



TRAMITADA
11 FEB 2011
OFICINA DE PARTES
DIRECCION DE VIALIDAD

REF. : APRUEBA INSTRUCTIVO REFERENTE A NUEVOS CRITERIOS SISMICOS PARA EL DISEÑO DE PUENTES EN CHILE, COMPLEMENTARIOS DEL VOLUMEN N° 3 "INSTRUCCIONES Y CRITERIOS DE DISEÑO", CAPITULO 3.1000 PUENTES Y ESTRUCTURAS AFINES, VERSION DIGITAL CONSOLIDADA DICIEMBRE 2010 DEL MANUAL DE CARRETERAS DE LA DIRECCION DE VIALIDAD.

MINISTERIO DE HACIENDA
OFICINA DE PARTES

RECIBIDO

SANTIAGO, 11 FEB 2011

CONTRALORIA GENERAL
TOMA DE RAZON

RECEPCION

VISTOS :

El D.F.L. N° 850 de 1997, que fija el texto refundido, coordinado y sistematizado de la ley N° 15840 de 1964, la Resolución N° 1600 de 2008 de la Contraloría General de la República, la Versión Digital Consolidada Diciembre 2010 del Volumen N°3 del Manual de Carreteras, aprobado por Resolución (Exenta) DV N° 6812 del 18 Diciembre de 2010.

| | | |
|--------------------------------|--|--|
| DEPART. JURIDICO | | |
| DEPT. TR. Y REGISTRO | | |
| DEPART. CONTABIL. | | |
| SUB. DEPT. C. CENTRAL | | |
| SUB. DEPT. E. CUENTAS | | |
| SUB. DEPTO. C.P.Y. BIENES NAC. | | |
| DEPART. AUDITORIA | | |
| DEPART. VO. PUL. Y T. | | |
| SUB. DEPTO. MUNICIPI. | | |
| | | |
| | | |

CONSIDERANDO:

Que se requiere mantener actualizado el marco normativo técnico de la Dirección de Vialidad.

Que se requiere uniformar las disposiciones de diseño de estructuras, especialmente puentes, con lo establecido en el Volumen N° 3 del Manual de Carreteras

Que se requiere incorporar los nuevos criterios sísmicos para el diseño de puentes y estructuras afines.

RESUELVO: (EXENTO)
D. V. N° 743/

- I. APRUEBASE** el Instructivo "Nuevos Criterios Sísmicos para el Diseño de puentes en Chile" que complementa las instrucciones del Volumen N°3 "Instrucciones y Criterios de Diseño", Versión Digital del manual de Carreteras, de la Dirección de Vialidad, en Capítulo 3.1000 "Puentes y Estructuras Afines", Diciembre 2010, aprobado por Resolvo (Exento), entendido como documento normativo de referencia para proyectos viales.

ANOTESE, Y COMUNIQUESE

DIRECTOR DE VIALIDAD
MARIO ANGUIITA MEDEL
Ingeniero Civil
Director de Vialidad (S)

TS/DA
ESS/ESS Vccd.
DISTRIBUCION:

- Sres. Subdirectores de Obras, Desarrollo y Mantenimiento.
- Sres. Jefes Divisiones de Ingeniería, de Proyecto de Redes, Infraestructura Vial Urbana, Jurídica y Gestión y Difusión.
- Sres. Directores Regionales de Vialidad.
- Jefes de Departamentos de Subdirecciones de Obras, Desarrollo y Mantenimiento.
- Jefe Departamento de Licitaciones de la Subdirección de Presupuestos y Finanzas.
- SDD-Depto. Estudios Viales Manual de Carreteras DV:
- Of de Partes - D.V.
- Archivo

Div. Ingeniería - D.V.



N° DE PROCESO :

Proceso N° 4498509



Nuevos Criterios Sísmicos Para el Diseño de Puentes en Chile

Departamento de Proyectos de Estructuras
División de Ingeniería
Dirección de Vialidad

MOP

~~GUSTAVO SILVA ROCO~~
Ingeniero Jefe
Departamento de Proyectos de Estructuras
División de Ingeniería

Versión 1, Julio 2010



Nuevos Criterios Sísmicos Para el Diseño de Puentes en Chile

Este Documento fue Redactado por: Alex Unión V.
Mauricio Guzman S.

