



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**Facultad de Ingeniería**

**Carrera de Ingeniería Civil**

**TÍTULO:**

**INGENIERA CIVIL**

**AUTORA:**

**Espinoza Ortiz Carolina Estefanía**

**"AISLACION SISMICA PARA PUENTES: COMPARACION ENTRE  
EL USO DE APOYOS ELASTOMERICOS (NEOPRENOS) CON  
RESPECTO AL USO DE APOYOS DE PENDULO FRICCIONANTE  
(FPS)"**

**TUTOR:**

**Ing. Larrea Vintimilla José Luis**

**Guayaquil, Ecuador**

**2014**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

Facultad de Ingeniería

Carrera de Ingeniería Civil

## **CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por Carolina Estefanía Espinoza Ortiz, como requerimiento parcial para la obtención del Título de Ingeniera Civil

**TUTOR (A)**

---

**José Luis Larrea Vintimilla**

**REVISOR(ES)**

---

**Xavier Casal**

**DIRECTOR DE LA CARRERA**

---

**Mario Dueñas**

**Guayaquil, a los 9 del mes de Mayo del año 2014**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**Facultad de Ingeniería**

**Carrera de Ingeniería Civil**

## **DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

**Yo, Carolina Estefanía Espinoza Ortiz**

### **DECLARO QUE:**

El Trabajo de **Titulación "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"** previa a la obtención del Título de **Ingeniera Civil**, ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del Trabajo de Titulación referido.

**Guayaquil, a los 9 del mes de Mayo del año 2014**

**LA AUTORA:**

---

**Carolina Estefanía Espinoza Ortiz**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**Facultad de Ingeniería**

**Carrera de Ingeniería Civil**

## **AUTORIZACIÓN**

Yo, **Carolina Estefanía Espinoza Ortiz**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: "**Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)**", cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

**Guayaquil, a los 9 del mes de Mayo del año 2014**

**LA AUTORA:**

---

**Carolina Estefanía Espinoza Ortiz**

**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

**AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por ser en mi vida soporte esencial.

A mis padres que me han apoyado; familia y amigos que siempre vieron mis virtudes y confiaron en mí, a profesor José Luis Larrea y guías que han contribuido en la realización de este trabajo.

Al fin, ¡lo logre!

***“Encomiéndate a Dios de todo corazón, que muchas veces suele llover sus misericordias en el tiempo que están más secas las esperanzas.”***

(Cervantes, 1605)

**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de grado a Dios porque a pesar de las dificultades me iluminó para salir adelante, a mis padres Jorge y Edith por ser quienes me han dirigido al camino correcto de superación con su esfuerzo, amor y paciencia aportada día a día han logrado que culmine esta etapa.

A mi tutor que con sus conocimientos aportados en esta trayectoria han sido de soporte para llevar a cabo este trabajo.

**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

## **TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

---

**JOSE LUIS LARREA VINTIMILLA**  
PROFESOR GUÍA Ó TUTOR

---

**XAVIER CASAL RAMIREZ**  
PROFESOR DELEGADO

**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**Facultad de Ingeniería**

**Carrera de Ingeniería Civil**

**CALIFICACIÓN**

---

**JOSE LUIS LARREA VINTIMILLA  
PROFESOR GUÍA Ó TUTOR**



**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

## ÍNDICE GENERAL

### Contenido

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>CAPITULO 1.- GENERALIDADES</b> .....	<b>3</b>
1.1 ANTECEDENTES GENERALES .....	3
1.2 OBEJTIVOS Y ALCANCE .....	5
1.2.1 OBJETIVO GENERAL:.....	5
1.2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS:.....	5
1.3 ALCANCE .....	5
1.4 METODOLOGIA .....	6
<b>CAPITULO 2.- APOYOS DE SUPERESTRUCTURAS EN PUENTES</b> .....	<b>8</b>
2.1 CARACTERISTICAS DE LOS SISTEMAS DE AISLAMIENTO SISMICO.....	8
2.1.1 TIPOS DE APOYOS: .....	8
2.1.2 FUERZAS EN LOS APOYOS.....	9
2.2 APOYOS ELASTOMERICOS CON PLACAS DE ACERO .....	10
2.3 APOYO DE SISTEMA PENDULO FRICCIONANTE: .....	14
2.4 CARACTERISTICAS DE LOS SISTEMAS AISLAMIENTO SISMICO .....	20
2.5 PROBLEMAS CON LOS DESPLAZAMIENTOS.....	21
<b>CAPITULO 3.- ESTRUCTURA DEL PUENTE A ANALIZAR</b> .....	<b>22</b>
3.1 CARACTERISTICAS DEL PUENTE .....	22
3.2 CARGAS DE DISEÑO .....	25
3.2.1 CARGAS MUERTAS:.....	25
3.2.2 CARGAS VIVAS:.....	26
3.2.3 FUERZAS SISMICAS.....	28
3.3 DISEÑO DE LA SUPERESTRUCTURA.....	32
3.3.1 DISEÑO DEL TABLERO .....	33
3.3.2 DISEÑO DE LAS VIGAS PRESFORZADAS.....	46
3.3.2 DISEÑO DE LAS VIGAS CON EL PROGRAMA CONCISE.....	53
3.3.3 DISEÑO DE LA CONTINUIDAD EN VIGAS PRESFORZADAS.....	61
<b>CAPITULO 4. ANALISIS Y DISEÑO DE PILAS CON APOYOS ELASTOMERICO DE NEOPRENO CON PLACAS DE ACERO</b> .....	<b>66</b>
4.1 DISEÑO DEL APOYO ELASTOMERICO CON PLACAS DE ACERO .....	66
4.2 MODELAMIENTO DE LAS PILAS SAP.....	77

**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

4.2 PROCEDIMIENTO PARA CALCULO DE COLUMNAS .....	87
<b>CAPITULO 5.- ANALISIS Y DISEÑO DE PILAS CON APOYOS DE SISTEMA DE PENDULO FRICCIONANTE (FPS) .....</b>	<b>235</b>
5.1 DISEÑO DEL APOYO SISTEMA DE PENDULO FRICCIONANTE.....	235
5.1.1 EFECTO $P\Delta$ .....	235
5.1.2 Procedimiento de diseño: .....	238
<b>6.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>413</b>
6.1 CONCLUSIONES: .....	413
6.2 RESULTADOS .....	414
6.2 RECOMENDACIONES:.....	420
<b>7.- BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>421</b>

# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: DIAGRAMA COMPARATIVO ENTRE UNA ESTRUCTURA AISLADA Y NO AISLADA

FIGURA 2: APOYO ELASTOMERICO CON PLACAS DE ACERO

FIGURA 2.1: HINCHAMIENTO DEL APOYO ELASTOMERICO CON PLACAS DE ACERO

FIGURA 2.2: APOYO SISTEMA DE PENDULO FRICCIONANTE

FIGURA 2.3. SISTEMA DE PENDULO FRICCIONANTE

FIGURA 2.4 COMPONENTES DE LAS FUERZAS ACTUANTES FPS

FIGURA 2.5: MODELO HISTERETICO RIGIDO PLASTICO

FIGURA 2.6: MODELO HISTERETICO

FIGURA 3.1 SECCION LONGITUDINAL DEL PUENTE

FIGURA 3.2 SECCION TRANSVERSAL DEL PUENTE

FIGURA 3.3 SECCION TRANSVERSAL DE LA SUPERESTRUCTURA PUENTE

FIGURA 3.4 SECCION DE LA DEFENSA Y VIGA

FIGURA 3.5 CARACTERISTICAS DE LAS COLUMNAS

FIGURA 3.6 SECCION TIPO DE LA PILA

FIGURA 3.7 MODELO DE LA PILA UTILIZADA PARA LA INVESTIGACION

FIGURA 3.8 CARGA DE EJE CAMION HS20-44

FIGURA 3.9 CARGA DE RUEDA CAMION HS20-44

FIGURA 3.10 LONGITUD DE EJE A EJE DE VIGA (L)

FIGURA 3.11 MAPA PARA DISEÑO DE LA CONSTRUCCION 2011

FIGURA 3.12 ESPECTROS INCLUIDOS EN EL DISEÑO ESTRUCTURAL NEOPRENOS

FIGURA 3.13 ESPECTROS INCLUIDOS EN EL DISEÑO ESTRUCTURAL FPS

FIGURA 6.1 DESPLAZAMIENTOS DE LA ESTRUCTURA

FIGURA 6.2 DESPLAZAMIENTOS EN LA ESTRUCTURA CON AISLADORES

FIGURA 6.3 ESULTADO DE LOS MOMENTOS OBTENIDOS EN AMBAS DIRECCIONES

FIGURA 6.4 COMPARACION DE MOMENTOS EN VARIACION DE LA ALTURA DE LA COLUMNA

## **"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

FIGURA 6.5 RESULTADOS DE LOS ANALISIS

FIGURA 6.6 COMPARACION DE PERIODOS DE AMBOS SISTEMAS EN VARIACION DE LA ALTURA DE LA COLUMNA

FIGURA 6.7 COMPARACION DE DESPLAZAMIENTOS DE AMBOS SISTEMAS EN VARIACION DE LA ALTURA DE LA COLUMNA

FIGURA 6.8 REFUERZOS DE LAS COLUMNAS

FIGURA 6.9 DETALLE DE REFUERZOS

FIGURA 6.10 VERIFICACIONES DE AMBOS SISTEMAS POR EFECTO PA

**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

## **RESUMEN (ABSTRACT)**

Este trabajo se basa en la comparación de tipos de apoyos: apoyos elastoméricos con placas de acero y sistema de péndulo friccionante, con el fin de conocer el comportamiento y evaluar la efectividad de estos apoyos.

**Palabras Claves:** (apoyos, neoprenos, fps, comportamiento, efectividad)

## **INTRODUCCIÓN**

Desde los inicios de la ingeniería sísmica, los terremotos son reconocidos como daño potencial, esto se debe a la relación entre el período fundamental de vibración de la estructura y la frecuencia del sismo. A pesar de la relación entre las características dinámicas de las estructuras y los sismos, los diseñadores buscan que las estructuras estén fuera del rango de frecuencia donde el sismo concentra todo su poder.

Si se diseña una estructura a la cual le añadimos amortiguamiento de tipo viscoso, la fuerza que resistirá la estructura será menor, por lo tanto, ésta es una forma de disipar la energía en la actualidad, utilizando dispositivos externos de amortiguamiento.

Una mejor manera de mejorar la resistencia sísmica a las estructuras es aumentando de manera artificial el período de vibración y aumentando la capacidad de disipar la energía de la estructura.

Con las características naturales de suelo-cimentación-estructura se puede además hacer uso de elementos diseñados para aislar la estructura y disipar una gran cantidad de energía proveniente del sismo. Este tipo de elementos son usualmente llamados dispositivos aisladores, amortiguadores, o aisladores/disipadores.

## **"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

Este tipo de aisladores son utilizados principalmente en los puentes, debido a la serie de ventajas que poseen dentro de sus características estructurales; en la mayoría de los puentes, que son estructuras estratégicas ya que requieren un mayor grado de protección para garantizar la funcionabilidad después del evento sísmico, es conveniente concentrar el daño en elementos mecánicos, donde sea factible la posibilidad de revisarlos y remplazarlos en caso que se lo requiera.

En la mayoría de los puentes, la masa se concentra en la superestructura y las rotulas plásticas solo se pueden producir en las columnas de las pilas y/o pilotes de la cimentación. Pero esto significa que la estructura después del sismo de diseño, aunque no colapse presentara daños, debido a que ha entrado en rango inelástico.

Si se desea que permanezcan elásticos los elementos estructurales bajo la acción sísmica se sugiere el uso de dispositivos para aislamiento sísmico, que brinden flexibilidad y que los desplazamientos se concentren en ellos.

## **CAPITULO 1.- GENERALIDADES**

### **1.1 ANTECEDENTES GENERALES**

Debido a los sismos que se producen constantemente, el hombre ha estado en la búsqueda de soluciones necesarias para reducir y eliminar la peligrosidad sísmica estudiando metodologías de diseño con la finalidad de encontrar un balance entre la resistencia y la capacidad de deformación de la estructura y que a través de ésta se pueda disipar la energía generada por los sismos; llegando al límite donde se permitan daños estructurales pero evitando el colapso de la misma. (Arriagada, 2005)

Dentro de las estructuras más importantes que deberían estar fuera del colapso cuando ocurre un terremoto son los puentes, puesto que sirven de comunicación entre las ciudades.

Cada estructura posee un único período fundamental de vibración, el cual es el tiempo requerido para completar un ciclo de vibración libre. La rigidez global de la estructura y la masa son los factores que definen el período fundamental.

Para puentes con pilas de poca altura y cimentación directa, el período fundamental de vibración predominante es bajo y en los espectros de diseño caen en la zona de máxima respuesta espectral siendo más desfavorable en regiones de aceleración máxima sísmica (PGA por sus siglas en inglés Peak Ground Acceleration), dando lugar a que la fuerza sísmica sea grande, y los elementos de las pilas deban tener una resistencia alta aumentando los tamaños de sus secciones transversales y la cantidad de los refuerzos, esto significa una estructura cara.

Para, puentes con pilas de gran altura el período de vibración predominante es alto, debido a que la estructura es flexible y aunque las fuerzas sísmicas sean bajas por estar en la zona de aceleraciones espectrales menores, se puede presentar inestabilidad por efectos P-delta por la carga vertical unido con los grandes desplazamientos. (Priestley, Seible, Calvi 1996)

El aislamiento sísmico es utilizado como una técnica para mejorar el desempeño de la estructura y no para disminuir la demanda de resistencia y tamaño de las secciones de la subestructura, se fundamenta en el desacoplamiento de una parte o de toda la estructura del movimiento del suelo para protegerla del efecto de los sismos. El aislamiento da flexibilidad al movimiento horizontal y rigidez al



## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

movimiento vertical, produciendo una reducción de las fuerzas sísmicas mediante un incremento de la capacidad de disipación de energía y del período fundamental.

Para aumentar el amortiguamiento se pueden usar amortiguadores externos que se colocan uniendo las pilas con las vigas de la superestructura, reduciendo de esta manera el desplazamiento de las pilas y por consiguiente los daños estructurales, ya que a menores desplazamientos menores son los daños. (Priestley, Seible, Calvi 1996)

Para puentes, existen varios tipos de aislamiento como: Apoyos elastoméricos de neopreno simples o reforzados con placas, apoyos elastoméricos con núcleo de plomo (Lead Rubber Bearings LRB) o apoyos de péndulo friccionante (Friction Pendulum System FPS), donde es posible separar los elementos de la subestructura y la superestructura, disminuyendo la rigidez del sistema, y por consiguiente aumentando el período fundamental de la estructura aislada para reducir la aceleración de diseño.

El inconveniente que se tiene con los aisladores sísmicos es que debido a que si se aumenta el período de vibración el sistema se vuelve flexible, aumentan los desplazamientos y se puede presentar inestabilidad por los efectos P-Delta.

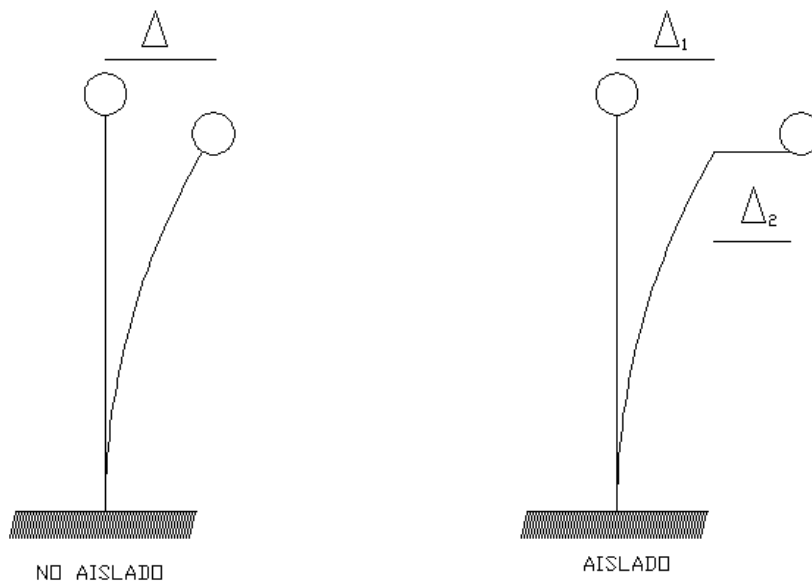


FIGURA 1: DIAGRAMA COMPARATIVO ENTRE UNA ESTRUCTURA AISLADA Y NO AISLADA.

FUENTE: Buckle, Constatinou, Dicleli, Ghasemi, 2006

# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

## **1.2 OBEJTIVOS Y ALCANCE**

### **1.2.1 OBJETIVO GENERAL:**

Con una propuesta de un puente de 2 luces se analizará y diseñará la pila intermedia considerándola con apoyos elastoméricos, y con apoyos de péndulo friccionante. Para el análisis se usará el programa SAP 2000

### **1.2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS:**

- Diseñar 2 tipos de pilas una con la superestructura apoyada sobre elastómeros (neoprenos) reforzados con placas y otra con aisladores de péndulo friccionante (FPS).
- Evaluar las diferencias en el comportamiento estructural y en el tamaño de las secciones de los elementos y cantidad de refuerzos necesarios para las pilas.
- Evaluar y comparar la efectividad de los dos tipos de apoyos: Neoprenos reforzados con placas y FPS variando la altura de las pilas.

## **1.3 ALCANCE**

- Estudiar el comportamiento de los apoyos de neopreno y de los aisladores de péndulo friccionante FPS

## **"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

- Determinar las ventajas y desventajas entre el uso de apoyos de neopreno reforzado con placas y el uso de aisladores sísmicos FPS en función de la rigidez de la pila.
- Presentar curvas que muestren la efectividad o no de los aisladores sísmicos variando la altura de la pila aumentando por consiguiente ya su flexibilidad

### **1.4 METODOLOGIA**

Para la investigación se considerará, un puente con las siguientes características:

- 1.- Dos tramos de 30 m. de longitud cada uno
- 2.- Superestructura formada por vigas continuas de concreto presforzado tipo Bulb-T simplemente apoyadas en los extremos sobre estribos y una pila en el centro.
- 3.- Pila formada por 3 columnas circulares que nacen de una zapata directamente apoyada sobre el suelo.
- 4.- Ancho del puente: 8.50 m.
- 5.- No. de carriles: 2
- 6.- Carga Viva: HS25

Se analizará la pila del puente considerando 2 condiciones, que la superestructura estará apoyada sobre:

- 1.- Apoyos elastoméricos de neopreno reforzado con placas
- 2.- Apoyos de péndulo friccionante FPS.

## **"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

El propósito de la investigación será comparar y evaluar la efectividad entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de aisladores FPS.

La investigación consistirá en aumentar la altura de la pila volviéndola flexible solo por sus dimensiones y evaluar la efectividad tanto de los neoprenos como de los aisladores FPS.

Para el análisis estructural se utilizará el software especializado SAP2000 que posee dentro de su librería la modelación de neoprenos y apoyos FPS. Además para el diseño estructural de las pilas se usarán las normas dictadas en el código AASHTO Standard y Guide Specifications for Sesmic Isolation Design de AASHTO, para el diseño de vigas presforzadas se utilizará el programa CONCISE.

## **CAPITULO 2.- APOYOS DE SUPERESTRUCTURAS EN PUENTES**

### **2.1 CARACTERISTICAS DE LOS SISTEMAS DE AISLAMIENTO SISMICO**

#### **2.1.1 TIPOS DE APOYOS:**

La elección del tipo de apoyo depende de la carga y el movimiento que va soportar; el tipo de material, el mecanismo del aislador y el costo.

El aislamiento sísmico es utilizado como una técnica para mejorar el desempeño de la estructura, reducir la respuesta de la estructura ante sismos intensos y no para disminuir la demanda de resistencia y tamaño de las secciones de la subestructura, puesto que se fundamenta en el desacoplamiento de una parte o de toda la estructura del movimiento del suelo para protegerla del efecto de los sismos ( Priestley, Seible, Calvi 1996)

Por lo que un sistema de los apoyos debe satisfacer:

Flexibilidad horizontal, con la finalidad de reducir la fuerza sísmica en la superestructura, ya que se debe prolongar el período de vibración del puente.

Disipar la energía, para limitar los desplazamientos entre la superestructura y subestructura.

Rigidez para las cargas de servicio para evitar vibraciones producidas por efectos de frenado, flujo plástico, expansión térmica, viento, etc.

Ante los movimientos producidos por el sismo estos deben mantener estabilidad vertical, puesto que su efectividad debe ser durante el sismo y después de él. Dentro de los tipos de apoyos mencionaremos los siguientes:

- 1.- Apoyos oscilantes (RockerBearing)
- 2.- Apoyos oscilantes con rodillo (RollerBearing)
- 3.- Apoyos con placas deslizantes (SlidingPlateBearing)
- 4.- Apoyos con cilindro de acero (PotBearing)
- 5.- Apoyos esféricos (SphericalBearing)

## **"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

6.- Apoyos Elastoméricos (ElastomericBearings)

7.- Apoyos Elastoméricos con núcleo de plomo (Lead Rubber Bearings)

8.- Sistema de Péndulo Friccionante

### **2.1.2 FUERZAS EN LOS APOYOS**

Las fuerzas que actúan sobre el apoyo son las producidas por las cargas muertas y vivas que provienen de la superestructura y que son transmitidas por las vigas.

Las fuerzas longitudinales y transversales, son las provenientes de las fuerzas de frenado, de retracción, de expansión térmica, de viento y principalmente de las fuerzas sísmicas. (Buckle, Constatinou, Dicleli, Ghasemi, 2006)

En ciertos casos los apoyos pueden estar empotrados en la subestructura mediante pernos de anclaje, en esos casos las fuerzas transversales y longitudinales producen momentos en los apoyos que deben ser considerados en el diseño de la subestructura.

Para este trabajo nos concentraremos en los apoyos elastoméricos y el sistema de péndulo friccionante.

**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

## **2.2 APOYOS ELASTOMERICOS CON PLACAS DE ACERO**

Consiste en un bloque de rectangular o circular de neopreno que en su interior esta reforzado con placas de acero A-36.



FIGURA 2: APOYO ELASTOMERICO CON PLACAS DE ACERO

FUENTE: <http://www.mageba-group.com/htm/794/es/LASTO-HDRB.htm?Division=19252&Product=19367&Structure=19439>

Los elastómeros tienen la capacidad de soportar deformación horizontal, las placas de acero incrementan la rigidez vertical y mejoran la estabilidad bajo cargas horizontales; permite desplazamientos horizontales ante la presencia de fuerzas provenientes de la variación de temperatura, flujo plástico o retracción del concreto, fuerzas de frenado, viento o sismo que impiden expansiones laterales del neopreno (bulge) (Priestley, Seible, Calvi, 1996).

Este tipo de apoyo muestra una respuesta lineal, que se rige esencialmente por las propiedades del neopreno.

El espesor total del neopreno influye esencialmente en el desplazamiento horizontal y en el período de vibración de la estructura del puente.

Las ecuaciones utilizadas se basarán en Priestley, Seible, Calvi, 1996

### **- Capacidad de carga vertical**

$$(Ec. 2.1) W < A'GS\gamma_{xz}$$

Donde  $W$  es el peso admisible,  $\gamma_{xz}$  es el esfuerzo cortante permisible del neopreno asumiendo que es incompresible,  $\varepsilon_z$  es el esfuerzo de compresión vertical

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

causado por el hinchamiento del neopreno, siendo proporcional a la distancia desde el eje del apoyo.

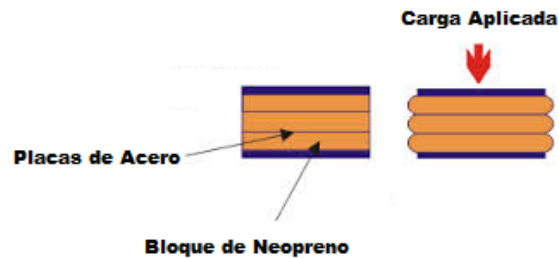


FIGURA 2.1: HINCHAMIENTO DEL APOYO ELASTOMERICO CON PLACAS DE ACERO

FUENTE: <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=316>

Cuando el perfil del hinchamiento del neopreno es parecido a la de una parábola el volumen del neopreno es constante.

Entonces el esfuerzo cortante máximo es  $\gamma_{xz} = 6S\varepsilon_z$ ,  $A'$  es el máximo desplazamiento del neopreno desde la parte superior hasta la parte inferior del neopreno,  $G$  es el módulo de corte del neopreno,  $S$  es el factor de forma

### - Rigidez Horizontal del Apoyo

$$(Ec. 2.2) K_b = \frac{GA}{h}$$

Dónde:

h: Altura total del neopreno

A: Área del neopreno.



## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### - Período lateral del Apoyo

$$(Ec. 2.3) \quad T_b = 2\pi \left( \frac{M}{K} \right)^{1/2}$$

De la Ecuación de del período en el movimiento oscilatorio obtenemos

$$(Ec. 2.4) \quad T_b = 2\pi \left( \frac{Sh\gamma_{xz}A'}{Ag} \right)^{1/2}$$

Dónde:

g: Aceleración de la gravedad

$\gamma_{xz}$  : Esfuerzo cortante máximo

A': es el máximo desplazamiento del neopreno desde la parte superior hasta la parte inferior del neopreno

S es el factor de forma

h: altura total del neopreno

A: es el área del neopreno.

### - Rigidez Vertical del Apoyo

$$(Ec. 2.3.4) \quad K_z = \left( \frac{6GS^2Ak}{(6GS^2 + k)h} \right)$$

$k$  es el módulo de masa o de hinchamiento se considera que su valor es 2000 kg/cm<sup>2</sup>

Los apoyos elastoméricos son los más utilizados actualmente en puentes, su manufactura es sencilla en comparación a otros sistemas, resultan más económicos, ya que el mantenimiento durante la vida útil es escaso o nulo; aunque el deterioro de un apoyo elastoméricos puede ser causado por una variedad de

## **"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

factores (Instituto Mexicano del Transporte Secretaria de Comunicaciones y Transportes; 1996).

Entre ellos:

- Pobre fabricación
- Insuficiente reforzamiento
- Tamaño insuficiente
- Redondeo de los bordes del elastómero
- Exposición a agentes corrosivos
- Falla de adherencia entre el elastómero y las placas de acero
- Variación de las propiedades del material en el tiempo
- Excesiva carga vertical,

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### **2.3 APOYO DE SISTEMA PENDULO FRICCIONANTE:**

Los aisladores de péndulo friccionante, se basan en la combinación del movimiento de péndulo más la gravedad obteniendo un dispositivo que aísla a las estructuras de los movimientos sísmicos en forma simple y estable. (Buckle, Constatinou, Dicleli, Ghasemi, 2006)

Si los niveles de las fuerzas sísmicas están por debajo de la fuerza de fricción que se puede generar en el dispositivo, este trabaja como un simple apoyo y la estructura se comporta con su período no aislado. Esta propiedad es la que hace que estos aisladores no se activen bajo cargas laterales como viento, frenado, temperatura, retracción, flujo plástico, etc. (Buckle, Constatinou, Dicleli, Ghasemi, 2006)

Una vez que las fuerzas sísmicas vencen la fuerza de fricción del dispositivo, se activa el aislador, aumentando el período de vibración y la estructura se comporta aislada de los movimientos horizontales del suelo, con la respuesta dinámica y amortiguamiento controlados por el aislador. (Buckle, Constatinou, Dicleli, Ghasemi, 2006)

El FPS consiste en un deslizador articulado que se mueve sobre una superficie esférica cóncava de acero inoxidable, se activa mediante la acción del sismo, el movimiento se realiza a lo largo de esta superficie disipando energía por fricción y a la vez como el desplazamiento se produce sobre una superficie curva hace que la misma carga vertical transmitida por el deslizador genere una componente tangencial que es la responsable de equilibrar el sistema es decir tiene capacidad de recentrado. (Arriagada, 2005)

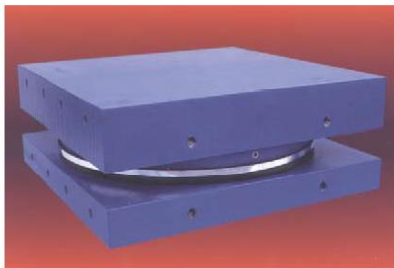


FIGURA 2.2: APOYO SISTEMA DE PENDULO FRICCIONANTE

FUENTE:

<http://memorias.utpl.edu.ec/sites/default/files/documentacion/incolec2008/utpl-congreso-ingenieria-civil-2008-PONENCIA-19.pdf>

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

En la periferia de la superficie de acero posee bordes que limitan el desplazamiento del deslizador y a su vez quedando sellado para evitar que el medio ambiente pueda dañar al aislador.

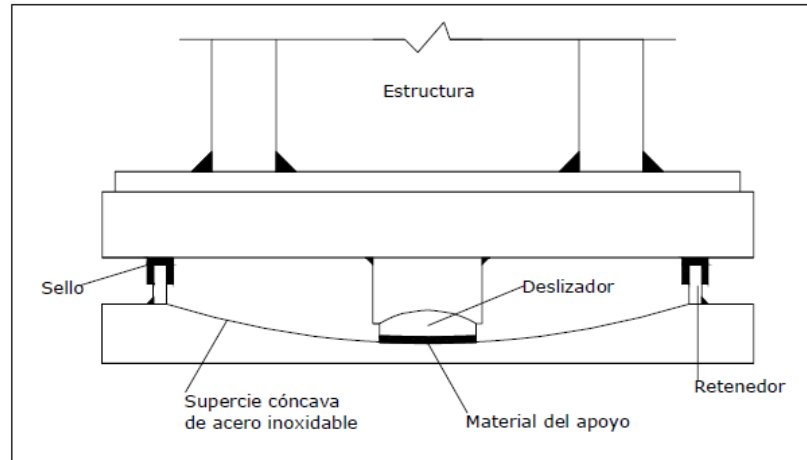


FIGURA 2.3. SISTEMA DE PENDULO FRICCIONANTE

FUENTE:

<http://memorias.utpl.edu.ec/sites/default/files/documentacion/incolec2008/utpl-congreso-ingenieria-civil-2008-PONENCIA-19.pdf>

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

### Componentes de las fuerzas actuantes en el Sistema de Pendulo Friccionante (FPS)

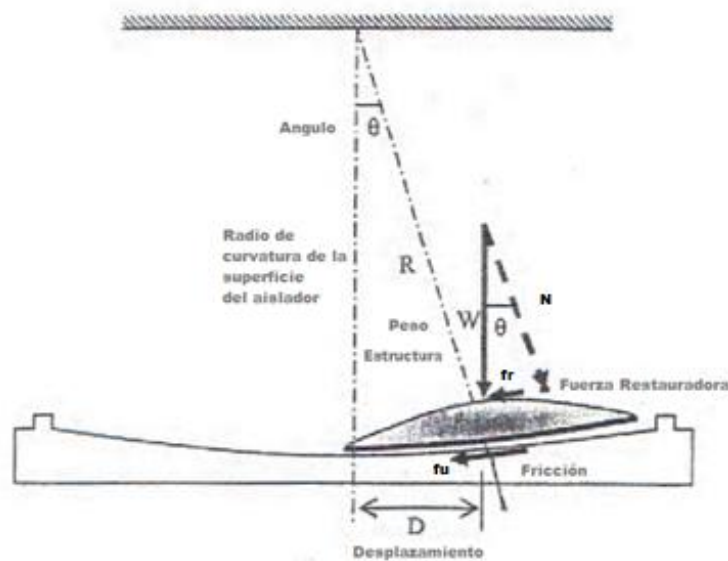


FIGURA 2.4 COMPONENTES DE LAS FUERZAS ACTUANTES FPS

FUENTE: Buckle, Constatinou, Dicleli, Ghasemi, 2006

Del diagrama anterior se observa que las dos fuerzas que restringen el desplazamiento lateral del aislador FPS son la componente horizontal de la fuerza normal a la cual se la conoce como fuerza restauradora o centradora moviendo la masa como péndulo  $fr$  y la componente horizontal de la fuerza de fricción  $fu$  entre el deslizador y la superficie deslizante, asumiendo pequeñas deformaciones. (Buckle, Constatinou, Dicleli, Ghasemi, 2006 )

$$(Ec. 2.4.1) \quad fr = (N) \cdot \text{sen}(\theta)$$

N: Fuerza normal con respecto al peso proveniente de la superestructura

$$(Ec. 2.4.2) \quad fu = F f / \text{Cos}(\theta)$$

La Resistencia del apoyo a las fuerzas horizontales que actúa para aumentar el desplazamiento se proporciona por dos mecanismos diferentes:

a.) Es la fuerza de resistencia a la fricción  $Ff$ , generado entre el deslizador y la superficie cóncava.

## **"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

Esta fuerza es igual a la que se produce del coeficiente dinámico de fricción  $\mu$  y la componente del peso normal a la superficie cóncava.

b.) Es la fuerza restauradora generada por la componente tangencial del peso actuando sobre el apoyo

$$(Ec. 2.4.3) W = N \cos(\theta)$$

$$(Ec. 2.4.4) D = R \text{ Sen } (\theta)$$

D: desplazamiento lateral

$$(Ec. 2.4.5) \text{ Sen } (\theta) = D/R$$

$$(Ec. 2.4.6) F_f = \mu (N)$$

$F_f$ : fuerza fricción

$\mu$ : Coeficiente de fricción

$$(Ec. 2.4.7) F_r = (W/R \cos(\theta)) * D$$

$$(Ec. 2.4.8) f_u = \mu W / \cos(\theta)$$

Las deformaciones son pequeñas, el ángulo ( $\theta$ ) es pequeño, entonces  $\cos(\theta) = 1$ , por lo que las fuerzas restauradoras ( $f_u$ ) y de fricción ( $f_r$ ) serían:

$$(Ec. 2.4.9) f_r = (W/R) * D$$

$$(Ec. 2.4.10) f_u = \mu W$$

La fuerza total que se desarrolla en el FPS es la suma vectorial de las fuerzas descritas

$$(Ec. 2.4.11) F_t = f_r + f_u$$

**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

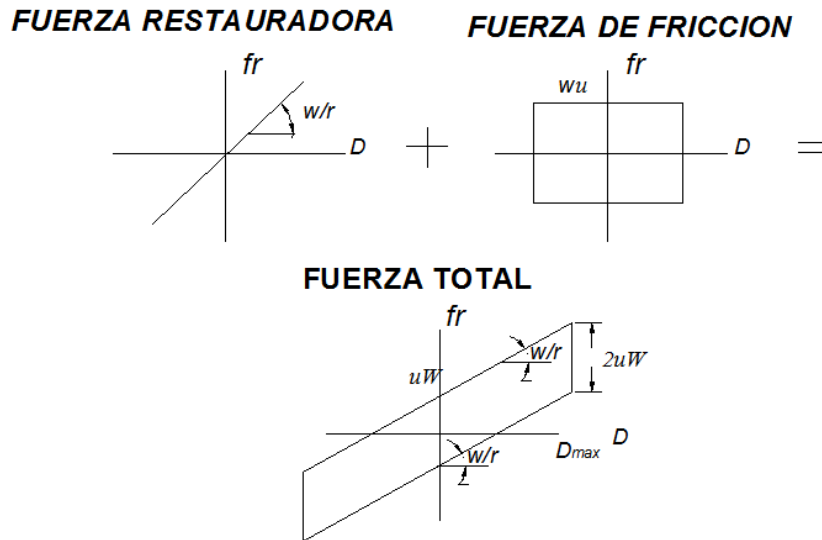


FIGURA 2.5: MODELO HISTERETICO RIGIDO PLASTICO

Fuente: Buckle, Constatinou, Dicleli, Ghasemi, 2006

En comparación la gráfica anterior con la curva histerética típica del comportamiento de un aislador FPS es similar.

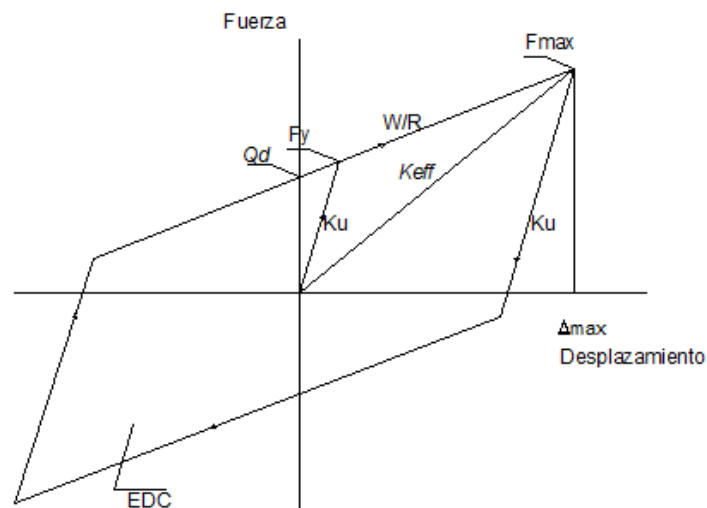


FIGURA 2.6: MODELO HISTERETICO

Fuente: Buckle, Constatinou, Dicleli, Ghasemi, 2006

**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

$$(Ec. 2.4.14) Q_d = \mu W$$

$Q_d$ : Resistencia característica del aislador

$$(Ec. 2.4.15) K_{fps} = W/R$$

$K_{fps}$ : Rigidez post – elástica

$$(Ec. 2.4.16) T = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g}}$$

$T$ : Período de vibración del aislador como péndulo simple

$R$ : Radio de curvatura del aislador

$$(Ec. 2.4.17) K_{eff} = F_{max}/D$$

$K_{eff}$ : Rigidez efectiva

$F$ : fuerza horizontal máxima sobre el aislador

$D$ : Desplazamiento máximo en el aislador

$$(Ec. 2.4.18) T_{eff} = \sqrt{\frac{W}{K_{eff} * g}}$$

$T_{eff}$  : Período efectivo del aislador.

$K_{eff}$ : Rigidez efectiva

$G$ : Gravedad

$$(Ec. 2.4.19) \varepsilon_{eff} = \frac{2}{\pi} \left( \frac{\mu}{\mu + \frac{D}{R}} \right)$$

$\varepsilon_{eff}$  : Amortiguamiento efectivo.

$\mu$ : coeficiente de fricción dinámica

$W$ : carga vertical sobre el aislador



## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### ***2.4 CARACTERISTICAS DE LOS SISTEMAS AISLAMIENTO SISMICO***

Un sistema de aislación debe ser capaz de tener las 3 siguientes características (Buckle, Constatinou, Dicleli, Ghasemi, 2006):

- 1.- Capacidad de soporte para la carga de superestructura y la rigidez necesaria para soportar cargas de servicio como las de viento, frenado, retracción y frenado
- 2.- Flexibilidad horizontal para alargar el período de vibración del puente y para reducir las fuerzas sísmicas en la subestructura
- 3.- Disipación de energía para limitar los desplazamientos producidos entre la superestructura y subestructura

**Flexibilidad:** la baja rigidez horizontal de un aislador sísmico cambia el período fundamental de un puente y hace que sea mucho más largo que un período sin aislamiento. (Buckle, Constatinou, Dicleli, Ghasemi, 2006):

**Disipación de energía:** a pesar de la baja rigidez horizontal de los aisladores sísmicos reducen las fuerzas sísmicas, que puede dar lugar a grandes desplazamientos superestructura. Con juntas de dilatación de mayores longitudes pueden ser necesarios para permitir estos desplazamientos.

Como consecuencia, la mayoría de los sistemas de aislación incluyen un mecanismo de disipación de energía para introducir un nivel significativo de amortiguación en el puente, para limitar estos desplazamientos a niveles aceptables. (Buckle, Constatinou, Dicleli, Ghasemi, 2006):

**Rigidez bajo cargas de servicio:** la flexibilidad lateral de un aislador sísmico permite que la superestructura se desplace bajo cargas de servicios, como el viento o las fuerzas de frenado de vehículos pero no es aceptable. La resistencia a la fuerza de estos factores es importante y el doble requisito de rigidez para las cargas de servicios y la flexibilidad de las cargas sísmicas. (Buckle, Constatinou, Dicleli, Ghasemi, 2006):

## **"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

Las 3 características pueden estar separadas por diferentes dispositivos o concentrados en uno solo

Otros parámetros que se pueden considerar en el diseño de dispositivos de aislamiento son:

- Deformación bajo cargas cuasi estáticas frecuentes
- Resistencia a la cedencia y desplazamientos del dispositivo
- Capacidad para recentrarse después de la deformación (FPS)
- Rigidez vertical

### **2.5 PROBLEMAS CON LOS DESPLAZAMIENTOS**

El aumento de la flexibilidad en la estructura y la fuerza generada por el sismo, da como resultado el aumento de los desplazamientos que pueden convertirse en una serie de problemas potenciales, provocando excentricidad en la carga vertical proveniente de la superestructura, a este fenómeno se lo conoce como efecto P-Delta. (Priestley, Seible, Calvi 1996)

Los dispositivos son generalmente diseñados para evitar el daño que se producen en las pilas, puesto que este efecto podría poner en peligro el diseño global de la estructura, reduciendo la resistencia de la pila.

## CAPITULO 3.- ESTRUCTURA DEL PUENTE A ANALIZAR

### 3.1 CARACTERISTICAS DEL PUENTE

La estructura del puente consta de 2 tramos, cada tramo tiene una longitud de 30 m de largo; de ancho 8.5 m, una pila central compuesta por 3 columnas circulares, la altura y dimensión de la pila variaran para este estudio.

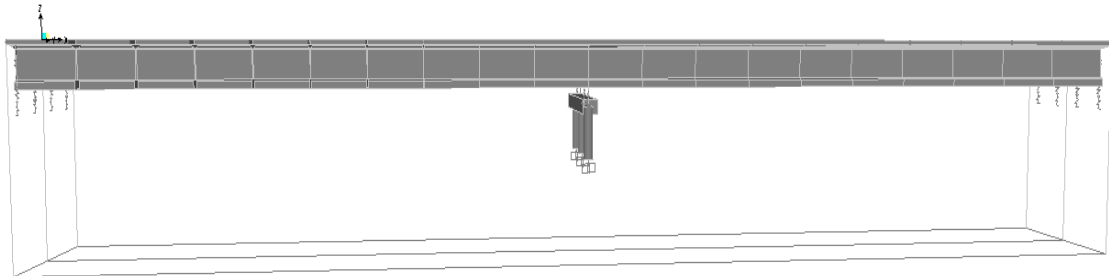


FIGURA 3.1 SECCION LONGITUDINAL DEL PUENTE

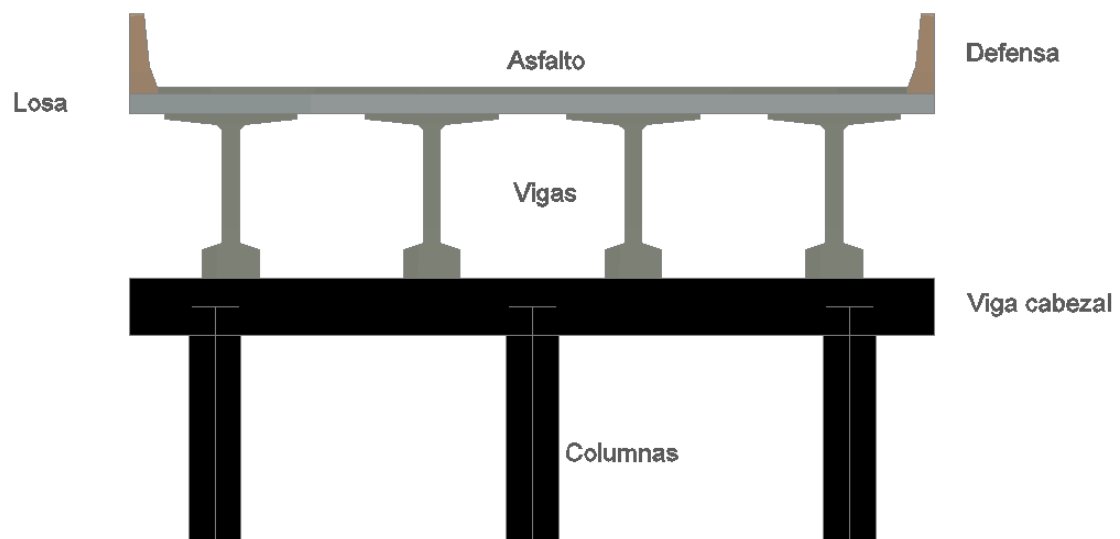


FIGURA 3.2 SECCION TRANSVERSAL DEL PUENTE

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

### Superestructura:

Está compuesta por: Una losa de hormigón armado que descansa sobre 4 vigas Bulb-T, éstas vigas tendrán una longitud de 30 m de largo, adicionalmente una capa de rodadura de asfalto y defensas

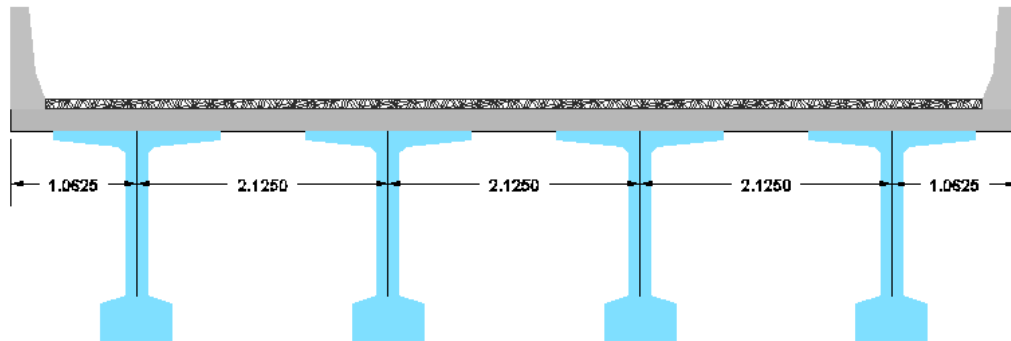


FIGURA 3.3 SECCION TRANSVERSAL DE LA SUPERESTRUCTURA PUENTE

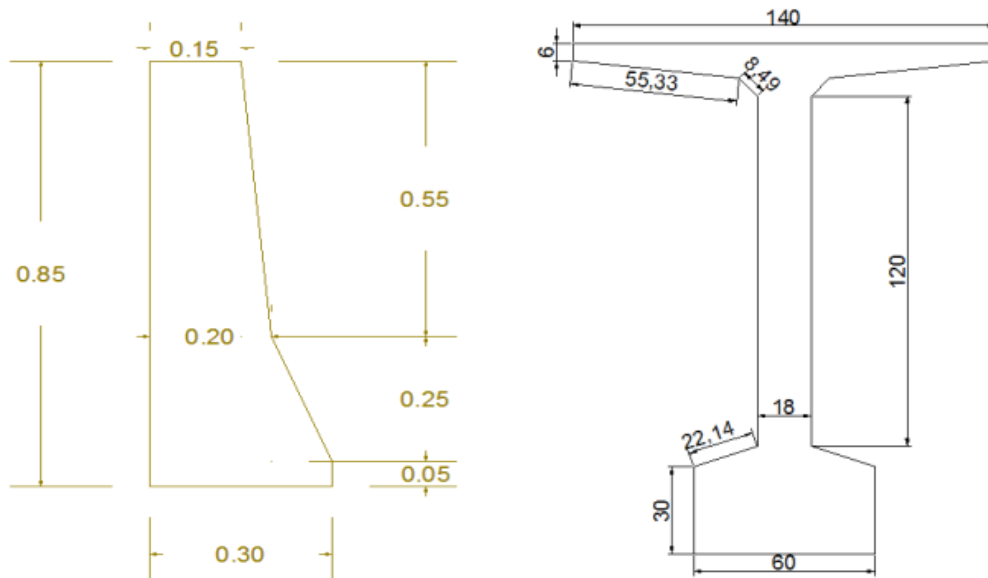


FIGURA 3.4 SECCION DE LA DEFENSA Y VIGA

**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

Para éste trabajo, se modificará la altura de la pila, se calculará los refuerzos necesarios para las diferentes alturas hacer comparaciones y verificar su funcionalidad asociado con los aisladores sísmicos, sin modificar el diámetro de columna.

H alturas a considerar	Tipo de columnas	Diametro de Columna
2,5	circulares	0,55 m
3		
3,5		
4		
4,5		
5		
5,5		
6		
6,5		
7		

FIGURA 3.5 CARACTERISTICAS DE LAS COLUMNAS

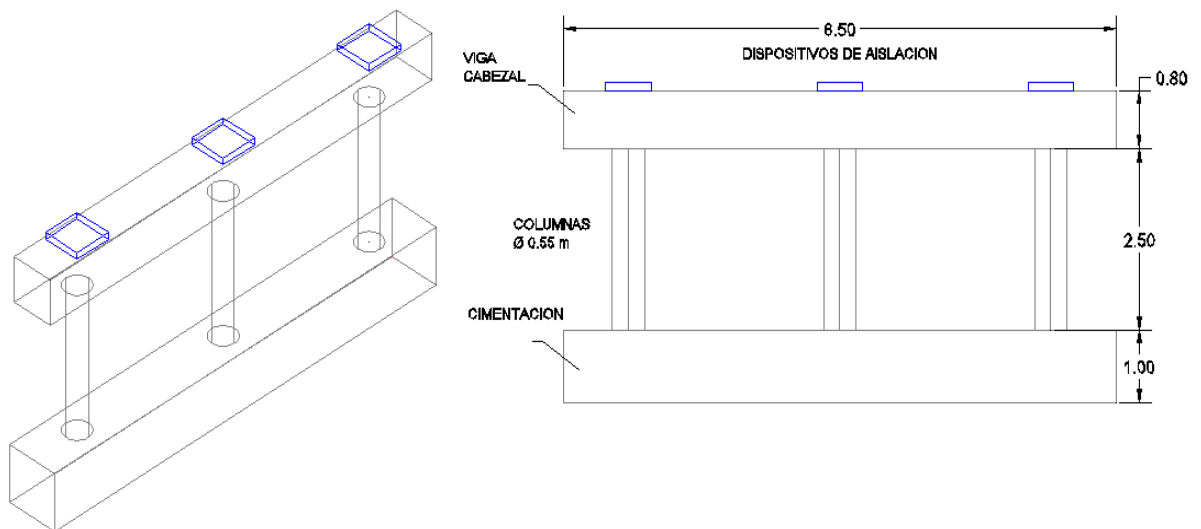


FIGURA 3.6 SECCION TIPO DE LA PILA

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

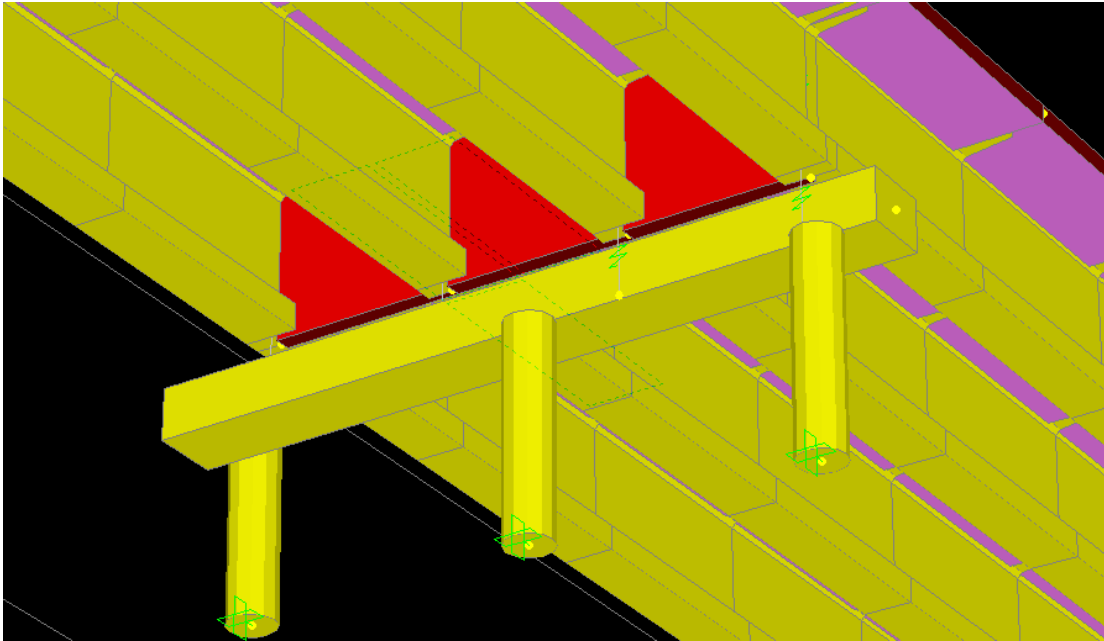


FIGURA 3.7 MODELO DE LA PILA UTILIZADA PARA LA INVESTIGACION

Fuente: SAP 2000

Considerando:

Resistencia a la compresión del hormigón para la pila y la viga cabezal  $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$

Esfuerzo a la fluencia del acero de refuerzo  $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$

### **3.2 CARGAS DE DISEÑO**

#### **3.2.1 CARGAS MUERTAS:**

Estas cargas consisten en el peso total de la estructura que corresponden a:

- Losa
- Defensas
- Asfalto
- Peso propio de la viga Bulb-T

**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

**3.2.2 CARGAS VIVAS:**

Corresponden a las cargas móviles de servicio, para el estudio de este trabajo se ha utilizado el camión HS25 que corresponde al 25% adicional a la carga de un camión Estándar HS20-44

**CARGA DE EJE**

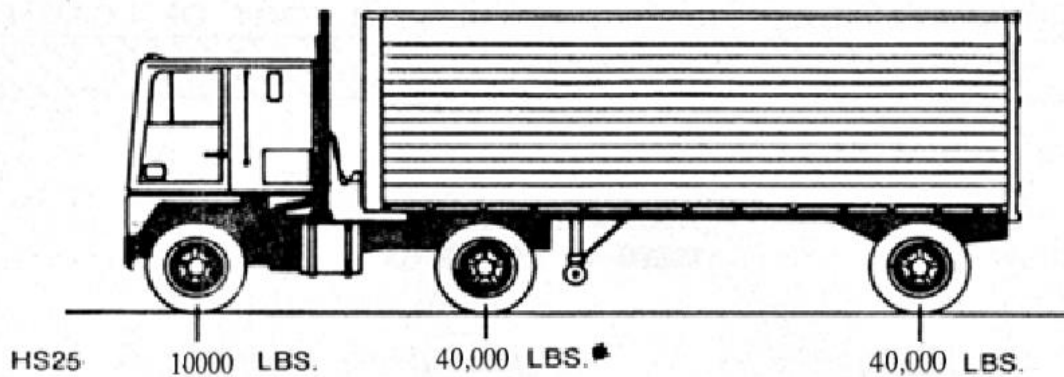


FIGURA 3.8 CARGA DE EJE CAMION HS20-44

**CARGA DE RUEDA**

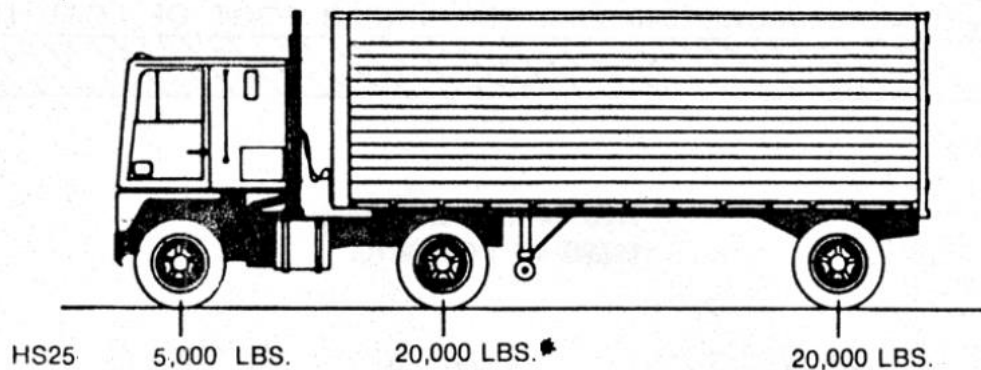


FIGURA 3.9 CARGA DE RUEDA CAMION HS20-44

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### IMPACTO (AASHTO Standard 3.8.2):

La circulación de las cargas móviles a velocidades variadas en la estructura de un puente, que dan origen a esfuerzos de vibración ocasionando por fatiga y resonancia.

Estos efectos se combinan con una carga de impacto. El factor de impacto se basa en algunas mediciones de las ampliaciones de las deflexiones al pasar vehículos a diferentes velocidades. El factor de impacto depende exclusivamente de la longitud de los claros del puente. (AASHTO Standard Specifications For Highway Bridge 16th. 1991)

$$(Ec. 3.1) I = \frac{50}{L+125} \text{ Impacto (porcentaje máximo 30\% )}$$

L : Longitud en pies de una fracción del vano donde se produce el máximo esfuerzo.

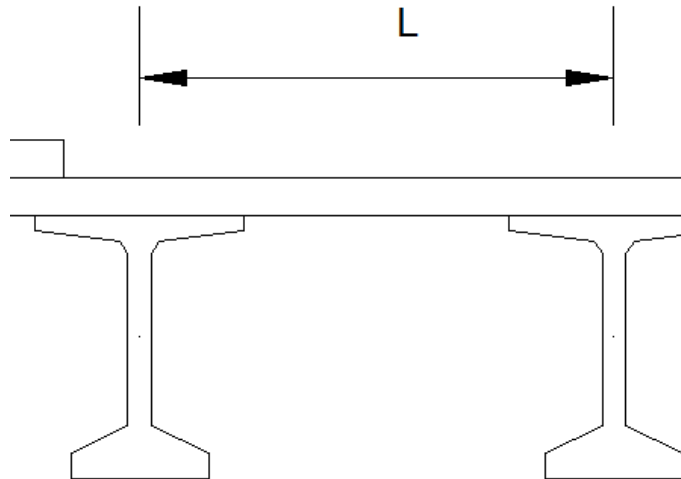


FIGURA 3.10 LONGITUD DE EJE A EJE DE VIGA (L)



## **"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

### **3.2.3 FUERZAS SISMICAS**

Las fuerzas sísmicas son producto de fuerzas naturales que depende de la ubicación geográfica del puente.

En las regiones donde se pueden anticipar terremotos, las estructuras deben ser diseñadas para resistir movimientos sísmicos considerando la relación del sitio con fallas activas, la respuesta sísmica de los suelos en el lugar, y las características de respuesta dinámica de la estructura. (Tonias, 2006)

Las fuerzas que actúan en el puente están en función de los siguientes factores:

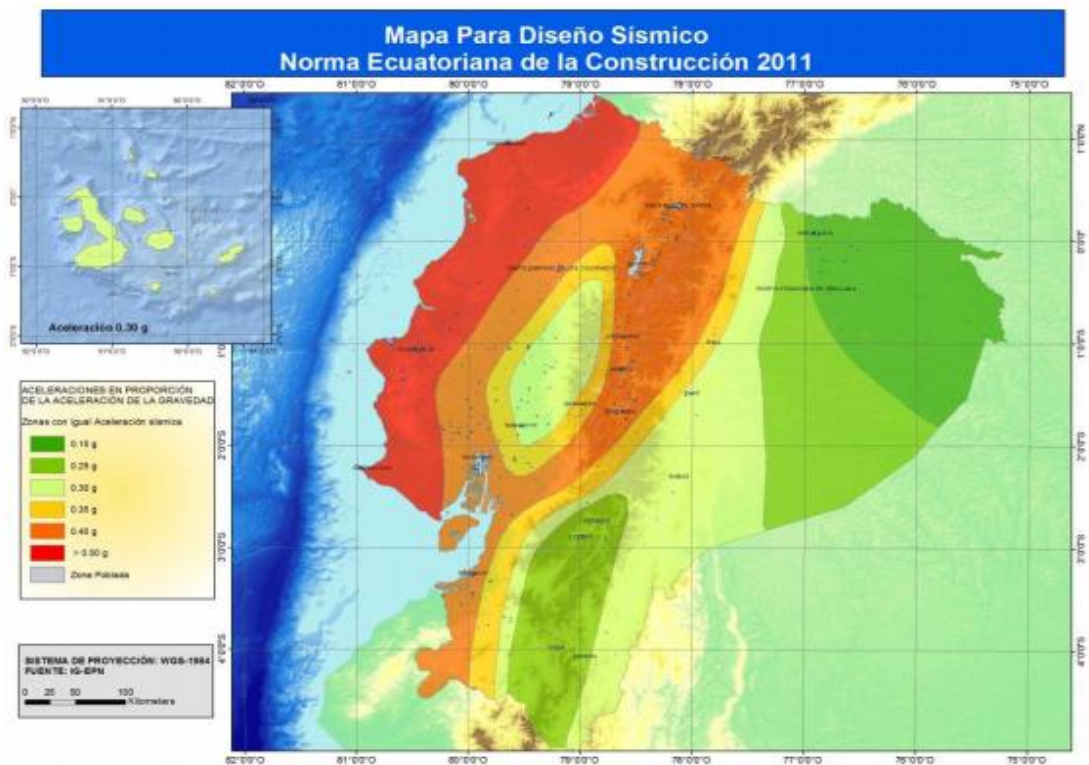
- Peso muerto de la estructura
- Aceleración máxima sísmica
- Período de vibración de la estructura
- Tipo de suelo

Estos factores son utilizados para determinar la respuesta del puente a una carga uniforme actuante en la estructura. Se realizó un análisis modal, utilizando un espectro de respuesta con las consideraciones respectivas para cada uno de los dispositivos de estudio.

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

Para el espectro de respuesta se consideró lo siguiente:

- a) De acuerdo al mapa para diseño sísmico de la Norma de la Construcción del Ecuador (2011) consideró la aceleración máxima sísmica para la ciudad de Guayaquil 0.4



**Tabla 2.1. Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada**

Zona sísmica	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>IV</b>	<b>V</b>	<b>VI</b>
<b>Valor factor Z</b>	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
<b>Caracterización de la amenaza sísmica</b>	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy Alta

FIGURA 3.11 MAPA PARA DISEÑO DE LA CONSTRUCCION 2011

FUENTE: <http://www.cimeg.org.ec/normasnec/NEC2011-CAP.2-PELIGRO%20SISMICO%20Y%20REQUISITOS%20DE%20DISE%91O%20SISMO%20RESISTENTE-021412.pdf>

**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

- b) Se considera para los efectos de la condición del sitio según ASSHTO un perfil del suelo tipo 3, que corresponde a un perfil con arcillas blandas a medias y arena, que comprende de 9 m o más capas arcillas blandas a medias rígidas, con o sin capas de arena u otros suelos no cohesivos.

**TABLE 3.5.1 Site Coefficient (S)**

	Soil Profile Type			
	I	II	III	IV
<b>S</b>	1.0	1.2	1.5	2.0

- c) Según el ASSHTO , de acuerdo al tipo de subestructura se elige el factor de modificación de respuesta 5, para este estudio se elige pilas verticales compuestas de acero o concreto reforzado 5

**TABLE 3.7 Response Modifications Factor (R)**

Substructure <sup>1</sup>	R	Connections <sup>3</sup>	R
Wall-type pier <sup>2</sup>	2	Superstructure to abutment	0.8
Reinforced concrete pile bents		Expansion joints within a	
a. Vertical piles only	3	span of the superstructure	0.8
b. One or more batter piles	2	Columns, piers or pile bents	
Single columns	3	to cap beam or superstructure <sup>4</sup>	1.0
Steel or composite steel		Columns or piers to foundations <sup>4</sup>	1.0
and concrete pile bents			
a. Vertical piles only	5		
b. One or more batter piles	3		
Multiple column bent	5		

- d) Se obtiene el coeficiente elástico sísmico de respuesta para un análisis modal

$$(Ec. 3.2) C = \frac{1.2AS}{T^{2/3}}$$

Donde:

A: El coeficiente de Aceleración

S: El coeficiente que corresponde a las características del perfil del suelo

T: El periodo del puente

Para áreas donde el coeficiente  $A \geq 0.30$  Cs no debe de exceder de 2A

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

Estos son los factores utilizados para determinar la respuesta del puente a una carga uniforme actuante en la estructura, Esta respuesta toma la forma del sismo de un análisis modal que se utiliza para calcular las fuerzas y desplazamientos en los elementos del puente de estudio.

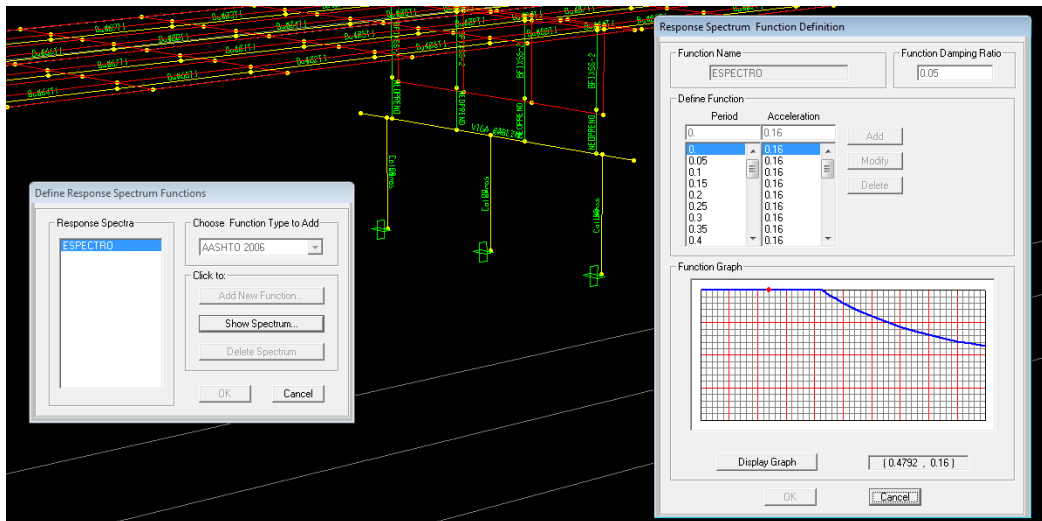


FIGURA 3.12 ESPECTROS INCLUIDOS EN EL DISEÑO ESTRUCTURAL NEOPRENO

FUENTE: SAP 2000

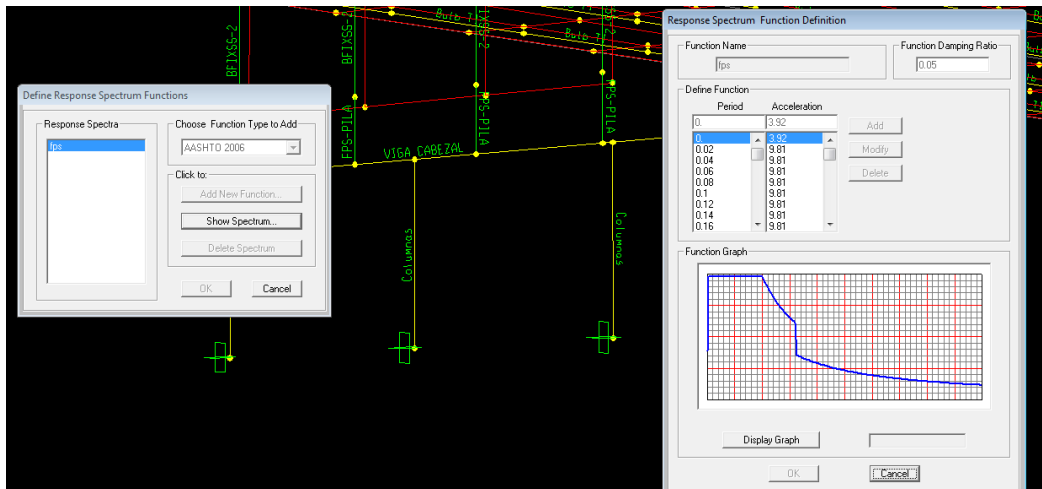


FIGURA 3.13 ESPECTROS INCLUIDOS EN EL DISEÑO ESTRUCTURAL FPS

FUENTE: SAP 2000

**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

### **3.3 DISEÑO DE LA SUPERESTRUCTURA**

Para el diseño de la subestructura se utilizaron las especificaciones **AASHTO Standard Specifications For Highway Bridge 16<sup>th</sup>**

**LOSA:**

1. Se define la luz efectiva del puente
2. Calcular el espesor mínimo de losa
3. Cálculo de cargas muertas
4. Calcular las cargas muertas superimpuestas
5. Calcular de carga viva
6. Calcular los momentos totales factorados
7. Calcular la cantidad de acero requerido
8. Distribución del acero en la losa

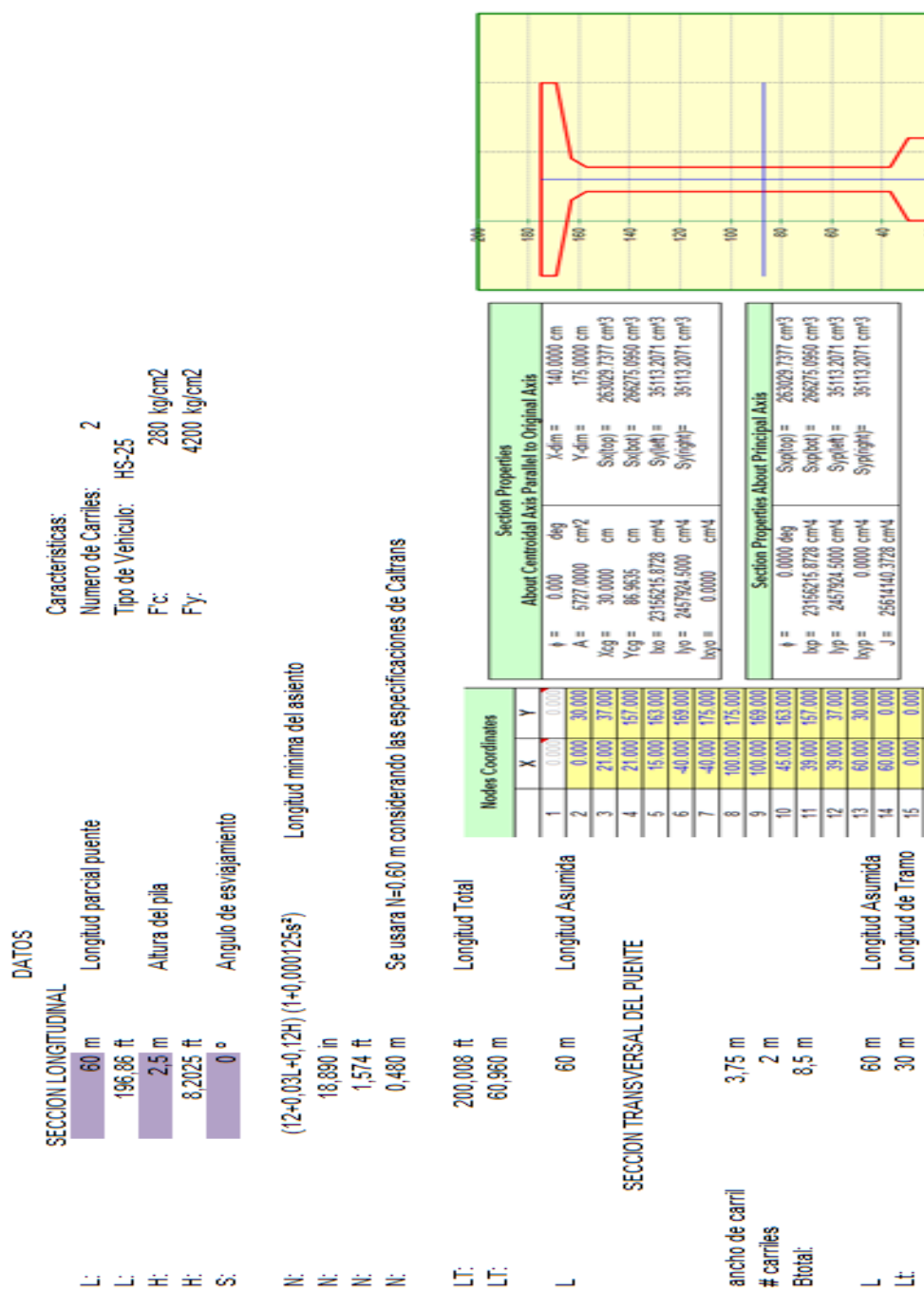
**VIGAS:**

1. Calcular el momento y cortante para carga muerta
2. Calcular el momento cortante para carga viva
3. Selección preliminar de una sección de viga
4. Calculo de la inercia de la sección de la viga
5. Calcular el cortante en la viga

# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

## 3.3.1 DISEÑO DEL TABLERO

Se ha considerado el Manual AASHTO para el diseño de la superestructura del puente:



**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

**VIGA**

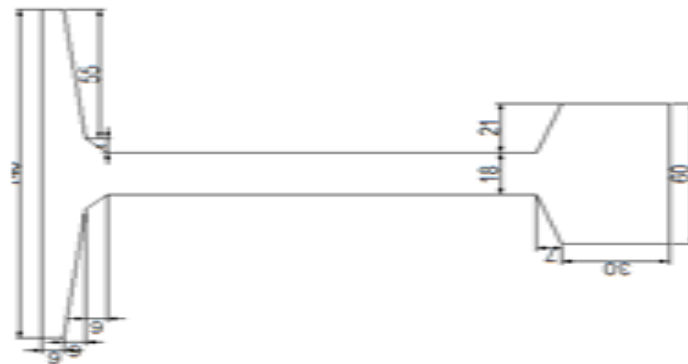
TIPO	AREA (cm <sup>2</sup> )	Y <sub>bottom</sub> (cm)	Inertia (cm <sup>4</sup> )
BULB T1	5727	86,96	23156215,9

TIPO	AREA (m <sup>2</sup> )	Y <sub>bottom</sub> (m)	Inertia (m <sup>4</sup> )	Height (T/m)
BULB T1	0,5727	0,87	0,23156216	1,37448

TIPO	AREA (ft <sup>2</sup> )	Y <sub>bottom</sub> (ft)	Inertia (ft <sup>4</sup> )	Height (kip/ft)
BULB T1	1,879029	2,85	26,8344384	9921,27

**DIMENSIONES**

TYPE	B o B1 (m)	T(aia) o D2 (m)	D1 o H (m)
BULB T1	1,4	0,06	1,75



TIPO	AREA (cm <sup>2</sup> )	Y <sub>bottom</sub> (cm)	Inertia (cm <sup>4</sup> )
BULB T1	5727	86,96	23156215,87

TIPO	AREA (m <sup>2</sup> )	Y <sub>bottom</sub> (m)	Inertia (m <sup>4</sup> )
BULB T1	887,6868	34,24	556330,3117

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### DISEÑO DE LOSA

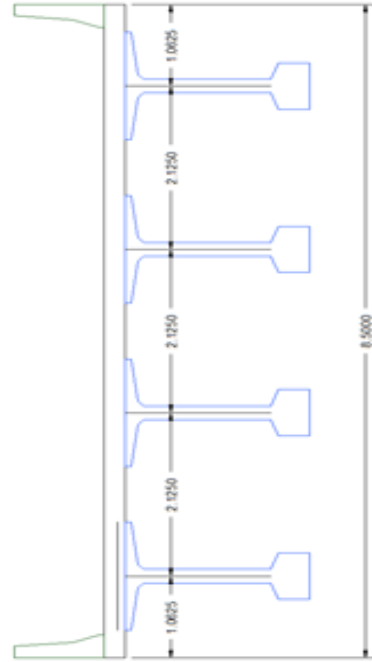
#### LUZ EFECTIVA "S"

b/t: 23.33      S: 2.125 m      (distancia de eje a eje de la viga)  
 b/t: >4 ala flexible      B: 1.4 m

S': S-B/2: 2.107 m      S: 6.914 ft

#### ESPESOR MÍNIMO DE LOSA

Losa continua      0.542 ft  
 $t: \frac{(s \cdot 10)}{30} >$   
 t: 0.564 ft  
 t: 0.172 m  
 t/losa: 0.2 m      0.656 ft





**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

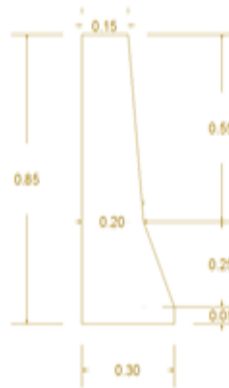
ANALISIS DE CARGAS

LOSA

$\gamma$                     2.4 T/m<sup>3</sup>  
 h                      0.2 m  
 w:                    0.48 T/m<sup>2</sup>

DEFENSAS

A:                    0.1738 m<sup>2</sup>  
 $\gamma$                     2.4 T/m<sup>3</sup>  
 w:                    0.4170 T/m<sup>2</sup>



ASFALTO

$\gamma$                     2.2 T/m<sup>3</sup>  
 h                      0.075 m  
 w:                    0.165 T/m<sup>2</sup>

REFUERZO PRINCIPAL PERPENDICULAR AL TRAFICO  
 CARGA VIVA - Refuerzo Principal: Perpendicular al tráfico

CARGA DE CAMION HS25

L=                    S':                    6.914 ft

$$M_{\pm} = 0,80 \cdot \left( \frac{S + 2}{32} \right) \cdot P_{25}$$

P25 =                    20 Kips

ML =                    4.46 Kip-ft / ft

IMPACTO

$$I = \frac{50}{I + 125}$$

Considerando 30% maximo de Impacto.

l:                    0.38                     $l \leq 0,30$   
 l:                    0.3

ML+l =                    6.15 Kip-ft / ft  
 ML+l =                    2.79 T-m / m.

