

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

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

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

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

**CAPÍTULO:** 005. Sismo

## **A. CONTENIDO**

Esta Norma contiene los criterios generales para determinar las cargas eventuales debidas a la acción de los sismos, 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. CLASIFICACIÓN**

Para efectos de esta Norma, las estructuras, según su importancia atendiendo al grado de seguridad aconsejable, y según su comportamiento sísmico de acuerdo con su respuesta a la acción del sismo, 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 los elementos secundarios de las estructuras Tipos A y B, como sus parapetos. En general, las estructuras Tipo C no son sujetas al diseño sísmico, salvo que su falla pueda ocasionar daños en estructuras de los Tipos A o B, en tal caso se diseñan como estructuras Tipo B.

## **B.2. SEGÚN SU COMPORTAMIENTO SÍSMICO**

### **B.2.1. Tipo 1s**

Estructuras regulares en las cuales la superestructura está formada por tramos libremente apoyados o continuos de armaduras, losas, losas sobre trabes, vigas de cajón de acero, concreto o mixtas y que cumplen además con los siguientes requisitos:

- Con menos de seis (6) claros si son continuos.
- Con eje longitudinal recto o en curvatura reducida.
- Con esviajamiento menor de quince (15) grados.
- Sin cambios bruscos en la rigidez y masa de los elementos sucesivos de la superestructura y subestructura, exceptuando los estribos.
- Con claro máximo menor o igual que cuarenta (40) metros y ancho de calzada hasta de treinta (30) metros.

### **B.2.2. Tipo 2s**

Estructuras que no cumplan con alguno(s) de los requisitos de las estructuras Tipo 1s, pero con superestructuras del Tipo B, con claros hasta de ciento cincuenta (150) metros.

**B.2.3. Tipo 3s**

Estructuras especiales de grandes dimensiones, con claros mayores de ciento cincuenta (150) metros, o con sistemas estructurales poco comunes.

**B.2.4. Tipo 4s**

Estructuras de grandes dimensiones o con estructuración poco usual, con periodo de vibración ( $T$ ) mayor de tres (3) segundos, o ubicadas en sitios de alto riesgo sísmico por su proximidad a una falla activa o por sus características geológicas poco comunes.

**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 Estructuras y Puentes*, del Libro PRY. *Proyecto*, del Tema CAR. *Carreteras*, así como 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. CONSIDERACIONES PREVIAS**

El diseño de las estructuras para soportar las cargas eventuales debidas a la acción de los sismos, depende del riesgo de que éstos ocurran y de las características del suelo donde se construirán. El primero se infiere a partir de la regionalización sísmica del territorio nacional y las segundas se consideran con base en el comportamiento dinámico de los suelos típicos.

## **D.1. REGIONALIZACIÓN SÍSMICA**

Desde el punto de vista del riesgo sísmico, el territorio de la República Mexicana se divide en las cinco zonas sísmicas que se muestran en el mapa de la Figura 1 de esta Norma, donde la zona "A" corresponde a la de menor riesgo sísmico y la zona "D" a la de mayor riesgo. La zona E comprende al Distrito Federal y los municipios del Estado de México conurbados con la ciudad de México.

## **D.2. TIPOS DE SUELOS**

Para tomar en cuenta la amplificación dinámica de la respuesta sísmica por efectos del suelo en el que se desplante la estructura, se consideran los suelos típicos que se indican a continuación, cuya clasificación se basa en los resultados de la exploración geotécnica realizada, aplicando métodos reconocidos de dinámica de suelos. A falta de datos el proyecto se realiza considerando un suelo Tipo III.

### **D.2.1. Suelos Tipo I**

Suelos cuyo estrato superior está constituido por suelos rígidos y estables, o rocas de cualquier naturaleza, en un espesor no menor de sesenta (60) metros.