Colaboraron en la Redacción y Corrección: Claudio Rivera O.
Luis Aravena C.
Julio Barrientos L.
Karime Darwiche E.
Paula Muñoz S.
Raul Godoy I.
Jorge Vargas B.
Iván Tudela E.
Tamara Cabrera R.



INDICE

| | |
|--|----|
| 1. Introducción..... | 4 |
| 2. Disposiciones sísmicas a implementar en forma inmediata..... | 5 |
| 2.1. Ancho mínimo de la mesa de apoyo..... | 5 |
| 2.2. Comportamiento sísmico de tableros esviados:..... | 10 |
| 2.3. Cálculo sísmico de conexiones para puentes que sean diseñados con el Método del Coeficiente Sísmico:..... | 11 |
| 2.3.1. Placas de apoyo:..... | 11 |
| 2.3.2. Juntas de Dilatación:..... | 11 |
| 2.3.3. Barras de Anclaje vertical antisísmicas:..... | 11 |
| 2.4. Módulo de corte para placas de apoyo a utilizar en análisis sísmico:..... | 12 |
| 2.5. Anclaje de placas de apoyo:..... | 12 |
| 2.6. Travesaños:..... | 13 |
| 2.7. Topes sísmicos intermedios y extremos:..... | 13 |
| 2.8. Puentes Integrales-Unión Monolítica entre la losa del tablero y el estribo..... | 14 |
| 2.9. Continuidad de los tableros..... | 15 |
| 2.10. Limitación de uso de pila-pilotes o muros -pilotes en estribos..... | 15 |
| 2.11. Puentes cercanos al mar..... | 16 |
| 2.12. Pasarelas..... | 16 |
| 3. Disposiciones sísmicas a implementar a mediano y largo plazo..... | 17 |
| 3.1. Incorporación de alcances al Manual de Carreteras..... | 17 |
| 3.2. Espectros sísmicos y microzonificación..... | 17 |
| 3.3. Política de Instrumentación de puentes..... | 17 |
| 3.4. Utilización de dispositivos antisísmicos..... | 18 |
| 3.5. Mejoramiento de la barra de anclaje..... | 18 |
| 3.6. Diseño de las columnas..... | 18 |



1. Introducción

A raíz del de los daños que se produjeron en algunas estructuras durante el terremoto del 27 de Febrero de 2010, resulta necesario incorporar nuevos aspectos en el diseño y cálculo de las estructuras a fin de mejorar su comportamiento sísmico.

Esto se traduce en la aplicación de medidas inmediatas y medidas a mediano plazo, acerca de las cuales se trata en el presente documento.

2. Disposiciones sísmicas a implementar en forma inmediata

A continuación se enuncian las disposiciones sísmicas a implementar de manera inmediata en los nuevos diseños.

2.1. Ancho mínimo de la mesa de apoyo

El ancho mínimo de apoyo de una viga en las mesas de apoyo está basado en la norma Japonesa "Specifications for Highway Bridges, March 2002, Part V Seismic Design", en la sección 16.2 "Seat Length" y su expresión es la siguiente:

$$S_E \geq 0.7 + 0.005L \quad (1)$$

donde:

S_E = ancho de apoyo mínimo de una viga en la mesa de apoyo (m). S_E es la longitud de la viga desde el borde de la viga al borde de la mesa de apoyo o la longitud de viga (apoyo tipo Gerber) en la junta de movimiento mostrada en la figura 1, Fig. 16.2.1 de la norma japonesa.

L = Longitud del vano (m). En un cabezal de cepa que soporte dos superestructuras con diferentes longitud de vano, se deberá considerar el vano de mayor longitud para el valor de L .

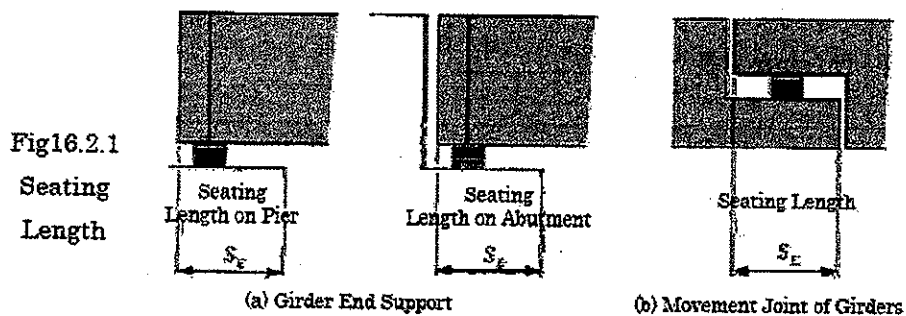




Figura 1.