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

### MOMENTOS POR CARGA MUERTA

S:	6,914 ft	s:	2,10722
w:	w/osa+w/asa	0,645 T/m <sup>2</sup>	
Mdl:	wS <sup>2</sup> /10	0,286 T*m/m	
Mtotal:		3,08 T*m/m	
Mult:	1.3Mdl + 2.17MLI		
Mult:		6,43 T*m/m	

### REFUERZOS

#### Refuerzo Principal

$$Mu = \phi \cdot f_c \cdot b \cdot d^2 \cdot w \cdot (1 - 0,59 \cdot w)$$

$$0,59 \cdot w^2 - w + \frac{Mu}{\phi \cdot f_c \cdot b \cdot d^2} = 0$$

$$0,59 \cdot w^2 - w + 0,088355 = 0$$

$$w = 0,093515$$

$$\rho = w \cdot f_{ctfy}$$

$$\rho = 0,006234$$

$$As = \rho \cdot b \cdot d$$

$$As = 10,59833 \text{ cm}^2$$

$$\phi 14 @ 15 \text{ cm.}$$

$$\phi = 0,9$$

$$f_c = 280 \text{ Kg/cm}^2$$

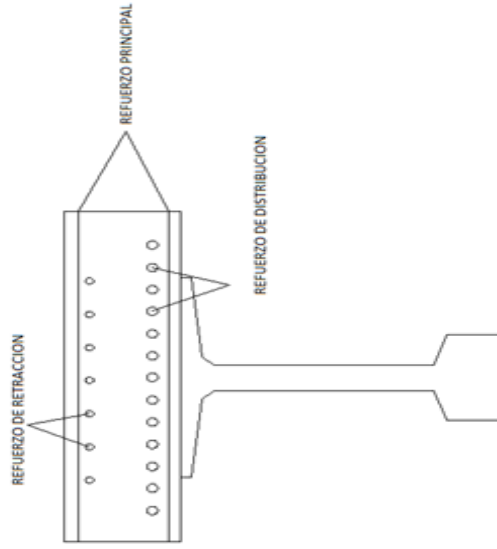
$$b = 100 \text{ cm}$$

$$d = 17 \text{ cm}$$

$$\phi = 14 \text{ mm}$$

$$S = 14,525 \text{ cm}$$

$$As = 1,5394 \text{ cm}^2$$



## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

### Refuerzo de Retracción

#### Refuerzo longitudinal superior por Temperatura

$Asr = 0,0018 \cdot b \cdot h$   
 $Asr = 3,6 \text{ cm}^2$   
 $Asr = 5,3 \text{ cm}^2$

$\phi = 12 \text{ mm}$   
 $S = 21,3391 \text{ cm}$   
 $As = 1,13097 \text{ cm}^2$

$\phi 12 @ 21 \text{ cm.}$

### Refuerzo inf. de distribución

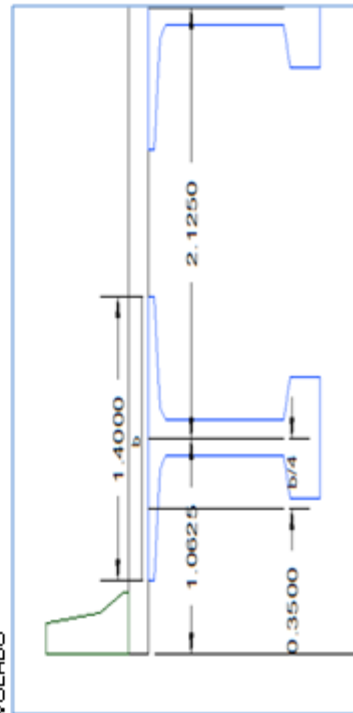
Acero de distribución en el fondo de la losa y perpendicular al refuerzo principal, es decir en el sentido longitudinal del puente:

$A \text{ dist} = D \cdot As$   
 $D = 220 \text{ l/s}$   
 $D = 83,66900914$   
 $A \text{ dist} = 7,10068 \text{ cm}^2$

$\phi = 12 \text{ mm}$   
 $S = 15,9272 \text{ cm}$   
 $As = 1,13097 \text{ cm}^2$

$\phi 12 @ 16 \text{ cm.}$

### DISEÑO DEL VOLADO

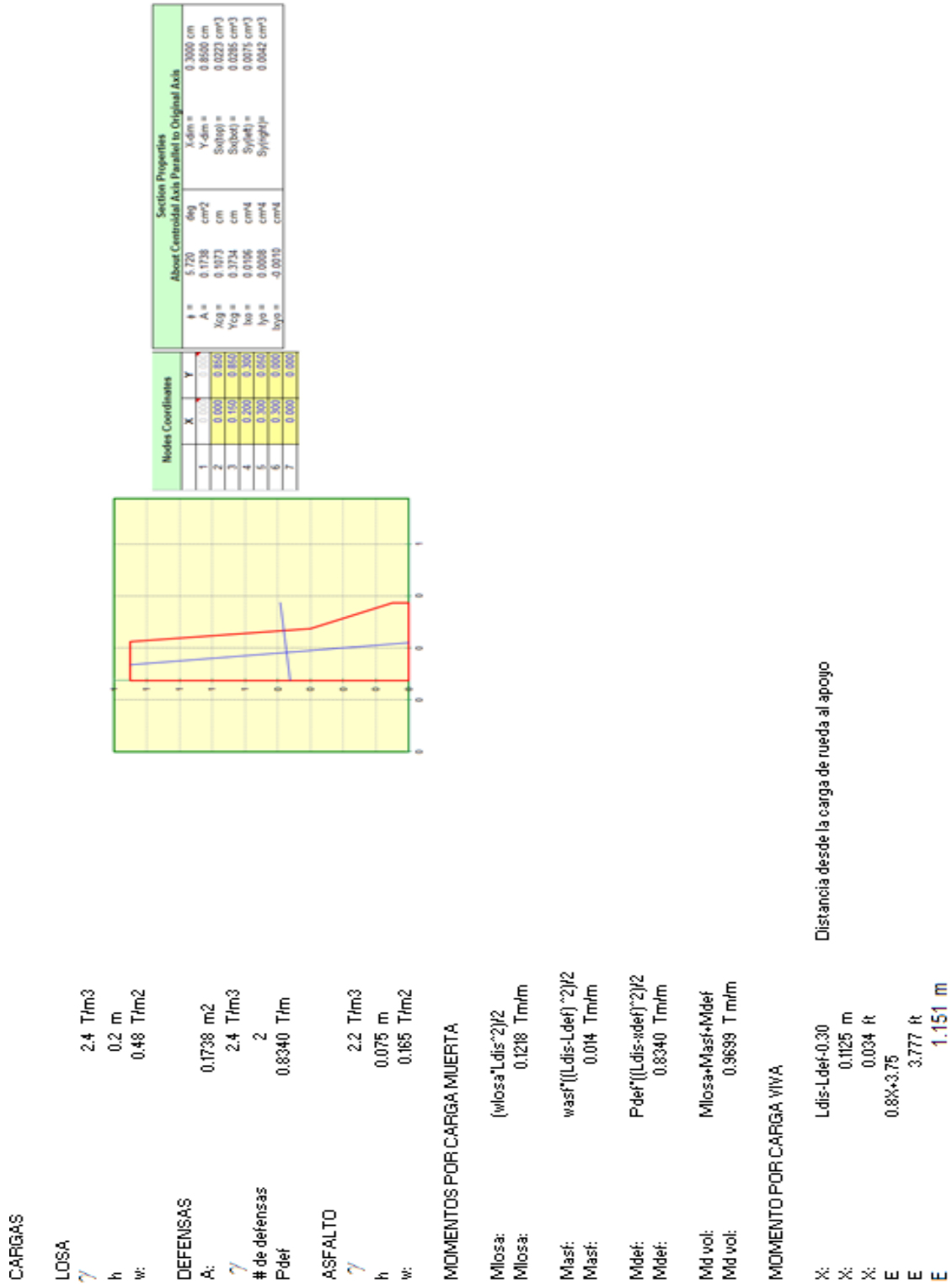


$Lvol:$   
 $Ldef:$   
 $xdef:$   
 $Ldis:$

$1,0625 \text{ m}$   
 $0,3000 \text{ m}$   
 $0,1073$   
 $Lvol-b/4$   
 $0,7125$

$Longitud \text{ del volado}$   
 $Longitud \text{ de la defensa}$   
 $Xcg$   
 $Longitud \text{ de diseño}$

# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"



## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### REFUERZOS

#### Refuerzo Principal

$$Mu: \quad \phi \cdot f'c \cdot b \cdot d^2 \cdot w \cdot (1 - 0,59 \cdot w)$$

$$0,59 \cdot w^2 - w + \frac{Mu}{\phi \cdot f'c \cdot b \cdot d^2} = 0$$

$$0,59 \cdot w^2 - w + 0,04378 = 0$$

$$w: \quad 0,04497$$

$$p: \quad w \cdot f'c / fy$$

$$p: \quad 0,003$$

$$Asvol = p \cdot b \cdot d$$

$$Asvol = 5,097 \text{ cm}^2$$

$$Asref: \quad Asvol - As$$

$$Asref: \quad -5,501$$

$$\phi = 12 \text{ mm}$$

$$S = -20,558 \text{ cm}$$

$$As = 1,13097 \text{ cm}^2$$

$$\phi 12 @ -21 \text{ cm.}$$

El refuerzo obtenido en los tramos centrales es suficiente para el volado.

#### DISEÑO DE VIGAS

LONGITUD DE VIGAS: 30 m

#### CARGAS MUERTAS:

1.- Peso propio de la viga

Q<sub>dv</sub>: 1,37448 T/m

2.- Cargas Superimpuestas

w<sub>losa</sub>: 0,48 T/m<sup>2</sup>

$$\phi = 0,9$$

$$f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$$

$$b = 100 \text{ cm}$$

$$d = 17 \text{ cm}$$

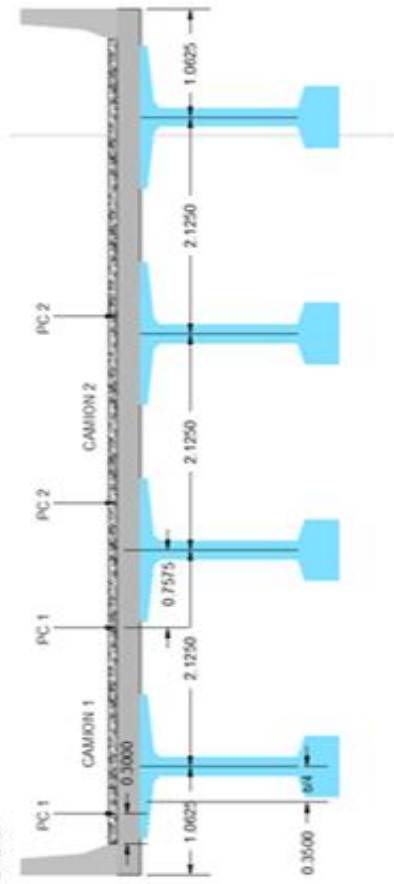
# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

$\gamma$  hasf (Btotal-2def)/Btotal  
 0,15 T/m<sup>2</sup>  
 l' adef \* #de defensas \* 1m ancho)/Btotal  
 0,098 T/m<sup>2</sup>

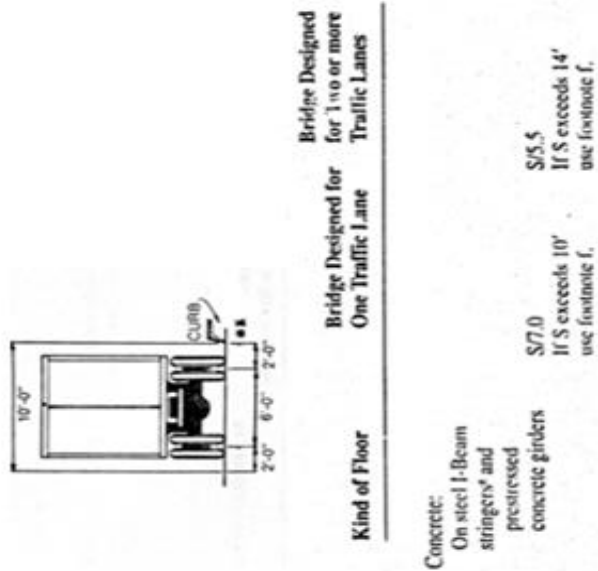
wsd: wlosa+wast+wdef  
 wsd: 0,731471 T/m<sup>2</sup>  
 Bv 2,125 m  
 qsd: wsd\*Bv  
 qsd: 1,554375 T/m

**Cargas Vivas**  
 Se debe determinar el factor de distribución para la viga exterior y para la viga interior y tomar la mas desfavorable

Viga Exterior



FDVEXT RIP R=P+P(XIS)  
 FDVEXT 1+0.7575/2.125  
 FDVEXT 1,3565

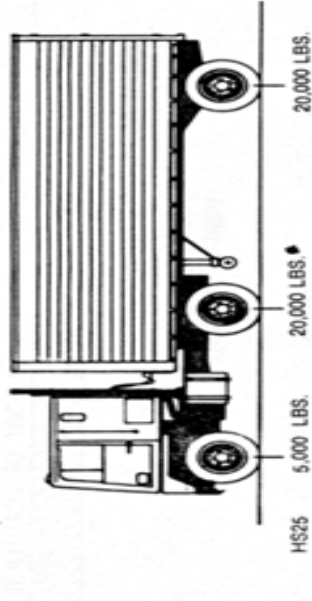


**Kind of Floor**  
 Concrete:  
 On steel I-Beam  
 stringers\* and  
 prestressed  
 concrete girders

S/7.0  
 If S exceeds 10'  
 use footnote f.

S/5.5  
 If S exceeds 14'  
 use footnote f.

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"



0,4825  
1,3375  
0,785

Viga Interior

Sv: Bw10.3048  
Sv: 6,9718 ft

FDVINT: SV15.5  
FDVINT: 1,268

PREDOMINA EL FACTOR DE DISTRIBUCION PARA VIGA EXTERIOR  
FD: 1,3565

Carga de camion Hs25

p1:	5000 LBS	Carga de Rueda	2,273 T	Carga de Rueda
p2:	20000 LBS	Carga de Rueda	9,091 T	Carga de Rueda
p3:	20000 LBS	Carga de Rueda	9,091 T	Carga de Rueda
	10000 LBS	CARGA DE EJE	4,545 T	CARGA DE EJE
	40000 LBS	CARGA DE EJE	18,182 T	CARGA DE EJE
	40000 LBS	CARGA DE EJE	18,182 T	CARGA DE EJE

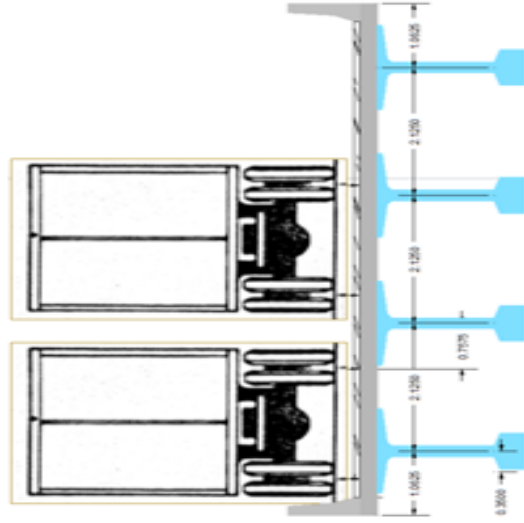
S: 1,515 m Ancho de influencia de rueda (valor obtenido colocando la rueda del vehiculo a 30 cm de la defensa)

Lv: 30 m Longitud de viga

Lv: 98,4252 ft Longitud de viga

t: 50/(LV+125) Impacto

t: 0,2238



Según el código AASHTO el factor de reducción para 2 carriles corresponde al 100%.

**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

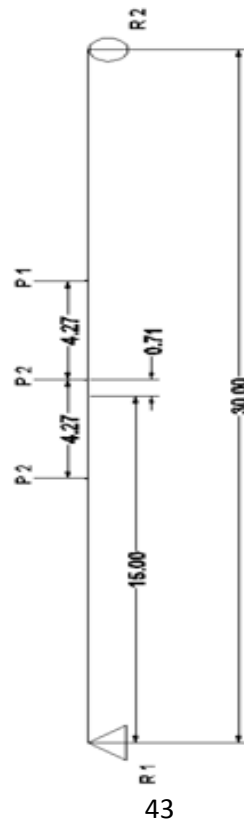
Fr: 1

P1:  $(p/12200)(FD/2)((1+I)FR)$   
 P1: 1,8864 T

P2.P3:  $(P/2)(2200)(FD/2)((1+I)FR)$   
 P2.P3: 7,5456 T

**MOMENTOS MAXIMOS**

Por Cargas Vivas



R1:  $(P2)(0.5L_v + (4.27 + 0.71)) + P2(0.5L_v - 0.71) + P1(0.5L_v - 0.71 - 4.27)(L_v)$   
 R1: 9,2437 T

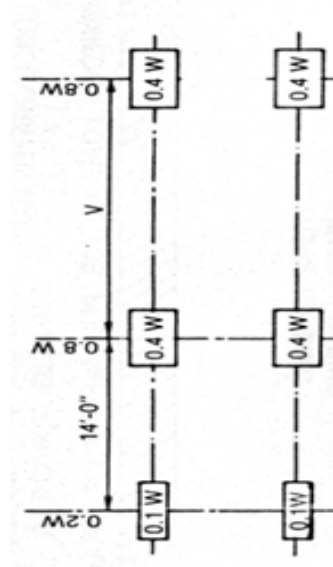
R2:  $P1 + P2 + P2 - R1$   
 R2: 7,7280 T

ML1:  $R1(0.5L_v + 0.71) - 4.27(P2)$   
 ML1: 113,0923 T-m

Por Cargas Muertas

qd:  $qdv + qsd$   
 qd: 2,923 T/m

W: LA COMBINACION DE LA CARGA EN LOS PRIMEROS 2 EJES EN LOS CUALES SON LO MISMOS QUE CORRESPONDEN AL CAMION H



V: EL ESPACIAMIENTO VARIABLE DE 14 A 30 PIES INCLUIDO EL ESPACIAMIENTO ES DONDE SE PRODUCE EL ESFUERZO MAXIMO



**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

MDL:  $((q_d^*lw/2)^*(0.5L_v+0.7l))-(q_d((0.5L_v+0.7l)^2)/2)$   
 MDL: 328,76 T-m

Mu 672,796 T-m

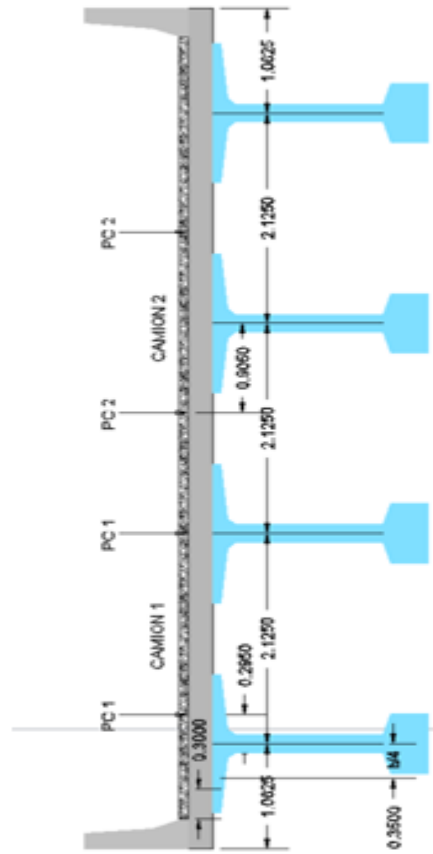
Mu: 1.3MDL + 2.17MLJ  
 Mu: 672,796 T-m

**CORTANTE**

Viga Exterior

FDExterior: 1,3565

Viga Interior  
 CASO 1



CASO 1 FD:  $1+(0.2950+0.9050)/2.125$   
 FD: 1,0353

**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

Se utiliza el mayor FD de los casos  
 FDV: 1,3565

p1: 5000 LBS  
 p2: 20000 LBS

FD P1  $(P1/2200)(FD/2)((1+i)*FR)$  1,886 T

FD P3  $(P3/2200)(FD/2)((1+i)*FR)$  5,759 T

El cortante en forma conservadora es igual a la reacción en el extremo, considerando la llanta posterior directamente sobre el extremo de la viga

R:  $P2+(P2*(Lv-4.27)/Lv)+(P1*(Lv-(2*4.27)/Lv))$   
 R: 12,04772 T

VLI.R: 12,0477 T

Cortante por carga muerta

Rd:  $qd*Lv/2$   
 Rd: 43,933 T

VDL.Rd: 43,933 T

Vu:  $1.3VDL+2.17VLI$   
 Vu: 83.2562 T

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

### 3.3.2 DISEÑO DE LAS VIGAS PRESFORZADAS

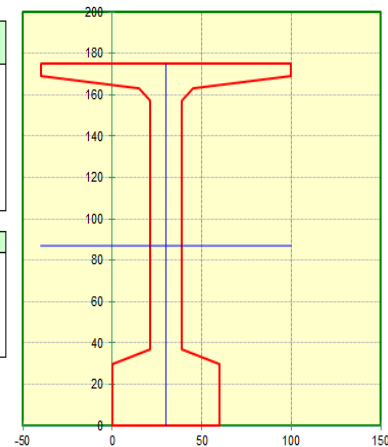
Las propiedades geométricas de las vigas presforzadas se detallan a continuación:

VIGA PRESFORZADA				
TIPO	AREA (m <sup>2</sup> )	Y <sub>bottom</sub> (m)	Inertia (m <sup>4</sup> )	Weigth (T/m)
BULB T1	0,5727	0,87	0,231562159	1,37448

Nodes Coordinates		
	X	Y
1	0.000	0.000
2	0.000	30.000
3	21.000	37.000
4	21.000	157.000
5	15.000	163.000
6	-40.000	169.000
7	-40.000	175.000
8	100.000	175.000
9	100.000	169.000
10	45.000	163.000
11	39.000	157.000
12	39.000	37.000
13	60.000	30.000
14	60.000	0.000
15	0.000	0.000

Section Properties About Centroidal Axis Parallel to Original Axis			
$\phi$ =	0.000	deg	X-dim = 140.0000 cm
A =	5727.0000	cm <sup>2</sup>	Y-dim = 175.0000 cm
Xcg =	30.0000	cm	Sx(top) = 263029.7377 cm <sup>3</sup>
Ycg =	86.9635	cm	Sx(bot) = 266275.0950 cm <sup>3</sup>
Ixo =	23156215.8728	cm <sup>4</sup>	Sy(left) = 35113.2071 cm <sup>3</sup>
Iyo =	2457924.5000	cm <sup>4</sup>	Sy(right) = 35113.2071 cm <sup>3</sup>
Ixyo =	0.0000	cm <sup>4</sup>	

Section Properties About Principal Axis			
$\phi$ =	0.0000	deg	Sxp(top) = 263029.7377 cm <sup>3</sup>
Ixp =	23156215.8728	cm <sup>4</sup>	Sxp(bot) = 266275.0950 cm <sup>3</sup>
Iyp =	2457924.5000	cm <sup>4</sup>	Syp(left) = 35113.2071 cm <sup>3</sup>
Ixyp =	0.0000	cm <sup>4</sup>	Syp(right) = 35113.2071 cm <sup>3</sup>
J =	25614140.3728	cm <sup>4</sup>	



Para el diseño de la viga Tipo BULB T1 simplemente apoyadas, se considera dos tramos de L:30 m, y en el apoyo con la pila se diseñó la continuidad de la viga como sección T de concreto reforzado con el fin de unificar las dos vigas para descansar sobre los aisladores sísmicos de estudio.

Para el diseño de la viga presforzada se aplica lo que indica los manuales de diseño:

- Establecer las propiedades de la sección de la viga en análisis.
- Se estiman las pérdidas que se producirán en la viga pretensada
- Esfuerzos permisibles en el acero de presfuerzo
- Esfuerzos en el centroide de la viga
- La fuerza de presfuerzo
- Cantidad de acero necesario
- Área de esfuerzo de presfuerzo

**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

L=30.00 m.

Puente consta de 4 vigas presforzadas y una losa de rodadura

Materiales:

• Losa:

- Concreto:  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$
- Acero de refuerzo en barras:  $f_y=4200 \text{ Kg/cm}^2$
- Vigas presforzadas:  $f'c=420 \text{ Kg/cm}^2$

• Cable de presfuerzo:

$f_{pu}= 270 \text{ Ksi}$   
 $\Phi = 1/2"$

1.-Análisis de la Carga Muerta

Datos		
-------	--	--

L =	30	m
L =	98,4	ft
hlosa =	0,2	m
$f'c =$	280	$\text{kg/cm}^2$
$f_y =$	4200	$\text{kg/cm}^2$
$\gamma =$	2400	$\text{kg/cm}^3$
Long Transv =	8,5	$\text{kg/cm}^4$

Asfalto		
---------	--	--

$\gamma =$	2200	$\text{kg/m}^3$
e =	0,075	m
Peso =	25987,5	kg

DEFENSAS		
----------	--	--

Peso =	0,834	Kg
--------	-------	----

**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

**CARGAS**

$$W_{TOTAL} = W_{losa} + W_{asfalto} + W_{baranda} + W_{acera}$$

Wlosa =	122400	kg
Wasfalto =	25987,5	kg
Wdefensa =	0,834	kg
Wtotal =	148388,334	Kg

Wviga =	1236,6	Kg/m
qsdl =	829,4	lb/ft
qsdl =	0,83	kips/ft

qll =	1,01	ton/m
qll =	0,67	kips/ft

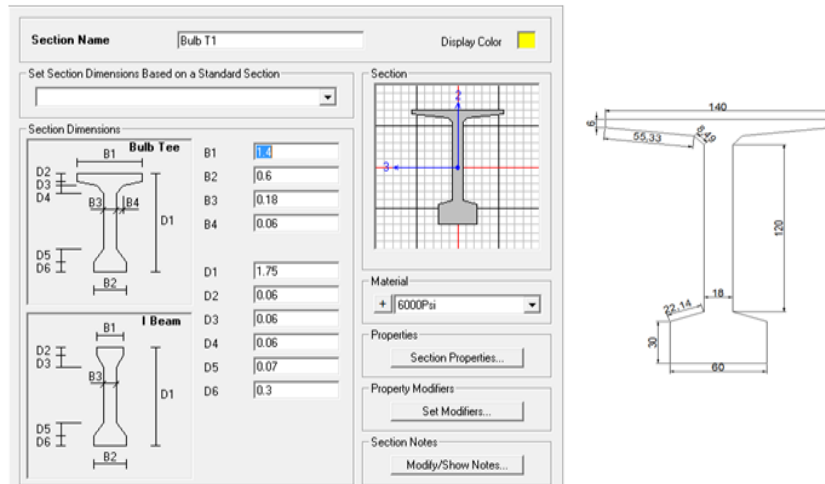
**Viga**

# vigas =	4	
f'c =	420	kg/cm <sup>2</sup>
f'ci =	280	kg/cm <sup>2</sup>
fpu =	270	ksi

H=L/18      65,60 pulgadas

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

Una vez obtenida las dimensiones y propiedades de la viga se procede a diseñar la viga utilizando el código AASHTO.



### ESFUERZOS ADMISIBLES (AASHTO)

$f'_c =$	6000	psi	Resistencia a la compresion del hormigon a 28 días
$f'_{ci} =$	4000	psi	Resistencia a la compresión del hormigon inicial

#### Transferencia

$f_{tri} =$	200	psi	Esfuerzo admisible de tracción en la $f_{tri} = 3\sqrt{f'_{ci}}$
$f_{ci} =$	-2400	psi	Esfuerzo admisible de compresión $e_{fci} = 0.60 f'_{ci}$

#### Servicio

$f_{trs} =$	464.76	psi	Esfuerzo admisible de tracción en se $f_{trs} = 6\sqrt{f'_{cs}}$
$f_{cs} =$	-2400	psi	Esfuerzo admisible de compresión $e_{fcs} = 0.40 f'_{cs}$

**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

**MOMENTOS**

L = 98,4 ft  
 $q_{pp}$  = 0,925 kip/ft  
 $M_q$  = 1119 kip-ft  
 $M_q$  = 13429813 lb-pg  
 $q_{sd}$  = 0,83 kips/ft  
 $q_{ll}$  = 0,67 kips/ft  
 $q_t$  = 2,428 kips/ft  
 $MT$  = 2939 kips-ft  
 $MT$  = 35268870 lb-pg  
 $n$  = 0,721  
 $S_t$  = -10057,07 in<sup>3</sup>  
 $S_b$  = 11661,25 in<sup>3</sup>

Carga de peso propio  
 Momento por peso propio

$$Mg = \frac{qpp \cdot luz^2 \cdot 12}{8}$$

\* Calculado

$$S_t = \frac{M_{tot} - n \cdot Mg}{f_{cs} - n \cdot f_{tri}}$$

$$S_b = \frac{M_{tot} - n \cdot Mg}{f_{trs} - n \cdot f_{cl}}$$

Comparar:

Viga		
$S_t$ =	-16049,50	in <sup>3</sup>
$S_b$ =	16249,10	in <sup>3</sup>

<  
>

Calculado			
$S_t$ =	-10057,07	in <sup>3</sup>	OK
$S_b$ =	11661,25	in <sup>3</sup>	OK

$f_{pu}$  = 270 ksi  
 $f_{sj}$  = 216 ksi  
 $f_{si}$  = 205,2 ksi  
 $D$  = 0,5 in  
 $A_{1\phi 1/2}$  = 0,153 in<sup>2</sup>  
 #cables = 11  
 $A_{sp}$  = 1,683 in<sup>2</sup>

Resistencia ultima de los cables de presfuerzo  
 $0,8 \cdot f_{pu}$  Esfuerzo de tensado de los cables antes de las perdidas inmediatas  
 esfuerzo del cable luego de las perdidas inmediatas

area total de los cables

$P_i = f_{si} \cdot A_{sp}$	345,3516 Kips
-----------------------------	---------------

**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

**PERDIDAS INMEDIATAS**

$F_{es} = n \cdot f_{cs}$ $n = E_s / E_c$ $E_s = 27000000 \text{ psi}$ $E_c = 3604996,53 \text{ psi}$ $n = 7,48960498$ $C_j = f_{sj} \cdot A_{sp} = 727056 \text{ lb}$
$F_{cs} = -C_j / A(1 + (e/r)^2) + M_q \cdot e / I$
$F_{cs} = -1001,7845 \text{ lb/plg}^2$  $FES = n \cdot f_{cs} = -7502,9701 \text{ psi}$ $f_{sj} = 208497,03 \text{ psi}$ $\%PI = f_{sj} / f_{cs} = 0,97$

Esfuerzo efectivo

$5000 \cdot n \cdot f_{ci}$   
 $E_s / E_c$

Esfuerzo de compresion a nivel del acero de refuerzo

Esfuerzo efectivo de presfuerzo

$F_{sj} - F_{es}$  Esfuerzo en los cables luego de las perdidas inmediatas  
 perdidas inmediatas

**PERDIDAS DIFERIDAS**

<b>Retraccion</b>	
$f_{sh} = E_{sh} \cdot E_s$	
$E_{shu} = 0,00073$	constante curado vapor
$E_{sh} = E_{shu} - E_{sht}$	
$E_{sht} = t / (55 + t) \cdot E_{shu}$	
$t = 28$	dias
$E_{sht} = 0,00024627$	
$E_{sh} = 0,00048373$	
$f_{sh} = 13060,84$	psi



**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

<b>Flujo Plastico</b>		
$fcr = n \cdot C_u \cdot fcs$		
$C_u =$	2,35	coeficiente flujo plastico
$fcs =$	1127,13	psi
$fcr =$	19838,17	psi

$$C_i = f_{si} \cdot A_{sp}$$

$$F_{cs} = 0.9 C_i / A (1 + (e/r)^2) + M_{tot} \cdot e/l$$

<b>Relajamiento</b>		
$f_{rel} = 0.9 \cdot f_{si} (\log t / 10 \cdot (0.9 f_{si} / f_{py} - 0.55))$		
$f_{py} = 0.85 \cdot f_{pu}$	229500	psi
$t =$	5	años
$t =$	43800	horas
$f_{rel} =$	23311,0	psi

esfuerzo fluencia

$f_{p.dif} =$	56210,00	psi
$f_{se} = f_{si} - f_{p.dif}$	152287,03	psi
$P_e = f_{se} \cdot A_{sp}$	512598,16	lb
% perd dif	28,53	
% Perd tot=	29,50	

Perdidas efectivas

0,71
------

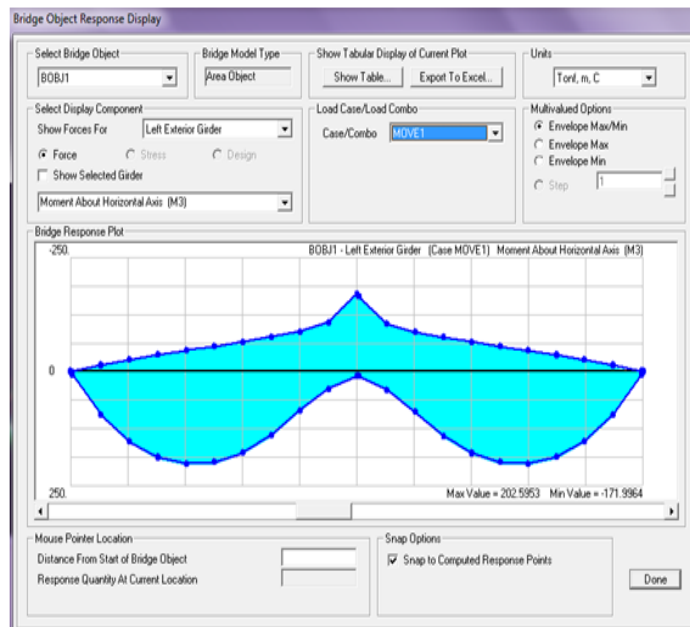
# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

## 3.3.2 DISEÑO DE LAS VIGAS CON EL PROGRAMA CONCISE

Con la Ayuda del programa SAP 2000 se obtienen la Envoltente correspondiente a los momentos para cargas de diseño

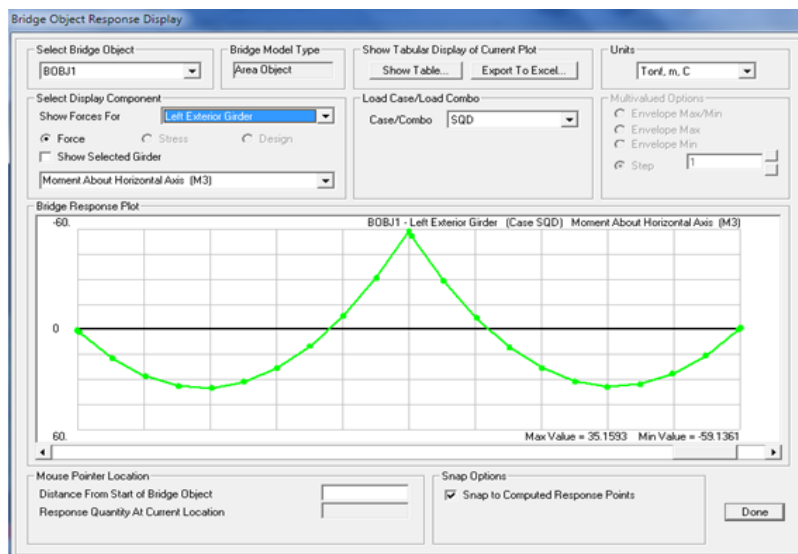
- Análisis por cargas vivas

MOMENTOS CARGA VIVA  
M: 202.5953 T-m  
M:  $q_{equiv} \cdot L^2 / 8$   
 $q_{equiv}$  0.45021 T/m  
 $q_{equiv}$  0.0044166 Kn/mm



- Análisis por cargas muerta

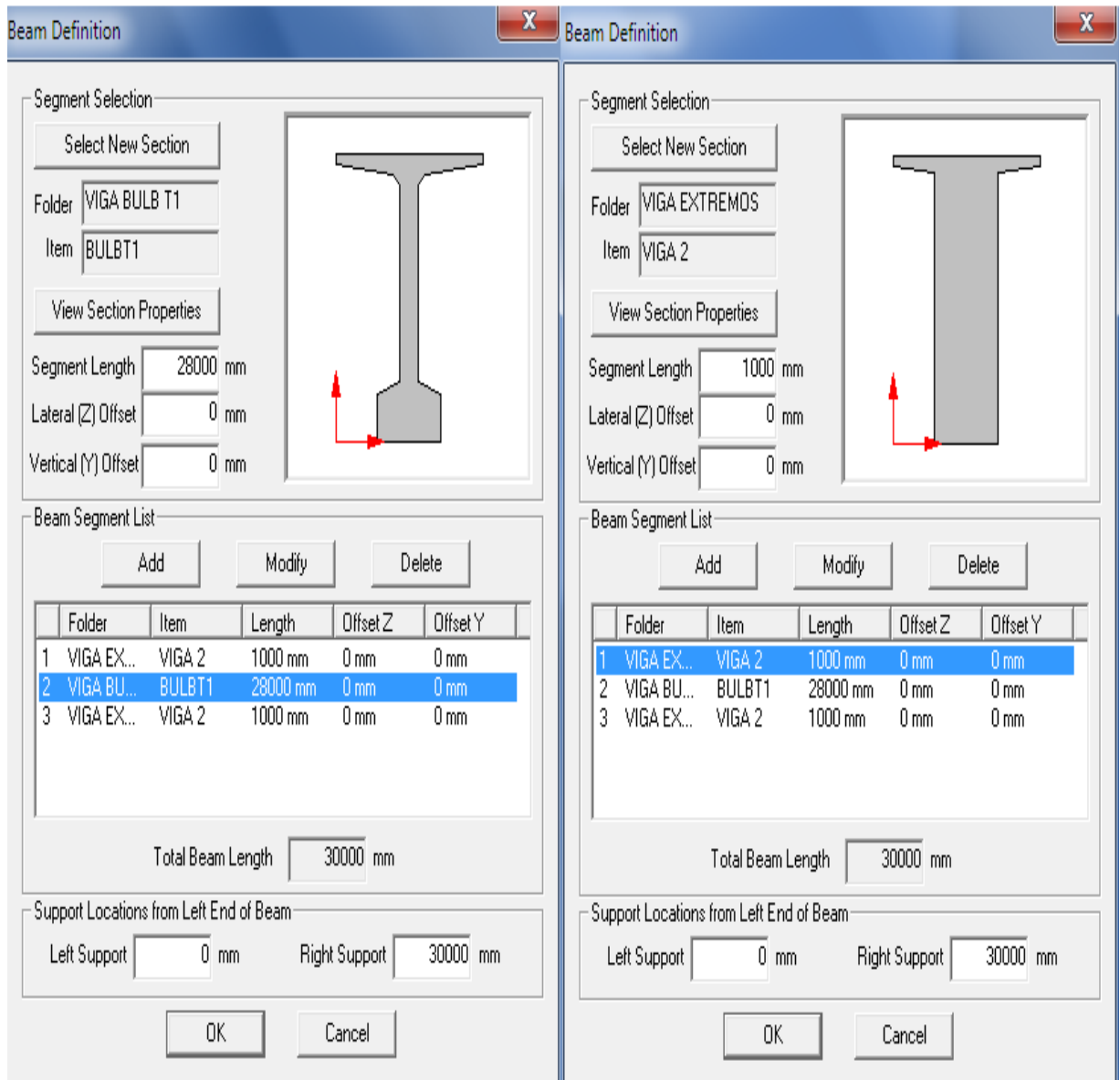
MOMENTOS SQD  
M: 35.1593  
M:  $q_{equiv} \cdot L^2 / 8$   
 $q_{equiv}$  0.07813 T/m  
 $q_{equiv}$  0.0007665 Kn/mm



## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

Se utilizó software CONCISE para el análisis de la viga y se obtienen resultados.

- Detalles de la viga a utilizar en los extremos y transición de la viga en el centro del puente



## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

- Cable de presfuerzo necesarios para resistir las cargas de diseño.

**Prestressing Strands**

Strand Group Details

Number of Strands:

Stress at Lock-off:  (fpi / fpu)

Strand Height at Beam Ends:  mm

Select Strand Material

Folder:   
Item:

Edit Strand Profile to Add Hold-Downs

Select Strand Size

Folder:   
Item:

Debonded End Lengths & Strand Anchorages

Left:  mm  Dead Anchored?

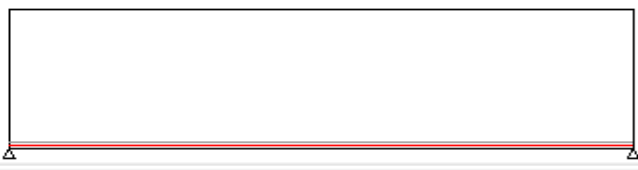
Right:  mm  Dead Anchored?

Add Modify Delete

Section	Material	Quantity	L. Debond	R. Debond	Lock-Off
SWS#13	fpu=186...	11	0 mm	0 mm	0.75 fpu
SWS#13	fpu=186...	11	0 mm	0 mm	0.75 fpu

Show all Strands

OK Cancel



## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

- Pérdidas diferidas e inmediatas de las vigas.

**Loss Parameters**

**Loss Calculation Method**

Detailed Method  
Neville, Dilger, and Brooks,  
"Creep of Plain and Structural  
Concrete", Construction Press,  
London, New York 1983

PCI/ACI Simplified Method  
Zia, Preston, Scott, and Workman,  
"Estimating Concrete Losses",  
Concrete International, V 1, No. 6,  
June 1979

**Concrete Parameters**

Slump  mm

Cement Content  kg/m<sup>3</sup>

Age at Erection  days

Air Content  %

Relative Humidity  %

Fine/Total  
Aggregate Ratio

**Predefined Losses**

Use Predefined Losses

Initial Losses  %

Total Losses  %

**Curing Method**

Moist Cured

Steam Cured

**Prestressing Steel**

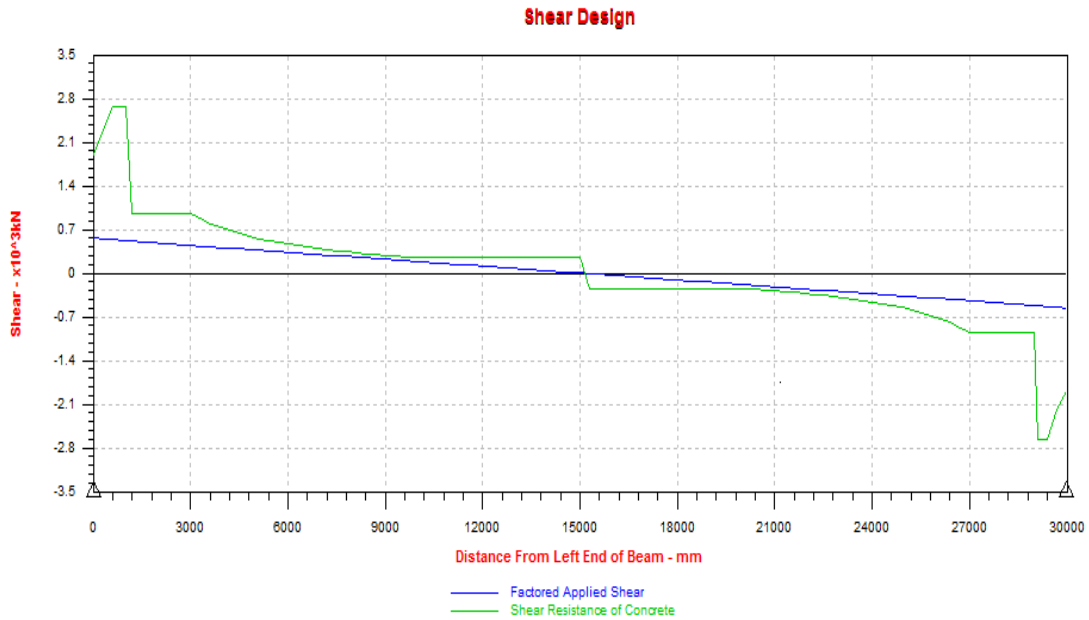
Low Relaxation

Stress Relieved

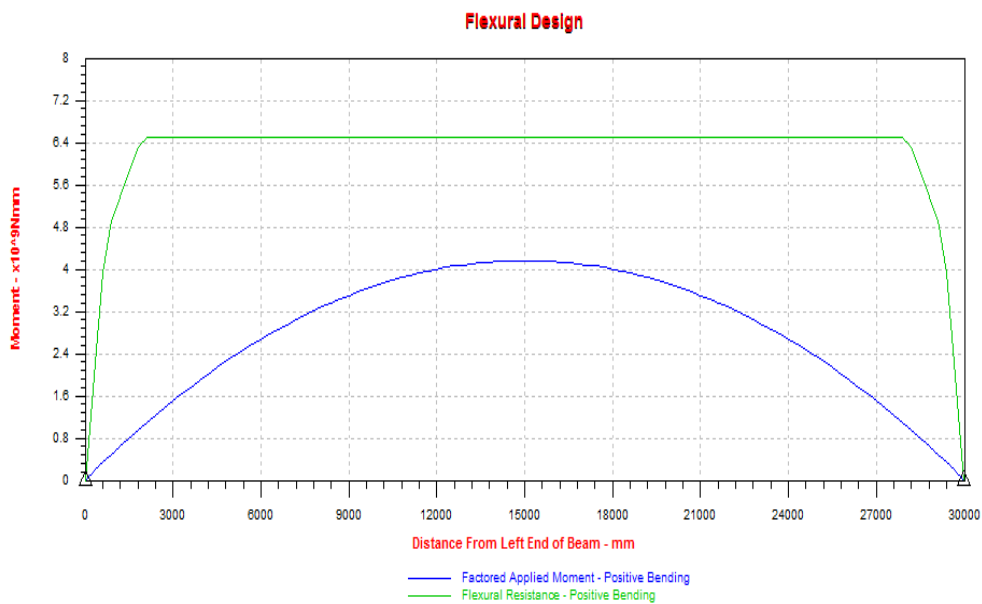
OK Cancel

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

- Resultados
- ✓ Resistencia de cortante de diseño.

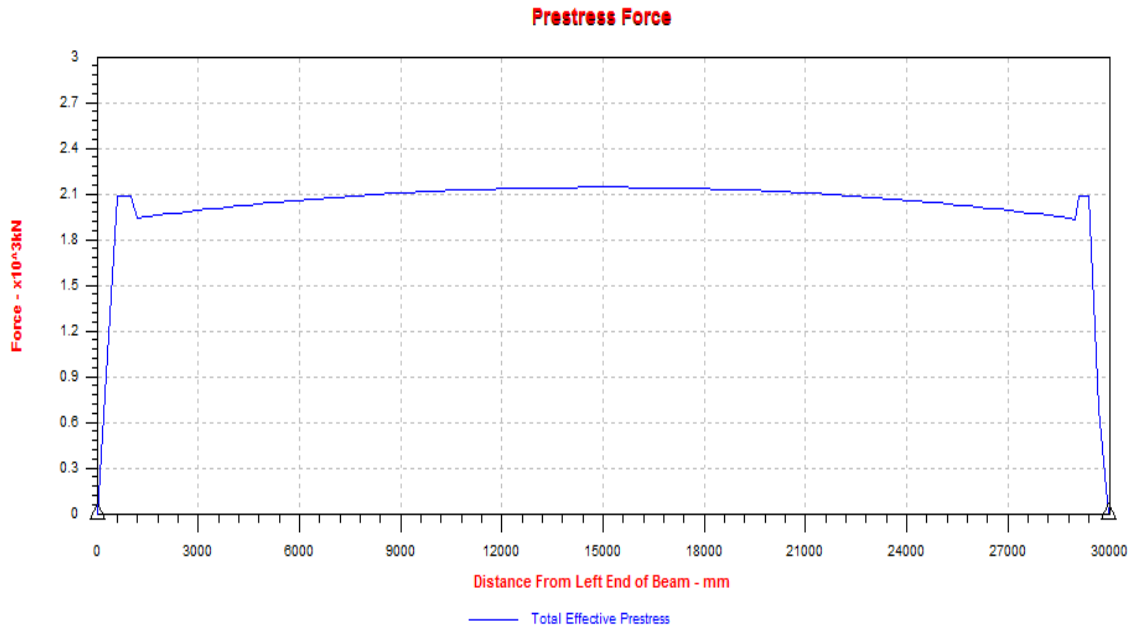


- ✓ Diseño a la flexión

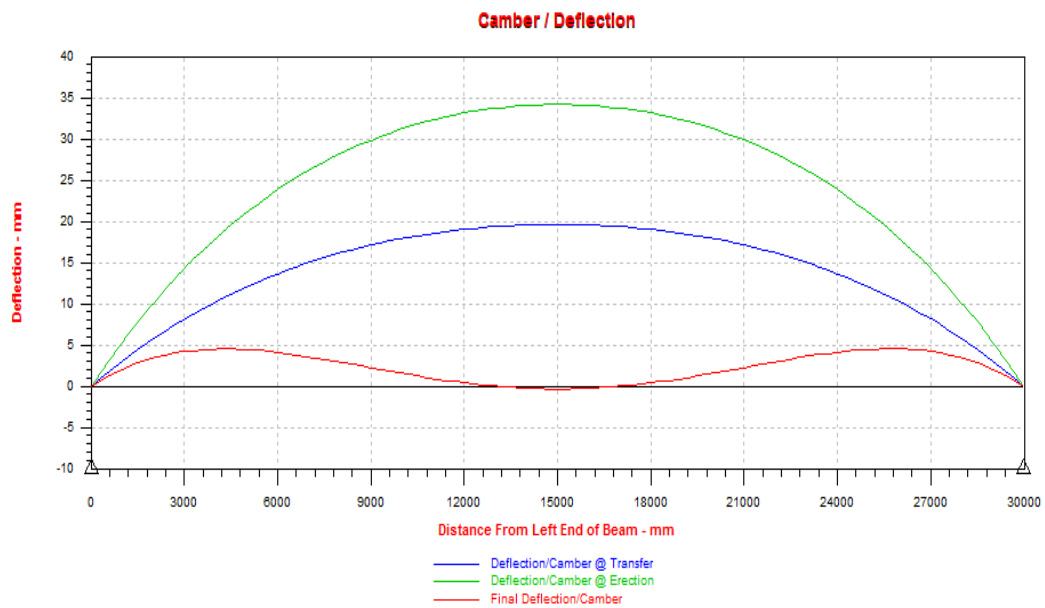


## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

- ✓ Esfuerzo total de presfuerzo

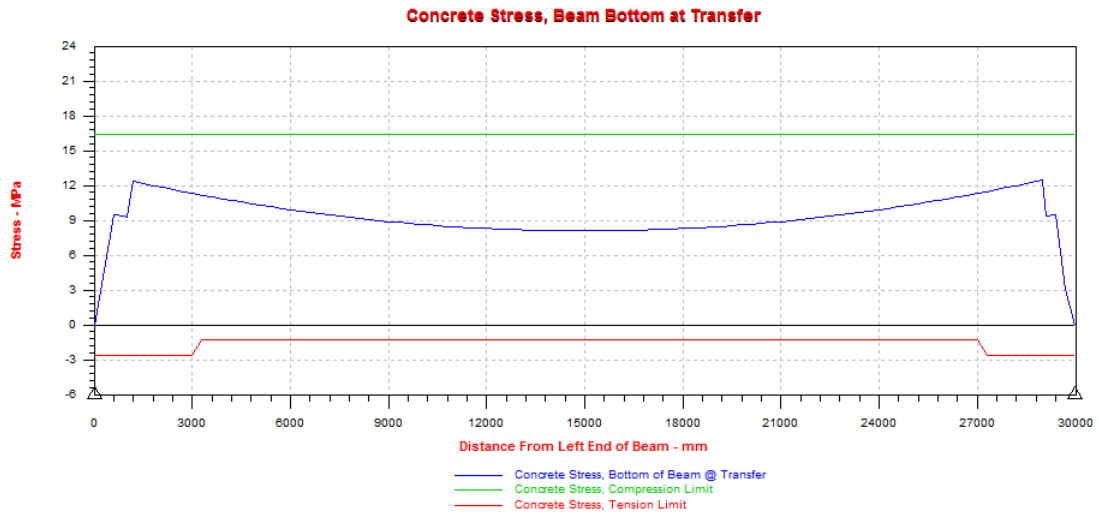


- ✓ Deflexión

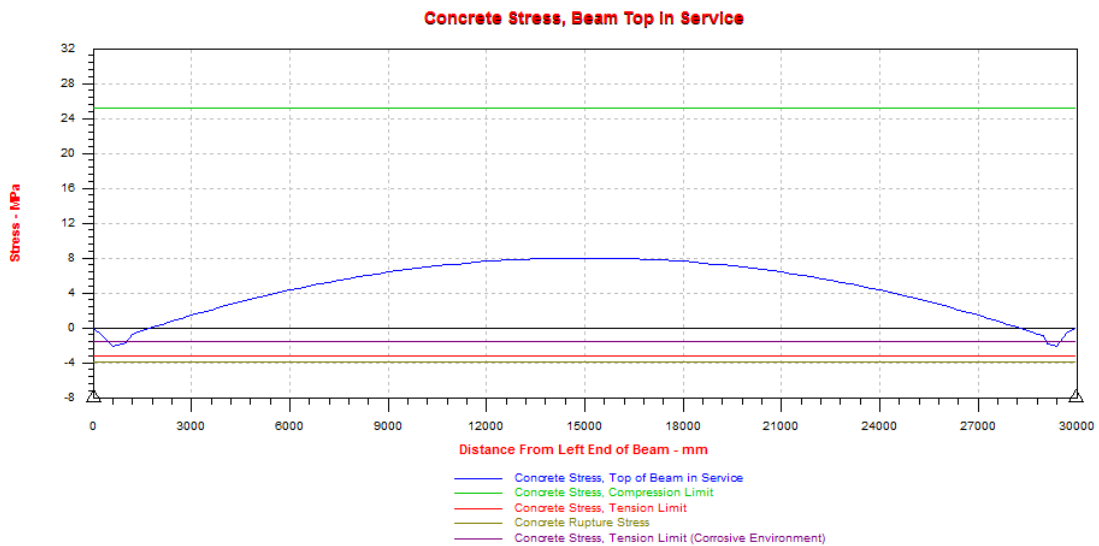


## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

- ✓ Esfuerzo de compresión en el fondo de la viga en etapa de transferencia



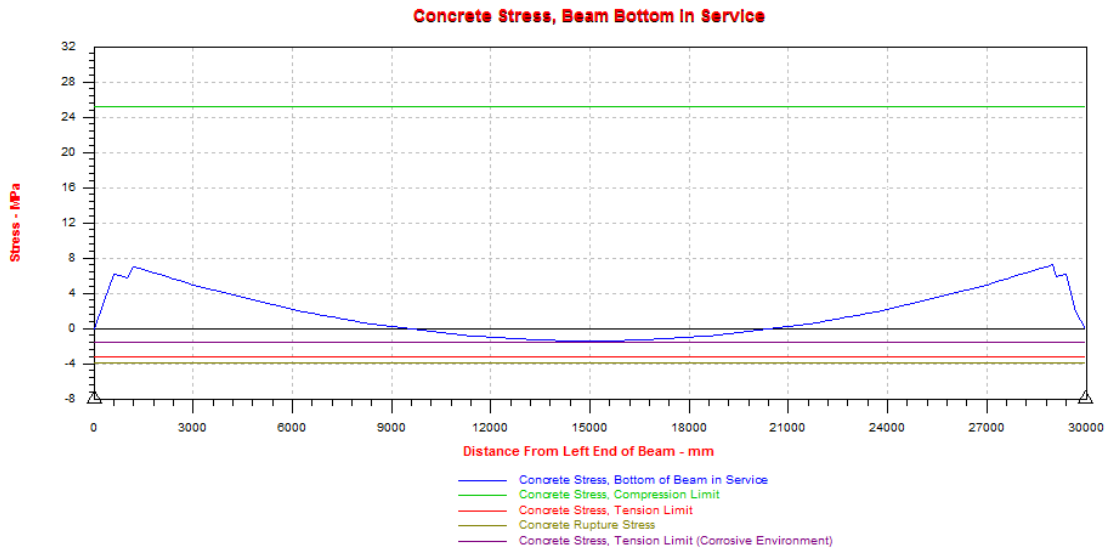
- ✓ Esfuerzo de compresión en la parte superior de la viga en etapa de transferencia



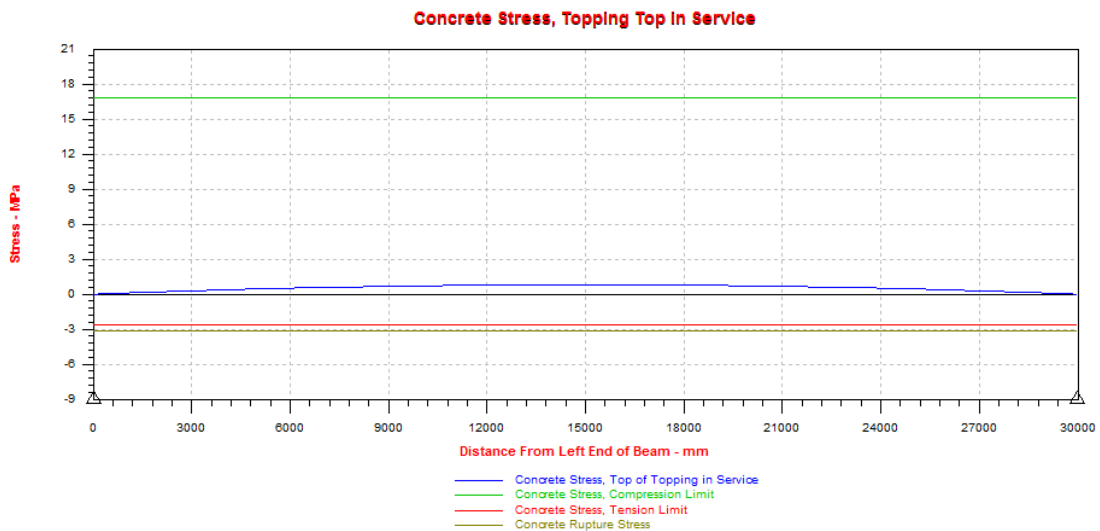


## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

- ✓ Esfuerzo de compresión en el fondo de la viga en etapa de servicio..



- ✓ Esfuerzo de compresión la parte superior de la viga en etapa de servicio



**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

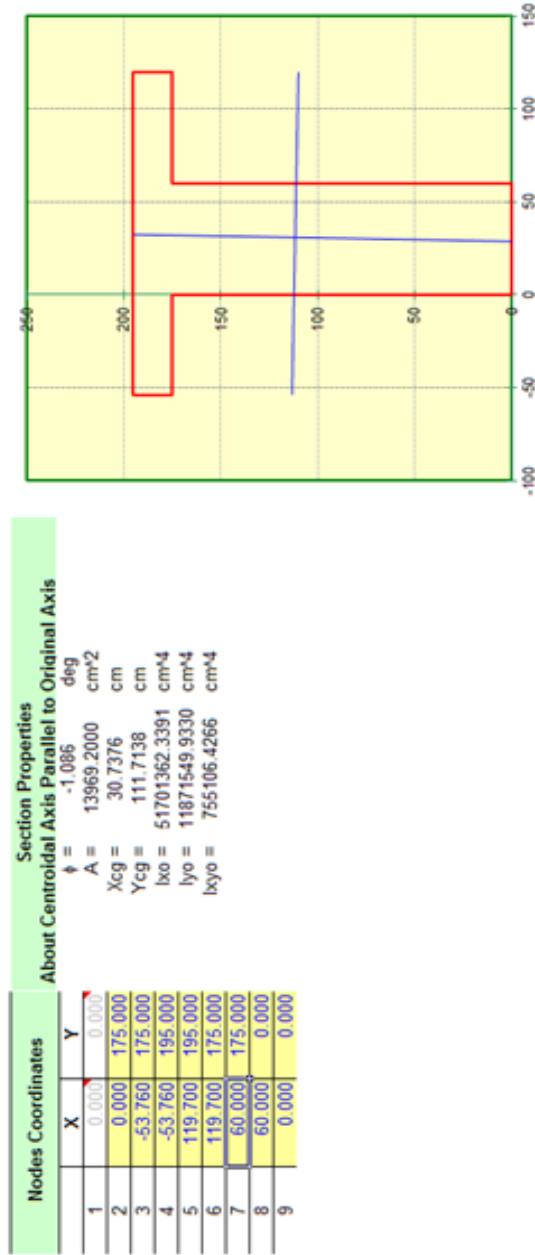
### **3.3.3 DISEÑO DE LA CONTINUIDAD EN VIGAS PRESFORZADAS**

Adicionalmente se calcula la viga T con el fin de simular la continuidad de la viga considerando la siguiente secuencia:

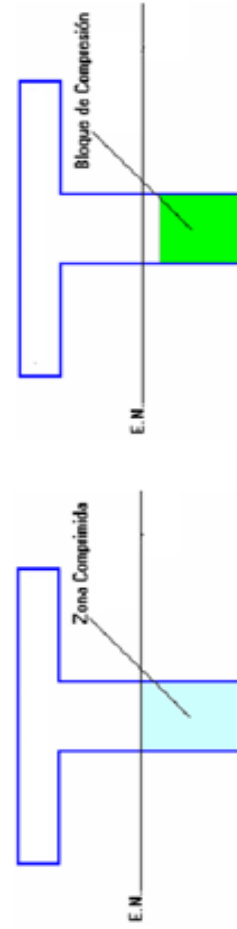
- Determinar la resistencia a la flexión requerida
- Determinar la profundidad de bloque de compresión equivalente, como para una sección rectangular
- Calcular el área de acero requerida
- Verificar la armadura mínima requerida
- Distribución de la armadura.

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

### DIMENSIONES Y PROPIEDADES DE LA VIGA T

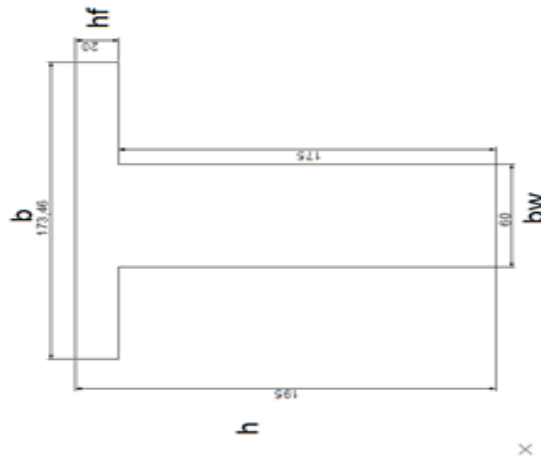


Con las propiedades de la viga T se considera que la viga deberá diseñarse como una viga rectangular cuyo ancho es el ancho del alma, puesto el ancho del bloque de compresión es coincidente con el ancho del alma, y la zona de tracción en el hormigón no tienen ninguna influencia en la capacidad resistente de La sección



**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---



MOMENTOS SAP  
 MSQD= 126.92 Tm  
 MLL= 171.85 Tm  
  
 M: 1.2MSQD+1.6MLL (ACI 318S-11, CAP 9)  
 M TOTAL= 427.25 Tm  
 M PARA UNA VIGA= 106.81 Tm  
 M= 10,681,333.00 Kg/cm

**DIMENSIONES DE LA VIGA**

b= 173.46 cm  
 h 195.00 cm  
 bw 60.00 cm  
 hf 20.00 cm  
 d= 189.00 cm  
 d'= 5.00 cm

Es= 2,100,000.00 Kg/cm<sup>2</sup>  
 F'c= 420.00 Kg/cm<sup>2</sup>  
 F'y= 4,200.00 Kg/cm<sup>2</sup>  
 φ= 0.90

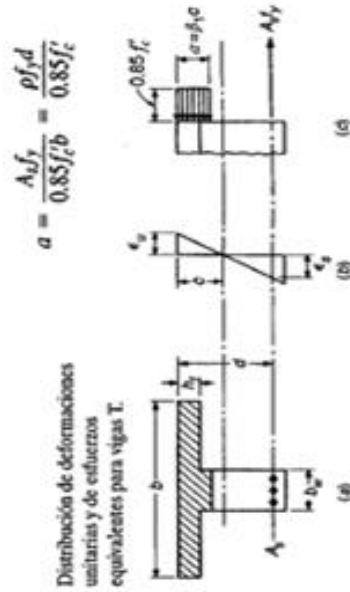
Modulo Elasticidad del concreto  
 Resistencia del concreto  
 Resistencia del acero  
 Factor de reduccion de resistencia

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

Con las condiciones del bloque de compresión y el código ACI 318-05 obtenemos el refuerzo para la viga.

$$\rho^b = 0.85 \beta_1 \frac{f_c}{f_y} \left( \frac{0.003 \epsilon_s}{0.003 \epsilon_s + f_y} \right) \quad \text{Cuanría de acero a tensión mínima}$$

Cuanría mínima permitida  $\rho_{min} = 14/f_y$  Cuanría máxima permitida  $\rho_{max} = 0.75 \rho_b$   
 $\rho_{min} = 0.0033$   $\rho_{max} = 0.03$   
 $\rho_b = 0.04$



Profundidad del Bloque de esfuerzos

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f_c' b}$$

Área de acero de refuerzo  $A_s = \rho_{max} b d$   $c = \frac{a}{\beta_1}$   
 $A_s = 325.32 \text{ cm}^2$   $c = 85.05 \text{ cm}$

Momento nominal

$$M_n = A_s f_y \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$M_n = 214,658,707.63 \text{ Kg-cm}$

$$M_1 = \frac{M_u}{\phi} - M_2$$

$M_1 = -202,790,559.85 \text{ Kg-cm}$   $M_1 =$  No necesita A's

**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

$\rho_{min} =$	$14/f_y$	$\rho_b = 0.85 B_1 \frac{f_c}{f_y} \left( \frac{0.003 \xi}{0.003 \xi + f_y} \right)$	$\rho_{max} =$	$0.75 \rho_b$
$\rho_{min} =$	0.0033	0.04	$\rho_{max} =$	0.03
<b>Cuantía balanceada</b>				
$\rho =$	$\frac{\rho_{min} + \rho_{max}}{2}$	$\rho = 0.02$	$A_s =$	$\rho_{max} \cdot b \cdot d$
$a =$	$\frac{A_s f_y}{0.85 f' c b}$	$a = 325.32$	$S =$	32.00
			$A_{sv} =$	2.47
				8.04
		$\rho_b = 0.85 B_1 \frac{f_c}{f_y} \left( \frac{0.003 \xi}{0.003 \xi + f_y} \right)$	$c =$	85.05
$M_u =$	$\phi \cdot f_c \cdot b \cdot d^2 \cdot w \cdot (1 + 0.59w)$	$\phi =$	0.90	
$0.59 \cdot w^2 - w + \frac{M_u}{\phi \cdot f_c \cdot b \cdot d^2} = 0$		$f_c =$	420.00 Kg/cm <sup>2</sup>	
$0.59w^2 - w +$	0.01 = 0	$b =$	60.00 cm	
$w =$	0.01	$d =$	189.00 cm	
$\rho =$	$w \cdot f_c / f_y$	$\rho_{min}$	usar $\rho_{min}$	
$\rho =$	0.00 s	$\phi =$	28.00 mm	
$A_s =$	$\rho \cdot b \cdot d$	$S =$	16.29 cm	
$A_s =$	37.80	$A_{sv} =$	6.16 cm <sup>2</sup>	
			$\phi 28 @ 16$ cm.	