### **D.2.2. Suelos Tipo II**

Suelos cuyo estrato superior está formado por arcillas semirígidas, con o sin lentes de arena, o por otros suelos friccionantes, en un espesor igual o mayor de nueve (9) metros, sobreyaciendo a un estrato constituido por suelos rígidos y estables, o rocas de cualquier naturaleza, con un espesor no menor de sesenta (60) metros.

### **D.2.3. Suelos Tipo III**

Suelos cuyo estrato superior está formado por limos o arcillas blandas, en un espesor igual o mayor de doce (12) metros, sobreyaciendo a un estrato constituido por suelos rígidos y estables, o rocas de cualquier naturaleza, con un espesor no menor de sesenta (60) metros.

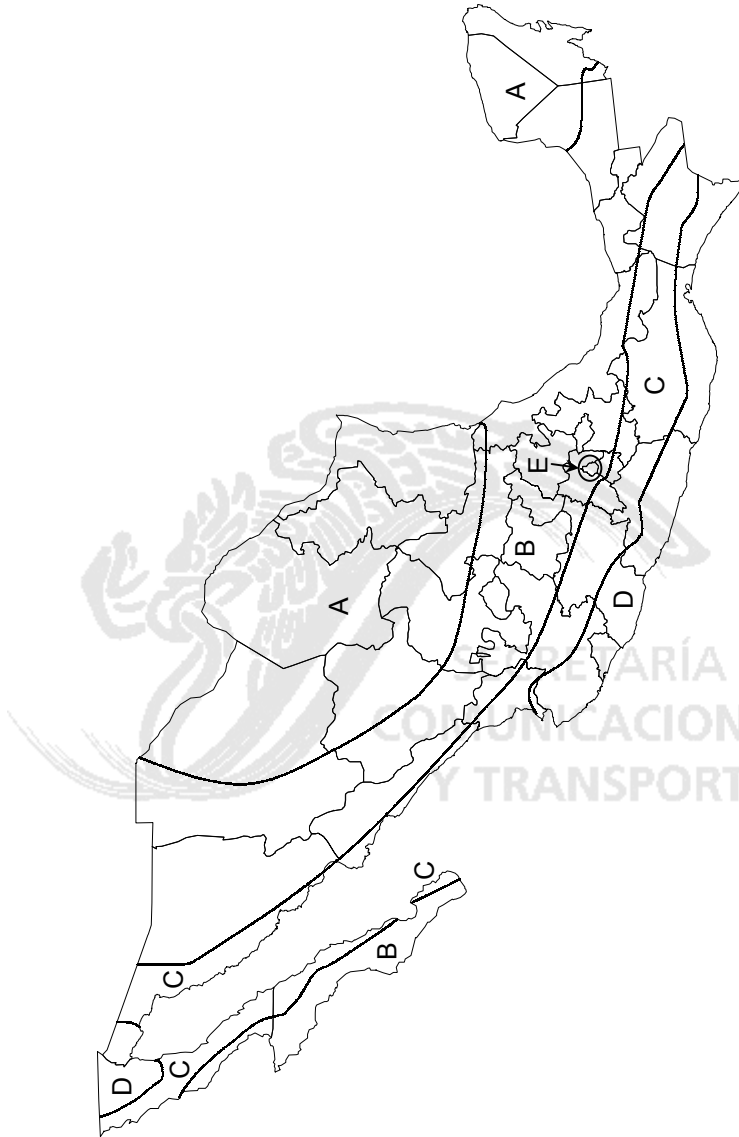


FIGURA 1.- Regionalización sísmica de la República Mexicana

## E. DETERMINACIÓN DE LAS CARGAS POR SISMO

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

- Método Simplificado
- Método Cuasidinámico
- Método Dinámico
- Métodos Experimentales

En los métodos experimentales, el modelo se ensaya en forma unidimensional, bidimensional o tridimensional según los efectos que se investiguen.