Para los puentes esviados la longitud de apoyo en las vigas $S_{E\theta}$ debe cumplir con la longitud mínima de la ecuación (1). El valor de la longitud de apoyo en los puentes esviados se calcula con la siguiente expresión:

$$S_{E\theta} \geq (L_{\theta} / 2)(\text{sen}\theta - \text{sen}(\theta - \alpha_E)) \quad (2)$$

donde:

- $S_{E\theta}$ = longitud de apoyo de la viga en un puente esviado en (m).
- L_{θ} = longitud continua de la superestructura en (m).
- θ = ángulo de esviaje correspondiente al ángulo agudo del tablero en grados ($^{\circ}$).
- α_E = ángulo de rotación límite para la pérdida de apoyo, α_E se puede tomar generalmente como 5 grados ($^{\circ}$).

Para un puente esviado asimétrico, en el cual las dos líneas de apoyo presentan ángulos de esviaje distintos, $S_{E\theta}$, debe ser calculado utilizando el ángulo agudo menor del tablero.

En cualquier caso los valores de S_E y $S_{E\theta}$ deberán ser medidos en forma perpendicular al muro espaldar tal como se indica en la figura 2 y 3, Fig. C16.2.3 y C16.2.4 de la norma japonesa.

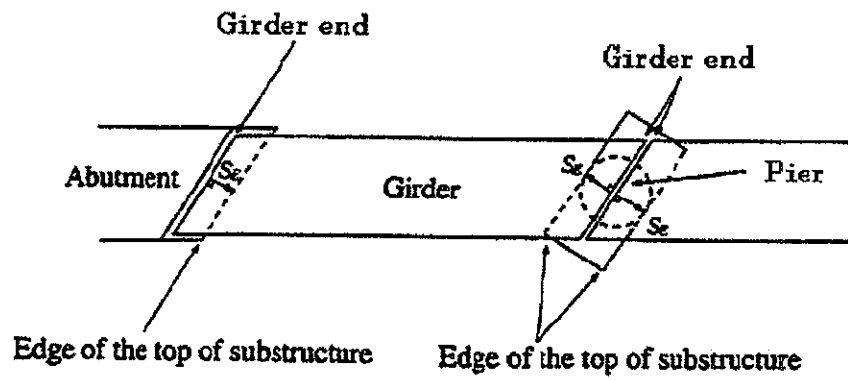


Fig. C16.2.3 How to Measure Seating Length When Direction of the Horizontal Component of Soil Pressure is Different from the Bridge Axis

Figura 2.

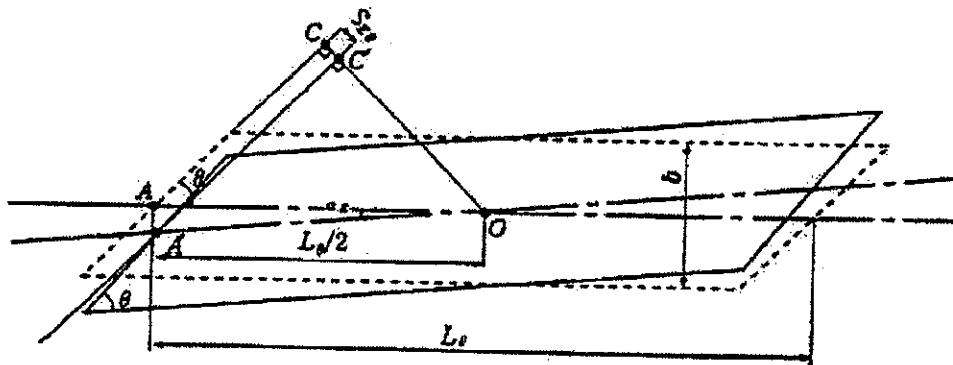


Fig. C16.2.4 Seating Length of a Skew Bridge

Figura 3.