## **CAPITULO 4. ANALISIS Y DISEÑO DE PILAS CON APOYOS ELASTOMERICO DE NEOPRENO CON PLACAS DE ACERO.**

### ***4.1 DISEÑO DEL APOYO ELASTOMERICO CON PLACAS DE ACERO***

Para el diseño de los apoyos elastoméricos de neoprenos con placas de acero se utilizó las especificaciones del código sísmico **AASHTO Standard Specifications For Highway Bridge (Isolation)** obteniendo:

Diseño con ayuda del software Mathcad y el detalle de los cálculos se define:

- Parámetros de diseño de los apoyos elastoméricos.
- Propiedades del elastómero
- Geometría
- Esfuerzo a la compresión
- Deflexiones provocadas por la compresión
- Cortante
- Rotación y combinación de Compresión y Rotación
- Estabilidad
- Refuerzo
- Esfuerzo de diseño para los apoyos
- Determinación de la rigidez traslacional vertical y horizontal de los apoyos de neopreno con placa de acero.

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### REACCIONES SOBRE APOYOS

WD:	89.49 T	CARGA MUERTA
WL:	53.43 T	CARGA VIVA
WSQD:	43.1 T	CARGA SUPERIMPUESTA

PDL:	132.59 T	PDL:	291.70 KIPS
PDL:	CM+SQD	PDL:	CM+SQD
PLL:	53.43 T	PLL:	117.55 KIPS

### DEFORMACION POR CORTE DEL APOYO $\Delta$

H:	0.20WD
H:	26.52 T
t:	2.36 pg
t:	6.0 cm
t > 10 cm	
t:	10.0 cm

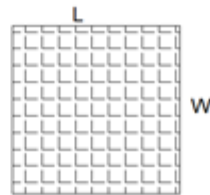
#### Area del Elastomero

L:	70 cm
W:	70 cm
A:	4900 cm

#### Modulo minimo de corte:

$G$ :	130 psi
$G$ :	14 kg/cm <sup>2</sup>

$\Delta$ :	(H*t)/(A*G)
$\Delta$ :	3.87 cm
$\Delta$ :	1.52 in





**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

**AISLACION SISMICA DE PUENTES  
METODO: ELASTOMERO**

**Unidades de conversión y constantes:**

$\frac{\text{kip}}{1000} := 1000\text{-lbf}$     and     $\frac{\text{ksi}}{1000} := 1000\text{-psi}$

Factor de Modificación de capas de interna de los apoyos reforzados,  $\beta_i := 1.0$

Factor de Modificación de capas de externa de los apoyos reforzados,  $\beta_e := 1.4$

**Parámetros de diseño:**

Carga muerta del apoyo,  $P_{dl} := 291.7\text{-kip}$     and    Carga viva del apoyo,  $P_{ll} := 117.55\text{-kip}$

Carga total sobre el apoyo,  $P_{ll} := P_{dl} + P_{ll}$     or     $P_{ll} = 409.3\text{-kip}$

Esfuerzo a la fluencia del acero de refuerzo  $F_y := 36\text{-ksi}$

Esfuerzo permisible  $F_{sr} := 24\text{-ksi}$  (from AASHTO Table 10.3.1A for a Nonredundant Load Path Structure)

Deformación de corte del apoyo en una dirección  $\Delta_s := 1.52\text{-in}$

La rotación relativa de las superficies superior e inferior del apoyo debido a la carga total

$\theta_{ll} := 0.037\text{-deg}$     o     $\theta_{ll} = 0.00065\text{-rad}$

**Elastomer Properties (from AASHTO Table 14.3.1): Para dureza SHORE 60 :**

Módulo mínimo de cortante,  $G_{min} := 130\text{-psi}$     and    Módulo máximo de cortante,  $G_{max} := 200\text{-psi}$

Constante dependiente a la dureza del elastómero,  $k := 0.60$

Relación entre la deflexión de fluencia a los 25 años de la deflexión instantánea,  $Creep\_to\_Instant := 0.35$

**Geometry:**

Dimensión del apoyo longitudina al eje axial,  $\frac{L}{12} := 27.56\text{-in}$

Dimensión del apoyo paralelo al eje axial,  $\frac{W}{12} := 27.56\text{-in}$

Número total de placas de elastómero (2 capas externas + capas internas),  $N_{elastomer} := 5$

Numero Total de placas de acero (2 capas externas + capas internas),

$N_{steel} := N_{elastomer} - 1$     or     $N_{steel} = 4$

Espesor de la capa externa del elastómero  $h_{re} := 0.787\text{-in}$

Espesor de la capa interna del elastómero,  $h_{ri} := 0.787\text{-in}$

Espesor total del elastómero,  $h_{rt} := 2 \cdot h_{re} + (N_{elastomer} - 2) \cdot h_{ri}$     or     $h_{rt} = 3.935\text{-in}$

Espesor de la capa externa de acero  $h_{sc} := 0.157\text{-in}$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

Espesor de la capa interna de acero  $h_{si} := 0.157 \text{ in}$   
 Espesor total del acero,  $h_{st} := 2 \cdot h_{sc} + (N_{steel} - 2) \cdot h_{si}$  or  $h_{st} = 0.628 \text{ in}$   
 Espesor Total del apoyo,  $h_t := h_{ri} + h_{st}$  or  $h_t = 4.563 \text{ in}$   $h_t = 11.59 \text{ cm}$

Factor de forma para una de las capas internas del apoyo,

$$S_i := \frac{L \cdot W}{2 \cdot h_{si} \cdot (L + W)} \quad \text{or} \quad S_i = 8.755 \quad (\text{AASHTO 14.2})$$

Factor de forma para una de las capas externas del apoyo,

$$S_e := \frac{L \cdot W}{2 \cdot h_{se} \cdot (L + W)} \quad \text{or} \quad S_e = 8.755 \quad (\text{AASHTO 14.2})$$

**Esfuerzo a la compresión (AASHTO 14.4.2.1):**

$$\sigma_{ri} := \frac{P_{ri}}{W \cdot L} \quad \text{or} \quad \sigma_{ri} = 154.8 \text{ psi} \quad \text{and}$$

$$\sigma_{di} := \frac{P_{di}}{W \cdot L} \quad \text{or} \quad \sigma_{di} = 384 \text{ psi} \quad \text{and} \quad \sigma_{il} := \frac{P_{il}}{W \cdot L} \quad \text{or} \quad \sigma_{il} = 538.8 \text{ psi}$$

Límites de esfuerzo a la compresión para capas internas sujeto deformaciones por cortante

$$\sigma_{il\_max} = \text{el mínimo de } \frac{1660 \text{ psi}}{\beta_i} = 1889.3 \text{ psi}$$

$$\text{or} \quad \sigma_{il\_max} := \text{if} \left( 1660 \text{ psi} < \frac{1.66 \cdot G_{min} \cdot S_i}{\beta_i}, 1660 \text{ psi}, \frac{1.66 \cdot G_{min} \cdot S_i}{\beta_i} \right)$$

$$\text{or} \quad \sigma_{il\_max} = 1660 \text{ psi} \geq \sigma_{il} = 538.8 \text{ psi} \quad \text{OK!}$$

$$\sigma_{il\_max} := \frac{0.66 \cdot G_{min} \cdot S_i}{\beta_i} \quad \text{or} \quad \sigma_{il\_max} = 751.2 \text{ psi} \geq \sigma_{il} = 154.8 \text{ psi} \quad \text{OK!}$$

Límites de esfuerzo a la compresión para capas externas sujeto deformaciones por cortante

$$\sigma_{ie\_max} = \text{el mínimo de } \frac{1660 \text{ psi}}{\beta_e} = 1349.5 \text{ psi}$$

$$\text{or} \quad \sigma_{ie\_max} := \text{if} \left( 1660 \text{ psi} < \frac{1.66 \cdot G_{min} \cdot S_e}{\beta_e}, 1660 \text{ psi}, \frac{1.66 \cdot G_{min} \cdot S_e}{\beta_e} \right)$$

**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

or  $\sigma_{ij\_max} = 1349.5\text{-psi} \geq \sigma_{ij} = 538.8\text{-psi}$  **OK!**

$$\sigma_{ij\_max} := \frac{0.66 \cdot G_{min} \cdot S_c}{\beta_c} \quad \text{or} \quad \sigma_{ij\_max} = 536.5\text{-psi} \geq \sigma_{ij} = 154.8\text{-psi} \quad \text{OK!}$$

Límites de esfuerzo a la compresión para capas internas contra deformaciones por cortante

$$\sigma_{ij\_max} = \text{el mínimo de} \quad \begin{matrix} 1660\text{-psi} \\ \frac{2.0 \cdot G_{min} \cdot S_i}{\beta_i} = 2276.2\text{-psi} \end{matrix}$$

or  $\sigma_{ij\_max} := \text{if} \left( 1660\text{-psi} < \frac{2.0 \cdot G_{min} \cdot S_i}{\beta_i}, 1660\text{-psi}, \frac{2.0 \cdot G_{min} \cdot S_i}{\beta_i} \right)$

or  $\sigma_{ij\_max} = 1660\text{-psi} \geq \sigma_{ij} = 538.8\text{-psi}$  **OK!**

$$\sigma_{ij\_max} := \frac{1.0 \cdot G_{min} \cdot S_i}{\beta_i} \quad \text{or} \quad \sigma_{ij\_max} = 1138.1\text{-psi} \geq \sigma_{ij} = 154.8\text{-psi} \quad \text{OK!}$$

Límites de esfuerzo a la compresión para capas externas contra deformaciones por cortante

$$\sigma_{ij\_max} = \text{el mínimo de} \quad \begin{matrix} 1660\text{-psi} \\ \frac{2.0 \cdot G_{min} \cdot S_c}{\beta_c} = 1625.9\text{-psi} \end{matrix}$$

or  $\sigma_{ij\_max} := \text{if} \left( 1660\text{-psi} < \frac{2.0 \cdot G_{min} \cdot S_c}{\beta_c}, 1660\text{-psi}, \frac{2.0 \cdot G_{min} \cdot S_c}{\beta_c} \right)$

o  $\sigma_{ij\_max} = 1625.9\text{-psi} \geq \sigma_{ij} = 538.8\text{-psi}$  **OK!**

$$\sigma_{ij\_max} := \frac{1.0 \cdot G_{min} \cdot S_c}{\beta_c} \quad \text{or} \quad \sigma_{ij\_max} = 812.9\text{-psi} \geq \sigma_{ij} = 154.8\text{-psi} \quad \text{OK!}$$

**Deflección a la compresión (AASHTO 14.4.2.2):**

Módulo Efectivo de compresión en capas internas del elastómero

$$E_i := 3 \cdot G_{max} \cdot (1 + 2 \cdot k \cdot S_i^2) \quad \text{or} \quad E_i = 55.8\text{-ksi}$$

Módulo efectivo de compresión en capas externas del elastómero

$$E_c := 3 \cdot G_{max} \cdot (1 + 2 \cdot k \cdot S_c^2) \quad \text{or} \quad E_c = 55.8\text{-ksi}$$

Deflección instantánea debido a la carga viva,

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

$$\Delta_{II} := 2 \cdot h_{rc} \cdot \frac{\sigma_{II}}{E_c} + (N_{elastomer} - 2) \cdot h_{ri} \cdot \frac{\sigma_{II}}{E_i} \quad \text{or} \quad \Delta_{II} = 0.01092 \cdot \text{in}$$

Deflección Long-Term debido a la carga viva

$$\Delta_{II\_long} := \Delta_{II} \cdot \text{Creep\_to\_Instant} \quad \text{or} \quad \Delta_{II\_long} = 0.00382 \cdot \text{in}$$

Deflección instantánea debido a la carga muerta

$$\Delta_{dI} := 2 \cdot h_{rc} \cdot \frac{\sigma_{dI}}{E_c} + (N_{elastomer} - 2) \cdot h_{ri} \cdot \frac{\sigma_{dI}}{E_i} \quad \text{or} \quad \Delta_{dI} = 0.02709 \cdot \text{in}$$

Deflección Long-Term debido a la carga muerta

$$\Delta_{dI\_long} := \Delta_{dI} \cdot \text{Creep\_to\_Instant} \quad \text{or} \quad \Delta_{dI\_long} = 0.00948 \cdot \text{in}$$

Deflección total Instantánea  $\Delta_c := \Delta_{II} + \Delta_{dI} \quad \text{or} \quad \Delta_c = 0.03801 \cdot \text{in}$

Deflección total  $\Delta_{c\_long} := \Delta_{II\_long} + \Delta_{dI\_long} \quad \text{or} \quad \Delta_{c\_long} = 0.0133 \cdot \text{in}$

**Cortante (AASHTO 14.4.2.3):**

Espesor total del apoyo de elastómero ,  $h_{t1} = 3.935 \cdot \text{in} \geq 2 \cdot \Delta_c = 3.04 \cdot \text{in}$  OK!

**Rotación y combinación de compresión y rotación (AASHTO 14.4.2.4):**

Rotación relativa de la superficie superior e inferior del apoyo  $\theta_{dI} = 0.00065 \cdot \text{rad} \leq \frac{2 \cdot \Delta_c}{L} = 0.1103 \cdot \text{rad}$  OK!  
 and  $\theta_{dI} = 0.00065 \cdot \text{rad} \leq \frac{2 \cdot \Delta_s}{W} = 0.1103 \cdot \text{rad}$  OK!

Límites de esfuerzo a la compresión de capas internas sujetas deformaciones por cortante

$$\sigma_{II\_max} := \frac{1.66 \cdot G_{min} \cdot S_i}{\beta_i \cdot \left( 1 + \frac{L \cdot \theta_{dI}}{4 \cdot \Delta_c} \right)} \quad \text{or} \quad \sigma_{II\_max} = 1691.3 \cdot \text{psi} \geq \sigma_{II} = 538.8 \cdot \text{psi} \quad \text{OK!}$$

Límites de esfuerzo a la compresión de capas externas sujetas deformaciones por cortante -

$$\sigma_{dI\_max} := \frac{1.66 \cdot G_{min} \cdot S_c}{\beta_c \cdot \left( 1 + \frac{L \cdot \theta_{dI}}{4 \cdot \Delta_c} \right)} \quad \text{or} \quad \sigma_{dI\_max} = 1208.1 \cdot \text{psi} \geq \sigma_{dI} = 538.8 \cdot \text{psi} \quad \text{OK!}$$

Límites de esfuerzo a la compresión de capas internas contra deformaciones por cortante

**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

$$\sigma_{d,max} = \frac{2.0 \cdot G_{min} \cdot S_i}{\beta_C \left( 1 + \frac{L \cdot \theta_{dl}}{4 \cdot \Delta_C} \right)} \quad \text{or} \quad \sigma_{d,max} = 2037.7 \text{ psi} \geq \sigma_{dl} = 538.8 \text{ psi} \quad \text{OK!}$$

Límites de esfuerzo a la compresión de capas externas contra deformaciones por cortante

$$\sigma_{d,max} = \frac{2.0 \cdot G_{min} \cdot S_c}{\beta_C \left( 1 + \frac{L \cdot \theta_{dl}}{4 \cdot \Delta_C} \right)} \quad \text{or} \quad \sigma_{d,max} = 1455.5 \text{ psi} \geq \sigma_{dl} = 538.8 \text{ psi} \quad \text{OK!}$$

**Estabilidad (AASHTO 14.4.2.5):**

Límites de esfuerzo a la compresión para capas internas si el puente es libre de traslación horizontalmente

$$\sigma_{d,max} = \frac{G_{min}}{\frac{3.84 \cdot \frac{h_r}{L}}{S_i \sqrt{1 + 2 \cdot \frac{L}{W}}} - \frac{2.67}{S_i (S_i + 2) \left( 1 + \frac{L}{4 \cdot W} \right)}}$$

or  $\sigma_{d,max} = 9650.3 \text{ psi}$  use  $\sigma_{d,max} = |\sigma_{d,max}|$

$$\sigma_{d,max} = 9650.3 \text{ psi} \geq \sigma_{dl} = 538.8 \text{ psi} \quad \text{OK!}$$

Límites de esfuerzo a la compresión para capas externas si el puente es libre de traslación horizontalmente

$$\sigma_{d,max} = \frac{G_{min}}{\frac{3.84 \cdot \frac{h_r}{L}}{S_c \sqrt{1 + 2 \cdot \frac{L}{W}}} - \frac{2.67}{S_c (S_c + 2) \left( 1 + \frac{L}{4 \cdot W} \right)}}$$

or  $\sigma_{d,max} = 9650.3 \text{ psi}$  use  $\sigma_{d,max} = |\sigma_{d,max}|$

$$\sigma_{d,max} = 9650.3 \text{ psi} \geq \sigma_{dl} = 538.8 \text{ psi} \quad \text{OK!}$$

Límites de esfuerzo a la compresión para capas internas si el puente es libre de traslación horizontalmente

**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

$$\sigma_{allow} = \frac{G_{min}}{\frac{1.92 \frac{h_n}{L}}{S_c \sqrt{1 + 2 \frac{L}{W}}} - \frac{2.67}{S_c (S_c + 2) \left(1 + \frac{L}{4W}\right)}}$$

or  $\sigma_{fl\_max} = -28215.3 \cdot \text{psi}$  use  $\sigma_{allow} := |\sigma_{fl\_max}|$

$$\boxed{\sigma_{fl\_max} = 28215.3 \cdot \text{psi}} \geq \boxed{\sigma_{fl} = 538.8 \cdot \text{psi}} \quad \boxed{\text{OK!}}$$

Limites de esfuerzo a la compresión para capas externas si el puente es libre de tracción horizontalmente

$$\sigma_{allow} = \frac{G_{min}}{\frac{1.92 \frac{h_n}{L}}{S_c \sqrt{1 + 2 \frac{L}{W}}} - \frac{2.67}{S_c (S_c + 2) \left(1 + \frac{L}{4W}\right)}}$$

or  $\sigma_{fl\_max} = -28215.3 \cdot \text{psi}$  use  $\sigma_{allow} := |\sigma_{fl\_max}|$

$$\boxed{\sigma_{fl\_max} = 28215.3 \cdot \text{psi}} \geq \boxed{\sigma_{fl} = 538.8 \cdot \text{psi}} \quad \boxed{\text{OK!}}$$

**Refuerzo (AASHTO 14.4.2.5):**

Espesor mínimo de acero para capas internas

$$h_{s\_min} = \text{máximo de } \left[ \frac{1.5(h_n + h_n) \cdot \sigma_{fl}}{F_y} = 0.03534 \cdot \text{in} \right. \\ \left. \frac{1.5(h_n + h_n) \cdot \sigma_{fl}}{F_{sr}} = 0.01522 \cdot \text{in} \right]$$

or  $h_{s\_min} := \text{if} \left[ \frac{1.5(h_n + h_n) \cdot \sigma_{fl}}{F_y} > \frac{1.5(h_n + h_n) \cdot \sigma_{fl}}{F_{sr}}, \frac{1.5(h_n + h_n) \cdot \sigma_{fl}}{F_y}, \frac{1.5(h_n + h_n) \cdot \sigma_{fl}}{F_{sr}} \right]$

$$\boxed{h_{s\_min} = 0.03534 \cdot \text{in}} \leq \boxed{h_w = 0.157 \cdot \text{in}} \quad \boxed{\text{OK!}}$$

Espesor mínimo de acero para capas exteriores

$$h_{s\_min} = \text{máximo de } \left[ \frac{1.5(h_{re} + h_{ri}) \cdot \sigma_{fl}}{F_y} = 0.03534 \cdot \text{in} \right. \\ \left. \frac{1.5(h_{re} + h_{ri}) \cdot \sigma_{fl}}{F_{sr}} = 0.01522 \cdot \text{in} \right]$$

**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

$$\text{or } h_{s, \text{min}} := \text{if} \left[ \frac{1.5 \cdot (h_{rc} + h_n) \cdot \sigma_{II}}{F_y} > \frac{1.5 \cdot (h_{rc} + h_n) \cdot \sigma_{II}}{F_{sr}}, \frac{1.5 \cdot (h_{rc} + h_n) \cdot \sigma_{II}}{F_y}, \frac{1.5 \cdot (h_{rc} + h_n) \cdot \sigma_{II}}{F_{sr}} \right]$$

$$h_{s, \text{min}} = 0.03534 \cdot \text{in} \leq h_{sc} = 0.157 \cdot \text{in} \quad \boxed{\text{OK!}}$$

**Fuerza de diseño para la estructura de soporte (AASHTO 14.6):**

Fuerza de Corte asumiendo que no hay aparatos de deslizamientos positivos (AASHTO 14.6.1):

$$H_w := \frac{G_{\text{max}}(W \cdot L) \cdot \Delta_s}{h_n} \quad \text{or} \quad \boxed{H = 58.7 \cdot \text{kip}} \quad H = 26.617 \times 10^3 \text{ kgf}$$

Momento (AASHTO 14.6.2):

$$I := \frac{W \cdot L^3}{12} \quad \text{or} \quad I = 48076.8 \cdot \text{in}^4$$

$$M := \frac{(0.5 \cdot E_c) \cdot I \cdot \theta_{II}}{h_n} \quad \text{or} \quad M = 18.3 \cdot \text{kip} \cdot \text{ft}$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### APOYOS DE NEOPRENO : RESORTES EQUIVALENTES

Determinación de la rigidez traslacional de los neoprenos :

En cada estribo y bajo cada arco , se situarán apoyos de neopreno ( Dureza SHORE 60 ) reforzados con láminas de acero A36.

1.- Rigidez traslacional horizontal :

Las dimensiones consideradas no incluyen el recubrimiento lateral de las placas.

$$G_b := 165 \text{ psi} \quad \text{Modulo cortante}$$

$$L_b := 27.56 \text{ in} \quad \text{Dimensión del apoyo en el sentido del puente.}$$

$$W_b := 27.56 \text{ in} \quad \text{Dimensión del apoyo en el sentido transversal del puente.}$$

$$A_b := L_b \cdot W_b \quad A_b = 759.554 \text{ in}^2 \quad \text{Area del apoyo}$$

$$h_t := 4.563 \text{ in} \quad h_t = \text{Altura total del apoyo}$$

$$h_b := 3.933 \text{ in} \quad \text{Altura del elastómero del apoyo}$$

$$\Delta_b := 1 \text{ in} \quad \text{Suponiendo una deformación horizontal unitaria}$$

$$\gamma_b := \frac{\Delta_b}{h_b} \quad \gamma_b = 0.254 \quad \text{Deformación por corte del apoyo. Las placas de refuerzo no participan}$$

$$v_b := G_b \cdot \gamma_b \quad v_b = 41.931 \text{ psi} \quad \text{Esfuerzo de corte}$$

$$V_b := v_b \cdot A_b \quad V_b = 3.185 \cdot 10^4 \text{ lbs}$$

$$k_{tr} := \frac{V_b}{\Delta_b} \quad k_{tr} = 3.185 \cdot 10^4 \frac{\text{lbs}}{\text{in}}$$

$$k_{tr} := \frac{k_{tr}}{(2.2 \cdot 1000) \cdot 2.54 \cdot 0.01} \quad k_{tr} = 569.956 \frac{\text{Ton}}{\text{m}}$$

Rigidez traslacional vertical de los apoyos :

$$h_{\text{layer}} := 0.787 \text{ in} \quad \text{Altura de cada capa de elastómero}$$

Reacción total en cada viga :  $W_{\text{tot}}$

$$W_{\text{tot}} := 409300 \text{ lbs}$$

$$\sigma_b := \frac{W_{\text{tot}}}{A_b} \quad \sigma_b = 538.869 \text{ psi} \quad \text{Esfuerzo de compresión en cada neopreno.}$$



**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

$$SF := \frac{Lb \cdot Wb}{2 \cdot h_{layer} \cdot (Lb + Wb)} \quad \boxed{SF = 8.755} \quad \text{Factor de forma}$$

En Figura 14.4.1.2b de AASHTO, con  $\sigma_b$  y SF :

$$\boxed{ec = 0.02} \quad \text{Deformación unitaria a compresión}$$

$$Eb := \frac{\sigma_b}{ec} \quad Eb = 2.694 \cdot 10^4 \quad \text{psi} \quad \text{Módulo equivalente de Young}$$

$$Ebm := Eb \cdot 0.07 \cdot 10 \quad Ebm = 1.886 \cdot 10^4 \quad \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}$$

$$k_{vert} := Ab \cdot \frac{Eb}{hb} \quad k_{vert} = 5.201 \cdot 10^6 \quad \frac{\text{lbs}}{\text{in}} \quad \text{Rigidez vertical}$$

$$k_{vert} := \frac{k_{vert}}{2.2 \cdot 1000 \cdot 2.54 \cdot 0.01}$$

$$\boxed{k_{vert} = 93070.19} \quad \frac{\text{Ton}}{\text{m}}$$

## **"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

### ***4.2 MODELAMIENTO DE LAS PILAS SAP***

Con la ayuda del software SAP 2000 procedemos a introducir los datos ya obtenidos en los cálculos anteriores, para obtener el modelo necesario y así obtener resultados necesarios para la investigación.

#### 1.- Espectro de respuesta:

Las vibraciones del suelo producidos por los sismos dependen del sitio de proximidad a la fuente de origen, características del sitio, atenuación de la aceleración pico. La amplitud y frecuencia y el tiempo de duración requeridos para poder clasificar el movimiento del cual estos parámetros se los obtiene de los acelerogramas registrados en diversos puntos. Por lo tanto estos registros sirven para demarcar áreas de similar riesgo, en ingeniería sísmica, el espectro de respuesta da un significado conveniente a la suma de respuestas pico de todos los posibles sistemas simples sujeto a un componente particular de movimiento del suelo, también provee aproximaciones prácticas para aplicar los conocimientos de dinámica estructural. (Chopra, Anil , 1995)

Según AASHTO, 1996. El Coeficiente sísmico de respuesta elástica sísmica se define por la carga sísmica que será usada en el análisis elástico para los efectos sísmicos. Este requerimiento debe ser reemplazado por un porcentaje de amortiguamiento que corresponde al 5%, sitio específico

# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

Efecto del Sitio (FACTOR TOMADO DEL AASHTO, 1996, CAP 3.5)

Perfil del tipo de Suelo 3: suelo blando, con arcillas de rigidez media y arenas, caracterizado por el contenido de arcillas con rigidez media a partir de 30 pies (9m) con o sin capas intermedias de arcilla u otro tipo de suelos sin cohesión.

Tabla 3.5.1 Coeficiente del sitio (S) (FACTOR TOMADO DEL AASHTO, 1996 CAP 3.)

TIPO DEL PERFIL DEL SUELO	
I	II
1	1.2
III	IV
1.5	2

ESPECTRO DE RESPUESTA

A=	0.4
S=	1.5
R=	5

De acuerdo al NEC 2011 CAPITULO 2.15 PARA GUAYAQUIL  
 Depende del tipo de Suelo (AASHTO CAPITULO SISMICO TABLA 3.5.1)  
 Factor de modificacion de respuesta, depende del tipo de estructura (Tabla 3.7 AASHTO)

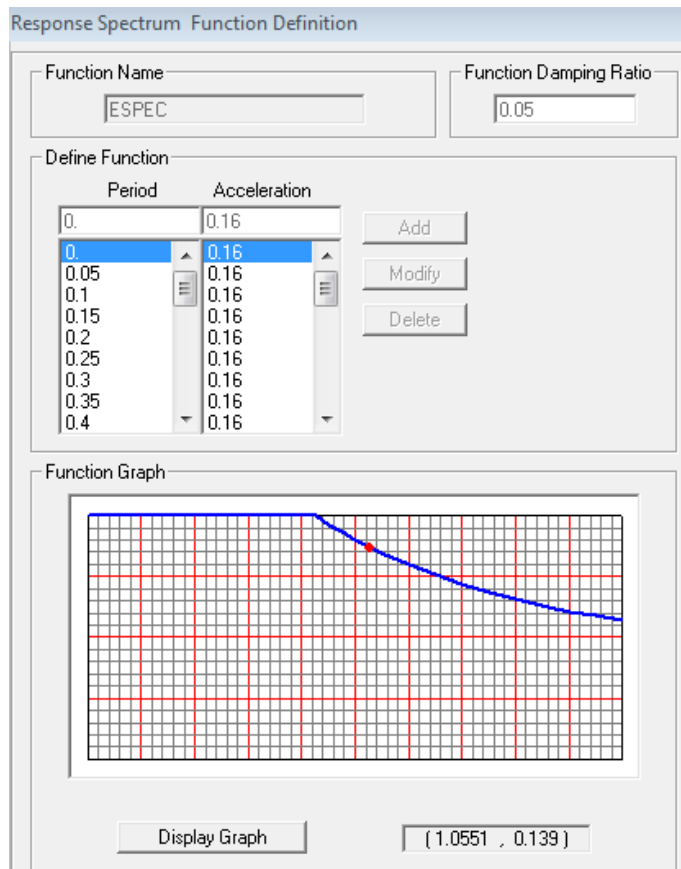
$$C_s = (1.2 + A + S) / [R + T]^{2/3}$$

Para areas donde el coeficiente  $A \geq 0.30$   $C_s$  no debe de exceder de 2A

(FACTOR TOMADO DEL AASHTO, 1996, APENDICE A CAP 3.5)  
 TABLA 3.7 Factor de Modificacion de respuesta

SUBESTRUCTURA	R
Pilas de acero o compuestas de acero y concreto	
a) Pilas solo verticales	5
b) Compuesta de una o mas pilas inclinadas	3

## Espectro de Respuesta de diseño R=5



## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

2.- Se define el tipo de material y las secciones de la estructura para ingresarlas al programa

- Columna y Viga cabezal

The image displays two software dialog boxes for defining structural sections and bridge bent data.

**Circle Section Dialog:**

- Section Name:** Columnas
- Material:** + 4000Psi
- Dimensions:** Diameter (t3) = 0,55
- Diagram:** A circular cross-section with a diameter of 0,55 units, showing a grid and reinforcement points.
- Display Color:** Green
- Buttons:** Concrete Reinforcement..., OK, Cancel

**Rectangular Section Dialog:**

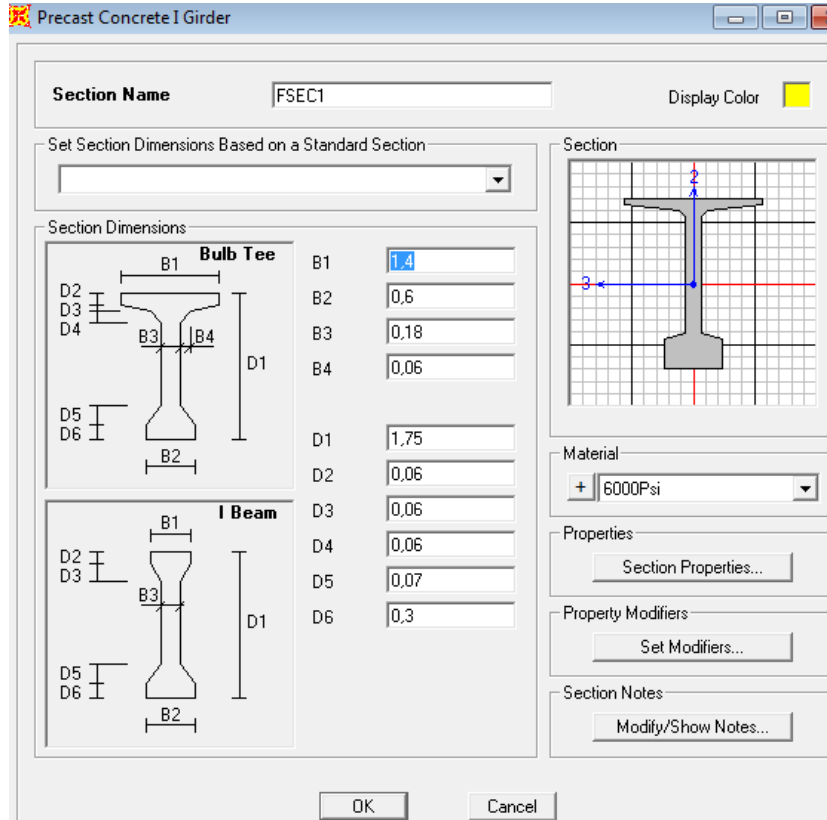
- Section Name:** VIGA CABEZAL
- Material:** + 4000Psi
- Dimensions:** Depth (t3) = 0,6; Width (t2) = 0,8
- Diagram:** A rectangular cross-section with a depth of 0,6 units and a width of 0,8 units, showing a grid and reinforcement points.
- Display Color:** Purple
- Buttons:** Concrete Reinforcement..., OK, Cancel

**Bridge Bent Data Dialog:**

- Bridge Bent Name:** BENT1
- Units:** Tonf, m, C
- Bent Data:**
  - Cap Beam Length: 8,5
  - Number of Columns: 3
  - Cap Beam Section: + VIGA CABEZAL
  - Modify/Show Column Data...**
- Bent Type:**
  - Single Bearing Line (Continuous Superstructure)
  - Double Bearing Line (Discontinuous Superstructure)
- Girder Support Condition:**
  - Integral
  - Connect to Girder Bottom Only
- Buttons:** OK, Cancel

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

- Viga presforzada



# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

- Tablero

Define Bridge Section Data - Precast Concrete I Girder

Section Data

Item	Value
<b>General Data</b>	
Bridge Section Name	BSEC1
Slab Material Property	4000Psi
Number of Interior Girders	2
Total Width	8.5
Girder Longitudinal Layout	Along Layout Line
Constant Girder Spacing	Yes
Constant Girder Haunch Thickness (t2)	Yes
Constant Girder Frame Section	Yes
<b>Slab Thickness</b>	
Top Slab Thickness (t1)	0.2
Concrete Haunch Thickness (t2)	0.
<b>Girder Section Properties</b>	
Girder Section	Bulb T1
<b>Fillet Horizontal Dimension Data</b>	
f1 Horizontal Dimension	0.
f2 Horizontal Dimension	0.
<b>Left Overhang Data</b>	

Girder Output

Modify/Show Girder Force Output Locations...

Modify/Show Properties

Materials... Frame Sects... Units: Tonf, m, C

Section is Legal  Do Snap

Show Section Details...

OK Cancel

Define Bridge Section Data - Precast Concrete I Girder

Section Data

Item	Value
f1 Horizontal Dimension	0.
f2 Horizontal Dimension	0.
<b>Left Overhang Data</b>	
Left Overhang Length (L1)	1.0625
Left Overhang Distance to Fillet (L3)	1.0625
Left Overhang Outer Thickness (t5)	0.2
<b>Right Overhang Data</b>	
Right Overhang Length (L2)	1.0625
Right Overhang Distance to Fillet (L4)	1.0625
Right Overhang Outer Thickness (t6)	0.2
<b>Live Load Curb Locations</b>	
Distance To Inside Edge of Left Live Load Curb	0.3
Distance To Inside Edge of Right Live Load Curb	0.3
Distance To Centerline of Median Live Load Curb	0.
Width of Median Live Load Curb	0.
<b>Insertion Point Location</b>	
Offset X From Reference Point To Insertion Point	0.
Offset Y From Reference Point To Insertion Point	0.

Girder Output

Modify/Show Girder Force Output Locations...

Modify/Show Properties

Materials... Frame Sects... Units: Tonf, m, C

Section is Legal  Do Snap

Show Section Details...

OK Cancel

**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

- Losa

**Section Name** LOSA  
Section Notes   
Display Color

Type  
 Shell - Thin  
 Shell - Thick  
 Plate - Thin  
 Plate Thick  
 Membrane  
 Shell - Layered/Nonlinear

Material  
Material Name  4000Psi   
Material Angle 0.

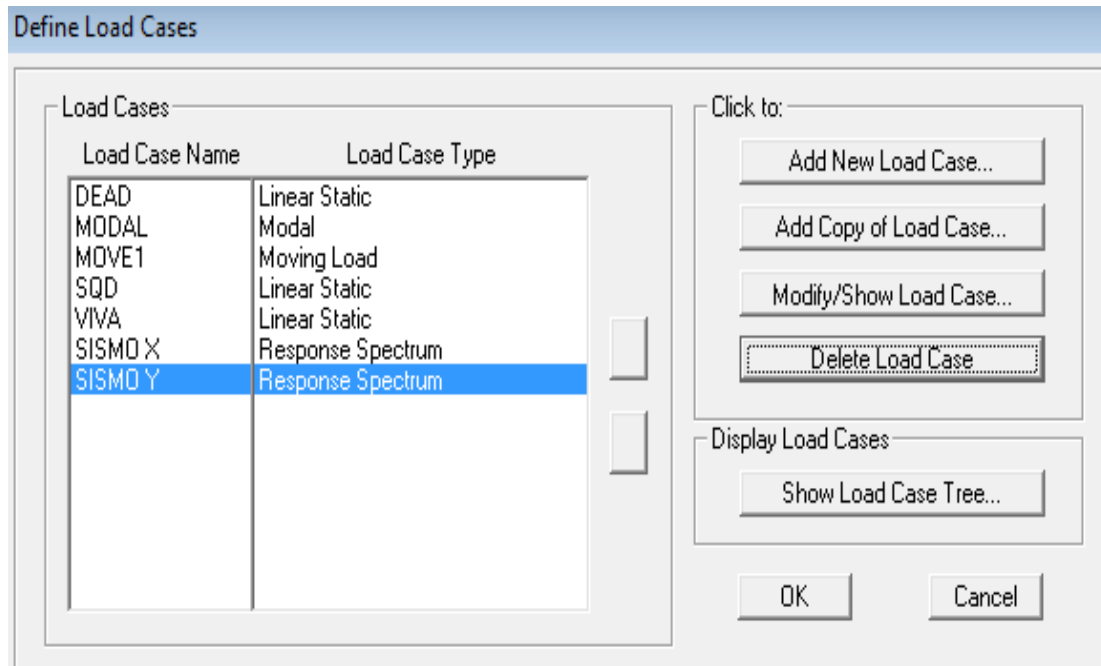
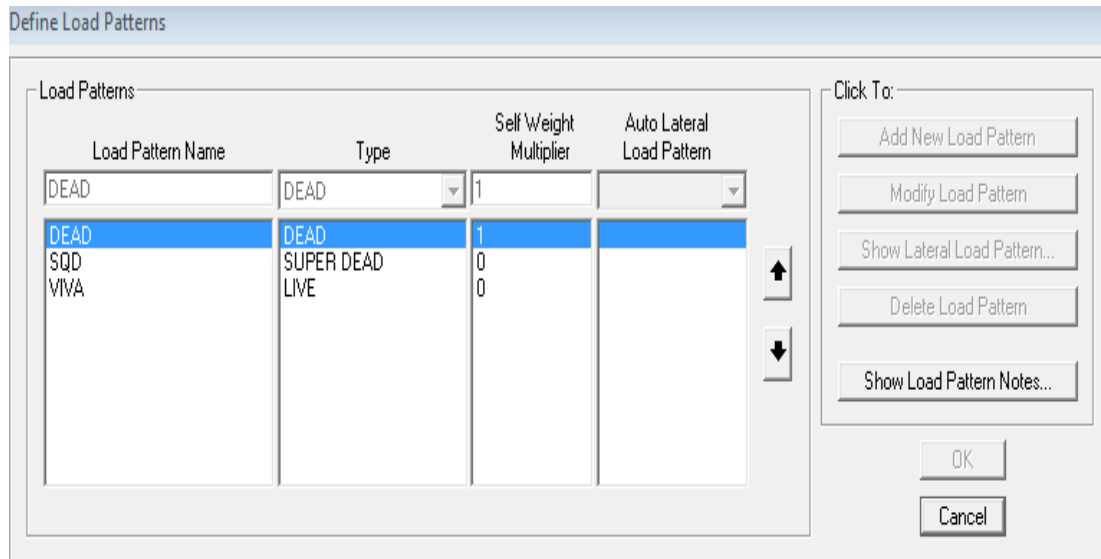
Thickness  
Membrane 0.2  
Bending 0.2

Concrete Shell Section Design Parameters

Stiffness Modifiers  Temp Dependent Properties

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

3.- Se aplica las cargas de Diseño:





## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

- CARGAS VIVAS :Se definen el tipo de Vehículo

The image shows two software dialog boxes. The first, 'Define Vehicles', has a list of vehicle types: HL-93M, HL-93K, HL-93S, and HSn-44-1. The second, 'Standard Vehicle Data', is for vehicle 'HSn-44-1' and includes fields for 'Vehicle Name', 'Data Definition' (Vehicle Type: HSn-44), 'Scale Factor' (20), and 'Dynamic Allowance'. It also has 'Conversion' buttons and a checkbox for 'Vehicle Remains Fully In Lane (In Lane Longitudinal Direction)'.

The 'Vehicle Class Data' dialog box shows 'Vehicle Class Name' as 'HS25'. It contains a table for defining vehicle classes:

Vehicle Name	Scale Factor
HSn-44-1	1,25
HL-93K	1,
HL-93M	1,
HL-93S	1,
HSn-44-1	1,25

Buttons for 'Add', 'Modify', and 'Delete' are on the right, and 'OK' and 'Cancel' are at the bottom.

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

- Se definen el número de carriles

**Bridge Lane Data**

Lane Name: Lane1      Coordinate System: GLOBAL      Units: Tonf, m, C

Maximum Lane Load Discretization Lengths:  
 Along Lane: 3,048      Across Lane: 3,048

Additional Lane Load Discretization Parameters Along Lane:  
 Discretization Length Not Greater Than 1/ 4, of Span Length  
 Discretization Length Not Greater Than 1/ 10, of Lane Length

Bridge Layout Line	Station m	Centerline Offset m	Lane Width m
BLL1	0	1,8288	3,6576
BLL1	0	1,8288	3,6576
BLL1	60	1,8288	3,6576

Plan View (X-Y Projection)

Objects Loaded By Lane:  
 Program Determined  
 Group

Lane Edge Type:  
 Left Edge: Interior  
 Right Edge: Interior

Display Color: █

OK      Cancel

**Bridge Lane Data**

Lane Name: Lane2      Coordinate System: GLOBAL      Units: Tonf, m, C

Maximum Lane Load Discretization Lengths:  
 Along Lane: 3,048      Across Lane: 3,048

Additional Lane Load Discretization Parameters Along Lane:  
 Discretization Length Not Greater Than 1/ 4, of Span Length  
 Discretization Length Not Greater Than 1/ 10, of Lane Length

Bridge Layout Line	Station m	Centerline Offset m	Lane Width m
BLL1	0	-1,8288	3,6576
BLL1	0	-1,8288	3,6576
BLL1	60	-1,8288	3,6576

Plan View (X-Y Projection)

Objects Loaded By Lane:  
 Program Determined  
 Group

Lane Edge Type:  
 Left Edge: Interior  
 Right Edge: Interior

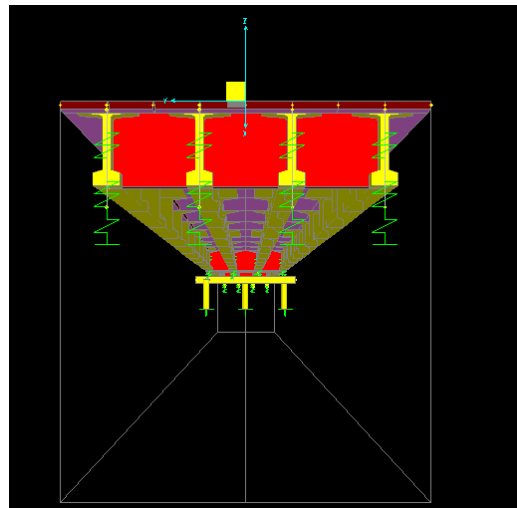
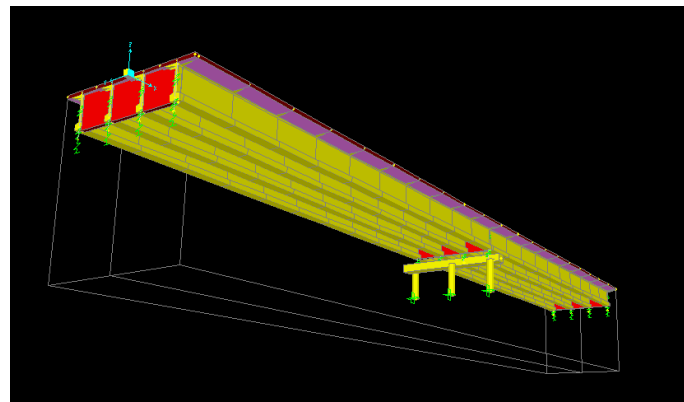
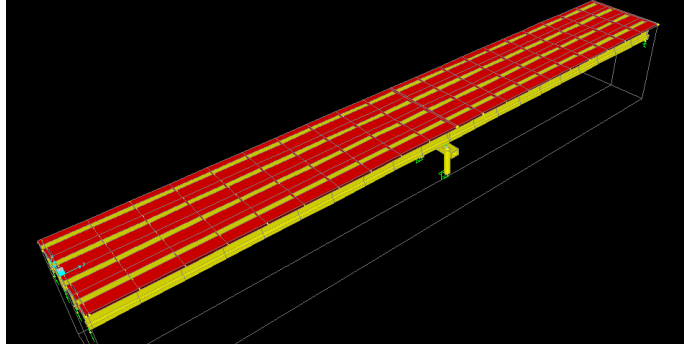
Display Color: █

OK      Cancel

**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

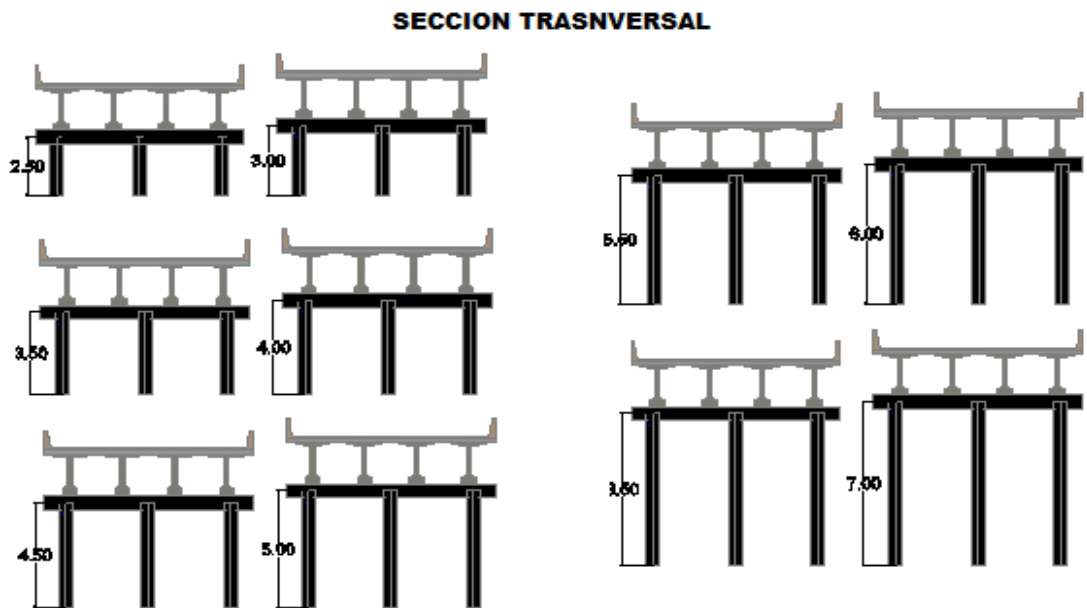
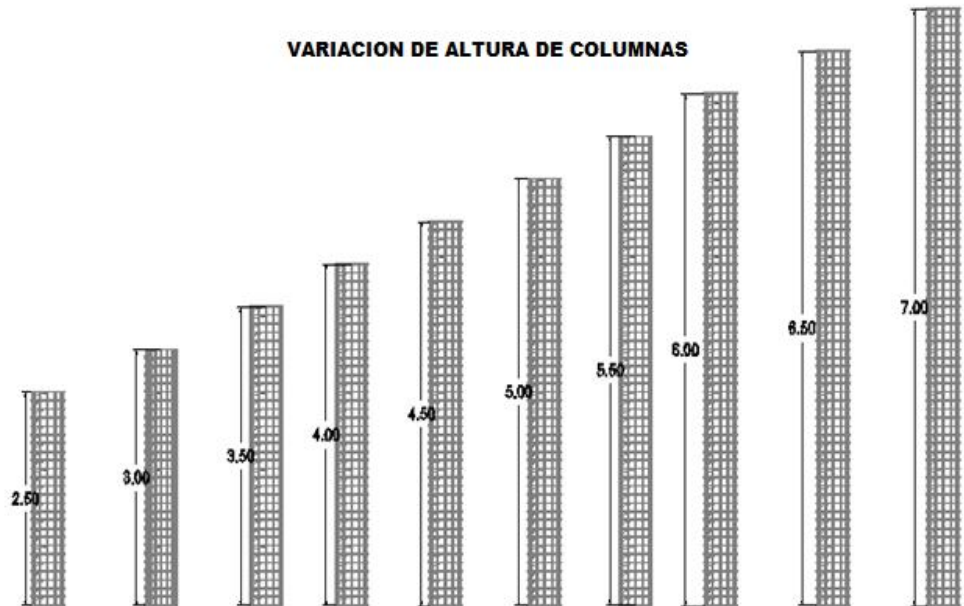
- Modelo 3D SAP 2000



# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

## 4.2 PROCEDIMIENTO PARA CALCULO DE COLUMNAS

Se varía la altura de columna desde 2.5 m a 7 m con el fin de comparar la efectividad que existe entre la altura y la funcionabilidad del dispositivo a utilizar y comparar.



**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

1. Con los datos del SAP 2000 da los momentos y esfuerzos máximos y mínimos, con los que se usará para diseñar las columnas.
2. Se analiza la pila para el sismo en ambas direcciones.
3. Se obtienen los momentos y fuerzas axiales de las columnas de la pila.
4. Calcular el momento resistente y el cortante en las columnas en función de los refuerzos a utilizar.
5. Diseñar por corte y confinamiento para articulaciones plásticas
6. Calcular el cortante verificando el comportamiento de las columnas en ambas direcciones.
7. Capacidad cortante en las zonas de rotulas plásticas en ambas direcciones (Sismo X-X, SISMO Y-Y).
8. Capacidad cortante fuera de la rótula plástica



## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

EXTREMO INFERIOR COLUMNA		EXTREMO SUPERIOR COLUMNA	
Pu:	227,679 ton.	Pu:	170,924 ton.
M2:	40,459 ton-m	M2:	9,721 ton-m
M3:	7,821 ton-m	M3:	22,042 ton-m
$M = \sqrt{M_{22}^2 + M_{33}^2}$		$M = \sqrt{M_{22}^2 + M_{33}^2}$	
Asumiendo que la curva que forma la carga Pn es una elipse		Asumiendo que la curva que forma la carga Pn es una elipse	
M	41,208 ton-m	M	24,090 ton-m
Area Gruesa de la seccion			
Ag:	$\pi \cdot d_{col}^2 / 4$		
Ag:	0,2376 m2		
Ag:	2375,83 cm2		
Pu	227,679 Ton	Mu	41,208 ton-m
e=	M/P	e=	M/P
e=	0,181 m	e=	0,141 m
$\phi$	$0.9 \cdot (2P_u / F_c \cdot A_g)$	$\phi$	$0.9 \cdot (2P_u / F_c \cdot A_g)$
$\phi$	0,215 >	$\phi$	0,386 >
	<		<
	>		>
	0,9		0,9
	0,7		0,7
	0,9		0,9
Pn	325,257443 Ton	Mn	58,868405 ton-m
Pu/φ	325,257443 Ton	Mn	58,868405 ton-m
		Mu/φ	41,208 ton-m
		Mu	24,090 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m
		Mu/φ	24,090 ton-m
		Mn	34,41459101 ton-m

# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

## Diseño flexocompresión

Datos:

$P_H = 325,256 \text{ Ton}$   
 $M_H = 58,868 \text{ Ton}\cdot\text{m}$   
 $AG = 2375,83 \text{ cm}^2$   
 $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$

$\gamma = h - 2 \cdot \text{rec libre}$

$h = 55 \text{ cm}$

$\text{rec libre} = r_l + \phi_e + \phi_l / 2$

$\text{rec} = 3,5 \text{ cm}$   
 $\phi_e = 1,2 \text{ cm}$   
 $\phi_l = 2,2 \text{ cm}$   
 $\text{rec libre} = 5,8 \text{ cm}$

$\gamma = 43,4$

Determinamos  $\gamma = (\gamma/h)$

$\gamma = 0,79$

$K_H = P_H / Ag f_c = 0,489$

$R_H = M_H / Ag f_c h = 0,161$

Hallamos  $\rho$  de la curva:

$\rho = 0,021$

## Diseño flexocompresión

Datos:

$P_H = 244,177 \text{ Ton}$   
 $M_H = 34,415 \text{ Ton}\cdot\text{m}$   
 $AG = 2375,82944 \text{ cm}^2$   
 $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$

$\gamma = h - 2 \cdot \text{rec libre}$

$h = 55 \text{ cm}$

$\text{rec libre} = r_l + \phi_e + \phi_l / 2$

$\text{rec} = 3,5 \text{ cm}$   
 $\phi_e = 1,2 \text{ cm}$   
 $\phi_l = 2,2 \text{ cm}$   
 $\text{rec libre} = 5,8 \text{ cm}$

$\gamma = 43,4$

Determinamos  $\gamma = (\gamma/h)$

$\gamma = 0,79$

$K_H = P_H / Ag f_c = 0,367$

$R_H = M_H / Ag f_c h = 0,094$

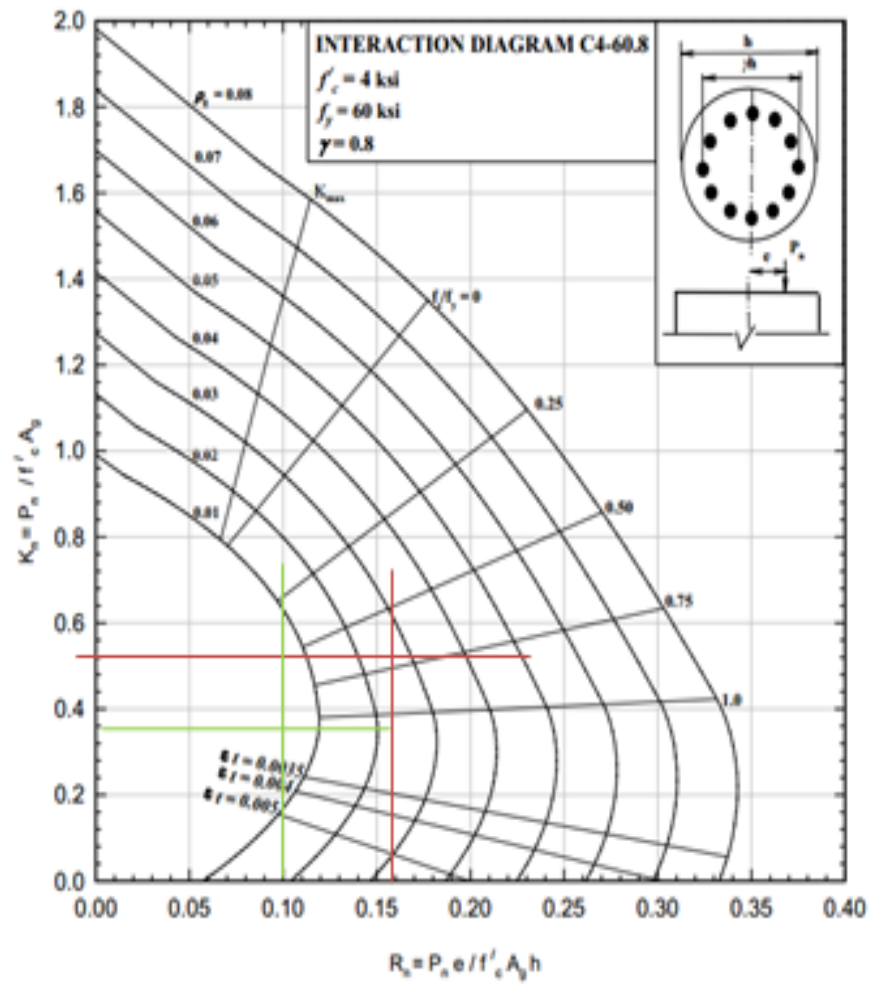
Hallamos  $\rho$  de la curva:

$\rho = 0,010$



**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---



## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

EXTREMO INFERIOR COLUMNA		EXTREMO SUPERIOR COLUMNA	
Pu:	209,878 ton.	Max de diseño	208,022 ton.
M2:	-8,168 ton-m	Max de diseño	Max de diseño
M3:	-30,748 ton-m	Max de diseño	Max de diseño
$M = \sqrt{M_{22}^2 + M_{33}^2}$ Asumiendo que la curva que forma la carga Pn es una elipse			
M	31,815 ton-m	M	35,093 ton-m
Area Gruesa de la seccion			
AG:	$\pi^2 \cdot d \cdot Col^2 / 4$		
AG:	0,2376 m2		
AG:	2375,83 cm2		
Pu	209,878 Ton	Mu	208,022 Ton
e=	M/P	Mu	35,093 ton-m
e=	0,152 m	e=	0,168 m
$\phi$	$0.9 \cdot (2Pu / (Fc \cdot Ag))$	$\phi$	$0.9 \cdot (2Pu / (Fc \cdot Ag))$
	<0.5		<0.5
$\phi$	0,269 >	$\phi$	0,275 >
	<		<
	0,9		0,9
Pn	299,8252857 Ton	Mn	297,174857 Ton
Mu/φ	45,44976671 ton-m	Mu/φ	50,13268254 ton-m

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

### Diseño Flexocompresión

Datos:

$P_n = 299,825 \text{ Ton}$   
 $M_n = 45,450 \text{ Ton}\cdot\text{m}$   
 $A_g = 2375,83 \text{ cm}^2$   
 $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$

$\psi_t = h - 2 \text{ rec libre}$

$h = 55 \text{ cm}$

$\text{rec libre} = r_1 + \phi_e + \phi_l / 2$

$\text{rec} = 3,5 \text{ cm}$

$\phi_e = 1,2 \text{ cm}$

$\phi_l = 2,2 \text{ cm}$

$\text{rec libre} = 5,8 \text{ cm}$

$\psi_t = 43,4$

Determinamos  $\gamma = (\psi_t/h)$

$\gamma = 0,79$

$K_n: P_n / A_g f'_c = 0,451$

$R_n: M_n / A_g f'_c h = 0,124$

Hallamos  $p$  de la curva:

$p = 0,013$

$p$  de Diseño:

$p = 0,021$

### Diseño Flexocompresión

Datos:

$P_n = 297,175 \text{ Ton}$   
 $M_n = 50,133 \text{ Ton}\cdot\text{m}$   
 $A_g = 2375,82944 \text{ cm}^2$   
 $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$

$\psi_t = h - 2 \text{ rec libre}$

$h = 55 \text{ cm}$

$\text{rec libre} = r_1 + \phi_e + \phi_l / 2$

$\text{rec} = 3,5 \text{ cm}$

$\phi_e = 1,2 \text{ cm}$

$\phi_l = 2,2 \text{ cm}$

$\text{rec libre} = 5,8 \text{ cm}$

$\psi_t = 43,4$

Determinamos  $\gamma = (\psi_t/h)$

$\gamma = 0,79$

$K_n: P_n / A_g f'_c = 0,447$

$R_n: M_n / A_g f'_c h = 0,137$

Hallamos  $p$  de la curva:

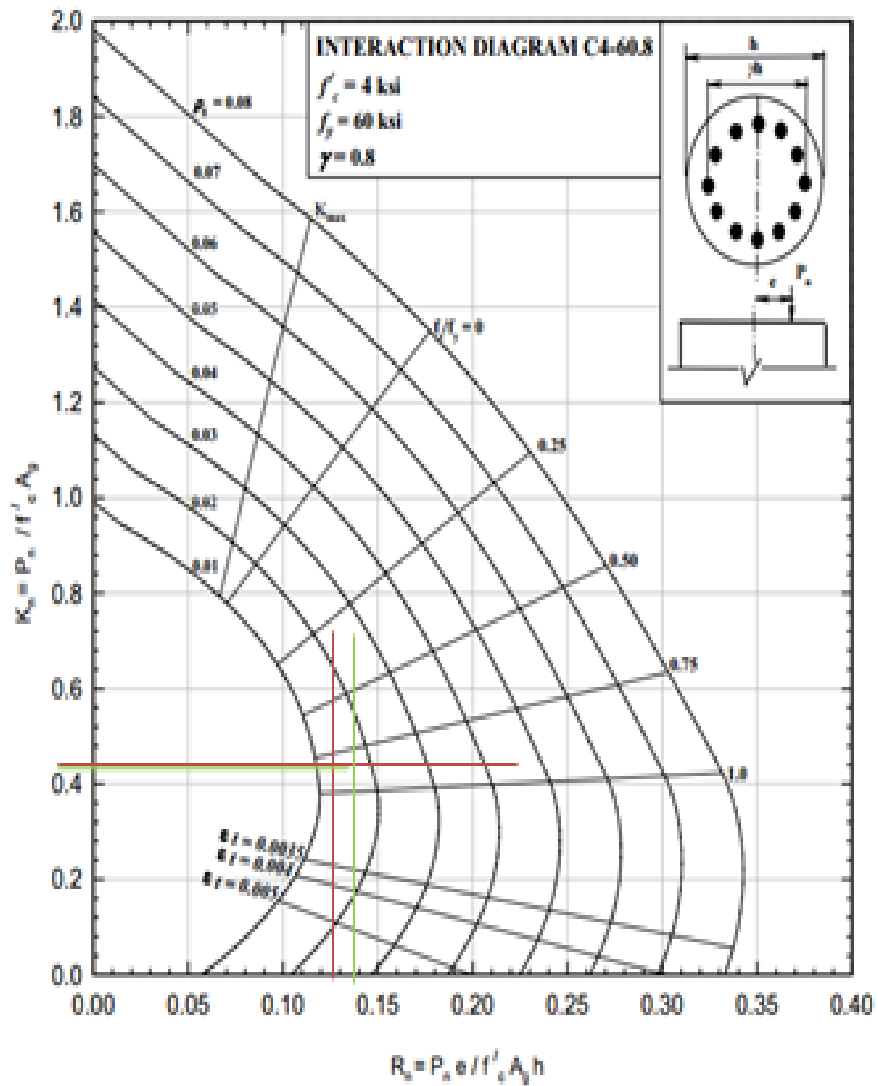
$p = 0,015$

$p$  de Diseño:

$p = 0,015$

**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---





# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

## CORTANTE DE DISEÑO

### SEISMO X-X

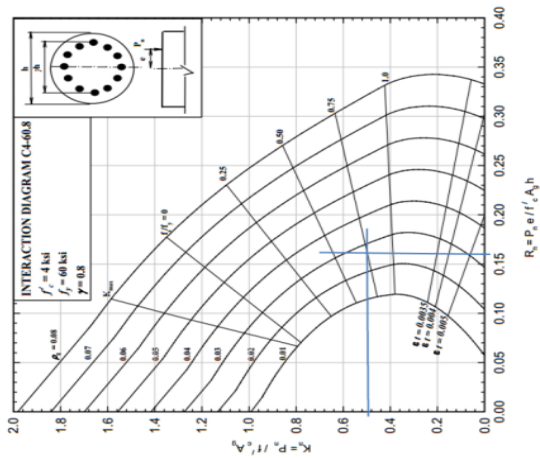
En el sentido X-X las columnas trabajan en curvatura simple, solo se puede producir rotula plástica en el extremo inferior

P<sub>h</sub>= 325.256

M<sub>h</sub>= 299.852386

M<sub>h</sub>= Se calcula con la curva de interacción

K <sub>h</sub> :	P <sub>h</sub> /A <sub>g</sub> F <sub>c</sub> =	0.451
P <sub>h</sub> :	0.024793386	



R <sub>h</sub> :	M <sub>h</sub> /A <sub>g</sub> F <sub>c</sub> h=	0.160
M <sub>h</sub> :	58.54	Ton-m

V<sub>h</sub>:
 2M<sub>h</sub>/L |

M<sub>r</sub>: Momentos en los extremos.  
L: Longitud de la columna

V<sub>h</sub>: 23416.18 Kg

### SEISMO Y-Y

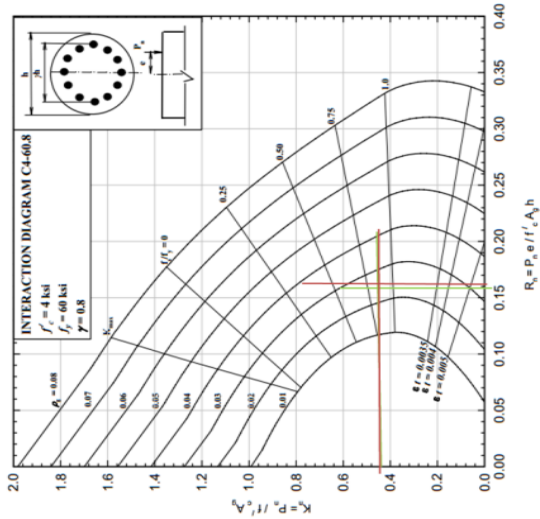
En el sentido Y-Y las columnas trabajan en curvatura doble, se puede producir rotula plástica en ambos extremos

P<sub>h</sub>= 297.1748571

M<sub>h</sub>= 299.852386

M<sub>h</sub>= Se calcula con la curva de interacción

K <sub>h</sub> :	P <sub>h</sub> /A <sub>g</sub> F <sub>c</sub> =	0.451
P <sub>h</sub> :	0.0248	



R <sub>h</sub> :	M <sub>h</sub> /A <sub>g</sub> F <sub>c</sub> h=	0.160
M <sub>h</sub> :	58.54	Ton-m

R <sub>h</sub> :	M <sub>h</sub> /A <sub>g</sub> F <sub>c</sub> h=	0.1600
M <sub>h</sub> :	58.54	Ton-m

V<sub>h</sub>:
 2M<sub>h</sub>/L |

M<sub>r</sub>: Momentos en los extremos.  
L: Longitud de la columna

V<sub>h</sub>: 46832.35 Kg

# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

<p><b>DISEÑO POR CONFINAMIENTO</b></p> <p><b>EXTREMO INFERIOR</b></p> <p><math>\rho_s = \frac{4 A_{sp}}{S D^2} \geq 0,16 (f_{ce}/f_{ye}) [0,50 + (1,25 P_u / (F_{ce} A_g))] + 0,13 (\rho - 0,01)</math></p> <p><math>\rho_s \text{ min} = 0,01048</math></p> <p> <math>f_c = 280 \text{ kg/cm}^2</math>  <math>f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2</math>  <math>P_u \text{ max} = 227675,00</math>  <math>1,25 P_u = 284598,75 \text{ kg}</math>  <math>f_{ce} = 364 \text{ kg/cm}^2</math>  <math>f_{ye} = 4620 \text{ kg/cm}^2</math>  <math>A_g = 2375,83 \text{ cm}^2</math>  <math>\rho = 0,024793388</math> </p> <div style="text-align: center;"> <p>Confinamiento</p> <p><math>D = 55,00 \text{ cm}</math>  <math>D' = D - 2 \cdot (r_i + \phi_e + \phi/2)</math>  <math>D'' = 43,4</math></p> </div> <p>Cuanta volumétrica</p> <p><math>\rho_s = \frac{4 A_{sp}}{S D^2}</math></p> <p>S= <math>\frac{4 A_{sp}}{D \rho_s}</math> S 9,95026613</p> <p>S: 10,00 cm separación</p> <p style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;"><math>\phi 12 @ 10 \text{ cm.}</math></p>	<p><b>EXTREMO SUPERIOR</b></p> <p><math>\rho_s = \frac{4 A_{sp}}{S D^2} \geq 0,16 (f_{ce}/f_{ye}) [0,50 + (1,25 P_u / (F_{ce} A_g))] + 0,13 (\rho - 0,01)</math></p> <p><math>\rho_s \text{ min} = 0,01048</math></p> <p> <math>f_c = 280 \text{ kg/cm}^2</math>  <math>f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2</math>  <math>P_u \text{ max} = 227675,00</math>  <math>1,25 P_u = 284598,75 \text{ kg}</math>  <math>f_{ce} = 364 \text{ kg/cm}^2</math>  <math>f_{ye} = 4620 \text{ kg/cm}^2</math>  <math>A_g = 2375,83 \text{ cm}^2</math>  <math>\rho = 0,0248</math> </p> <div style="text-align: center;"> <p>Confinamiento</p> <p><math>D = 55,00 \text{ cm}</math>  <math>D' = D - 2 \cdot (r_i + \phi_e + \phi/2)</math>  <math>D'' = 43,4</math></p> </div> <p>Cuanta volumétrica</p> <p><math>\rho_s = \frac{4 A_{sp}}{S D^2}</math></p> <p>S= <math>\frac{4 A_{sp}}{D \rho_s}</math> S 9,95026613</p> <p>S: 9,00 cm separación</p> <p style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;"><math>\phi 12 @ 9 \text{ cm.}</math></p>
<p><b>RESISTENCIA AL CORTE EN ZONAS DE ROTULA PLÁSTICA</b></p> <p>De acuerdo al comité ASCE - ACI 426 para diseñar por corte se pueden utilizar las siguientes ecuaciones</p> <p><math>V_r = \phi (V_c + V_s)</math></p> <p><math>\phi = 0,85</math></p>	

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

	EXTREMO SUPERIOR
se calcula vb	se calcula vb
$p = 0,024793388$ $vb = (0,80 + 120 p) \sqrt{f_c}$ $vb = 144,68 \text{ psi}$	$p = 0,024793339$ $vb = (0,80 + 120 p) \sqrt{f_c}$ $vb = 144,68 \text{ psi}$
$vb \leq 2,4 \sqrt{f_c}$	$vb \leq 2,4 \sqrt{f_c}$
<p>Entonces</p> <p>144,68 ≤ 151,79</p> <p style="text-align: right;">vb: 144,68 psi</p>	<p>Entonces</p> <p>144,68 ≤ 151,79</p> <p style="text-align: right;">vb: 144,68 psi</p>
<p>En zonas de articulación plástica:</p> <p>SI Pu &gt; 0,1f<sub>c</sub>Ag</p> <p>500893,80 &gt; 147301,72 OK</p> <p>usar <math display="block">\kappa = 4/7 \sqrt{\frac{P_u}{A_g F_c} - 0,1}</math></p> <p>VC 283,54</p> <p>Ag 368,2543004 pg2</p> <p>dCol 0,55 m</p> <p>dCol 21,65 pg</p> <p>Ae= 294,45 pg2</p> <p>Vc=vc * Ae</p> <p>Vc= 83490,23 pounds</p>	<p>En zonas de articulación plástica:</p> <p>SI Pu &gt; 0,1f<sub>c</sub>Ag</p> <p>500893,80 &gt; 147301,72 OK</p> <p>usar <math display="block">\kappa = 4/7 \sqrt{\frac{P_u}{A_g F_c} - 0,1}</math></p> <p>VC 283,54</p> <p>Ag 368,2543004 pg2</p> <p>dCol 0,55 m</p> <p>dCol 21,65 pg</p> <p>Ae= 294,45 pg2</p> <p>Vc=vc * Ae</p> <p>Vc= 83490,23 pounds</p>
<p>En zonas de articulación plástica:</p> <p>f<sub>c</sub> 280 kg/cm2</p> <p>f<sub>c</sub> 4000 psi</p>	<p>En zonas de articulación plástica:</p> <p>f<sub>c</sub> 280 kg/cm2</p> <p>f<sub>c</sub> 4000 psi</p>



# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

Espaciamiento mínimo en zonas de articulación plástica	Espaciamiento mínimo en zonas de articulación plástica
<p>La separación (s) para restringir el pandeo:</p> $s \min \leq [3 + 6(f_u/f_y - 1)] \text{ dbl}$ <p> <math>f_u/f_y = 1.5</math>  <math>\text{dbl} = 2.2 \text{ cm}</math>  <math>s_{\min} = 13.2 \text{ cm}</math>  <math>s_{\min} = 13 \text{ cm}</math> </p> <p> <math>s = 13 \text{ cm}</math> </p> <p>Pero</p> <p>Entonces</p> <p>Refuerso transversal</p> $D' = 0.80 D$ $D' = 17.32283465 \text{ pg}$ $A_h = 0.1753001221 \text{ pg}^2$ $V_s = (M/2) (A_h * f_y * D) / s$ <p>Vs: 72695.70 pounds</p> <p>Vr = <math>\phi (V_c + V_s)</math></p> <p>Vr 132758.04 &gt; Vu 108081.17 OK</p>	<p>La separación (s) para restringir el pandeo:</p> $s \min \leq [3 + 6(f_u/f_y - 1)] \text{ dbl}$ <p> <math>f_u/f_y = 1.5</math>  <math>\text{dbl} = 2.2 \text{ cm}</math>  <math>s_{\min} = 13.2 \text{ cm}</math>  <math>s_{\min} = 13 \text{ cm}</math> </p> <p> <math>s = 13 \text{ cm}</math> </p> <p>Pero</p> <p>Entonces</p> <p>Refuerso transversal</p> $D' = 0.80 D$ $D' = 17.3228346 \text{ pg}$ $A_h = 0.175300122 \text{ pg}^2$ $V_s = (M/2) (A_h * f_y * D) / s$ <p>Vs: 80773.00 pounds</p> <p>Vr = <math>\phi (V_c + V_s)</math></p> <p>Vr 139623.75 &gt; Vu 109031.17 OK</p>
<p>diámetro varilla longitudinal</p> <p>espaciamiento estribos</p> <p>11</p>	<p>diámetro varilla longitudinal</p> <p>espaciamiento estribos</p> <p>11</p>
<p>10.00 cm</p> <p>área de la espiral</p> <p>4200 kg/cm2 60000 psi</p>	<p>9.00 cm</p> <p>área de la espiral</p> <p>4200 kg/cm2 60000 psi</p>

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### RESISTENCIA AL CORTANTE EN ZONA CENTRAL

para	vc	{	$v_b ( 1 + 3P_u / f'c A_g)$	si $P_u$ está en compresión
		}	$v_b ( 1 + P_u / 500 A_g)$	Si $P_u$ está en tensión

Entonces  $vc = v_b ( 1 + 3P_u / f'c A_g)$

Obtenemos  $vc = v_b ( 1 + 3P_u / f'c A_g)$

$vc = 255,48$  pounds

Calculamos  $V_c = vc * A_e$

$V_c:$	75228,03 lb
--------	-------------

$V_s = (V_u - V_c) / 0.85$

$V_s = 32709,58$  lb

### Refuerzo transversal

$D' = 0,80 D$

$D' = 17,32283465$  pg

$A_h = 0,175301221$  pg<sup>2</sup>      área de la espiral

$v_s = (\pi/2) ( A_h * f_y * D' ) / s$	$f'_y$	4200 kg/cm <sup>2</sup>
	$f_y$	60000 psi

$s$	8,75 pg
-----	---------

$s = 22,22$  cm

# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

Estribos:

Extremos : Espiral de 12 mm c/10 cm. En la longitud de confinamiento  
 Zona Central Espiral de 12 mm c/22 cm.

