

**LIBRO:** **PRY. PROYECTO**

**TEMA:** **CAR. Carreteras**

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

**TÍTULO:** 01. Proyectos de Nuevos Puentes y Estructuras Similares

**CAPÍTULO:** 004. Viento

## **A. CONTENIDO**

Esta Norma contiene los criterios generales para determinar las cargas eventuales debidas a la acción del viento, que actúan en puentes y estructuras similares, conforme a lo indicado en el Punto a) del Párrafo E.4.1.1. de la Norma N·PRY·CAR·6·01·001, *Ejecución de Proyectos de Nuevos Puentes y Estructuras Similares* y en la Fracción F.1. de la Norma N·PRY·CAR·6·01·003, *Cargas y Acciones*.

## **B. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN**

Las cargas eventuales debidas a la acción del viento pueden ser:

- **Empujes estáticos**

Causados por presiones y succiones del flujo del viento cuya variación con el tiempo es despreciable.

- **Empujes dinámicos**

Son fuerzas paralelas al flujo principal causadas por la turbulencia del viento y cuya fluctuación en función del tiempo influye de manera significativa en la respuesta estructural.

- **Vibraciones transversales al flujo**

Causadas por vórtices alternantes generados por la presencia de cuerpos cilíndricos o prismáticos dentro del flujo del viento.

- **Inestabilidad aeroelástica**

Es la amplificación dinámica de la respuesta estructural causada por los efectos combinados de la forma geométrica de la estructura y de los distintos ángulos de incidencia del viento.

Las estructuras, según su importancia atendiendo al grado de seguridad aconsejable, y según su respuesta a la acción del viento de acuerdo con su sensibilidad a los efectos dinámicos del mismo, se clasifican como sigue:

## **B.1. SEGÚN IMPORTANCIA**

### **B.1.1. Tipo A**

Puentes y estructuras similares ubicados en o sobre carreteras de cuatro o más carriles, de los tipos ET4, A4 y B4, 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*, o autopistas, que son carreteras de los tipos ET y A, con accesos controlados.

### **B.1.2. Tipo B**

Puentes y estructuras similares ubicados en o sobre carreteras de dos carriles, de los tipos ET2, A2, B2, C y 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*, y en caminos rurales.

### **B.1.3. Tipo C**

Estructuras secundarias de corta duración, tales como señales, postes para alumbrado, soportes de instalaciones y anuncios publicitarios, entre otros; y para efectos de evaluación local, los elementos secundarios de las estructuras tipos A y B, como sus parapetos.

## **B.2. SEGÚN SU RESPUESTA A LA ACCIÓN DEL VIENTO**

### **B.2.1. Tipo 1v**

Estructuras poco sensibles a los efectos de ráfaga y a los dinámicos, como puentes rígidos con superestructuras formadas por armaduras simples o continuas, arcos, losas

planas, o losas sobre vigas, en los que la *relación de aspecto*, es decir, el cociente entre el claro máximo horizontal y la menor dimensión perpendicular a dicho claro (peralte o ancho total), es menor o igual que treinta (30).

**B.2.2. Tipo 2v**

Estructuras con periodos propios largos de vibración, sensibles a los efectos de ráfaga que favorecen la ocurrencia de oscilaciones importantes en la dirección del viento. Se incluyen puentes flexibles que exceden una relación de aspecto de treinta (30).

**B.2.3. Tipo 3v**

Estructuras que además de reunir las características del Tipo 2v presentan importantes oscilaciones transversales al flujo del viento causadas por vórtices con ejes paralelos al eje longitudinal de la estructura. Se incluyen puentes de gran claro o gran altura con elementos esbeltos de superestructura o subestructura, aproximadamente cilíndricos o prismáticos.

**B.2.4. Tipo 4v**

Estructuras susceptibles de presentar problemas de inestabilidad aeroelástica, como los puentes flexibles soportados por cables (colgantes o atirantados).

**C. REFERENCIAS**

Es referencia de esta Norma 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.

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

## **D. DETERMINACIÓN DE LAS CARGAS POR VIENTO**

Para determinar las cargas debidas a la acción del viento sobre las estructuras, se utilizan los siguientes métodos de análisis, cuyos criterios de aplicación se establecen a continuación:

- Método Simplificado
- Método Estático
- Método Dinámico
- Métodos Experimentales

## **E. MÉTODO SIMPLIFICADO**

Este método es aplicable a estructuras comunes que, según su respuesta a la acción del viento, son del Tipo 1v, sin cables que la soporten, con una altura de rasante menor o igual de diez (10) metros sobre el nivel más bajo del terreno que cruzan o, en su caso, sobre el nivel de aguas de construcción (NAC), y con un claro máximo de cincuenta (50) metros, además de cumplir con una relación de aspecto menor o igual que treinta (30).