Para un puente con múltiples vanos continuos con una longitud excesiva de la superestructura, L_0 , el valor de la longitud de apoyo

S_{E0} puede ser demasiado grande. En estos casos se deben tomar algunas medidas, tales como: disminuir el ángulo de esviaje, colocar topes sísmicos en la dirección transversal y topes sísmicos en la dirección longitudinal para prevenir la falta de apoyo de la estructura completa.

Se puede disminuir la longitud de apoyo, cumpliendo con el valor mínimo S_E de la ecuación (1), si se incluyen topes sísmicos longitudinales, de acuerdo a lo indicado en el Capítulo 16.3 "Unseating Prevention Structure". Dichos topes deben incluirse en los apoyos donde se encuentran las juntas de dilatación del tablero.

A continuación en la figura 4, 5 y 6, correspondientes a las Fig. C16.3.1 a la C16.3.3 de la norma japonesa, se detallan algunos ejemplos de topes sísmicos en la dirección longitudinal.

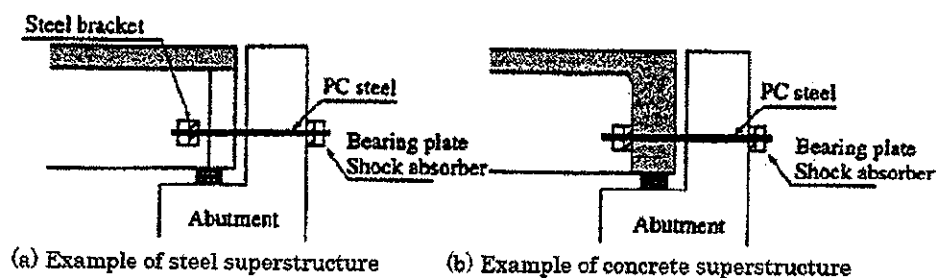


Fig. C16.3.1 Examples of Unseating Prevention Structures Connecting the Superstructure with Substructure

Figura 4.

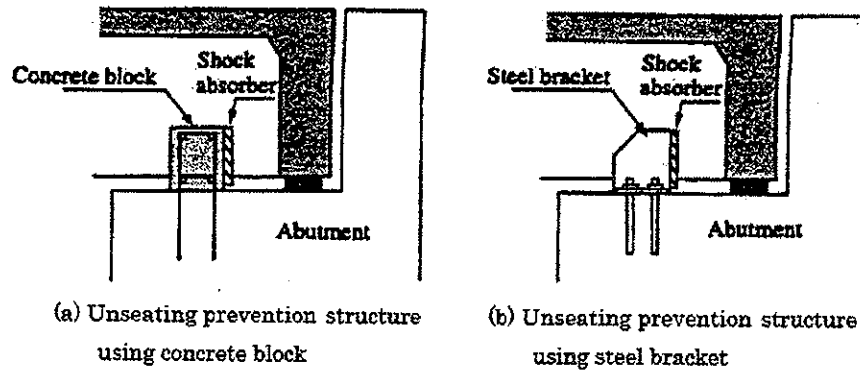


Fig. C16.3.2 Examples of Unseating Prevention Structures Providing Protuberance on the Superstructure and the Substructure

Figura 5.

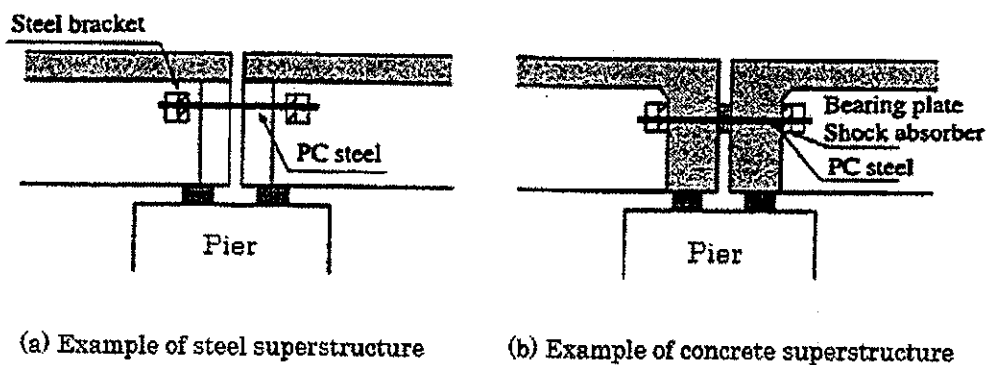


Fig. C16.3.3 Examples of Unseating Prevention Structures Connecting the

Figura 6.