Extensión del confinamiento en zona de articulación plástica

Extensión del confinamiento en zona de articulación plástica

Si a)  $P_u/f_c A_g \leq 0.30$  b)  $P_u/f_c A_g \geq 0.30$   
 $P_u/f_c A_g:$  0.342 Usar caso b)

Si a)  $P_u/f_c A_g \leq 0.30$  b)  $P_u/f_c A_g \geq 0.30$   
 $P_u/f_c A_g:$  0.257 USAR CASO a)

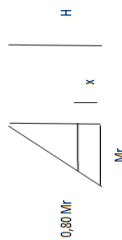
L 2,80 m  
 L 280,00 cm  
 L 110,24 PG

L 2,80 m  
 L 280,00 cm  
 L 110,24 PG

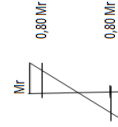
a)  $P_u/f_c A_g \leq 0.30$

a)  $P_u/f_c A_g \leq 0.30$

80% M La distancia que se produce  $M_u$  y  $0.8M_u$



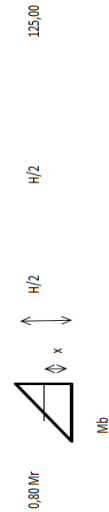
D Dimensión sección transversal de la columna  
 80% M La distancia que se produce  $M_u$  y  $0.8M_u$



Por semejanzas de triángulos

$$\frac{H-x}{H} = \frac{0.8Mr}{Mr}$$

$$x = 56 \text{ cm}$$



POR SEMEJANZA DE TRIANGULOS

PARA  $0.80 Mb$

$$\frac{H/2}{H/2-x} = \frac{Mb}{0.8Mb}$$

Conclusion Usar la mayor altura

$$L_p: 56,00 \text{ cm}$$

$$x = 25,00 \text{ cm}$$

b)  $P_u/f_c A_g \geq 0.30$

$L_p$  1.5lp

$L_p:$  84 cm



## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

SISMO X-X	
<p><b>EXTREMO INFERIOR COLUMNA</b></p> <p>Pu: 227,996 ton.      Max de diseño</p> <p>M2: 39,203 ton-m      Max de diseño</p> <p>M3: 8,902 ton-m      Max de diseño</p> $M = \sqrt{M_{22}^2 + M_{33}^2}$ <p style="text-align: center;">Asumiendo que la curva que forma la carga Pn es una elipse</p> <p>M: 40,201 ton-m</p> <p>Area Gruesa de la seccion</p> <p>Ag: <math>\pi * dCo^2 / 4</math></p> <p>Ag: 0,2376 m<sup>2</sup></p> <p>Ag: 2375,83 cm<sup>2</sup></p>	<p><b>EXTREMO SUPERIOR COLUMNA</b></p> <p>Pu: 170,616 ton.      Max de diseño</p> <p>M2: 8,116 ton-m      Max de diseño</p> <p>M3: 21,524 ton-m      Max de diseño</p> <p>M: 23,003 ton-m</p> <p>Pu: 170,616 Ton      Mu: 23,003 ton-m</p> <p>e= M/P      excentricidad</p> <p>e= 0,135 m</p> <p><math>\phi</math> 0,9-(2Pu/Fc*Ag)      &lt;0,5      &gt;      0,9</p> <p><math>\phi</math> 0,215 &gt;      &lt;      0,7      &gt;      0,9</p> <p style="text-align: center;"><math>\phi</math> 0,700</p> <p>Pn Pu/<math>\phi</math> 325,7091429 Ton      Mu/<math>\phi</math> 57,43007053 ton-m</p>
<p>M: 40,201 ton-m</p>	<p>M: 23,003 ton-m</p>
<p>Pu: 227,996 Ton      Mu: 40,201 ton-m</p> <p>e= M/P      excentricidad</p> <p>e= 0,176 m</p> <p><math>\phi</math> 0,9-(2Pu/Fc*Ag)      &lt;0,5      &gt;      0,9</p> <p><math>\phi</math> 0,215 &gt;      &lt;      0,7      &gt;      0,9</p> <p style="text-align: center;"><math>\phi</math> 0,700</p> <p>Pn Pu/<math>\phi</math> 325,7091429 Ton      Mu/<math>\phi</math> 57,43007053 ton-m</p>	<p>Pu: 170,616 Ton      Mu: 23,003 ton-m</p> <p>e= M/P      excentricidad</p> <p>e= 0,135 m</p> <p><math>\phi</math> 0,9-(2Pu/Fc*Ag)      &lt;0,5      &gt;      0,9</p> <p><math>\phi</math> 0,387 &gt;      &lt;      0,7      &gt;      0,9</p> <p style="text-align: center;"><math>\phi</math> 0,700</p> <p>Pn Pu/<math>\phi</math> 243,737429 Ton      Mu/<math>\phi</math> 32,86169397 ton-m</p>

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

### Diseño flexocompresión

Datos:

$P_n = 325,709 \text{ Ton}$   
 $M_n = 57,490 \text{ Ton}\cdot\text{m}$   
 $A_g = 2375,83 \text{ cm}^2$   
 $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$

$\gamma h = h - 2 \text{ rec libre}$

$h = 55 \text{ cm}$

rec libre=	$r_1 + \phi_e + \phi / 2$	$\phi$	area
		0,8	0,50
rec=	3,5 cm	1	0,79
$\phi_e =$	1,2 cm	1,2	1,13
$\phi =$	2,2 cm	1,6	2,01
		1,8	2,54
		2	3,14
rec libre=	5,8 cm	2,2	3,80
		2,5	4,91
		2,8	6,16
		3,2	8,04
		0	0,00

$\gamma h = 43,4$

Determinamos  $\gamma = (\gamma h / h)$

$\gamma = 0,79$

Kr:  $P_n / A_g f_c = 0,490$

Rn:  $M_n / A_g f_c h = 0,157$

Hallamos  $\rho$  de la curva:

$\rho = 0,024$

### Diseño flexocompresión

Datos:

$P_n = 243,737 \text{ Ton}$   
 $M_n = 32,862 \text{ Ton}\cdot\text{m}$   
 $A_g = 2375,82944 \text{ cm}^2$   
 $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$

$\gamma h = h - 2 \text{ rec libre}$

$h = 55 \text{ cm}$

rec libre=	$r_1 + \phi_e + \phi / 2$	$\phi$	area
		0,8	0,50
rec=	3,5 cm	1	0,79
$\phi_e =$	1,2 cm	1,2	1,13
$\phi =$	2,2 cm	1,6	2,01
		1,8	2,54
		2	3,14
rec libre=	5,8 cm	2,2	3,80
		2,5	4,91
		2,8	6,16
		3,2	8,04
		0	0,00

$\gamma h = 43,4$

Determinamos  $\gamma = (\gamma h / h)$

$\gamma = 0,79$

Kr:  $P_n / A_g f_c = 0,356$

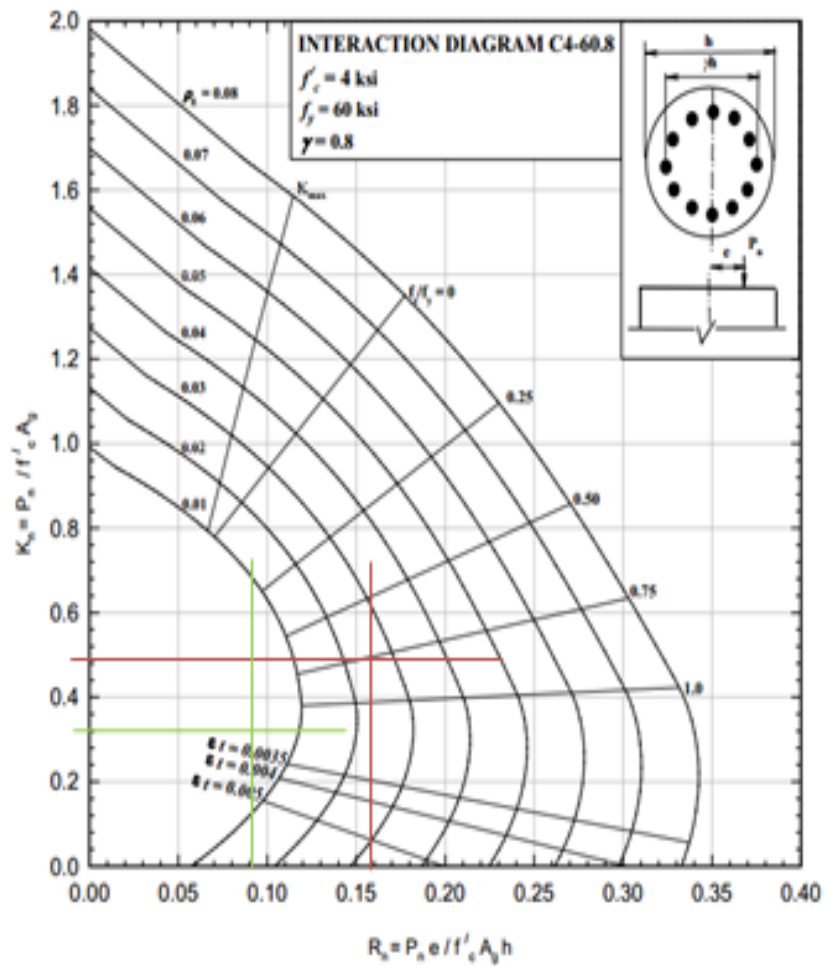
Rn:  $M_n / A_g f_c h = 0,090$

Hallamos  $\rho$  de la curva:

$\rho = 0,010$

**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---



## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

EXTREMO INFERIOR COLUMNA		EXTREMO SUPERIOR COLUMNA	
Pu:	253,331 ton.	Max de diseño	251,105 ton.
M2:	-12,659 ton-m	Max de diseño	Max de diseño
M3:	-40,556 ton-m	Max de diseño	Max de diseño
$M = \sqrt{M_{22}^2 + M_{33}^2}$ Asumiendo que la curva que forma la carga Pn es una elipse			
M	42,468 ton-m	M	44,627 ton-m
Area Gruesa de la seccion			
Ag:	$\pi^2 d^2 c \rho / 4$		
Ag:	0,2376 m2		
Ag:	2375,83 cm2		
Pu	253,331 Ton	Mu	251,105 Ton
e=	M/P	e=	M/P
e=	0,168 m	e=	0,178 m
$\phi$	$0.9 \cdot (2Pu / (Fc \cdot Ag))$	$\phi$	$0.9 \cdot (2Pu / (Fc \cdot Ag))$
$\phi$	0,138 >	$\phi$	0,145 >
	<		<
	0,9		0,9
Pn	361,9012857 Ton	Mn	358,720857 Ton
Pu/φ	60,697123 ton-m	Mu/φ	63,7322028 ton-m

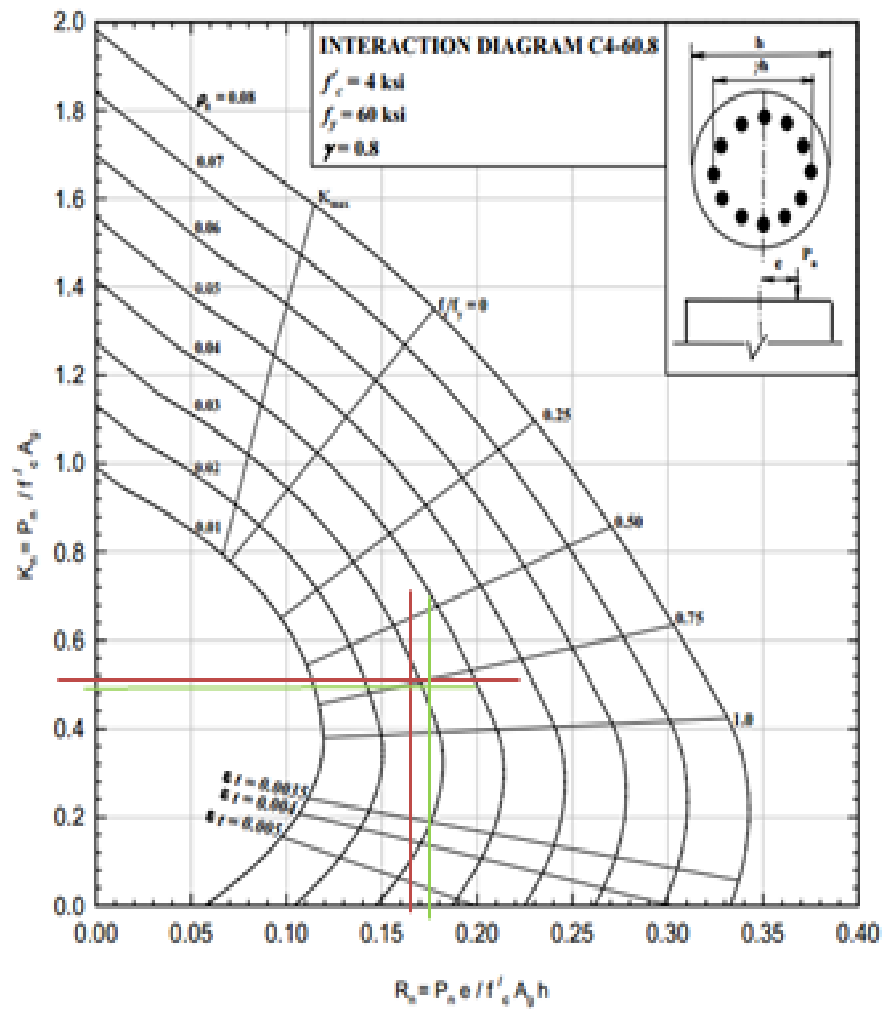


# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

Diseño flexocompresión	Diseño flexocompresión
<p>Datos:</p> <p> <math>P_n = 361,901 \text{ Ton}</math>  <math>M_n = 60,684 \text{ Ton}\cdot\text{m}</math>  <math>A_g = 2375,83 \text{ cm}^2</math>  <math>f_c = 280 \text{ kg/cm}^2</math> </p> <p> <math>\psi = h - 2 \text{ rec libre}</math>  <math>h = 55 \text{ cm}</math>  <math>\text{rec libre} = r_1 + \phi_e + \phi_l / 2</math>  <math>\text{rec} = 3,5 \text{ cm}</math>  <math>\phi_e = 1,2 \text{ cm}</math>  <math>\phi_l = 2,2 \text{ cm}</math>  <math>\text{rec libre} = 5,8 \text{ cm}</math> </p> <p> <math>\psi = 43,4</math>                      Determinamos <math>\psi = (\psi/h)</math>  <math>\psi = 0,79</math> </p> <p> <math>R_n = \frac{P_n / A_g f_c}{M_n / A_g f_c h} = 0,544</math>  <math>\rho = 0,028</math>                      Hallamos <math>\rho</math> de la curva:  <math>\rho = 0,028</math>  <math>\rho</math> de Diseño: <math>0,028</math> </p>	<p>Datos:</p> <p> <math>P_n = 358,721 \text{ Ton}</math>  <math>M_n = 63,753 \text{ Ton}\cdot\text{m}</math>  <math>A_g = 2375,82944 \text{ cm}^2</math>  <math>f_c = 280 \text{ kg/cm}^2</math> </p> <p> <math>\psi = h - 2 \text{ rec libre}</math>  <math>h = 55 \text{ cm}</math>  <math>\text{rec libre} = r_1 + \phi_e + \phi_l / 2</math>  <math>\text{rec} = 3,5 \text{ cm}</math>  <math>\phi_e = 1,2 \text{ cm}</math>  <math>\phi_l = 2,2 \text{ cm}</math>  <math>\text{rec libre} = 5,8 \text{ cm}</math> </p> <p> <math>\psi = 43,4</math>                      Determinamos <math>\psi = (\psi/h)</math>  <math>\psi = 0,79</math> </p> <p> <math>R_n = \frac{P_n / A_g f_c}{M_n / A_g f_c h} = 0,174</math>  <math>\rho = 0,030</math>                      Hallamos <math>\rho</math> de la curva:  <math>\rho = 0,030</math>  <math>\rho</math> de Diseño: <math>0,030</math> </p>

**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---



## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

	Ag+p	As	Ag+p		
As necesario=	66,5 cm2	As necesario=	71,3 cm2		
Av	3,80 cm2	Av	3,80 cm2		
N°varillas	As/Av	N°varillas	As/Av		
N°varillas	18	N°varillas	19		
As colocar:	68,4	As colocar:	72,2		
	0,029		0,030		
PARA MEJOR DISTRIBUCION USAR					
φ	2,50	φ	2,50		
Av	4,91 cm2	Av	4,91 cm2		
N°varillas	16	N°varillas	16		
As1 colocar:	78,54	As1 colocar:	78,54		
	0,00		0,00		
Ast:	78,54 cm2	Ast:	78,54 cm2		
<table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">pcal=</td> <td style="padding: 2px; text-align: center;">0,0331</td> </tr> </table>				pcal=	0,0331
pcal=	0,0331				
<table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">pcal=</td> <td style="padding: 2px; text-align: center;">0,0331</td> </tr> </table>				pcal=	0,0331
pcal=	0,0331				
Total la columna: 16 de 25 mm					

# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

## CORTANTE DE DISEÑO

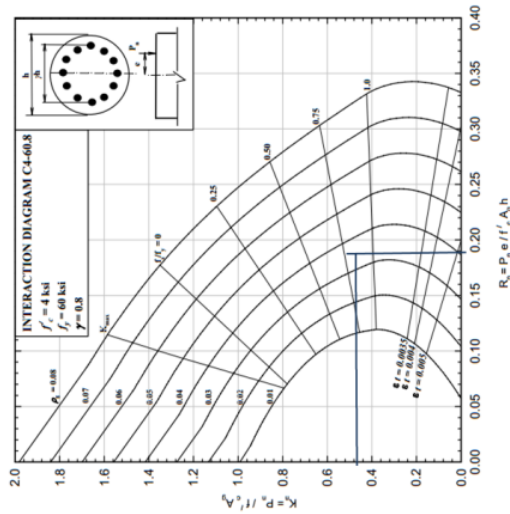
### SISMO X-X

En el sentido X-X las columnas trabajan en curvatura simple, solo se puede producir rótula plástica en el extremo inferior

P<sub>ns</sub> = 325,709

M<sub>ns</sub> = Se calcula con la curva de interacción

K <sub>ns</sub> :	P <sub>ns</sub> /A <sub>g</sub> f' <sub>c</sub> :	0.495
p <sub>ns</sub> :	p <sub>ns</sub> :	0.033057853



R <sub>ns</sub> :	M <sub>ns</sub> /A <sub>g</sub> f' <sub>c</sub> h:	0.150
M <sub>ns</sub> :	M <sub>ns</sub> :	69.52

Ton-m

V<sub>ns</sub>: ΣM<sub>ns</sub>/L  
 M<sub>ns</sub>: Momentos en los extremos.  
 L: Longitud de la columna

V <sub>ns</sub> :	M <sub>ns</sub> /L	23172.26 kg
-------------------	--------------------	-------------

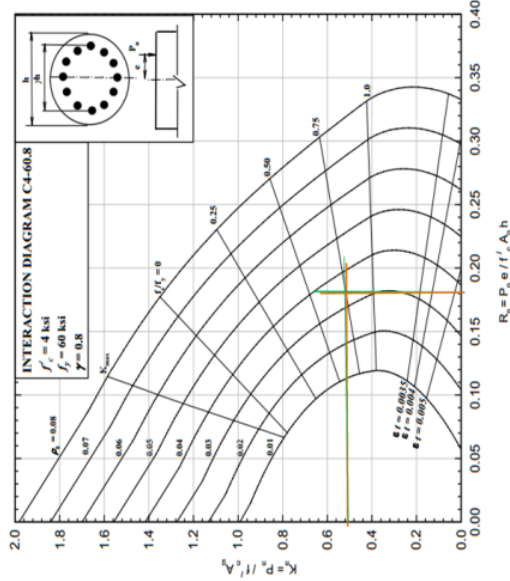
### SISMO Y-Y

En el sentido Y-Y las columnas trabajan en curvatura doble, se puede producir rótula plástica en ambos extremos

P<sub>ns</sub> = 361,901,286

M<sub>ns</sub> = Se calcula con la curva de interacción

K <sub>ns</sub> :	P <sub>ns</sub> /A <sub>g</sub> f' <sub>c</sub> :	0.544
p <sub>ns</sub> :	p <sub>ns</sub> :	0.03331





R <sub>ns</sub> :	M <sub>ns</sub> /A <sub>g</sub> f' <sub>c</sub> h:	0.180
M <sub>ns</sub> :	M <sub>ns</sub> :	65.86

Ton-m

V<sub>ns</sub>: ΣM<sub>ns</sub>/L  
 M<sub>ns</sub>: Momentos en los extremos.  
 L: Longitud de la columna

V <sub>ns</sub> :	M <sub>ns</sub> /L	43905.33 kg
-------------------	--------------------	-------------

# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

<p><b>DISEÑO POR CONFINAMIENTO</b></p> <p><b>EXTREMO INFERIOR</b></p> <p><math>\rho_s = \frac{4 \cdot A_{sp}}{S \cdot D'} \geq 0,16 (f_{ce}/f_{ye}) (0,50 + 1,25 P_u / (f_{ce} \cdot A_g)) + 0,13 (\rho - 0,01)</math></p> <p> <math>f_{ce} = 280 \text{ kg/cm}^2</math>  <math>f_{ye} = 4200 \text{ kg/cm}^2</math>  <math>P_u \text{ max} = 253330,90</math>  <math>1,25 P_u = 316663,63 \text{ kg}</math>  <math>f_{ce} = 364 \text{ kg/cm}^2</math>  <math>f_{ye} = 4620 \text{ kg/cm}^2</math>  <math>A_g = 2375,83 \text{ cm}^2</math>  <math>\rho = 0,0331</math> </p> <p style="text-align: center;"><math>\rho_s \text{ min} = 0,01096</math></p> <p><b>Confinamiento</b></p>  <p> <math>D = 55,00 \text{ cm}</math>  <math>D' = D - 2 \cdot (r + \phi_e + \phi / 2) = 43,4</math> </p> <p>Cuántía volumétrica</p> <p><math>\rho_s = \frac{4 \cdot A_{sp}}{S \cdot D'}</math></p> <p><math>A_{sp} = 1,130973355 \text{ cm}^2</math></p> <p><math>S = \frac{4 \cdot A_{sp}}{D' \cdot \rho_s} = 9,513498883</math></p> <p><math>S: 9,00 \text{ cm}</math> separación</p> <p style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px;"><math>\phi 12 @ 9 \text{ cm.}</math></p>	<p><b>EXTREMO SUPERIOR</b></p> <p><math>\rho_s = \frac{4 \cdot A_{sp}}{S \cdot D'} \geq 0,16 (f_{ce}/f_{ye}) (0,50 + 1,25 P_u / (f_{ce} \cdot A_g)) + 0,13 (\rho - 0,01)</math></p> <p> <math>f_{ce} = 280 \text{ kg/cm}^2</math>  <math>f_{ye} = 4200 \text{ kg/cm}^2</math>  <math>P_u \text{ max} = 253330,90</math>  <math>1,25 P_u = 316663,63 \text{ kg}</math>  <math>f_{ce} = 364 \text{ kg/cm}^2</math>  <math>f_{ye} = 4620 \text{ kg/cm}^2</math>  <math>A_g = 2375,83 \text{ cm}^2</math>  <math>\rho = 0,0331</math> </p> <p style="text-align: center;"><math>\rho_s \text{ min} = 0,01096</math></p> <p><b>Confinamiento</b></p>  <p> <math>D = 55,00 \text{ cm}</math>  <math>D' = D - 2 \cdot (r + \phi_e + \phi / 2) = 43,4</math> </p> <p>Cuántía volumétrica</p> <p><math>\rho_s = \frac{4 \cdot A_{sp}}{S \cdot D'}</math></p> <p><math>A_{sp} = 1,130973355 \text{ cm}^2</math></p> <p><math>S = \frac{4 \cdot A_{sp}}{D' \cdot \rho_s} = 9,513498883</math></p> <p><math>S: 9,00 \text{ cm}</math> separación</p> <p style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px;"><math>\phi 12 @ 9 \text{ cm.}</math></p>
<p><b>RESISTENCIA AL CORTE EN ZONAS DE ROTULA PLASTICA</b></p> <p>De acuerdo al comité ASCE - ACI 426 para diseñar por corte se pueden utilizar las siguientes ecuaciones</p> <p><math>V = \phi (V_c + V_s)</math></p> <p><math>\phi = 0,85</math></p>	

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

	EXTREMO SUPERIOR
<p>se calcula vb</p> <p style="text-align: center;"><math>\rho = 0,033057851</math></p> <p style="text-align: center;"><math>vb = (0,80 + 120 \rho) \sqrt{f_c}</math></p> <p style="text-align: center;">vb= 176,04 psi</p> <p style="text-align: center;">vb ≤ 2,4 √f<sub>c</sub> en zonas de articulación plástica</p> <p>Entonces</p> <p style="text-align: center;">176,04 ≤ 151,79</p> <p style="text-align: center;">vb: 151,79 psi</p> <p>En zonas de articulación plástica:</p> <p>SI Pu &gt; 0,1f<sub>c</sub>Ag</p> <p style="text-align: center;">557327,98 &gt; 147301,72 OK</p> <p>usar</p> <p style="text-align: center;"><math>vc = 4\sqrt{b} \sqrt{\frac{Pu}{AgF_c} - 0,1}</math></p> <p>vc 320,33</p> <p>Ag 368,2543004 pg2</p> <p>Ae=0,80Ag dCol 0,55 m</p> <p>Ae=0,628 D<sup>2</sup> dCol 21,65 pg</p> <p>Ae= 294,45 pg2</p> <p>Vc=vc * Ae</p> <p>Vc= 94323,68 pounds</p>	<p style="text-align: center;">se calcula vb</p> <p style="text-align: center;"><math>\rho = 0,03305785</math></p> <p style="text-align: center;"><math>vb = (0,80 + 120 \rho) \sqrt{f_c}</math></p> <p style="text-align: center;">vb= 176,04 psi</p> <p style="text-align: center;">vb ≤ 2,4 √f<sub>c</sub> en zonas de articulación plástica</p> <p>Entonces</p> <p style="text-align: center;">176,04 ≤ 151,79</p> <p style="text-align: center;">vb: 151,79 psi</p> <p>En zonas de articulación plástica:</p> <p>SI Pu &gt; 0,1f<sub>c</sub>Ag</p> <p style="text-align: center;">557327,98 &gt; 147301,72 OK</p> <p>usar</p> <p style="text-align: center;"><math>vc = 4\sqrt{b} \sqrt{\frac{Pu}{AgF_c} - 0,1}</math></p> <p>vc 320,33</p> <p>Ag 368,2543004 pg2</p> <p>Ae=0,80Ag dCol 0,55 m</p> <p>Ae=0,628 D<sup>2</sup> dCol 21,65 pg</p> <p>Ae= 294,45 pg2</p> <p>Vc=vc * Ae</p> <p>Vc= 94323,68 pounds</p>

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

Espaciamiento mínimo en zonas de articulación plástica	Espaciamiento mínimo en zonas de articulación plástica
<p>La separación (s) para restringir el pandeo:</p> $s \min \leq [3 + 6(f_u/f_y - 1)] \text{ dbl}$ <p> <math>f_u/f_y = 1.5</math>  <math>\text{dbl} = 2.2 \text{ cm}</math>  <math>s_{\min} = 13.2 \text{ cm}</math>  <math>s_{\min} = 13 \text{ cm}</math> </p> <p> <math>f_u/f_y = 1.5</math>  <math>\text{dbl} = 2.2 \text{ cm}</math>  <math>s_{\min} = 13.2 \text{ cm}</math>  <math>s_{\min} = 13 \text{ cm}</math> </p> <p> <math>s = 13 \text{ cm}</math> </p> <p>diámetro varilla longitudinal</p> <p>especiamento estribos</p>	<p>La separación (s) para restringir el pandeo:</p> $s \min \leq [3 + 6(f_u/f_y - 1)] \text{ dbl}$ <p> <math>f_u/f_y = 1.5</math>  <math>\text{dbl} = 2.2 \text{ cm}</math>  <math>s_{\min} = 13.2 \text{ cm}</math>  <math>s_{\min} = 13 \text{ cm}</math> </p> <p> <math>f_u/f_y = 1.5</math>  <math>\text{dbl} = 2.2 \text{ cm}</math>  <math>s_{\min} = 13.2 \text{ cm}</math>  <math>s_{\min} = 13 \text{ cm}</math> </p> <p> <math>s = 13 \text{ cm}</math> </p> <p>diámetro varilla longitudinal</p> <p>especiamento estribos</p>
<p>Pero</p> <p><math>s \leq D/5</math></p> <p><math>13 \leq 11</math></p>	<p>Pero</p> <p><math>s \leq D/5</math></p> <p><math>13 \leq 11</math></p>
<p>Entonces</p>	<p>Entonces</p>
<p>Refuerso transversal</p> <p><math>D = 0.80 D</math></p> <p><math>D = 17,32283465 \text{ pg}</math></p> <p><math>A_h = 0.175301221 \text{ pg}^2</math></p> <p> <math>v_s = (\pi/2) (A_h * f_y * D) / s</math>  <math>f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2</math>  <math>f_y = 60000 \text{ psi}</math> </p> <p>Vs: 80773,00 pounds</p> <p><math>V_r = \phi (V_c + V_s)</math></p> <p>Vr 148832,18 pounds</p> <p><math>V_r &gt; V_u</math> 96591,72 OK</p>	<p>Refuerso transversal</p> <p><math>D = 0.80 D</math></p> <p><math>D = 17,32283465 \text{ pg}</math></p> <p><math>A_h = 0.175301221 \text{ pg}^2</math></p> <p> <math>v_s = (\pi/2) (A_h * f_y * D) / s</math>  <math>f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2</math>  <math>f_y = 60000 \text{ psi}</math> </p> <p>Vs: 80773,00 pounds</p> <p><math>V_r = \phi (V_c + V_s)</math></p> <p>Vr 148832,18 pounds</p> <p><math>V_r &gt; V_u</math> 96591,72 OK</p>

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### RESISTENCIA AL CORTANTE EN ZONA CENTRAL

para	$v_c$	$\left\{ \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right.$	$v_b ( 1 + 3P_u / f'c A_g )$ $v_b ( 1 + P_u / 500 A_g )$	si $P_u$ está en compresión  Si $P_u$ está en tensión
------	-------	--	---	---

Entonces  $v_c = v_b ( 1 + 3P_u / f'c A_g )$

Obtenemos  $v_c = v_b ( 1 + 3P_u / f'c A_g )$

$v_c = 267,83$  pounds

Calculamos  $V_c = v_c * A_e$

$V_c:$	78862,65 lb
--------	-------------

$V_s = (V_u - V_c) / 0.85$

$V_s = 20857,74$  lb

### Refuerzo transversal

$D' = 0,80 D$

$D' = 17,32283465$  pg

$A_h = 0,175301221$  pg<sup>2</sup>      área de la espiral

$v_s = (\pi/2) ( A_h * f_y * D' ) / s$	$f_y$	4200 kg/cm <sup>2</sup>
	$f_y$	60000 psi

$s$	13,72 pg
-----	----------

$s = 34,85$  cm



# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

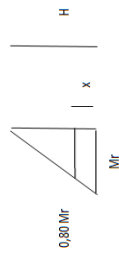
Estribos:

Extremos: Espiral de 12 mm c/10 cm. En la longitud de confinamiento  
Zona Central Espiral de 12 mm c/34 cm.

Extensión del confinamiento en zona de articulación plástica

SI	a) $P_u/f_c A_g \leq 0.30$	b) $P_u/f_c A_g \geq 0.30$
	$P_u/f_c A_g:$ 0,343 Usar caso b)	$P_u/f_c A_g:$ 0,256 USAR CASO a)
L	3,30 m	3,30 m
L	330,00 cm	330,00 cm
L	129,97 pg	129,97 pg

a)  $P_u/f_c A_g \leq 0.30$



80% M La distancia que se produce Mu y 0.8Mu

Por semejanzas de triángulos

$$\frac{H-x}{H} = \frac{0,8Mr}{Mr}$$

$x = 66 \text{ cm}$

Conclusion Usar la mayor altura

Lp: 66,00 cm

b)  $P_u/f_c A_g \geq 0.30$

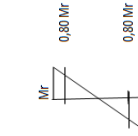
Lp 1,5lp

Lp: 99 cm

Extensión del confinamiento en zona de articulación plástica

SI	a) $P_u/f_c A_g \leq 0.30$	b) $P_u/f_c A_g \geq 0.30$
	$P_u/f_c A_g:$ 0,256 USAR CASO a)	$P_u/f_c A_g:$ 0,256 USAR CASO a)
L	3,30 m	3,30 m
L	330,00 cm	330,00 cm
L	129,97 pg	129,97 pg

a)  $P_u/f_c A_g \leq 0.30$



D Dimensión sección transversal de la columna  
80% M La distancia que se produce Mu y 0.8Mu

D 0,55 cm



POR SEMEJANZA DE TRIANGULOS

PARA  $0,80 Mb$

$$\frac{H/2}{H/2-x} = \frac{Mb}{0,8Mb}$$

x 30,00 cm

# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

Altura de Columna 3.5 m

ALTURA DE COLUMNAS		ESTADOS DE CARGA		COLUMNAS																	
H	Junta	n:	dCol:	Hcabezal	Hcol	Hpila	Hpila														
3,50 m	0,10 m	0,60 m	0,55 m	0,60	11,48 ft	4,10 m	13,45 ft														
1) Pu max.																					
2) M22 Max. (sentidoY - Sentido longitudinal)																					
3) M33 Max. (sentidoY - Sentido longitudinal)																					
Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	V3	T	M2	M3	FrameElem	ElemStation	M inf	M sup							
Text	m	Text	Text	Text	Tonf	Tonf	Tonf	Tonf-m <sup>2</sup>	Tonf-m <sup>2</sup>	Tonf-m <sup>2</sup>	Text	m									
<b>SISMO X-X</b>																					
98	0 COMB2		Combination	Max	-173,1295	-0,9952	8,3478	0,37083	35,85954	2,44225	98-1	0	35,94								
98	3,5 COMB2		Combination	Max	-170,5321	-0,9952	8,3478	0,37083	6,65079	21,12589	98-1	3,5	22,15								
98	0 COMB2		Combination	Min	-190,9101	-10,4339	-7,2639	-0,32014	-31,15767	-15,3929	98-1	0	34,75								
98	3,5 COMB2		Combination	Min	-188,3127	-10,4339	-7,2639	-0,32014	-5,74255	5,92552	98-1	3,5	8,25								
99	0 COMB2		Combination	Max	-228,1367	5,4909	8,8406	0,00011	36,888	9,79564	99-1	0	38,17								
99	3,5 COMB2		Combination	Max	-225,5393	5,4909	8,8406	0,00011	5,95512	9,4225	99-1	3,5	11,15								
99	0 COMB2		Combination	Min	-228,1392	-5,4909	-7,6907	-0,00011	-32,04705	-9,79564	99-1	0	33,51								
99	3,5 COMB2		Combination	Min	-225,5418	-5,4909	-7,6907	-0,00011	-5,1387	-9,4225	99-1	3,5	10,73								
100	0 COMB2		Combination	Max	-173,1295	10,4339	8,3478	0,32014	35,85954	15,3929	100-1	0	39,02								
100	3,5 COMB2		Combination	Max	-170,5321	10,4339	8,3478	0,32014	6,65079	-5,92552	100-1	3,5	8,91								
100	0 COMB2		Combination	Min	-190,9101	0,9952	-7,2639	-0,37083	-31,15767	-2,44225	100-1	0	31,25								
100	3,5 COMB2		Combination	Min	-188,3127	0,9952	-7,2639	-0,37083	-5,74255	-21,12589	100-1	3,5	21,89								
<b>SISMO Y-Y</b>																					
98	0 COMB3		Combination	Max	-152,3854	10,0166	2,8837	0,12899	12,40352	23,24993	98-1	0	26,35								
98	3,5 COMB3		Combination	Max	-149,788	10,0166	2,8837	0,12899	2,31312	38,85966	98-1	3,5	38,93								
98	0 COMB3		Combination	Min	-211,6541	-21,4458	-1,7998	-0,0783	-7,70165	-36,20058	98-1	0	37,01								
98	3,5 COMB3		Combination	Min	-209,0567	-21,4458	-1,7998	-0,0783	-1,40488	-11,80825	98-1	3,5	11,89								
99	0 COMB3		Combination	Max	-228,1376	18,303	3,0546	0,00038	12,76074	32,65212	99-1	0	35,06								
99	3,5 COMB3		Combination	Max	-225,5402	18,303	3,0546	0,00038	2,07229	31,40832	99-1	3,5	31,48								
99	0 COMB3		Combination	Min	-228,1383	-18,303	-1,9048	-0,00038	-7,91978	-32,65212	99-1	0	33,60								
99	3,5 COMB3		Combination	Min	-225,5409	-18,303	-1,9048	-0,00038	-1,25586	-31,40832	99-1	3,5	31,43								
100	0 COMB3		Combination	Max	-152,3854	21,4458	2,8837	0,0783	12,40352	36,20058	100-1	0	38,27								
100	3,5 COMB3		Combination	Max	-149,788	21,4458	2,8837	0,0783	2,31312	11,80825	100-1	3,5	12,03								
100	0 COMB3		Combination	Min	-211,6541	-10,0166	-1,7998	-0,12899	-7,70165	-23,24993	100-1	0	24,49								
100	3,5 COMB3		Combination	Min	-209,0567	-10,0166	-1,7998	-0,12899	-1,40488	-38,85966	100-1	3,5	38,89								

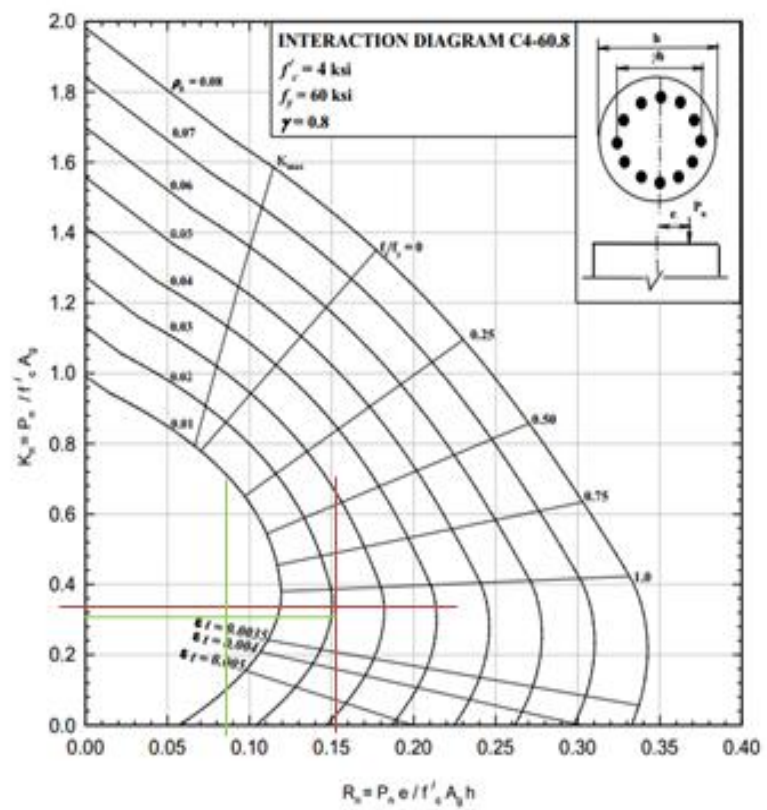
## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

SISMO X-X	
<p><b>EXTREMO INFERIOR COLUMNA</b></p> <p>Pu: 173,130 ton. Max de diseño</p> <p>M2: 35,860 ton-m Max de diseño</p> <p>M3: 15,393 ton-m Max de diseño</p> <p><math>M = \sqrt{M_{22}^2 + M_{33}^2}</math>                      Asumiendo que la curva que forma la carga Pn es una elipse</p> <p>M: 39,024 ton-m</p> <p>Area Gruesa de la seccion</p> <p>Ag: <math>\pi^2 d Col^2 / 4</math></p> <p>Ag: 0,2376 m<sup>2</sup></p> <p>Ag: 2375,83 cm<sup>2</sup></p>	<p><b>EXTREMO SUPERIOR COLUMNA</b></p> <p>Pu: 170,532 ton. Max de diseño</p> <p>M2: 6,651 ton-m Max de diseño</p> <p>M3: 21,126 ton-m Max de diseño</p> <p>M: 22,148 ton-m</p>
<p>Pu 173,130 Ton Mu 39,024 ton-m</p> <p>e= M/p excentricidad</p> <p>e= 0,225 m</p> <p><math>\phi</math> 0.9-(2Pu)/FcAg &lt;0,5 &gt; 0,9</p> <p><math>\phi</math> 0.379 &gt; 0,7 &lt; 0,9</p> <p>Pn Pu/φ 247,3278571 Ton Mn Mu/φ 55,74812122 ton-m</p>	<p>Pu 170,532 Ton Mu 22,148 ton-m</p> <p>e= M/p excentricidad</p> <p>e= 0,130 m</p> <p><math>\phi</math> 0.9-(2Pu)/FcAg &lt;0,5 &gt; 0,9</p> <p><math>\phi</math> 0.387 &gt; 0,7 &lt; 0,9</p> <p>Pn Pu/φ 243,617286 Ton Mn Mu/φ 31,64007521 ton-m</p>



**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---



## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

EXTREMO INFERIOR COLUMNA		EXTREMO SUPERIOR COLUMNA	
Pu:	211,654 ton.	Max de diseño	209,057 ton.
M2:	-7,702 ton-m	Max de diseño	-1,405 ton-m
M3:	-36,201 ton-m	Max de diseño	-38,860 ton-m
$M = \sqrt{M_{22}^2 + M_{33}^2}$ Asumiendo que la curva que forma la carga Pn es una elipse			
M	37,011 ton-m	M	38,885 ton-m
Área Gruesa de la sección			
Ag:	$\frac{\pi^2 \cdot I \cdot C \cdot \rho}{4}$		
Ag:	0,2376 m <sup>2</sup>		
Ag:	2375,83 cm <sup>2</sup>		
Pu	211,654 Ton	Mu	37,011 ton-m
e=	M/P	e=	M/P
e=	0,175 m	e=	0,186 m
$\phi$	$0.9 \cdot (2Pu / Fc \cdot Ag)$	$\phi$	$0.9 \cdot (2Pu / Fc \cdot Ag)$
	< 0,5		< 0,5
$\phi$	0,264 >	$\phi$	0,271 >
	<		<
	0,700		0,700
Pn	302,363 Ton	Mn	55,55006683 ton-m

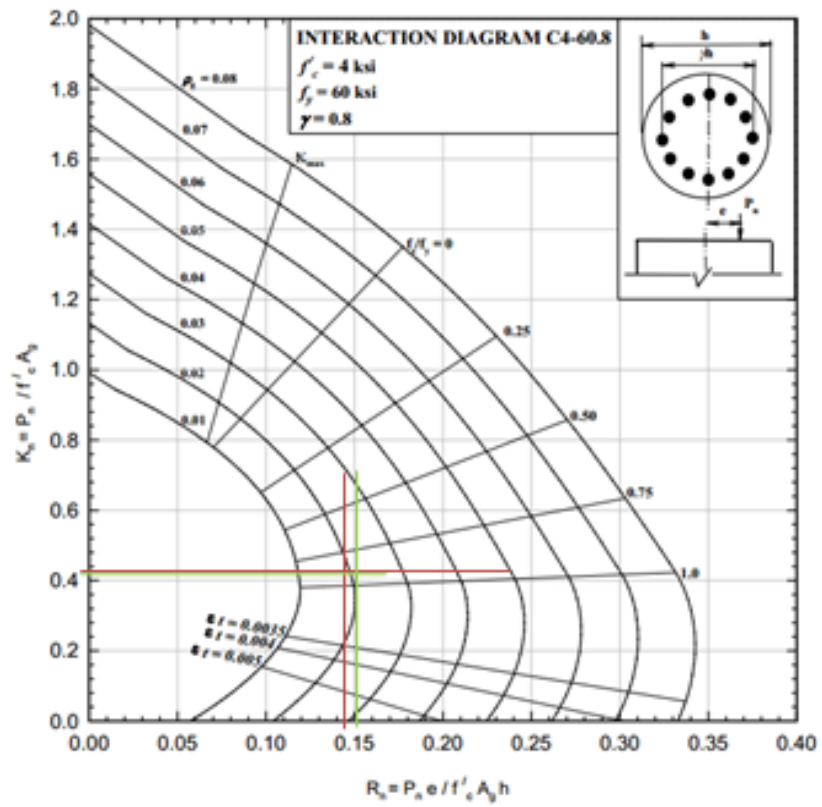
EXTREMO INFERIOR COLUMNA		EXTREMO SUPERIOR COLUMNA	
Pu	211,654 Ton	Mu	38,885 ton-m
e=	M/P	e=	M/P
e=	0,175 m	e=	0,186 m
$\phi$	$0.9 \cdot (2Pu / Fc \cdot Ag)$	$\phi$	$0.9 \cdot (2Pu / Fc \cdot Ag)$
	< 0,5		< 0,5
$\phi$	0,264 >	$\phi$	0,271 >
	<		<
	0,700		0,700
Pn	302,363 Ton	Mn	55,55006683 ton-m

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

Diseño flexocompresión	Diseño flexocompresión
Datos:	Datos:
$P_h = 302,363 \text{ Ton}$ $M_h = 52,873 \text{ Ton}\cdot\text{m}$ $A_g = 2375,83 \text{ cm}^2$ $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$	$P_h = 298,652 \text{ Ton}$ $M_h = 55,550 \text{ Ton}\cdot\text{m}$ $A_g = 2375,82944 \text{ cm}^2$ $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$
$y/h = h - 2 \text{ rec libre}$	$y/h = h - 2 \text{ rec libre}$
$h = 55 \text{ cm}$	$h = 55 \text{ cm}$
$\text{rec libre} = r1 + \phi e + \phi l / 2$	$\text{rec libre} = r1 + \phi e + \phi l / 2$
$\text{rec} = 3,5 \text{ cm}$	$\text{rec} = 3,5 \text{ cm}$
$\phi e = 1,2 \text{ cm}$	$\phi e = 1,2 \text{ cm}$
$\phi l = 2,2 \text{ cm}$	$\phi l = 2,2 \text{ cm}$
$\text{rec libre} = 5,8 \text{ cm}$	$\text{rec libre} = 5,8 \text{ cm}$
$y/h = 43,4$	$y/h = 43,4$
Determinamos $y = (y/h)h$	Determinamos $y = (y/h)h$
$y = 0,79$	$y = 0,79$
$K_n: P_h / A_g f_c = 0,453$ $R_n: M_h / A_g f_c h = 0,145$	$K_n: P_h / A_g f_c = 0,449$ $R_n: M_h / A_g f_c h = 0,152$
Hallamos p de la curva:	Hallamos p de la curva:
$p = 0,019$	$p = 0,020$
p de Diseño:	p de Diseño:
$p = 0,021$	$p = 0,020$

**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---





## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

	As	Ag <sup>p</sup>
As necesario=	49,5 cm <sup>2</sup>	47,5 cm <sup>2</sup>
Av	3,80 cm <sup>2</sup>	3,80 cm <sup>2</sup>
N°varillas	As/Av	area de la varilla longitudinal
N°varillas	13	As/Ag
As colocar:	49,4	ρ=
		ρ= 0,021
PARA MEJOR DISTRIBUCION USAR		
∅	2,50	∅
Av	4,91 cm <sup>2</sup>	Av
N°varillas	12	N°varillas
As1 colocar:	58,90	As2 colocar:
		0,00
	As1:	58,90 cm <sup>2</sup>
		ρcal= 0,0248
Ref. en columnas:	Toda la columna: 12 de 25 mm	

# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

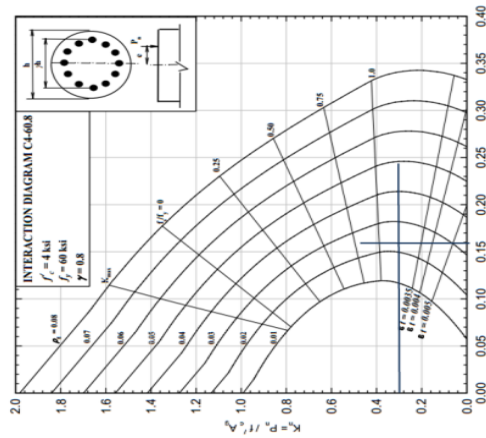
## CORRIENTE DE DISEÑO

### SISMO X-X

En el sentido X-X las columnas trabajan en curvatura simple, solo se puede producir rotula plástica en el extremo inferior

Pin= 247,328  
 Min= Se calcula con la curva de interacción

Kci:  $P_n/A_g f_c = 0.02929382$   
 P: 0.372



$$R_u = P_u e / f_c' A_g h$$

Ric:  $M_u / A_g f_c' h = 0.136$   
 Min= 65.52 Ton-m

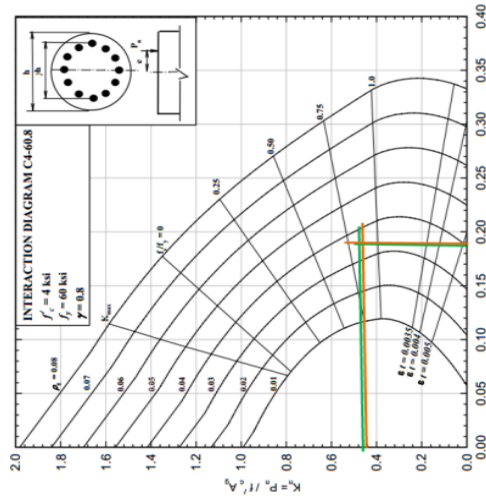
Vu:  $2M_u/L$   
 Mr: Momentos en los extremos.  
 L: Longitud de la columna  
 Vu:  $M_u/L$  19861.93 Kg

### SISMO Y-Y

En el sentido Y-Y las columnas trabajan en curvatura doble, se puede producir rotula plástica en ambos extremos

Extremo Inferior  
 Pin= 302,363  
 Min= Se calcula con la curva de interacción

Kci:  $P_n/A_g f_c = 0.02308$   
 P: 0.452



$$R_u = P_u e / f_c' A_g h$$

Extremo Inferior  
 Ric:  $M_u / A_g f_c' h = 0.136$   
 Min= 65.52 Ton-m

Vu:  $2M_u/L$   
 Mr: Momentos en los extremos.  
 L: Longitud de la columna  
 Vu:  $2M_u/L$  39723.87 Kg

Extremo Superior  
 Ric:  $M_u / A_g f_c' h = 0.136$   
 Min= 65.52 Ton-m

# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

**DISEÑO POR CONFINAMIENTO**

**EXTREMO INFERIOR**

$\rho_s = \frac{4 A_{sp}}{S D} \geq 0,16 (f_{ce}/f_{ye}) (0,50 + (1,25 P_u / (f_{ce} A_g))) + 0,13 (\rho - 0,01)$

$\rho_s \text{ min} = 0,0018$

$f_{ce} = 280 \text{ kg/cm}^2$   
 $f_{ye} = 4200 \text{ kg/cm}^2$   
 $P_u \text{ max} = 211654,10$   
 $1,25 P_u = 264567,63 \text{ kg}$   
 $f_{ce} = 364 \text{ kg/cm}^2$   
 $f_{ye} = 4620 \text{ kg/cm}^2$   
 $A_g = 2375,83 \text{ cm}^2$   
 $\rho = 0,024793388$

**Confinamiento**

$D = 55,00 \text{ cm}$   
 $D' = 43,4$

Cuántia volumétrica

$\rho_s = \frac{4 A_{sp}}{S D} = 1,130973355 \text{ cm}^2$

S =  $\frac{4 A_{sp}}{D' \rho_s} = 10,23555954$

S: 10,00 cm separación

$\phi 12 @ 10 \text{ cm.}$

**EXTREMO SUPERIOR**

$\rho_s = \frac{4 A_{sp}}{S D} \geq 0,16 (f_{ce}/f_{ye}) (0,50 + (1,25 P_u / (f_{ce} A_g))) + 0,13 (\rho - 0,01)$

$\rho_s \text{ min} = 0,0018$

$f_{ce} = 280 \text{ kg/cm}^2$   
 $f_{ye} = 4200 \text{ kg/cm}^2$   
 $P_u \text{ max} = 211654,10$   
 $1,25 P_u = 264567,63 \text{ kg}$   
 $f_{ce} = 364 \text{ kg/cm}^2$   
 $f_{ye} = 4620 \text{ kg/cm}^2$   
 $A_g = 2375,83 \text{ cm}^2$   
 $\rho = 0,0248$

**Confinamiento**

$D = 55,00 \text{ cm}$   
 $D' = 43,4$

Cuántia volumétrica

$\rho_s = \frac{4 A_{sp}}{S D} = 1,130973355 \text{ cm}^2$

S =  $\frac{4 A_{sp}}{D' \rho_s} = 10,23555954$

S: 10,00 cm separación

$\phi 12 @ 10 \text{ cm.}$

**RESISTENCIA AL CORTE EN ZONAS DE ROTURA PLASTICA**

De acuerdo al comité ASCE - ACI 408 para diseñar por corte se pueden utilizar las siguientes ecuaciones

$V_r = \phi (V_c + V_s)$

$\phi = 0,85$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

<b>EXTREMO INFERIOR</b>	<b>EXTREMO SUPERIOR</b>
se calcula vb	se calcula vb
$p = 0,024793388$ $vb = (0,80 + 120 p) \sqrt{f_c}$	$p = 0,02479339$ $vb = (0,80 + 120 p) \sqrt{f_c}$
vb= 144,68 psi	vb= 144,68 psi
vb ≤ 2,4√f <sub>c</sub> en zonas de articulación plástica	vb ≤ 2,4√f <sub>c</sub> en zonas de articulación plástica
Entonces	Entonces
144,68 ≤ 151,79	144,68 ≤ 151,79
vb: 144,68 psi	vb: 144,68 psi
En zonas de articulación plástica:	En zonas de articulación plástica:
SI    Pu > 0,1f <sub>c</sub> Ag    280 kg/cm <sup>2</sup> f <sub>c</sub>	SI    Pu > 0,1f <sub>c</sub> Ag    280 kg/cm <sup>2</sup> f <sub>c</sub>
46569,02 > 147301,72 OK	46569,02 > 147301,72 OK
usar	usar
$vc = 4\sqrt{b} \sqrt{\frac{Pu}{AgF_c} - 0,1}$	$vc = 4\sqrt{b} \sqrt{\frac{Pu}{AgF_c} - 0,1}$
vc    269,04	vc    269,04
Ae = 0,80Ag    368,2543004 pg <sup>2</sup> Ag	Ae = 0,80Ag    368,2543004 pg <sup>2</sup> Ag
Ae = 0,628 D <sup>2</sup> 0,55 m    dCol	Ae = 0,628 D <sup>2</sup> 0,55 m    dCol
Ae= 294,45 pg <sup>2</sup> 21,65 pg    dCol	Ae= 294,45 pg <sup>2</sup> 21,65 pg    dCol
Vc = vc * Ae	Vc = vc * Ae
Vc = 79218,78 pounds	Vc = 79218,78 pounds

# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

Espaciamiento mínimo en zonas de articulación plástica		Espaciamiento mínimo en zonas de articulación plástica	
La separación (s) para restringir el pandeo:		La separación (s) para restringir el pandeo:	
$s \min \leq [3 + 6(f_u/f_y - 1)] \text{ dbi}$		$s \min \leq [3 + 6(f_u/f_y - 1)] \text{ dbi}$	
$f_u/f_y =$	1.5	$f_u/f_y =$	1.5
$\text{dbi} =$	2,2 cm	$\text{dbi} =$	2,2 cm
$s_{\min} =$	13,2 cm	$s_{\min} =$	13,2 cm
$s_{\min} =$	13 cm	$s_{\min} =$	13 cm
$s =$	13 cm	$s =$	13 cm
Pero		Pero	
$s \leq$	13	$s \leq$	13
$D/5$	11	$D/5$	11
Entonces		Entonces	
$s \text{ recom}$	10,00 cm	$s \text{ recom}$	10,00 cm
Reinuerzo transversal		Reinuerzo transversal	
$D' =$	0,80 D	$D' =$	0,80 D
$D =$	17,32383465 pg	$D =$	17,3238346 pg
$A_h =$	0,175301221 pg2	$A_h =$	0,17530122 pg2
$v_s = (\pi/2) \sqrt{A_h \cdot f_y \cdot D}$		$v_s = (\pi/2) \sqrt{A_h \cdot f_y \cdot D}$	
$V_s =$	72695,70 pounds	$V_s =$	72695,70 pounds
$V_r = \phi (V_c + V_s)$		$V_r = \phi (V_c + V_s)$	
$V_r$	129127,31 pounds	$V_r$	129127,31 pounds
$V_r >$	$V_u$	$V_r >$	$V_u$
129127,31	87392,51 OK	129127,31	87392,51 OK
$f_y$		$f_y$	
4200 kg/cm2		4200 kg/cm2	
60000 psi		60000 psi	
área de la espiral		área de la espiral	
10,00 cm		10,00 cm	
espaciamiento estribos		espaciamiento estribos	
13 cm		13 cm	
diámetro varilla longitudinal		diámetro varilla longitudinal	
2,2 cm		2,2 cm	
1,5		1,5	
$f_u/f_y =$		$f_u/f_y =$	
13,2 cm		13,2 cm	
$s_{\min} =$		$s_{\min} =$	
13 cm		13 cm	
$s_{\min} =$		$s_{\min} =$	
13 cm		13 cm	
$\text{dbi} =$		$\text{dbi} =$	
2,2 cm		2,2 cm	
$f_u/f_y =$		$f_u/f_y =$	
1,5		1,5	
$s \min \leq [3 + 6(f_u/f_y - 1)] \text{ dbi}$		$s \min \leq [3 + 6(f_u/f_y - 1)] \text{ dbi}$	

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### RESISTENCIA AL CORTANTE EN ZONA CENTRAL

para  $v_c$   $\left\{ \begin{array}{l} v_b ( 1 + 3P_u / f'c Ag) \quad \text{si } P_u \text{ está en compresión} \\ v_b ( 1 + P_u / 500 Ag) \quad \text{Si } P_u \text{ está en tensión} \end{array} \right.$

Entonces  $v_c = v_b ( 1 + 3P_u / f'c Ag)$

Obtenemos  $v_c = v_b ( 1 + 3P_u / f'c Ag)$

$v_c = 255,23$  pounds

Calculamos  $V_c = v_c * A_e$

$V_c = 75153,30$  lb

$V_s = (V_u - V_c) / 0.85$

$V_s = 14399,07$  lb

### Refuerzo transversal

$D' = 0,80 D$

$D' = 17,32283465$  pg

$A_h = 0,175301221$  pg<sup>2</sup>      área de la espiral

$v_s = (\pi/2) ( A_h * f_y * D' ) / s$        $f_y = 4200$  kg/cm<sup>2</sup>  
 $f_y = 60000$  psi

$s = 19,88$  pg

$s = 50,49$  cm

# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

**Estribos:**  
 Extremos: Espiral de 12 mm c/10 cm. En la longitud de confinamiento  
 Zona Central: Espiral de 12 mm c/50 cm.

**Extensión del confinamiento en zona de articulación plástica**

SI	a) $P_u/F_c A_g \leq 0,30$	b) $P_u/F_c A_g \geq 0,30$
	$P_u/F_c A_g$ : 0,260 USAR CASO a)	$P_u/F_c A_g$ : 0,256 USAR CASO a)
L	3,80 m	3,80 m
L	380,00 cm	380,00 cm
L	146,61 pg	146,61 pg

a)  $P_u/F_c A_g \leq 0,30$

80% M La distancia que se produce  $M_u$  y  $0,8M_u$

Dimension section transversal de la columna  
 La distancia que se produce  $M_u$  y  $0,8M_u$

80% M

$D = 0,55 \text{ cm}$

Por semejanza de triángulos

$$\frac{H-x}{H} = \frac{0,8Mr}{Mr}$$

$x = 76 \text{ cm}$

Conclusion Usar la mayor altura

Lp: 76,00 cm

b)  $P_u/F_c A_g \geq 0,30$

Lp: 114 cm

0,80 Mr

$H/2$

$H/2$

$M_b$

PARA 0,80  $M_b$

POR SEMEJANZA DE TRIANGULOS

$$\frac{H/2}{H/2-x} = \frac{M_b}{0,8M_b}$$

$x = 35,00 \text{ cm}$

0,80 Mr

0,80 Mr

175,00

# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

Altura de Columna 4 m.

