

DISEÑO DE APOYOS DE NEOPRENO PARA PUENTES. ¿SON SUFICIENTES LAS COMPROBACIONES DEL CÓDIGO COLOMBIANO DE DISEÑO SÍSMICO DE PUENTES (CCDSP-95)?

DESIGN NEOPRENE BEARINGS FOR BRIDGES ¿ARE ENOUGH THE COMPROBATIONS OF THE COLOMBIAN SEISMIC BRIDGES CODE OF DESIGN?

Zulma S. Pardo ⁽¹⁾

⁽¹⁾ I.C. Msc. Estructuras, Esp. Gerencia de Obra. Gerente ZJ Ingenieros Estructurales Ltda, Bogotá, Colombia.

Dirección para correspondencia: zspardo@hotmail.com

TEMA A/ Diseño sísmico de puentes

Resumen

El presente artículo presenta un problema ocurrido en la construcción del primer puente de tercer nivel hecho en la ciudad de Bogotá. El mismo se presentó en los apoyos elastoméricos del puente una vez se comenzó a fundir la losa para completar la carga muerta total del puente, sin carga viva impuesta.

Se presenta el proceso de daño ocurrido durante construcción y cómo se solucionó el problema en la etapa de construcción.

Finalmente, se presentan una propuesta para modificar la normativa actual de diseño colombiana para apoyos elastoméricos de puentes y los ensayos y prototipos que deben realizarse para verificar la calidad de los apoyos antes de localizarlos en el puente.

Palabras-clave: apoyos de neopreno, diseño apoyos de puentes, puentes, CCDSP-95, normativa de puentes en Colombia.

Abstract

In this paper the author presents a constructive problem in the neoprene bearings, during the construction of first third level bridge in Bogotá (Colombia). The problem occurs without all the dead load present in the bridge and without live load.

The article presents step by step the damage of neoprene bearing and how this problem was solved.

Finally, the author recommends a change in the Colombian normative of seismic design of bridges for neoprene bearings. She suggests a testing program with prototype in full scale for verification of the quality of bearing before the localization of it in the bridge.

.

Keywords: neoprene bearing, design of bridges bearings. Bridges, CCDP-95, Colombian seismic bridges design

Santiago de Cali, noviembre 16 al 18 de 2005.

Universidad del Valle y Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (AIS)

1. Introducción

El Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puente de 1995, en su capítulo A.10, propone el diseño de los apoyos de neopreno para puentes usando el método de los esfuerzos admisibles.

El diseño de los apoyos de acuerdo a esta normativa tiene en cuenta el esfuerzo a compresión admisible y la fuerza cortante inducida por la deformación del apoyo. Sin embargo, maneja un amplio rango para el valor del módulo de cortante del neopreno. Para dureza 60, este valor varía entre 0.91 MPa y 1.4 MPa. (Tabla A.10.2.3-1), queda a juicio del ingeniero estructural el valor para efectuar su diseño.

Otras metodologías como las propuestas por la AASHTO LRFD, proponen la verificación de la capacidad de rotación, la compresión y rotación combinadas, la estabilidad del apoyo elastomérico, adicionales a las condiciones antes mencionadas. En cuanto se refiere a diseño del refuerzo del apoyo se deben comprobar dos estados límite, el de servicio y el de fatiga.

2. El problema

Durante la construcción del Puente de Tercer Nivel, se pudo verificar que es necesario implementar una metodología de ensayos, que garantice que durante la construcción se pueda determinar el valor del módulo de cortante de los apoyos con el fin de evitar problemas futuros.

A continuación, se presentará un registro fotográfico del comportamiento de un apoyo de neopreno en diferentes estados de tiempo y diferentes cargas.

En la foto 1, se observa el apoyo de neopreno en el $t = 0$ meses, soportando sólo la viga cajón del puente, sin losa del tablero fundida.

Foto 1. Apoyo en $t=0$ meses con el peso propio sin losa



En la foto 2, se observa el apoyo de neopreno en el $t = 2$ meses, soportando la viga cajón del puente, con un tramo de losa del tablero fundida. Aparecen las primeras fisuras por falla por cortante.

Foto 2. Apoyo en $t=2$ meses con el peso propio y carga de losa parcial



En la Foto 3, aparecen cortes parciales en la penúltima capa de refuerzo.