2.2. Comportamiento sísmico de tableros esviados:

Se debe procurar evitar proyectar puentes con un gran esviaje. De no ser posible lo anterior, se debe considerar las recomendaciones que se describen a continuación.

Para puentes esviados se deberá considerar la relación ancho (b) v/s longitud continua del tablero (L) en función del ángulo agudo de éste, según la sección 16.5 "Excessive Displacement Stopper" de la Norma "Specifications for Highway Bridges, March 2002, Part V Seismic Design".

Al utilizar el gráfico de la figura 7, Fig. C16.5.4 de la norma japonesa, se deberá verificar si los resultados asociados indican que existirán desplazamientos excesivos, en cuyo caso se requerirá incorporar topes sísmicos intermedios, entre todas las vigas, adicionales a los topes extremos. Este requerimiento será exigencia para todos los puentes de acuerdo a lo indicado en la sección 2.7.

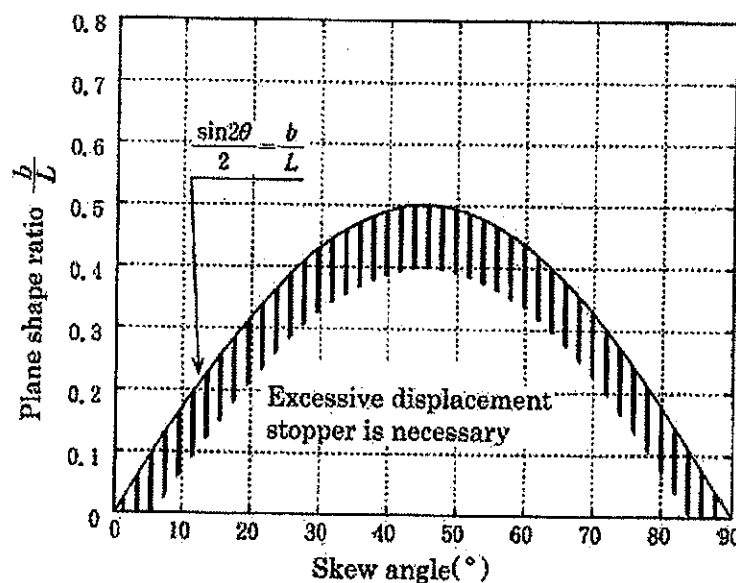


Fig. C-16.5.4 Conditions in which a Skew Bridge Require an Excessive Displacement Stopper in the Transverse Direction to the Bridge Axis

Figura 7.



Además, en tableros de 2 o más vanos se deberá considerar la realización de una modelación modal espectral del puente completo, con el fin de determinar las deformaciones en las placas y el movimiento del tablero con respecto a la infraestructura. La modelación modal espectral debe estar de acuerdo al artículo 3.1004.309(3) del capítulo 3.1000 del Manual de Carreteras.

2.3. Cálculo sísmico de conexiones para puentes que sean diseñados con el Método del Coeficiente Sísmico:

En este caso se deberá considerar para el cálculo de las conexiones del tablero (placa de apoyo, juntas de dilatación y barras de anclaje), lo siguiente:

2.3.1. Placas de apoyo:

Para cuantificar la transmisión de cargas del tablero a la infraestructura se mantendrá el criterio de considerar una aceleración igual a $A_0/2$. Sin embargo, se deberá calcular el desplazamiento máximo de la placa con una aceleración igual a A_0 .

2.3.2. Juntas de Dilatación:

Los desplazamientos considerados para diseñar la junta de dilatación deberán ser estimados en base al desplazamiento máximo de la placa de apoyo, con aceleración igual a A_0 , sumado a los efectos de variación de temperatura y retracción del hormigón.

2.3.3. Barras de Anclaje vertical antisísmicas:

Se deberán calcular considerando una aceleración vertical igual a A_0 .