ALTURA DE COLUMNAS		ESTADOS DE CARGA	
H	4.00 m	1) Pu max.	
Junta	0.10 m	2) M22 Max. (sentidoY - Sentido longitudinal)	
n:	0.60 m	3) M33 Max. (sentidoY - Sentido longitudinal)	
dCol:	0.55 m		

COLUMNAS		ESTADOS DE CARGA	
Hcabezal	0.60	1) Pu max.	
Hcol	13.12 ft	2) M22 Max. (sentidoY - Sentido longitudinal)	
Hpila	4.60 m	3) M33 Max. (sentidoY - Sentido longitudinal)	
Hpila	15.09 ft		

Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	V3	T	M2	M3	FrameElem	ElemStation	M inf	M sup
Text	m	Text	Text	Text	Tonf	Tonf	Tonf	Tonf-m	Tonf-m	Tonf-m	Text	m		
<b>SISMO X-X</b>														
98	0	COMB2	Combination	Max	-173.621	-0.1039	6.9924	0.27777	33.34297	3.62108	98-1	0	33.54	
98	4	COMB2	Combination	Max	-170.6525	-0.1039	6.9924	0.27777	5.38179	20.77182	98-1	4	21.46	
98	0	COMB2	Combination	Min	-191.3038	-9.1001	-6.0918	-0.23939	-28.99495	-15.62854	98-1	0	32.94	
98	4	COMB2	Combination	Min	-188.3354	-9.1001	-6.0918	-0.23939	-4.65626	4.03688	98-1	4	6.15	
99	0	COMB2	Combination	Max	-228.1557	5.1547	7.282	0.00012	34.03089	10.48404	99-1	0	35.61	
99	4	COMB2	Combination	Max	-225.1873	5.1547	7.282	0.00012	4.91183	10.1349	99-1	4	11.26	
99	0	COMB2	Combination	Min	-228.1586	-5.1547	-6.3426	-0.00012	-29.5894	-10.48404	99-1	0	31.39	
99	4	COMB2	Combination	Min	-225.1901	-5.1547	-6.3426	-0.00012	-4.22793	-10.1349	99-1	4	10.98	
100	0	COMB2	Combination	Max	-173.621	9.1001	6.9924	0.23939	33.34297	15.62854	100-1	0	36.82	
100	4	COMB2	Combination	Max	-170.6525	9.1001	6.9924	0.23939	5.38179	-4.03688	100-1	4	6.73	
100	0	COMB2	Combination	Min	-191.3038	0.1089	-6.0918	-0.27777	-28.99495	-3.62108	100-1	0	29.22	
100	4	COMB2	Combination	Min	-188.3354	0.1089	-6.0918	-0.27777	-4.65626	-20.77182	100-1	4	21.28	
<b>SISMO Y-Y</b>														
98	0	COMB3	Combination	Max	-152.991	10.3916	2.4129	0.09676	11.5247	26.07898	98-1	0	28.51	
98	4	COMB3	Combination	Max	-150.0225	10.3916	2.4129	0.09676	1.87547	40.29582	98-1	4	40.34	
98	0	COMB3	Combination	Min	-211.9339	-19.5956	-1.5123	-0.05838	-7.17668	-38.08643	98-1	0	38.76	
98	4	COMB3	Combination	Min	-208.9654	-19.5956	-1.5123	-0.05838	-1.12994	-15.48723	98-1	4	15.53	
99	0	COMB3	Combination	Max	-228.1567	17.1825	2.5134	0.0004	11.76379	34.94681	99-1	0	36.87	
99	4	COMB3	Combination	Max	-225.1883	17.1825	2.5134	0.0004	1.71292	33.783	99-1	4	33.83	
99	0	COMB3	Combination	Min	-228.1576	-17.1825	-1.574	-0.0004	-7.3223	-34.94681	99-1	0	35.71	
99	4	COMB3	Combination	Min	-225.1891	-17.1825	-1.574	-0.0004	-1.02901	-33.783	99-1	4	33.80	
100	0	COMB3	Combination	Max	-152.991	19.5956	2.4129	0.05838	11.5247	38.08643	100-1	0	39.79	
100	4	COMB3	Combination	Max	-150.0225	19.5956	2.4129	0.05838	1.87547	15.48723	100-1	4	15.60	
100	0	COMB3	Combination	Min	-211.9339	-10.3916	-1.5123	-0.09676	-7.17668	-26.07898	100-1	0	27.05	
100	4	COMB3	Combination	Min	-208.9654	-10.3916	-1.5123	-0.09676	-1.12994	-40.29582	100-1	4	40.31	



## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

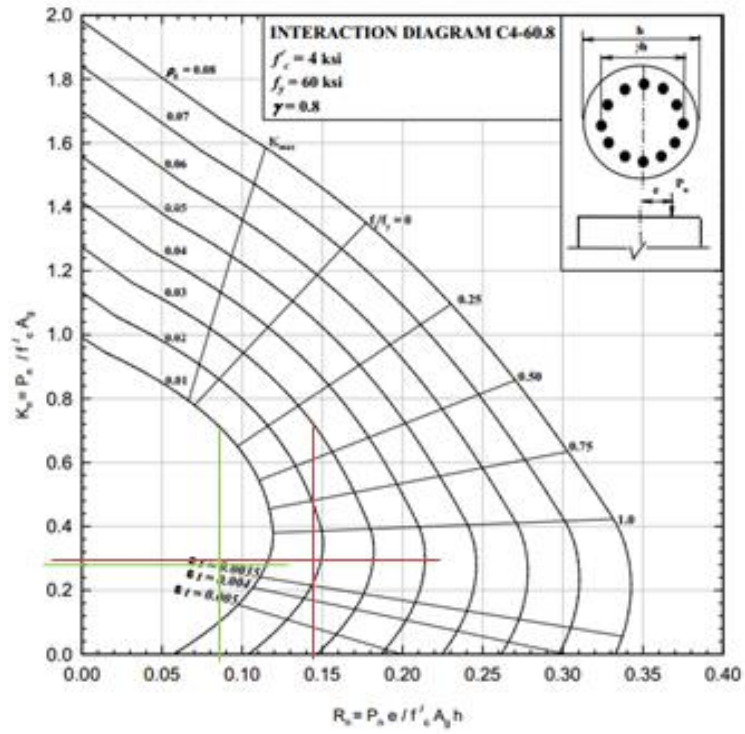
EXTREMO INFERIOR COLUMNA		EXTREMO SUPERIOR COLUMNA	
Pu:	173,621 ton.	Pu:	170,653 ton.
M2:	33,343 ton-m	M2:	5,382 ton-m
M3:	15,629 ton-m	M3:	20,772 ton-m
$M = \sqrt{M_{22}^2 + M_{33}^2}$		$M = \sqrt{M_{22}^2 + M_{33}^2}$	
Asumiendo que la curva que forma la carga Pn es una elipse		Asumiendo que la curva que forma la carga Pn es una elipse	
M	36,824 ton-m	M	21,458 ton-m
Area Gruesa de la sección			
Ag:	$\pi \cdot d \cdot \text{Coil}^2 / 4$		
Ag:	0,2376 m <sup>2</sup>		
Ag:	2375,83 cm <sup>2</sup>		
Pu	173,621 Ton	Mu	170,653 Ton
e=	M/P	e=	M/P
e=	0,212 m	e=	0,126 m
$\phi$	0,9 · (2Pu / Fc Ag)	$\phi$	0,9 · (2Pu / Fc Ag)
$\phi$	0,378 >	$\phi$	0,387 >
	<		<
	0,9		0,9
Pn	Pu/φ	Pn	Pu/φ
	248,03 Ton		243,789286 Ton
	Mu/φ		Mu/φ
	36,824 ton-m		21,458 ton-m

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

Diseño flexocompresión		Diseño flexocompresión	
Datos:			
Ph=	248,000 Ton	fy	4200 kg/cm2
Mn=	52,606 Ton-m		
Ag=	2375,83 cm2		
f'c=	280 kg/cm2		
$\psi_i = h - 2 \text{ rec libre}$			
h=	55 cm		
rec libre=	$r1 + \phi_e + \phi / 2$	$\phi$	area
rec=	3,5 cm	0,8	0,50
$\phi_e =$	1,2 cm	1,2	1,13
$\phi =$	2,2 cm	1,6	2,01
		1,8	2,54
rec libre=	5,8 cm	2	3,14
		2,2	3,80
$\psi_i =$	43,4	2,5	4,91
Determinamos $\psi = (\psi_i / h)$		2,8	6,16
		3,2	8,04
		0	0,00
$\psi =$	0,79		
$K_n: P_n / A_g f'c =$	0,373	$K_n: M_n / A_g f'c h =$	0,144
		$K_n: P_n / A_g f'c =$	0,366
		$K_n: M_n / A_g f'c h =$	0,094
		$\rho =$	0,017
		Hallamos $\rho$ de la curva:	
			0,010

**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---



## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

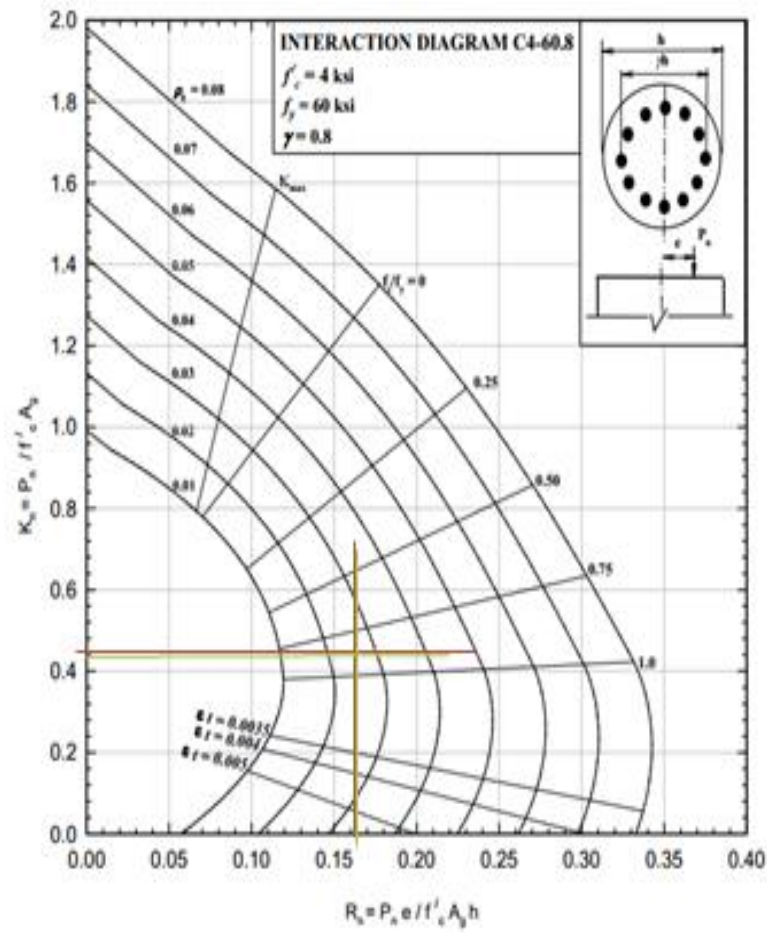
SISMO Y-Y	
<p><b>EXTREMO INFERIOR COLUMNA</b></p> <p>Pu: 211,934 ton. Max de diseño</p> <p>M2: -7,177 ton-m Max de diseño</p> <p>M3: -38,086 ton-m Max de diseño</p> <p style="text-align: center;"><math>M = \sqrt{M_{22}^2 + M_{33}^2}</math></p> <p style="text-align: center;">Asumiendo que la curva que forma la carga Pn es una elipse</p> <p>M: 38,757 ton-m</p> <p>Area Gruesa de la seccion</p> <p>Ag: <math>\pi^2 d Co^2 / 4</math></p> <p>Ag: 0,2376 m2</p> <p>Ag: 2375,883 cm2</p>	<p><b>EXTREMO SUPERIOR COLUMNA</b></p> <p>Pu: 208,965 ton. Max de diseño</p> <p>M2: -1,130 ton-m Max de diseño</p> <p>M3: -40,296 ton-m Max de diseño</p> <p>M: 40,312 ton-m</p>
<p>Pu: 211,934 Ton</p> <p>e=: M/P</p> <p>e=: 0,188 m</p> <p><math>\phi</math> 0.9-(2Pu)/F<sub>c</sub>Ag &lt;0,5 &gt;</p> <p><math>\phi</math> 0,263 &gt;</p> <p style="text-align: center;">&lt;</p> <p>Pn: 302,7627143 Ton</p>	<p>Mu: 38,757 ton-m</p> <p>Mu: 208,865 Ton</p> <p>e=: M/P</p> <p>e=: 0,193 m</p> <p>excentricidad</p> <p><math>\phi</math> 0.9-(2Pu)/F<sub>c</sub>Ag &lt;0,5 &gt;</p> <p><math>\phi</math> 0,272 &gt;</p> <p style="text-align: center;">&lt;</p> <p>Mu/φ: 55,36669753 ton-m</p> <p>Mn: 298,522 Ton</p> <p>Mu/φ: 57,5882749 ton-m</p>

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

Diseño flexocompresión	Diseño flexocompresión
<p>Datos:</p> <p> <math>P_n = 302,763 \text{ Ton}</math>  <math>M_n = 55,367 \text{ Ton}\cdot\text{m}</math>  <math>A_g = 2375,88 \text{ cm}^2</math>  <math>f_c = 280 \text{ kg/cm}^2</math> </p> <p><math>\gamma h = h - 2 \text{ rec libre}</math></p> <p><math>h = 55 \text{ cm}</math></p> <p> <math>\text{rec libre} = r_l + \phi_e + \phi / 2</math>  <math>\text{rec} = 3,5 \text{ cm}</math>  <math>\phi_e = 1,2 \text{ cm}</math>  <math>\phi = 2,2 \text{ cm}</math>  <math>\text{rec libre} = 5,8 \text{ cm}</math> </p> <p><math>\gamma h = 43,4</math></p> <p>Determinamos <math>\gamma = (\gamma h / h)</math></p> <p><math>\gamma = 0,79</math></p> <p> <math>K_n: \frac{P_n / A_g f_c}{M_n / A_g f_c h} = 0,455</math>  <math>R_n: \frac{M_n / A_g f_c h}{M_n / A_g f_c h} = 0,151</math> </p> <p>Hallamos <math>\rho</math> de la curva:</p> <p><math>\rho = 0,022</math></p> <p><math>\rho</math> de Diseño: <math>0,022</math></p>	<p>Datos:</p> <p> <math>P_n = 298,522 \text{ Ton}</math>  <math>M_n = 57,588 \text{ Ton}\cdot\text{m}</math>  <math>A_g = 2375,82944 \text{ cm}^2</math>  <math>f_c = 280 \text{ kg/cm}^2</math> </p> <p><math>\gamma h = h - 2 \text{ rec libre}</math></p> <p><math>h = 55 \text{ cm}</math></p> <p> <math>\text{rec libre} = r_l + \phi_e + \phi / 2</math>  <math>\text{rec} = 3,5 \text{ cm}</math>  <math>\phi_e = 1,2 \text{ cm}</math>  <math>\phi = 2,2 \text{ cm}</math>  <math>\text{rec libre} = 5,8 \text{ cm}</math> </p> <p><math>\gamma h = 43,4</math></p> <p>Determinamos <math>\gamma = (\gamma h / h)</math></p> <p><math>\gamma = 0,79</math></p> <p> <math>K_n: \frac{P_n / A_g f_c}{M_n / A_g f_c h} = 0,449</math>  <math>R_n: \frac{M_n / A_g f_c h}{M_n / A_g f_c h} = 0,157</math> </p> <p>Hallamos <math>\rho</math> de la curva:</p> <p><math>\rho = 0,023</math></p> <p><math>\rho</math> de Diseño: <math>0,023</math></p>

"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---



## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

As	Ag* $\rho$	As	Ag* $\rho$
As necesario=	52,3 cm <sup>2</sup>	As necesario=	54,6 cm <sup>2</sup>
Av	3,80 cm <sup>2</sup>	Av	3,80 cm <sup>2</sup>
N°varillas	As/Av	N°varillas	As/Av
N°varillas	14	N°varillas	15
As colocar:	53,2	As colocar:	57,0
	$\rho = 0,022$		$\rho = 0,024$
PARA MEJOR DISTRIBUCION USAR		PARA MEJOR DISTRIBUCION USAR	
$\phi$	2,50	$\phi$	2,50
Av	4,91 cm <sup>2</sup>	Av	4,91 cm <sup>2</sup>
N°varillas	12	N°varillas	12
As1 colocar:	58,90	As1 colocar:	58,90
	Ast: 58,90 cm <sup>2</sup>		Ast: 58,90 cm <sup>2</sup>
	$\rho_{cal} = 0,0248$		$\rho_{cal} = 0,0248$

Ref. en columnas: Toda la columna: 12 de 25 mm

# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

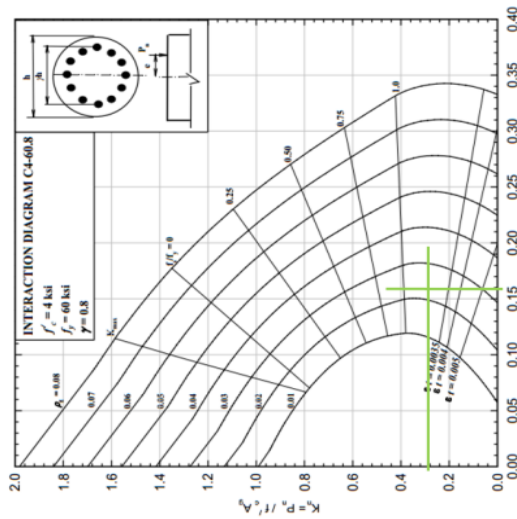
## CORTANTE DE DISEÑO

### SISMO X-X

En el sentido X-X las columnas trabajan en curvatura simple, solo se puede producir rótula plástica en el extremo inferior

Pi= 248.030  
 Mns= Se calcula con la curva de interacción

Kn:  $P_n / A_g f'_c = 0.373$   
 $\rho = 0.024793388$



Extremo inferior  
 Rn:  $M_n / A_g f'_c h = 0.165$   
 Mn = 58.54 Ton-m

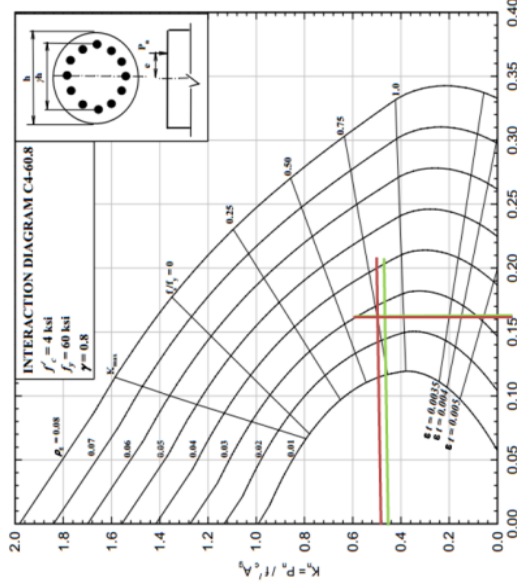
Vu:  $\Sigma M_r / L$   
 Mr Momentos en los extremos.  
 L Longitud de la columna  
 Vu:  $M_r / L$  14635.11 kg

### SISMO Y-Y

En el sentido Y-Y las columnas trabajan en curvatura doble, se puede producir rótula plástica en ambos extremos

Extremo Inferior  
 Pi= 302.762714  
 Mns= Se calcula con la curva de interacción

Kn:  $P_n / A_g f'_c = 0.453$   
 $\rho = 0.02488$



Extremo Superior  
 Rn:  $M_n / A_g f'_c h = 0.165$   
 Mn = 58.54 Ton-m

Vu:  $\Sigma M_r / L$   
 Mr Momentos en los extremos.  
 L Longitud de la columna  
 Vu:  $\Sigma M_r / L$  29270.22 kg



# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

<p><b>DISEÑO POR CONFINAMIENTO</b></p> <p><b>EXTREMO INFERIOR</b></p> <p><math>\rho_s = \frac{4 \cdot A_{sp}}{S \cdot D} \geq 0,16 (f_{ce}/f_{ye}) (0,50 + 1,25 \rho_u / (f_{ce} \cdot A_g)) + 0,13 (\rho - 0,01)</math></p> <p><math>\rho_s \text{ mini} = 0,01019</math></p> <p> <math>f'_{ce} = 280 \text{ kg/cm}^2</math>  <math>f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2</math>  <math>P_u \text{ max} = 211933,90</math>  <math>1,25 P_u = 264917,38 \text{ kg}</math>  <math>f'_{ce} = 364 \text{ kg/cm}^2</math>  <math>f_{ye} = 4620 \text{ kg/cm}^2</math>  <math>A_g = 2375,83 \text{ cm}^2</math>  <math>P = 0,024793388</math> </p> <p style="text-align: center;"><b>Confinamiento</b></p> <p style="text-align: center;"> <math>D = 55,00 \text{ cm}</math>  <math>D' = D - 2 \cdot (r_f + \phi_s + \phi/2)</math>  <math>D' = 43,4</math> </p> <p>Cuanta volumétrica</p> <p><math>\rho_s = \frac{4 \cdot A_{sp}}{S \cdot D}</math></p> <p>S = <math>\frac{4 \cdot A_{sp}}{D \cdot \rho_s}</math></p> <p>S: 10,00 cm separación</p> <p style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">φ12 @ 10 cm.</p>	<p><b>EXTREMO SUPERIOR</b></p> <p><math>\rho_s = \frac{4 \cdot A_{sp}}{S \cdot D} \geq 0,16 (f_{ce}/f_{ye}) (0,50 + 1,25 \rho_u / (f_{ce} \cdot A_g)) + 0,13 (\rho - 0,01)</math></p> <p><math>\rho_s \text{ mini} = 0,01019</math></p> <p> <math>f'_{ce} = 280 \text{ kg/cm}^2</math>  <math>f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2</math>  <math>P_u \text{ max} = 211933,90</math>  <math>1,25 P_u = 264917,38 \text{ kg}</math>  <math>f'_{ce} = 364 \text{ kg/cm}^2</math>  <math>f_{ye} = 4620 \text{ kg/cm}^2</math>  <math>A_g = 2375,83 \text{ cm}^2</math>  <math>P = 0,0248</math> </p> <p style="text-align: center;"><b>Confinamiento</b></p> <p style="text-align: center;"> <math>D = 55,00 \text{ cm}</math>  <math>D' = D - 2 \cdot (r_f + \phi_s + \phi/2)</math>  <math>D' = 43,4</math> </p> <p>Cuanta volumétrica</p> <p><math>\rho_s = \frac{4 \cdot A_{sp}}{S \cdot D}</math></p> <p>S = <math>\frac{4 \cdot A_{sp}}{D \cdot \rho_s}</math></p> <p>S: 10,00 cm separación</p> <p style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">φ12 @ 10 cm.</p>
<p><b>RESISTENCIA AL CORTE EN ZONAS DE ROTURA PLÁSTICA</b></p> <p>De acuerdo al comité ASCE - ACI 426 para diseñar por corte se pueden utilizar las siguientes ecuaciones</p> <p><math>V = \phi (V_c + V_s)</math></p> <p><math>\phi = 0,85</math></p>	

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

	EXTREMO SUPERIOR	EXTREMO INFERIOR
<p>se calcula vb</p> <p style="text-align: center;"><math>\rho = 0,02479339</math></p> <p style="text-align: center;"><math>vb = (0,80 + 120 \rho) \sqrt{f_c}</math></p> <p style="text-align: center;"><math>vb = 144,68 \text{ psi}</math></p> <p style="text-align: center;"><math>vb \leq 2,4 \sqrt{f_c}</math> en zonas de articulación plástica</p> <p>Entonces <math>144,68 \leq 151,79</math></p> <p style="text-align: center;"><b>vb: 144,68 psi</b></p> <p>En zonas de articulación plástica:</p> <p>SI <math>P_u &gt; 0,1 f_c A_g</math> <span style="float: right;">280 kg/cm<sup>2</sup> 4000 psi</span></p> <p>usar <math>vc = 4 \sqrt{vb} \sqrt{\frac{P_u}{A_g F_c} - 0,1}</math> <span style="float: right;">466254,58 &gt; 147301,72 OK</span></p> <p style="text-align: center;">vc = 269,30</p> <p style="text-align: center;">Ag = 368,2543004 pg<sup>2</sup></p> <p style="text-align: center;">dCol = 0,55 m</p> <p style="text-align: center;">dCol = 21,65 pg</p> <p style="text-align: center;"><b>Ae = 294,45 pg<sup>2</sup></b></p> <p style="text-align: center;"><b>Vc = vc * Ae</b></p> <p style="text-align: center;"><b>Vc = 79295,33 pounds</b></p>	<p>se calcula vb</p> <p style="text-align: center;"><math>\rho = 0,02479339</math></p> <p style="text-align: center;"><math>vb = (0,80 + 120 \rho) \sqrt{f_c}</math></p> <p style="text-align: center;"><math>vb = 144,68 \text{ psi}</math></p> <p style="text-align: center;"><math>vb \leq 2,4 \sqrt{f_c}</math> en zonas de articulación plástica</p> <p>Entonces <math>144,68 \leq 151,79</math></p> <p style="text-align: center;"><b>vb: 144,68 psi</b></p> <p>En zonas de articulación plástica:</p> <p>SI <math>P_u &gt; 0,1 f_c A_g</math> <span style="float: right;">280 kg/cm<sup>2</sup> 4000 psi</span></p> <p>usar <math>vc = 4 \sqrt{vb} \sqrt{\frac{P_u}{A_g F_c} - 0,1}</math> <span style="float: right;">466254,58 &gt; 147301,72 OK</span></p> <p style="text-align: center;">vc = 269,30</p> <p style="text-align: center;">Ag = 368,2543004 pg<sup>2</sup></p> <p style="text-align: center;">dCol = 0,55 m</p> <p style="text-align: center;">dCol = 21,65 pg</p> <p style="text-align: center;"><b>Ae = 294,45 pg<sup>2</sup></b></p> <p style="text-align: center;"><b>Vc = vc * Ae</b></p> <p style="text-align: center;"><b>Vc = 79295,33 pounds</b></p>	<p>se calcula vb</p> <p style="text-align: center;"><math>\rho = 0,02479339</math></p> <p style="text-align: center;"><math>vb = (0,80 + 120 \rho) \sqrt{f_c}</math></p> <p style="text-align: center;"><math>vb = 144,68 \text{ psi}</math></p> <p style="text-align: center;"><math>vb \leq 2,4 \sqrt{f_c}</math> en zonas de articulación plástica</p> <p>Entonces <math>144,68 \leq 151,79</math></p> <p style="text-align: center;"><b>vb: 144,68 psi</b></p> <p>En zonas de articulación plástica:</p> <p>SI <math>P_u &gt; 0,1 f_c A_g</math> <span style="float: right;">280 kg/cm<sup>2</sup> 4000 psi</span></p> <p>usar <math>vc = 4 \sqrt{vb} \sqrt{\frac{P_u}{A_g F_c} - 0,1}</math> <span style="float: right;">466254,58 &gt; 147301,72 OK</span></p> <p style="text-align: center;">vc = 269,30</p> <p style="text-align: center;">Ag = 368,2543004 pg<sup>2</sup></p> <p style="text-align: center;">dCol = 0,55 m</p> <p style="text-align: center;">dCol = 21,65 pg</p> <p style="text-align: center;"><b>Ae = 294,45 pg<sup>2</sup></b></p> <p style="text-align: center;"><b>Vc = vc * Ae</b></p> <p style="text-align: center;"><b>Vc = 79295,33 pounds</b></p>

# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

Espaciamiento mínimo en zonas de articulación plástica	Espaciamiento mínimo en zonas de articulación plástica
<p>La separación (s) para restringir el pandeo:</p> $s \min \leq [3 + 6(f_u/f_y - 1)] \text{ dbf}$ <p> <math>f_u/f_y = 1.5</math>  <math>\text{dbf} = 2.2 \text{ cm}</math>  <math>s_{\min} = 13.2 \text{ cm}</math>  <math>s_{\min} = 13 \text{ cm}</math> </p> <p> <math>f_u/f_y = 1.5</math>  <math>\text{dbf} = 2.2 \text{ cm}</math>  <math>s_{\min} = 13.2 \text{ cm}</math>  <math>s_{\min} = 13 \text{ cm}</math> </p> <p> <math>s = 13 \text{ cm}</math>      espaciamiento estribos                 </p>	<p>La separación (s) para restringir el pandeo:</p> $s \min \leq [3 + 6(f_u/f_y - 1)] \text{ dbf}$ <p> <math>f_u/f_y = 1.5</math>  <math>\text{dbf} = 2.2 \text{ cm}</math>  <math>s_{\min} = 13.2 \text{ cm}</math>  <math>s_{\min} = 13 \text{ cm}</math> </p> <p> <math>f_u/f_y = 1.5</math>  <math>\text{dbf} = 2.2 \text{ cm}</math>  <math>s_{\min} = 13.2 \text{ cm}</math>  <math>s_{\min} = 13 \text{ cm}</math> </p> <p> <math>s = 13 \text{ cm}</math>      espaciamiento estribos                 </p>
<p>Pero</p> <p style="text-align: center;"><math>s \leq D/5</math></p> <p style="text-align: center;">13      5      11</p>	<p>Pero</p> <p style="text-align: center;"><math>s \leq D/5</math></p> <p style="text-align: center;">13      5      11</p>
<p>Entonces</p> <p style="text-align: center;"><math>s_{\text{recom}} = 10.00 \text{ cm}</math></p>	<p>Entonces</p> <p style="text-align: center;"><math>s_{\text{recom}} = 10.00 \text{ cm}</math></p>
<p>Refuerzo transversal</p> <p><math>D = 0.80 D</math></p> <p><math>D = 17.32283465 \text{ pg}</math></p> <p><math>A_h = 0.175301221 \text{ pg}^2</math></p>	<p>Refuerzo transversal</p> <p><math>D = 0.80 D</math></p> <p><math>D = 17.3228346 \text{ pg}</math></p> <p><math>A_h = 0.17530122 \text{ pg}^2</math></p>
<p><math>v_s = (\pi/2) (A_h \cdot f_y \cdot D) / s</math></p> <p style="border: 1px solid black; padding: 2px;"><math>V_s = 72695.70 \text{ pounds}</math></p>	<p><math>v_s = (\pi/2) (A_h \cdot f_y \cdot D) / s</math></p> <p style="border: 1px solid black; padding: 2px;"><math>V_s = 72695.70 \text{ pounds}</math></p>
<p><math>V_r = \phi (V_c + V_s)</math></p> <p style="border: 1px solid black; padding: 2px;"><math>V_r = 129192.38 \text{ pounds}</math></p>	<p><math>V_r = \phi (V_c + V_s)</math></p> <p style="border: 1px solid black; padding: 2px;"><math>V_r = 129192.38 \text{ pounds}</math></p>
<p style="border: 1px solid black; padding: 2px;"><math>V_r &gt; V_u</math>      64394.48 OK</p>	<p style="border: 1px solid black; padding: 2px;"><math>V_r &gt; V_u</math>      64394.48 OK</p>

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

### RESISTENCIA AL CORTANTE EN ZONA CENTRAL

para	$v_c$	$\left\{ \begin{array}{l} v_b ( 1 + 3P_u / f'c Ag) \\ v_b ( 1 + P_u / 500 Ag) \end{array} \right.$	si $P_u$ está en compresión  Si $P_u$ está en tensión
------	-------	--	---

Entonces  $v_c = v_b ( 1 + 3P_u / f'c Ag)$

Obtenemos  $v_c = v_b ( 1 + 3P_u / f'c Ag)$

$v_c = 255,31$  pounds

Calculamos  $V_c = v_c * A_e$

$V_c:$	75176,28 lb
--------	-------------

$V_s = (V_u - V_c) / 0.85$

$V_s = -12684,47$  lb

### Refuerzo transversal

$D' = 0,80 D$

$D' = 17,32283465$  pg

$A_h = 0,175301221$  pg<sup>2</sup>      área de la espiral

$v_s = (\pi/2) ( A_h * f_y * D' ) / s$	$f_y$	4200 kg/cm <sup>2</sup>
	$f_y$	60000 psi

$s$	-22,56 pg
-----	-----------

$s = -57,31$  cm

# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

Estribos:

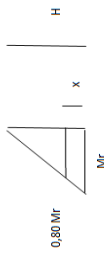
Extremos : Espiral de 12 mm  $\phi$  10 cm. En la longitud de confinamiento  
 Zona Central Espiral de 12 mm  $\phi$  10 cm.

## Extensión del confinamiento en zona de articulación plástica

SI a)  $P_u/f_c A_g \leq 0.30$  b)  $P_u/f_c A_g \geq 0.30$   
 $P_u/f_c A_g:$  0,261 USAR CASO a)

L 4,30 m  
 L 430,00 cm  
 L 169,29 pg

a)  $P_u/f_c A_g \leq 0.30$



80% M La distancia que se produce  $M_u$  y  $0.8M_u$

Por semejanza de triángulos

$$\frac{H-x}{H} = \frac{0,8Mr}{Mr}$$

$$x = 86 \text{ cm}$$

Conclusion Usar la mayor altura

Lp: 86,00 cm

b)  $P_u/f_c A_g \geq 0.30$

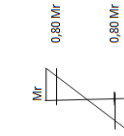
Lp 1,5lp  
 129 cm

## Extensión del confinamiento en zona de articulación plástica

SI a)  $P_u/f_c A_g \leq 0.30$  b)  $P_u/f_c A_g \geq 0.30$   
 $P_u/f_c A_g:$  0,257 USAR CASO a)

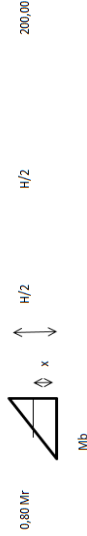
L 4,30 m  
 L 430,00 cm  
 L 169,29 pg

a)  $P_u/f_c A_g \leq 0.30$



D Dimensión sección transversal de la columna  
 80% M La distancia que se produce  $M_u$  y  $0.8M_u$

D 0,55 cm



POR SEMEJANZA DE TRIANGULOS

$$\text{PARA } 0,80 M_b \quad x = 40,00 \text{ cm}$$

$$\frac{H/2}{H/2-x} = \frac{M_b}{0,8M_b}$$

Conclusion Usar la mayor altura

Lp: 86,00 cm

# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

Altura de Columna 4.5 m

Frame		Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	V3	T	M2	M3	FrameElem	ElemStation	M Inf	M Sup
Text		m	Text	Text	Text	Tonf	Tonf	Tonf	Tonf-m	Tonf-m	Tonf-m	Text	m		
COLUMNAS															
ALTURA DE COLUMNAS															
H		4.50 m			Hcabezal										
Junta		0.10 m			Hcol										
n:		0.60 m			Hpila										
dCol:		0.55 m			Hpila										
ESTADOS DE CARGA															
1)		Pu max.													
2)		M22 Max. (sentidoY - Sentido longitudinal)													
3)		M33 Max. (sentidoY - Sentido longitudinal)													
SISMO X-X															
98		0 COMB2	Combination	Max		-174,2929	0,4483	5,8299	0,20743	30,54416	4,53726	98-1	0	30,88	
98		4,5 COMB2	Combination	Max		-170,9534	0,4483	5,8299	0,20743	4,31812	20,39223	98-1	4,5		20,84
98		0 COMB2	Combination	Min		-191,6016	-8,0223	-5,0852	-0,1783	-26,58228	-15,70792	98-1	0	30,88	
98		4,5 COMB2	Combination	Min		-188,2621	-8,0223	-5,0852	-0,1783	-3,70725	2,51985	98-1	4,5		4,48
99		0 COMB2	Combination	Max		-228,0913	4,7938	6,0032	0,00011	31,00678	10,94812	99-1	0	32,88	
99		4,5 COMB2	Combination	Max		-224,7518	4,7938	6,0032	0,00011	4,00091	10,62397	99-1	4,5		11,35
99		0 COMB2	Combination	Min		-228,0945	-4,7938	-5,2353	-0,00011	-26,98156	-10,94812	99-1	0	29,12	
99		4,5 COMB2	Combination	Min		-224,755	-4,7938	-5,2353	-0,00011	-3,43129	-10,62397	99-1	4,5		11,16
100		0 COMB2	Combination	Max		-174,2929	8,0223	5,8299	0,1783	30,54416	15,70792	100-1	0	34,35	
100		4,5 COMB2	Combination	Max		-170,9534	8,0223	5,8299	0,1783	4,31812	-2,51985	100-1	4,5		5,00
100		0 COMB2	Combination	Min		-191,6016	-0,4483	-5,0852	-0,20743	-26,58228	-4,53726	100-1	0	26,97	
100		4,5 COMB2	Combination	Min		-188,2621	-0,4483	-5,0852	-0,20743	-3,70725	-20,39223	100-1	4,5		20,73
SISMO Y-Y															
98		0 COMB3	Combination	Max		-154,0994	10,3307	2,0096	0,07243	10,5499	28,15685	98-1	0	30,07	
98		4,5 COMB3	Combination	Max		-150,7599	10,3307	2,0096	0,07243	1,50924	41,24333	98-1	4,5		41,27
98		0 COMB3	Combination	Min		-211,7951	-17,9046	-1,2649	-0,0433	-6,58803	-39,32742	98-1	0	39,88	
98		4,5 COMB3	Combination	Min		-208,4556	-17,9046	-1,2649	-0,0433	-0,89837	-18,33125	98-1	4,5		18,35
99		0 COMB3	Combination	Max		-228,0924	15,9793	2,0697	0,00037	10,71086	36,49374	99-1	0	38,03	
99		4,5 COMB3	Combination	Max		-224,7529	15,9793	2,0697	0,00037	1,39964	35,41324	99-1	4,5		35,44
99		0 COMB3	Combination	Min		-228,0934	-15,9793	-1,3018	-0,00037	-6,68564	-36,49374	99-1	0	37,10	
99		4,5 COMB3	Combination	Min		-224,7539	-15,9793	-1,3018	-0,00037	-0,83002	-35,41324	99-1	4,5		35,42
100		0 COMB3	Combination	Max		-154,0994	17,9046	2,0096	0,0433	10,5499	39,32742	100-1	0	40,72	
100		4,5 COMB3	Combination	Max		-150,7599	17,9046	2,0096	0,0433	1,50924	18,33125	100-1	4,5		18,39
100		0 COMB3	Combination	Min		-211,7951	-10,3307	-1,2649	-0,07243	-6,58803	-28,15685	100-1	0	28,92	
100		4,5 COMB3	Combination	Min		-208,4556	-10,3307	-1,2649	-0,07243	-0,89837	-41,24333	100-1	4,5		41,25



## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

### Diseño flexocompresión

Datos:

$Pf=$  248,990 Ton  
 $Mn=$  49,066 Ton-m  
 $Ag=$  2375,83 cm2  
 $f'c=$  280 kg/cm2

$\psi/h=$  h - 2 rec/libre

$h=$  55 cm

rec/libre= $r1 + \phi_e + \phi/2$

rec= 3,5 cm

$\phi_e=$  1,2 cm

$\phi=$  2,2 cm

rec/libre= 5,8 cm

$\psi/h=$  43,4

Determinamos  $\psi=(\psi/h)$

$\psi=$  0,79

$K_n: Pn/Ag f'c=$  0,374

$R_n: Mn/Ag f'c h=$  0,134

Hallamos  $\rho$  de la curva:

$\rho=$  0,012

### Diseño flexocompresión

Datos:

$Pf=$  244,219 Ton  
 $Mn=$  29,778 Ton-m  
 $Ag=$  2375,82944 cm2  
 $f'c=$  280 kg/cm2

$\psi/h=$  h - 2 rec/libre

$h=$  55 cm

rec/libre= $r1 + \phi_e + \phi/2$

rec= 3,5 cm

$\phi_e=$  1,2 cm

$\phi=$  2,2 cm

rec/libre= 5,8 cm

$\psi/h=$  43,4

Determinamos  $\psi=(\psi/h)$

$\psi=$  0,79

$K_n: Pn/Ag f'c=$  0,367

$R_n: Mn/Ag f'c h=$  0,081

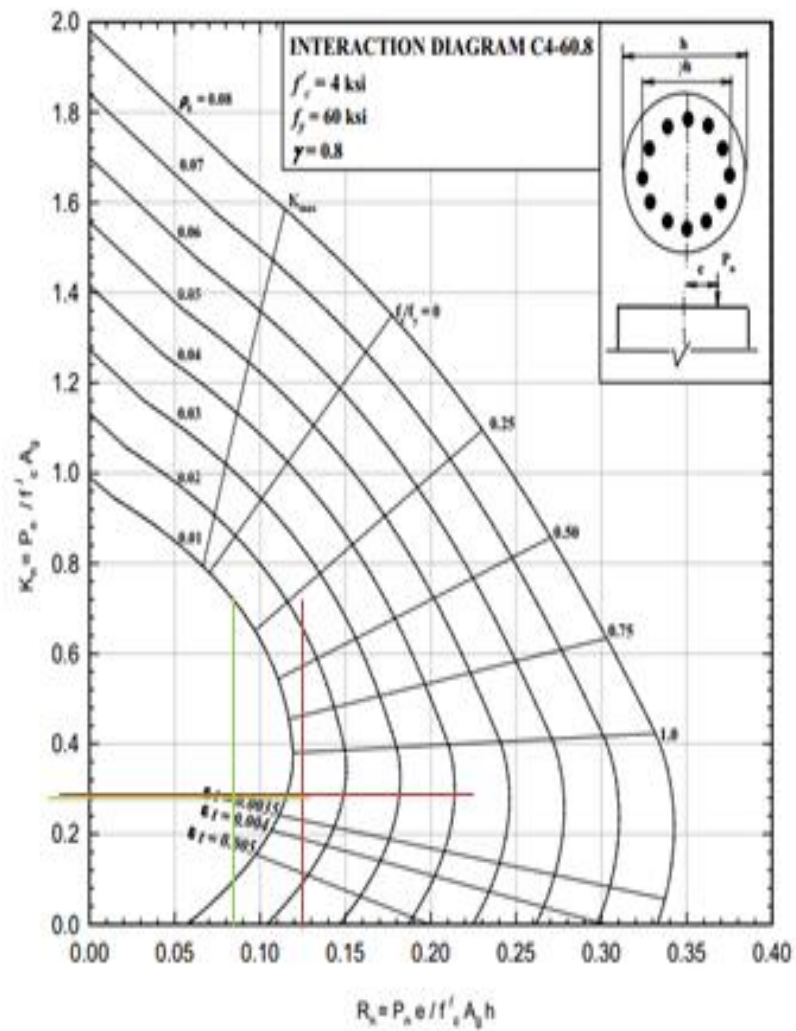
Hallamos  $\rho$  de la curva:

$\rho=$  0,010



**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---



## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

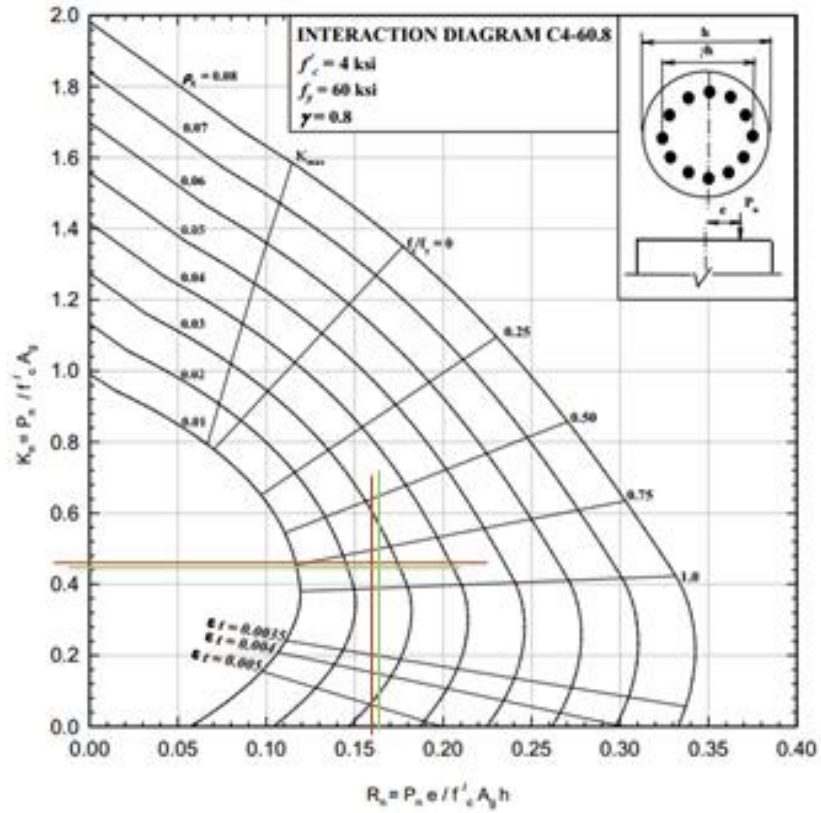
SISMO Y-Y	
<p><b>EXTREMO INFERIOR COLUMNA</b></p> <p>Pu: 211,795 ton. Max de diseño</p> <p>MZ: -6,588 ton-m Max de diseño</p> <p>M3: -39,327 ton-m Max de diseño</p> $M = \sqrt{M_{22}^2 + M_{33}^2}$ <p style="text-align: center;">Asumiendo que la curva que forma la carga Ph es una elipse</p> <p>M 39,875 ton-m</p> <p>Area Guesa de la seccion</p> <p>Ag: <math>I^*dCo^2/4</math></p> <p>Ag: 0,2376 m<sup>2</sup></p> <p>Ag: 2375,83 cm<sup>2</sup></p>	<p><b>EXTREMO SUPERIOR COLUMNA</b></p> <p>Pu: 208,456 ton. Max de diseño</p> <p>MZ: -0,898 ton-m Max de diseño</p> <p>M3: -41,243 ton-m Max de diseño</p> <p>M 41,253 ton-m</p>
<p>Pu 211,795 Ton</p> <p>e= M/p</p> <p>e= 0,188 m</p> <p><math>\phi</math> 0,9-(2Pu/Fc Ag) &lt;0,5 &gt;</p> <p><math>\phi</math> 0,263 &gt;</p> <p>&lt;</p> <p>Pn Pu/φ 302,5644286 Ton</p> <p>Mn Mu/φ 56,9648675 ton-m</p>	<p>Pu 208,456 Ton</p> <p>e= M/p</p> <p>e= 0,198 m</p> <p><math>\phi</math> 0,9-(2Pu/Fc Ag) &lt;0,5 &gt;</p> <p><math>\phi</math> 0,273 &gt;</p> <p>&lt;</p> <p>Pn Pu/φ 297,793714 Ton</p> <p>Mn Mu/φ 58,93301867 ton-m</p>

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

Diseño Flexocompresión	Diseño Flexocompresión
<p>Datos:</p> <p>Pn= 302,564 Ton      fy 4200 kg/cm2</p> <p>Mn= 56,965 Ton-m</p> <p>Ag= 2375,83 cm2</p> <p>f'c= 280 kg/cm2</p> <p><math>\psi = h - 2 \text{ rec libre}</math></p> <p>h= 55 cm</p> <p>rec libre= <math>r1 + \phi e + \phi l / 2</math></p> <p>rec= 3,5 cm</p> <p><math>\phi e = 1,2 \text{ cm}</math></p> <p><math>\phi l = 2,2 \text{ cm}</math></p> <p>rec libre= 5,8 cm</p> <p><math>\psi = 43,4</math></p> <p>Determinamos <math>\psi = (\psi/h)</math></p> <p><math>\psi = 0,79</math></p> <p style="text-align: right;">Kn: Pn / Ag f'c = 0,455</p>	<p>Datos:</p> <p>Pn= 297,794 Ton      fy 4200 kg/cm2</p> <p>Mn= 58,933 Ton-m</p> <p>Ag= 2375,82944 cm2</p> <p>f'c= 280 kg/cm2</p> <p><math>\psi = h - 2 \text{ rec libre}</math></p> <p>h= 55 cm</p> <p>rec libre= <math>r1 + \phi e + \phi l / 2</math></p> <p>rec= 3,5 cm</p> <p><math>\phi e = 1,2 \text{ cm}</math></p> <p><math>\phi l = 2,2 \text{ cm}</math></p> <p>rec libre= 5,8 cm</p> <p><math>\psi = 43,4</math></p> <p>Determinamos <math>\psi = (\psi/h)</math></p> <p><math>\psi = 0,79</math></p> <p style="text-align: right;">Kn: Pn / Ag f'c = 0,448</p>
Rn: Mn / Ag f'c h = 0,156	Rn: Mn / Ag f'c h = 0,161
p= 0,021	p= 0,022
p de Diseño: 0,021	p de Diseño: 0,022
Hallamos p de la curva:	Hallamos p de la curva:

**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---



## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

	As	Ag* $\rho$
As necesario=	49,9 cm <sup>2</sup>	52,3 cm <sup>2</sup>
AV	3,80 cm <sup>2</sup>	3,80 cm <sup>2</sup>
N°varillas	As/Av	area de la varilla longitudinal
N°varillas	14	As/Ag
As colocar:	53,2	$\rho=$ 0,022
PARA MEJOR DISTRIBUCION USAR		
$\phi$	2,50	$\phi$
AV	4,91 cm <sup>2</sup>	AV
N°varillas	12	N°varillas
As1 colocar:	58,90	As2 colocar:
As1:	58,90 cm <sup>2</sup>	As2:
	$\rho_{cal}=$ 0,0248	$\rho_{cal}=$ 0,0248

Ref. en columnas: Toda la columna: 12 de 25 mm

# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

## CORTANTE DE DISEÑO

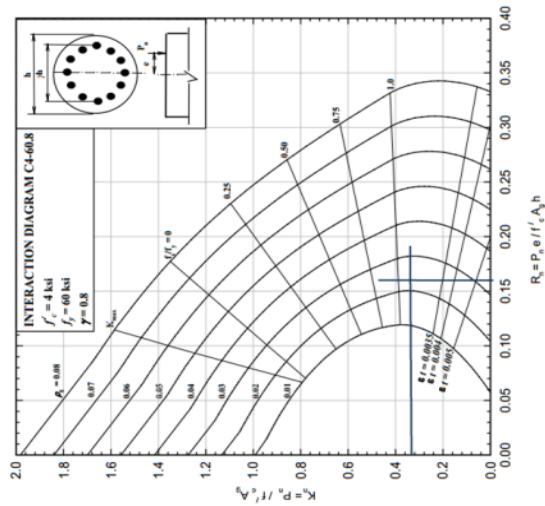
### SSIMO X-X

En el sentido X-X las columnas trabajan en curvatura simple, solo se puede producir rótula plástica en el extremo inferior

Pin= 246,990

Min= Se calcula con la curva de interacción

Kn: Pn/Ag f'c= 0.374  
p= 0.02479338



Rn: Mn/Ag f'c h= 0.160  
Min= 58,54  
Ton-m

Vu: 2M/L  
Mr: Momentos en los extremos.  
L: Longitud de la columna  
Vu: 13008,39 Kg

### SSIMO Y-Y

En el sentido Y-Y las columnas trabajan en curvatura doble, se puede producir rótula plástica en ambos extremos

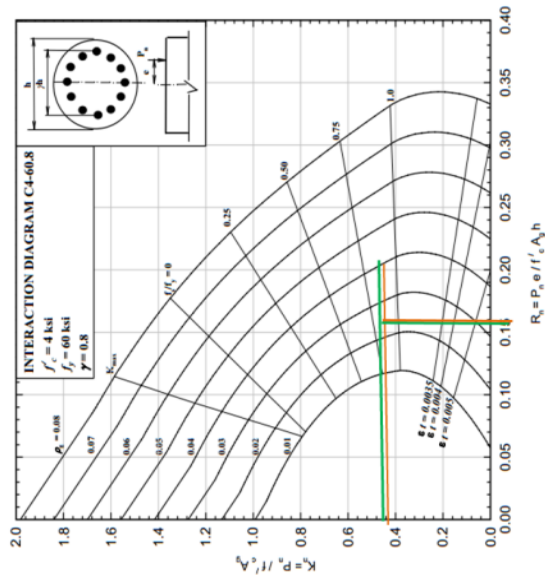
Extremo inferior

Extremo Superior

Pin= 297,7937143

Min= Se calcula con la curva de interacción

Kn: Pn/Ag f'c= 0.455  
p= 0.0248


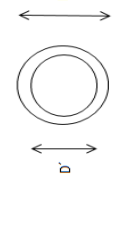


Rn: Mn/Ag f'c h= 0.160  
Min= 58,54  
Ton-m

Rn: Mn/Ag f'c h= 0.1600  
Min= 58,54  
Ton-m

Vu: 2M/L  
Mr: Momentos en los extremos.  
L: Longitud de la columna  
Vu: 26017,57 Kg

# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

<p><b>DISEÑO POR CONFINAMIENTO</b></p> <p><b>EXTREMO INFERIOR</b></p> <p><math>\rho_s = \frac{4 \cdot A_{asp}}{S \cdot D'} \geq 0,16 (f'_{ce}/f_{ye}) (0,50 + (1,25 \cdot P_u / (f'_{ce} \cdot A_g))) + 0,13 (p - 0,01)</math></p> <p><math>\rho_s \text{ min} = 0,01019</math></p> <p> <math>f'_{ce} = 280 \text{ kg/cm}^2</math>  <math>f_{ye} = 4200 \text{ kg/cm}^2</math>  <math>P_u \text{ max} = 211795,10</math>  <math>1,25 P_u = 264743,88 \text{ kg}</math>  <math>f'_{ce} = 364 \text{ kg/cm}^2</math>  <math>f_{ye} = 4620 \text{ kg/cm}^2</math>  <math>A_g = 2375,83 \text{ cm}^2</math>  <math>\rho = 0,024793388</math> </p> <p style="text-align: center;"><b>Confinamiento</b></p>  <p style="text-align: right;"> <math>D = 55,00 \text{ cm}</math>  <math>D' = D - 2 \cdot (r + \phi_e + \phi / 2)</math>  <math>D' = 43,4</math> </p> <p>Cuanta volumétrica</p> <p><math>\rho_s = \frac{4 \cdot A_{asp}}{S \cdot D'}</math></p> <p>S = <math>\frac{4 \cdot A_{asp}}{D' \cdot \rho_s}</math></p> <p>S: 10,00 cm separación</p> <div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 20px; margin: 5px auto; text-align: center;"> <math>\phi 12 @ 10 \text{ cm.}</math> </div>	<p><b>EXTREMO SUPERIOR</b></p> <p><math>\rho_s = \frac{4 \cdot A_{asp}}{S \cdot D'} \geq 0,16 (f'_{ce}/f_{ye}) (0,50 + (1,25 \cdot P_u / (f'_{ce} \cdot A_g))) + 0,13 (p - 0,01)</math></p> <p><math>\rho_s \text{ min} = 0,01019</math></p> <p> <math>f'_{ce} = 280 \text{ kg/cm}^2</math>  <math>f_{ye} = 4200 \text{ kg/cm}^2</math>  <math>P_u \text{ max} = 211795,10</math>  <math>1,25 P_u = 264743,88 \text{ kg}</math>  <math>f'_{ce} = 364 \text{ kg/cm}^2</math>  <math>f_{ye} = 4620 \text{ kg/cm}^2</math>  <math>A_g = 2375,83 \text{ cm}^2</math>  <math>\rho = 0,0248</math> </p> <p style="text-align: center;"><b>Confinamiento</b></p>  <p style="text-align: right;"> <math>D = 55,00 \text{ cm}</math>  <math>D' = D - 2 \cdot (r + \phi_e + \phi / 2)</math>  <math>D' = 43,4</math> </p> <p>Cuanta volumétrica</p> <p><math>\rho_s = \frac{4 \cdot A_{asp}}{S \cdot D'}</math></p> <p>S = <math>\frac{4 \cdot A_{asp}}{D' \cdot \rho_s}</math></p> <p>S: 10,00 cm separación</p> <div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 20px; margin: 5px auto; text-align: center;"> <math>\phi 12 @ 10 \text{ cm.}</math> </div>
<p><b>RESISTENCIA AL CORTE EN ZONAS DE ROTURA PLÁSTICA</b></p> <p>De acuerdo al comité ASCE - ACI 426 para diseñar por corte se pueden utilizar las siguientes ecuaciones</p> <p><math>V = \phi (V_c + V_s)</math></p> <p><math>\phi = 0,85</math></p>	





# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

Espaciamiento mínimo en zonas de articulación plástica	Espaciamiento mínimo en zonas de articulación plástica
<p>La separación (s) para restringir el pandeo:</p> $s \min \leq [3 + 6(f_u/f_y - 1)] db$ <p> <math>f_u/f_y = 1.5</math>  <math>db = 2.2 \text{ cm}</math>                      diametro varilla longitudinal                 </p> <p> <math>s_{\min} = 13.2 \text{ cm}</math>  <math>s_{\min} = 13 \text{ cm}</math> </p> <p><math>s = 13 \text{ cm}</math>      espaciamiento estribos</p>	<p>La separación (s) para restringir el pandeo:</p> $s \min \leq [3 + 6(f_u/f_y - 1)] db$ <p> <math>f_u/f_y = 1.5</math>  <math>db = 2.2 \text{ cm}</math>                      diametro varilla longitudinal                 </p> <p> <math>s_{\min} = 13.2 \text{ cm}</math>  <math>s_{\min} = 13 \text{ cm}</math> </p> <p><math>s = 13 \text{ cm}</math>      espaciamiento estribos</p>
<p>Pero</p> <p style="text-align: center;"><math>s \leq D/5</math></p> <p style="text-align: center;">13      s      11</p>	<p>Pero</p> <p style="text-align: center;"><math>s \leq D/5</math></p> <p style="text-align: center;">13      s      11</p>
<p>Entonces</p> <p style="text-align: center;"><math>s_{\text{recom}} = 10.00 \text{ cm}</math></p>	<p>Entonces</p> <p style="text-align: center;"><math>s_{\text{recom}} = 10.00 \text{ cm}</math></p>
<p>Reinuerzo transversal</p> <p><math>D' = 0.80 D</math></p> <p><math>D' = 17.32283465 \text{ pg}</math></p> <p><math>A_h = 0.175301221 \text{ pg}^2</math>      área de la espiral</p> <p> <math>v_s = (\pi/2) (A_h \cdot f_y \cdot D') / s</math>  <math>f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2</math>  <math>f_y = 60000 \text{ psi}</math> </p> <p><math>V_s = 72695.70 \text{ pounds}</math></p>	<p>Reinuerzo transversal</p> <p><math>D' = 0.80 D</math></p> <p><math>D' = 17.32283465 \text{ pg}</math></p> <p><math>A_h = 0.175301221 \text{ pg}^2</math>      área de la espiral</p> <p> <math>v_s = (\pi/2) (A_h \cdot f_y \cdot D') / s</math>  <math>f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2</math>  <math>f_y = 60000 \text{ psi}</math> </p> <p><math>V_s = 72695.70 \text{ pounds}</math></p>
<p><math>V_r = \phi (V_c + V_s)</math></p> <p><math>V_r = 129160.11</math></p> <p style="text-align: center;"><math>V_r &gt; V_u</math>      57259.54 OK</p>	<p><math>V_r = \phi (V_c + V_s)</math></p> <p><math>V_r = 129160.11</math></p> <p style="text-align: center;"><math>V_r &gt; V_u</math>      57259.54 OK</p>

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### RESISTENCIA AL CORTANTE EN ZONA CENTRAL

para  $v_c$   $\left\{ \begin{array}{l} v_b ( 1 + 3P_u / f'c A_g) \quad \text{si } P_u \text{ está en compresión} \\ v_b ( 1 + P_u / 500 A_g) \quad \text{Si } P_u \text{ está en tensión} \end{array} \right.$

Entonces  $v_c = v_b ( 1 + 3P_u / f'c A_g)$

Obtenemos  $v_c = v_b ( 1 + 3P_u / f'c A_g)$

$v_c = 255,50$  pounds

Calculamos  $V_c = v_c * A_e$

$V_c = 75233,72$  lb

$V_s = (V_u - V_c) / 0.85$

$V_s = -21169,62$  lb

### Refuerzo transversal

$D' = 0,80 D$

$D' = 17,32283465$  pg

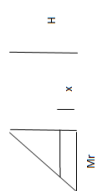
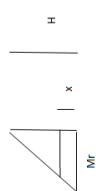
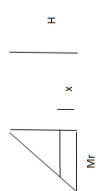
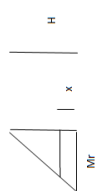
$A_h = 0,175301221$  pg<sup>2</sup>      área de la espiral

$v_s = (\pi/2) ( A_h * f_y * D' ) / s$        $f_y = 4200$  kg/cm<sup>2</sup>  
 $f_y = 60000$  psi

$s = -13,52$  pg

$s = -34,34$  cm

# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

<p><b>Estribos:</b></p> <p>Extremos : Espiral de 12 mm <math>\phi</math>/10 cm. En la longitud de confinamiento                  Zona Central : Espiral de 12 mm <math>\phi</math>/10 cm.</p>		<p><b>Extensión del confinamiento en zona de articulación plástica</b></p>	
<p>SI</p> <p>a) <math>P_u/f_c A_g \leq 0.30</math></p> <p><math>P_u/f_c A_g</math>: 0,262 USAR CASO a)</p>	<p>b) <math>P_u/f_c A_g \geq 0.30</math></p> <p><math>P_u/f_c A_g</math>: 0,257 USAR CASO a)</p>	<p>SI</p> <p>a) <math>P_u/f_c A_g \leq 0.30</math></p> <p>b) <math>P_u/f_c A_g \geq 0.30</math></p>	<p>0,257 USAR CASO a)</p>
<p>L</p> <p>L</p> <p>L</p> <p>a) <math>P_u/f_c A_g \leq 0.30</math></p> <p>80% M</p>	<p>4,80 m</p> <p>480,00 cm</p> <p>188,98 pg</p> <p>La distancia que se produce <math>M_u</math> y <math>0.8M_u</math></p>	<p>L</p> <p>L</p> <p>L</p> <p>a) <math>P_u/f_c A_g \leq 0.30</math></p> <p>80% M</p>	<p>4,80 m</p> <p>480,00 cm</p> <p>188,98 pg</p> <p>Dimension sección transversal de la columna</p> <p>La distancia que se produce <math>M_u</math> y <math>0.8M_u</math></p>
			
<p>Por semejanzas de triángulos</p> $x = \frac{H-x}{H} \frac{0.8M_r}{M_r}$ <p style="text-align: right;">96 cm</p>		<p>Por semejanza de triángulos</p> $x = \frac{H/2}{H/2-x} \frac{0.80 M_b}{M_b}$ <p style="text-align: right;">45,00 cm</p>	
<p>Conclusion</p> <p>Usar la mayor altura</p>		<p>Conclusion</p> <p>Usar la mayor altura</p>	
<p>b) <math>P_u/f_c A_g \geq 0.30</math></p> <p>Lp:</p>	<p>1,5lp</p> <p>144 cm</p>	<p>b) <math>P_u/f_c A_g \geq 0.30</math></p> <p>Lp:</p>	<p>225,00</p> <p>45,00 cm</p>

# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

Altura de Columna 5m.

Frame		Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	V3	T	M2	M3	FrameElem	ElemStation	M inf	Msup
Text		m	Text	Text	Text	Tonf	Tonf	Tonf	Tonf-m	Tonf-m	Tonf-m	Text	m		
<b>COLUMNAS</b>															
<b>ALTURA DE COLUMNAS</b>															
H		5,00 m			Hcabestal		0,60								
Junta		0,10 m			Hcol		16,40 ft								
n:		0,60 m			Hplla		5,60 m								
dCol:		0,55 m			Hplla		18,37 ft								
<b>ESTADOS DE CARGA</b>															
1)															
2)															
3)															
<b>SISMO X-X</b>															
98		0 COMB2		Combination	Max	-175,1158	0,7726	4,861	0,15506	27,73948	5,19883	98-1	0	28,22	
98		5 COMB2		Combination	Max	-171,4052	0,7726	4,861	0,15506	3,44293	19,95372	98-1	5	20,25	
98		0 COMB2		Combination	Min	-191,8055	-7,1173	-4,2454	-0,13279	-24,16015	-15,63291	98-1	0	28,78	
98		5 COMB2		Combination	Min	-188,0949	-7,1173	-4,2454	-0,13279	-2,94143	1,33693	98-1	5	3,23	
99		0 COMB2		Combination	Max	-227,9706	4,4195	4,9669	0,0001	28,05347	11,19789	99-1	0	30,21	
99		5 COMB2		Combination	Max	-224,2601	4,4195	4,9669	0,0001	3,22765	10,89947	99-1	5	11,37	
99		0 COMB2		Combination	Min	-227,9742	-4,4195	-4,3371	-0,0001	-24,43067	-11,19789	99-1	0	26,87	
99		5 COMB2		Combination	Min	-224,2636	-4,4195	-4,3371	-0,0001	-2,75381	-10,89947	99-1	5	11,24	
100		0 COMB2		Combination	Max	-175,1158	7,1173	4,861	0,13279	27,73948	15,63291	100-1	0	31,84	
100		5 COMB2		Combination	Max	-171,4052	7,1173	4,861	0,13279	3,44293	-1,33693	100-1	5	3,69	
100		0 COMB2		Combination	Min	-191,8055	-0,7726	-4,2454	-0,15506	-24,16015	-5,19883	100-1	0	24,71	
100		5 COMB2		Combination	Min	-188,0949	-0,7726	-4,2454	-0,15506	-2,94143	-19,95372	100-1	5	20,17	
<b>SISMO Y-Y</b>															
98		0 COMB3		Combination	Max	-155,6445	9,9775	1,6737	0,05432	9,57461	29,50469	98-1	0	31,02	
98		5 COMB3		Combination	Max	-151,9339	9,9775	1,6737	0,05432	1,2084	41,6733	98-1	5	41,69	
98		0 COMB3		Combination	Min	-211,2768	-16,3222	-1,0582	-0,03204	-5,99528	-39,93778	98-1	0	40,39	
98		5 COMB3		Combination	Min	-207,5662	-16,3222	-1,0582	-0,03204	-0,70691	-20,38266	98-1	5	20,39	
99		0 COMB3		Combination	Max	-227,9719	14,7316	1,7105	0,00035	9,68402	37,32631	99-1	0	38,56	
99		5 COMB3		Combination	Max	-224,2613	14,7316	1,7105	0,00035	1,13413	36,33156	99-1	5	36,35	
99		0 COMB3		Combination	Min	-227,9729	-14,7316	-1,0807	-0,00035	-6,06122	-37,32631	99-1	0	37,82	
99		5 COMB3		Combination	Min	-224,2624	-14,7316	-1,0807	-0,00035	-0,6603	-36,33156	99-1	5	36,34	
100		0 COMB3		Combination	Max	-155,6445	16,3222	1,6737	0,03204	9,57461	39,93778	100-1	0	41,07	
100		5 COMB3		Combination	Max	-151,9339	16,3222	1,6737	0,03204	1,2084	20,38266	100-1	5	20,42	
100		0 COMB3		Combination	Min	-211,2768	-9,9775	-1,0582	-0,05432	-5,99528	-29,50469	100-1	0	30,11	
100		5 COMB3		Combination	Min	-207,5662	-9,9775	-1,0582	-0,05432	-0,70691	-41,6733	100-1	5	41,68	

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

SISMO X-X	
<p><b>EXTREMO INFERIOR COLUMNA</b></p> <p>Pu: 175,116 ton. Max de diseño</p> <p>M2: 27,739 ton-m Max de diseño</p> <p>M3: 15,633 ton-m Max de diseño</p> <p style="text-align: center;"><math>M = \sqrt{M_{22}^2 + M_{33}^2}</math>      Asumiendo que la curva que forma la carga Pn es una elipse</p> <p style="text-align: center;">M <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">31,841 ton-m</span></p> <p>Area Gruesa de la seccion</p> <p>Ag: <math>\frac{\pi^2 * d * c^3}{24}</math></p> <p>Ag: 0,2776 m2</p> <p>Ag: 2375,83 cm2</p>	<p><b>EXTREMO SUPERIOR COLUMNA</b></p> <p>Pu: 171,405 ton. Max de diseño</p> <p>M2: 3,443 ton-m Max de diseño</p> <p>M3: 19,954 ton-m Max de diseño</p> <p style="text-align: center;">M <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">20,249 ton-m</span></p>
<p>Pu <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">175,116 Ton</span> <span style="float: right;">Mu <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">31,841 ton-m</span></span></p> <p>e= M/P      excentricidad</p> <p>e= 0,182 m</p> <p><math>\phi</math> <math>0.9 \cdot (2P_u / F_c A_g)</math>      &lt;0,5      &gt;      0,9</p> <p><math>\phi</math> 0,374 &gt;      <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0,700</span></p> <p style="text-align: center;">&lt;</p> <p><math>\phi</math> &lt;      0,9</p> <p>Pn <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">250,1654286 Ton</span> <span style="float: right;">Mn <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">45,48753195 ton-m</span></span></p> <p>Pu/<math>\phi</math> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">250,1654286 Ton</span> <span style="float: right;">Mu/<math>\phi</math> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">45,48753195 ton-m</span></span></p>	<p>Pu <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">171,405 Ton</span> <span style="float: right;">Mu <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">20,249 ton-m</span></span></p> <p>e= M/P      excentricidad</p> <p>e= 0,118 m</p> <p><math>\phi</math> <math>0.9 \cdot (2P_u / F_c A_g)</math>      &lt;0,5      &gt;      0,9</p> <p><math>\phi</math> 0,385 &gt;      <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0,700</span></p> <p style="text-align: center;">&lt;</p> <p><math>\phi</math> &lt;      0,9</p> <p>Pn <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">244,864571 Ton</span> <span style="float: right;">Mn <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">28,92653287 ton-m</span></span></p> <p>Pu/<math>\phi</math> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">244,864571 Ton</span> <span style="float: right;">Mu/<math>\phi</math> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">28,92653287 ton-m</span></span></p>

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

### Diseño flexocompresión

Datos:

$P_n = 250,165 \text{ Ton}$   
 $M_n = 45,488 \text{ Ton}\cdot\text{m}$   
 $A_g = 2375,83 \text{ cm}^2$   
 $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$

$f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$

$\gamma = h - 2 \text{ rec libre}$

$h = 55 \text{ cm}$

rec libre =  $r_1 + \phi_e + \phi / 2$

$rec = 3,5 \text{ cm}$   
 $\phi_e = 1,2 \text{ cm}$   
 $\phi = 2,2 \text{ cm}$

rec libre =  $5,8 \text{ cm}$

$\gamma = 43,4$

Determinamos  $\gamma = (\gamma/h)$

$\gamma = 0,79$

Kr:  $P_n / A_g f'_c = 0,376$

Kr:  $M_n / A_g f'_c h = 0,124$

Hallamos  $\rho$  de la curva:

$\rho = 0,012$

### Diseño flexocompresión

Datos:

$P_n = 244,865 \text{ Ton}$   
 $M_n = 28,927 \text{ Ton}\cdot\text{m}$   
 $A_g = 2375,82944 \text{ cm}^2$   
 $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$

$f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$

$\gamma = h - 2 \text{ rec libre}$

$h = 55 \text{ cm}$

rec libre =  $r_1 + \phi_e + \phi / 2$

$rec = 3,5 \text{ cm}$   
 $\phi_e = 1,2 \text{ cm}$   
 $\phi = 2,2 \text{ cm}$

rec libre =  $5,8 \text{ cm}$

$\gamma = 43,4$

Determinamos  $\gamma = (\gamma/h)$

$\gamma = 0,79$

Kr:  $P_n / A_g f'_c = 0,368$

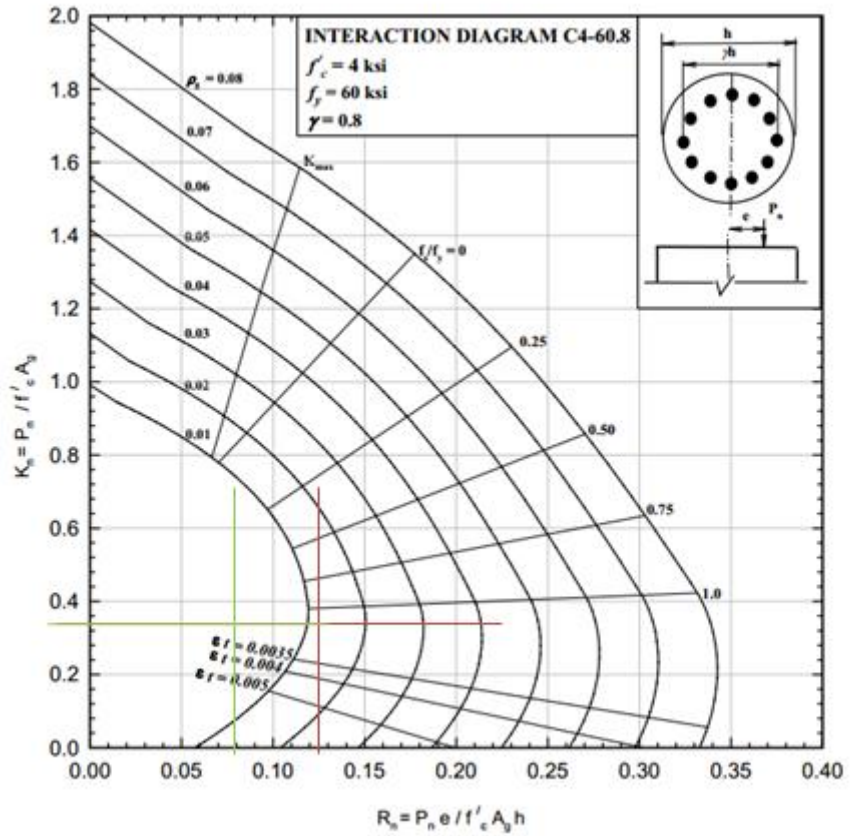
Kr:  $M_n / A_g f'_c h = 0,079$

Hallamos  $\rho$  de la curva:

$\rho = 0,010$

**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---



## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

SISMO Y-Y	
<p><b>EXTREMO INFERIOR COLUMNA</b></p> <p>Pu: 211,277 ton. Max de diseño</p> <p>M2: -5,995 ton-m Max de diseño</p> <p>M3: -39,938 ton-m Max de diseño</p> $M = \sqrt{M_{22}^2 + M_{33}^2}$ <p style="text-align: center;">Asumiendo que la curva que forma la carga Pn es una elipse</p> <p>M: 40,385 ton-m</p> <p>Area Gruesa de la seccion</p> <p>Ag: <math>\pi^2 \cdot d \cdot Col^2 / 4</math></p> <p>Ag: 0,2376 m<sup>2</sup></p> <p>Ag: 2375,83 cm<sup>2</sup></p> <p>Pu: 211,277 Ton Mu: 40,385 ton-m</p> <p>e= M/P excentricidad</p> <p>e= 0,191 m</p> <p><math>\phi</math> 0,9-(2Pu)/(Fc·Ag) &lt;0,5 &gt; 0,9</p> <p><math>\phi</math> 0,265 &gt; &lt; 0,7 &gt; 0,9</p> <p>Pn Pu/φ 301,824 Ton Mn Mu/φ 57,69323615 ton-m</p>	<p><b>EXTREMO SUPERIOR COLUMNA</b></p> <p>Pu: 207,566 ton. Max de diseño</p> <p>M2: -0,707 ton-m Max de diseño</p> <p>M3: -41,673 ton-m Max de diseño</p> <p>M: 41,679 ton-m</p> <p>Pu: 207,566 Ton Mu: 41,679 ton-m</p> <p>e= M/P excentricidad</p> <p>e= 0,201 m</p> <p><math>\phi</math> 0,9-(2Pu)/(Fc·Ag) &lt;0,5 &gt; 0,9</p> <p><math>\phi</math> 0,276 &gt; &lt; 0,7 &gt; 0,9</p> <p>Pn Pu/φ 296,233443 Ton Mn Mu/φ 59,54185039 ton-m</p>



## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

### Diseño flexocompresión

Datos:

$P_n = 301,824 \text{ Ton}$   
 $M_n = 57,693 \text{ Ton}\cdot\text{m}$   
 $A_g = 2375,83 \text{ cm}^2$   
 $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$

$\gamma h = h - 2 \text{ rec. libre}$

$h = 55 \text{ cm}$

rec. libre =  $r_1 + \phi_e + \phi_l / 2$

rec = 3,5 cm

$\phi_e = 1,2 \text{ cm}$

$\phi_l = 2,2 \text{ cm}$

rec. libre = 5,8 cm

$\gamma h = 43,4$

Determinamos  $\gamma = (\gamma h / h)$

$\gamma = 0,79$

$\kappa_n = \frac{P_n / A_g f_c}{M_n / A_g f_c h} = 0,454$

Hallamos  $\rho$  de la curva:

$\rho = 0,021$

$\rho$  de Diseño:

$\rho = 0,021$

### Diseño flexocompresión

Datos:

$P_n = 296,523 \text{ Ton}$   
 $M_n = 59,542 \text{ Ton}\cdot\text{m}$   
 $A_g = 2375,82944 \text{ cm}^2$   
 $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$

$\gamma h = h - 2 \text{ rec. libre}$

$h = 55 \text{ cm}$

rec. libre =  $r_1 + \phi_e + \phi_l / 2$

rec = 3,5 cm

$\phi_e = 1,2 \text{ cm}$

$\phi_l = 2,2 \text{ cm}$

rec. libre = 5,8 cm

$\gamma h = 43,4$

Determinamos  $\gamma = (\gamma h / h)$

$\gamma = 0,79$

$\kappa_n = \frac{P_n / A_g f_c}{M_n / A_g f_c h} = 0,446$

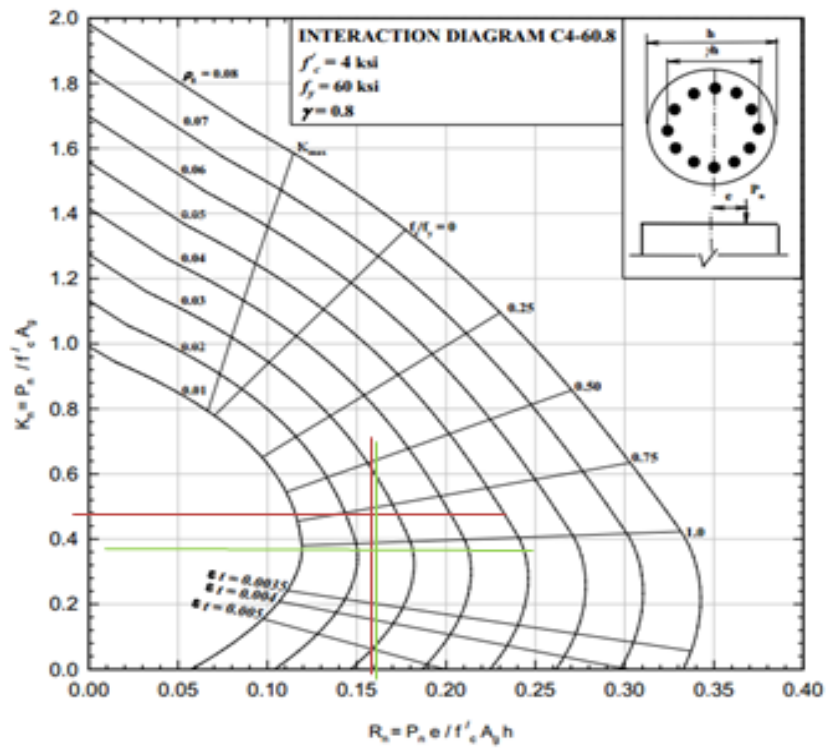
Hallamos  $\rho$  de la curva:

$\rho = 0,022$

$\rho$  de Diseño:

$\rho = 0,022$

"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"



**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

As	Ag <sup>p</sup>	As	Ag <sup>p</sup>
As necesario=	49,9 cm <sup>2</sup>	As necesario=	52,3 cm <sup>2</sup>
Av	3,80 cm <sup>2</sup>	Av	3,80 cm <sup>2</sup>
	area de la varilla longitudinal		area de la varilla longitudinal
N°varillas	As/Av	N°varillas	As/Av
N°varillas	14	N°varillas	14
	As/Ag		As/Ag
As colocar:	ρ=	As colocar:	ρ=
	0,022		0,022
PARA MEJOR DISTRIBUCION USAR			
φ	2,50	φ	2,50
Av	4,91 cm <sup>2</sup>	Av	4,91 cm <sup>2</sup>
	0,00 cm <sup>2</sup>		0,00 cm <sup>2</sup>
N°varillas	12	N°varillas	12
As1 colocar:	58,90	As1 colocar:	58,90
	0,00	As2 colocar:	0,00
	As1:	As1:	58,90 cm <sup>2</sup>
		As2:	58,90 cm <sup>2</sup>
	ρcal=		ρcal=
	0,0248		0,0248

Ref. en columnas:

Toda la columna: 12 de 25 mm

# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

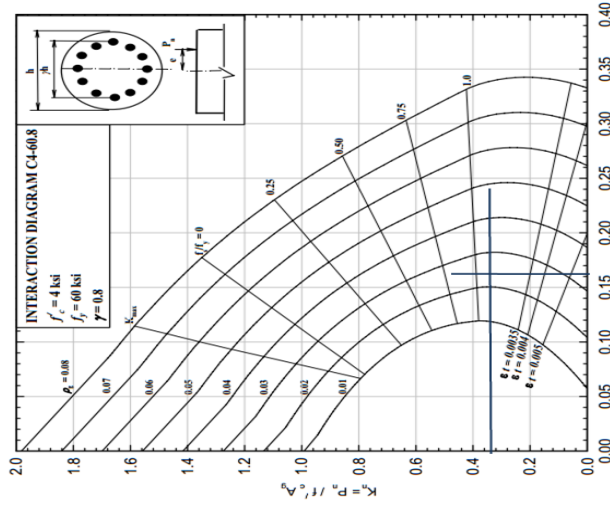
## CORTANTE DE DISEÑO

### SISMO X-X

En el sentido X-X las columnas trabajan en curvatura simple, solo se puede producir rotula plástica en el extremo inferior

Pn= 250.165  
 Mn= Se calcula con la curva de interacción

Kn:	Pn/Agf'c=	0.376
p=		0.024793388



$R_n = P_n e / f' c A_g h$

Rn:	Mn/Agf'c=	0.180
	Mn =	58.54 Ton-m

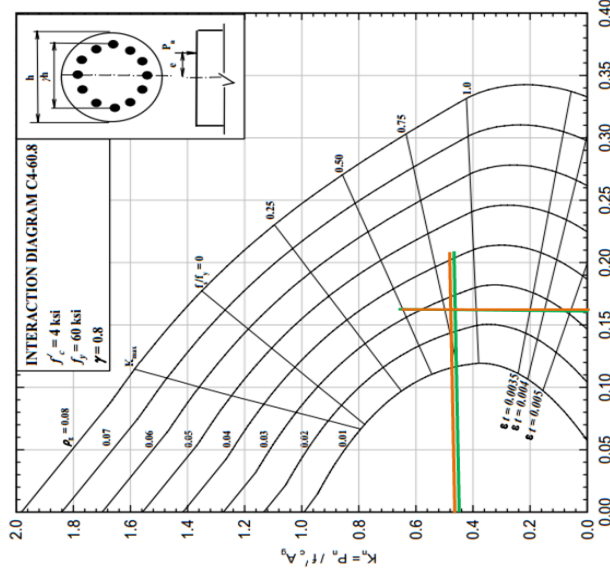
Vu:  $\Sigma Mr/L$   
 Mr: Momentos en los extremos.  
 L: Longitud de la columna  
 Vu:  $\Sigma Mr/L$  11708.09 Kg

### SISMO Y-Y

En el sentido Y-Y las columnas trabajan en curvatura doble, se puede producir rótula plástica en ambos extremos

Pn= 301.824  
 Mn= Se calcula con la curva de interacción

Kn:	Pn/Agf'c=	0.454
p=		0.0248



$R_n = P_n e / f' c A_g h$

Rn:	Mn/Agf'c=	0.180
	Mn =	58.54 Ton-m
Rn:	Mn/Agf'c=	0.1800
	Mn =	58.54 Ton-m

Vu:  $\Sigma Mr/L$   
 Mr: Momentos en los extremos.  
 L: Longitud de la columna  
 Vu:  $\Sigma Mr/L$  23416.18 Kg

# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

<p><b>DISEÑO POR CONFINAMIENTO</b></p> <p><b>EXTREMO INFERIOR</b></p> <p><math>\rho_s = \frac{4A_{sp}}{S D'} \geq 0,16 (f_{ce}/f_{ye}) [0,50 + (1,25 \rho_u / f_{ce} A_g)] + 0,13 (p - 0,01)</math></p> <p><math>\rho_s \text{ min} = 0,01018</math></p> <p> <math>f'_{ce} = 280 \text{ kg/cm}^2</math>  <math>f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2</math>  <math>P_u \text{ max} = 211276,80</math>  <math>1,25 P_u = 264096,00 \text{ kg}</math>  <math>f_{ce} = 364 \text{ kg/cm}^2</math>  <math>f_{ye} = 4620 \text{ kg/cm}^2</math>  <math>A_g = 2375,83 \text{ cm}^2</math>  <math>\rho = 0,024793388</math> </p> <p style="text-align: center;"><b>Confinamiento</b></p> <p> <math>D = 55,00 \text{ cm}</math>  <math>D' = D - 2(r + \phi + \phi/2)</math>  <math>D'' = 43,4</math> </p> <p><b>Cuántia volumétrica</b></p> <p><math>\rho_s = \frac{4A_{sp}}{S D'}</math></p> <p> <math>A_{sp} = 1,130973355 \text{ cm}^2</math>  <math>S = \frac{4A_{sp}}{D' \rho_s} = 10,24247392</math>  <math>S: 10,00 \text{ cm}</math> separación         </p> <p style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content; margin-left: auto;"><math>\phi 12 @ 10 \text{ cm.}</math></p>	<p><b>EXTREMO SUPERIOR</b></p> <p><math>\rho_s = \frac{4A_{sp}}{S D'} \geq 0,16 (f_{ce}/f_{ye}) [0,50 + (1,25 \rho_u / f_{ce} A_g)] + 0,13 (p - 0,01)</math></p> <p><math>\rho_s \text{ min} = 0,01018</math></p> <p> <math>f'_{ce} = 280 \text{ kg/cm}^2</math>  <math>f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2</math>  <math>P_u \text{ max} = 211276,80</math>  <math>1,25 P_u = 264096,00 \text{ kg}</math>  <math>f_{ce} = 364 \text{ kg/cm}^2</math>  <math>f_{ye} = 4620 \text{ kg/cm}^2</math>  <math>A_g = 2375,83 \text{ cm}^2</math>  <math>\rho = 0,0248</math> </p> <p style="text-align: center;"><b>Confinamiento</b></p> <p> <math>D = 55,00 \text{ cm}</math>  <math>D' = D - 2(r + \phi + \phi/2)</math>  <math>D'' = 43,4</math> </p> <p><b>Cuántia volumétrica</b></p> <p><math>\rho_s = \frac{4A_{sp}}{S D'}</math></p> <p> <math>A_{sp} = 1,130973355 \text{ cm}^2</math>  <math>S = \frac{4A_{sp}}{D' \rho_s} = 10,24247392</math>  <math>S: 10,00 \text{ cm}</math> separación         </p> <p style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content; margin-left: auto;"><math>\phi 12 @ 10 \text{ cm.}</math></p>
<p><b>RESISTENCIA AL CORTE EN ZONAS DE ROTULA PLASTICA</b></p> <p>De acuerdo al comité ASCE - ACI 426 para diseñar por corte se pueden utilizar las siguientes ecuaciones</p> <p><math>V = \phi (V_c + V_s)</math></p> <p><math>\phi = 0,85</math></p>	

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

	EXTREMO SUPERIOR
se calcula vb	se calcula vb
$\rho = 0,024793388$ $vb = (0,80 + 120\rho) \sqrt{f'c}$	$\rho = 0,024793339$ $vb = (0,80 + 120\rho) \sqrt{f'c}$
vb = 144,68 psi	vb = 144,68 psi
vb ≤ 2,4√f'c    en zonas de articulación plástica	vb ≤ 2,4√f'c    en zonas de articulación plástica
Entonces	Entonces
144,68 ≤ 151,79	144,68 ≤ 151,79
vb: 144,68 psi	vb: 144,68 psi
En zonas de articulación plástica:	En zonas de articulación plástica:
Si    Pu > 0,1f'cAg	Si    Pu > 0,1f'cAg
280 kg/cm2	280 kg/cm2
4000 psi	4000 psi
464808,96 > 147301,72 OK	464808,96 > 147301,72 OK
usar	usar
$vc = 4\sqrt{\rho} \sqrt{\frac{Pu}{AgF'c} - 0,1}$	$vc = 4\sqrt{\rho} \sqrt{\frac{Pu}{AgF'c} - 0,1}$
vc = 268,69	vc = 268,69
Ag = 0,80 Ag	Ag = 0,80 Ag
dCol = 0,55 m	dCol = 0,55 m
dCol = 21,65 pg	dCol = 21,65 pg
Ae = 294,45 pg2	Ae = 294,45 pg2
Vc = vc * Ae	Vc = vc * Ae
Vc = 79115,43 pounds	Vc = 79115,43 pounds

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

Espaciamiento mínimo en zonas de articulación plástica	Espaciamiento mínimo en zonas de articulación plástica
<p>La separación (s) para restringir el pandeo:</p> $s_{\min} \leq [3 + 6(f_u/f_y - 1)] db$ <p> <math>f_u/f_y = 1,5</math>  <math>db = 2,2 \text{ cm}</math>  <math>s_{\min} = 13,2 \text{ cm}</math>  <math>s_{\min} = 13 \text{ cm}</math> </p> <p> <math>f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2</math>  <math>f_y = 60000 \text{ psi}</math> </p>	<p>La separación (s) para restringir el pandeo:</p> $s_{\min} \leq [3 + 6(f_u/f_y - 1)] db$ <p> <math>f_u/f_y = 1,5</math>  <math>db = 2,2 \text{ cm}</math>  <math>s_{\min} = 13,2 \text{ cm}</math>  <math>s_{\min} = 13 \text{ cm}</math> </p> <p> <math>f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2</math>  <math>f_y = 60000 \text{ psi}</math> </p>
<p>Pero</p> <p style="text-align: center;"><math>s \leq 13 \leq D/5</math></p> <p>Entonces</p> <p style="text-align: center;"><math>s_{\text{recom}} = 10,00 \text{ cm}</math></p> <p>Refuerzo transversal</p> <p> <math>D = 0,80 D</math>  <math>D = 17,3228346 \text{ pg}</math>  <math>A_h = 0,175301221 \text{ pg}^2</math> </p> <p> <math>v_s = (l/2) (A_h * f_y * D) / s</math>  <math>V_s = 72695,70 \text{ pounds}</math> </p> <p> <math>V_r = \phi (V_c + V_s)</math>  <math>V_r = 129039,46 \text{ pounds}</math> </p> <p style="text-align: right;"><math>V_r &gt; V_u</math> 51515,99 OK</p>	<p>Pero</p> <p style="text-align: center;"><math>s \leq 13 \leq D/5</math></p> <p>Entonces</p> <p style="text-align: center;"><math>s_{\text{recom}} = 10,00 \text{ cm}</math></p> <p>Refuerzo transversal</p> <p> <math>D = 0,80 D</math>  <math>D = 17,3228346 \text{ pg}</math>  <math>A_h = 0,175301221 \text{ pg}^2</math> </p> <p> <math>v_s = (l/2) (A_h * f_y * D) / s</math>  <math>V_s = 72695,70 \text{ pounds}</math> </p> <p> <math>V_r = \phi (V_c + V_s)</math>  <math>V_r = 129039,46 \text{ pounds}</math> </p> <p style="text-align: right;"><math>V_r &gt; V_u</math> 51515,99 OK</p>

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### RESISTENCIA AL CORTANTE EN ZONA CENTRAL

para	vc	{	$vb (1 + 3Pu / f'c Ag)$	si Pu está en compresión
		}	$vb (1 + Pu / 500 Ag)$	Si Pu está en tensión

Entonces  $vc = vb (1 + 3Pu / f'c Ag)$

Obtenemos  $vc = vb (1 + 3Pu / f'c Ag)$

$vc = 255,80$  pounds

Calculamos  $Vc = vc * Ae$

<b>Vc:</b>	<b>75319,96 lb</b>
------------	--------------------

$Vs = (Vu - Vc) / 0.85$

$Vs = -28005,15$  lb

### Refuerzo transversal

$D' = 0,80 D$

$D' = 17,32283465$  pg

$Ah = 0,175301221$  pg<sup>2</sup>      área de la espiral

$vs = (\pi/2) ( Ah * fy * D' ) / s$

$f'y$	4200 kg/cm <sup>2</sup>
$f'y$	60000 psi

<b>s</b>	<b>-10,22</b> pg
----------	------------------

$s = -25,96$  cm



# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

Estribos:

Extremos : Espiral de 12 mm c/10 cm. En la longitud de confinamiento  
 Zona Central Espiral de 12 mm c/10 cm.