En este caso, la fuerza del viento se toma como el producto del área expuesta de la estructura ( $A_e$ ) por la presión de diseño que se obtiene para una velocidad de diseño del viento de ciento sesenta (160) kilómetros por hora, considerando lo siguiente:

### **E.1. VIENTO SOBRE LA SUPERESTRUCTURA**

**E.1.1.** La presión de diseño se considera uniformemente distribuida, actuando horizontal y perpendicularmente al eje longitudinal de la superestructura, con una intensidad de:

- Para armaduras y arcos:            3 679 Pa (375 kg/m<sup>2</sup>)
- Para traveses y vigas:            2 453 Pa (250 kg/m<sup>2</sup>)

**E.1.2.** En el caso de armaduras, la fuerza del viento no será menor de cuatro coma cuarenta y dos (4,42) kilonewtons por metro (450 kg/m) en el plano de la cuerda de barlovento, ni de dos coma veintiuno (2,21) kilonewtons por metro (225 kg/m) en el plano de la cuerda de sotavento. Para traveses y vigas, en ningún caso la fuerza del viento será menor de cuatro coma cuarenta y dos (4,42) kilonewtons por metro (450 kg/m).

Estas fuerzas se utilizan para las combinaciones de carga de los grupos de cargas *II* y *V* que se indican en la Tabla 1 de la Cláusula D. de la Norma N-PRY-CAR-6-01-006, *Combinaciones de Cargas*. Para los grupos de cargas *III* y *VI* de esa Tabla, dichas fuerzas se reducen setenta (70) por ciento y se añade una fuerza del viento de uno coma cuarenta y siete (1,47) kilonewtons por metro (150 kg/m), actuando horizontalmente a noventa (90°) grados respecto al eje longitudinal de la estructura y a una altura de uno coma ochenta (1,80) metros sobre la rasante.

- E.1.3.** Para calzadas de losas de concreto reforzado o de parrillas de acero, si están firmemente conectadas a sus miembros de apoyo, se considera que resisten en su plano el esfuerzo cortante producido por el viento sobre la carga viva.

## **E.2. VIENTO SOBRE LA SUBESTRUCTURA**

Las fuerzas que actúan sobre la subestructura son las aplicadas directamente a ella y las que le transmite la superestructura.

### **E.2.1. Fuerzas transmitidas de la superestructura a la subestructura**

- E.2.1.1.** Las fuerzas longitudinal y transversal transmitidas por la superestructura a la subestructura, para diferentes ángulos de esviajamiento ( $\theta$ ) de la dirección del viento, se calculan con las presiones de diseño, transversal y longitudinal, que se indican en la Tabla 1 de esta Norma. El ángulo de esviajamiento se mide entre la normal al eje longitudinal de la estructura y la dirección supuesta para el viento. La presión transversal actúa en dirección normal al eje longitudinal de la estructura y la presión longitudinal en dirección paralela.

- E.2.1.2.** Las fuerzas longitudinal y transversal actúan simultáneamente a la altura del centro de gravedad del área expuesta de la superestructura, la que es la proyección vertical en un alzado según el eje longitudinal de la misma, y se utilizan para las combinaciones de carga de los grupos de cargas *II* y *V* que se indican en la Tabla 1 de la Cláusula D. de la Norma N-PRY-CAR-6-01-006, *Combinaciones de Cargas*. Para

## PRY. PROYECTO

### CAR. CARRETERAS

N-PRY-CAR-6-01-004/01

los grupos de cargas *III* y *VI* de esa Tabla, dichas fuerzas se reducen setenta (70) por ciento y se añade la fuerza de viento sobre la carga viva que se indica en la Tabla 2 de esta Norma, según el ángulo de esviajamiento ( $\theta$ ) supuesto, actuando a una altura de uno coma ocho (1,8) metros sobre la rasante.

**TABLA 1.- Presiones de diseño para la transmisión de fuerzas del viento de la superestructura a la subestructura**

Esviajamiento $\theta$ (grados)	Armaduras		Vigas	
	Presión transversal Pa (kg/m <sup>2</sup> )	Presión longitudinal Pa (kg/m <sup>2</sup> )	Presión transversal Pa (kg/m <sup>2</sup> )	Presión longitudinal Pa (kg/m <sup>2</sup> )
0	3 679 (375)	0	2 453 (250)	0
15	3 434 (350)	589 (60)	2 158 (220)	294 (30)
30	3 188 (325)	1 373 (140)	2 011 (205)	589 (60)
45	2 305 (235)	2 011 (205)	1 619 (165)	785 (80)
60	1 177 (120)	2 453 (250)	834 (85)	932 (95)

**TABLA 2.- Fuerzas del viento sobre la carga viva para la transmisión de fuerzas de la superestructura a la subestructura**

Esviajamiento $\theta$ (grados)	Fuerza transversal kN/m (kg/m)	Fuerza longitudinal kN/m (kg/m)
0	1,47 (150)	0
15	1,30 (132)	0,18 (18)
30	1,21 (123)	0,35 (36)
45	0,98 (100)	0,96 (98)
60	0,49 (50)	0,56 (57)