2.4. Módulo de corte para placas de apoyo a utilizar en análisis sísmico:

En puentes de más de tres vanos, y en aquellos casos en que lo solicite la Dirección de Vialidad, se deberá verificar el comportamiento sísmico de la estructura con valores de $G = 10 \text{ kg/cm}^2$ y $G = 13 \text{ kg/cm}^2$. El rango de los valores anteriores ha sido obtenido de los ensayos a corte-compresión realizados placas de apoyo de neoprenos y aisladores sísmicos fabricados en Chile. Lo anterior tiene importancia en el reparto sísmico en los elementos de la infraestructura, sobre todo en puentes de gran altura especialmente cuando existen varias cepas con distintas alturas.

2.5. Anclaje de placas de apoyo:

Todas las placas de apoyo deberán ser ancladas a la infraestructura y a la viga respectiva. Un ejemplo de una placa anclada se muestra en la figura 8:

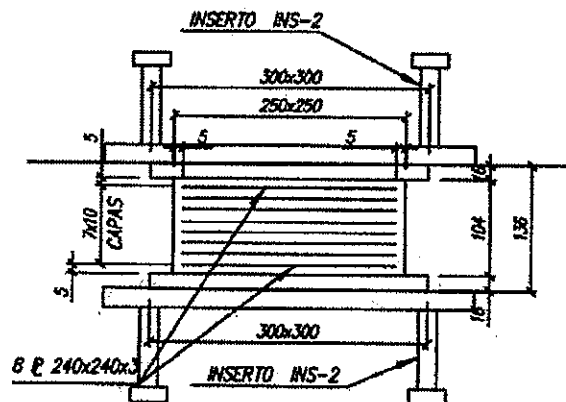


Figura 8. Ejemplo de placa anclada

En caso de puentes de más de 3 vanos, puentes de gran envergadura y en aquellos en los que la Dirección de Vialidad lo requiera, será obligatorio realizar a todas las placas consideradas, los ensayos de control de calidad de acuerdo a la sección 15.2 "Quality



Control Test" de la Norma "Guide Specification for Seismic Isolation Design" de AASHTO.

En el resto de los casos, se deberá ensayar al menos 2 placas por apoyo.

Se deberá privilegiar el uso de aisladores sísmicos de goma natural con amortiguamientos mayores iguales a $\xi = 10\%$, en reemplazo de los apoyos de neopreno, con el fin de mejorar el comportamiento sísmico de las estructuras.

2.6. Travesaños:

Todos los puentes deberán considerar travesaños extremos y central, independiente de la ubicación o zona sísmica del puente y el tipo de viga (metálica, postensada o pretensada). La interacción de los travesaños con los topes sísmicos se debe diseñar con una aceleración A_0 y adicionalmente se debe verificar las cargas de servicio, es decir el efecto del camión de diseño en el travesaño.

2.7. Topes sísmicos intermedios y extremos:

Se deberá considerar el uso de topes sísmicos intermedios, adicionales a los topes extremos. Los topes sísmicos intermedios deberán formar una llave de corte con los travesaños, con el fin de que un probable impacto debido al sismo sobre ellos dañe al travesaño y no a las vigas.

La distancia libre a considerar en las llaves de corte, deberá ser la altura máxima del apoyo (aisladores sísmicos de goma o neoprenos) H (cm) + 5 (cm) para los topes intermedios, y H (cm) + 7 (cm) para los topes extremos, como se muestra en la figura 9.

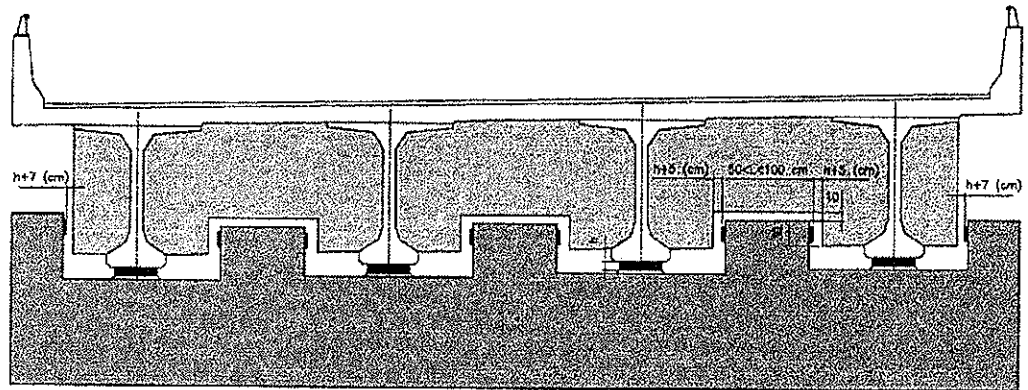


Figura 9. Topes sísmicos y travesaño

En todos los topes se debe incluir un neopreno lateral de bajo espesor, para amortiguar el impacto sobre éstos.