Extensión del confinamiento en zona de articulación plástica

Extensión del confinamiento en zona de articulación plástica

SI a)  $P_u / F_c A_g \leq 0,30$  b)  $P_u / F_c A_g \geq 0,30$   
 $P_u / F_c A_g$ : 0,263 USAR CASO a) 0,258 USAR CASO a)

SI a)  $P_u / F_c A_g \leq 0,30$  b)  $P_u / F_c A_g \geq 0,30$   
 $P_u / F_c A_g$ : 0,258 USAR CASO a)

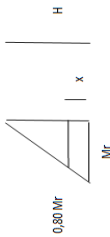
L 5,30 m  
 L 530,00 cm  
 L 208,66 pg

L 5,30 m  
 L 530,00 cm  
 L 208,66 pg

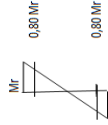
a)  $P_u / F_c A_g \leq 0,30$

a)  $P_u / F_c A_g \leq 0,30$

80% M La distancia que se produce  $M_u$  y  $0,8M_u$



D Dimensión sección transversal de la columna  
 80% M La distancia que se produce  $M_u$  y  $0,8M_u$



Por semejanzas de triángulos

$$\frac{H-x}{H} = \frac{0,8M_r}{M_r}$$

$$x = 106 \text{ cm}$$

D 0,55 cm



POR SEMEJANZA DE TRIANGULOS

$$\frac{0,80 M_b}{0,80 M_b} = \frac{H/2}{H/2-x} = \frac{M_b}{0,8 M_b}$$

Conclusion Usar la mayor altura

Lp: 106,00 cm

b)  $P_u / F_c A_g \geq 0,30$  Lp 1,5lp

Lp: 159 cm

x 50,00 cm



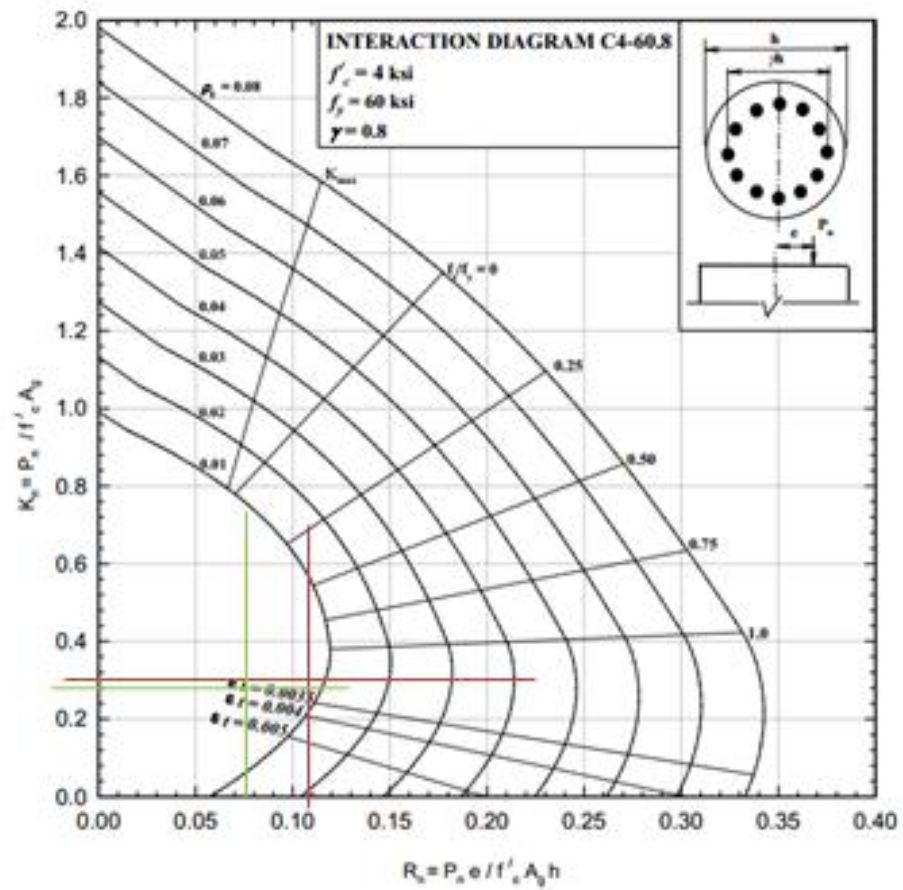
## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

SISMO X-X	
<p><b>EXTREMO INFERIOR COLUMNA</b></p> <p>Pu: 176,057 ton. Max de diseño</p> <p>M2: 25,085 ton-m Max de diseño</p> <p>M3: 15,412 ton-m Max de diseño</p> <p style="text-align: center;"><math>M = \sqrt{M_{22}^2 + M_{33}^2}</math>      Asumiendo que la curva que forma la carga Pn es una elipse</p> <p>M: 29,441 ton-m</p> <p>Area Gruesa de la seccion</p> <p>Ag: <math>\pi * dCol^2 / 4</math></p> <p>Ag: 0,2376 m<sup>2</sup></p> <p>Ag: 2375,83 cm<sup>2</sup></p>	<p><b>EXTREMO SUPERIOR COLUMNA</b></p> <p>Pu: 171,976 ton. Max de diseño</p> <p>M2: 2,729 ton-m Max de diseño</p> <p>M3: 19,441 ton-m Max de diseño</p> <p>M: 19,631 ton-m</p>
<p>Pu 176,057 Ton      Mu 29,441 ton-m</p> <p>e= M/P      excentricidad      Mu</p> <p>e= 0,167 m      e= 0,114 m</p> <p><math>\phi</math> 0,9-(2Pu/FcAg) &lt;0,5 &gt;      0,9</p> <p><math>\phi</math> 0,371 &gt;      0,7      0,700</p> <p style="text-align: center;">&lt;</p> <p>Pn Pu/Φ 251,510429 Ton      Mn Mu/Φ 42,05904362 ton-m</p>	<p>Pu 171,976 Ton      Mu 19,631 ton-m</p> <p>e= M/P      excentricidad      Mu</p> <p>e= 0,114 m</p> <p><math>\phi</math> 0,9-(2Pu/FcAg) &lt;0,5 &gt;      0,9</p> <p><math>\phi</math> 0,383 &gt;      0,7      0,700</p> <p style="text-align: center;">&lt;</p> <p>Pn Pu/Φ 245,679286 Ton      Mn Mu/Φ 28,0467696 ton-m</p>



**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---



## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

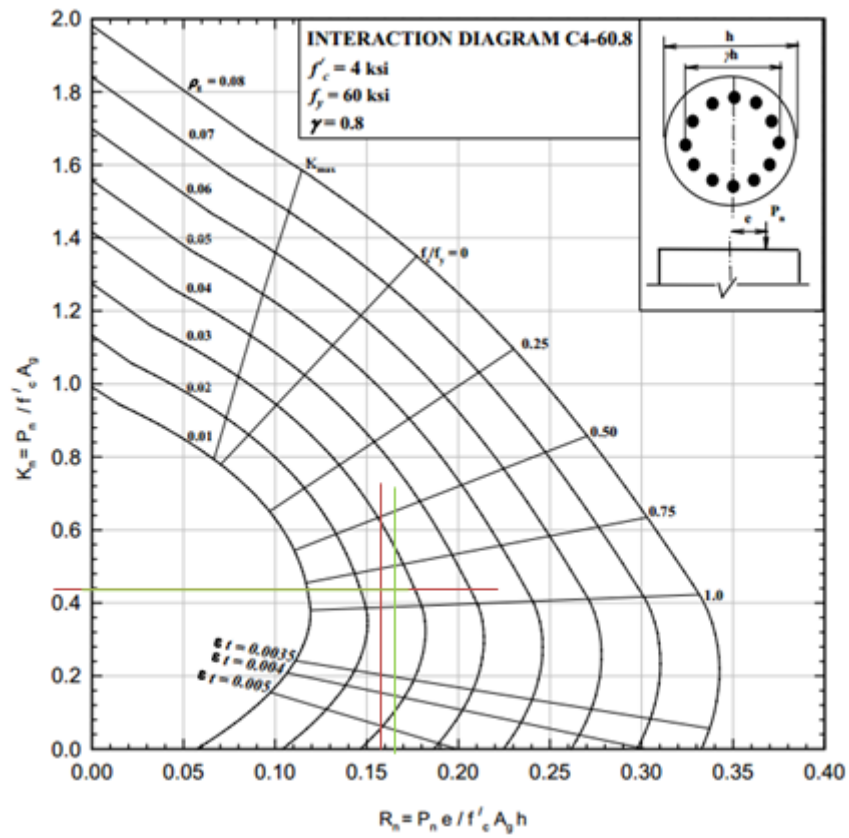
SISMO Y-Y	
<p><b>EXTREMO INFERIOR COLUMNA</b></p> <p>Pu: 210,444 ton. Max de diseño</p> <p>M2: -5,432 ton-m Max de diseño</p> <p>M3: -39,960 ton-m Max de diseño</p> $M = \sqrt{M_{22}^2 + M_{33}^2}$ <p style="text-align: center;">Asumiendo que la curva que forma la carga Pn es una elipse</p> <p>M: 40,328 ton-m</p> <p>Area Gruesa de la seccion</p> <p>Ag: <math>\pi^2 dCo^2/4</math></p> <p>Ag: 0,2376 m2</p> <p>Ag: 2375,83 cm2</p>	<p><b>EXTREMO SUPERIOR COLUMNA</b></p> <p>Pu: 206,363 ton. Max de diseño</p> <p>M2: -0,550 ton-m Max de diseño</p> <p>M3: -41,597 ton-m Max de diseño</p> <p>M: 41,601 ton-m</p>
<p>Pu: 210,444 Ton</p> <p>Mu: 40,328 ton-m</p> <p>e= M/P excentricidad</p> <p>e= 0,192 m</p> <p><math>\phi</math> 0,9-(2Pu/FcAg) &lt;0,5 &gt; 0,9</p> <p><math>\phi</math> 0,267 &gt; 0,7 &lt; 0,9</p>	<p>Pu: 206,363 Ton</p> <p>Mu: 41,601 ton-m</p> <p>e= M/P excentricidad</p> <p>e= 0,202 m</p> <p><math>\phi</math> 0,9-(2Pu/FcAg) &lt;0,5 &gt; 0,9</p> <p><math>\phi</math> 0,280 &gt; 0,7 &lt; 0,9</p>
<p>Pn: 300,6348571 Ton</p> <p>Mu/φ: 57,61120214 ton-m</p>	<p>Pn: 294,804 Ton</p> <p>Mu/φ: 59,42977892 ton-m</p>

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

Diseño flexocompresión	Diseño flexocompresión
<p>Datos:</p> <p>Pr= 300,635 Ton      fy 4200 kg/cm2</p> <p>Mn= 57,611 Ton-m</p> <p>Ag= 2375,83 cm2</p> <p>f'c= 280 kg/cm2</p> <p><math>\psi = h - 2 \text{ rec libre}</math></p> <p>h= 55 cm</p> <p>rec libre= <math>r1 + \phi e + \phi l / 2</math></p> <p>rec= 3,5 cm</p> <p><math>\phi e = 1,2 \text{ cm}</math></p> <p><math>\phi l = 2,2 \text{ cm}</math></p> <p>rec libre= 5,8 cm</p> <p><math>\psi = 43,4</math></p> <p>Determinamos <math>\psi = (\psi/h)</math></p> <p><math>\psi = 0,79</math></p> <p>Kn: <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Pr / Ag f'c = 0,452</span></p> <p>Rn: <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Mn / Ag f'c h = 0,157</span></p> <p><math>\rho = 0,022</math></p> <p>Hallamos <math>\rho</math> de la curva:</p> <p><math>\rho = 0,022</math></p> <p><math>\rho</math> de Diseño: 0,022</p>	<p>Datos:</p> <p>Pr= 294,804 Ton      fy 4200 kg/cm2</p> <p>Mn= 59,430 Ton-m</p> <p>Ag= 2375,82944 cm2</p> <p>f'c= 280 kg/cm2</p> <p><math>\psi = h - 2 \text{ rec libre}</math></p> <p>h= 55 cm</p> <p>rec libre= <math>r1 + \phi e + \phi l / 2</math></p> <p>rec= 3,5 cm</p> <p><math>\phi e = 1,2 \text{ cm}</math></p> <p><math>\phi l = 2,2 \text{ cm}</math></p> <p>rec libre= 5,8 cm</p> <p><math>\psi = 43,4</math></p> <p>Determinamos <math>\psi = (\psi/h)</math></p> <p><math>\psi = 0,79</math></p> <p>Kn: <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Pr / Ag f'c = 0,443</span></p> <p>Rn: <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Mn / Ag f'c h = 0,162</span></p> <p><math>\rho = 0,022</math></p> <p>Hallamos <math>\rho</math> de la curva:</p> <p><math>\rho = 0,022</math></p> <p><math>\rho</math> de Diseño: 0,022</p>

**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---





## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

As	Ag* <sub>p</sub>	As	Ag* <sub>p</sub>
As necesario=	52,3 cm <sup>2</sup>	As necesario=	52,3 cm <sup>2</sup>
AV	3,80 cm <sup>2</sup>	AV	3,80 cm <sup>2</sup>
area de la varilla longitudinal		area de la varilla longitudinal	
N°varillas	As/Av	N°varillas	As/Av
N°varillas	14	N°varillas	14
As/Ag		As/Ag	
N°varillas	ρ=	N°varillas	ρ=
As colocar:	53,2	As colocar:	53,2
ρ= 0,022		ρ= 0,022	
PARA MEJOR DISTRIBUCION USAR			
∅	2,50	∅	2,50
AV	4,91 cm <sup>2</sup>	AV	4,91 cm <sup>2</sup>
ρ= 0,00 cm <sup>2</sup>		ρ= 0,00 cm <sup>2</sup>	
N°varillas	12	N°varillas	12
As1 colocar:	58,90	As1 colocar:	58,90
As2 colocar: 0,00		As2 colocar: 0,00	
Ast: 58,90 cm <sup>2</sup>		Ast: 58,90 cm <sup>2</sup>	
ρcal= 0,0248		ρcal= 0,0248	
Ref. en columnas: Toda la columna: 12 de 25 mm			

# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

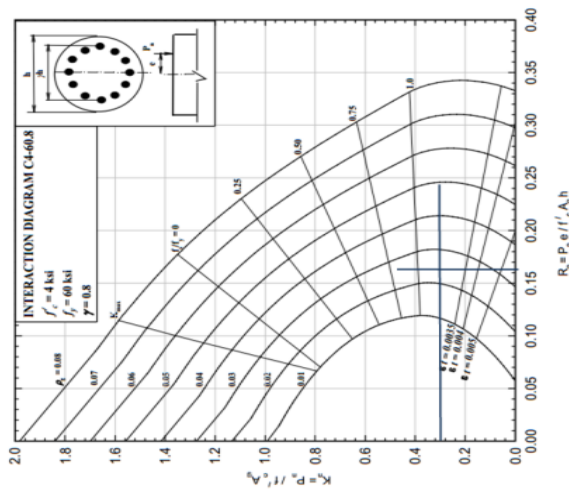
## CORTANTE DE DISEÑO

### SISMO X-X

En el sentido X-X las columnas trabajan en curvatura simple, solo se puede producir rotula plástica en el extremo inferior

P<sub>0</sub>= 251,510  
 Min: Se calcula con la curva de interacción

Kn:  $P_n / A_g f'_{c,c} = 0.378$   
 p:  $P_n / A_g f'_{c,c} = 0.378$



Extremo Inferior  
 Rn:  $M_n / A_g f'_{c,c} h = 0.156$  Ton-m  
 Mn = 58.54

Vu:  $\Sigma M_r / L$   
 Mr: Momentos en los extremos.  
 L: Longitud de la columna

Vu:  $\Sigma M_r / L = 10643.72$  Kg

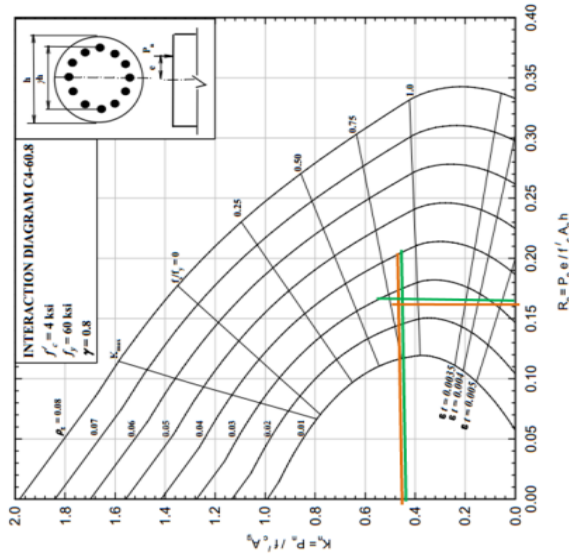
### SISMO Y-Y

En el sentido Y-Y las columnas trabajan en curvatura doble, se puede producir rotula plástica en ambos extremos

Extremo Superior

P<sub>0</sub>= 300.634857  
 Min: Se calcula con la curva de interacción

Kn:  $P_n / A_g f'_{c,c} = 0.452$   
 p:  $P_n / A_g f'_{c,c} = 0.452$



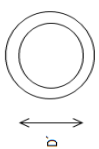
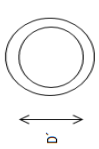
Extremo Inferior  
 Rn:  $M_n / A_g f'_{c,c} h = 0.156$  Ton-m  
 Mn = 58.54

Vu:  $\Sigma M_r / L$   
 Mr: Momentos en los extremos.  
 L: Longitud de la columna

Vu:  $\Sigma M_r / L = 21287.43$  Kg

Extremo Superior  
 Rn:  $M_n / A_g f'_{c,c} h = 0.1500$  Ton-m  
 Mn = 58.54

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

<p><b>DISEÑO POR CONFINAMIENTO</b></p> <p><b>EXTREMO INFERIOR</b></p> $p_s = \frac{4 \cdot A_{sp}}{S \cdot D} \geq 0,16 (f_{ce}/f_{ye}) (0,50 + (1,25 P_u / (f_{ce} \cdot A_g))) + 0,13 (p - 0,01)$ <p> <math>f_{ce} = 280 \text{ kg/cm}^2</math>  <math>f_{ye} = 4200 \text{ kg/cm}^2</math>  <math>P_u \text{ max} = 210444,40</math>  <math>1,25 P_u = 263055,50 \text{ kg}</math>  <math>f_{ce} = 364 \text{ kg/cm}^2</math>  <math>f_{ye} = 4620 \text{ kg/cm}^2</math>  <math>A_g = 2375,83 \text{ cm}^2</math>  <math>p = 0,024793388</math> </p> <p style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">ps min= 0,01016</p>	<p><b>EXTREMO SUPERIOR</b></p> $p_s = \frac{4 \cdot A_{sp}}{S \cdot D} \geq 0,16 (f_{ce}/f_{ye}) (0,50 + (1,25 P_u / (f_{ce} \cdot A_g))) + 0,13 (p - 0,01)$ <p> <math>f_{ce} = 280 \text{ kg/cm}^2</math>  <math>f_{ye} = 4200 \text{ kg/cm}^2</math>  <math>P_u \text{ max} = 210444,40</math>  <math>1,25 P_u = 263055,50 \text{ kg}</math>  <math>f_{ce} = 364 \text{ kg/cm}^2</math>  <math>f_{ye} = 4620 \text{ kg/cm}^2</math>  <math>A_g = 2375,83 \text{ cm}^2</math>  <math>p = 0,0248</math> </p> <p style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">ps min= 0,01016</p>
<p><b>Confinamiento</b></p>  <p> <math>D = 55,00 \text{ cm}</math>  <math>D' = D - 2 \cdot (t + \phi_e + \phi / 2)</math>  <math>D' = 43,4</math> </p>	<p><b>Confinamiento</b></p>  <p> <math>D = 55,00 \text{ cm}</math>  <math>D' = D - 2 \cdot (t + \phi_e + \phi / 2)</math>  <math>D' = 43,4</math> </p>
<p><b>Cuanta volumétrica</b></p> $p_s = \frac{4 \cdot A_{sp}}{S \cdot D}$ <p> <math>S = \frac{4 \cdot A_{sp}}{D \cdot p_s}</math>  <math>S = 10,00 \text{ cm}</math> separación         </p> <p style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">φ12 @ 10 cm.</p>	<p><b>Cuanta volumétrica</b></p> $p_s = \frac{4 \cdot A_{sp}}{S \cdot D}$ <p> <math>S = \frac{4 \cdot A_{sp}}{D \cdot p_s}</math>  <math>S = 10,00 \text{ cm}</math> separación         </p> <p style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">φ12 @ 10 cm.</p>
<p><b>RESISTENCIA AL CORTE EN ZONAS DE ROTULA PLASTICA</b></p> <p>De acuerdo al comité ASCE - ACI 426 para diseñar por corte se pueden utilizar las siguientes ecuaciones</p> $V_r = \phi (V_c + V_s)$ <p><math>\phi = 0,85</math></p>	<p><b>RESISTENCIA AL CORTE EN ZONAS DE ROTULA PLASTICA</b></p> <p>De acuerdo al comité ASCE - ACI 426 para diseñar por corte se pueden utilizar las siguientes ecuaciones</p> $V_r = \phi (V_c + V_s)$ <p><math>\phi = 0,85</math></p>



## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

Espaciamiento mínimo en zonas de articulación plástica	Espaciamiento mínimo en zonas de articulación plástica
<p>La separación (s) para restringir el pandeo:</p> $s \min \leq [3 + 6(f_u/f_y - 1)] \text{ dbl}$ <p> <math>f_u/f_y = 1,5</math>  <math>\text{dbl} = 2,2 \text{ cm}</math>  <math>s_{\min} = 13,2 \text{ cm}</math> </p> <p> <math>f_u/f_y = 1,5</math>  <math>\text{dbl} = 2,2 \text{ cm}</math>  <math>s_{\min} = 13 \text{ cm}</math> </p> <p><math>s = 13 \text{ cm}</math>      espaciamiento estribos</p>	<p>La separación (s) para restringir el pandeo:</p> $s \min \leq [3 + 6(f_u/f_y - 1)] \text{ dbl}$ <p> <math>f_u/f_y = 1,5</math>  <math>\text{dbl} = 2,2 \text{ cm}</math>  <math>s_{\min} = 13,2 \text{ cm}</math> </p> <p> <math>f_u/f_y = 1,5</math>  <math>\text{dbl} = 2,2 \text{ cm}</math>  <math>s_{\min} = 13 \text{ cm}</math> </p> <p><math>s = 13 \text{ cm}</math>      espaciamiento estribos</p>
<p>Pero</p> $s \leq 13 \leq D/5$	<p>Pero</p> $s \leq 13 \leq D/5$
<p>Entonces</p> <p><math>s_{\text{recom}} = 10,00 \text{ cm}</math></p>	<p>Entonces</p> <p><math>s_{\text{recom}} = 10,00 \text{ cm}</math></p>
<p>Refuerzo transversal</p> <p><math>D' = 0,80 D</math></p> <p><math>D' = 17,32283465 \text{ pg}</math></p> <p><math>A_h = 0,175301221 \text{ pg}^2</math></p> <p> <math>v_s = (M/2)(A_h * f_y * D) / s</math>  <math>f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2</math>  <math>f_y = 60000 \text{ psi}</math> </p> <p><math>V_s = 72695,70 \text{ pounds}</math></p> <p><math>V_r = \phi (V_c + V_s)</math></p> <p><math>V_r = 128845,25 \text{ pounds}</math></p> <p><math>V_r &gt; V_u</math>      <math>46832,35 \text{ OK}</math></p>	<p>Refuerzo transversal</p> <p><math>D' = 0,80 D</math></p> <p><math>D' = 17,32283465 \text{ pg}</math></p> <p><math>A_h = 0,17530122 \text{ pg}^2</math></p> <p> <math>v_s = (M/2)(A_h * f_y * D) / s</math>  <math>f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2</math>  <math>f_y = 60000 \text{ psi}</math> </p> <p><math>V_s = 72695,70 \text{ pounds}</math></p> <p><math>V_r = \phi (V_c + V_s)</math></p> <p><math>V_r = 128845,25 \text{ pounds}</math></p> <p><math>V_r &gt; V_u</math>      <math>46832,35 \text{ OK}</math></p>

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### RESISTENCIA AL CORTANTE EN ZONA CENTRAL

para  $v_c$   $\left\{ \begin{array}{l} v_b (1 + 3P_u / f'c A_g) \quad \text{si } P_u \text{ está en compresión} \\ v_b (1 + P_u / 500 A_g) \quad \text{Si } P_u \text{ está en tensión} \end{array} \right.$

Entonces  $v_c = v_b (1 + 3P_u / f'c A_g)$

Obtenemos  $v_c = v_b (1 + 3P_u / f'c A_g)$

$v_c = 256,16$  pounds

Calculamos  $V_c = v_c * A_e$

$V_c = 75428,82$  lb

$V_s = (V_u - V_c) / 0.85$

$V_s = -33642,91$  lb

### Refuerzo transversal

$D' = 0,80 D$

$D' = 17,32283465$  pg

$A_h = 0,175301221$  pg<sup>2</sup>      área de la espiral

$v_s = (\pi/2) (A_h * f_y * D') / s$        $f_y = 4200$  kg/cm<sup>2</sup>  
 $f_y = 60000$  psi

$s = -8,51$  pg

$s = -21,61$  cm

# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

Estribos:

Extremos: Espiral de 12 mm c/10 cm. En la longitud de confinamiento  
 Zona Central Espiral de 12 mm c/10 cm.

Extensión del confinamiento en zona de articulación plástica

Si a)  $P_u/f_c A_g \leq 0.30$  b)  $P_u/f_c A_g \geq 0.30$   
 0,285 USAR CASO a) 0,259 USAR CASO a)

L 5,80 m  
 L 580,00 cm  
 L 228,35 pg

a)  $P_u/f_c A_g \leq 0.30$



80% M La distancia que se produce  $M_u$  y  $0.8M_u$

Por semejanzas de triángulos

$$\frac{H-x}{H} = \frac{0.8Mr}{Mr}$$

$$x = 116 \text{ cm}$$

Conclusion Usar la mayor altura

$$L_p: 116,00 \text{ cm}$$

b)  $P_u/f_c A_g \geq 0.30$  Lp 1,5lp

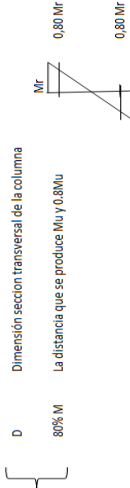
$$L_p: 174 \text{ cm}$$

Extensión del confinamiento en zona de articulación plástica

Si a)  $P_u/f_c A_g \leq 0.30$  b)  $P_u/f_c A_g \geq 0.30$   
 0,259 USAR CASO a)

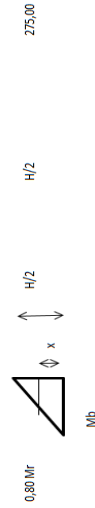
L 5,80 m  
 L 580,00 cm  
 L 228,35 pg

a)  $P_u/f_c A_g \leq 0.30$



D Dimensión sección transversal de la columna  
 80% M La distancia que se produce  $M_u$  y  $0.8M_u$

$$D: 0,55 \text{ cm}$$



POR SEMEJANZA DE TRIANGULOS

$$\frac{0.80 Mb}{0.80 Mb} = \frac{H/2}{H/2-x} = \frac{Mb}{0.8Mb}$$

$$x = 55,00 \text{ cm}$$

# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

Altura de columna 6 m.

ALTURA DE COLUMNAS		ESTADOS DE CARGA	
H	n	1) Pu max.	2) M22 Max. (sentidoY - Sentido longitudinal)
6,00 m	0,60		
19,69 ft	19,69 ft		
0,10 m	0,10 m		
0,60 m	0,60 m		
0,55 m	21,65 ft		

Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	V3	T	M2	M3	FrameElem	ElemStation	M inf	Msup
Text	m	Text	Text	Text	Tonf	Tonf	Tonf	Tonf-m	Tonf-m	Tonf-m	Text	m		
<b>SISMO X-X</b>														
98	0	COMB2	Combination	Max	-177,0835	1,007	3,4192	0,08736	22,65496	5,85635	98-1	0	23,40	
98	6	COMB2	Combination	Max	-172,6309	1,007	3,4192	0,08736	2,14812	18,85374	98-1	6	18,98	
98	0	COMB2	Combination	Min	-191,9889	-5,6529	-2,9942	-0,0739	-19,76192	-15,06384	98-1	0	24,85	
98	6	COMB2	Combination	Min	-187,5363	-5,6529	-2,9942	-0,0739	-1,80515	-0,18544	98-1	6	1,81	
99	0	COMB2	Combination	Max	-227,6334	3,6711	3,4612	0,00008768	22,80435	11,1369	99-1	0	25,38	
99	6	COMB2	Combination	Max	-223,1807	3,6711	3,4612	0,00008768	2,04611	10,88987	99-1	6	11,08	
99	0	COMB2	Combination	Min	-227,6373	-3,6711	-3,0305	-0,00008768	-19,88993	-11,1369	99-1	0	22,80	
99	6	COMB2	Combination	Min	-223,1846	-3,6711	-3,0305	-0,00008768	-1,71569	-10,88987	99-1	6	11,02	
100	0	COMB2	Combination	Max	-177,0835	5,6529	3,4192	0,0739	22,65496	15,06384	100-1	0	27,21	
100	6	COMB2	Combination	Max	-172,6309	5,6529	3,4192	0,0739	2,14812	0,18544	100-1	6	2,16	
100	0	COMB2	Combination	Min	-191,9889	-1,007	-2,9942	-0,08736	-19,76192	-5,85635	100-1	0	20,61	
100	6	COMB2	Combination	Min	-187,5363	-1,007	-2,9942	-0,08736	-1,80515	-18,85374	100-1	6	18,94	
<b>SISMO Y-Y</b>														
98	0	COMB3	Combination	Max	-159,6939	8,7768	1,1745	0,03092	7,80905	30,26323	98-1	0	31,25	
98	6	COMB3	Combination	Max	-155,2412	8,7768	1,1745	0,03092	0,76447	41,06612	98-1	6	41,07	
98	0	COMB3	Combination	Min	-209,3786	-13,4228	-0,7495	-0,01746	-4,91602	-39,47073	98-1	0	39,78	
98	6	COMB3	Combination	Min	-204,9259	-13,4228	-0,7495	-0,01746	-0,42151	-22,39782	98-1	6	22,40	
99	0	COMB3	Combination	Max	-227,6347	12,2371	1,1891	0,00029	7,86135	37,11299	99-1	0	37,95	
99	6	COMB3	Combination	Max	-223,1821	12,2371	1,1891	0,00029	0,72948	36,29957	99-1	6	36,31	
99	0	COMB3	Combination	Min	-227,6359	-12,2371	-0,7584	-0,00029	-4,94693	-37,11299	99-1	0	37,45	
99	6	COMB3	Combination	Min	-223,1832	-12,2371	-0,7584	-0,00029	-0,39906	-36,29957	99-1	6	36,30	
100	0	COMB3	Combination	Max	-159,6939	13,4228	1,1745	0,01746	7,80905	39,47073	100-1	0	40,24	
100	6	COMB3	Combination	Max	-155,2412	13,4228	1,1745	0,01746	0,76447	22,39782	100-1	6	22,41	
100	0	COMB3	Combination	Min	-209,3786	-8,7768	-0,7495	-0,03092	-4,91602	-30,26323	100-1	0	30,66	
100	6	COMB3	Combination	Min	-204,9259	-8,7768	-0,7495	-0,03092	-0,42151	-41,06612	100-1	6	41,07	

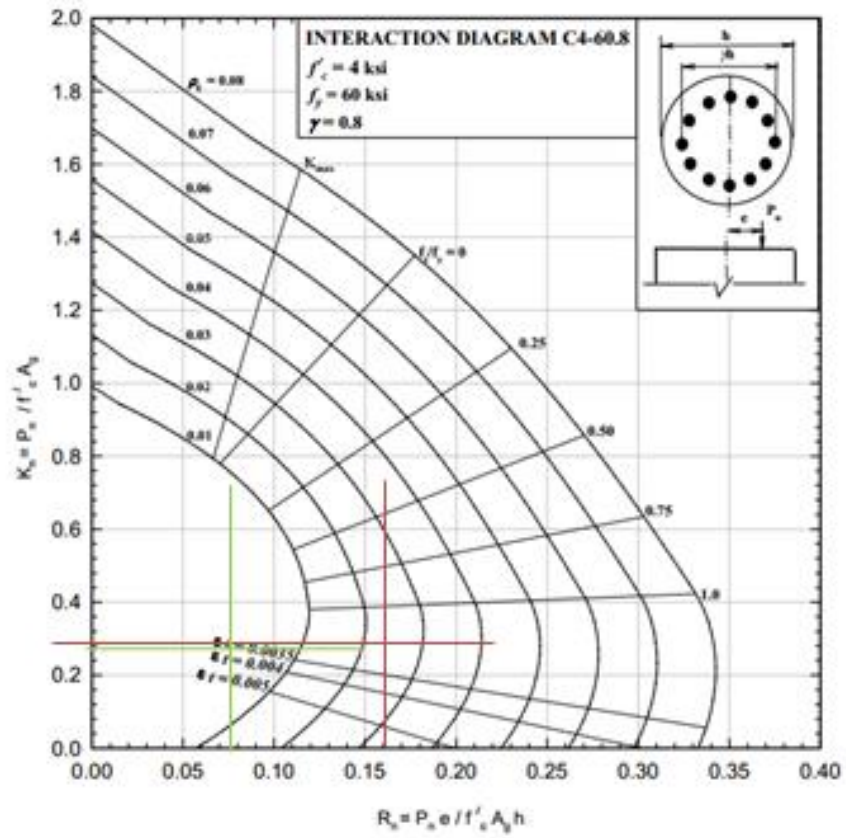






**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---



# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

## SISMO Y-Y

### EXTREMO INFERIOR COLUMNA

Pu:	209,379 ton.	Max de diseño
M2:	-4,316 ton-m	Max de diseño
M3:	-39,471 ton-m	Max de diseño

$$M = \sqrt{M_{22}^2 + M_{33}^2}$$

Asumiendo que la curva que forma la carga Ph es una elipse

M	39,776 ton-m
---	--------------

Area Gruesa de la seccion

Ag:  $\Pi^*4Col^2/4$

Ag: 0,2376 m2

Ag: 2375,83 cm2

### EXTREMO SUPERIOR COLUMNA

Pu:	204,926 ton.	Max de diseño
M2:	-0,422 ton-m	Max de diseño
M3:	-41,066 ton-m	Max de diseño

M	41,068 ton-m
---	--------------

Pu

209,379 Ton

Mu

39,776 ton-m

e= M/P

0,190 m

excentricidad

$0.9 \cdot (2Pu / Fc \cdot Ag)$

< 0,5

>

0,9

$0.271 >$

0,7

<

0,9

0	0,700
---	-------

Pu

204,926 Ton

Mu

41,068 ton-m

e= M/P

0,200 m

excentricidad

$0.9 \cdot (2Pu / Fc \cdot Ag)$

< 0,5

>

0,9

$0.284 >$

0,7

<

0,9

0	0,700
---	-------

Ph

299,112357 Ton

Mn

56,82241903 ton-m

Pu/Φ

292,751286 Ton

Mn

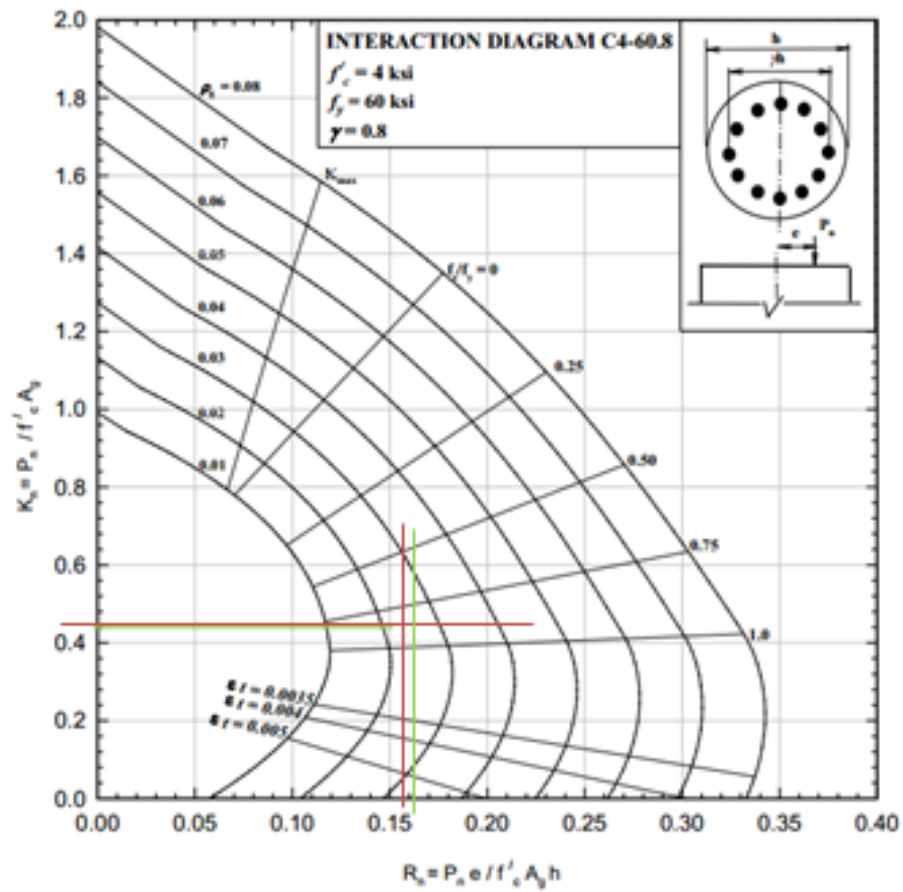
58,6687596 ton-m

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

Diseño flexocompresión	Diseño flexocompresión
<p>Datos:</p> <p>P<sub>tr</sub>= 299,112 Ton      f<sub>y</sub> 4200 kg/cm<sup>2</sup></p> <p>M<sub>n</sub>= 56,822 Ton-m</p> <p>A<sub>g</sub>= 2375,83 cm<sup>2</sup></p> <p>f'c= 280 kg/cm<sup>2</sup></p> <p>γ<sub>tr</sub>= h - 2 rec libre</p> <p>h= 55 cm</p> <p>rec libre= <math>r_1 + \phi_e + \phi_l / 2</math></p> <p>rec= 3,5 cm</p> <p>φ<sub>e</sub>= 1,2 cm</p> <p>φ<sub>l</sub>= 2,2 cm</p> <p>rec libre= 5,8 cm</p> <p>γ<sub>tr</sub>= 43,4</p> <p>Determinamos γ = (γ<sub>tr</sub>/h)</p> <p>γ = 0,79</p> <p>K<sub>tr</sub>: P<sub>n</sub> / A<sub>g</sub> f'c = 0,450</p> <p>R<sub>tr</sub>: M<sub>n</sub> / A<sub>g</sub> f'c h = 0,155</p> <p>Hallamos p de la curva:</p> <p>p = 0,022</p> <p>p de Diseño: 0,022</p>	<p>Datos:</p> <p>P<sub>tr</sub>= 292,751 Ton      f<sub>y</sub> 4200 kg/cm<sup>2</sup></p> <p>M<sub>n</sub>= 58,669 Ton-m</p> <p>A<sub>g</sub>= 2375,82944 cm<sup>2</sup></p> <p>f'c= 280 kg/cm<sup>2</sup></p> <p>γ<sub>tr</sub>= h - 2 rec libre</p> <p>h= 55 cm</p> <p>rec libre= <math>r_1 + \phi_e + \phi_l / 2</math></p> <p>rec= 3,5 cm</p> <p>φ<sub>e</sub>= 1,2 cm</p> <p>φ<sub>l</sub>= 2,2 cm</p> <p>rec libre= 5,8 cm</p> <p>γ<sub>tr</sub>= 43,4</p> <p>Determinamos γ = (γ<sub>tr</sub>/h)</p> <p>γ = 0,79</p> <p>K<sub>tr</sub>: P<sub>n</sub> / A<sub>g</sub> f'c = 0,440</p> <p>R<sub>tr</sub>: M<sub>n</sub> / A<sub>g</sub> f'c h = 0,160</p> <p>Hallamos p de la curva:</p> <p>p = 0,023</p> <p>p de Diseño: 0,023</p>

**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---





# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

## CORTANTE DE DISEÑO

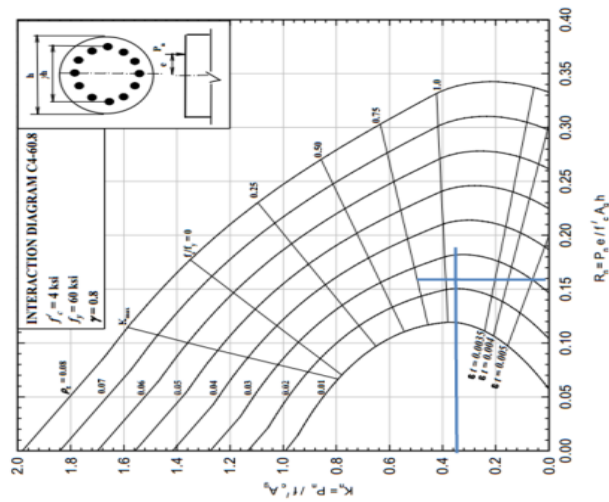
### SSMO X-X

En el sentido X-X las columnas trabajan en curvatura simple, solo se puede producir rótula plástica en el extremo inferior

Pie= 253,976

Mni= Se calcula con la curva de interacción

Mni:  $P_n/A_g f_c = 0.380$   
 $p = 0.024793388$



Extremo Inferior  
 Mni:  $M_n/A_g f_c = 0.160$   
 Min = 38.54 Ton-m

Vu: 2M/L  
 Mr: Momentos en los extremos.  
 L: Longitud de la columna

Vu: 2M/L 9756.74 Kg

### SSMO Y-Y

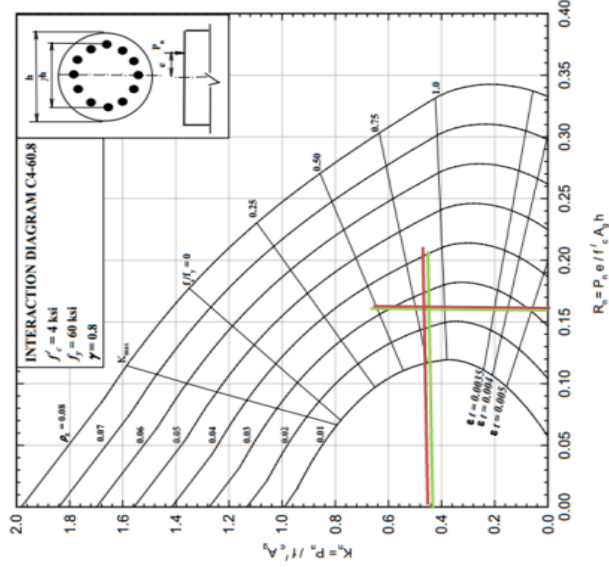
En el sentido Y-Y las columnas trabajan en curvatura doble, se puede producir rótula plástica en ambos extremos

Extremo Inferior

Pie= 299,11286

Mni= Se calcula con la curva de interacción

Mni:  $P_n/A_g f_c = 0.450$   
 $p = 0.0208$



Extremo Inferior  
 Mni:  $M_n/A_g f_c = 0.160$   
 Min = 38.54 Ton-m

Vu: 2M/L  
 Mr: Momentos en los extremos.  
 L: Longitud de la columna

Vu: 2M/L 19513.48 Kg

Extremo Superior

Pie= 292,7512857

Mni= Se calcula con la curva de interacción

Mni:  $P_n/A_g f_c = 0.440$   
 $p = 0.0208$

Extremo Superior  
 Mni:  $M_n/A_g f_c = 0.160$   
 Min = 38.54 Ton-m



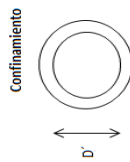
# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

## DISEÑO POR CONFINAMIENTO EXTREMO INFERIOR

$$\rho_s = \frac{4 \text{ Asp}}{S D'} \geq 0.16 (f_{ce}/f_{ye}) [0.50 + (1.25 P_u / (f_{ce} A_g))] + 0.13 (\rho - 0.01)$$

$f_{ce} = 280 \text{ kg/cm}^2$   
 $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$   
 $P_u \text{ max} = 209378.60$   
 $1.25 P_u = 261723.25 \text{ kg}$   
 $f_{ce} = 364 \text{ kg/cm}^2$   
 $f_{ye} = 4620 \text{ kg/cm}^2$   
 $A_g = 2375.83 \text{ cm}^2$   
 $\rho = 0.024793388$

$$\rho_s \text{ min} = 0.01014$$



$D = 55.00 \text{ cm}$   
 $D' = D - 2(r + \phi_e + \phi/2)$   
 $D' = 43.4$

Cuánta volumétrica

$$\rho_s = \frac{4 \text{ Asp}}{S D'} = \frac{1.130973355 \text{ cm}^2}{10.27740245} = 0.11000$$

$$S = \frac{4 \text{ Asp}}{D' \rho_s} = \frac{4 \times 1.130973355 \text{ cm}^2}{43.4 \times 0.11000} = 10.00 \text{ cm}$$

S:  $\phi 12 @ 10 \text{ cm.}$

separación

## RESISTENCIA AL CORTE EN ZONAS DE ROTURA PLÁSTICA

De acuerdo al comité ASCE - ACI 408 para diseñar por corte se pueden utilizar las siguientes ecuaciones

$$V_r = \phi (V_c + V_s)$$

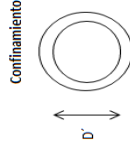
$$\phi = 0.85$$

## EXTREMO SUPERIOR

$$\rho_s = \frac{4 \text{ Asp}}{S D'} \geq 0.16 (f_{ce}/f_{ye}) [0.50 + (1.25 P_u / (f_{ce} A_g))] + 0.13 (\rho - 0.01)$$

$f_{ce} = 280 \text{ kg/cm}^2$   
 $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$   
 $P_u \text{ max} = 209378.60$   
 $1.25 P_u = 261723.25 \text{ kg}$   
 $f_{ce} = 364 \text{ kg/cm}^2$   
 $f_{ye} = 4620 \text{ kg/cm}^2$   
 $A_g = 2375.83 \text{ cm}^2$   
 $\rho = 0.0248$

$$\rho_s \text{ min} = 0.01014$$



$D = 55.00 \text{ cm}$   
 $D' = D - 2(r + \phi_e + \phi/2)$   
 $D' = 43.4$

Cuánta volumétrica

$$\rho_s = \frac{4 \text{ Asp}}{S D'} = \frac{1.130973355 \text{ cm}^2}{10.27740245} = 0.11000$$

$$S = \frac{4 \text{ Asp}}{D' \rho_s} = \frac{4 \times 1.130973355 \text{ cm}^2}{43.4 \times 0.11000} = 10.00 \text{ cm}$$

S:  $\phi 12 @ 10 \text{ cm.}$

separación

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

	EXTREMO INFERIOR	EXTREMO SUPERIOR
+	se calcula vb	se calcula vb
	$\rho = 0,024793388$ $vb = (0,80 + 120 \rho) \sqrt{f_c}$	$\rho = 0,024793339$ $vb = (0,80 + 120 \rho) \sqrt{f_c}$
	vb= 144,68 psi	vb= 144,68 psi
	vb ≤ 2,4√f <sub>c</sub> en zonas de articulación plástica	vb ≤ 2,4√f <sub>c</sub> en zonas de articulación plástica
Entonces	144,68 ≤ 151,79	144,68 ≤ 151,79
	vb: 144,68 psi	vb: 144,68 psi
En zonas de articulación plástica:		
SI	Pu > 0,1f <sub>c</sub> Ag	Pu > 0,1f <sub>c</sub> Ag
	f <sub>c</sub> 280 kg/cm <sup>2</sup>	f <sub>c</sub> 280 kg/cm <sup>2</sup>
	f <sub>c</sub> 4000 psi	f <sub>c</sub> 4000 psi
	460632,92 > 147301,72 OK	460632,92 > 147301,72 OK
usar	$vc = 4\sqrt{b} \sqrt{\frac{Pu}{AgF_c} - 0,1}$	$vc = 4\sqrt{b} \sqrt{\frac{Pu}{AgF_c} - 0,1}$
	vc 266,91	vc 266,91
	Ag 368,2543004 pg <sup>2</sup>	Ag 368,2543004 pg <sup>2</sup>
	dCol 0,55 m	dCol 0,55 m
	dCol 21,65 pg	dCol 21,65 pg
	Ae= 294,45 pg <sup>2</sup>	Ae= 294,45 pg <sup>2</sup>
	Vc= Vc * Ae	Vc= Vc * Ae
	Vc= 78593,42 pounds	Vc= 78593,42 pounds

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

Espaciamiento mínimo en zonas de articulación plástica	Espaciamiento mínimo en zonas de articulación plástica
<p>La separación (s) para restringir el pandeo:</p> $s \min \leq [3 + 6(f_u/f_y - 1)] \text{ dbl}$ <p> <math>f_u/f_y = 1.5</math>  <math>\text{dbl} = 2.2 \text{ cm}</math>  <math>s_{\min} = 13.2 \text{ cm}</math>  <math>s_{\min} = 13 \text{ cm}</math> </p> <p> <math>s = 13 \text{ cm}</math> </p> <p>Pero</p> <p>Entonces</p> <p>Refuero transversal</p> $D = 0.80 D$ $D = 17,32283465 \text{ pg}$ $A_h = 0.175301221 \text{ pg}^2$ $v_s = (\pi/2) (A_h * f_y * D) / s$ <p>Vs: 72695,70 pounds</p> $V_r = \phi (V_c + V_s)$ <p>Vr 128595,76 pounds</p> <p> <math>V_r &gt; V_u</math>              128595,76 &gt; 42929,65 OK         </p>	<p>La separación (s) para restringir el pandeo:</p> $s \min \leq [3 + 6(f_u/f_y - 1)] \text{ dbl}$ <p> <math>f_u/f_y = 1.5</math>  <math>\text{dbl} = 2.2 \text{ cm}</math>  <math>s_{\min} = 13.2 \text{ cm}</math>  <math>s_{\min} = 13 \text{ cm}</math> </p> <p> <math>s = 13 \text{ cm}</math> </p> <p>Pero</p> <p>Entonces</p> <p>Refuero transversal</p> $D = 0.80 D$ $D = 17,3228346 \text{ pg}$ $A_h = 0.17530122 \text{ pg}^2$ $v_s = (\pi/2) (A_h * f_y * D) / s$ <p>Vs: 72695,70 pounds</p> $V_r = \phi (V_c + V_s)$ <p>Vr 128595,76 pounds</p> <p> <math>V_r &gt; V_u</math>              128595,76 &gt; 42929,65 OK         </p>

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

### RESISTENCIA AL CORTANTE EN ZONA CENTRAL

para	vc	{	$vb ( 1 + 3Pu / f'c Ag)$	si Pu está en compresión
		}	$vb ( 1 + Pu / 500 Ag)$	Si Pu está en tensión

Entonces  $vc = vb ( 1 + 3Pu / f'c Ag)$

Obtenemos  $vc = vb ( 1 + 3Pu / f'c Ag)$

$vc = 256,59$  pounds

Calculamos  $Vc = vc * Ae$

$Vc:$	75553,92 lb
-------	-------------

$Vs = (Vu - Vc) / 0.85$

$Vs = -38381,49$  lb

### Refuerzo transversal

$D' = 0,80 D$

$D' = 17,32283465$  pg

$Ah = 0,175301221$  pg<sup>2</sup>      área de la espiral

$vs = (\pi/2) ( Ah * fy * D' ) / s$	$f'y$	4200 kg/cm <sup>2</sup>
	$f'y$	60000 psi

$s$	-7,46 pg
-----	----------

$s = -18,94$  cm

# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

Estribos:

Extremos : Espiral de 12 mm  $\phi$  10 cm. En la longitud de confinamiento  
Zona Central Espiral de 12 mm  $\phi$  10 cm.

Extensión del confinamiento en zona de articulación plástica

SI	a) $P_u/f_c A_g \leq 0.30$ $P_u/f_c A_g$	0,266 USAR CASO a)	b) $P_u/f_c A_g \geq 0.30$
L	6,30 m		
L	630,00 cm		
L	248,03 PG		

a)  $P_u/f_c A_g \leq 0.30$



80% M La distancia que se produce Mu y 0.8Mu

Por semejanzas de triángulos

$$\frac{H-x}{H} = \frac{0.8Mr}{Mr}$$

$$x = 126 \text{ cm}$$

Conclusion Usar la mayor altura

$$L_p: 126,00 \text{ cm}$$

b)  $P_u/f_c A_g \leq 0.30$

$$L_p 1,5lp$$

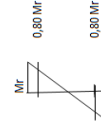
$$L_p: 189 \text{ cm}$$

Extensión del confinamiento en zona de articulación plástica

SI	a) $P_u/f_c A_g \leq 0.30$ $P_u/f_c A_g$	0,260 USAR CASO a)	b) $P_u/f_c A_g \geq 0.30$
L	6,30 m		
L	630,00 cm		
L	248,03 PG		

a)  $P_u/f_c A_g \leq 0.30$

D Dimensión sección transversal de la columna  
80% M La distancia que se produce Mu y 0.8Mu



$$D 0,55 \text{ cm}$$

$$\frac{0.80 Mr}{H/2} = \frac{Mb}{x}$$

POR SEMEJANZA DE TRIANGULOS

$$\text{PARA } 0,80 Mb \quad x = 60,00 \text{ cm}$$

# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

Altura de Columna 6.5 m.