## F. MÉTODO SIMPLIFICADO

Este método es aplicable a estructuras que, según su comportamiento sísmico, son del Tipo 1s. El análisis se realiza en dos direcciones ortogonales horizontales, considerando para cada una de ellas el efecto de una fuerza horizontal equivalente ( $S$ ) independiente, aplicada en el centro de gravedad de la estructura y sus efectos se combinan como se indica en la Cláusula M. de esta Norma. Dicha fuerza horizontal se determina mediante la siguiente expresión:

$$S = \frac{c}{Q} W$$

Donde:

- $S$  = Fuerza horizontal equivalente, (kN)
- $c$  = Ordenada máxima del espectro sísmico correspondiente a la zona sísmica donde se ubique la estructura y al tipo de suelo en que se desplantará, y que se obtiene de la Tabla 1 de esta Norma, (adimensional)
- $Q$  = Factor de comportamiento sísmico, que se obtiene como se indica en la Cláusula K. de esta Norma, (adimensional)
- $W$  = Peso de la estructura, (kN)

La relación  $c/Q$  no debe ser menor que la ordenada al origen del espectro sísmico correspondiente ( $a_o$ ), que se obtiene de la Tabla 1 de esta Norma, según la zona sísmica donde se ubique la estructura y el tipo de suelo en que se desplantará.

## G. MÉTODO CUASIDINÁMICO

Este método es aplicable a estructuras que, según su comportamiento sísmico, son de los Tipos 1s o 2s. Igual que en el método simplificado, el análisis se realiza en dos direcciones ortogonales horizontales, considerando para cada una de ellas el efecto de una fuerza horizontal equivalente ( $S'$ ) independiente, aplicada en el centro de gravedad de la estructura y sus efectos se combinan como se indica en la Cláusula M. de esta Norma. Dicha fuerza horizontal se determina en función del periodo de vibración ( $T$ ) de la estructura, como sigue:

### G.1. PERIODO DE VIBRACIÓN DE LA ESTRUCTURA

El periodo de vibración ( $T$ ) de la estructura, que es el periodo natural correspondiente al primer modo de vibración en la dirección horizontal que se analice, puede determinarse por cualquier método de análisis dinámico reconocido. En estructuras de los Tipos 1s y 2s, puede calcularse aproximadamente con la siguiente fórmula:

$$T = 0,2 \sqrt{\frac{W}{K}}$$

Donde:

$T$  = Periodo de vibración de la estructura, (s)

$W$  = Peso de la estructura, (kN)

$K$  = Rigidez de la estructura, (kN/cm), que vale:

$$K = \frac{F}{\Delta}$$

Donde:

$F$  = Fuerza estática horizontal de valor arbitrario, aplicada en el centro de gravedad de la estructura y en la dirección de análisis, (kN)

$\Delta$  = Desplazamiento de la estructura en la dirección de análisis ocasionada por la fuerza  $F$ , que se determina tomando en cuenta lo señalado en la Cláusula L. de esta Norma, (cm)

## G.2. FUERZA EQUIVALENTE

La fuerza horizontal equivalente ( $S'$ ) que se utiliza en el método cuasidinámico, se determina mediante la expresión:

$$S' = \frac{a}{Q'} W$$

Donde:

$S'$  = Fuerza horizontal equivalente, (kN)

$a$  = Ordenada en el espectro sísmico correspondiente a la zona sísmica donde se ubique la estructura y al tipo de suelo en que se desplanta, para el periodo de vibración  $T$  de la estructura, que se determina como se indica en la Cláusula J. de esta Norma, (adimensional)

$W$  = Peso de la estructura, (kN)

$Q'$  = Factor de comportamiento sísmico modificado, (adimensional), que vale:

$$\text{Si } T \leq T_a, \quad Q' = 1 + \frac{Q-1}{T_a} T$$

$$\text{Si } T > T_a, \quad Q' = Q$$

Donde:

$T_a$  = Periodo de vibración inferior del intervalo de resonancia del espectro sísmico correspondiente a la zona sísmica donde se ubique la estructura y al tipo de suelo en que se desplantará, y que se obtiene de la Tabla 1 de esta Norma, (s)

$Q$  = Factor de comportamiento sísmico, que se obtiene como se indica en la Cláusula K. de esta Norma, (adimensional)



La fracción  $a/Q'$  no debe ser menor que la ordenada al origen del espectro sísmico correspondiente ( $a_o$ ), que se obtiene de la Tabla 1 de esta Norma, según la zona sísmica donde se ubique la estructura y el tipo de suelo en que se desplantará.

