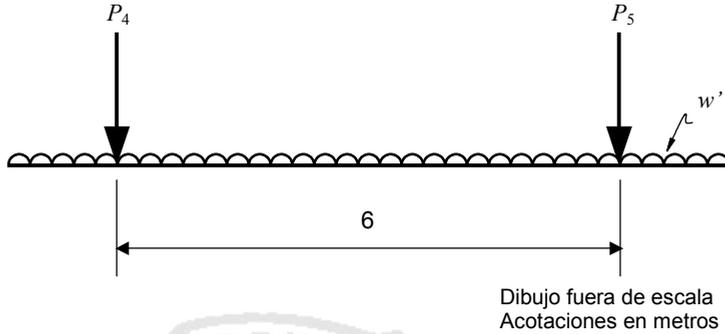


FIGURA 3.- Modelo de cargas vivas vehiculares IMT 20.5, para el análisis longitudinal de puentes y estructuras similares, con claros iguales o mayores de 15 m

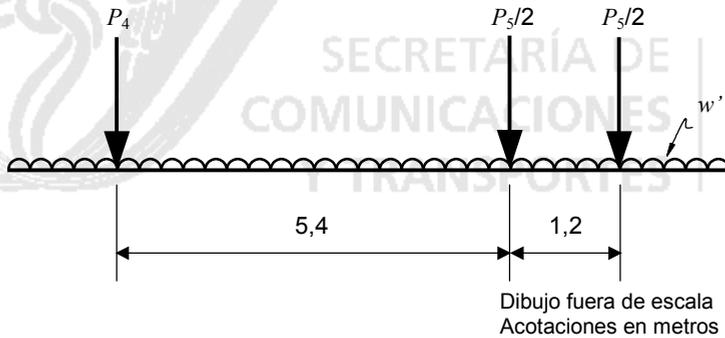


FIGURA 4.- Modelo de cargas vivas vehiculares IMT 20.5, para el análisis longitudinal de puentes y estructuras similares, con claros menores de 15 m

Cuando, por crecimiento esperado del volumen de tránsito, se prevea una futura mejora de las características físicas y geométricas de la carretera Tipo D o del camino rural, cambiando su clasificación,

la Secretaría puede ordenar que el análisis longitudinal de la superestructura se ejecute como si se tratara de una estructura sujeta a tránsito pesado, utilizando el modelo descrito en el Punto a) de este párrafo.

E.1.2.2. Modelos de cargas vivas vehiculares para el análisis transversal o tridimensional

Quando sea aplicable la carga uniformemente distribuida w o w' , según se indica en los Puntos a) y b) del Párrafo E.1.2.1. de esta Norma, respectivamente, en los modelos de cargas vivas vehiculares IMT 66.5 e IMT 20.5, para el análisis transversal o tridimensional de la superestructura, dicha carga se distribuye en un ancho de tres (3) metros. Para vigas de claros continuos, se aplica únicamente en aquellos claros en que produce efectos desfavorables en el elemento que se calcule.

Estos modelos comprenden las cargas concentradas aplicadas sobre la superficie de rodamiento, cuyas magnitudes y distribuciones en planta se muestran en las Figuras 5 y 6 de esta Norma, según se trate de estructuras sujetas a tránsito pesado o ligero, conforme a lo señalado en el Párrafo antes mencionado, respectivamente. Las cargas se pueden considerar concentradas en los centros de las áreas sombreadas que se indican en dichas figuras o repartidas en esas áreas. En ningún caso se consideran porciones de las cargas concentradas, a menos que físicamente algunas de ellas se salgan de la estructura.

E.1.2.3. Factores de reducción en carriles múltiples

Quando la máxima sollicitación por carga viva vehicular en un elemento ocurra por la presencia simultánea del modelo de carga en varios carriles, para tomar en cuenta la baja probabilidad de la coincidencia de posición para producir el máximo efecto, se aplican los factores de reducción que se indican en la Tabla 2 de esta Norma.