ALTURA DE COLUMNAS		ESTADOS DE CARGA		COLUMNAS																	
H	n:	dCol:	Hcabestal	Hcol	Hpila	SISMO X-X															
6.50 m	0.10 m	0.55 m	0,60	21,33 ft	7,10 m	Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	V3	T	M2	M3	FrameElem	ElemStation	M inf	M sup	
Text	m	Text	Text	Text	Text	Text	m	Text	Text	Text	Tonf	Tonf	Tonf-m	Tonf-m	Tonf-m	Tonf-m	Text	m			
98	0 COMB2	Combination	Max	-178,1637	1,0043	2,8936	0,06578	20,47336	5,91701 98-1	0	21,31										
98	6,5 COMB2	Combination	Max	-173,3399	1,0043	2,8936	0,06578	1,67412	18,20451 98-1	6,5	18,28										
98	0 COMB2	Combination	Min	-192,0089	-5,0488	-2,5375	-0,05512	-17,8727	-14,61291 98-1	0	23,09										
99	6,5 COMB2	Combination	Min	-187,1851	-5,0488	-2,5375	-0,05512	-1,38777	-0,61101 98-1	6,5	1,52										
99	0 COMB2	Combination	Max	-227,4409	3,3155	2,9207	0,00007834	20,57801	10,8867 99-1	0	23,28										
99	6,5 COMB2	Combination	Max	-222,6172	3,3155	2,9207	0,00007834	1,60272	10,66424 99-1	6,5	10,78										
99	0 COMB2	Combination	Min	-227,445	-3,3155	-2,561	-0,00007834	-17,96201	-10,8867 99-1	0	21,00										
99	6,5 COMB2	Combination	Min	-222,6213	-3,3155	-2,561	-0,00007834	-1,32482	-10,66424 99-1	6,5	10,75										
100	0 COMB2	Combination	Max	-178,1637	5,0488	2,8936	0,05512	20,47336	14,61291 100-1	0	25,15										
100	6,5 COMB2	Combination	Max	-173,3399	5,0488	2,8936	0,05512	1,67412	0,61101 100-1	6,5	1,78										
100	0 COMB2	Combination	Min	-192,0089	-1,0043	-2,5375	-0,06578	-17,8727	-5,91701 100-1	0	18,83										
100	6,5 COMB2	Combination	Min	-187,1851	-1,0043	-2,5375	-0,06578	-1,38777	-18,20451 100-1	6,5	18,26										
SISMO Y-Y																					
Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	V3	T	M2	M3	FrameElem	ElemStation	M inf	M sup							
Text	m	Text	Text	Text	Tonf	Tonf	Tonf	Tonf-m	Tonf-m	Tonf-m	Text	m									
98	0 COMB3	Combination	Max	-162,0109	8,0663	0,9927	0,02347	7,05224	25,86859 98-1	0	30,69										
98	6,5 COMB3	Combination	Max	-157,1872	8,0663	0,9927	0,02347	0,60246	40,15595 98-1	6,5	40,16										
98	0 COMB3	Combination	Min	-208,1616	-12,1108	-0,6366	-0,01281	-4,45158	-38,56449 98-1	0	38,82										
98	6,5 COMB3	Combination	Min	-203,3378	-12,1108	-0,6366	-0,01281	-0,31611	-22,56245 98-1	6,5	22,56										
99	0 COMB3	Combination	Max	-227,4424	11,0518	1,0021	0,00026	7,089	36,289 99-1	0	36,97										
99	6,5 COMB3	Combination	Max	-222,6186	11,0518	1,0021	0,00026	0,57808	35,54745 99-1	6,5	35,55										
99	0 COMB3	Combination	Min	-227,4436	-11,0518	-0,6424	-0,00026	-4,473	-36,289 99-1	0	36,56										
99	6,5 COMB3	Combination	Min	-222,6199	-11,0518	-0,6424	-0,00026	-0,30018	-35,54745 99-1	6,5	35,55										
100	0 COMB3	Combination	Max	-162,0109	12,1108	0,9927	0,01281	7,05224	38,56449 100-1	0	39,20										
100	6,5 COMB3	Combination	Max	-157,1872	12,1108	0,9927	0,01281	0,60246	22,56245 100-1	6,5	22,57										
100	0 COMB3	Combination	Min	-208,1616	-8,0663	-0,6366	-0,02347	-4,45158	-25,86859 100-1	0	30,20										
100	6,5 COMB3	Combination	Min	-203,3378	-8,0663	-0,6366	-0,02347	-0,31611	-40,15595 100-1	6,5	40,16										

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

SISMO X-X	
<p><b>EXTREMO INFERIOR COLUMNA</b></p> <p>Pu: 178,164 ton. Max de diseño</p> <p>M2: 20,473 ton-m Max de diseño</p> <p>M3: 14,613 ton-m Max de diseño</p> $M = \sqrt{M_{22}^2 + M_{33}^2}$ <p style="text-align: center;">Asumiendo que la curva que forma la carga Pn es una elipse</p> <p>M: 25,153 ton-m</p> <p>Area Gruesa de la seccion</p> <p>Ag: <math>\pi * dCcl^2 / 4</math></p> <p>Ag: 0,2376 m<sup>2</sup></p> <p>Ag: 2375,83 cm<sup>2</sup></p>	<p><b>EXTREMO SUPERIOR COLUMNA</b></p> <p>Pu: 173,340 ton. Max de diseño</p> <p>M2: 1,674 ton-m Max de diseño</p> <p>M3: 18,205 ton-m Max de diseño</p> <p>M: 18,281 ton-m</p>
<p>Pu: 178,164 Ton Mu: 25,153 ton-m</p> <p>e= M/P excentricidad</p> <p>e= 0,141 m</p> <p><math>\phi = 0.9 \cdot (2P_u / F_c A_g) &lt; 0.5 &gt;</math></p> <p><math>\phi = 0.364 &gt; 0.7 &lt; 0.9</math></p> <p>Pn: 254,5195714 Ton Mn: 35,9348753 ton-m</p>	<p>Pu: 173,340 Ton Mu: 18,281 ton-m</p> <p>e= M/P excentricidad</p> <p>e= 0,105 m</p> <p><math>\phi = 0.9 \cdot (2P_u / F_c A_g) &lt; 0.5 &gt;</math></p> <p><math>\phi = 0.379 &gt; 0.7 &lt; 0.9</math></p> <p>Pn: 247,638429 Ton Mn: 26,1161799 ton-m</p>

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

### Diseño flexocompresión

Datos:

$P_n = 254,520 \text{ Ton}$   
 $M_n = 35,933 \text{ Ton}\cdot\text{m}$   
 $A_g = 2375,83 \text{ cm}^2$   
 $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$

$f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$

$\gamma = h - 2 \text{ rec libre}$

$h = 55 \text{ cm}$

rec libre =  $r + \phi_e + \phi / 2$

$rec = 3,5 \text{ cm}$   
 $\phi_e = 1,2 \text{ cm}$   
 $\phi = 2,2 \text{ cm}$

rec libre =  $5,8 \text{ cm}$

$\gamma = 43,4$

Determinamos  $\gamma = (\gamma/h)$

$\gamma = 0,79$

$K_n: P_n / A_g f_c = 0,383$

$R_n: M_n / A_g f_c h = 0,998$

Hallamos  $\rho$  de la curva:

$\rho = 0,010$

### Diseño flexocompresión

Datos:

$P_n = 247,628 \text{ Ton}$   
 $M_n = 26,116 \text{ Ton}\cdot\text{m}$   
 $A_g = 2375,82944 \text{ cm}^2$   
 $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$

$f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$

$\gamma = h - 2 \text{ rec libre}$

$h = 55 \text{ cm}$

rec libre =  $r + \phi_e + \phi / 2$

$rec = 3,5 \text{ cm}$   
 $\phi_e = 1,2 \text{ cm}$   
 $\phi = 2,2 \text{ cm}$

rec libre =  $5,8 \text{ cm}$

$\gamma = 43,4$

Determinamos  $\gamma = (\gamma/h)$

$\gamma = 0,79$

$K_n: P_n / A_g f_c = 0,372$

$R_n: M_n / A_g f_c h = 0,071$

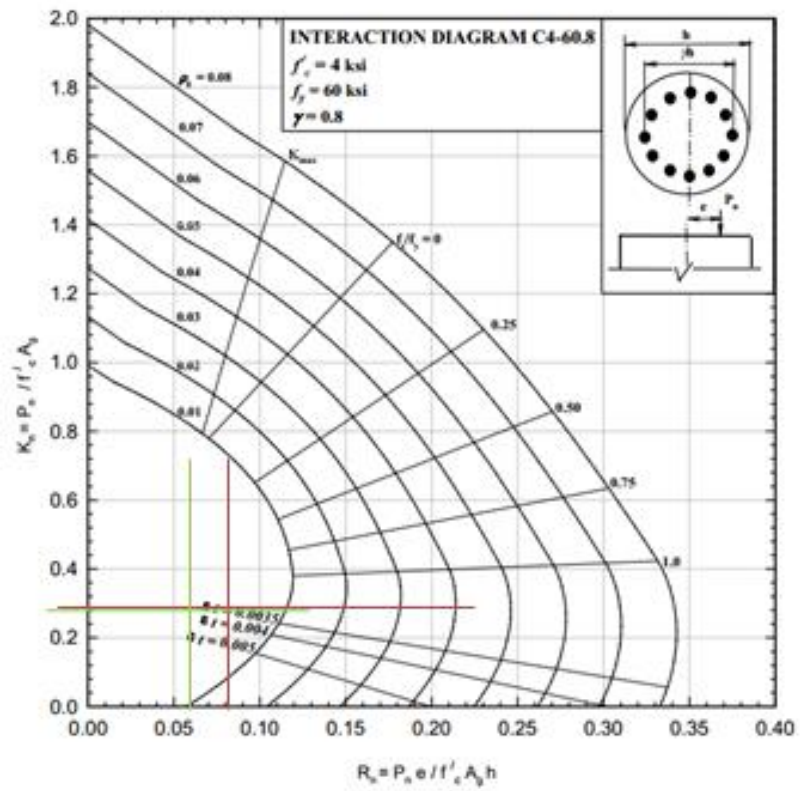
Hallamos  $\rho$  de la curva:

$\rho = 0,010$



**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---



## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

EXTREMO INFERIOR COLUMNA		EXTREMO SUPERIOR COLUMNA	
Pu:	208,162 ton.	203,338 ton.	Max de diseño
M2:	-4,452 ton-m	-0,316 ton-m	Max de diseño
M3:	-38,564 ton-m	-40,156 ton-m	Max de diseño
$M = \sqrt{M_{22}^2 + M_{33}^2}$ Asumiendo que la curva que forma la carga Pn es una elipse			
M	38,821 ton-m	40,157 ton-m	
Area Gruesa de la sección			
Ag:	$\Pi^2 \cdot c \cdot Col^2 / 4$		
Ag:	0,2376 m <sup>2</sup>		
Ag:	2375,83 cm <sup>2</sup>		
Pu	208,162 Ton	203,338 Ton	Mu
e=	M/P	excentricidad	40,157 ton-m
e=	0,186 m	0,197 m	
$\phi$	$0.9 \cdot (2Pu / Fc \cdot Ag)$	< 0,5	>
$\phi$	0,274	>	0,7
	<	<	0,9
			0,700
Pn	Pu/ $\phi$	297,3737143 Ton	Mn
		250,482571 Ton	Mu/ $\phi$
			57,36743028 ton-m

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

### Diseño flexocompresión

Datos:

Pn= 297,374 Ton  
 Mn= 55,458 Ton-m  
 Ag= 2375,83 cm<sup>2</sup>  
 f<sub>c</sub>= 280 kg/cm<sup>2</sup>

f<sub>y</sub> 4200 kg/cm<sup>2</sup>

$\psi h = h - 2 \text{ rec libre}$

h= 55 cm

rec libre=  $r1 + \phi e + \phi l / 2$

rec= 3,5 cm

$\phi e = 1,2$  cm

$\phi l = 2,2$  cm

rec libre= 5,8 cm

$\psi h = 43,4$

Determinamos  $\gamma = (\psi h / h)$

$\gamma = 0,79$

Kn:  $Pn / Ag f_c = 0,447$

Rn:  $Mn / Ag f_c h = 0,152$

Hallamos  $\rho$  de la curva:

$\rho = 0,021$

$\rho$  de Diseño:

$\rho = 0,021$

### Diseño flexocompresión

Datos:

Pn= 290,483 Ton  
 Mn= 57,367 Ton-m  
 Ag= 2375,82944 cm<sup>2</sup>  
 f<sub>c</sub>= 280 kg/cm<sup>2</sup>

f<sub>y</sub> 4200 kg/cm<sup>2</sup>

$\psi h = h - 2 \text{ rec libre}$

h= 55 cm

rec libre=  $r1 + \phi e + \phi l / 2$

rec= 3,5 cm

$\phi e = 1,2$  cm

$\phi l = 2,2$  cm

rec libre= 5,8 cm

$\psi h = 43,4$

Determinamos  $\gamma = (\psi h / h)$

$\gamma = 0,79$

Kn:  $Pn / Ag f_c = 0,437$

Rn:  $Mn / Ag f_c h = 0,137$

Hallamos  $\rho$  de la curva:

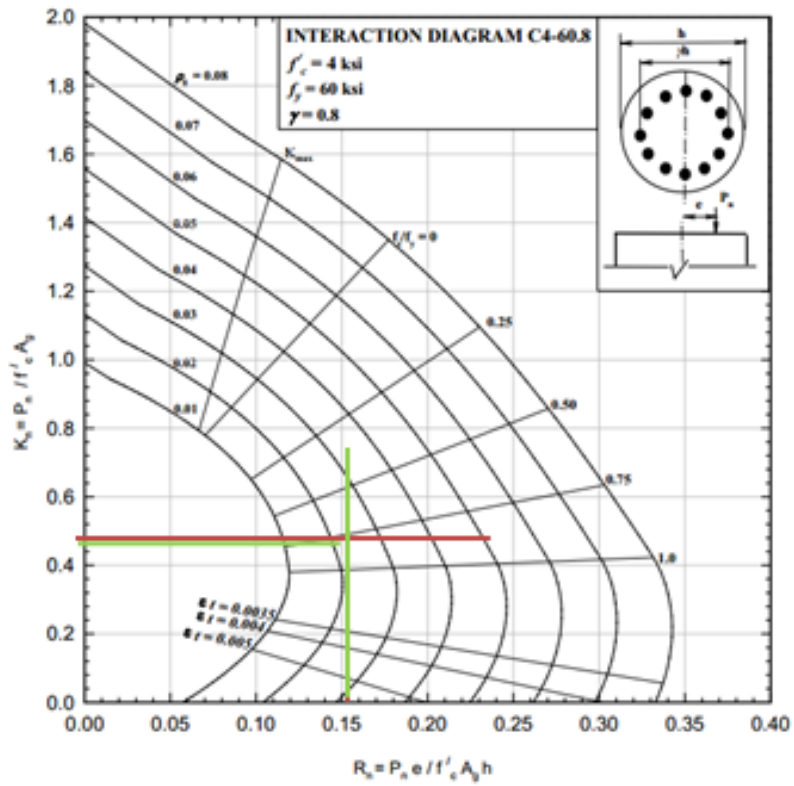
$\rho = 0,021$

$\rho$  de Diseño:

$\rho = 0,021$

**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---



## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

As	Ag <sup>p</sup>	As	Ag <sup>p</sup>
As necesario=	49,9 cm <sup>2</sup>	As necesario=	49,9 cm <sup>2</sup>
Av	3,80 cm <sup>2</sup>	Av	3,80 cm <sup>2</sup>
N°varillas	As/Av	N°varillas	As/Av
N°varillas	12	N°varillas	12
As colocar:	45,6	As colocar:	45,6
	0,019		0,019
PARA MEJOR DISTRIBUCION USAR			
∅	2,50	∅	2,50
Av	4,91 cm <sup>2</sup>	Av	4,91 cm <sup>2</sup>
N°varillas	12	N°varillas	12
As1 colocar:	58,90	As1 colocar:	58,90
	0,00		0,00
	Ast:		Ast:
	58,90 cm <sup>2</sup>		58,90 cm <sup>2</sup>
	pca1= 0,0248		pca1= 0,0248
Ref. en columnas:			
Toda la columna: 12 de 25 mm			

# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

## CORTANTE DE DISEÑO

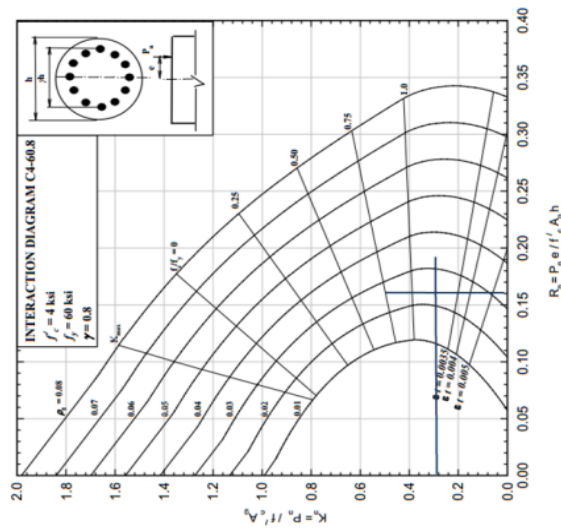
### SISMO X-X

En el sentido X-X las columnas trabajan en curvatura simple, solo se puede producir rótula plástica en el extremo inferior

Pn= 254,520

Mn= Se calcula con la curva de interacción

Kn:  $Pn/Ag'fc = 0.323$   
 $p = 0.024793388$



Extremo inferior  
 Rn:  $Mn/Ag'fc h = 0.169$   
 Mn = 58.54 Ton-m

Vu:  $\Sigma Mr/L$

Mr Momentos en los extremos.  
 L Longitud de la columna

Vu:  $\Sigma Mr/L = 9006.22 \text{ kg}$

### SISMO Y-Y

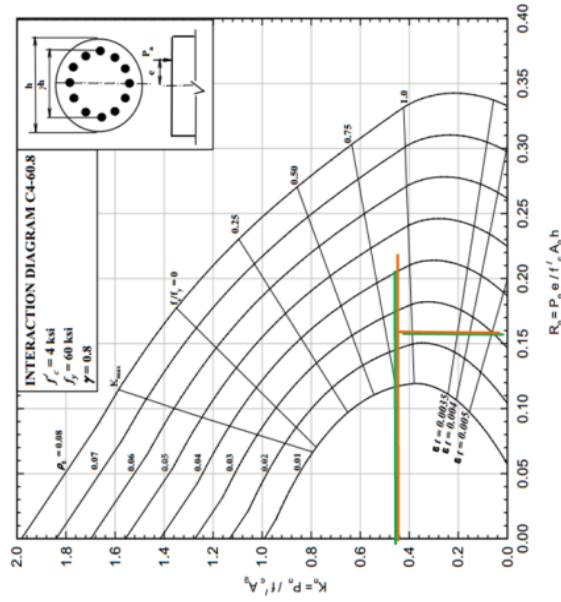
En el sentido Y-Y las columnas trabajan en curvatura doble, se puede producir rótula plástica en ambos extremos

Extremo Superior

Pn= 296,4825714

Mn= Se calcula con la curva de interacción

Kn:  $Pn/Ag'fc = 0.447$   
 $p = 0.0248$



Extremo inferior  
 Rn:  $Mn/Ag'fc h = 0.196$   
 Mn = 58.54 Ton-m

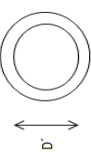
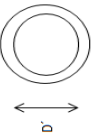
Vu:  $\Sigma Mr/L$

Mr Momentos en los extremos.  
 L Longitud de la columna

Vu:  $\Sigma Mr/L = 18012.44 \text{ kg}$

Extremo Superior  
 Rn:  $Mn/Ag'fc h = 0.196$   
 Mn = 58.54 Ton-m

# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

DISEÑO POR CONFINAMIENTO	
<b>EXTREMO INFERIOR</b>	<b>EXTREMO SUPERIOR</b>
$\rho_s = \frac{4 \cdot A_{sp}}{S \cdot D'} \geq 0,16 (f_{ce}/f_{ye}) (0,50 + 1,25 P_u / f_{ce} Ag) + 0,13 (\rho - 0,01)$	$\rho_s = \frac{4 \cdot A_{sp}}{S \cdot D'} \geq 0,16 (f_{ce}/f_{ye}) (0,50 + 1,25 P_u / f_{ce} Ag) + 0,13 (\rho - 0,01)$
$f_{ce} = 280 \text{ kg/cm}^2$ $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ $P_u \text{ max} = 208161,60$ $1,25 P_u = 260202,00 \text{ kg}$ $f_{ce} = 364 \text{ kg/cm}^2$ $f_{ye} = 4620 \text{ kg/cm}^2$ $Ag = 2375,83 \text{ cm}^2$ $\rho = 0,024793388$	$f_{ce} = 280 \text{ kg/cm}^2$ $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ $P_u \text{ max} = 208161,60$ $1,25 P_u = 260202,00 \text{ kg}$ $f_{ce} = 364 \text{ kg/cm}^2$ $f_{ye} = 4620 \text{ kg/cm}^2$ $Ag = 2375,83 \text{ cm}^2$ $\rho = 0,0248$
$\rho_s \text{ min} = 0,01012$	$\rho_s \text{ min} = 0,01012$
<b>Confinamiento</b>  $D = 55,00 \text{ cm}$ $D' = D - 2 \cdot (r + \phi + \phi/2)$ $D' = 43,4$	<b>Confinamiento</b>  $D = 55,00 \text{ cm}$ $D' = D - 2 \cdot (r + \phi + \phi/2)$ $D' = 43,4$
<b>Cuántia volumétrica</b> $\rho_s = \frac{4 \cdot A_{sp}}{S \cdot D'}$ $S = \frac{4 \cdot A_{sp}}{D' \cdot \rho_s}$ $S = 9,00 \text{ cm}$	<b>Cuántia volumétrica</b> $\rho_s = \frac{4 \cdot A_{sp}}{S \cdot D'}$ $S = \frac{4 \cdot A_{sp}}{D' \cdot \rho_s}$ $S = 10,00 \text{ cm}$
$A_{sp} = 1,130973355 \text{ cm}^2$ $\rho_s = 1,130973355 \text{ cm}^2$	$A_{sp} = 1,130973355 \text{ cm}^2$ $\rho_s = 1,130973355 \text{ cm}^2$
<b>RESISTENCIA AL CORTE EN ZONAS DE ROTULA PLASTICA</b> $V = \phi (V_c + V_s)$ $\phi = 0,85$	<b>RESISTENCIA AL CORTE EN ZONAS DE ROTULA PLASTICA</b> $V = \phi (V_c + V_s)$ $\phi = 0,85$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

	EXTREMO SUPERIOR
se calcula vb	se calcula vb
$p = 0.024793388$ $vb = (0.80 + 120 p) \sqrt{f_c}$	$p = 0.024793339$ $vb = (0.80 + 120 p) \sqrt{f_c}$
vb = 144,68 psi	vb = 144,68 psi
vb ≤ 2,4√f <sub>c</sub> en zonas de articulación plástica	vb ≤ 2,4√f <sub>c</sub> en zonas de articulación plástica
Entonces 144,68 ≤ 151,79	Entonces 144,68 ≤ 151,79
vb: 144,68 psi	vb: 144,68 psi
En zonas de articulación plástica:	En zonas de articulación plástica:
Si Pu > 0,1f <sub>c</sub> ag	Si Pu > 0,1f <sub>c</sub> ag
457955,52 > 147301,72 OK	457955,52 > 147301,72 OK
usar	usar
$vc = 47b \sqrt{\frac{Pu}{AgF_c} - 0.1}$	$vc = 47b \sqrt{\frac{Pu}{AgF_c} - 0.1}$
vc 265,77	vc 265,77
Ag 368,2543004 pg2	Ag 368,2543004 pg2
dCol 0,55 m	dCol 0,55 m
dCol 21,65 pg	dCol 21,65 pg
Ae = 0,80 Ag	Ae = 0,80 Ag
Ae = 0,628 D <sup>2</sup>	Ae = 0,628 D <sup>2</sup>
Ae = 294,45 pg2	Ae = 294,45 pg2
Vc = vc * Ae	Vc = vc * Ae
Vc = 78256,91 pounds	Vc = 78256,91 pounds



# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

Espaciamiento mínimo en zonas de articulación plástica		Espaciamiento mínimo en zonas de articulación plástica	
La separación (s) para restringir el pandeo:		La separación (s) para restringir el pandeo:	
$s \min \leq [3 + 6 (f_u/f_y - 1)] \text{ dbI}$		$s \min \leq [3 + 6 (f_u/f_y - 1)] \text{ dbI}$	
$f_u/f_y =$	1,5	$f_u/f_y =$	1,5
$\text{dbI} =$	2,2 cm	$\text{dbI} =$	2,2 cm
$s_{\min} =$	13,2 cm	$s_{\min} =$	13,2 cm
$s_{\min} =$	13 cm	$s_{\min} =$	13 cm
$s =$	13 cm	$s =$	13 cm
	espaciamiento estribos		espaciamiento estribos
Pero		Pero	
$s \leq$	$D/5$	$s \leq$	$D/5$
	13		13
	11		11
Entonces		Entonces	
Reinuerzo transversal		Reinuerzo transversal	
$D' =$	0,80 D	$D' =$	0,80 D
$D' =$	17,3283465 pg	$D' =$	17,328346 pg
$A_h =$	0,175301221 pg2	$A_h =$	0,17530122 pg2
	área de la espiral		área de la espiral
$v_s = (l/2) (A_h * f_y D') / s$	$f_y$	$v_s = (l/2) (A_h * f_y D') / s$	$f_y$
	4200 kg/cm2		4200 kg/cm2
	60000 psi		60000 psi
$V_s =$	80773,00 pounds	$V_s =$	72695,70 pounds
$V_r = \phi (V_c + V_s)$		$V_r = \phi (V_c + V_s)$	
$V_r =$	135175,43 pounds	$V_r =$	128309,72 pounds
$V_r >$	$V_u$	$V_r >$	$V_u$
	39627,37 OK		39627,37 OK

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### RESISTENCIA AL CORTANTE EN ZONA CENTRAL

para	$vc$	{	$vb (1 + 3Pu / f'c Ag)$ $vb (1 + Pu / 500 Ag)$	si Pu está en compresión Si Pu está en tensión
------	------	---	---	---

Entonces  $vc = vb (1 + 3Pu / f'c Ag)$

Obtenemos  $vc = vb (1 + 3Pu / f'c Ag)$

$vc = 257,05$  pounds

Calculamos  $Vc = vc * Ae$

$Vc:$	75689,26 lb
-------	-------------

$Vs = (Vu - Vc) / 0.85$

$Vs = -42425,75$  lb

### Refuerzo transversal

$D' = 0,80 D$

$D' = 17,32283465$  pg

$Ah = 0,175301221$  pg<sup>2</sup>      área de la espiral

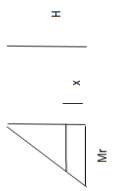
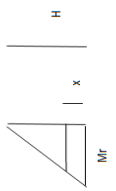
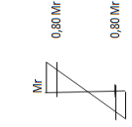
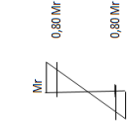
$vs = (\pi/2) ( Ah * fy * D' ) / s$

$f'y$	4200 kg/cm <sup>2</sup>
$f'y$	60000 psi

$s$	-6,75 pg
-----	----------

$s = -17,13$  cm

# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

<p><b>Estribos:</b></p> <p>Extremos : Espiral de 12 mm c/10 cm. En la longitud de confinamiento                  Zona Central Espiral de 12 mm c/10 cm.</p>		<p><b>Extensión del confinamiento en zona de articulación plástica</b></p>	
<p>SI</p>	<p>a) <math>P_u/f_c A_g \leq 0.30</math>  <math>P_u/f_c A_g</math>: 0.268 USAR CASO a)</p>	<p>b) <math>P_u/f_c A_g \geq 0.30</math>  <math>P_u/f_c A_g</math>: 0.261 USAR CASO a)</p>	<p>SI</p> <p>a) <math>P_u/f_c A_g \leq 0.30</math>  <math>P_u/f_c A_g</math>: 0.261 USAR CASO a)</p> <p>b) <math>P_u/f_c A_g \geq 0.30</math>  <math>P_u/f_c A_g</math>: 0.261 USAR CASO a)</p>
<p>L</p> <p>L</p> <p>L</p>	<p>6.80 m</p> <p>680.00 cm</p> <p>267.72 pg</p>	<p>6.80 m</p> <p>680.00 cm</p> <p>267.72 pg</p>	<p>L</p> <p>L</p> <p>L</p>
<p>a) <math>P_u/f_c A_g \leq 0.30</math></p> <p>80% M</p> <p>La distancia que se produce <math>M_u</math> y <math>0.8M_u</math></p>		<p>a) <math>P_u/f_c A_g \leq 0.30</math></p> <p>80% M</p> <p>La distancia que se produce <math>M_u</math> y <math>0.8M_u</math></p>	
			
<p>Por semejanzas de triángulos</p> $\frac{H-x}{H} = \frac{0.8M_r}{M_r}$ <p>x = 136 cm</p>		<p>Por semejanzas de triángulos</p> $\frac{H-x}{H} = \frac{0.8M_r}{M_r}$ <p>x = 136 cm</p>	
<p>Conclusion</p> <p>Usar la mayor altura</p> <p>Lp: 136.00 cm</p>		<p>Conclusion</p> <p>Usar la mayor altura</p> <p>Lp: 136.00 cm</p>	
<p>b) <math>P_u/f_c A_g \geq 0.30</math></p> <p>Lp: 204 cm</p>		<p>b) <math>P_u/f_c A_g \geq 0.30</math></p> <p>Lp: 204 cm</p>	
<p>Dimension sección transversal de la columna</p> <p>80% M</p> <p>La distancia que se produce <math>M_u</math> y <math>0.8M_u</math></p>		<p>Dimension sección transversal de la columna</p> <p>80% M</p> <p>La distancia que se produce <math>M_u</math> y <math>0.8M_u</math></p>	
			
<p>Por semejanzas de triángulos</p> $\frac{H/2-x}{H/2} = \frac{0.8M_r}{M_r}$ <p>x = 65.00 cm</p>		<p>Por semejanzas de triángulos</p> $\frac{H/2-x}{H/2} = \frac{0.8M_r}{M_r}$ <p>x = 65.00 cm</p>	
<p>Conclusion</p> <p>Usar la mayor altura</p> <p>Lp: 204 cm</p>		<p>Conclusion</p> <p>Usar la mayor altura</p> <p>Lp: 204 cm</p>	

# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

Altura de columna 7 m.

ALTURA DE COLUMNAS		ESTADOS DE CARGA		COLUMNAS														
H	7,00 m			Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	V3	T	M2	M3	FrameElem	ElemStation	M inf	Msup
Junta	0,10 m			Text	m	Text	Text	Text	Tonf	Tonf	Tonf	Tonf-m	Tonf-m	Tonf-m	Text	m		
n:	0,60 m																	
dCol:	0,55 m																	
ESTADOS DE CARGA				SISMO X-X														
1)	Pu max.																	
2)	M22 Max. (sentidoY - Sentido longitudinal)																	
3)	M33 Max. (sentidoY - Sentido longitudinal)																	
				SISMO Y-Y														
98	0 COMB2		Combination	Max	-179,2702	0,9596		Max	-179,2702	0,9596	2,4659	0,04951	18,53676	5,84761 98-1		0	19,44	
98	7 COMB2		Combination	Max	-174,0754	0,9596		Max	-174,0754	0,9596	2,4659	0,04951	1,28541	17,51001 98-1		7	17,56	
98	0 COMB2		Combination	Min	-192,0079	-4,5137		Min	-192,0079	-4,5137	-2,1657	-0,04095	-16,19481	-14,08622 98-1		0	21,46	
98	7 COMB2		Combination	Min	-186,8131	-4,5137		Min	-186,8131	-4,5137	-2,1657	-0,04095	-1,04468	-0,86952 98-1		7	1,36	
99	0 COMB2		Combination	Max	-227,2433	2,9814		Max	-227,2433	2,9814	2,4837	0,0006908	18,61068	10,53462 99-1		0	21,39	
99	7 COMB2		Combination	Max	-222,0485	2,9814		Max	-222,0485	2,9814	2,4837	0,0006908	1,23485	10,33537 99-1		7	10,41	
99	0 COMB2		Combination	Min	-227,2475	-2,9814		Min	-227,2475	-2,9814	-2,1811	-0,0006908	-16,25759	-10,53462 99-1		0	19,37	
99	7 COMB2		Combination	Min	-222,0527	-2,9814		Min	-222,0527	-2,9814	-2,1811	-0,0006908	-0,99976	-10,33537 99-1		7	10,38	
100	0 COMB2		Combination	Max	-179,2702	4,5137		Max	-179,2702	4,5137	2,4659	0,04095	18,53676	14,08622 100-1		0	23,28	
100	7 COMB2		Combination	Max	-174,0754	4,5137		Max	-174,0754	4,5137	2,4659	0,04095	1,28541	8,6952 100-1		7	1,55	
100	0 COMB2		Combination	Min	-192,0079	-0,9596		Min	-192,0079	-0,9596	-2,1657	-0,04951	-16,19481	-5,84761 100-1		0	17,22	
100	7 COMB2		Combination	Min	-186,8131	-0,9596		Min	-186,8131	-0,9596	-2,1657	-0,04951	-1,04468	-17,51001 100-1		7	17,54	
				SISMO Y-Y														
98	0 COMB3		Combination	Max	-164,4095	7,3452		Max	-164,4095	7,3452	0,8448	0,01785	6,38071	29,10376 98-1		0	29,80	
98	7 COMB3		Combination	Max	-159,2147	7,3452		Max	-159,2147	7,3452	0,8448	0,01785	0,46988	38,95279 98-1		7	38,96	
98	0 COMB3		Combination	Min	-206,8686	-10,8993		Min	-206,8686	-10,8993	-0,5447	-0,00929	-4,03876	-37,34237 98-1		0	37,56	
98	7 COMB3		Combination	Min	-201,6738	-10,8993		Min	-201,6738	-10,8993	-0,5447	-0,00929	-0,22915	-22,31231 98-1		7	22,31	
99	0 COMB3		Combination	Max	-227,2448	9,9381		Max	-227,2448	9,9381	0,851	0,00023	6,40678	35,11541 99-1		0	35,70	
99	7 COMB3		Combination	Max	-222,05	9,9381		Max	-222,05	9,9381	0,851	0,00023	0,45274	34,45124 99-1		7	34,45	
99	0 COMB3		Combination	Min	-227,246	-9,9381		Min	-227,246	-9,9381	-0,5484	-0,00023	-4,05369	-35,11541 99-1		0	35,35	
99	7 COMB3		Combination	Min	-222,0512	-9,9381		Min	-222,0512	-9,9381	-0,5484	-0,00023	-0,21765	-34,45124 99-1		7	34,45	
100	0 COMB3		Combination	Max	-164,4095	10,8993		Max	-164,4095	10,8993	0,8448	0,00929	6,38071	37,34237 100-1		0	37,88	
100	7 COMB3		Combination	Max	-159,2147	10,8993		Max	-159,2147	10,8993	0,8448	0,00929	0,46988	22,31231 100-1		7	22,32	
100	0 COMB3		Combination	Min	-206,8686	-7,3452		Min	-206,8686	-7,3452	-0,5447	-0,01785	-4,03876	-29,10376 100-1		0	29,38	
100	7 COMB3		Combination	Min	-201,6738	-7,3452		Min	-201,6738	-7,3452	-0,5447	-0,01785	-0,22915	-38,95279 100-1		7	38,95	



## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

### Diseño flexocompresión

Datos:

$P_H = 256,100 \text{ Ton}$   
 $M_H = 33,259 \text{ Ton}\cdot\text{m}$   
 $A_g = 2375,83 \text{ cm}^2$   
 $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$

$\psi = h - 2 \text{ rec libre}$

$h = 55 \text{ cm}$

rec libre =  $r1 + \phi_e + \phi / 2$

rec = 3,5 cm

$\phi_e = 1,2 \text{ cm}$

$\phi = 2,2 \text{ cm}$

rec libre = 5,8 cm

$\psi = 43,4$

Determinamos  $\gamma = (\psi/h)$

$\gamma = 0,79$

$K_n: P_H / A_g f_c = 0,385$

$R_n: M_H / A_g f_c h = 0,091$

Hallamos  $\rho$  de la curva:

$\rho = 0,010$

### Diseño flexocompresión

Datos:

$P_H = 246,679 \text{ Ton}$   
 $M_H = 25,082 \text{ Ton}\cdot\text{m}$   
 $A_g = 2375,82944 \text{ cm}^2$   
 $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$

$\psi = h - 2 \text{ rec libre}$

$h = 55 \text{ cm}$

rec libre =  $r1 + \phi_e + \phi / 2$

rec = 3,5 cm

$\phi_e = 1,2 \text{ cm}$

$\phi = 2,2 \text{ cm}$

rec libre = 5,8 cm

$\psi = 43,4$

Determinamos  $\gamma = (\psi/h)$

$\gamma = 0,79$

$K_n: P_H / A_g f_c = 0,374$

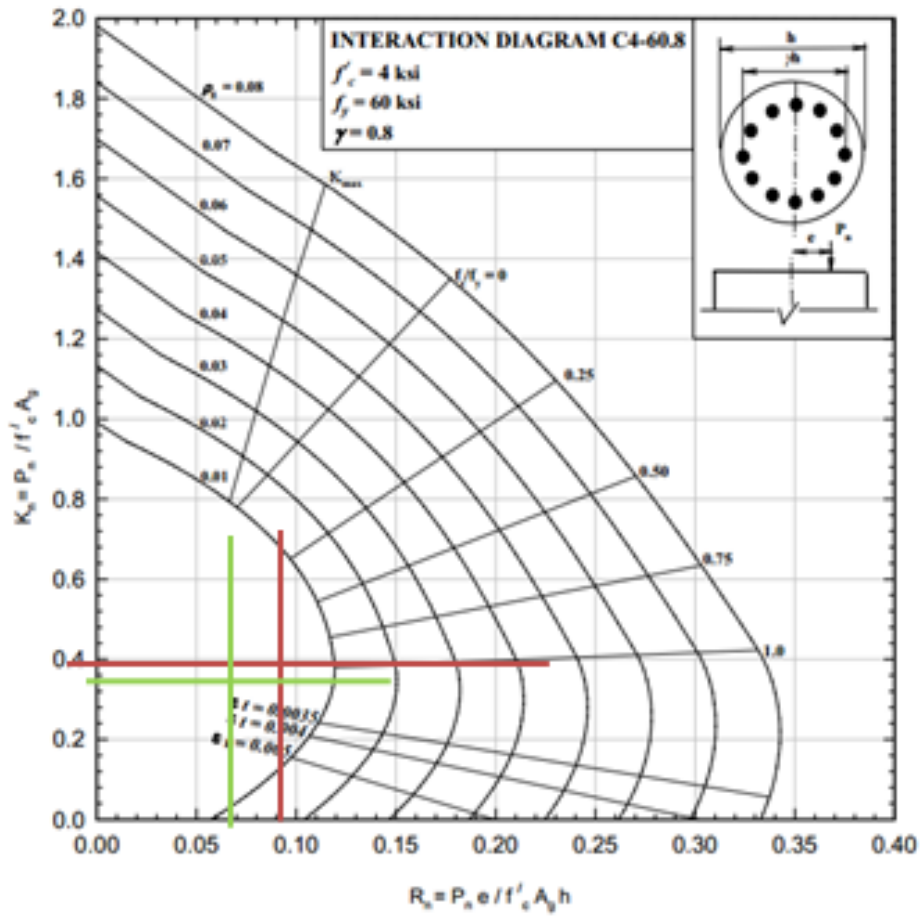
$R_n: M_H / A_g f_c h = 0,069$

Hallamos  $\rho$  de la curva:

$\rho = 0,010$

**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---



## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

SISMO Y-Y	
<p><b>EXTREMO INFERIOR COLUMNA</b></p> <p>Pu: 206,869 ton. Max de diseño</p> <p>M2: -4,039 ton-m Max de diseño</p> <p>M3: -37,342 ton-m Max de diseño</p> <p style="text-align: center;"><math>M = \sqrt{M_{22}^2 + M_{33}^2}</math> <small>Asumiendo que la curva que forma la carga Pn es una ellipse</small></p> <p>M: 37,580 ton-m</p> <p>Area Gruesa de la sección</p> <p>Ag: <math>\pi * d^2 / 4</math></p> <p>Ag: 0,2376 m<sup>2</sup></p> <p>Ag: 2375,83 cm<sup>2</sup></p>	<p><b>EXTREMO SUPERIOR COLUMNA</b></p> <p>Pu: 201,674 ton. Max de diseño</p> <p>M2: -0,229 ton-m Max de diseño</p> <p>M3: -38,933 ton-m Max de diseño</p> <p>M: 38,933 ton-m</p>
<p>Pu: 206,869 Ton</p> <p>e= M/P 0,182 m</p> <p>e= 0,182 m</p> <p><math>\phi</math> 0,9-(2Pu/Fc Ag) &lt;0,5 &gt;</p> <p><math>\phi</math> 0,278 &gt; 0,7 &lt; 0,9</p> <p>Pn: 295,5265714 Ton</p>	<p>Pu: 201,674 Ton</p> <p>e= M/P 0,193 m</p> <p>e= 0,193 m</p> <p><math>\phi</math> 0,9-(2Pu/Fc Ag) &lt;0,5 &gt;</p> <p><math>\phi</math> 0,294 &gt; 0,7 &lt; 0,9</p> <p>Pn: 288,105429 Ton</p>
<p>Mu: 37,560 ton-m</p> <p>Mu: 37,560 ton-m</p> <p>Mu/φ: 53,65734405 ton-m</p>	<p>Mu: 38,933 ton-m</p> <p>Mu: 38,933 ton-m</p> <p>Mu/φ: 55,64780573 ton-m</p>

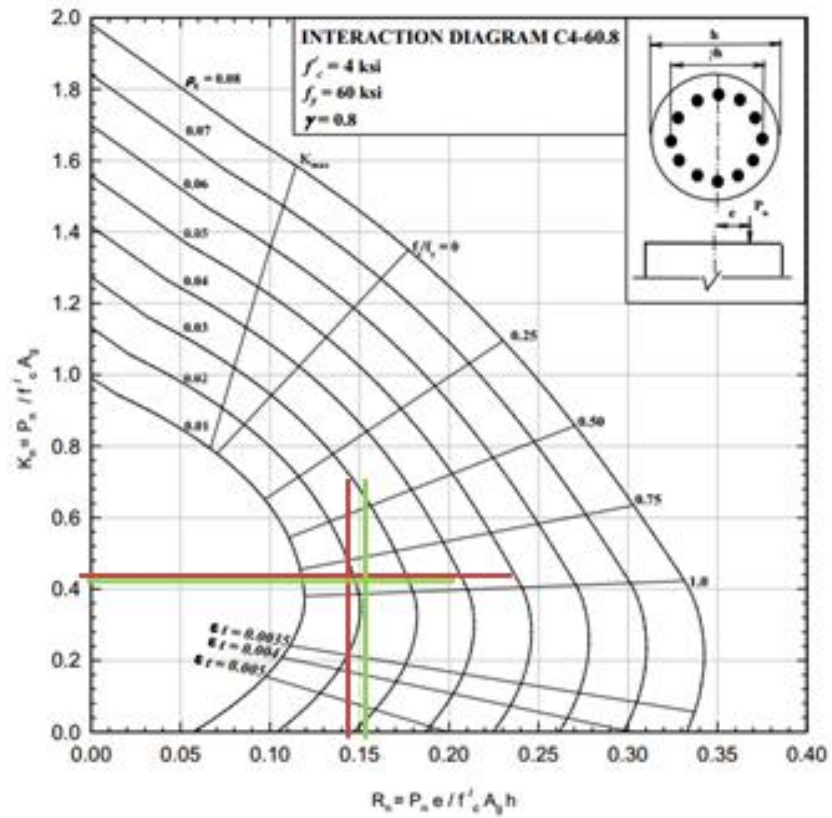


## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

Diseño flexocompresión	Diseño flexocompresión
<p>Datos:</p> <p>Pn= 295,527 Ton      fy 4200 kg/cm2</p> <p>Mn= 53,657 Ton-m</p> <p>Ag= 2375,88 cm2</p> <p>f'c= 280 kg/cm2</p> <p><math>\gamma h = h - 2 \text{ rec libre}</math></p> <p>h= 55 cm</p> <p>rec libre= <math>r1 + \phi e + \phi l / 2</math></p> <p>rec= 3,5 cm</p> <p><math>\phi e = 1,2</math> cm</p> <p><math>\phi l = 2,2</math> cm</p> <p>rec libre= 5,8 cm</p> <p><math>\gamma h = 43,4</math></p> <p>Determinamos <math>\gamma = (\gamma h / h)</math></p> <p><math>\gamma = 0,79</math></p> <p>Kn: <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Pn / Ag f'c = 0,444</span></p> <p>Rn: <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Mn / Ag f'c h = 0,147</span></p> <p><math>\rho = 0,020</math></p> <p><math>\rho = 0,020</math></p> <p>Hallamos <math>\rho</math> de la curva:</p> <p><math>\rho</math> de Diseño:</p>	<p>Datos:</p> <p>Pn= 288,105 Ton      fy 4200 kg/cm2</p> <p>Mn= 55,648 Ton-m</p> <p>Ag= 2375,82944 cm2</p> <p>f'c= 280 kg/cm2</p> <p><math>\gamma h = h - 2 \text{ rec libre}</math></p> <p>h= 55 cm</p> <p>rec libre= <math>r1 + \phi e + \phi l / 2</math></p> <p>rec= 3,5 cm</p> <p><math>\phi e = 1,2</math> cm</p> <p><math>\phi l = 2,2</math> cm</p> <p>rec libre= 5,8 cm</p> <p><math>\gamma h = 43,4</math></p> <p>Determinamos <math>\gamma = (\gamma h / h)</math></p> <p><math>\gamma = 0,79</math></p> <p>Kn: <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Pn / Ag f'c = 0,433</span></p> <p>Rn: <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Mn / Ag f'c h = 0,152</span></p> <p><math>\rho = 0,021</math></p> <p><math>\rho = 0,021</math></p> <p>Hallamos <math>\rho</math> de la curva:</p> <p><math>\rho</math> de Diseño:</p>

"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---



## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

As	Ag+p	As	Ag+p
As necesario=	47,5 cm <sup>2</sup>	As necesario=	49,9 cm <sup>2</sup>
AV	3,80 cm <sup>2</sup>	AV	3,80 cm <sup>2</sup>
area de la varilla longitudinal		area de la varilla longitudinal	
N°varillas	As/Av	N°varillas	As/Av
N°varillas	11	N°varillas	14
	p=		p=
	As/Ag		As/Ag
As colocar:	41,8	As colocar:	53,2
	p=		p=
	0,018		0,022
PARA MEJOR DISTRIBUCION USAR		PARA MEJOR DISTRIBUCION USAR	
∅	2,50	∅	2,50
	∅		∅
AV	4,91 cm <sup>2</sup>	AV	4,91 cm <sup>2</sup>
	0,00 cm <sup>2</sup>		0,00 cm <sup>2</sup>
N°varillas	12	N°varillas	N°varillas
	0		0
As1 colocar:	58,90	As1 colocar:	58,90
	0,00		As2 colocar:
	0,00		0,00
Ast:	58,90 cm <sup>2</sup>	Ast:	58,90 cm <sup>2</sup>
total= 0,0248		total= 0,024793388	
Ref. en columnas:	Toda la columna: 12 de 25 mm		

# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

## CORTANTE DE DISEÑO

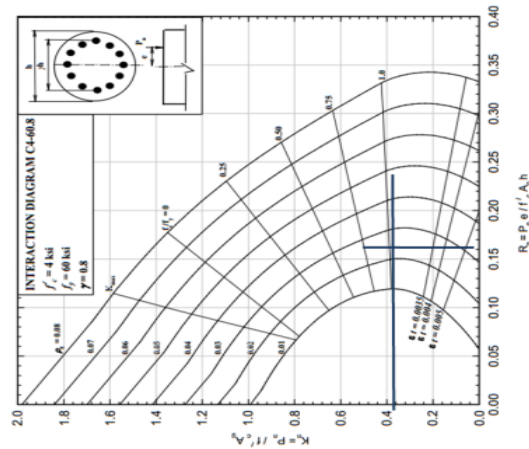
### SISMO X-X

En el sentido X-X las columnas trabajan en curvatura simple, solo se puede producir rótula plástica en el extremo inferior

Pis: 256,100

Mis: Se calcula con la curva de interacción

Mis:	Pr/Ag F'c =	0,385
	p =	0,024793388



Mis:	Mis/Ag F'c h =	0,165	Min = 35,54	Max = 35,54	Unit: Ton-m
------	----------------	-------	-------------	-------------	-------------

Vu: 3M/L

Mr: Momentos en los extremos.

L: Longitud de la columna

Vu:	M/L	8862,52 kg
-----	-----	------------

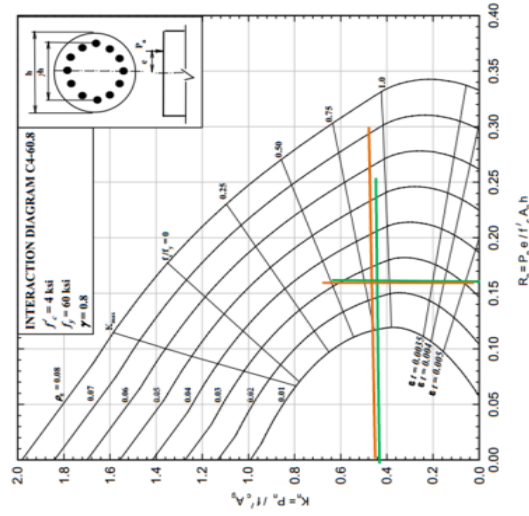
### SISMO Y-Y

En el sentido Y-Y las columnas trabajan en curvatura oblicua, se puede producir rótula plástica en ambos extremos

Pis: 255,327

Mis: Se calcula con la curva de interacción

Mis:	Pr/Ag F'c =	0,444
	p =	0,0246



Mis:	Mis/Ag F'c h =	0,10	Min = 35,54	Max = 35,54	Unit: Ton-m
------	----------------	------	-------------	-------------	-------------

Vu: 3M/L

Mr: Momentos en los extremos.

L: Longitud de la columna

Vu:	M/L	18725,84 kg
-----	-----	-------------

Mis:	Mis/Ag F'c h =	0,1000	Min = 35,54	Max = 35,54	Unit: Ton-m
------	----------------	--------	-------------	-------------	-------------

# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

DISEÑO POR CONFINAMIENTO	
<b>EXTREMO INFERIOR</b>	<b>EXTREMO SUPERIOR</b>
$p_s = \frac{4 \text{ Asp}}{S D'} \geq 0,16 (f_{ce}/f_{ye}) (0,50 + (1,25 P_u / (f_{ce} A_g))) + 0,13 (p - 0,01)$	$p_s = \frac{4 \text{ Asp}}{S D'} \geq 0,16 (f_{ce}/f_{ye}) (0,50 + (1,25 P_u / (f_{ce} A_g))) + 0,13 (p - 0,01)$
$p_s \text{ min} = 0,01010$	$p_s \text{ min} = 0,01096631$
<p><b>Confinamiento</b></p> <p> <math>D = 55,00 \text{ cm}</math>  <math>D' = D - 2 (r + \phi_e + \phi / 2)</math>  <math>D' = 48,4</math> </p>	<p><b>Confinamiento</b></p> <p> <math>D = 55 \text{ cm}</math>  <math>D' = D - 2 (r + \phi_e + \phi / 2)</math>  <math>D' = 48,4</math> </p>
<p><b>Cuántia volumétrica</b></p> $p_s = \frac{4 \text{ Asp}}{S D'} = 1,130773355 \text{ cm}^2$	<p><b>Cuántia volumétrica</b></p> $p_s = \frac{4 \text{ Asp}}{S D'} = 1,13077336 \text{ cm}^2$
$S = \frac{4 \text{ Asp}}{D p_s} = 10,3235606$	$S = \frac{4 \text{ Asp}}{D p_s} = 10,323561$
<p>S: 10,00 cm separación</p>	<p>S: 10,00 cm separación</p>
<p><math>\phi = \phi 12 @ 10 \text{ cm.}</math></p>	<p><math>\phi = \phi 12 @ 10 \text{ cm.}</math></p>
<p><b>RESISTENCIA AL CORTE EN ZONAS DE ROTURA PLÁSTICA</b></p> <p>De acuerdo al comité ASCE - ACI 426 para diseñar por corte se pueden utilizar las siguientes ecuaciones</p> $V_r = \phi (V_c + V_s)$ $\phi = 0,85$	

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

	EXTREMO INTERIOR
<p>se calcula vb</p> $P = 0,024793388$ $vb = (0,80 + 120 \rho) \sqrt{f_c}$ <p>vb= 144,68 psi</p> <p>vb ≤ 2,4√f<sub>c</sub> en zonas de articulación plástica</p> <p>Entonces</p> <p>144,68 ≤ 151,79</p> <p style="text-align: right;">vb: 144,68 psi</p>	<p>se calcula vb</p> $P = 0,02$ $vb = (0,80 + 120 \rho) \sqrt{f_c}$ <p>vb= 144,6807866 psi</p> <p>vb ≤ 2,4√f<sub>c</sub> en zonas de articulación plástica</p> <p>Entonces</p> <p>144,6807866 ≤ 151,7893277</p> <p style="text-align: right;">vb: 144,68 psi</p>
<p>En zonas de articulación plástica:</p> <p>SI Pu &gt; 0,1f<sub>c</sub>Ag</p> <p>455110,92 &gt; 147801,7 OK</p> <p>usar</p> $v = 4\sqrt{v} \sqrt{\frac{P_u}{A_g F_c}} - 0,1$ <p>VC 264,55</p> <p>Ag 368,253004 pg2</p> <p>dCol 0,55 m</p> <p>dCol 21,65 PG</p> <p>Ae=0,80 Ag</p> <p>Ae=0,628 D<sup>2</sup></p> <p>Ae= 294,45 pg2</p> <p>Vc=Vc* Ae</p> <p>Vc= 77897,80 pounds</p>	<p>En zonas de articulación plástica:</p> <p>f<sub>c</sub> 280 kg/cm2</p> <p>f<sub>c</sub> 4000 psi</p> <p>SI Pu &gt; 0,1f<sub>c</sub>Ag</p> <p>455110,92 &gt; 147801,7201 OK</p> <p>usar</p> $v = 4\sqrt{v} \sqrt{\frac{P_u}{A_g F_c}} - 0,1$ <p>VC 264,5498936</p> <p>Ag 368,25 pg2</p> <p>dCol 0,55 m</p> <p>dCol 21,65 PG</p> <p>Ae=0,80 Ag</p> <p>Ae=0,628 D<sup>2</sup></p> <p>Ae= 294,45 pg2</p> <p>Vc=Vc* Ae</p> <p>Vc= 77897,80 pounds</p>

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

<p><b>Espaciamiento mínimo en zonas de articulación plástica</b></p> <p>La separación (s) para restringir el pandeo:</p> $s \leq \min \{ (3 + 6f) (f_u / f_y - 1) \} \text{ dbI}$ <p> <math>f_u / f_y = 1.5</math>  <math>\text{dbI} = 2.2 \text{ cm}</math>  <math>s_{\text{mín}} = 13.2 \text{ cm}</math>  <math>s_{\text{mín}} = 13 \text{ cm}</math> </p> <p> <math>f_u / f_y = 1.5</math>  <math>\text{dbI} = 2.2 \text{ cm}</math>  <math>s_{\text{mín}} = 13.2 \text{ cm}</math>  <math>s_{\text{mín}} = 13 \text{ cm}</math> </p> <p> <math>s = 13 \text{ cm}</math>      espaciamiento estribos         </p> <p>Pero</p> <p> <math>s \leq 13</math>      <math>s \leq D/5</math>      11         </p> <p>Entonces</p> <p> <math>s_{\text{recom}} = 10,00 \text{ cm}</math> </p> <p>Refuerzo transversal</p> <p> <math>D = 0,80 D</math>  <math>D = 17,3283465 \text{ pg}</math>  <math>A_h = 0,175301221 \text{ pg}^2</math> </p> <p> <math>v_s = (l/2) (A_h + f_y D) / s</math>  <math>v_s = 72695,70 \text{ pounds}</math> </p> <p> <math>V_r = \phi (V_c + V_s)</math>  <math>V_r = 128004,48</math> </p> <p> <math>V_r &gt; V_u</math>      36796,85 OK         </p>	<p><b>Espaciamiento mínimo en zonas de articulación plástica</b></p> <p>La separación (s) para restringir el pandeo:</p> $s \leq \min \{ (3 + 6f) (f_u / f_y - 1) \} \text{ dbI}$ <p> <math>f_u / f_y = 1.5</math>  <math>\text{dbI} = 2.2 \text{ cm}</math>  <math>s_{\text{mín}} = 13.2 \text{ cm}</math>  <math>s_{\text{mín}} = 13 \text{ cm}</math> </p> <p> <math>f_u / f_y = 1.5</math>  <math>\text{dbI} = 2.2 \text{ cm}</math>  <math>s_{\text{mín}} = 13.2 \text{ cm}</math>  <math>s_{\text{mín}} = 13 \text{ cm}</math> </p> <p> <math>s = 13 \text{ cm}</math>      espaciamiento estribos         </p> <p>Pero</p> <p> <math>s \leq 13</math>      <math>s \leq D/5</math>      11         </p> <p>Entonces</p> <p> <math>s_{\text{recom}} = 10,00 \text{ cm}</math> </p> <p>Refuerzo transversal</p> <p> <math>D = 0,80 D</math>  <math>D = 17,3283465 \text{ pg}</math>  <math>A_h = 0,175301221 \text{ pg}^2</math> </p> <p> <math>v_s = (l/2) (A_h + f_y D) / s</math>  <math>v_s = 72695,70 \text{ pounds}</math> </p> <p> <math>V_r = \phi (V_c + V_s)</math>  <math>V_r = 128004,48</math> </p> <p> <math>V_r &gt; V_u</math>      36796,85 OK         </p>
---	---

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

### RESISTENCIA AL CORTANTE EN ZONA CENTRAL

para	$v_c$	$\left\{ \begin{array}{l} v_b (1 + 3P_u / f'c A_g) \\ v_b (1 + P_u / 500 A_g) \end{array} \right.$	si $P_u$ está en compresión Si $P_u$ está en tensión
------	-------	--	---

Entonces  $v_c = v_b (1 + 3P_u / f'c A_g)$

Obtenemos  $v_c = v_b (1 + 3P_u / f'c A_g)$

$v_c = 257,53$  pounds

Calculamos  $V_c = v_c * A_e$

$V_c:$	75829,65 lb
--------	-------------

$V_s = (V_u - V_c) / 0.85$

$V_s = -45920,95$  lb

### Refuerzo transversal

$D' = 0,80 D$

$D' = 17,32283465$  pg

$A_h = 0,175301221$  pg<sup>2</sup>      área de la espiral

$v_s = (\pi/2) (A_h * f_y * D') / s$

$f_y$		4200 kg/cm <sup>2</sup>
$f_y$		60000 psi

$s$	-6,23 pg
-----	----------

$s = -15,83$  cm



# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

**Estribos:**  
 Extremos : Espiral de 12 mm c/10 cm. En la longitud de confinamiento  
 Zona Central Espiral de 12 mm c/10 cm.

**Extensión del confinamiento en zona de articulación plástica**

SI	a) $P_u / F_c A_g \leq 0,30$	b) $P_u / F_c A_g \leq 0,30$
	$P_u / F_c A_g$	$P_u / F_c A_g$
	0,269 (USBR CASCO a)	0,26 (USBR CASCO a)
L	7,30 m	7,30 m
L	730,00 cm	730,00 cm
L	287,40 PG	287,40 PG

a)  $P_u / F_c A_g \leq 0,30$

80% M La distancia que se produce Mu y 0,8Mu

Dimension sección transversal de la columna  
 La distancia que se produce Mu y 0,8Mu

80% M

D

0,55 cm

Por semejanzas de triángulos

$$\frac{H-x}{H} = \frac{0,8Mr}{Mr}$$

x = 146 cm

Conclusión Usar la mayor altura

b)  $P_u / F_c A_g \leq 0,30$  Lp 1,5lp 219 cm

Lp: 146,00 cm

PARA 0,80 Mb

POR SEMEJANZA DE TRIANGULOS

0,80 Mr

H/2

H/2

350,00

Mb

H/2 Mb

H/2 x 0,8Mb

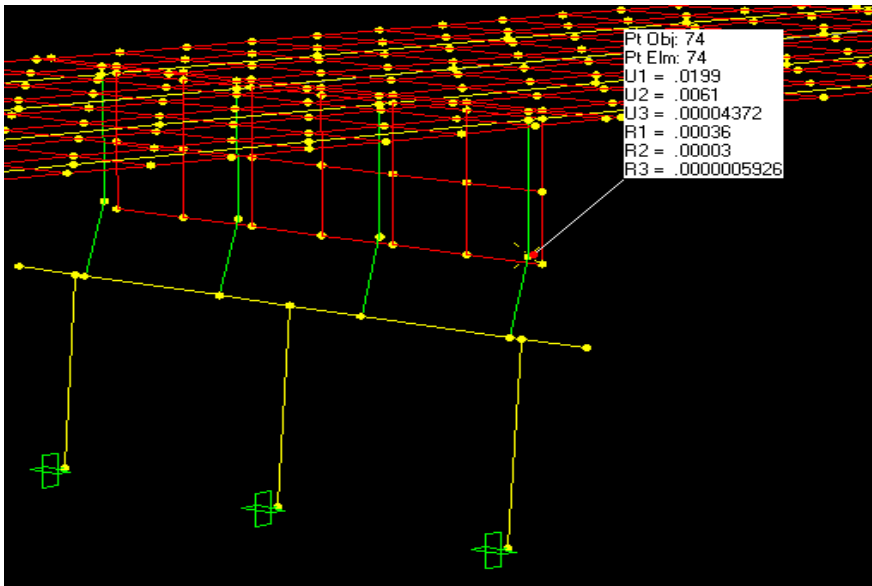
x 70,00 cm

"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

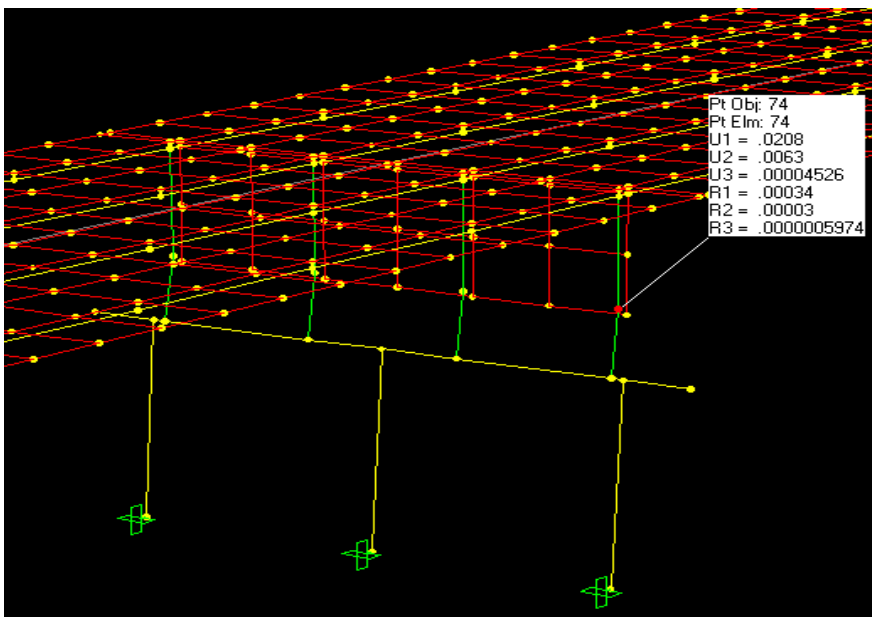
---

**DESPLAZAMIENTOS ELASTOMEROS SAP 2000**

ALTURA DE COLUMNA 2.5 M



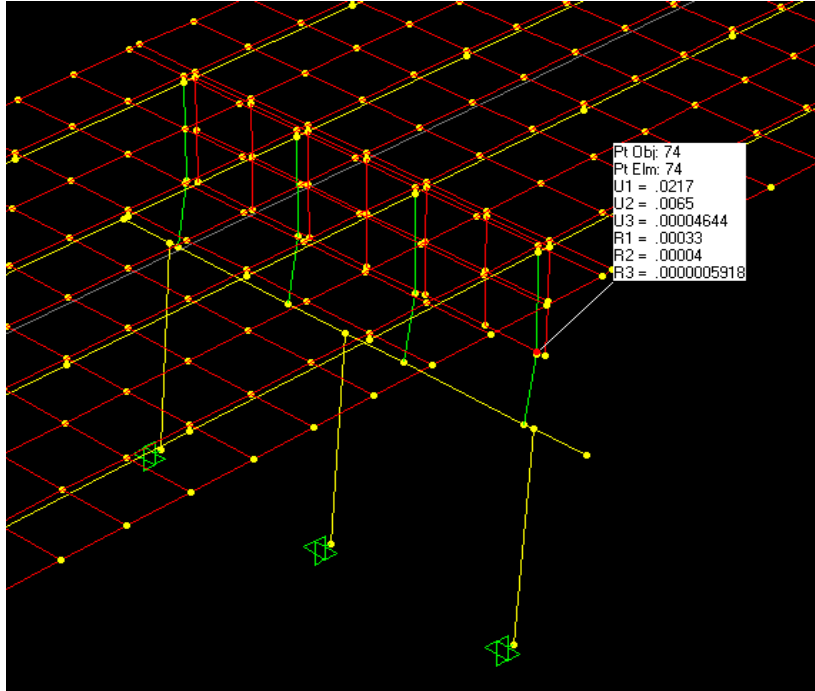
ALTURA DE COLUMNA 3 M



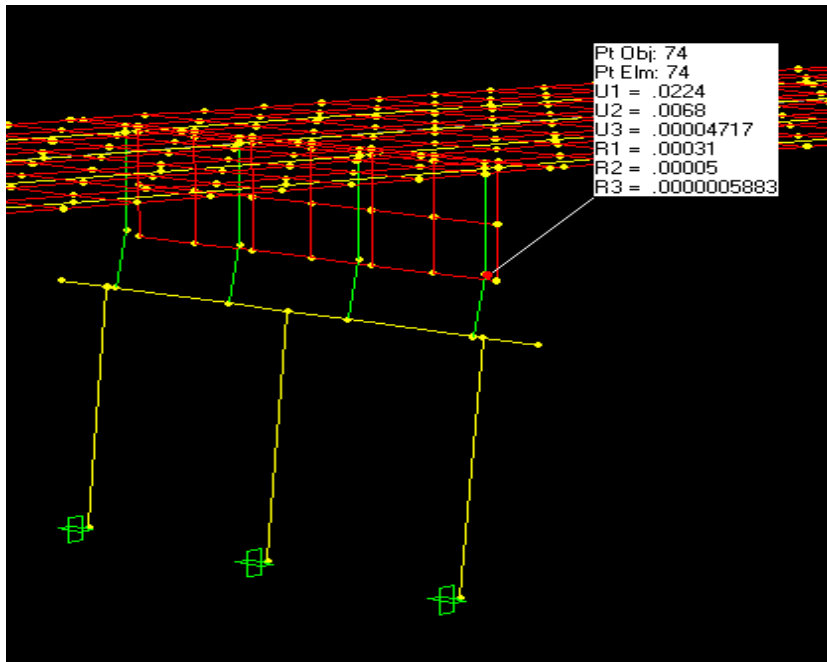
**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

ALTURA DE COLUMNA 3.5 M



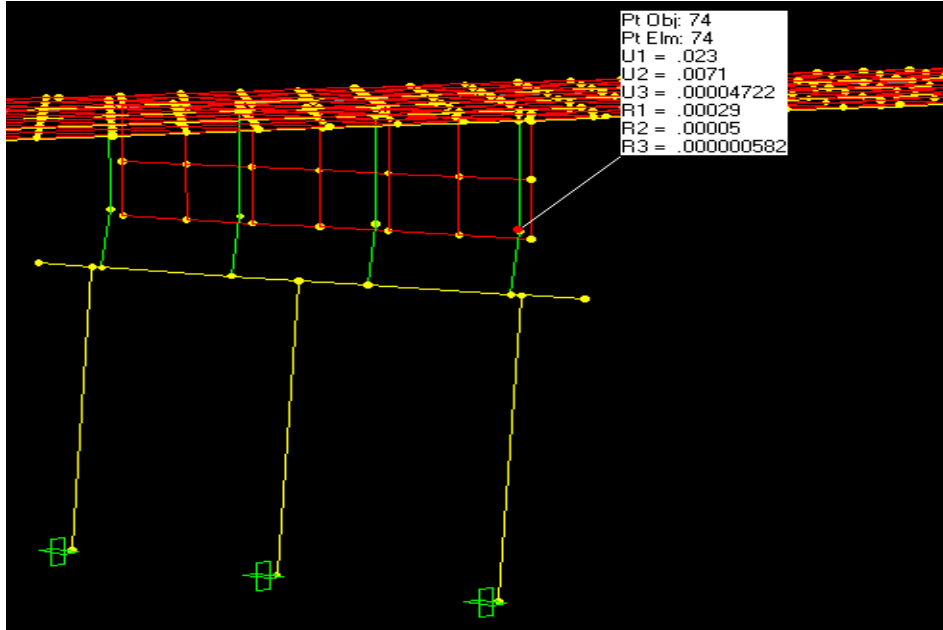
ALTURA DE COLUMNA 4 M



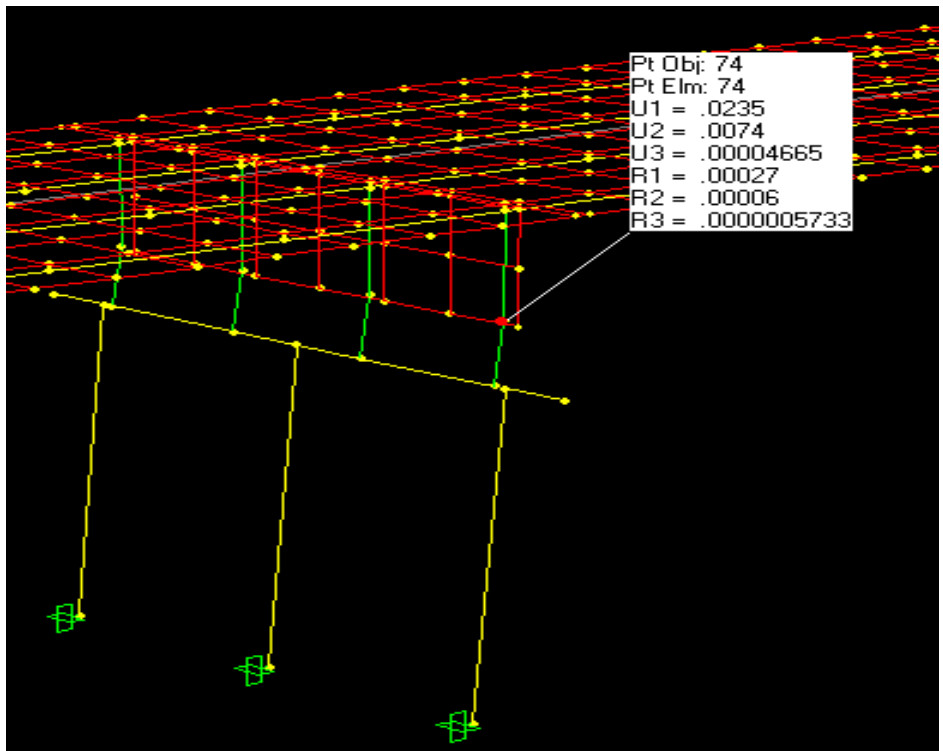
**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

ALTURA DE COLUMNA 4.5 M

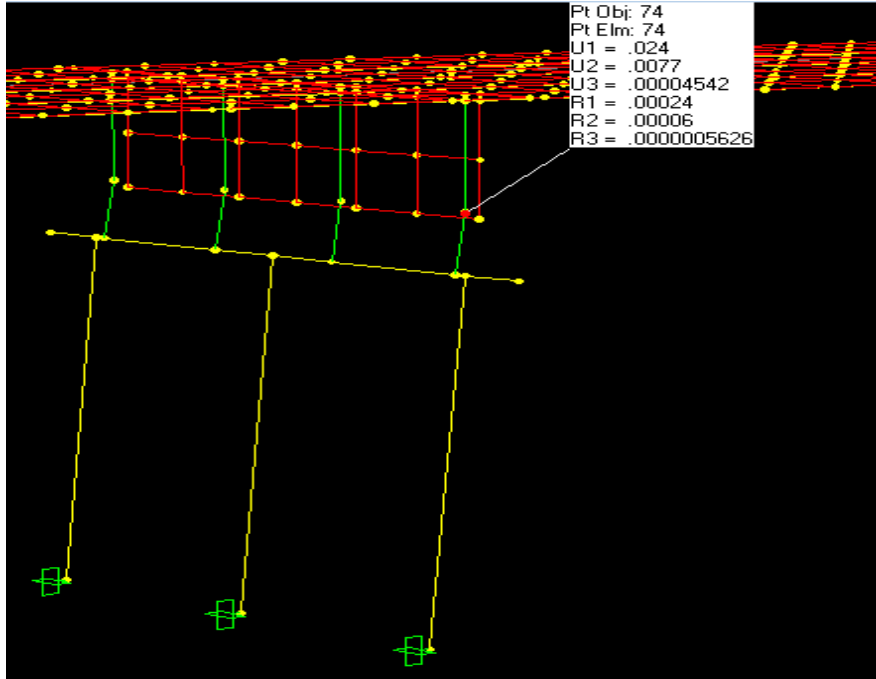


ALTURA DE COLUMNA 5 M

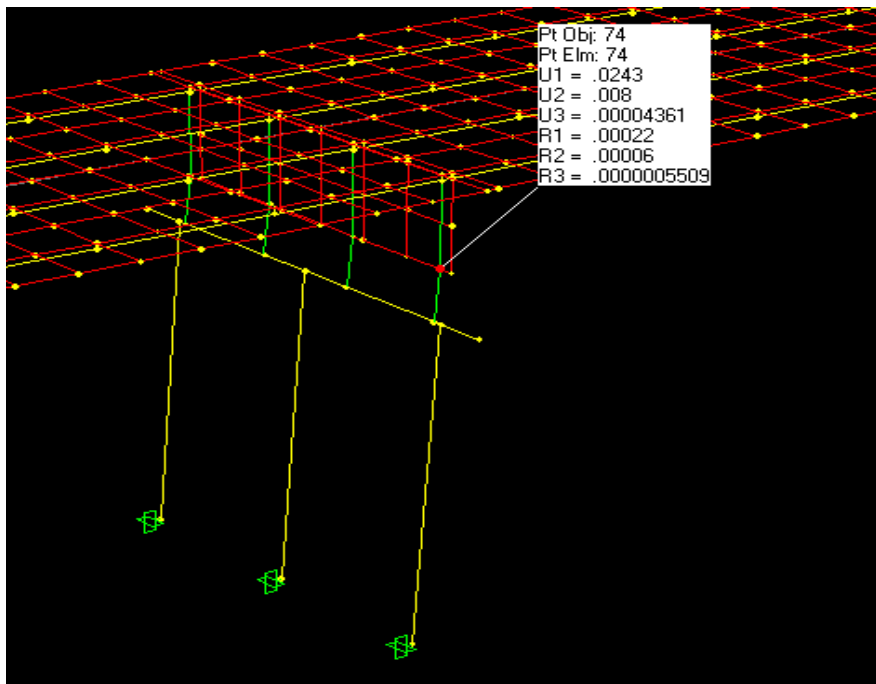


# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

ALTURA DE COLUMNA 5.5 M



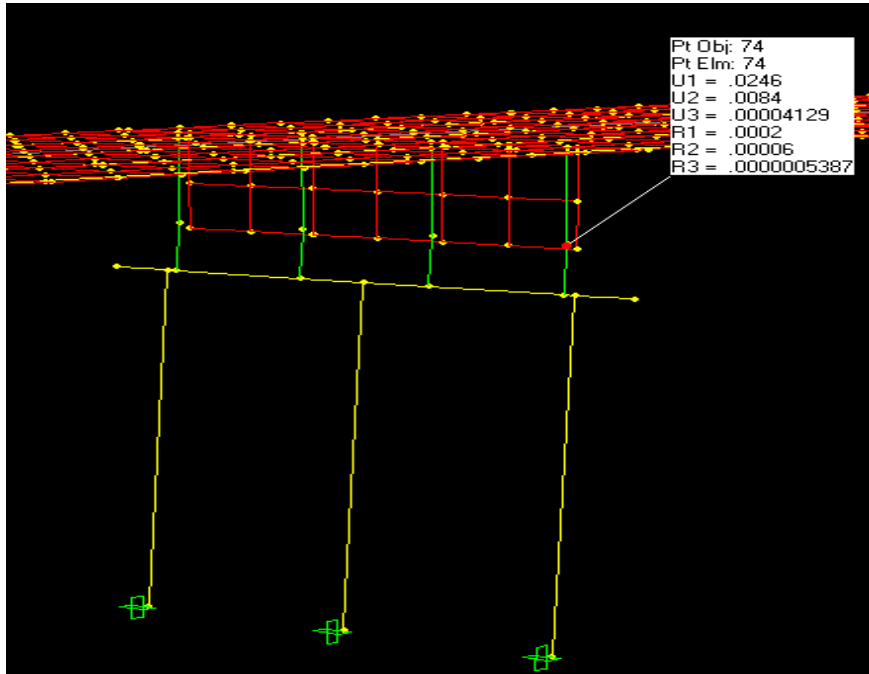
ALTURA DE COLUMNA 6 M



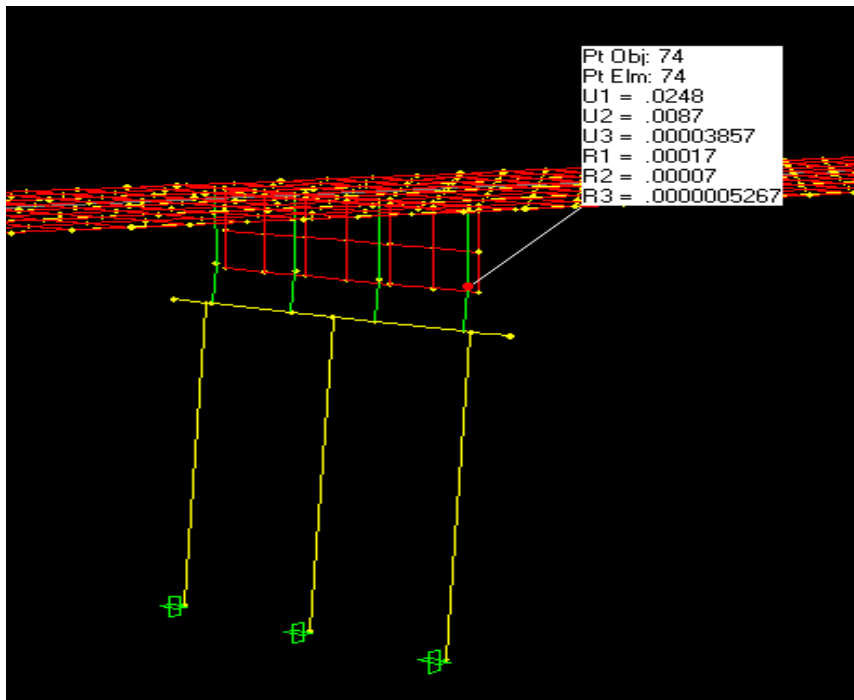
**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

ALTURA DE COLUMNA 6.5 M



ALTURA DE COLUMNA 7 M



**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

Resumen de las Rigideces de las pilas con la variación desde 2.5 a 7 m

H col	T elastómero	$\Delta$ elastómero m
2.50	0.73	0.02
3.00	0.74	0.02
3.50	0.75	0.02
4.00	0.77	0.02
4.50	0.78	0.02
5.00	0.79	0.02
5.50	0.81	0.02
6.00	0.82	0.02
6.50	0.83	0.02
7.00	0.84	0.02

## **CAPITULO 5.- ANALISIS Y DISEÑO DE PILAS CON APOYOS DE SISTEMA DE PENDULO FRICCIONANTE (FPS)**

### **5.1 DISEÑO DEL APOYO SISTEMA DE PENDULO FRICCIONANTE**

1.- Diseño con ayuda del software Mathcad, se diseña el sistema de péndulo friccionante siguiendo el método **IAN G. BUCKLE, MICHAEL C CONSTATINOU, MIRAT DICLELI AND HAMID GHASEMI** definimos:

Parámetros de diseño de los apoyos de péndulo friccionante

- Propiedades iniciales del sistema y desplazamientos.
- Rigidez del sistema y rigidez aisladores
- Desplazamiento del aisladores
- Carga lateral en la subestructura
- Período efectivo y amortiguamiento
- Efecto  $P\Delta$

#### **5.1.1 EFECTO $P\Delta$**

El efecto  $P\Delta$  son momentos inducidos por la excentricidad resultante de los desplazamientos sísmicos y la fuerza axial de la columna, en donde los esfuerzos axiales y de flexión se determinan teniendo en cuenta la flexión secundaria como consecuencia del diseño. (Priestley, Seible, Calvi, 1996)

En la siguiente grafica describe el comportamiento del sistema de un grado de libertad donde representa el desplazamiento de la estructura producido por un sismo, y en la siguiente grafica describe el comportamiento de la estructura incluido un aislador luego de un sismo.