## H. MÉTODO DINÁMICO

Este método es aplicable a estructuras que, según su comportamiento sísmico, son del Tipo 3s y, en forma optativa, a estructuras de los Tipos 1s y 2s. Según la precisión deseada, el análisis puede realizarse por separado en dos direcciones horizontales ortogonales y combinar sus efectos como se indica en la Cláusula M. de esta Norma, o mediante un análisis tridimensional, aplicando un programa de cómputo aceptado por la Secretaría. En cualquier caso, los efectos sísmicos resultantes no deben ser menores que el ochenta (80) por ciento de los obtenidos por el método cuasidinámico.

El análisis puede ser *Modal Espectral* o *Paso a Paso*, tomando en cuenta lo siguiente:

### H.1. ANÁLISIS MODAL ESPECTRAL

Las leyes y frecuencias de los modos naturales de vibración de la estructura se obtienen por métodos reconocidos de dinámica estructural, tomando las previsiones necesarias para incluir los efectos de interacción suelo-estructura.

La participación de cada modo de vibración de la estructura en las fuerzas que actúan sobre ella, se define con base en el espectro sísmico para la zona sísmica donde se ubique la estructura y para el tipo de suelo en que se desplante, según la Cláusula J. y haciendo las reducciones por ductilidad según la Cláusula K.

La respuesta total ( $R$ ) de la estructura a la acción sísmica, se obtiene combinando las respuestas ( $R_i$ ) a los diferentes modos de vibración que se consideren, conforme a la siguiente expresión:

$$R = \sqrt{\sum_{i=1}^n R_i^2}$$

Donde:

$R$  = Respuesta total de la estructura

- $n$  = Número total de modos de vibración que se consideran en la respuesta total de la estructura
- $R_i$  = Cualquier respuesta a los modos de vibración de la estructura que se consideren. La respuesta puede ser una fuerza, cortante, momento flexionante o desplazamiento, entre otras

## **H.2. ANÁLISIS PASO A PASO**

Para el análisis paso a paso se deben definir los acelerogramas del sismo de diseño, pudiendo emplearse los de sismos reales, sismos simulados, o combinaciones de éstos, siempre y cuando se utilicen movimientos representativos cuyas características de intensidad, duración y contenido de frecuencias sean compatibles con el riesgo sísmico del sitio en que se ubica la estructura. Debe además definirse la ley constitutiva esfuerzo-deformación para obtener la respuesta no lineal que mejor se ajuste a las características de la estructura.

## **I. MÉTODOS EXPERIMENTALES**

Estos métodos son aplicables a estructuras que, según su comportamiento sísmico, son del Tipo 4s, y consisten en la ejecución de estudios experimentales en prototipos y modelos físicos, mediante técnicas reconocidas, que permitan estimar la sismicidad del sitio, la respuesta del suelo y la respuesta de la estructura, siendo necesaria la aplicación del método dinámico a que se refiere la Cláusula H. de esta Norma.