Foto 3. Apoyo en $t=3$ meses con el peso propio y carga de losa parcial



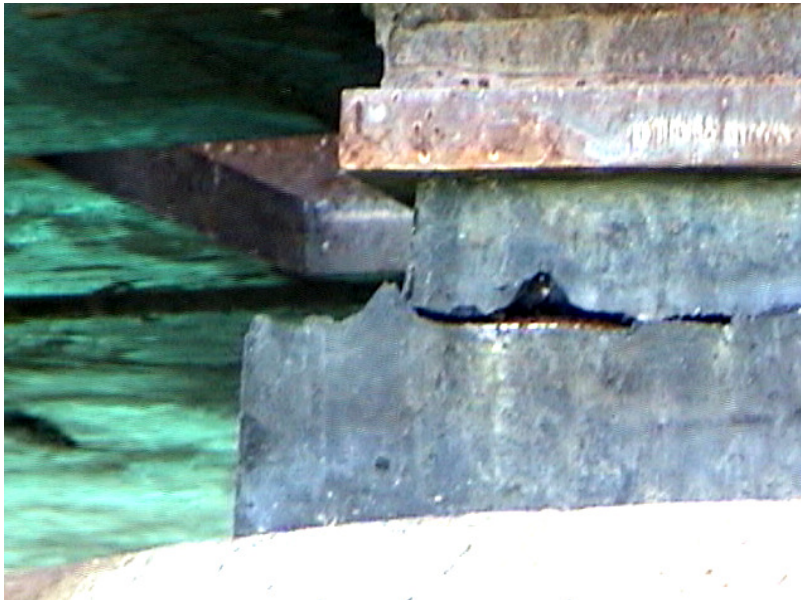
En la foto 4, aparece el corte total o falla parcial por cortante a nivel de la penúltima capa de refuerzo.

Foto 4. Apoyo en $t=4$ meses con el peso propio y carga de losa parcial



En la Foto 5. Se muestra el deslizamiento a nivel de la penúltima capa por falla por cortante del apoyo.

Foto 5. Apoyo en $t=5$ meses con el peso propio y carga de losa parcial



En la Foto 6, Se muestra el deslizamiento a nivel de penúltima y segunda capa del apoyo por falla por cortante del elastómero.

Foto 6. Apoyo en t=6 meses con el peso propio y carga de losa parcial



En la Foto 7. Se presenta el refuerzo del apoyo de neopreno y rastros del ligante empleado.

Foto 7. Apoyo en t=6 meses con el peso propio y carga de losa parcial



3. Comprobación

Si se mirase rápidamente el nivel de daño, se podría sospechar que el apoyo de neopreno no atiende adecuadamente las solicitaciones, sin embargo, al comprobar su capacidad, este debería resistir más del 100% de carga adicional a la impuesta en el momento del daño.

III Congreso colombiano y VIII Seminario internacional de ingeniería sísmica.

El apoyo se revisó de acuerdo a la metodología del CCDSP-95, obteniéndose:

CV = 6,85E+05 N	CM = 8,82E+05 N
LAPOYO = 600 mm	WAPOYO = 400 mm
h _{ri} = 12,7 mm	h _{rt} = 95 mm
Fy = 253 MPa	Dureza = 60
CT = 1,57E+06 N	n = número capas = 5 (interiores)

1. Factor de forma

$$S_i = \frac{L * W}{2 * h_{ri} * (L + W)}$$

$$S = 9,45$$

2. Esfuerzos de compresión

$$\sigma_s = CT / (L * W)$$

$$\sigma_s = 6,53 \text{ MPa}$$

$$\gamma(1) = 7 \text{ MPa}$$

$$G = 1,4 \text{ MPa}$$

Tabla A.10.2.3-1

$$\gamma(2) = 7 \text{ MPa}$$

CUMPLE A.10.2.4.1.1

3. Deformación instantánea

$$\delta = \sum \varepsilon_i * h_{ri}$$

$$\varepsilon_i = 3,7 \%$$

Se lee con S y σ_s
Fig. A.10.4.1.2B
De los ensayos

$$\delta = 2,35 \text{ mm}$$

$$\delta = 1,00 \text{ mm}$$

CUMPLE A.10.2.4.1.2

4. Espesor cada capa neopreno

$$h_{ri} = 12,70 \text{ mm}$$

$$\gamma(3) = 15,88 \text{ mm}$$

CUMPLE

5. Espesor máximo neopreno

$$\gamma(4) = 200,00 \text{ mm}$$

$$\gamma(5) = 133,33 \text{ mm}$$

$$h_{rt} = 95 \text{ mm}$$

CUMPLE

Santiago de Cali, noviembre 16 al 18 de 2005.