**E.2.1.3.** Para estructuras comunes cuya superestructura está formada por losas y vigas, con un claro máximo de cuarenta (40) metros, en lugar de las presiones y fuerzas indicadas en las Tablas 1 y 2 de esta Norma, se pueden aplicar las siguientes presiones y fuerzas, que actúan simultáneamente:

a) Presión de diseño sobre la superestructura:

- Transversal: 2 453 Pa (250 kg/m<sup>2</sup>)
- Longitudinal: 589 Pa (60 kg/m<sup>2</sup>)

b) Fuerza del viento sobre la carga viva:

- Transversal: 1,47 kN/m (150 kg/m)
- Longitudinal: 0,59 kN/m (60 kg/m)

## E.2.2. FUERZAS APLICADAS DIRECTAMENTE A LA SUBESTRUCTURA

**E.2.2.1.** La presión de diseño se considera de mil novecientos sesenta y dos (1 962) pascales ( $200 \text{ kg/m}^2$ ). Para direcciones del viento que actúen esviadas respecto a la subestructura, la presión se descompone en dos, una longitudinal y la otra transversal, cada una de ellas actúa sobre el área expuesta de la subestructura en la que incide normalmente y ambas actúan simultáneamente. El ángulo de esviamiento ( $\theta$ ) debe corresponder a la dirección supuesta para el viento, que produzca las máximas sollicitaciones en la subestructura.

**E.2.2.2.** Las fuerzas resultantes se utilizan para las combinaciones de carga de los grupos *II* y *V* que se indican en la Tabla 1 de la Cláusula D. de la Norma N-PRY-CAR-6-01-006, *Combinaciones de Cargas*. Para los grupos de cargas *III* y *VI* de esa Tabla, su intensidad se reduce setenta (70) por ciento.

## E.3. FUERZA DE VOLCAMIENTO

La fuerza de volcamiento debida al efecto del viento que tiende a volcar la estructura, para las combinaciones de carga de los grupos de cargas *II*, *III*, *V* y *VI* que se indican en la Tabla 1 de la Cláusula D. de la Norma N-PRY-CAR-6-01-006, *Combinaciones de Cargas*, se calcula suponiendo que la dirección del viento es perpendicular al eje longitudinal de la estructura, añadiendo una fuerza vertical hacia arriba, aplicada a un cuarto del ancho de la superestructura, del lado de barlovento. Dicha fuerza vertical se obtiene multiplicando el área expuesta en planta de la superestructura, incluyendo la calzada y las banquetas, por una presión de diseño de novecientos ochenta y un ( $981$ ) pascales ( $100 \text{ kg/m}^2$ ) para los grupos *II* y *V*; o de doscientos noventa y cuatro ( $294$ ) pascales ( $30 \text{ kg/m}^2$ ) para los grupos *III* y *VI*.

## F. MÉTODO ESTÁTICO

Este método es aplicable a estructuras comunes que, según su respuesta a la acción del viento, son del Tipo 1v, sin cables que la soporten, con una altura de rasante mayor de diez (10) metros sobre el nivel más bajo del terreno que cruzan o, en su caso, sobre el nivel de aguas de construcción (NAC), con un claro máximo de cincuenta (50) metros, además de cumplir con una relación de aspecto menor o igual que treinta (30), o cuando se considere necesaria una velocidad de diseño del viento mayor de ciento sesenta (160) kilómetros por hora, por razones de importancia de la estructura, de su ubicación regional y de las características del terreno circundante, considerando lo siguiente:

### F.1. VELOCIDAD DE DISEÑO

La velocidad de diseño del viento, a partir de la cual se determinan los efectos que éste produce sobre la estructura, se obtiene con la siguiente fórmula:

$$V_D = F_T F_\alpha V_R$$

Donde:

$V_D$  = Velocidad de diseño del viento, (km/h)

$F_T$  = Factor de topografía, que depende de las características del relieve del terreno circundante, (adimensional)

$F_\alpha$  = Factor de exposición, que considera los efectos de la exposición local, el tamaño y altura de la estructura, (adimensional)

$V_R$  = Velocidad regional del viento, en el sitio donde se ubica la estructura, (km/h)

#### F.1.1. FACTOR DE TOPOGRAFÍA

A menos que se realicen estudios experimentales mediante modelos a escala en túneles de viento o mediciones en el sitio donde se construirá la estructura, el factor de topografía ( $F_T$ ) se toma de la Tabla 3 de esta Norma, según las características del terreno circundante:

**TABLA 3.- Factor de topografía ( $F_T$ ) para el método estático**

Sitio	Topografía	$F_T$
Protegidos	Bases de promontorios y faldas de serranías del lado de sotavento.	0,80
	Valles cerrados.	0,90
Normales	Terrenos prácticamente planos, campo abierto, ausencia de cambios topográficos importantes, con pendientes menores de cinco (5) por ciento.	1,00
Expuestos	Terrenos inclinados con pendientes entre cinco (5) y diez (10) por ciento, valles abiertos y litorales planos.	1,10
	Cimas de promontorios, colinas o montañas, terrenos con pendientes mayores de diez (10) por ciento, cañadas cerradas y valles que formen un embudo o cañón, islas.	1,20

**F.1.2. Factor de exposición**

El factor de exposición se calcula con la expresión:

$$F_{\alpha} = F_C F_{rz}$$

Donde:

$F_{\alpha}$  = Factor de exposición, (adimensional)

$F_C$  = Factor de tamaño, (adimensional), que según el tamaño de la estructura ( $Te$ ), se toma de la Tabla 4 de esta Norma

$F_{rz}$  = Factor de rugosidad, (adimensional), que depende del tamaño de la estructura ( $Te$ ), de la altura del centro de gravedad del área expuesta sobre el nivel del terreno o sobre el nivel de aguas de construcción (NAC) y de la rugosidad del terreno del lado de barlovento, y que se calcula mediante las siguientes fórmulas:

**PRY. PROYECTO**  
**CAR. CARRETERAS**

N-PRY-CAR-6-01-004/01

$$F_{rz} = 1,56 \left( \frac{10}{\delta} \right)^\alpha \quad \text{Si} \quad z \leq 10 \text{ m}$$

$$F_{rz} = 1,56 \left( \frac{z}{\delta} \right)^\alpha \quad \text{Si} \quad 10 < z \leq \delta$$

$$F_{rz} = 1,56 \quad \text{Si} \quad z > \delta$$

Donde:

$z$  = Altura del centro de gravedad del área expuesta sobre el nivel del terreno o sobre el nivel de aguas de construcción (NAC), (m)

$\delta$  = Altura a partir del nivel del terreno o del nivel de aguas de construcción (NAC), por encima de la cual la velocidad del viento es prácticamente constante, donde ya no influye la rugosidad del terreno, (m)

$\alpha$  = Exponente adimensional que determina la forma de variación de la velocidad del viento con la altura  $z$

Los valores de  $\alpha$  y  $\delta$ , dependiendo de la categoría del terreno según su rugosidad y del tamaño de la estructura, se obtienen de la Tabla 4 de esta Norma.

**TABLA 4.- Elementos para determinar el factor de exposición ( $F_\alpha$ ) para el método estático**

Categoría del terreno según su rugosidad	Exponente $\alpha$			Altura $\delta$ (m)
	Tamaño de la estructura ( $T_e$ ) (Máxima dimensión horizontal o vertical)			
	$T_e < 20 \text{ m}$	$20 \leq T_e < 50 \text{ m}$	$T_e \geq 50 \text{ m}$	
Campo abierto plano sin obstrucciones	0,099	0,101	0,105	245
Campo abierto en lomerío con algunas obstrucciones	0,128	0,131	0,136	315
Campo abierto montañoso con numerosas obstrucciones, zonas boscosas o suburbanas	0,156	0,160	0,171	390
Zonas urbanas	0,170	0,177	0,193	455
Factor de tamaño ( $F_C$ )	1,00	0,95	0,90	--

### F.1.3. Velocidad regional del viento

La velocidad regional del viento ( $V_R$ ) es la máxima probable que puede presentarse con un cierto periodo de recurrencia en una región del país. Ocurre a una altura de diez (10) metros sobre la superficie de un terreno de campo abierto en lomerío con algunas obstrucciones, y se determina según la localización de la estructura, a partir de las isotacas para velocidades regionales del viento que se muestran en las Figuras 1 a 3 de esta Norma, correspondientes a periodos de retorno de doscientos (200) años para estructuras Tipo A, de cincuenta (50) años para estructuras Tipo B y diez (10) años para estructuras Tipo C, respectivamente.

### F.2. PRESIÓN DINÁMICA DE BASE

La presión dinámica de base ( $q_z$ ) a una altura ( $z$ ) del centro de gravedad del área expuesta sobre el nivel del terreno o sobre el nivel de aguas de construcción (NAC), es la presión que ejerce el flujo del viento sobre una superficie plana perpendicular a él y se determina con la fórmula:

$$q_z = 0,049GV_D^2$$

Donde:

$q_z$  = Presión dinámica de base a la altura  $z$ , (Pa)

$V_D$  = Velocidad de diseño del viento, determinada como se indica en la Fracción F.1. de esta Norma, (km/h)

$G$  = Factor de corrección por la altura sobre el nivel del mar, (adimensional), determinado con la siguiente expresión:

$$G = \frac{8 + h_m}{8 + 2h_m}$$

Donde:

$h_m$  = Altura sobre el nivel del mar del sitio de la estructura, (km)