## **J. ESPECTROS SÍSMICOS**

Para cualquier método que se utilice en la determinación de las cargas sobre las estructuras, debidas a la acción de los sismos, excepto el experimental, es necesario utilizar el espectro sísmico correspondiente a la zona sísmica donde se ubique la estructura y al tipo de suelo en que se desplantará, como el mostrado en la Figura 2 de esta Norma, que muestra la variación de la ordenada ( $a$ ) correspondiente a la relación de la aceleración del sismo entre la de la gravedad, para sus diferentes periodos de vibración ( $T$ ). Los valores de la ordenada al origen ( $a_o$ ), de la ordenada máxima ( $c$ ) y de los periodos de vibración, inferior ( $T_a$ ) y superior ( $T_b$ ) del intervalo de resonancia del espectro, que se ilustran en esa Figura, para estructuras Tipo B, las diferentes zonas

sísmicas de la República Mexicana y los distintos tipos de suelos, se proporcionan en la Tabla 1 de esta Norma. Para estructuras Tipo A, los valores de  $a_o$  y  $c$  de la Tabla, se multiplican por un factor de importancia de uno coma cinco (1,5).

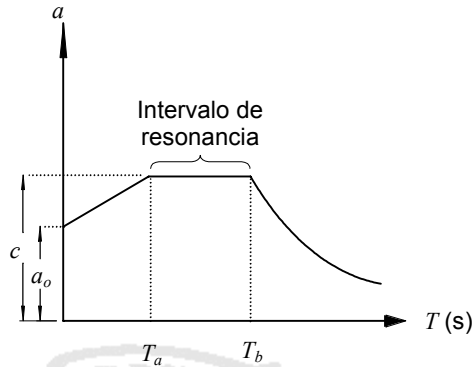


FIGURA 2. Espectro sísmico característico

**TABLA 1.- Valores característicos del espectro sísmico para estructuras Tipo B**

Zona sísmica	Tipo de suelo	$a_o$	$c$	$T_a$ (s)	$T_b$ (s)	$r$
A	I	0,02	0,08	0,2	0,6	$\frac{1}{2}$
	II	0,04	0,16	0,3	1,5	$\frac{2}{3}$
	III	0,05	0,20	0,6	2,9	1
B	I	0,04	0,14	0,2	0,6	$\frac{1}{2}$
	II	0,08	0,30	0,3	1,5	$\frac{2}{3}$
	III	0,10	0,36	0,6	2,9	1
C	I	0,09	0,36	0,2	0,6	$\frac{1}{2}$
	II	0,13	0,50	0,3	1,4	$\frac{2}{3}$
	III	0,16	0,64	0,6	1,9	1
D	I	0,13	0,50	0,2	0,6	$\frac{1}{2}$
	II	0,17	0,68	0,3	1,2	$\frac{2}{3}$
	III	0,21	0,86	0,6	1,7	1
E	I	0,04	0,16	0,2	0,6	$\frac{1}{2}$
	II	0,08	0,32	0,3	1,5	$\frac{2}{3}$
	III	0,10	0,40	0,6	3,9	1

La ordenada ( $a$ ) para cualquier periodo de vibración ( $T$ ) en el espectro sísmico, está definida por las siguientes expresiones:

$$\text{Si } 0 < T \leq T_a ; \quad a = a_o + \frac{c - a_o}{T_a} T$$

$$\text{Si } T_a < T \leq T_b ; \quad a = c$$

$$\text{Si } T_b < T ; \quad a = c \left( \frac{T_b}{T} \right)^r$$

Donde:

$r$  = Exponente adimensional que se obtiene de la Tabla 1 de esta Norma, según la zona sísmica donde se ubique la estructura y el tipo de suelo en que se desplante

#### **K. FACTOR DE COMPORTAMIENTO SÍSMICO**

El factor de comportamiento sísmico ( $Q$ ), por el que se toma en cuenta la ductilidad de la estructura, se puede obtener de estudios experimentales para estructuras con características similares a la de proyecto, previamente aprobados por la Secretarí. A falta de esos estudios se pueden emplear los valores que se indican en la Tabla 2 de esta Norma, de acuerdo con las características de la estructura por proyectar y según las fuerzas por determinar.