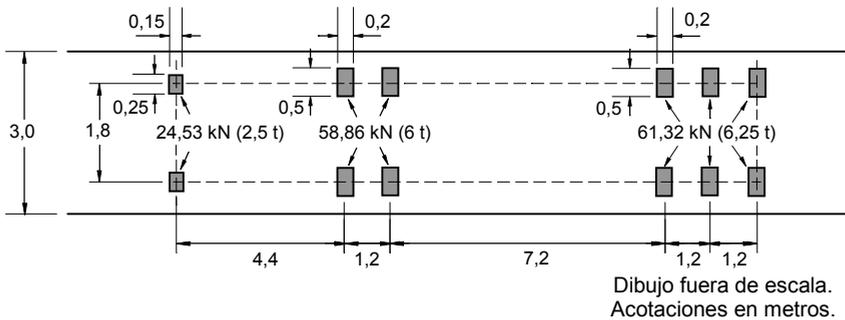


FIGURA 5.- Modelo de cargas vivas vehiculares IMT 66.5, para el análisis transversal o tridimensional de puentes y estructuras similares

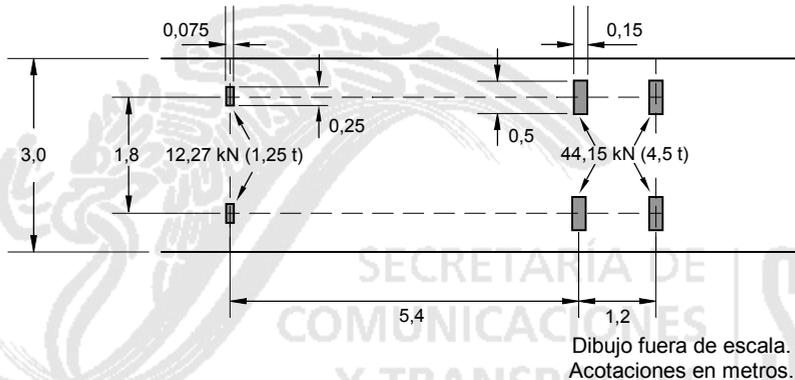


FIGURA 6.- Modelo de cargas vivas vehiculares IMT 20.5, para el análisis transversal o tridimensional de puentes y estructuras similares

TABLA 2.- Factores de reducción en carriles múltiples

Número de carriles cargados:	Factor de reducción por presencia múltiple
1	1,00
2	0,90
3	0,80
4	0,70
5	0,60
6 o más	0,55

E.1.3. Carga viva en banquetas

Las losas, los largueros y las ménsulas del sistema de piso de banquetas, así como los soportes de éstas se diseñan para una carga viva gravitacional (w_b) de tres mil novecientos veinticuatro (3 924) Pascales (400 kg/m^2) de área libre de banqueta.

Otros miembros de la sección transversal de la superestructura se diseñan para las siguientes cargas vivas gravitacionales sobre las banquetas:

- Para claros hasta de ocho (8) metros: $w_b = 3\ 924 \text{ Pa}$ (400 kg/m^2)
- Para claros mayores de ocho (8) metros y hasta treinta (30) metros: $w_b = 2\ 943 \text{ Pa}$ (300 kg/m^2)
- Para claros mayores de treinta (30) metros:

$$w_b = 10 \left(150 + \frac{4500}{L} \right) \left(\frac{16,5 - A}{15} \right) \leq 2\ 943 \text{ Pa} \text{ (} 300 \text{ kg/m}^2 \text{)}$$

Donde:

- w_b = Carga viva sobre el área libre de las banquetas, (Pa)
- L = Longitud cargada de la banqueta, (m)
- A = Ancho libre de la banqueta, (m)

No se considera esta carga viva gravitacional en la revisión estructural de puentes y estructuras similares existentes, que tengan un ancho libre de banquetas inferior a setenta y cinco (75) centímetros.

Para calcular los esfuerzos en estructuras que soportan banquetas en voladizo, se considera la banqueta cargada completamente en un solo lado de la estructura, si esta condición es la que produce esfuerzos máximos.

Las estructuras para peatones, ciclistas y ganado, se diseñan para una carga viva gravitacional (w_b) de tres mil novecientos veinticuatro (3 924) Pascales (400 kg/m^2), aplicada al área libre del andador.

E.1.4. Carga viva lateral sobre guarniciones

Las guarniciones se diseñan para resistir una fuerza lateral de siete coma treinta y seis (7,36) kilonewtons por metro

(750 kg/m) de guarnición, aplicada en la parte superior de la misma o a veinticinco (25) centímetros por encima de la superficie de rodamiento si la altura de la guarnición es mayor.