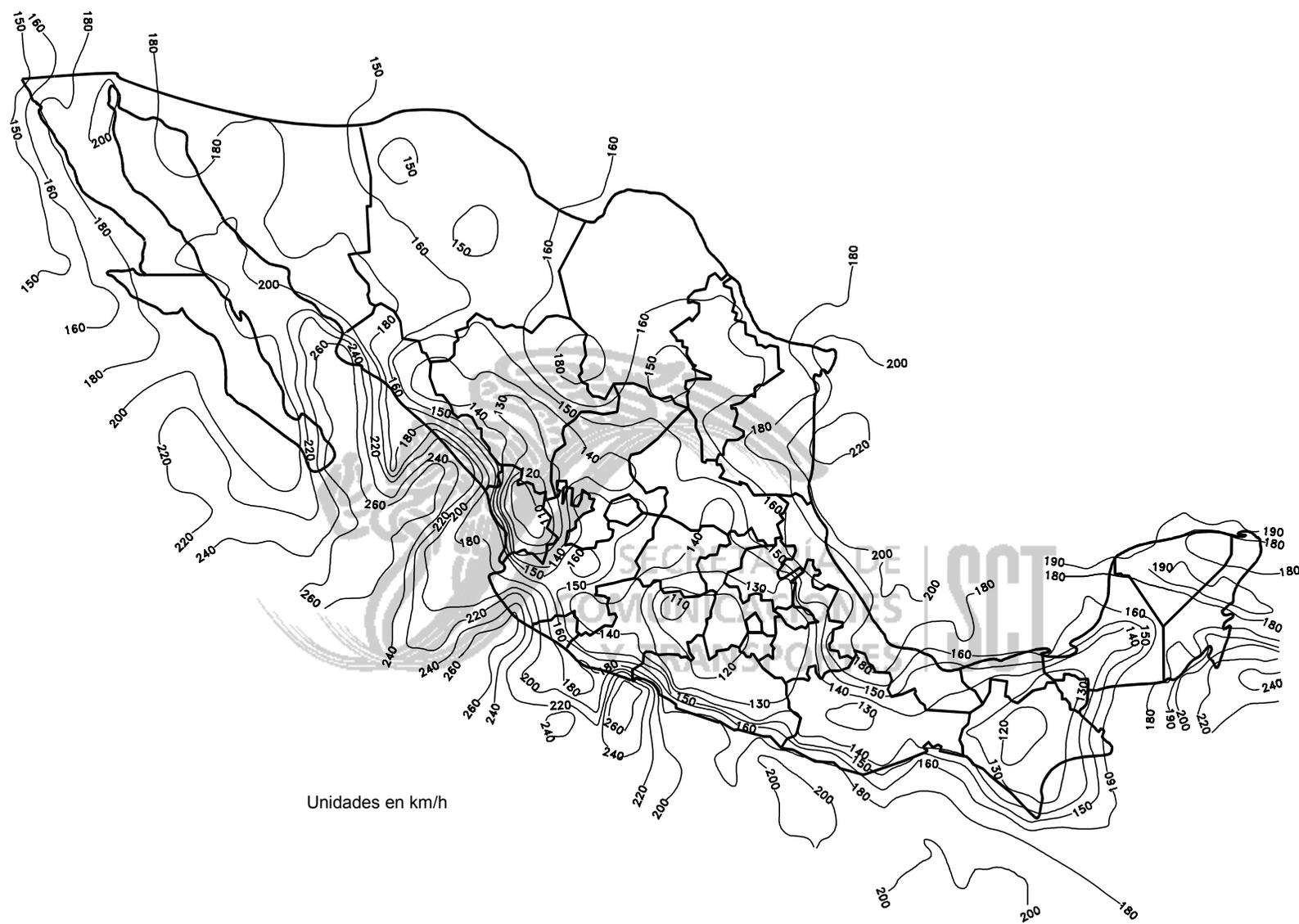


FIGURA 1.- Velocidades regionales del viento para estructuras Tipo A, con un periodo de retorno de 200 años

