

## V. CARGAS DE DISEÑO PARA PUENTES

Las estructuras se proyectan considerando las siguientes cargas y fuerzas, cuando existan:

1. Carga muerta
2. Carga viva
3. Impacto o efecto dinámico de la carga viva
4. Cargas por viento
5. Otras fuerzas, cuando existan, tales como:

Fuerzas longitudinales, fuerza centrífuga, fuerzas por cambios de temperatura, empuje de tierra, subpresión, esfuerzos por contracción del concreto, acortamiento por compresión del acero, esfuerzos durante el montaje, presión de la corriente de agua o hielo y esfuerzos por sismo

Los miembros del puente, también se proyectan tomando en cuenta los esfuerzos permisibles y las limitaciones de proyecto del material empleado.

### V.1. CARGA MUERTA.

La carga muerta esta constituida por el peso de la estructura ya terminada, incluyendo la carpeta, banquetas, vías, tuberías, conductos, cables y demás instalaciones para servicios públicos.

Cuando, al construir el puente, se coloque sobre la carpeta una capa adicional para desgaste, o cuando se piense ponerla en el futuro, debe tomarse en cuenta al calcular la carga muerta.

### V.2. CARGA VIVA.

La carga viva consiste en el peso de la carga móvil aplicada, correspondiente a los camiones, carros y peatones.

#### a) Cargas para Camiones.

Las cargas vivas que se consideren sobre la calzada de los puentes o en las estructuras que circunstancialmente se presenten en los caminos, serán las establecidas para camiones tipo o carga uniforme por carril, equivalente a un grupo de camiones. Las especificaciones detalladas del tipo de camiones para diseño se verán en el capítulo VI Distribución de cargas.

**b) Cargas para banquetas.**

Los pisos, largueros y apoyos inmediatos a las banquetas, se proyectan para una carga viva de 415 kilogramos por metro cuadrado de banqueta. Las trabes de sección compuesta, armaduras, arcos y otros miembros, se proyectan para las siguientes cargas vivas sobre la banqueta:

Claros de 0.00m a 7.62m de longitud .....  $415kg/m^2$

Claros de 7.62m a 30.48m de longitud .....  $293kg/m^2$

Claros mayores de 30.48m de longitud, de acuerdo a:

$$P = \left[ \left( 1,435 + \frac{43,800}{L} \right) \left( \frac{16.7 - A}{15.2} \right) \right] \quad \text{Ec. V.1}$$

donde:

$P$  = carga viva por metro cuadrado con valor máximo de  $293kg/m^2$

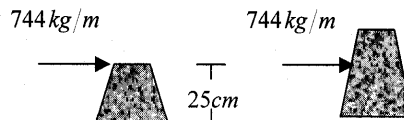
$L$  = longitud cargada de banqueta, en m

$A$  = ancho de la banqueta, en m.

Los puentes para peatones se proyectan para una carga viva de  $415kg/m^2$ .

**c) Cargas para guarniciones.**

Las guarniciones se proyectan para que resistan una fuerza lateral no menor de 744kg por metro lineal de guarnición, aplicada en la parte superior de la misma, o a 25cm arriba del piso, si la altura de la guarnición es mayor que 25cm.

**d) Cargas para parapetos.**

Para cargas sobre parapetos, consúltense la sección III.5.

### V.3. IMPACTO

Debido a los efectos dinámicos, vibratorios y de impacto, los efectos por carga viva, deben incrementarse en la cantidad que a continuación se indican. El impacto no debe aplicarse a los elementos del grupo B, pero sí en el grupo A.

#### a) Grupo A

1. Superestructuras, incluyendo columnas de acero o de concreto, torres de acero, columnas de marcos rígidos, y en general, aquellas partes de la estructura que se prolonguen hasta la cimentación principal.
2. La parte de los pilotes de concreto o de acero que sobresalgan del nivel del terreno y que se hallen rigidamente conectados a la superestructura, ya sea formando marcos rígidos o como parte de la estructura misma.

#### b) Grupo B

1. Estribos, muros de contención, pilas, pilotes (exceptuando lo especificado en el grupo A (2)).
2. Zapatas y presiones en las cimentaciones.
3. Estructuras de madera.
4. Cargas para banquetas.
5. Alcantarillas y estructuras que tengan un colchón de tierra de 0.91m de espesor o mayor.