#### **L. CÁLCULO DE DESPLAZAMIENTO**

Los factores de reducción  $Q$  o  $Q'$ , son aplicables a la determinación de fuerzas estáticas equivalentes a partir de las cuales se obtienen los elementos mecánicos, pero para la determinación de desplazamientos sísmicos el valor de ambos factores se considera igual que uno (1); debiendo proporcionarse a la estructura la capacidad de tomar el desplazamiento así calculado; en caso contrario el análisis debe incluir los efectos correspondientes.

**TABLA 2.- Valores del factor de comportamiento sísmico  $Q$**

CARACTERÍSTICAS DE LA ESTRUCTURA	$Q$
<ul style="list-style-type: none"> <li>Estructuras cuya superestructura forma un marco dúctil* con los elementos de la subestructura, ya sean de concreto reforzado, presforzado o acero estructural.</li> <li>Para el cálculo de fuerzas transmitidas por la superestructura a la subestructura, cuando la primera se apoya libremente en dispositivos de neopreno.</li> <li>Para el cálculo de fuerzas generadas por la subestructura en elementos formados por marcos dúctiles.</li> </ul>	4
<ul style="list-style-type: none"> <li>Estructuras en las que la fuerza sísmica es resistida por una sola columna o pila continua con el tablero de la superestructura.</li> <li>Para el cálculo de fuerzas transmitidas por la superestructura a la subestructura, si los dispositivos de apoyo ya no existen o son de otro tipo diferente al neopreno.</li> <li>Para el cálculo de fuerzas generadas por la subestructura en elementos tipo muro o en columnas aisladas de concreto reforzado.</li> </ul>	2
<ul style="list-style-type: none"> <li>Para el cálculo de fuerzas generadas por la subestructura en elementos de mampostería.</li> </ul>	1

\* Un marco se considera dúctil cuando se cumplen los requisitos de dimensiones y detalles de diseño que, para tal efecto, se incluyen en las Normas de los Títulos-03. *Diseño de Estructuras de Concreto* y 04. *Diseño de Estructuras de Acero*, de la Parte 6 *Proyectos de Nuevos Puentes y Estructuras Similares*, del Libro PRY. *Proyecto*, del Tema CAR. *Carreteras*.

**M. COMBINACIÓN DE EFECTOS SÍSMICOS**

Los efectos sísmicos calculados, suponiendo que cada fuerza equivalente actúa en la respectiva dirección de cada uno de dos ejes ortogonales de la estructura, se combinan para evaluar el efecto total, de la manera siguiente:

$$S_t = S_x + 0,3S_y$$

$$S_t = S_y + 0,3S_x$$

Donde:

$S_z$  = Efecto sísmico de diseño

$S_x$  = Efecto sísmico considerando que el sismo actúa únicamente en la dirección  $x$

$S_y$  = Efecto sísmico considerando que el sismo actúa únicamente en la dirección  $x$ , ortogonal a  $y$

Normalmente los ejes  $x$  y  $y$  corresponden al eje longitudinal de la estructura y al transversal, respectivamente. En la determinación de la fuerza equivalente en cada dirección se toman los valores del periodo de vibración ( $T$ ) y del factor de comportamiento ( $Q$ ) correspondientes.

De las dos combinaciones indicadas, se selecciona para diseño la más desfavorable.

Los efectos sísmicos totales se combinan con los efectos de otras cargas, conforme se indica en la Norma N-PRY-CAR-6-01-006, *Combinaciones de Cargas*.