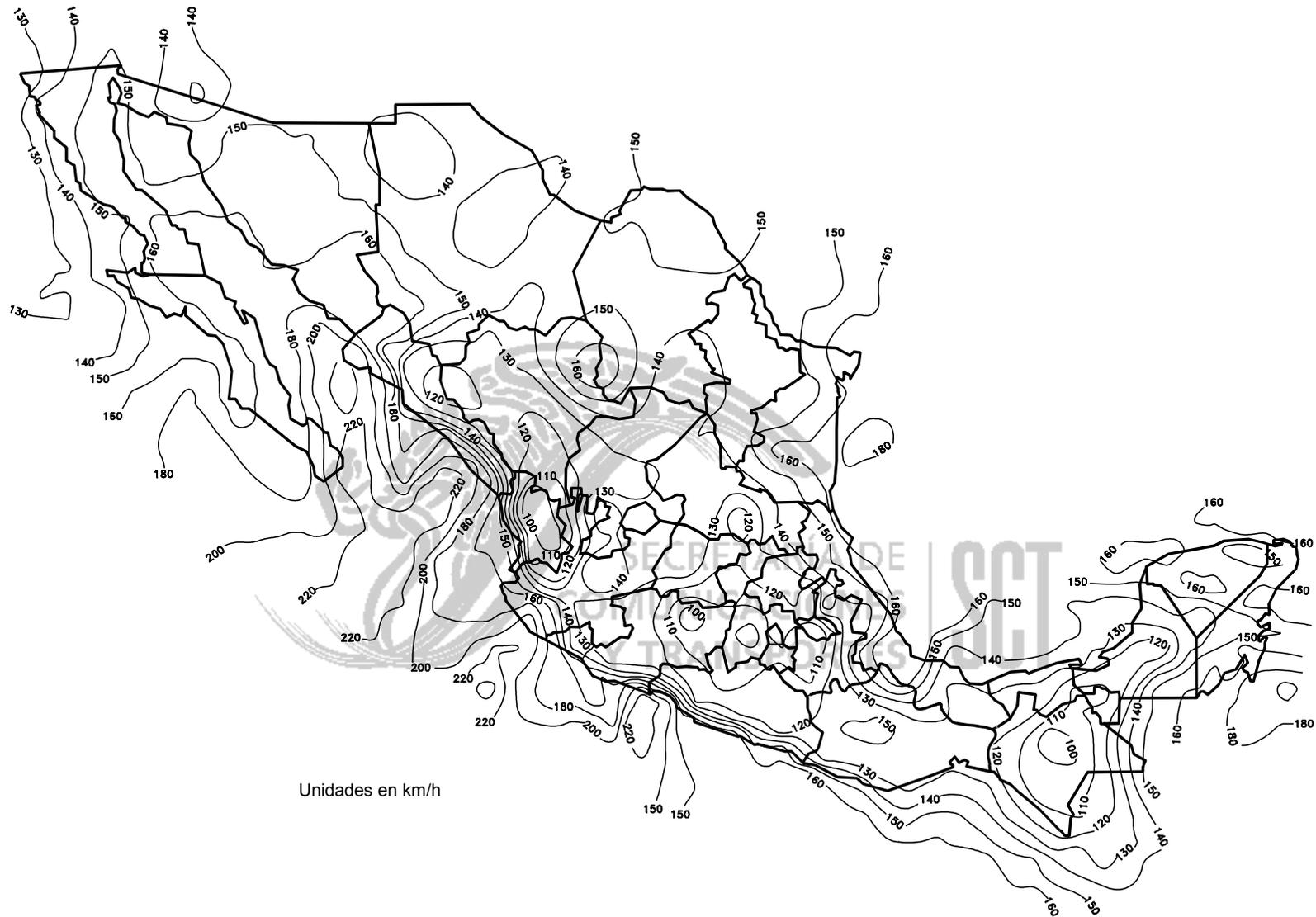


FIGURA 2.- Velocidades regionales del viento para estructuras Tipo B, con un periodo de retorno de 50 años