La cantidad permisible en que se incrementan los esfuerzos se expresa como una fracción de los esfuerzos por carga viva, y se determina con la siguiente fórmula:

$$I = \frac{15.24}{L + 38.10} \quad \text{Ec. V.2}$$

donde:

$I$  = impacto en por ciento con máximo de 30% ,

$L$  = longitud, en metros de la parte del claro que debe cargarse para producir el máximo esfuerzo en el miembro.

Para uniformizar su aplicación, la longitud cargada " $L$ ", se considera específicamente como sigue:

- Para pisos de la calzada, se emplea la longitud de proyecto de claro.
- Para miembros transversales, tales como piezas de puente, se usa la longitud del claro del miembro, entre centros de apoyo.

- Para calcular los momentos debidos a cargas de camión, se usa la longitud del claro. Para tramos en voladizo, la longitud desde el centro de momentos hasta el eje más alejado del camión.
- Para esfuerzo cortante debido a cargas de camión, la longitud de la parte cargada del claro, desde el punto en consideración hasta la reacción más alejada. Para tramos en voladizos, se considera el 30%.
- En claros continuos, se emplea la longitud del claro considerado para momento positivo y para momento negativo, el promedio de los dos claros adyacentes cargados.
- Para alcantarillas con colchón de 0 a 31cm, Impacto = 30%  
Para alcantarillas con colchón de 33 a 61cm, Impacto = 20%  
Para alcantarillas con colchón de 64 a 89cm, Impacto = 10%

#### V.4. FUERZAS LONGITUDINALES.

En todos los carriles destinados al tránsito en una misma dirección o aquellos donde se considere puedan llegar a ser en el futuro de un solo sentido debe considerarse el efecto de una fuerza longitudinal del 5% de la carga viva. Se emplea la carga por carril y además la carga concentrada para momento, sin impacto y con la reducción establecida en el capítulo 6.1 para el caso de carriles con cargas múltiples. El centro de gravedad de la fuerza longitudinal se supondrá a 1.83m arriba de la losa de piso, y que ésta se transmite a la subestructura a través de la superestructura.

$$F_R = \frac{5\% (\text{carga equivalente por carril} \times \text{claro} + \text{Carga concentrada debido a momento})}{\text{número de carriles}}$$

Ec. V.3

#### V.5. CARGAS POR VIENTO.

Las siguientes fuerzas debidas a la presión del viento, por metro cuadrado de área expuesta, deben aplicarse a todas las estructuras. El área expuesta considerada es la suma de las proyecciones verticales de las áreas de todos los miembros, incluyendo el sistema de piso y el parapeto a 90° con respecto del eje longitudinal de la estructura. Las fuerzas y cargas dadas aquí corresponden a una velocidad del viento de 160Km/h. Para el Grupo II, pero no para el Grupo III (ambos grupos se especifican en la sección V.13), la condición de cargas se puede reducir o incrementar en la relación del cuadrado de la velocidad del viento para proyecto, (al cuadrado de 160.9) siempre que pueda obtenerse el valor probable de la velocidad del viento con exactitud razonable; o cuando las características permanentes del terreno permitan hacer los cambios recomendables con seguridad.

### V.5.1. Proyecto de superestructura.

En el proyecto de una superestructura, se supone una carga debida al viento, uniformemente distribuida y aplicada horizontalmente a  $90^\circ$  con respecto al eje longitudinal de la estructura de la siguiente intensidad: para armaduras y arcos es  $366\text{kg}/\text{m}^2$ ; para traveses y vigas es  $244\text{kg}/\text{m}^2$ ; para claros de armaduras, la fuerza total no es menor que  $446\text{kg}/\text{m}$  en el plano de la cuerda cargada, ni menor de  $223\text{kg}/\text{m}$  en el plano de la cuerda sin carga; en claros de traveses esta fuerza no es menor que  $446\text{kg}/\text{m}$ .

Las fuerzas anteriores se aplican para la condición de carga del Grupo II, para el Grupo III se debe incrementar con una carga de  $149\text{kg}/\text{m}$ , aplicada a  $90^\circ$  con respecto al eje longitudinal de la estructura y a  $1.83\text{m}$  arriba del piso, como una carga de viento sobre la carga viva. Cuando se trate de losas de piso de concreto reforzado o de pisos de rejillas de acero, firmemente conectadas a sus miembros de apoyo, puede considerarse que ese piso resiste en su plano el esfuerzo cortante producido por la carga del viento sobre la carga viva.