## **N. DISPOSITIVOS DE RESTRICCIÓN**

Los dispositivos que tengan por objeto restringir los desplazamientos de la estructura, tales como tirantes de anclaje y topes sísmicos, entre otros, se diseñan para la siguiente fuerza:

$$S_d = cCM - V_s$$

Donde:

$S_d$  = Fuerza de diseño para el dispositivo considerado, (kN)

$CM$  = Carga muerta de la porción de la estructura restringida por el dispositivo que se diseña, (kN)

$c$  = Máxima respuesta espectral según Tabla, (adimensional)

$V_s$  = Cortantes sísmicos resistentes generados en la estructura bajo la acción de la fuerza  $S_d$ , en elementos diferentes al dispositivo que se diseña, (kN)

**O. LONGITUDES DE APOYO**

En las juntas de expansión de todos los tramos de superestructura se disponen las longitudes mínimas de apoyo ( $LA$ ) medidas normalmente al paramento de la pila, del estribo o de la ménsula, y determinadas con las siguientes expresiones:

- Para estructuras Tipo B, en las zonas sísmicas A o B:

$$LA = (20 + 0,17L + 0,67H) (1 + 0,000125\alpha^2)$$

- Para estructuras Tipo B, en las zonas sísmicas C, D o E, y en cualquier zona, para estructuras Tipo A:

$$LA = (30 + 0,25L + H) (1 + 0,000125\alpha^2)$$

Donde:

$LA$  = Longitud mínima de apoyo, (cm)

$L$  = Longitud de la superestructura desde la junta de expansión considerada hasta la junta siguiente más próxima, (m).

En el caso de pilas, como se muestra en la Figura 3 b) de esta Norma,  $LA_1$  se determina tomando  $L_1$  y  $LA_2$  con  $L_2$ .

En el caso de ménsulas dentro de un claro, como se muestra en la Figura 3 c),  $L$  es la suma de las distancias hasta las juntas de expansión siguientes más próximas, a uno y otro lado ( $L_1 + L_2$ )

$H$  = Altura promedio de las columnas de la subestructura contenidas dentro de la longitud  $L$ , para el caso de estribos como el mostrado en la Figura 3 a), (m).

En el caso de puentes de un solo claro  $H = 0$  y para caballetes de columnas o pilas (Figura 3 b)), es la altura de la pila o caballete, (m).

Para el caso de ménsulas dentro de un claro (Figura 3c)),  $H$  es la altura promedio de las dos columnas adyacentes, (m).

$\alpha$  = Ángulo de esviajamiento, (grados)

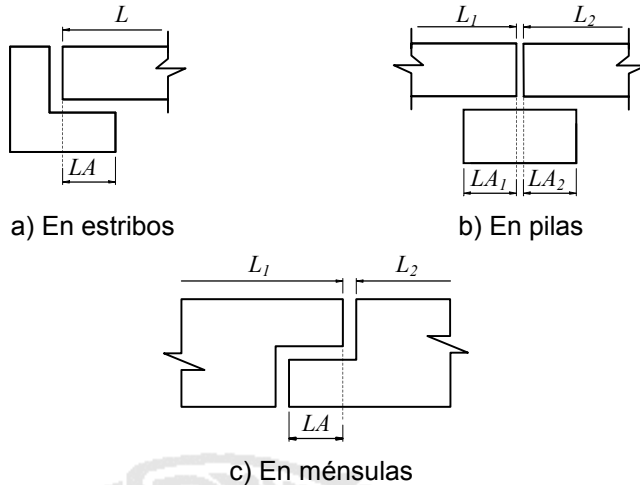


FIGURA 3.- Longitudes de apoyo

## P. DISPOSITIVOS DE SUJECIÓN VERTICAL

En estructuras continuas ubicadas en las zonas sísmicas C o D, se colocan dispositivos de sujeción vertical en los apoyos y en las articulaciones, en los que la fuerza sísmica horizontal ocasione una fuerza vertical opuesta a la reacción por carga muerta y con un valor entre cincuenta (50) y cien (100) por ciento de dicha reacción. Estos dispositivos se diseñan para resistir el diez (10) por ciento de la reacción por carga muerta que se tendría si el tramo fuese libremente apoyado.

Si la fuerza sísmica vertical es mayor que la reacción por carga muerta, los dispositivos de sujeción vertical deben diseñarse para resistir la mayor de las siguientes fuerzas:

Diez (10) por ciento de la reacción por carga muerta para tramo simplemente apoyado.