Si la banquetta, la guarnición y el parapeto forman un sistema integral en el diseño de la guarnición, se consideran los efectos de la carga aplicada sobre el parapeto.

E.1.5. Cargas vivas sobre parapetos

Como se muestra en la Figura 7 de esta Norma, las cargas vivas a considerar en los parapetos son:

E.1.5.1. Cargas sobre parapetos vehiculares

Los parapetos vehiculares se diseñan para una carga horizontal lateral hacia fuera P de cuarenta y cuatro (44) kilonewtons (4,5 t).

Si la altura total del parapeto sobre la superficie de rodamiento excede de ochenta y cinco (85) centímetros, la carga P se incrementa aplicando el siguiente factor C :

$$C = 1 + \frac{h - 8,5}{45} \geq 1$$

Donde:

h = Altura de la parte superior de parapeto sobre la superficie de rodamiento, (cm)

La carga P se divide en partes iguales entre los elementos longitudinales del parapeto para definir la carga de diseño P' sobre cada elemento longitudinal:

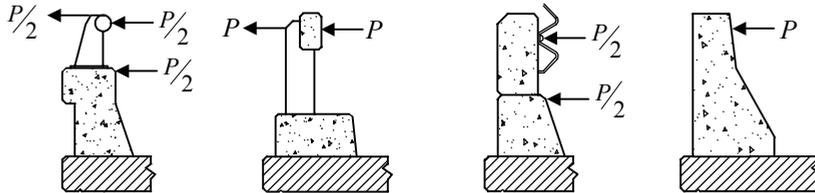
$$P' = \frac{P}{n}$$

Donde:

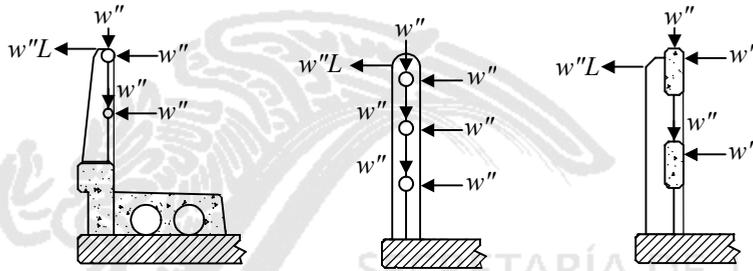
n = Número de elementos longitudinales

Cuando un elemento longitudinal tenga su cara hacia el tránsito rematada más de dos coma cinco (2,5) centímetros respecto al plano vertical tangente a la cara del elemento longitudinal más próximo al tránsito, o cuando su eje se ubique a menos de cuarenta (40) centímetros de la superficie de rodamiento, dicho

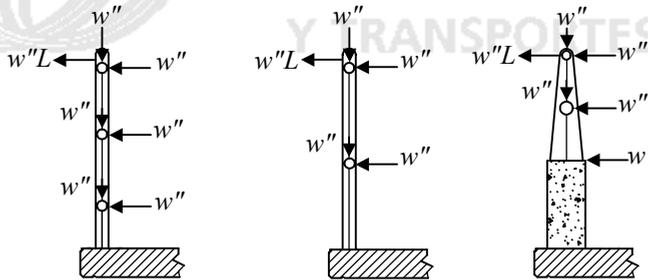
elemento no se considera para la distribución de la carga P , pero se diseña para una carga transversal igual a la del elemento longitudinal adyacente superior o $P/2$, la que sea menor.



a) En Parapetos Vehiculares



b) En Parapetos Peatonales



c) En Parapetos para Bicicletas

Las cargas a la derecha de la figura del parapeto, actúan sobre los elementos longitudinales; las de la izquierda, sobre los postes.

FIGURA 7.- Cargas vivas en parapetos

Los elementos longitudinales se diseñan para un momento de $P'L$, donde L es la separación entre postes.

En los parapetos de concreto de sección maciza o en las barreras de concreto, la fuerza transversal se distribuye en una longitud de uno coma cinco (1,5) metros.

Los elementos verticales o postes se diseñan para las cargas P' que les transmiten los elementos longitudinales. Además los postes se diseñan para una carga aplicada en el sentido longitudinal del puente, de valor igual a la mitad de la carga transversal, repartida entre cuatro postes. Las cargas transversales y longitudinales se suponen actuando simultáneamente.