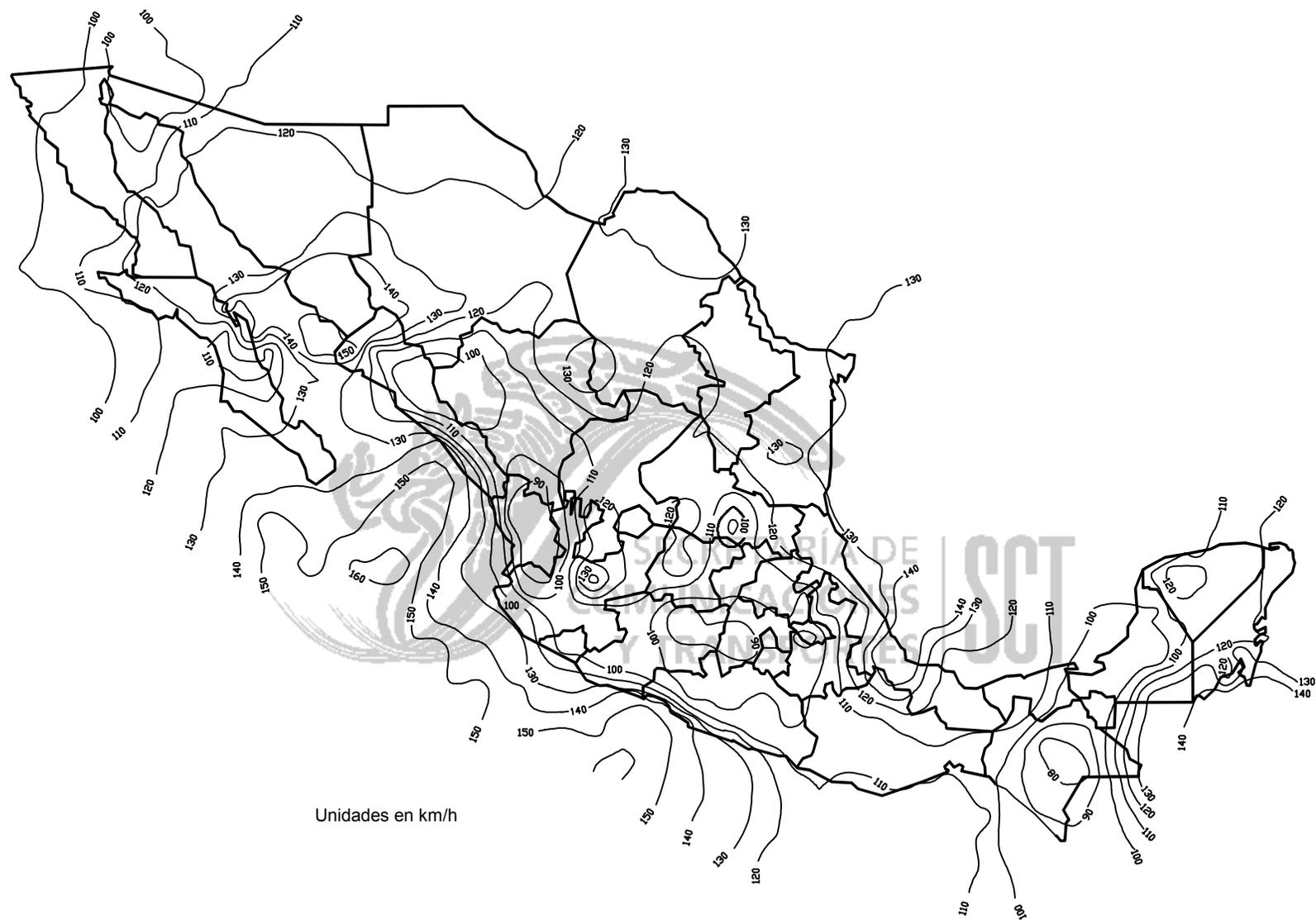


FIGURA 3.- Velocidades regionales del viento para estructuras Tipo C, con un periodo de retorno de 10 años

### F.3. PRESIÓN ACTUANTE

La presión actuante ( $p_z$ ) a una altura ( $z$ ) del centro de gravedad del área expuesta sobre el nivel del terreno o sobre el nivel de aguas de construcción (NAC), se obtiene con la expresión:

$$p_z = C_p q_z$$

Donde:

$p_z$  = Presión actuante a la altura  $z$ , (Pa)

$C_p$  = Coeficiente de presión que tiene los valores que se indican en el Inciso F.4.1. de esta Norma, (adimensional)

$q_z$  = Presión dinámica de base a la altura  $z$ , determinada como se indica en la Fracción F.2. de esta Norma, (Pa)

### F.4. FUERZAS DEL VIENTO PARA DISEÑO

La fuerza del viento con fines de diseño se obtiene multiplicando la presión actuante ( $p_z$ ) por el área expuesta de la estructura ( $A_z$ ). Se puede considerar el área total expuesta multiplicada por la presión actuante a la altura de su centro o dividir el área expuesta en franjas horizontales para considerar la variación vertical de la presión actuante.

#### F.4.1. Viento sobre la superestructura

La fuerza del viento sobre la superestructura, para las combinaciones de carga de los grupos de cargas *II* y *V* que se indican en la Tabla 1 de la Cláusula D. de la Norma N-PRY-CAR-6-01-006, *Combinaciones de Cargas*, se determina con una presión actuante ( $p_z$ ) calculada con un coeficiente de presión de:

- $C_p = 3$ , para armaduras y arcos
- $C_p = 2$ , para traveses y vigas

Para los grupos de cargas *III* y *VI* de esa Tabla, estos coeficientes se reducen setenta (70) por ciento y se añade una fuerza del viento sobre la carga viva, normal al eje

longitudinal de la estructura, con una intensidad de uno coma cuarenta y siete (1,47) kilonewtons por metro (150 kg/m), actuando a uno coma ochenta (1,80) metros sobre la rasante.

La presión  $p_z$  se considera actuando normalmente al eje de la estructura. En el caso de que el viento tenga un ángulo de esviajamiento diferente que cero, se consideran dos componentes de la presión actuante ( $p_z$ ): la normal ( $p_n$ ) actuando en dirección perpendicular al eje de la estructura y la tangencial ( $p_t$ ) actuando paralelamente a dicho eje. Estas componentes se calculan con las expresiones:

$$p_n = p_z \cos^2 \theta$$

$$p_t = p_z \sen \theta \cos \theta$$

Donde:

$p_n$  = Presión normal, (Pa)

$p_t$  = Presión tangencial, (Pa)

$p_z$  = Presión actuante a la altura  $z$ , obtenida como se indica en la Fracción F.3. de esta Norma, (Pa)

$\theta$  = Ángulo de esviajamiento del viento (grados)

Las fuerzas normal y tangencial se obtienen multiplicando las presiones  $p_n$  y  $p_t$  por la misma área expuesta: la de la superestructura según un alzado longitudinal del puente. Las fuerzas actúan en el centro de gravedad del área expuesta.