Los topes sísmicos, extremos e intermedios, se deberán calcular considerando una aceleración igual a A_0 . Cada tope debe ser capaz de resistir toda la fuerza transversal del tablero.

2.8. Puentes Integrales-Unión Monolítica entre la losa del tablero y el estribo

En puentes de hasta 2 vanos, donde la luz de cada vano no exceda los 30 (m), se deberá privilegiar el uso de puentes integrales, en los cuales existe una conexión monolítica entre la losa del tablero y el coronamiento del muro espaldar del estribo, ver figura 10. En el caso que sea un puente de 2 vanos debe existir continuidad del tablero sobre la cepa. Se la estructura tiene un esviaje se debe analizar con un modelo fino 3D la influencia del esviaje.

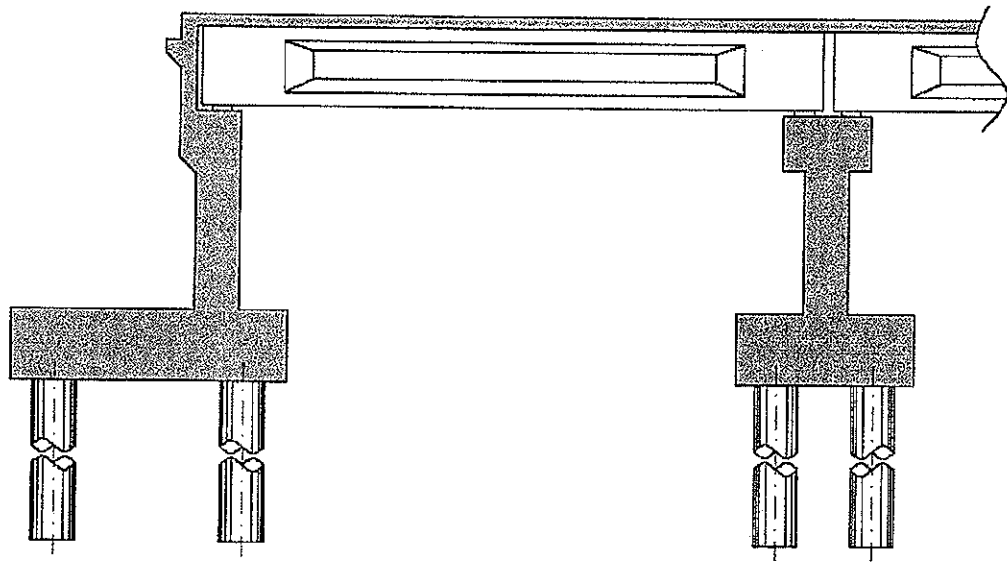


Figura 10. Ejemplo de unión de losa tablero con estribo

2.9. Continuidad de los tableros

Se debe evitar el uso de juntas sobre cada cepa, privilegiando el uso de losetas de continuidad, con el fin de evitar el movimiento relativo o choque de los tableros en un evento sísmico. En el caso que el tablero tenga un grado de esviaje, se debe tener en cuenta las exigencias de la sección 2.2.

2.10. Limitación de uso de pila-pilotes o muros -pilotes en estribos

Se deberá evitar la utilización de estribos pila-pilotes o muros-pilotes, con un eje o línea de pilotes, cuando se requiera contener un terraplén de altura considerable. En estos casos se recomienda utilizar un estribo pila-pilote o muro-pilote conectando el muro espaldar con la losa del tablero (puente Integral), para puentes o estructuras con un máximo de 2 vanos. También la pila pilote puede ser independiente, si el relleno del terraplén es contenido por un muro, de tal manera que no existan empujes de suelo sobre la pila pilote.



2.11. Puentes cercanos al mar

Los puentes que estén cercanos al mar se deberán proyectar con una revancha mayor a 2(m) para un periodo de retorno de 100 años. Los terraplenes de acceso y conos de derrame se deberán proteger con enrocados aguas arriba y aguas abajo del puente.