Cada poste debe ser también capaz de resistir una carga transversal hacia la calzada, aplicada independientemente, igual que veinticinco centésimas (0,25) de la carga transversal hacia fuera.

La conexión de un elemento longitudinal debe resistir una carga transversal hacia la calzada igual que veinticinco centésimas (0,25) de la carga transversal hacia fuera, así como una carga vertical con la misma magnitud, actuando alternadamente hacia abajo o hacia arriba.

Las previsiones anteriores no son aplicables a parapetos que hayan sido exitosamente probados al impacto de vehículos, a escala natural, a satisfacción de la Secretaría.

E.1.5.2. Cargas sobre parapetos para bicicletas y peatonales

Para los elementos longitudinales de parapetos peatonales o para bicicletas, se aplica una carga de diseño en cada elemento, de $w'' = 736 \text{ N/m}$ (75 kg/m), actuando transversal y verticalmente en forma simultánea.

Los postes se diseñan para una carga transversal $w''L$ donde L es la separación entre postes. Esta carga se

aplica en el centro de gravedad del elemento longitudinal superior pero a una altura no mayor de ciento cuarenta (140) centímetros.

Estas prescripciones son válidas si existe un parapeto vehicular que separe el tránsito peatonal o de ciclistas del tránsito vehicular. De lo contrario, se aplican las cargas para parapetos vehiculares.

E.2. IMPACTO

Se denomina "impacto" a un incremento en porcentaje que se aplica a las cargas vivas vehiculares sobre la calzada, para tomar en cuenta los efectos de la vibración de la estructura, que es causada por su respuesta dinámica como un conjunto, a la excitación producida por las ruedas, la suspensión de los vehículos y el golpeteo de las primeras al pasar sobre irregularidades en la superficie de rodamiento, tales como juntas de dilatación, grietas, pequeños baches o despostillamientos. Pueden existir efectos resonantes cuando el periodo del sistema vehicular es similar a la frecuencia propia del puente. El incremento por impacto no se aplica a las cargas sobre la banqueta.

Los elementos estructurales en los que se considera el efecto del impacto, son:

- Superestructuras incluyendo columnas o muros de marcos rígidos.
- Pilas con o sin dispositivos de apoyo (independientemente del tipo de apoyos), excluyendo las zapatas u otros tipos de cimentación y las porciones de las pilas por debajo del nivel del terreno.
- Las porciones de los pilotes de acero o de concreto que sobresalgan del nivel del terreno y que soporten directamente la superestructura.

En los estribos, muros de retención, pilotes que no sean de acero o concreto y estructuras de madera, no se considera el efecto del impacto.

Los elementos mecánicos por carga viva se incrementan por efecto del impacto en los porcentajes siguientes:

- Setenta y cinco (75) por ciento para los elementos que integren una junta de dilatación en la calzada
- Cuarenta (40) por ciento cuando el elemento mecánico es producido por un solo eje (desglosado) del modelo IMT 66.5 o del modelo IMT 20.5
- Treinta (30) por ciento si el elemento mecánico es producido por dos (2) o tres (3) ejes desglosados de los modelos IMT 66.5 o IMT 20.5
- Veinticinco (25) por ciento si el elemento mecánico es producido por más de tres (3) ejes (desglosados del modelo IMT 66.5)

A las cargas w y w' de los modelos IMT 66.5 e IMT 20.5 respectivamente, se les aplicará el mismo porcentaje por concepto de impacto que corresponda al número de ejes con el que se define el elemento mecánico por carga viva.

Cuando la carga viva produzca reacción negativa en un dispositivo de apoyo, para el diseño de los elementos de anclaje se duplica el porcentaje de impacto definido según los párrafos anteriores.

E.3. FUERZA CENTRÍFUGA

La fuerza centrífuga es una fuerza horizontal radial que actúa sobre los vehículos en estructuras alojadas en curvas horizontales. Para calcular esta fuerza se multiplican las cargas vivas vehiculares aplicadas para la determinación del momento flexionante positivo máximo, por el siguiente factor.

$$FC = 0,0079 \frac{s^2}{R}$$

Donde:

FC = Factor de fuerza centrífuga

s = Velocidad máxima de proyecto para el grado de la curva en que se aloja el puente y para la sobreelevación transversal prevista, (km/h)

R = Radio de la curva, (m)

En la determinación de la fuerza centrífuga no se toma en cuenta el efecto de impacto.