### V.5.2. Proyecto de subestructura.

Las fuerzas transmitidas a la subestructura por la superestructura y las aplicadas directamente a la subestructura por cargas del viento, deben considerarse como sigue:

- a) **Fuerzas de la Superestructura.** Las fuerzas transversales y longitudinales transmitidas por la superestructura para distintos ángulos de dirección del viento, son como se especifica en la Tabla V.1. La dirección del viento adecuadamente supuesta es la que produzca el máximo esfuerzo en la subestructura que se esté proyectando. Las fuerzas transversales y longitudinales deben aplicarse simultáneamente a la altura del centro de gravedad del área expuesta de la superestructura.

Angulo de esviajamiento del viento ( en grados)	A R M A D U R A S		T R A B E S	
	Carga Transversal	Carga Longitudinal	Carga Transversal	Carga Longitudinal
	$\text{kg}/\text{m}^2$	$\text{kg}/\text{m}^2$	$\text{kg}/\text{m}^2$	$\text{kg}/\text{m}^2$
	VSN	VST	VSN	VST
0	366	0	244	0
15	342	59	215	29
30	317	137	200	59
45	229	200	161	78
60	122	244	83	93

Tabla V.1. Viento sobre Superestructura.

Las cargas que aparecen en la tabla anterior se usan en la condición de carga del Grupo II, que se especifica en la sección V.13.

Para la condición de cargas que forman el Grupo III, estas cargas pueden reducirse en un 70%, y además debe agregarse una carga por metro lineal, como una carga de viento sobre la carga viva, de acuerdo a la Tabla V.2. Esta carga se aplica en un punto a 1.83m arriba del piso.

Angulo de esviajamiento del viento ( en grado )	Carga Lateral $kg/m$ $VV_N$	Carga Lateral $kg/m$ $VV_T$
0	149	0
15	131	18
30	122	36
45	98	48
60	51	57

Tabla V.2. Viento sobre Carga Viva.

En puentes comunes de losa sobre trabes, con una longitud máxima de 38.10m, pueden usarse las siguientes cargas por viento, en lugar de las cargas más exactas especificadas anteriormente:

$V_E$  (Carga del Viento sobre la Superestructura)  
 $244kg/m^2$  Transversalmente  
 $59kg/m^2$  Longitudinalmente  
 Ambas cargas deben aplicarse simultáneamente.

$V_{CV}$  (Carga del Viento sobre Carga Viva)  
 $149kg/m$  Transversalmente  
 $60kg/m$  Longitudinalmente  
 Ambas cargas deben aplicarse simultáneamente.

- b) **Fuerzas aplicada directamente a la subestructura.** Las fuerzas transversales y longitudinales que deben aplicarse directamente a la subestructura para un viento de  $160.9Km/h$  se calcula para una presión supuesta del viento de  $195.41kg/m$ . Para direcciones del viento que se supongan esviajados con la subestructura, esa presión se resuelve en sus componentes perpendiculares a la elevación del frente lateral de la subestructura, de acuerdo con las funciones trigonométricas del ángulo de esviajamiento. La componente perpendicular a la elevación lateral actúa sobre el área expuesta de la subestructura, tal como se ve en la elevación lateral; y la componente perpendicular a la elevación del frente actúa sobre el área expuesta de la subestructura, tal como se ve en la elevación del frente. Se supone que estas cargas actúan horizontalmente en el centro de gravedad de las áreas expuestas, y se

aplican simultáneamente con las cargas del viento sobre la superestructura. Las cargas mencionadas anteriormente son para la condición de carga del Grupo II y pueden ser reducidas en un 70% para la condición de carga del Grupo III, como se indican en las combinaciones de carga.

#### V.6. FUERZAS POR VARIACIONES TERMICAS

Debe tomarse en consideración, asimismo, los esfuerzos o movimientos resultantes de los cambios de temperatura. Se fija la variación de la misma para el sitio donde vaya a construirse la estructura. Dichas variaciones se calculan a partir de una temperatura supuesta para el tiempo de su erección. Igualmente, debe tomarse muy en cuenta la diferencia entre la temperatura del aire y la interior de los miembros voluminosos de concreto o de las estructuras.

La variación de temperatura es, generalmente, como sigue:

En estructuras de acero		
Para clima moderado	-18° a 49°C	
Para clima frío	-34° a 49°C	
En estructuras de Concreto	Elevación de temperatura	Descenso de temperatura
Para clima moderado	16.7 C	22.2 C
Para clima frío	19.4 C	25.0 C

#### V.7. REACCION NEGATIVA

Deben tomarse las medidas necesarias para que superestructura quede apropiadamente anclada a la subestructura mediante un volumen de mampostería equivalente a la fuerza mayor que se obtenga bajo una de las condiciones siguientes:

- 100% de la reacción negativa calculada, producida por cualquier carga o combinación de cargas donde la carga viva más el impacto se incrementen en 100%.
- 150% de la reacción negativa calculada a nivel de carga de trabajo.