Universidad del Valle y Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (AIS)

6. Espesor mínimo neopreno

$$\delta^{MAX} = 5 \text{ mm}$$

$$h_{rt}^{MIN} = 10,00 \text{ mm}$$

$$h_{rt} = 95 \text{ mm}$$

CUMPLE

A.10.2.4.1.3

7. Fuerza cortante inducida por la deformación del apoyo

$$V_{MAX} = G * L * W / h_{rt} * \delta$$

$$V_{MAX} = 1,20E+04 \text{ N}$$

$$G_{CORTANTE} = 0,95 \text{ MPa}$$

$$\gamma(5) = 1,76E+05 \text{ N}$$

CUMPLE

8. Deformación por compresión

$$\varepsilon = 3,70 \%$$

CCDSP-95

$$\gamma(6) = 6,65 \%$$

CUMPLE

Respecto a los esfuerzos de compresión del ítem 2, se puede observar lo sensible del resultado si se tuviese un valor de $G=0.90\text{MPa}$, que es aceptado por el CCDSP-95, obteniéndose:

2. Esfuerzos de compresión

$$\sigma_s = CT / (L * W)$$

$$\sigma_s = 6,53 \text{ MPa}$$

$$\gamma(1) = 7 \text{ MPa}$$

$$G = 0,9 \text{ MPa}$$

$$\gamma(2) = 4,5 \text{ MPa}$$

NO CUMPLE

A.10.2.4.1.1

4. Programa de pruebas

Con el fin de determinar las causas reales de la falla que se presentaba en los apoyos se estableció un programa de ensayos para cada uno de los apoyos a colocar en el puente.

4.1. Ensayos empleando prototipo

III Congreso colombiano y VIII Seminario internacional de ingeniería sísmica.

Como primera aproximación, se ensayó una goma de espesor igual al empleado en los apoyos del puente, con la misma cantidad de capas de refuerzo, de sección transversal menor con el fin de instrumentarla en una prensa de ensayos a compresión de cilindros de concreto.

A continuación, se presenta el montaje efectuado para este ensayo:

Foto 8. Montaje prototipo en prensa convencional

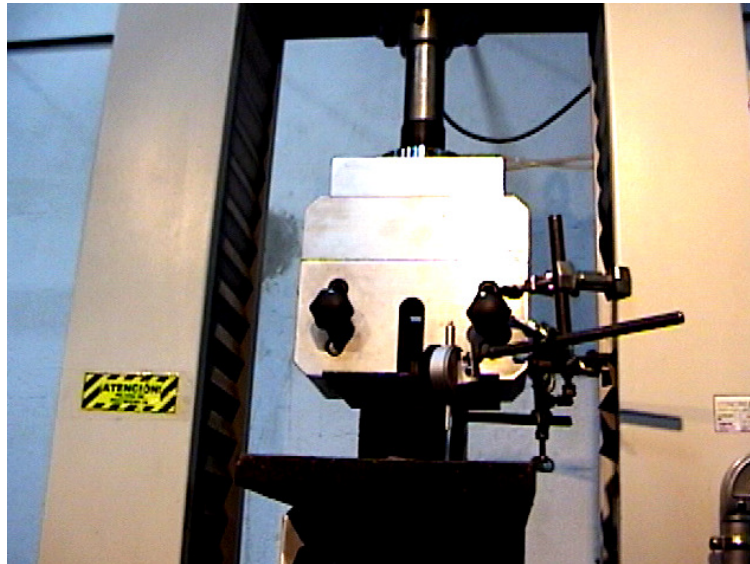


Foto 9. Fisuras iniciales

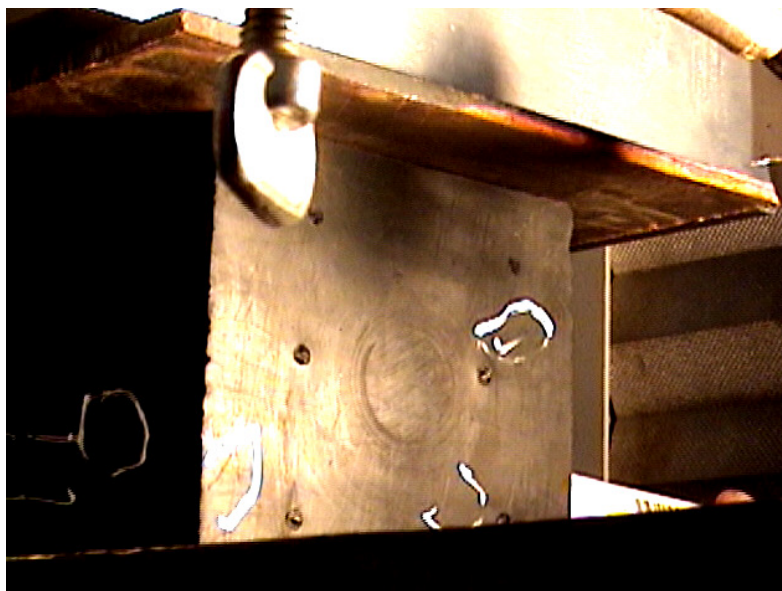


Foto 10. Deformación al 100% de la carga actuante esperada



El ensayo del prototipo, consistió en la marcación de las fisuras presentes ante cero cargas, la instrumentación con deformímetros mecánicos, midiendo desplazamientos horizontales. Cargando al 50 %, al 100% y al 150% sosteniendo en cada intervalo la carga durante 5 minutos, posterior a lo cual se efectuó la descarga empleando los mismos intervalos con periodos de carga sostenidos.

Una vez descargada la probeta no se observó la aparición de fisuras, ni deformaciones permanentes de la goma, lo que permitió concluir que el ensayo no reflejaba la situación que se estaba presentando en el sitio de la obra. Se atribuyó la no representatividad del ensayo a la relación de esbeltez de la muestra, por lo cual no reflejó adecuadamente lo que ocurría con las gomas una vez eran sometidas a cargas parciales.

El ensayo del prototipo, generó la aparición del ensayo a escala 1:1, que se presenta a continuación.

4.2. Ensayos a escala 1:1

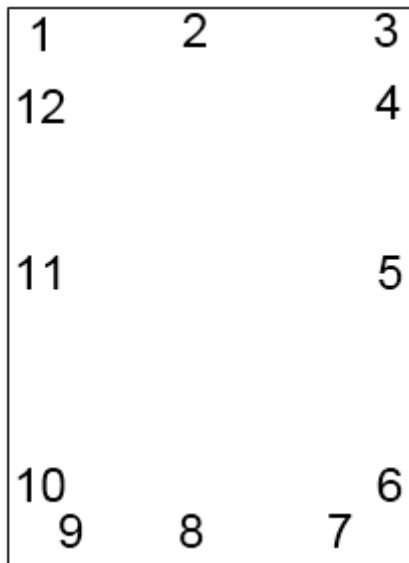
El fabricante suministró cada uno de los apoyos a instalar en el puente de las dimensiones especificadas por el diseñador. Las secciones transversales variaban entre 500mm * 400mm hasta 860mm * 650mm, de espesor 102 mm, con capas de 12.7mm y refuerzos en lámina hot roll $F_y = 253$ MPa.

Se empleó una prensa industrial para cada uno de los ensayos, efectuando mediciones en los puntos que se muestran en la Figura 1, se tomaron 3 medidas de ancho y largo para encontrar un valor promedio para la goma, respecto a la altura se midió en los 12 puntos presentados en la Figura 1.

Se realizó un ensayo a compresión rápido para cada apoyo, de acuerdo a B.5.2.7.6. Cargando al 150% del valor de diseño sosteniendo 5 minutos y repitiendo la carga.

En los intervalos de carga sostenida se midió el cambio de altura de las gomas con calibrador y/o micrómetro.

Figura 1. Puntos de medición neoprenos



Los apoyos que cumplieron las tolerancias dimensionales especificadas en B.5.2.5 y alcanzaron más de 1.50 veces el valor de las cargas de servicio cumpliendo los requisitos de B.5.2.7.6, fueron colocados en el puente del Tercer Nivel.

A continuación, se presentan los apoyos actuales después de 7 meses de estar en operación en puente en cuestión.

Foto 11. Estado actual apoyos de neopreno



Foto 12. Estado actual apoyos de neopreno



5. Recomendación

Esta presentación pretende recomendar la implantación obligatoria durante la construcción de la norma D4014-03, y por consiguiente la comprobación de la resistencia, la rigidez a compresión, el módulo de corte del apoyo y la resistencia al ozono.

Se hace especial énfasis en la determinación del módulo a corte de la goma, puesto que influye en varias comprobaciones de la etapa de diseño.

Se puede implementar el prototipo presentado en la figura 2, sugerido por la norma D4014-03, consiste en cuatro muestras de neopreno adheridas a dos platinas como se muestra y con dos placas metálicas exteriores que las confinan. Al prototipo se le somete a tensión y se determina una curva esfuerzo deformación para calcular el módulo como se especifica en la norma.

Este ensayo se puede efectuar en una máquina universal y siendo un montaje similar al presentado en la foto 13 y 14, donde se estaba determinando la adherencia al concreto.