La fuerza centrífuga se considera aplicada a uno coma ocho (1,8) metros sobre la rasante.

Cada carril de diseño de la estructura se supone cargado según el modelo de carga viva vehicular que corresponda, a que se refiere el Inciso E.1.2. Para estructuras de dos (2) o más carriles, se aplican al cálculo de la fuerza centrífuga los factores de reducción que se indican en la Tabla 2 de esta Norma, según el número de carriles.

Cuando la losa de concreto reforzado o la parrilla de acero de la calzada estén firmemente ancladas a los miembros del sistema de piso, se puede considerar que resisten en su plano el esfuerzo cortante producido por las fuerzas centrífugas que actúan sobre la carga viva.

F. CARGAS EVENTUALES

Las cargas eventuales son las producidas por acciones que ocurren ocasionalmente durante la vida de la estructura, exceptuando las debidas al peso del granizo o de la nieve, ya que estas se presentan con una reducción de los efectos de la carga viva y del impacto. En la determinación de las cargas eventuales se toma en cuenta lo siguiente:

F.1. VIENTO Y SISMO

Las cargas debidas por las acciones de viento y sismo, se calculan conforme a lo indicado en las Normas N-PRY-CAR-6-01-004, *Viento* y N-PRY-CAR-6-01-005, *Sismo*, respectivamente.

F.2. FRENAJE

El efecto de frenaje de los vehículos, se considera como una fuerza horizontal en el sentido longitudinal de la estructura, aplicada a uno coma ocho (1,8) metros sobre la rasante y con un valor equivalente al cinco (5) por ciento de la carga viva vehicular actuante en todos los carriles con el tránsito en la misma dirección, sin incluir los efectos de impacto y de la fuerza centrífuga, pero aplicando los factores de reducción que se indican en la Tabla 2 de esta Norma, según el número de carriles.

F.3. FRICCIÓN

El efecto de fricción que se genera en los dispositivos de apoyo al dilatarse o contraerse la estructura por efecto de los cambios de temperatura, se considera como una fuerza horizontal en el sentido longitudinal de la estructura, aplicada en esos dispositivos. En el caso de apoyos elastoméricos (neopreno) debe revisarse la resistencia al cortante por el efecto de esa fuerza. De ser necesario, los valores máximo y mínimo del coeficiente de fricción se pueden determinar mediante pruebas físicas. Debe tomarse en cuenta el efecto de la humedad y la posible degradación o contaminación en la superficie de deslizamiento o de rotación.

F.4. VARIACIÓN DE TEMPERATURA

En el análisis de la estructura se toman en cuenta los esfuerzos, las deformaciones y los desplazamientos que en ella se originan por las variaciones de temperatura en sus elementos estructurales. Dichas variaciones se determinan tomando en cuenta lo siguiente:

F.4.1. Las variaciones de temperatura se consideran dentro de los siguientes rangos:

- Para estructuras metálicas en clima moderado, de cinco (5) a treinta y cinco (35) grados Celsius y en clima extremo, de cero (0) a cuarenta (40) grados Celsius.
- Para estructuras de concreto en clima moderado, de diez (10) a treinta (30) grados Celsius y en clima extremo, de cinco (5) a treinta y cinco (35) grados Celsius.

F.4.2. Dentro de los rangos que se indican en el Inciso anterior, se selecciona la *temperatura de construcción*, que corresponde al promedio de la temperatura ambiente que se espere durante las veinticuatro (24) horas anteriores al cierre de una estructura continua o a la colocación de dispositivos de apoyo y juntas de dilatación en estructuras libres.

F.4.3. A partir de la temperatura de construcción se determinan las variaciones de temperatura en aumento y disminución, por diferencia con los límites máximos y mínimos de los rangos que se indican en el Inciso F.4.1. de esta Norma.

F.4.4. Para estructuras de concreto o de acero con losa de calzada de concreto, adicionalmente a los efectos por variación de temperatura, se calculan los efectos por variación del gradiente térmico en el peralte de la superestructura.