Los pernos de anclaje sujetos a tensión a los esfuerzos de otros elementos de la estructura bajo las condiciones anteriores, deberán proyectarse al 150% de los esfuerzos básicos permisibles.

### V.8. PRESIONES DEBIDAS A CORRIENTES DE AGUA, HIELOS Y CUERPOS FLOTANTES.

Todas las pilas y demás partes de la estructura que estén sujetas al empuje de la corriente de agua, de hielo flotante o de los materiales de arrastre deben calcularse para resistir los máximos esfuerzos inducidos.

La presión del hielo sobre las pilas se calcula a razón de  $281.63 \text{ kg/m}$ . El espesor de la capa de hielo y la altura a la cual se aplica, se determina por las investigaciones que se realicen en el sitio de la estructura.

La presión de la corriente del agua sobre las pilas se calcula mediante la fórmula:

$$P = 515KV^2 \quad \text{Ec. V.4}$$

donde:

$P$  = Presión, en  $\text{Pa}$ ,

$V$  = Velocidad del agua en  $\text{m/s}$ ,

$K$  = Coeficiente que depende de la forma de la nariz de la pila, donde vale 1.375 para pilas con extremos rectangulares, 0.50 para pilas con extremos con parte-aguas en donde el ángulo es de 30 o menos y 0.67 para pilas con sección circular.

### V.9. SUBPRESION.

La subpresión debe tomarse en cuenta en el grado que afecte tanto al proyecto de cualquier subestructura, incluyendo pilotes hincados, como al proyecto de la superestructura.

La subpresión se calcula mediante la formula de la escuadrilla:

$$f = \frac{P}{A} \left[ 1 \pm \frac{6e}{B} \right] \quad \text{Ec. V.5}$$

$$e = \frac{\sum M_V - \sum M_H}{\sum F_V} \quad \text{Ec. V.6}$$



### V.10. PRESIONES DEBIDAS AL EMPUJE DE TIERRAS

Las estructuras destinadas a contener los rellenos de tierra, se proyectan para resistir las presiones dadas por la fórmula de Rankine; pero ninguna estructura se proyecta para una presión menor que la equivalente a la de un fluido con peso de  $480\text{kg}/\text{m}^3$ .

$$E = Wh \frac{1 - \text{Sen}\phi}{1 + \text{Sen}\phi} \quad \text{Ec. V.7}$$

donde:

$E$  = Esfuerzo,

$W$  = Peso volumétrico del material,

$h$  = Altura a partir de la rasante,

$\phi$  = Angulo de fricción interna.

En marcos rígidos, el momento causado por la presión (lateral) de la tierra puede reducirse al 50% como máximo para determinar el momento positivo en las vigas, en la losa superior o en la losa superior e inferior, según sea el caso.

Cuando los vehículos que transitan por el camino puedan llegar a quedar dentro de una distancia horizontal igual a la mitad de la altura de la estructura, medida desde la parte superior, la presión se incrementa con una presión debida a una sobrecarga viva de no menos de  $61\text{cm}$  de espesor de tierra. Esta sobrecarga viva no es necesaria cuando se ponga una losa de acceso de concreto reforzado, proyectada debidamente, que se apoye en un extremo del puente.

Todo proyecto debe incluir el drenaje adecuado y suficiente para los rellenos, que puede consistir en agujeros de escurrimientos, colocación de piedra triturada o grava, tubos para drenar, drenes de grava o drenes perforados.

### V.11. ESFUERZOS POR SISMO

En las regiones donde pueden presentarse fenómenos sísmicos, las estructuras deben proyectarse para resistir los movimientos sísmicos tomando en consideración la relación entre el sitio y las zonas sísmicas de las fallas activas, la respuesta sísmica del suelo en el sitio y las características de la respuesta dinámica de toda la estructura, de acuerdo al siguiente criterio u otros métodos:

**A. Método de la Fuerza Estática Equivalente.**

Para estructuras con miembros de apoyo que tengan aproximadamente la misma rigidez, puede aplicárseles una fuerza horizontal equivalente  $EQ$ . La distribución de la fuerza considera la rigidez de la superestructura y los miembros de apoyo, la condición de empotramiento y el esviamiento de la estructura.

$$EQ = CFW \quad \text{Ec. V.8}$$

donde:

$EQ$  = Fuerza estática horizontal equivalente aplicada en el centro de gravedad de la estructura,

$F$  = Factor sísmico de estructuración;  $F = 1.0$ , para estructuras donde las columnas o pilas resisten aisladamente las fuerzas horizontales,  $F = 0.8$ , para estructuras con marcos continuos.