Figura 2. Prototipo para determinación del módulo de corte

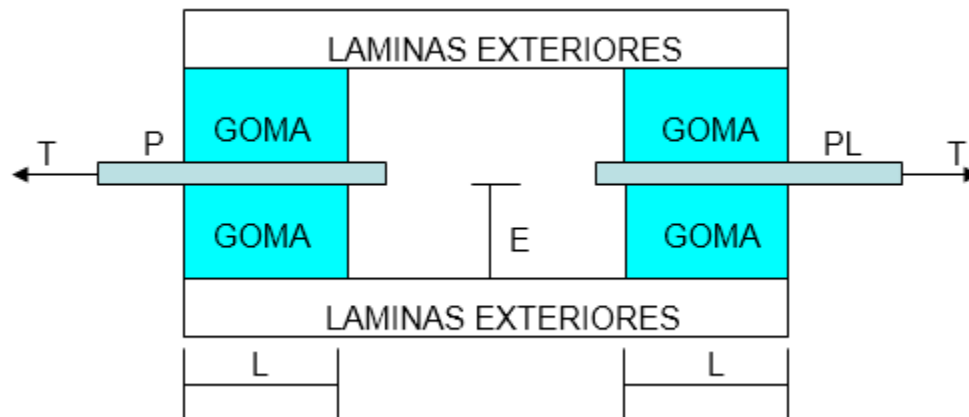


Foto 13. Prototipo fallado ensayado a tensión



Foto 14. Montaje prototipo ensayo a tensión



6. Conclusiones

1. Un buen diseño no es suficiente si no se establecen los controles adecuados a los materiales empleados en la ejecución de la obra.
2. El que el CCDS-95, permita elegir entre un rango de 0.90 y 1.4 MPa, el valor del módulo de cortante hace necesario que los planos, como lo sugiere la norma ASTM D4014-03, indiquen la carga de diseño, el módulo de cortante del apoyo, el tipo y el grado de la goma.
3. Es conveniente que se exija al proveedor de neoprenos, la realización de los correspondientes ensayos de compresión, rigidez a la compresión, corte, resistencia al ozono, sin los cuales no debería recibirse en las obras dicho material.
4. Es recomendable que nuestras normas de diseño y especificaciones exijan la norma ASTM 4014-03, para ensayos de apoyos elastoméricos, iguales o similares a los presentados en este documento. No debería ser a discrecionalidad del Interventor de la obra o del contrato.
5. Es pertinente contemplar la posibilidad de verificar esfuerzos a compresión para módulos de cortantes debidos a cargas totales y cargas vivas, con la correspondiente variación que ello implica, filosofía sugerida por los estados límites.
6. Es recomendable incorporar a nuestras normas comprobaciones a esfuerzos combinados, como se sugiere en la metodología de los estados límites.
7. El no tener en cuenta la importancia de los apoyos de neopreno y su estado antes de la prueba de carga o la entrada en operación de los puentes pueden generar agrietamientos indeseables, debidos a falla por aplastamiento cortante o “concrete plug”, donde el patrón de fisuración no sigue un régimen particular. Lo cual no es atribuible a ausencia o falta de refuerzo de los elementos, sino simplemente al comportamiento no lineal de los miembros de concreto reforzados sujetos a cargas de impacto, sin que este sea disipado por el apoyo, ya que este está deteriorado.

7. Referencias Bibliográficas

- AASHTO. *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications*. 2004.
- AIS. *Código Colombiano de diseño sísmico de puentes*. 1995.
- ASTM. *D4014-03. Standard Specification for plain and steel laminated elastomeric bearing for bridges*. 2003.
- Chabert, M., y M. Dauvilliers. «Influence of aging conditions on natural rubber and plyphloropreno (PCP) supporting devices.» *5th World Congress on joints, bearings and seismic systems for concrete structures*. Roma, 2001.
- Freundt, U. «Structural systems and bearings systems - a common concept.» *5th World Congress on joints, bearings and seismic systems for concrete structures*. 2001.
- Thabet, A., y D. Haldane. «Three dimensional simulation of nonlinear response of reinforced concrete members subjected to impact loading.» Editado por ACI. *ACI Structural Journal* 97 (2000): 689-702.
- Werneck, M., R. Siriani, F. Mendes, y C. Siqueira. «Neoprene bearings replacement in rio interior bridge, Río de Janeiro, Brazil - a technical and economical view.» *5th World congress on joints, bearings and seismic systems for concrete structures*. Roma, 2001.