El gradiente térmico varía en función de la profundidad de la fibra, como se muestra en la Figura 8 de esta Norma, en la que los gradientes en la superficie de la superestructura (T_1), a diez (10) centímetros de profundidad (T_2) y en su lecho inferior (T_3), valen:

- En climas moderados: $T_1 = 23\text{ °C}$ y $T_2 = 6\text{ °C}$
- En climas extremos: $T_1 = 30\text{ °C}$ y $T_2 = 8\text{ °C}$
- El valor de $T_3 = 0\text{ °C}$, a menos que se realice un estudio específico en el sitio para determinarlo, pero no debe exceder de tres (3) grados Celsius.

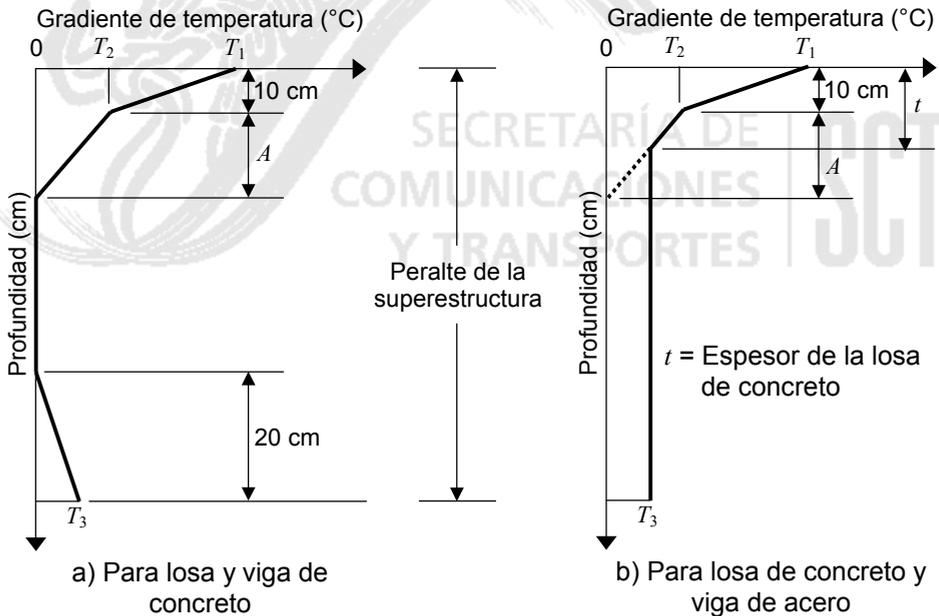


FIGURA 8.- Variación de los gradientes térmicos en el peralte de la superestructura

Los valores anteriores de T_1 , T_2 y T_3 corresponden a gradientes positivos (expansión térmica), para gradientes negativos se multiplican por cero coma cinco (0,5).

La dimensión A que se indica en la Figura 8, se considera de treinta (30) centímetros para estructuras de concreto con peralte igual o mayor de cuarenta (40) centímetros o, para peraltes menores, igual al peralte total menos diez (10) centímetros. Para estructuras de acero con losa de concreto, es de treinta (30) centímetros.

F.5. EMPUJE DINÁMICO DEL AGUA

El efecto del empuje dinámico del agua sobre las pilas se calcula suponiendo que las velocidades varían como una parábola de segundo grado, lo que da por resultado una distribución triangular de las presiones. La presión promedio se calcula con la expresión:

$$p = 0,5003C_D V^2$$

Donde :

p = Presión promedio, (kPa)

V = Velocidad promedio de la velocidad del flujo, que corresponde al gasto dividido entre el área hidráulica, (m/seg)

C_D = Coeficiente de arrastre longitudinal, cuyo valor es:

- 1.4 para todas las pilas en las que se acumulan objetos arrastrados por la corriente
- 1.4 para pilas con tajamar rectangular
- 0.8 para pilas con tajamar triangular en que el ángulo de ataque es igual o menor a 90°
- 0.7 para pilas con tajamar semicircular

El empuje total (P) es el producto de la presión promedio por el área expuesta (A_D):

$$P = pA_D$$

En el caso de que se estime que pueden acumularse objetos arrastrados por la corriente sobre la pila, el área expuesta se incrementa a juicio del proyectista.

Cuando el nivel del agua rebasa el canto inferior de la superestructura (entradós), el empuje sobre ésta se determina multiplicando la presión máxima por el área expuesta de la superestructura. La presión máxima corresponde al doble de la presión promedio.