2.12. Pasarelas

Se deberá privilegiar el uso de pasarelas hiperestáticas continuas, conectando las rampas de acceso al tramo principal y uniendo las columnas monolíticamente con las vigas. El tramo principal debe estar conectado a las rampas, con el fin de que ambos se proporcionen arriostramiento ante un evento sísmico.

No se aceptarán soluciones del tipo columna prefabricada que sea unida in situ a la zapata, debido al mal comportamiento que presentaron frente al sismo.

En el caso de diseñar pasarelas con vigas simplemente apoyadas se debe lograr continuidad entre las vigas, mediante losetas de continuidad u otra solución que genere el mismo comportamiento estructural. Se debe lograr la continuidad entre las rampas y el tramo principal. El largo de la mesa de apoyo debe estar de acuerdo a lo exigido en la sección 2.1. Las placas deben ser ancladas de acuerdo a la sección 2.5. El desplazamiento máximo de las placas se debe calcular de acuerdo a la sección 2.3.1. Los topes sísmicos se deben calcular de acuerdo a la sección 2.7., y las barras antisísmicas de deben calcular de acuerdo a la sección 2.3.3.



3. Disposiciones sísmicas a implementar a mediano y largo plazo

3.1. Incorporación de alcances al Manual de Carreteras

Los criterios contenidos en el punto 2 del presente documento y otros que surjan del análisis deben ser incorporados al Manual de Carreteras, Capítulo 3.1000 "Puentes y Estructuras afines", con el fin de actualizar nuestra normativa, considerando lo observado durante el Terremoto del 27 de Febrero de 2010.

(Falta complementar)

3.2. Espectros sísmicos y microzonificación

Se debe desarrollar un estudio que proporcione los nuevos espectros sísmicos y desarrollar una microzonificación de los suelos de una manera más detallada. Para lo anterior se debe contar con la participación de especialistas en el área sísmica. Estos estudios deben ser incorporados en el Manual de Carreteras

(Falta complementar)

3.3. Política de Instrumentación de puentes

Con el fin de estudiar y analizar de mejor manera el comportamiento sísmico de nuestras estructuras se requiere implementar un plan de instrumentación de diversos puentes, de variadas tipologías, ubicados en distintas zonas del país y en diversos suelos. (Falta complementar)



3.4. Utilización de dispositivos antisísmicos

En los puentes o viaductos de gran envergadura, gran altura, con excesiva longitud, con una tipología o geometría en planta irregular, se debe tener en cuenta la utilización de dispositivos tales como, conectores mecánicos, conectores hidráulicos, amortiguadores hidráulicos, amortiguadores elastoplásticos, aparatos de apoyo POT (apoyos de neoprenos insertos en una caja de acero) etc. Estos sistemas deberán contar con su certificación correspondiente proporcionada por la empresa que la distribuye. (Falta complementar)

3.5. Mejoramiento de la barra de anclaje

Se debe desarrollar un estudio con el fin de mejorar el sistema actual de anclaje vertical de los tableros (barra antisísmica), proponiendo un mejor calidad del acero, una mejor conexión en el tablero (por ejemplo analizar el aumento del espesor de la plancha circular de anclaje). Se debe estudiar el uso de barras del tipo postensadas, utilización de cable postensado etc.

(Falta complementar)

3.6. Diseño de las columnas

Las columnas se comportaron muy bien en el sismo que aconteció en febrero de este año, no se detectó la presencia de rótulas plásticas ni grietas de corte. La resistencia de las columnas se debería calcular de acuerdo a su ductilidad y su desplazamiento en la parte superior. Estos criterios que ya han sido incorporados en la norma Japonesa "Specifications for Highway Bridges, March 2002, Part V Seismic Design" y en la nueva norma sísmica norteamericana "Guide Specifications for LRFD Seismic Bridge Design, 2009". Es importante comentar que la División I-A de la norma AASHTO STANDARD, está siendo reemplazada por la norma anterior debido a



que en EEUU, a partir del año 2007 rige la norma LRFD en todos los estados.

Adicionalmente las cuantías de confinamiento expresadas en la División I-A de la norma AASHTO STANDAR son casi inaplicables cuando las columnas son de un diámetro mayor a 1,5(m) o si es una columna de sección hueca, en estos casos resultan armaduras excesivas que perjudican el hormigonado del elemento y puede disminuir la adherencia entre la armadura y el hormigón.

(Falta complementar)