Ciento veinte (120) por ciento de la diferencia entre la fuerza sísmica vertical y la reacción debida a carga muerta.

## Q. PÉNDULOS INVERTIDOS

Péndulo invertido es una estructura con la masa concentrada en la parte superior y con un elemento resistente relativamente esbelto en la parte inferior. En las estructuras, las pilas formadas por una sola



columna con cabezal en doble voladizo, pueden considerarse como péndulos invertidos, al igual que las pilas formadas por una sola columna continua con la superestructura, cuando se analiza en dirección transversal al eje longitudinal de la estructura.

En los análisis simplificado y cuasidinámico de péndulos invertidos, además de los efectos de la fuerza sísmica equivalente horizontal, se toman en cuenta las aceleraciones verticales producidas por el giro de la masa superior respecto a un eje horizontal, perpendicular al de la dirección de análisis, que pase por el punto de unión entre la masa suspendida y la columna resistente.

El efecto de dichas aceleraciones verticales es equivalente al de un momento  $M$  aplicado en la sección superior de la columna, cuyo valor es:

$$M = 1,5Sr_m^2 \frac{\phi}{x}$$

Donde:

- $M$  = Momento flexionante sobre la columna en torno a un eje perpendicular al de la dirección de análisis, (kN-m)
- $S$  = Fuerza horizontal equivalente determinada mediante el método simplificado o el método cuasidinámico, , como se indica en las Cláusulas F. y G. de esta Norma, respectivamente, (kN)
- $r_m$  = Radio de giro de la masa respecto al eje de giro, (m)
- $x$  = Desplazamiento lateral producido por la fuerza  $S$  en la parte superior de la columna, (m)
- $\phi$  = Giro producido por la fuerza  $S$  en la parte superior de la columna, (rad)

Además, en este tipo de estructuras el efecto sísmico total de diseño es el más desfavorable de dos combinaciones, en cada una de las cuales se considera el cien (100) por ciento del efecto sísmico de la fuerza equivalente actuando en una dirección, con el cincuenta (50) por ciento del efecto sísmico de la fuerza equivalente actuante en dirección ortogonal, sustituyendo lo indicado en la Cláusula M.

## R. DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE UN SOLO CLARO

Para estructuras de un solo claro, del Tipo 1s, no se requiere el análisis sísmico detallado por el método simplificado o por el método cuasidinámico, indicados en las Cláusulas F. y G., respectivamente. Únicamente se revisa que las conexiones entre la superestructura y los estribos sean capaces de resistir, en las dos direcciones ortogonales horizontales, una fuerza equivalente igual al producto del peso tributario por el coeficiente  $a_o$  correspondiente a la zona sísmica, al tipo de suelo y a la importancia de la estructura. También se revisa que se satisfagan los requisitos de longitudes de apoyo que se indican en la Cláusula O. de esta Norma.

## S. DISEÑO DE ESTRUCTURAS PROVISIONALES O DE ESTRUCTURAS EN PROCESO DE CONSTRUCCIÓN

Las estructuras provisionales por encima del tránsito o que puedan tomar tránsito vehicular y con una duración estimada inferior a cinco (5) años, así como las estructuras en proceso de construcción, en una etapa en que sus características estructurales las hagan particularmente vulnerables a la acción sísmica, se revisan de acuerdo con las prescripciones de la presente Norma, pero tomando en cuenta su corto periodo de exposición en los coeficientes  $a_o$  y  $c$  de la Tabla 1, que pueden reducirse dividiéndolos entre dos (2). Adicionalmente, en el método de cargas de trabajo, los esfuerzos admisibles se pueden incrementar treinta y tres (33) por ciento, y los factores de carga asociados a la fuerza sísmica en el método de factores de carga, se pueden reducir en veinticinco (25) por ciento.