$W$  = Carga muerta total de la estructura en kilogramos,

$C$  = Coeficiente de respuesta combinado,

$$C = \frac{ARS}{Z} \quad \text{Ec. V.9}$$

$C \geq 0.10$  para estructuras con  $A \geq 0.3g$

$C = 0.06$  para estructuras con  $A < 0.3g$

$g = 9.81m/seg^2$

$A$  = Aceleración máxima esperada en el sitio de la roca,

$R$  = Respuesta normalizada de la roca,

$S$  = Ampliación de la relación espectral del suelo,

$Z$  = Reducción para ductabilidad y valorización del riesgo.

$$T = \sqrt{\frac{W}{P}}; \frac{kg}{N} \quad \text{Ec. V.10}$$

$T$  = Período de vibración de la estructura,  $seg$ ,

$P$  = Fuerza uniforme total, en  $N$  que se requiere para producir una deflexión máxima horizontal de  $2.5cm$  en toda la estructura.

### V.12. FUERZA CENTRIFUGA.

Las estructuras que estén sobre curvas se proyectan considerándolas sometidas a una fuerza horizontal radial igual al siguiente porcentaje de la carga viva, sin impacto, en todos los carriles de tránsito:

$$FC = 0.00117S^2D = \frac{0.79S^2}{R} \quad \text{Ec. V.11}$$

donde: ↓

$FC$  = Fuerza centrífuga, en por ciento de la carga viva, sin impacto.

$S$  = Velocidad de proyecto, en  $km/h$ ,

$D$  = Grado de curvatura en el sistema métrico decimal,

$R$  = Radio de la curva, en  $m$ .

Deben tomarse en cuenta los efectos de la sobreelevación.

La fuerza centrífuga se aplica a  $1.83m$  sobre la superficie del camino, medidos sobre el eje del mismo. La velocidad de proyecto se determina en función de la sobreelevación prevista en el camino. Los carriles de tránsito se cargan de acuerdo con lo establecido en el Capítulo VI Distribución de cargas.

Cada carril de proyecto debe ser cargado con un camión-tipo, colocado en el sitio donde se produzca la carga máxima (no se aplica en ningún caso, la carga por carril).

Siempre que una losa de concreto reforzado o un piso de emparrillado de acero estén firmemente anclados a los miembros de apoyo, se supone que la losa o el emparrillado resisten, dentro de su plano, al esfuerzo cortante resultante de las fuerzas centrífugas que inducen las cargas vivas.

### V.13. COMBINACIONES DE CARGA

Los grupos siguientes representan varias combinaciones de cargas y fuerzas a las que podrá estar sometida una estructura. Cada parte de la estructura o la cimentación sobre la cual se apoye, se proporciona para resistir con seguridad todos los grupos de combinaciones de estas fuerzas que puedan aplicarse al tipo o sitio en particular.

Los grupos de combinaciones de cargas, considerando la carga de servicio de proyecto y el factor de carga son:

Grupo	Combinación de cargas
I	$C_m + C_v + ET$
II	$C_m + ET + VS$
III	Grupo I + 30% $VS + VV$
IV	Grupo I + $F$
V	Grupo I + $F + FR + 30\% VS + VV$

Se deben cumplirse simultáneamente las 5 combinaciones de cargas anteriores.

donde:

$C_m$  = Carga muerta,

$C_v$  = Carga viva,

$I$  = Impacto por Carga viva,

$ET$  = Empuje de tierras

$VS$  = Viento sobre la superestructura,

$VV$  = Viento sobre carga viva,

$F$  = Fricción,

$FR$  = Frenaje.

En el diseño de estructuras de grandes claros por el método de factor de carga, representan condiciones generales y podrían ser incrementados si a juicio del ingeniero, las cargas previstas, las condiciones de servicio, o los materiales de construcción son diferentes a aquellos considerados por las especificaciones.

El porcentaje de esfuerzos permisibles para los diferentes grupos antes mencionados tenemos que son:

Grupo	Porcentaje
I	100%
II	125%
III	125%
IV	125%
V	140%