Si la corriente incide sobre la pila en una orientación diferente al eje longitudinal de su planta, se considera el efecto de un empuje lateral, calculando la presión promedio lateral con la siguiente expresión:

$$p_L = 0,051C_L V^2$$

Donde :

p_L = Presión promedio lateral, (kPa)

V = Velocidad promedio de la velocidad del flujo, que corresponde al gasto dividido entre el área hidráulica, (m/seg)

C_L = Coeficiente de arrastre lateral, que depende del ángulo (θ) que se forma entre la dirección de la corriente y el eje longitudinal de la planta de la pila como se muestra en la Figura 9 de esta Norma, con los siguientes valores:

- Para $\theta = 0^\circ$, $C_L = 0$
- Para $\theta = 5^\circ$, $C_L = 0,5$
- Para $\theta = 10^\circ$, $C_L = 0,7$
- Para $\theta = 20^\circ$, $C_L = 0,9$
- Para $\theta \geq 30^\circ$, $C_L = 1$

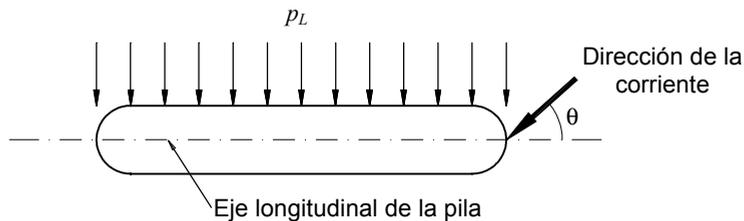


FIGURA 9.- Dirección de la corriente respecto al eje longitudinal de la pila

El empuje lateral total (P_L) es el producto de la presión promedio por el área lateral expuesta (A_L) de la pila:

$$P_L = pA_L$$

F.6. SUBPRESIÓN

Para el diseño de los elementos de la cimentación y de la estructura que se encuentran por debajo del nivel del agua, se toma en cuenta el efecto de la subpresión, que es una fuerza vertical ascendente, igual al producto del volumen sumergido por la densidad del líquido desalojado.

En el caso de superestructuras para las que se prevea que pueden quedar parcial o totalmente sumergidas en forma temporal, se calcula la reacción negativa producida por la subpresión y se diseña una conexión a la subestructura capaz de tomar dicha reacción y de mover una porción de la subestructura con un peso mayor que dos veces su valor.

F.7. CONTRACCIÓN POR FRAGUADO

En los casos apropiados debe incluirse la acción impuesta por las deformaciones diferenciales por contracción de fraguado en las superficies de contacto entre concretos de diferente edad y composición.

F.8. ACORTAMIENTO DE ARCOS

En estructuras sujetas a compresión tales como los arcos, se consideran en el análisis los efectos de segundo orden causados por el acortamiento del elemento.

F.9. FLUJO PLÁSTICO

En los casos en que las deformaciones diferidas del concreto por efecto del flujo plástico, produzcan cambios en los esfuerzos internos de la estructura, su efecto ha de incluirse en el análisis.

F.10. ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES

En el análisis de estructuras continuas se incluyen los efectos producidos por asentamientos diferenciales entre los distintos elementos de la subestructura. En el análisis de cada elemento de subestructura se incluyen los efectos de los asentamientos diferenciales en la planta de ese elemento.

En estructuras de concreto los efectos de los asentamientos diferenciales pueden reducirse tomando en cuenta el flujo plástico.

Los asentamientos diferenciales son los máximos previstos por el análisis geotécnico del comportamiento de la cimentación, debiendo considerarse únicamente los que ocurren después del cierre de la estructura.

F.11. OLEAJE

En las estructuras expuestas al oleaje se considera el efecto de fuerzas horizontales tanto en la dirección longitudinal como transversal del puente, para las condiciones específicas del sitio y para la ola máxima de diseño, tomando en cuenta lo establecido en las recomendaciones para plataformas marinas de *American Petroleum Institute* o en el *Manual de Protección de Costas* del Centro de Investigación de Ingeniería de Costas del Departamento del Ejército de los Estados Unidos de América.

G. COMBINACIÓN DE CARGAS

Una vez determinadas las cargas permanentes, variables y eventuales que actuarán sobre la estructura, se definirá la combinación de cargas a utilizar en su análisis conforme a lo establecido en la Norma N-PRY-CAR-6-01-006, *Combinaciones de Cargas*.