#### **F.4.2. Viento sobre la subestructura**

##### **F.4.2.1. Fuerzas transmitidas de la superestructura a la subestructura**

Sobre la subestructura se consideran actuando las reacciones en los dispositivos de apoyo provocadas por las fuerzas determinadas según el Inciso anterior para los grupos *II* y *IV* o *III* y *VI*, según corresponda.

##### **F.4.2.2. Fuerzas aplicadas directamente a la subestructura**

Para las combinaciones de carga de los grupos de cargas *II* y *V* que se indican en la Tabla 1 de la Cláusula D. de la Norma N-PRY-CAR-6-01-006, *Combinaciones de Cargas*, las fuerzas aplicadas directamente sobre la

subestructura se determinan con una presión actuante ( $p_z$ ), calculada con un coeficiente de presión ( $C_p$ ) igual que uno coma seis (1,6). Para los grupos de cargas *III* y *VI* de esa Tabla, este coeficiente se reduce setenta (70) por ciento.

#### F.4.3. Viento vertical

Para revisar la estabilidad al volcamiento, en las combinaciones de carga de los grupos de cargas *II* y *V* que se indican en la Tabla 1 de la Cláusula D. de la Norma N-PRY-CAR-6-01-006, *Combinaciones de Cargas*, la fuerza de volcamiento se calcula suponiendo que la dirección del viento es perpendicular al eje longitudinal de la estructura, añadiendo una fuerza vertical hacia arriba, aplicada a un cuarto del ancho de la superestructura, del lado de barlovento, determinada con una presión actuante ( $p_z$ ) sobre el área expuesta en planta de la superestructura, incluyendo la calzada y las banquetas, usando un coeficiente de presión ( $C_p$ ) igual que cero coma ocho (0,8). Para los grupos de cargas *III* y *VI* de esa Tabla, este coeficiente se reduce setenta (70) por ciento.

### G. MÉTODO DINÁMICO

Este método es aplicable a estructuras comunes que, según su respuesta a la acción del viento, son de los Tipos 2v ó 3v, considerando los efectos dinámicos causados por la turbulencia del viento y por los efectos de los vórtices que se producen cuando la velocidad de diseño excede la velocidad crítica, tomando en cuenta lo siguiente:

#### G.1. FACTOR DE RÁFAGA

Para las estructuras de los Tipos 2v y 3v, los efectos dinámicos causados por la turbulencia del viento se consideran en la presión actuante ( $p_z$ ), mediante un factor de ráfaga ( $F_g$ ):

$$p_z = F_g C_p q_z$$

Donde:

- $p_z$  = Presión actuante a la altura  $z$ , (Pa)
- $F_g$  = Factor de ráfaga que, para cada caso en particular, se determina con base en estudios experimentales para estructuras que hayan sido validadas y en las características del sitio, así como de la estructura por diseñar, (adimensional)
- $C_p$  = Coeficiente de presión que tiene los valores que se indican en el Inciso F.4.1. de esta Norma, (adimensional)
- $q_z$  = Presión dinámica de base a la altura  $z$ , determinada como se indica en la Fracción F.2. de esta Norma, (Pa)

Con esta presión actuante se determinan las fuerzas del viento para diseño según lo indicado en la Fracción F.4. de esta Norma.

## **G.2. EFECTO DE VÓRTICES**

Para estructuras Tipo 3v, cuando la velocidad de diseño excede la velocidad crítica, en la presión actuante ( $p_z$ ) a que se refiere la Fracción G.1. de esta Norma, se incluyen además los efectos de los vórtices que tienen un eje paralelo al eje longitudinal de la estructura y producen fuerzas estáticas equivalentes en dirección transversal al flujo.

Tanto la velocidad crítica como las fuerzas equivalentes de los vórtices, se determinan con base en estudios experimentales para estructuras que hayan sido validadas y en las características del sitio, así como de la estructura por diseñar.

El efecto de los vórtices puede evitarse modificando la forma de la sección transversal por la adición de contraventeos, costillas o amortiguadores.

## **H. MÉTODOS EXPERIMENTALES**

Dada la complejidad del análisis de la interacción entre la estructura y el viento, las estructuras Tipo 4v, sujetas a problemas de inestabilidad aeroelástica que se producen cuando los desplazamientos iniciales causados por el flujo del viento ocasionan a su vez una variación en la dirección de ataque del flujo, generando movimientos sucesivos crecientes de carácter oscilatorio o divergente, se estudian mediante métodos experimentales probando en un túnel de viento los modelos físicos que reproduzcan el comportamiento dinámico de la estructura y simulen las características de su entorno.