**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

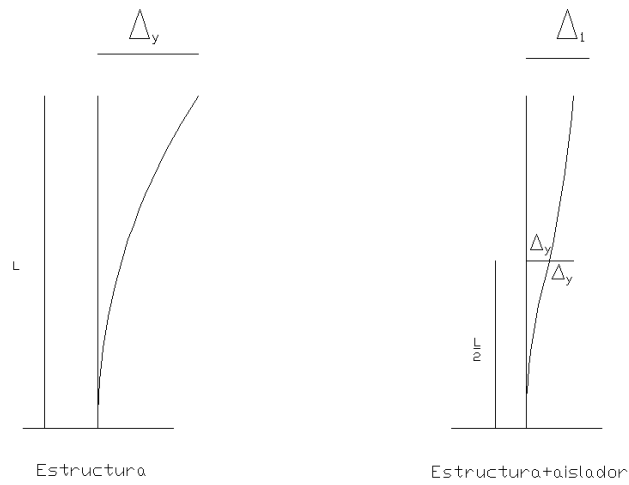


FIGURA 6.1 DESPLAZAMIENTOS DE LA ESTRUCTURA

Los aisladores sísmicos cumplen la función de desacoplar la superestructura de la subestructura, a continuación se detalla los desplazamientos en los elementos con respecto al desplazamiento inicial

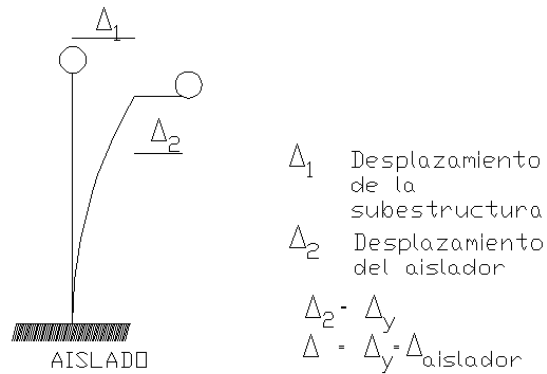


FIGURA 6.2 DESPLAZAMIENTOS EN LA ESTRUCTURA CON AISLADORES

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

Los Fps son colocados entre la subestructura y superestructura para cumplir la función de desacoplamiento. Por lo que es necesario incluir el estudio efecto P-D, ya que este no solo reduce la capacidad de los esfuerzos laterales, sino que también modifica las características de fuerzas-deformaciones. Y puede actuar de modo que a rigidez inicial se reduzca y la rigidez post-cedencia inclusive puede ser negativa.

La importancia del efecto está en modificar la respuesta estructural bajo cargas sísmicas y controlando las rigideces del sistema. Este efecto indica que los desplazamientos son generalmente altos y puede ser muy perjudicial si éstos son ignorados (Priestley, Seible, Calvi, 1996)

$$(Ec 5.1) \Delta y = f(\phi y)$$

$\Delta y$  : desplazamiento de la estructura

$$(Ec 5.2) M\phi = \phi u / \phi y$$

$M\phi$ : momento nominal

$\phi u$ : curvatura de fluencia

$\phi y$ : curvatura de fluencia

$$(Ec 5.3) \phi y = 2.25 \cdot \epsilon y / D_{col}$$

$$E y = 0.0021$$

$E y$ : deformación máxima unitaria del acero

$D_{col}$ : diámetro de columna

Para el análisis del elemento en estudio se lo aplica sentido X-X que es cuando la pila actúa como volado.

$$(Ec 5.4) \Delta y = (\phi y \cdot L^2) / 3$$

$$(Ec 5.5) M y = \phi y E I$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

I: Inercia de la columna

$$(Ec 5.6) E = 15100 \sqrt{f'_c}$$

E: módulo de elasticidad del concreto.

$$(Ec 5.7) M = P\Delta$$

P: peso de la subestructura

$\Delta$ : desplazamiento total del sistema

$$(Ec 5.8) \Theta_s = P\Delta / M_y \leq 0.3$$

$M_y$ : Momento de fluencia que depende netamente de la cuantía de la columna.

### 5.1.2 Procedimiento de diseño:

1.- Propiedades del puente:

Se determina las propiedades del puente:

m: Número de soportes

n: Número de vigas para cada soporte

Skew: Angulo de esviajamiento del puente

$W_{pp}$ : Peso de las pilas que participan en la respuetsa dinámica

$W_{ss}$ : Peso muerto de la superestructura

$W_{eff}$ : Peso efectivo

K: Rigideces de cada una de las pilas en ambas direcciones y en comportamiento de curvatura simple.

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### 2.- Pelogrosidad Sismica

Coeficiente de Aceleracion Sismica del apoyo

Factor de Sitio y del tipo de Suelo

Zona sismica

Si: coeficiente del sitio para isladores sismicos.

### 3.- Propiedades Inciales del Sistema y Desplazamientos.

$\Phi_y: (2.25 \cdot \epsilon_y) / D$

$\Phi_y$ : Curvatura de Fluencia

$\epsilon_y: 0.0021$

$\epsilon_y$ : deformacion máxima unitaria del acero.

$Q_d$ : Resistencia característica.

Esta fuerza debe ser lo suficientemente alta que el rendimiento no se active con cargas no sísmicas, pero lo suficientemente baja para que se active durante un sismo

$K_d$ : Rigidez post-cedencia

Todos los aisladores exhiban un mínimo fuerza de recuperación lateral en el desplazamiento de diseño, quien se transforma en una rigidez minima de post cedencia.

Se calculan las rigideces efectivas de una combinacion de pila aislador

### 3.- Propiedades de cada apoyo:

diso: Desplazamiento del aislador en cada apoyo.

Kiso: Rigidez del aislador en cada apoyo

dsub: Desplazamiento de la estructura en cada apoyo

**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

$F_{sub}$ : Carga lateral de cada elemento, tanto pilas como estribos.

$F_{col}$ : Fuerza cortante en las columnas

$T_{eff}$ : Período efectivo

$\xi$ : amortiguamiento equivalente

Para efecto comparativo se utiliza el mismo diseño de las pilas con apoyos elastoméricos con placas de acero con el fin de mantener la sección y cuantía.

Se analiza con desplazamientos totales del sistema de 9 y 12.26 cm ya que es un proceso iterativo para poder estimar los desplazamientos para evitar los efectos  $P\Delta$ .

# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

## DESPLAZAMIENTO TOTAL 9 CM

### AISLACION SISMICA DE PUENTES METODO: FPS (DESPLAZAMIENTO ASUMIDO 9 CM) ALTURA DE COLUMNA 2.5 M

El puente en estudio es uno recto de 2 luces, con tablero formado por vigas de presforzadas continuas y una losa de concreto reforzado. Las vigas se apoyan en estribos tipo asiento en los extremos y en 1 pila intermedia formada por 3 columnas y una viga cabezal.

#### Sección A

##### Paso A.1: Datos

$m := 3$  m : Número de apoyos

$n := 4$  n : Número de vigas por apoyo

$skew := 0$  skew : ángulo de esviajamiento

$ncol := 3$  ncol : número de columnas en apoyos intermedios

$W1 := 325.28 \text{ kip}$  W1 : peso de la superestructura en estribo 1

$W2 := 650.56 \text{ kip}$  W2 : peso de la superestructura en pila 1

$W3 := 0 \text{ kip}$  W3 : peso de la superestructura en pila 2

$W4 := 325.28 \text{ kip}$  W4 : peso de la superestructura en estribo 2

$Wss := W1 + W2 + W3 + W4$  Wss : Peso muerto de la superestructura

$Wss = 1301.12 \text{ kip}$

$Wpp := 31.42 \text{ kip}$  Wpp : Peso de las pilas

$Wefl := Wss + Wpp$  Wefl = 1332.54 kip

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

$$L := 250 \text{ cm}$$

$$K_{\text{subp1}} := \frac{3 \cdot E \cdot I_{\text{col}}}{L^3}$$

$$K_{\text{subp1}} = 122.403 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{\text{subp1}} := 365.85 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{\text{subp2}} := 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$K_{\text{subp1}}$  ,  $K_{\text{subp2}}$  : Rigidez de las pilas en ambas direcciones, se asume empotradas en las zapatas y comportamiento de curvatura simple

### Paso A.2: Peligro Sísmico

$$PGA := 0.40$$

$$S_i := 2$$

## Sección B

### Análisis del puente en sentido longitudinal con carga sísmica.

En la mayoría de las aplicaciones, los sistemas de aislamiento deben ser rígidos para cargas no sísmicas, pero flexibles para cargas sísmicas aumentando por consiguiente el período fundamental de vibración. Como una consecuencia los aisladores presentan comportamiento bilineal.

Estrictamente hablando los métodos no lineales deben ser usados para los análisis. Pero un método común es usar resortes lineales equivalentes y amortiguamientos viscosos que representen a los aisladores, tal que métodos lineales sean utilizados para determinar la respuesta.

Las propiedades equivalentes como  $K_{\text{isol}}$  (rigidez efectiva del aislador) son dependientes de los desplazamientos, pero estos al inicio del análisis no son conocidos y se requiere de un proceso iterativo.

#### B.1 Método Simplificado

En el método simplificado un modelo de un sistema de un grado de libertad con propiedades lineales equivalentes y amortiguamiento viscoso para representar los aisladores, es analizado iterativamente para estimar el desplazamiento de la superestructura y las propiedades requeridas para cada aislador necesarias para el comportamiento requerido.

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### B.1.1 Propiedades iniciales del sistema y desplazamientos

El concepto básico para usar aisladores sísmicos es que los elementos de una pila, columnas y viga cabezal, cuando se presente el sismo de diseño es que se comporten dentro del rango elástico.

Los únicos elementos que pueden presentar rótulas plásticas son las columnas, por lo tanto el máximo desplazamiento en ellas tal que no incurrieren en el rango inelástico es llegar a la fluencia.

Por lo tanto, el desplazamiento máximo que pueden presentar las columnas será el de fluencia. A continuación se detalla el cálculo del desplazamiento de fluencia en las columnas

$$\phi_y := 2.25 \cdot \frac{0.0021}{55 \text{ cm}}$$

$$\phi_y = 8.591 \times 10^{-3} \frac{1}{\text{m}}$$

$$H_{\text{columna}} := 250 \text{ cm}$$

$$d_y := \frac{\phi_y \cdot H_{\text{columna}}^2}{8}$$

$$d_y = 0.018 \text{ m}$$

$$d_{\text{sub1}} := d_y \quad \text{Desplazamiento de cedencia de las columnas}$$

$$d_{\text{sub1}} = 1.79 \text{ cm}$$

$$d := 9 \text{ cm} \quad \text{Desplazamiento total del sistema para evitar efectos P-Delta}$$

**Qd : Resistencia característica**

$$Q_d := 0.10 \cdot W_{ss} \quad Q_d = 130.112 \text{ kip}$$

$$Q_{d1} := Q_d \cdot \left( \frac{W1}{W_{ss}} \right) \quad Q_{d1} = 32.528 \text{ kip}$$

$$Q_{d2} := Q_d \cdot \left( \frac{W2}{W_{ss}} \right) \quad Q_{d2} = 65.056 \text{ kip}$$

$$Q_{d3} := Q_d \cdot \left( \frac{W3}{W_{ss}} \right) \quad Q_{d3} = 0 \text{ kip}$$

$$Q_{d4} := Q_d \cdot \left( \frac{W4}{W_{ss}} \right) \quad Q_{d4} = 32.528 \text{ kip}$$



## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

Rigidez Post-Elástica

$$K_d := 0.10 \cdot \frac{W_{SS}}{d} \quad K_d = 36.72 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

Rigidez Post-Elástica en los demás apoyos

$$K_{d1} := K_d \cdot \left( \frac{W1}{W_{SS}} \right) \quad K_{d1} = 9.18 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{d2} := K_d \cdot \left( \frac{W2}{W_{SS}} \right) \quad K_{d2} = 18.36 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{d3} := K_d \cdot \left( \frac{W3}{W_{SS}} \right) \quad K_{d3} = 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{d4} := K_d \cdot \left( \frac{W4}{W_{SS}} \right) \quad K_{d4} = 9.18 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{abut} := 10000 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$\alpha_1 := \frac{(K_{d1}) \cdot d + Q_{d1}}{(K_{abut}) \cdot d - Q_{d1}} \quad \alpha_1 = 1.838 \times 10^{-3}$$

$$\alpha_2 := \frac{(K_{d2}) \cdot d + Q_{d2}}{(K_{subp1}) \cdot d - Q_{d2}} \quad \alpha_2 = 0.106$$

$$\alpha_3 := \frac{(K_{d3}) \cdot d + Q_{d3}}{(K_{subp2}) \cdot d - Q_{d3}} \quad \alpha_3 = 0$$

$$\alpha_4 := \frac{(K_{d4}) \cdot d + Q_{d4}}{(K_{abut}) \cdot d - Q_{d4}} \quad \alpha_4 = 1.838 \times 10^{-3}$$

$$K_{eff1} := \frac{\alpha_1 \cdot (K_{abut})}{1 + \alpha_1} \quad K_{eff1} = 18.343 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{eff2} := \frac{\alpha_2 \cdot (K_{subp1})}{1 + \alpha_2} \quad K_{eff2} = 34.966 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{eff3} := \frac{\alpha_3 \cdot (K_{subp2})}{1 + \alpha_3} \quad K_{eff3} = 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{eff4} := \frac{\alpha_4 \cdot (K_{abut})}{1 + \alpha_4} \quad K_{eff4} = 18.343 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### B1.4 Rigidez efectiva

total

$$K_{eff} := K_{eff1} + K_{eff2} + K_{eff3} + K_{eff4}$$

$$K_{eff} = 71.653 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

### B1.5 Desplazamiento del aislador en cada apoyo

$$diso1 := \frac{d}{1 + \alpha1} \quad diso1 = 8.983 \text{ cm}$$

$$diso2 := \frac{d}{1 + \alpha2} \quad diso2 = 8.14 \text{ cm}$$

$$diso3 := \frac{d}{1 + \alpha3} \quad diso3 = 9 \text{ cm}$$

$$diso4 := \frac{d}{1 + \alpha4} \quad diso4 = 8.983 \text{ cm}$$

### B1.6 Rigidez del aislador en cada apoyo

$$Kiso1 := \frac{Qd1}{diso1} + Kd1 \quad Kiso1 = 18.377 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$Kiso2 := \frac{Qd2}{diso2} + Kd2 \quad Kiso2 = 38.661 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$Kiso3 := \frac{Qd3}{diso3} + Kd3 \quad Kiso3 = 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$Kiso4 := \frac{Qd4}{diso4} + Kd4 \quad Kiso4 = 18.377 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

### B1.7 Desplazamiento de la subestructura en cada apoyo

$$dsub1 := d - diso1 \quad dsub1 = 0.017 \text{ cm}$$

$$dsub2 := d - diso2 \quad dsub2 = 0.86 \text{ cm}$$

$$dsub3 := d - diso3 \quad dsub3 = 0 \text{ in}$$

$$dsub4 := d - diso4 \quad dsub4 = 0.017 \text{ cm}$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### B1.8 Carga lateral en cada subestructura

$$\begin{aligned}
 F_{sub1} &:= K_{abut} \cdot (d_{sub1}) & F_{sub1} &= 64.996 \text{ kip} \\
 F_{sub2} &:= K_{subp1} \cdot (d_{sub2}) & F_{sub2} &= 123.894 \text{ kip} \\
 F_{sub3} &:= K_{subp2} \cdot (d_{sub3}) & F_{sub3} &= 0 \text{ kip} \\
 F_{sub4} &:= K_{abut} \cdot (d_{sub4}) & F_{sub4} &= 64.996 \text{ kip}
 \end{aligned}$$

### B1.9 Fuerza cortante en las columnas

$$\begin{aligned}
 F_{col1} &:= \frac{F_{sub2}}{n_{col}} & F_{col1} &= 41.298 \text{ kip} \\
 F_{col2} &:= \frac{F_{sub3}}{n_{col}} & F_{col2} &= 0 \text{ kip}
 \end{aligned}$$

### B1.10 Periodo efectivo y amortiguamiento

$$T_{eff} := 2\pi \sqrt{\frac{W_{eff}}{g \cdot K_{eff}}}$$

$$T_{eff} = 1.379 \text{ s} \quad \text{Ok!!! Similar al Periodo efectivo asumido al inicio}$$

$\xi$  = Amortiguamiento equivalente

$dy$  es el desplazamiento por cedencia del aislador, que normalmente es tan bajo que se lo considera despreciable. Para este primer paso iterativo, asumamos  $dy=0$

$$\frac{dy}{W_{eff}} = 0$$

$$\xi := \frac{2 \cdot [Qd1 \cdot (diso1 - dy) + Qd2 \cdot (diso2 - dy) + Qd3 \cdot (diso3 - dy) + Qd4 \cdot (diso4 - dy)]}{\pi \left[ K_{eff1} \cdot (diso1 + d_{sub1})^2 + K_{eff2} \cdot (diso2 + d_{sub2})^2 + K_{eff3} \cdot (diso3 + d_{sub3})^2 + K_{eff4} \cdot (diso4 + d_{sub4})^2 \right]}$$

$$\xi = 0.31$$

### B1.11 Factor de amortiguamiento

$$B1 := \text{if} \left[ \xi < 0.1, \left( \frac{\xi}{0.05} \right)^{0.3}, 1.7 \right]$$

$$B1 = 1.7$$

$d = 9 \text{ cm}$        $d$  : Desplazamiento de la subestructura

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### B1.8 Carga lateral en cada subestructura

$$F_{sub1} := K_{abut} \cdot (d_{sub1}) \quad F_{sub1} = 64.996 \text{ kip}$$

$$F_{sub2} := K_{subp1} \cdot (d_{sub2}) \quad F_{sub2} = 123.894 \text{ kip}$$

$$F_{sub3} := K_{subp2} \cdot (d_{sub3}) \quad F_{sub3} = 0 \text{ kip}$$

$$F_{sub4} := K_{abut} \cdot (d_{sub4}) \quad F_{sub4} = 64.996 \text{ kip}$$

### B1.9 Fuerza cortante en las columnas

$$F_{col1} := \frac{F_{sub2}}{n_{col}} \quad F_{col1} = 41.298 \text{ kip}$$

$$F_{col2} := \frac{F_{sub3}}{n_{col}} \quad F_{col2} = 0 \text{ kip}$$

### B1.10 Período efectivo y amortiguamiento

$$T_{eff} := 2\pi \sqrt{\frac{W_{eff}}{g \cdot K_{eff}}}$$

$$T_{eff} = 1.379 \text{ s} \quad \text{Ok!!! Similar al Período efectivo asumido al inicio}$$

$\xi$  = Amortiguamiento equivalente

$dy$  es el desplazamiento por cedencia del aislador, que normalmente es tan bajo que se lo considera despreciable. Para este primer paso iterativo, asumamos  $dy=0$

$$\frac{dy}{dy} = 0$$

$$\xi := \frac{2 \cdot [Qd1 \cdot (diso1 - dy) + Qd2 \cdot (diso2 - dy) + Qd3 \cdot (diso3 - dy) + Qd4 \cdot (diso4 - dy)]}{\pi \left[ K_{eff1} \cdot (diso1 + d_{sub1})^2 + K_{eff2} \cdot (diso2 + d_{sub2})^2 + K_{eff3} \cdot (diso3 + d_{sub3})^2 + K_{eff4} \cdot (diso4 + d_{sub4})^2 \right]}$$

$$\xi = 0.31$$

### B1.11 Factor de amortiguamiento

$$B1 := \text{if} \left[ \xi < 0.1, \left( \frac{\xi}{0.05} \right)^{0.3}, 1.7 \right]$$

$$B1 = 1.7$$

$d = 9 \text{ cm}$        $d$  : Desplazamiento de la subestructura

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

Amortiguamiento de los aisladores, para modelar en el sap

Estribos

$$c1 := 2 \cdot \xi \cdot \sqrt{\frac{Kiso1 \cdot W1}{g}} \quad c1 = 2.442 \frac{\text{kip} \cdot \text{s}}{\text{in}}$$

Pilas

$$c2 := 2 \cdot \xi \cdot \sqrt{\frac{Kiso2 \cdot W2}{g}} \quad c2 = 5.01 \frac{\text{kip} \cdot \text{s}}{\text{in}}$$

# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

## AISLACION SISMICA DE PUENTES METODO: FPS (DESPLAZAMIENTO ASUMIDO 9 CM) ALTURA DE COLUMNA 3 M

El puente en estudio es uno recto de 2 luces, con tablero formado por vigas de presforzadas continuas y una losa de concreto reforzado. Las vigas se apoyan en estribos tipo asiento en los extremos y en 1 pila intermedia formada por 3 columnas y una viga cabezal.

### Sección A

#### Paso A.1: Datos

$m := 3$        $m$  : Número de apoyos  
 $n := 4$        $n$  : Número de vigas por apoyo  
 $skew := 0$       skew : ángulo de esviajamiento  
 $ncol := 3$       ncol : número de columnas en apoyos intermedios

$W1 := 325.28 \text{ kip}$        $W1$  : peso de la superestructura en estribo 1  
 $W2 := 650.56 \text{ kip}$        $W2$  : peso de la superestructura en pila 1  
 $W3 := 0 \text{ kip}$        $W3$  : peso de la superestructura en pila 2  
 $W4 := 325.28 \text{ kip}$        $W4$  : peso de la superestructura en estribo 2

$Wss := W1 + W2 + W3 + W4$        $Wss$  : Peso muerto de la superestructura  
 $Wss = 1301.12 \text{ kip}$

$Wpp := 32.85 \text{ kip}$        $Wpp$  : Peso de las pilas

$Weff := Wss + Wpp$        $Weff = 1333.97 \text{ kip}$

#### Rigidez de la pila, sentido longitudinal

$$E := 3605 \frac{\text{kip}}{\text{in}^2}$$

$$dcol := 55 \text{ cm}$$

$$Icol := \frac{\pi \cdot dcol^4}{64}$$

$$Icol = 1.079 \times 10^4 \text{ in}^4$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

$$L_c := 300 \text{ cm}$$

$$K_{\text{subp1}} := \frac{3 \cdot E \cdot I_{\text{col}}}{L^3}$$

$K_{\text{subp1}}$ ,  $K_{\text{subp2}}$  : Rigidez de las pilas en ambas direcciones, se asume empotradas en las zapatas y comportamiento de curvatura simple

$$K_{\text{subp1}} = 70.835 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{\text{subp1}} := 365.85 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{\text{subp2}} := 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

### Paso A.2: Peligro Sísmico

$$PGA := 0.40$$

$$S_i := 2$$

## Sección B

### Análisis del puente en sentido longitudinal con carga sísmica.

En la mayoría de las aplicaciones, los sistemas de aislamiento deben ser rígidos para cargas no sísmicas, pero flexibles para cargas sísmicas aumentando por consiguiente el periodo fundamental de vibración. Como una consecuencia los aisladores presentan comportamiento bilineal.

Estrictamente hablando los métodos no lineales deben ser usados para los análisis. Pero un método común es usar resortes lineales equivalentes y amortiguamientos viscosos que representen a los aisladores, tal que métodos lineales sean utilizados para determinar la respuesta. Las propiedades equivalentes como  $K_{\text{isol}}$  (rigidez efectiva del aislador) son dependientes de los desplazamientos, pero estos al inicio del análisis no son conocidos y se requiere de un proceso iterativo.

#### B.1 Método Simplificado

En el método simplificado un modelo de un sistema de un grado de libertad con propiedades lineales equivalentes y amortiguamiento viscoso para representar los aisladores, es analizado iterativamente para estimar el desplazamiento de la superestructura y las propiedades requeridas para cada aislador necesarias para el comportamiento requerido.

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### B.1.1 Propiedades iniciales del sistema y desplazamientos

El concepto básico para usar aisladores sísmicos es que los elementos de una pila, columnas y viga cabezal, cuando se presente el sismo de diseño es que se comporten dentro del rango elástico.

Los únicos elementos que pueden presentar rótulas plásticas son las columnas, por lo tanto el máximo desplazamiento en ellas tal que no incurrieren en el rango inelástico es llegar a la fluencia.

Por lo tanto, el desplazamiento máximo que pueden presentar las columnas será el de fluencia. A continuación se detalla el cálculo del desplazamiento de fluencia en las columnas

$$\phi_y := 2.25 \frac{0.0021}{55\text{cm}}$$

$$\dot{\phi}_y = 8.591 \times 10^{-3} \frac{1}{\text{m}}$$

$$H_{\text{columna}} := 300\text{cm}$$

$$d_y := \frac{\phi_y \cdot H_{\text{columna}}^2}{3}$$

$$\dot{d}_y = 0.026 \text{ m}$$

$d_{\text{sub1}} := d_y$  Desplazamiento de cedencia de las columnas

$$d_{\text{sub1}} = 2.577 \text{ cm}$$

$$d := 9\text{cm}$$

Desplazamiento total del sistema para evitar efectos P-Delta

**Qd : Resistencia característica**

$$Q_d := 0.10 \cdot W_{ss} \quad Q_d = 130.112 \text{ kip}$$

$$Q_{d1} := Q_d \cdot \left( \frac{W1}{W_{ss}} \right) \quad Q_{d1} = 32.528 \text{ kip}$$

$$Q_{d2} := Q_d \cdot \left( \frac{W2}{W_{ss}} \right) \quad Q_{d2} = 65.056 \text{ kip}$$

$$Q_{d3} := Q_d \cdot \left( \frac{W3}{W_{ss}} \right) \quad Q_{d3} = 0 \text{ kip}$$

$$Q_{d4} := Q_d \cdot \left( \frac{W4}{W_{ss}} \right) \quad Q_{d4} = 32.528 \text{ kip}$$



**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

Rigidez Post-Elástica

$$K_d := 0.10 \frac{W_{ss}}{d} \quad K_d = 36.72 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

Rigidez Post-Elástica en los demás apoyos

$$K_{d1} := K_d \left( \frac{W_1}{W_{ss}} \right) \quad K_{d1} = 9.18 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{d2} := K_d \left( \frac{W_2}{W_{ss}} \right) \quad K_{d2} = 18.36 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{d3} := K_d \left( \frac{W_3}{W_{ss}} \right) \quad K_{d3} = 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{d4} := K_d \left( \frac{W_4}{W_{ss}} \right) \quad K_{d4} = 9.18 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{abut} := 10000 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$\alpha_1 := \frac{(K_{d1}) \cdot d + Q_{d1}}{(K_{abut}) \cdot d - Q_{d1}} \quad \alpha_1 = 1.838 \times 10^{-3}$$

$$\alpha_2 := \frac{(K_{d2}) \cdot d + Q_{d2}}{(K_{subp1}) \cdot d - Q_{d2}} \quad \alpha_2 = 0.106$$

$$\alpha_3 := \frac{(K_{d3}) \cdot d + Q_{d3}}{(K_{subp2}) \cdot d - Q_{d3}} \quad \alpha_3 = 0$$

$$\alpha_4 := \frac{(K_{d4}) \cdot d + Q_{d4}}{(K_{abut}) \cdot d - Q_{d4}} \quad \alpha_4 = 1.838 \times 10^{-3}$$

$$K_{eff1} := \frac{\alpha_1 \cdot (K_{abut})}{1 + \alpha_1} \quad K_{eff1} = 18.343 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{eff2} := \frac{\alpha_2 \cdot (K_{subp1})}{1 + \alpha_2} \quad K_{eff2} = 34.966 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{eff3} := \frac{\alpha_3 \cdot (K_{subp2})}{1 + \alpha_3} \quad K_{eff3} = 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{eff4} := \frac{\alpha_4 \cdot (K_{abut})}{1 + \alpha_4} \quad K_{eff4} = 18.343 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### B1.4 Rigidez efectiva

total

$$K_{eff} := K_{eff1} + K_{eff2} + K_{eff3} + K_{eff4}$$

$$K_{eff} = 71.653 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

### B1.5 Desplazamiento del aislador en cada apoyo

$$\text{diso1} := \frac{d}{1 + \alpha_1} \quad \text{diso1} = 8.983 \text{ cm}$$

$$\text{diso2} := \frac{d}{1 + \alpha_2} \quad \text{diso2} = 8.14 \text{ cm}$$

$$\text{diso3} := \frac{d}{1 + \alpha_3} \quad \text{diso3} = 9 \text{ cm}$$

$$\text{diso4} := \frac{d}{1 + \alpha_4} \quad \text{diso4} = 8.983 \text{ cm}$$

### B1.6 Rigidez del aislador en cada apoyo

$$K_{iso1} := \frac{Qd1}{\text{diso1}} + Kd1 \quad K_{iso1} = 18.377 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{iso2} := \frac{Qd2}{\text{diso2}} + Kd2 \quad K_{iso2} = 38.661 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{iso3} := \frac{Qd3}{\text{diso3}} + Kd3 \quad K_{iso3} = 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{iso4} := \frac{Qd4}{\text{diso4}} + Kd4 \quad K_{iso4} = 18.377 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

### B1.7 Desplazamiento de la subestructura en cada apoyo

$$\text{dsub1} := d - \text{diso1} \quad \text{dsub1} = 0.017 \text{ cm}$$

$$\text{dsub2} := d - \text{diso2} \quad \text{dsub2} = 0.86 \text{ cm}$$

$$\text{dsub3} := d - \text{diso3} \quad \text{dsub3} = 0 \text{ in}$$

$$\text{dsub4} := d - \text{diso4} \quad \text{dsub4} = 0.017 \text{ cm}$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### B1.8 Carga lateral en cada subestructura

$$\begin{aligned}
 F_{sub1} &:= K_{abut} \cdot (d_{sub1}) & F_{sub1} &= 64.996 \text{ kip} \\
 F_{sub2} &:= K_{subp1} \cdot (d_{sub2}) & F_{sub2} &= 123.894 \text{ kip} \\
 F_{sub3} &:= K_{subp2} \cdot (d_{sub3}) & F_{sub3} &= 0 \text{ kip} \\
 F_{sub4} &:= K_{abut} \cdot (d_{sub4}) & F_{sub4} &= 64.996 \text{ kip}
 \end{aligned}$$

### B1.9 Fuerza cortante en las columnas

$$\begin{aligned}
 F_{col1} &:= \frac{F_{sub2}}{n_{col}} & F_{col1} &= 41.298 \text{ kip} \\
 F_{col2} &:= \frac{F_{sub3}}{n_{col}} & F_{col2} &= 0 \text{ kip}
 \end{aligned}$$

### B1.10 Período efectivo y amortiguamiento

$$T_{eff} := 2\pi \cdot \sqrt{\frac{W_{eff}}{g \cdot K_{eff}}}$$

$$T_{eff} = 1.38 \text{ s} \quad \text{Ok!!! Similar al Período efectivo asumido al inicio}$$

$\xi$  = Amortiguamiento equivalente

dy es el desplazamiento por cedencia del aislador, que normalmente es tan bajo que se lo considera despreciable. Para este primer paso iterativo, asumamos dy=0

$$\frac{dy}{dx} := 0$$

$$\xi := \frac{2 \cdot [Qd1 \cdot (diso1 - dy) + Qd2 \cdot (diso2 - dy) + Qd3 \cdot (diso3 - dy) + Qd4 \cdot (diso4 - dy)]}{\pi \cdot [K_{eff1} \cdot (diso1 + d_{sub1})^2 + K_{eff2} \cdot (diso2 + d_{sub2})^2 + K_{eff3} \cdot (diso3 + d_{sub3})^2 + K_{eff4} \cdot (diso4 + d_{sub4})^2]}$$

$$\xi = 0.31$$

### B1.11 Factor de amortiguamiento

$$B1 := \text{if} \left[ \xi < 0.3, \left( \frac{\xi}{0.05} \right)^{0.3}, 1.7 \right]$$

$$B1 = 1.7$$

$$d = 9 \text{ cm} \quad d : \text{Desplazamiento de la subestructura}$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

Amortiguamiento de los aisladores, para modelar en el sap

Estribos

$$c1 := 2 \cdot \xi \cdot \sqrt{\frac{Kiso1 \cdot W1}{g}} \quad c1 = 2.442 \frac{\text{kip} \cdot \text{s}}{\text{in}}$$

Pilas

$$c2 := 2 \cdot \xi \cdot \sqrt{\frac{Kiso2 \cdot W2}{g}} \quad c2 = 5.01 \frac{\text{kip} \cdot \text{s}}{\text{in}}$$

# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

## AISLACION SISMICA DE PUENTES METODO: FPS (DESPLAZAMIENTO ASUMIDO 9 CM) ALTURA DE COLUMNA 3.5 M

El puente en estudio es uno recto de 2 luces, con tablero formado por vigas de presforzadas continuas y una losa de concreto reforzado. Las vigas se apoyan en estribos tipo asiento en los extremos y en 1 pila intermedia formada por 3 columnas y una viga cabezal.

### Sección A

#### Paso A.1: Datos

$m := 3$  m : Número de apoyos

$n := 4$  n : Número de vigas por apoyo

$skew := 0$  skew : ángulo de esviajamiento

$ncol := 3$  ncol : número de columnas en apoyos intermedios

$W1 := 325.28 \text{ kip}$  W1 : peso de la superestructura en estribo 1

$W2 := 650.56 \text{ kip}$  W2 : peso de la superestructura en pila 1

$W3 := 0 \text{ kip}$  W3 : peso de la superestructura en pila 2

$W4 := 325.28 \text{ kip}$  W4 : peso de la superestructura en estribo 2

$Wss := W1 + W2 + W3 + W4$  Wss : Peso muerto de la superestructura

$Wss = 1301.12 \text{ kip}$

$Wpp := 34.75 \text{ kip}$  Wpp : Peso de las pilas

$W_{eff} := Wss + Wpp$   $W_{eff} = 1335.87 \text{ kip}$

Rigidez de la pila, sentido longitudinal

$$E := 3605 \frac{\text{kip}}{\text{in}^2}$$

$dcol := 55 \text{ cm}$

$$Icol := \frac{\pi \cdot dcol^4}{64}$$

$$Icol = 1.079 \times 10^4 \text{ in}^4$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

$$L_c := 350\text{cm}$$

$$K_{\text{subp1}} := \frac{3 \cdot E \cdot I_{\text{col}}}{L^3}$$

$$K_{\text{subp1}} = 44.608 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{\text{subp1}} := 275.23 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{\text{subp2}} := 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$K_{\text{subp1}}$ ,  $K_{\text{subp2}}$  : Rigidez de las pilas en ambas direcciones, se asume empotradas en las zapatas y comportamiento de curvatura simple

### Paso A.2: Peligro Sísmico

$$PGA = 0.40$$

$$SI := 2$$

## Sección B

### Análisis del puente en sentido longitudinal con carga sísmica.

En la mayoría de las aplicaciones, los sistemas de aislamiento deben ser rígidos para cargas no sísmicas, pero flexibles para cargas sísmicas aumentando por consiguiente el período fundamental de vibración. Como una consecuencia los aisladores presentan comportamiento bilineal.

Estrictamente hablando los métodos no lineales deben ser usados para los análisis. Pero un método común es usar resortes lineales equivalentes y amortiguamientos viscosos que representen a los aisladores, tal que métodos lineales sean utilizados para determinar la respuesta. Las propiedades equivalentes como  $K_{\text{isol}}$  (rigidez efectiva del aislador) son dependientes de los desplazamientos, pero estos al inicio del análisis no son conocidos y se requiere de un proceso iterativo.

#### B.1 Método Simplificado

En el método simplificado un modelo de un sistema de un grado de libertad con propiedades lineales equivalentes y amortiguamiento viscoso para representar los aisladores, es analizado iterativamente para estimar el desplazamiento de la superestructura y las propiedades requeridas para cada aislador necesarias para el comportamiento requerido.

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### B.1.1 Propiedades iniciales del sistema y desplazamientos

El concepto básico para usar aisladores sísmicos es que los elementos de una pila, columnas y viga cabezal, cuando se presente el sismo de diseño es que se comporten dentro del rango elástico.

Los únicos elementos que pueden presentar rótulas plásticas son las columnas, por lo tanto el máximo desplazamiento en ellas tal que no incurrieren en el rango inelástico es llegar a la fluencia.

Por lo tanto, el desplazamiento máximo que pueden presentar las columnas será el de fluencia. A continuación se detalla el cálculo del desplazamiento de fluencia en las columnas

$$\phi_y := 2.25 \frac{0.0021}{55\text{cm}}$$

$$\phi_y = 8.591 \times 10^{-5} \frac{1}{\text{m}}$$

$$H_{\text{columna}} := 350\text{cm}$$

$$d_y := \frac{\phi_y \cdot H_{\text{columna}}^2}{3}$$

$$d_y = 0.035 \text{ m}$$

$$d_{\text{sub1}} := d_y \quad \text{Desplazamiento de cedencia de las columnas}$$

$$d_{\text{sub1}} = 3.508 \text{ cm}$$

$$d := 9\text{cm} \quad \text{Desplazamiento total del sistema para evitar efectos P-Delta}$$

#### Qd : Resistencia característica

$$Qd := 0.10 \cdot W_{ss} \quad Qd = 130.112 \text{ kip}$$

$$Qd1 := Qd \cdot \left( \frac{W1}{W_{ss}} \right) \quad Qd1 = 32.528 \text{ kip}$$

$$Qd2 := Qd \cdot \left( \frac{W2}{W_{ss}} \right) \quad Qd2 = 65.056 \text{ kip}$$

$$Qd3 := Qd \cdot \left( \frac{W3}{W_{ss}} \right) \quad Qd3 = 0 \text{ kip}$$

$$Qd4 := Qd \cdot \left( \frac{W4}{W_{ss}} \right) \quad Qd4 = 32.528 \text{ kip}$$

**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

Rigidez Post-Elástica

$$K_d := 0.10 \frac{W_{ss}}{d} \quad K_d = 36.72 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

Rigidez Post-Elástica en los demás apoyos

$$K_{d1} := K_d \left( \frac{W_1}{W_{ss}} \right) \quad K_{d1} = 9.18 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{d2} := K_d \left( \frac{W_2}{W_{ss}} \right) \quad K_{d2} = 18.36 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{d3} := K_d \left( \frac{W_3}{W_{ss}} \right) \quad K_{d3} = 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{d4} := K_d \left( \frac{W_4}{W_{ss}} \right) \quad K_{d4} = 9.18 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{abut} := 10000 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$\alpha_1 := \frac{(K_{d1}) \cdot d + Q_{d1}}{(K_{abut}) \cdot d - Q_{d1}} \quad \alpha_1 = 1.838 \times 10^{-3}$$

$$\alpha_2 := \frac{(K_{d2}) \cdot d + Q_{d2}}{(K_{subp1}) \cdot d - Q_{d2}} \quad \alpha_2 = 0.143$$

$$\alpha_3 := \frac{(K_{d3}) \cdot d + Q_{d3}}{(K_{subp2}) \cdot d - Q_{d3}} \quad \alpha_3 = 0$$

$$\alpha_4 := \frac{(K_{d4}) \cdot d + Q_{d4}}{(K_{abut}) \cdot d - Q_{d4}} \quad \alpha_4 = 1.838 \times 10^{-3}$$

$$K_{eff1} := \frac{\alpha_1 \cdot (K_{abut})}{1 + \alpha_1} \quad K_{eff1} = 18.343 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{eff2} := \frac{\alpha_2 \cdot (K_{subp1})}{1 + \alpha_2} \quad K_{eff2} = 34.424 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{eff3} := \frac{\alpha_3 \cdot (K_{subp2})}{1 + \alpha_3} \quad K_{eff3} = 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{eff4} := \frac{\alpha_4 \cdot (K_{abut})}{1 + \alpha_4} \quad K_{eff4} = 18.343 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$



## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### B1.4 Rigidez efectiva

total

$$K_{eff} := K_{eff1} + K_{eff2} + K_{eff3} + K_{eff4}$$

$$K_{eff} = 71.111 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

### B1.5 Desplazamiento del aislador en cada apoyo

$$\text{diso1} := \frac{d}{1 + \alpha_1} \quad \text{diso1} = 8.983 \text{ cm}$$

$$\text{diso2} := \frac{d}{1 + \alpha_2} \quad \text{diso2} = 7.874 \text{ cm}$$

$$\text{diso3} := \frac{d}{1 + \alpha_3} \quad \text{diso3} = 9 \text{ cm}$$

$$\text{diso4} := \frac{d}{1 + \alpha_4} \quad \text{diso4} = 8.983 \text{ cm}$$

### B1.6 Rigidez del aislador en cada apoyo

$$K_{iso1} := \frac{Qd1}{\text{diso1}} + Kd1 \quad K_{iso1} = 18.377 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{iso2} := \frac{Qd2}{\text{diso2}} + Kd2 \quad K_{iso2} = 39.345 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{iso3} := \frac{Qd3}{\text{diso3}} + Kd3 \quad K_{iso3} = 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{iso4} := \frac{Qd4}{\text{diso4}} + Kd4 \quad K_{iso4} = 18.377 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

### B1.7 Desplazamiento de la subestructura en cada apoyo

$$\text{dsub1} := d - \text{diso1} \quad \text{dsub1} = 0.017 \text{ cm}$$

$$\text{dsub2} := d - \text{diso2} \quad \text{dsub2} = 1.126 \text{ cm}$$

$$\text{dsub3} := d - \text{diso3} \quad \text{dsub3} = 0 \text{ in}$$

$$\text{dsub4} := d - \text{diso4} \quad \text{dsub4} = 0.017 \text{ cm}$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### B1.8 Carga lateral en cada subestructura

$$\begin{aligned}
 F_{sub1} &:= K_{abut} \cdot (d_{sub1}) & F_{sub1} &= 64.996 \text{ kip} \\
 F_{sub2} &:= K_{subp1} \cdot (d_{sub2}) & F_{sub2} &= 121.975 \text{ kip} \\
 F_{sub3} &:= K_{subp2} \cdot (d_{sub3}) & F_{sub3} &= 0 \text{ kip} \\
 F_{sub4} &:= K_{abut} \cdot (d_{sub4}) & F_{sub4} &= 64.996 \text{ kip}
 \end{aligned}$$

### B1.9 Fuerza cortante en las columnas

$$\begin{aligned}
 F_{col1} &:= \frac{F_{sub2}}{n_{col}} & F_{col1} &= 40.658 \text{ kip} \\
 F_{col2} &:= \frac{F_{sub3}}{n_{col}} & F_{col2} &= 0 \text{ kip}
 \end{aligned}$$

### B1.10 Período efectivo y amortiguamiento

$$T_{eff} := 2\pi \cdot \sqrt{\frac{W_{eff}}{g \cdot K_{eff}}}$$

$$T_{eff} = 1.386 \text{ s} \quad \text{Ok!!! Similar al Periodo efectivo asumido al inicio}$$

$\xi$  = Amortiguamiento equivalente

dy es el desplazamiento por cedencia del aislador, que normalmente es tan bajo que se lo considera despreciable. Para este primer paso iterativo, asumamos dy=0

$$dy := 0$$

$$\xi := \frac{2 \cdot [Qd1 \cdot (diso1 - dy) + Qd2 \cdot (diso2 - dy) + Qd3 \cdot (diso3 - dy) + Qd4 \cdot (diso4 - dy)]}{\pi \cdot [K_{eff1} \cdot (diso1 + d_{sub1})^2 + K_{eff2} \cdot (diso2 + d_{sub2})^2 + K_{eff3} \cdot (diso3 + d_{sub3})^2 + K_{eff4} \cdot (diso4 + d_{sub4})^2]}$$

$$\xi = 0.308$$

### B1.11 Factor de amortiguamiento

$$B1 := \text{if} \left[ \xi < 0.3, \left( \frac{\xi}{0.05} \right)^{0.3}, 1.7 \right]$$

$$B1 = 1.7$$

$$d = 9 \text{ cm} \quad d : \text{Desplazamiento de la subestructura}$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

Amortiguamiento de los aisladores, para modelar en el sap

**Estribos**

$$c1 := 2 \cdot \xi \cdot \sqrt{\frac{Kiso1 \cdot W1}{g}} \quad c1 = 2.423 \frac{\text{kip} \cdot \text{s}}{\text{in}}$$

**Pilas**

$$c2 := 2 \cdot \xi \cdot \sqrt{\frac{Kiso2 \cdot W2}{g}} \quad c2 = 5.014 \frac{\text{kip} \cdot \text{s}}{\text{in}}$$

# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

## AISLACION SISMICA DE PUENTES METODO: FPS (DESPLAZAMIENTO ASUMIDO 9 CM) ALTURA DE COLUMNA 4 M

El puente en estudio es uno recto de 2 luces, con tablero formado por vigas de presforzadas continuas y una losa de concreto reforzado. Las vigas se apoyan en estribos tipo asiento en los extremos y en 1 pila intermedia formada por 3 columnas y una viga cabezal.

### Sección A

#### Paso A.1: Datos

$m := 3$        $m$  : Número de apoyos  
 $n := 4$        $n$  : Número de vigas por apoyo  
 $skew := 0$        $skew$  : ángulo de esviajamiento  
 $ncol := 3$        $ncol$  : número de columnas en apoyos intermedios

$W1 := 325.28 \text{ kip}$        $W1$  : peso de la superestructura en estribo 1  
 $W2 := 650.56 \text{ kip}$        $W2$  : peso de la superestructura en pila 1  
 $W3 := 0 \text{ kip}$        $W3$  : peso de la superestructura en pila 2  
 $W4 := 325.28 \text{ kip}$        $W4$  : peso de la superestructura en estribo 2

$Wss := W1 + W2 + W3 + W4$        $Wss$  : Peso muerto de la superestructura  
 $Wss = 1301.12 \text{ kip}$

$Wpp := 36.63 \text{ kip}$        $Wpp$  : Peso de las pilas

$Weff := Wss + Wpp$        $Weff = 1337.75 \text{ kip}$

#### Rigidez de la pila, sentido longitudinal

$$E := 3605 \frac{\text{kip}}{\text{in}^2}$$

$$dcol := 55 \text{ cm}$$

$$Icol := \frac{\pi \cdot dcol^4}{64}$$

$$Icol = 1.079 \times 10^4 \text{ in}^4$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

$$L := 400 \text{ cm}$$

$$K_{\text{subp1}} := \frac{3 \cdot E \cdot I_{\text{col}}}{L^3}$$

$$K_{\text{subp1}} = 29.884 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{\text{subp1}} = 223.88 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{\text{subp2}} := 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$K_{\text{subp1}}$  ,  $K_{\text{subp2}}$  : Rigidez de las pilas en ambas direcciones, se asume empotradas en las zapatas y comportamiento de curvatura simple

### Paso A.2: Peligro Sísmico

$$PGA = 0.40$$

$$S_i := 2$$

### Sección B

#### Análisis del puente en sentido longitudinal con carga sísmica.

En la mayoría de las aplicaciones, los sistemas de aislamiento deben ser rígidos para cargas no sísmicas, pero flexibles para cargas sísmicas aumentando por consiguiente el período fundamental de vibración. Como una consecuencia los aisladores presentan comportamiento bilineal.

Estrictamente hablando los métodos no lineales deben ser usados para los análisis. Pero un método común es usar resortes lineales equivalentes y amortiguamientos viscosos que representen a los aisladores, tal que métodos lineales sean utilizados para determinar la respuesta. Las propiedades equivalentes como  $K_{\text{isol}}$  (rigidez efectiva del aislador) son dependientes de los desplazamientos, pero estos al inicio del análisis no son conocidos y se requiere de un proceso iterativo.

#### B.1 Método Simplificado

En el método simplificado un modelo de un sistema de un grado de libertad con propiedades lineales equivalentes y amortiguamiento viscoso para representar los aisladores, es analizado iterativamente para estimar el desplazamiento de la superestructura y las propiedades requeridas para cada aislador necesarias para el comportamiento requerido.

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### B.1.1 Propiedades iniciales del sistema y desplazamientos

El concepto básico para usar aisladores sísmicos es que los elementos de una pila, columnas y viga cabezal, cuando se presente el sismo de diseño es que se comporten dentro del rango elástico.

Los únicos elementos que pueden presentar rótulas plásticas son las columnas, por lo tanto el máximo desplazamiento en ellas tal que no incurrieren en el rango inelástico es llegar a la fluencia.

Por lo tanto, el desplazamiento máximo que pueden presentar las columnas será el de fluencia. A continuación se detalla el cálculo del desplazamiento de fluencia en las columnas

$$\phi_y := 2.25 \frac{0.0021}{55\text{cm}}$$

$$\phi_y = 8.591 \times 10^{-3} \frac{1}{\text{m}}$$

$$H_{\text{columna}} := 400\text{cm}$$

$$d_y := \frac{\phi_y \cdot H_{\text{columna}}^2}{3}$$

$$d_y = 0.046 \text{ m}$$

$$d_{\text{sub1}} := d_y \quad \text{Desplazamiento de cedencia de las columnas}$$

$$d_{\text{sub1}} = 4.582 \text{ cm}$$

$$d := 9\text{cm} \quad \text{Desplazamiento total del sistema para evitar efectos P-Delta}$$

#### Qd : Resistencia característica

$$Q_d := 0.10 \cdot W_{SS} \quad Q_d = 130.112 \text{ kip}$$

$$Q_{d1} := Q_d \cdot \left( \frac{W_1}{W_{SS}} \right) \quad Q_{d1} = 32.528 \text{ kip}$$

$$Q_{d2} := Q_d \cdot \left( \frac{W_2}{W_{SS}} \right) \quad Q_{d2} = 65.056 \text{ kip}$$

$$Q_{d3} := Q_d \cdot \left( \frac{W_3}{W_{SS}} \right) \quad Q_{d3} = 0 \text{ kip}$$

$$Q_{d4} := Q_d \cdot \left( \frac{W_4}{W_{SS}} \right) \quad Q_{d4} = 32.528 \text{ kip}$$

**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

Rigidez Post-Elástica

$$K_d := 0.10 \frac{W_{ss}}{d} \quad K_d = 36.72 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

Rigidez Post-Elástica en los demás apoyos

$$K_{d1} := K_d \left( \frac{W_1}{W_{ss}} \right) \quad K_{d1} = 9.18 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{d2} := K_d \left( \frac{W_2}{W_{ss}} \right) \quad K_{d2} = 18.36 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{d3} := K_d \left( \frac{W_3}{W_{ss}} \right) \quad K_{d3} = 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{d4} := K_d \left( \frac{W_4}{W_{ss}} \right) \quad K_{d4} = 9.18 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{abut} := 10000 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$\alpha_1 := \frac{(K_{d1}) \cdot d + Q_{d1}}{(K_{abut}) \cdot d - Q_{d1}} \quad \alpha_1 = 1.838 \times 10^{-3}$$

$$\alpha_2 := \frac{(K_{d2}) \cdot d + Q_{d2}}{(K_{subp1}) \cdot d - Q_{d2}} \quad \alpha_2 = 0.179$$

$$\alpha_3 := \frac{(K_{d3}) \cdot d + Q_{d3}}{(K_{subp2}) \cdot d - Q_{d3}} \quad \alpha_3 = 0$$

$$\alpha_4 := \frac{(K_{d4}) \cdot d + Q_{d4}}{(K_{abut}) \cdot d - Q_{d4}} \quad \alpha_4 = 1.838 \times 10^{-3}$$

$$K_{eff1} := \frac{\alpha_1 \cdot (K_{abut})}{1 + \alpha_1} \quad K_{eff1} = 18.343 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{eff2} := \frac{\alpha_2 \cdot (K_{subp1})}{1 + \alpha_2} \quad K_{eff2} = 33.937 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{eff3} := \frac{\alpha_3 \cdot (K_{subp2})}{1 + \alpha_3} \quad K_{eff3} = 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{eff4} := \frac{\alpha_4 \cdot (K_{abut})}{1 + \alpha_4} \quad K_{eff4} = 18.343 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### B1.4 Rigidez efectiva

total

$$K_{eff} := K_{eff1} + K_{eff2} + K_{eff3} + K_{eff4}$$

$$K_{eff} = 70.624 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

### B1.5 Desplazamiento del aislador en cada apoyo

$$\text{diso1} := \frac{d}{1 + \alpha_1} \quad \text{diso1} = 8.983 \text{ cm}$$

$$\text{diso2} := \frac{d}{1 + \alpha_2} \quad \text{diso2} = 7.636 \text{ cm}$$

$$\text{diso3} := \frac{d}{1 + \alpha_3} \quad \text{diso3} = 9 \text{ cm}$$

$$\text{diso4} := \frac{d}{1 + \alpha_4} \quad \text{diso4} = 8.983 \text{ cm}$$

### B1.6 Rigidez del aislador en cada apoyo

$$K_{iso1} := \frac{Qd1}{\text{diso1}} + Kd1 \quad K_{iso1} = 18.377 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{iso2} := \frac{Qd2}{\text{diso2}} + Kd2 \quad K_{iso2} = 40.001 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{iso3} := \frac{Qd3}{\text{diso3}} + Kd3 \quad K_{iso3} = 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{iso4} := \frac{Qd4}{\text{diso4}} + Kd4 \quad K_{iso4} = 18.377 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

### B1.7 Desplazamiento de la subestructura en cada apoyo

$$\text{dsub1} := d - \text{diso1} \quad \text{dsub1} = 0.017 \text{ cm}$$

$$\text{dsub2} := d - \text{diso2} \quad \text{dsub2} = 1.364 \text{ cm}$$

$$\text{dsub3} := d - \text{diso3} \quad \text{dsub3} = 0 \text{ in}$$

$$\text{dsub4} := d - \text{diso4} \quad \text{dsub4} = 0.017 \text{ cm}$$



## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### B1.8 Carga lateral en cada subestructura

$$\begin{aligned}
 F_{sub1} &:= K_{abut} \cdot (d_{sub1}) & F_{sub1} &= 64.996 \text{ kip} \\
 F_{sub2} &:= K_{subp1} \cdot (d_{sub2}) & F_{sub2} &= 120.25 \text{ kip} \\
 F_{sub3} &:= K_{subp2} \cdot (d_{sub3}) & F_{sub3} &= 0 \text{ kip} \\
 F_{sub4} &:= K_{abut} \cdot (d_{sub4}) & F_{sub4} &= 64.996 \text{ kip}
 \end{aligned}$$

### B1.9 Fuerza cortante en las columnas

$$\begin{aligned}
 F_{col1} &:= \frac{F_{sub2}}{n_{col}} & F_{col1} &= 40.083 \text{ kip} \\
 F_{col2} &:= \frac{F_{sub3}}{n_{col}} & F_{col2} &= 0 \text{ kip}
 \end{aligned}$$

### B1.10 Período efectivo y amortiguamiento

$$T_{eff} := 2\pi \cdot \sqrt{\frac{W_{eff}}{g \cdot K_{eff}}}$$

$$T_{eff} = 1.392 \text{ s} \quad \text{Ok!!! Similar al Período efectivo asumido al inicio}$$

$\xi$  = Amortiguamiento equivalente

dy es el desplazamiento por cedencia del aislador, que normalmente es tan bajo que se lo considera despreciable. Para este primer paso iterativo, asumamos dy=0

$$\begin{aligned}
 \frac{dy}{\Delta W} &= 0 \\
 \xi &:= \frac{2 \cdot [Qd1 \cdot (diso1 - dy) + Qd2 \cdot (diso2 - dy) + Qd3 \cdot (diso3 - dy) + Qd4 \cdot (diso4 - dy)]}{\pi \cdot [K_{eff1} \cdot (diso1 + d_{sub1})^2 + K_{eff2} \cdot (diso2 + d_{sub2})^2 + K_{eff3} \cdot (diso3 + d_{sub3})^2 + K_{eff4} \cdot (diso4 + d_{sub4})^2]}
 \end{aligned}$$

$$\xi = 0.306$$

### B1.11 Factor de amortiguamiento

$$B1 := \text{if} \left[ \xi < 0.3, \left( \frac{\xi}{0.05} \right)^{0.3}, 1.7 \right]$$

$$B1 = 1.7$$

$$d = 9 \text{ cm} \quad d : \text{Desplazamiento de la subestructura}$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

Amortiguamiento de los aisladores, para modelar en el sap

Estribos

$$c1 := 2 \cdot \xi \cdot \sqrt{\frac{Kiso1 \cdot W1}{g}} \quad c1 = 2.405 \frac{\text{kip} \cdot \text{s}}{\text{in}}$$

Pilas

$$c2 := 2 \cdot \xi \cdot \sqrt{\frac{Kiso2 \cdot W2}{g}} \quad c2 = 5.018 \frac{\text{kip} \cdot \text{s}}{\text{in}}$$

# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

## AISLACION SISMICA DE PUENTES METODO: FPS (DESPLAZAMIENTO ASUMIDO 9 CM) ALTURA DE COLUMNA 4.5 M

El puente en estudio es uno recto de 2 luces, con tablero formado por vigas de presforzadas continuas y una losa de concreto reforzado. Las vigas se apoyan en estribos tipo asiento en los extremos y en 1 pila intermedia formada por 3 columnas y una viga cabezal.

### Sección A

#### Paso A.1: Datos

$m := 3$  m : Número de apoyos  
 $n := 4$  n : Número de vigas por apoyo  
 $skew := 0$  skew : ángulo de esviajamiento  
 $ncol := 3$  ncol : número de columnas en apoyos intermedios

$W1 := 325.28 \text{ kip}$  W1 : peso de la superestructura en estribo 1  
 $W2 := 650.56 \text{ kip}$  W2 : peso de la superestructura en pila 1  
 $W3 := 0 \text{ kip}$  W3 : peso de la superestructura en pila 2  
 $W4 := 325.28 \text{ kip}$  W4 : peso de la superestructura en estribo 2

$Wss := W1 + W2 + W3 + W4$  Wss : Peso muerto de la superestructura  
 $Wss = 1301.12 \text{ kip}$

$Wpp := 38.51 \text{ kip}$  Wpp : Peso de las pilas

$W_{eff} := Wss + Wpp$  W<sub>eff</sub> = 1339.63 kip

#### Rigidez de la pila, sentido longitudinal

$$E := 3605 \frac{\text{kip}}{\text{in}^2}$$

$$d_{col} := 55 \text{ cm}$$

$$I_{col} := \frac{\pi \cdot d_{col}^4}{64}$$

$$I_{col} = 1.079 \times 10^4 \text{ in}^4$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

$$L := 450 \text{ cm}$$

$$K_{\text{subp1}} := \frac{3 \cdot E \cdot I_{\text{col}}}{L^3}$$

$$K_{\text{subp1}} = 20.988 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{\text{subp1}} = 191.0828 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{\text{subp2}} := 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$K_{\text{subp1}}$ ,  $K_{\text{subp2}}$  : Rigidez de las pilas en ambas direcciones, se asume empotradas en las zapatas y comportamiento de curvatura simple

### Paso A.2: Peligro Sísmico

$$\text{PGA} := 0.40$$

$$S_i := 2$$

### Sección B

#### Análisis del puente en sentido longitudinal con carga sísmica.

En la mayoría de las aplicaciones, los sistemas de aislamiento deben ser rígidos para cargas no sísmicas, pero flexibles para cargas sísmicas aumentando por consiguiente el periodo fundamental de vibración. Como una consecuencia los aisladores presentan comportamiento bilineal.

Estrictamente hablando los métodos no lineales deben ser usados para los análisis. Pero un método común es usar resortes lineales equivalentes y amortiguamientos viscosos que representen a los aisladores, tal que métodos lineales sean utilizados para determinar la respuesta.

Las propiedades equivalentes como  $K_{\text{isol}}$  (rigidez efectiva del aislador) son dependientes de los desplazamientos, pero estos al inicio del análisis no son conocidos y se requiere de un proceso iterativo.

#### B.1 Método Simplificado

En el método simplificado un modelo de un sistema de un grado de libertad con propiedades lineales equivalentes y amortiguamiento viscoso para representar los aisladores, es analizado iterativamente para estimar el desplazamiento de la superestructura y las propiedades requeridas para cada aislador necesarias para el comportamiento requerido.

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### B.1.1 Propiedades iniciales del sistema y desplazamientos

El concepto básico para usar aisladores sísmicos es que los elementos de una pila, columnas y viga cabezal, cuando se presente el sismo de diseño es que se comporten dentro del rango elástico.

Los únicos elementos que pueden presentar rótulas plásticas son las columnas, por lo tanto el máximo desplazamiento en ellas tal que no incurrieren en el rango inelástico es llegar a la fluencia.

Por lo tanto, el desplazamiento máximo que pueden presentar las columnas será el de fluencia. A continuación se detalla el cálculo del desplazamiento de fluencia en las columnas

$$\phi_y := 2.25 \frac{0.0021}{55 \text{ cm}}$$

$$\phi_y = 8.591 \times 10^{-5} \frac{1}{\text{m}}$$

$$H_{\text{columna}} := 450 \text{ cm}$$

$$d_y := \frac{\phi_y \cdot H_{\text{columna}}^2}{3}$$

$$d_y = 0.058 \text{ m}$$

$$d_{\text{sub1}} := d_y \quad \text{Desplazamiento de cedencia de las columnas}$$

$$d_{\text{sub1}} = 5.799 \text{ cm}$$

$$d := 9 \text{ cm} \quad \text{Desplazamiento total del sistema para evitar efectos P-Delta}$$

#### Qd : Resistencia característica

$$Q_d := 0.10 \cdot W_{SS} \quad Q_d = 130.112 \text{ kip}$$

$$Q_{d1} := Q_d \left( \frac{W1}{W_{SS}} \right) \quad Q_{d1} = 32.528 \text{ kip}$$

$$Q_{d2} := Q_d \left( \frac{W2}{W_{SS}} \right) \quad Q_{d2} = 65.056 \text{ kip}$$

$$Q_{d3} := Q_d \left( \frac{W3}{W_{SS}} \right) \quad Q_{d3} = 0 \text{ kip}$$

$$Q_{d4} := Q_d \left( \frac{W4}{W_{SS}} \right) \quad Q_{d4} = 32.528 \text{ kip}$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### Rigidez Post-Elástica

$$K_d := 0.10 \frac{W_{ss}}{d} \quad K_d = 36.72 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

### Rigidez Post-Elástica en los demás apoyos

$$K_{d1} := K_d \left( \frac{W1}{W_{ss}} \right) \quad K_{d1} = 9.18 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{d2} := K_d \left( \frac{W2}{W_{ss}} \right) \quad K_{d2} = 18.36 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{d3} := K_d \left( \frac{W3}{W_{ss}} \right) \quad K_{d3} = 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{d4} := K_d \left( \frac{W4}{W_{ss}} \right) \quad K_{d4} = 9.18 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{abut} := 10000 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$\alpha_1 := \frac{(K_{d1}) \cdot d + Q_{d1}}{(K_{abut}) \cdot d - Q_{d1}} \quad \alpha_1 = 1.838 \times 10^{-3}$$

$$\alpha_2 := \frac{(K_{d2}) \cdot d + Q_{d2}}{(K_{subp1}) \cdot d - Q_{d2}} \quad \alpha_2 = 0.213$$

$$\alpha_3 := \frac{(K_{d3}) \cdot d + Q_{d3}}{(K_{subp2}) \cdot d - Q_{d3}} \quad \alpha_3 = 0$$

$$\alpha_4 := \frac{(K_{d4}) \cdot d + Q_{d4}}{(K_{abut}) \cdot d - Q_{d4}} \quad \alpha_4 = 1.838 \times 10^{-3}$$

$$K_{eff1} := \frac{\alpha_1 \cdot (K_{abut})}{1 + \alpha_1} \quad K_{eff1} = 18.343 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{eff2} := \frac{\alpha_2 \cdot (K_{subp1})}{1 + \alpha_2} \quad K_{eff2} = 33.501 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{eff3} := \frac{\alpha_3 \cdot (K_{subp2})}{1 + \alpha_3} \quad K_{eff3} = 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{eff4} := \frac{\alpha_4 \cdot (K_{abut})}{1 + \alpha_4} \quad K_{eff4} = 18.343 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### B1.4 Rigidez efectiva total

$$K_{eff} := K_{eff1} + K_{eff2} + K_{eff3} + K_{eff4}$$

$$K_{eff} = 70.188 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

### B1.5 Desplazamiento del aislador en cada apoyo

$$\text{diso1} := \frac{d}{1 + \alpha_1} \quad \text{diso1} = 8.983 \text{ cm}$$

$$\text{diso2} := \frac{d}{1 + \alpha_2} \quad \text{diso2} = 7.422 \text{ cm}$$

$$\text{diso3} := \frac{d}{1 + \alpha_3} \quad \text{diso3} = 9 \text{ cm}$$

$$\text{diso4} := \frac{d}{1 + \alpha_4} \quad \text{diso4} = 8.983 \text{ cm}$$

### B1.6 Rigidez del aislador en cada apoyo

$$K_{iso1} := \frac{Qd1}{\text{diso1}} + Kd1 \quad K_{iso1} = 18.377 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{iso2} := \frac{Qd2}{\text{diso2}} + Kd2 \quad K_{iso2} = 40.624 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{iso3} := \frac{Qd3}{\text{diso3}} + Kd3 \quad K_{iso3} = 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{iso4} := \frac{Qd4}{\text{diso4}} + Kd4 \quad K_{iso4} = 18.377 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

### B1.7 Desplazamiento de la subestructura en cada apoyo

$$\text{dsub1} := d - \text{diso1} \quad \text{dsub1} = 0.017 \text{ cm}$$

$$\text{dsub2} := d - \text{diso2} \quad \text{dsub2} = 1.578 \text{ cm}$$

$$\text{dsub3} := d - \text{diso3} \quad \text{dsub3} = 0 \text{ in}$$

$$\text{dsub4} := d - \text{diso4} \quad \text{dsub4} = 0.017 \text{ cm}$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### B1.8 Carga lateral en cada subestructura

$$\begin{aligned}
 F_{sub1} &:= K_{abut} \cdot (d_{sub1}) & F_{sub1} &= 64,996 \text{ kip} \\
 F_{sub2} &:= K_{subp1} \cdot (d_{sub2}) & F_{sub2} &= 118,706 \text{ kip} \\
 F_{sub3} &:= K_{subp2} \cdot (d_{sub3}) & F_{sub3} &= 0 \text{ kip} \\
 F_{sub4} &:= K_{abut} \cdot (d_{sub4}) & F_{sub4} &= 64,996 \text{ kip}
 \end{aligned}$$

### B1.9 Fuerza cortante en las columnas

$$\begin{aligned}
 F_{col1} &:= \frac{F_{sub2}}{n_{col}} & F_{col1} &= 39,569 \text{ kip} \\
 F_{col2} &:= \frac{F_{sub3}}{n_{col}} & F_{col2} &= 0 \text{ kip}
 \end{aligned}$$

### B1.10 Período efectivo y amortiguamiento

$$T_{eff} := 2\pi \sqrt{\frac{W_{eff}}{g \cdot K_{eff}}}$$

$$T_{eff} = 1,397 \text{ s} \quad \text{Ok!!! Similar al Período efectivo asumido al inicio}$$

$\xi$  = Amortiguamiento equivalente

$dy$  es el desplazamiento por cedencia del aislador, que normalmente es tan bajo que se lo considera despreciable. Para este primer paso iterativo, asumamos  $dy=0$

$$\begin{aligned}
 \frac{dy}{d_{sub}} &= 0 \\
 \xi &:= \frac{2 \cdot [Qd1 \cdot (d_{iso1} - dy) + Qd2 \cdot (d_{iso2} - dy) + Qd3 \cdot (d_{iso3} - dy) + Qd4 \cdot (d_{iso4} - dy)]}{\pi \left[ K_{eff1} \cdot (d_{iso1} + d_{sub1})^2 + K_{eff2} \cdot (d_{iso2} + d_{sub2})^2 + K_{eff3} \cdot (d_{iso3} + d_{sub3})^2 + K_{eff4} \cdot (d_{iso4} + d_{sub4})^2 \right]}
 \end{aligned}$$

$$\xi = 0,304$$

### B1.11 Factor de amortiguamiento

$$BI := \text{if} \left[ \xi < 0,3, \left( \frac{\xi}{0,05} \right)^{0,3}, 1,7 \right]$$

$$BI = 1,7$$

$$d = 9 \text{ cm} \quad d : \text{Desplazamiento de la subestructura}$$



## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

Amortiguamiento de los aisladores, para modelar en el sap

Estribos

$$c1 := 2 \cdot \xi \cdot \sqrt{\frac{Kiso1 \cdot W1}{g}} \quad c1 = 2.389 \frac{\text{kip} \cdot \text{s}}{\text{in}}$$

Pilas

$$c2 := 2 \cdot \xi \cdot \sqrt{\frac{Kiso2 \cdot W2}{g}} \quad c2 = 5.023 \frac{\text{kip} \cdot \text{s}}{\text{in}}$$

# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

## AISLACION SISMICA DE PUENTES METODO: FPS (DESPLAZAMIENTO ASUMIDO 9 CM) ALTURA DE COLUMNA 5 M

El puente en estudio es uno recto de 2 luces, con tablero formado por vigas de presforzadas continuas y una losa de concreto reforzado. Las vigas se apoyan en estribos tipo asiento en los extremos y en 1 pila intermedia formada por 3 columnas y una viga cabezal.

### Sección A

Paso A.1: Datos

$m := 3$        $m$  : Número de apoyos  
 $n := 4$        $n$  : Número de vigas por apoyo  
 $skew := 0$       skew : ángulo de esviajamiento  
 $ncol := 3$       ncol : número de columnas en apoyos intermedios

$W1 := 325.28 \text{ kip}$        $W1$  : peso de la superestructura en estribo 1  
 $W2 := 650.56 \text{ kip}$        $W2$  : peso de la superestructura en pila 1  
 $W3 := 0 \text{ kip}$        $W3$  : peso de la superestructura en pila 2  
 $W4 := 325.28 \text{ kip}$        $W4$  : peso de la superestructura en estribo 2

$W_{ss} := W1 + W2 + W3 + W4$        $W_{ss}$  : Peso muerto de la superestructura  
 $W_{ss} = 1301.12 \text{ kip}$

$W_{pp} := 40.40 \text{ kip}$        $W_{pp}$  : Peso de las pilas

$W_{eff} := W_{ss} + W_{pp}$        $W_{eff} = 1341.52 \text{ kip}$

Rigidez de la pila, sentido longitudinal

$$E := 3605 \frac{\text{kip}}{\text{in}^2}$$

$$d_{col} := 55 \text{ cm}$$

$$I_{col} := \frac{\pi \cdot d_{col}^4}{64}$$

$$I_{col} = 1.079 \times 10^4 \text{ in}^4$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

$$L := 500 \text{ cm}$$

$$K_{\text{subp1}} := \frac{3 \cdot E \cdot I_{\text{col}}}{L^3}$$

$$K_{\text{subp1}} = 15.3 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{\text{subp1}} := 168.54 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{\text{subp2}} := 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$K_{\text{subp1}}$  ,  $K_{\text{subp2}}$  : Rigidez de las pilas en ambas direcciones, se asume empotradas en las zapatas y comportamiento de curvatura simple

### Paso A.2: Peligro Sísmico

$$PGA := 0.40$$

$$SI := 2$$

## Sección B

### Análisis del puente en sentido longitudinal con carga sísmica.

En la mayoría de las aplicaciones, los sistemas de aislamiento deben ser rígidos para cargas no sísmicas, pero flexibles para cargas sísmicas aumentando por consiguiente el período fundamental de vibración. Como una consecuencia los aisladores presentan comportamiento bilineal.

Estrictamente hablando los métodos no lineales deben ser usados para los análisis. Pero un método común es usar resortes lineales equivalentes y amortiguamientos viscosos que representen a los aisladores, tal que métodos lineales sean utilizados para determinar la respuesta. Las propiedades equivalentes como  $K_{\text{isol}}$  (rigidez efectiva del aislador) son dependientes de los desplazamientos, pero estos al inicio del análisis no son conocidos y se requiere de un proceso iterativo.

#### B.1 Método Simplificado

En el método simplificado un modelo de un sistema de un grado de libertad con propiedades lineales equivalentes y amortiguamiento viscoso para representar los aisladores, es analizado iterativamente para estimar el desplazamiento de la superestructura y las propiedades requeridas para cada aislador necesarias para el comportamiento requerido.

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### B.1.1 Propiedades iniciales del sistema y desplazamientos

El concepto básico para usar aisladores sísmicos es que los elementos de una pila, columnas y viga cabezal, cuando se presente el sismo de diseño es que se comporten dentro del rango elástico.

Los únicos elementos que pueden presentar rótulas plásticas son las columnas, por lo tanto el máximo desplazamiento en ellas tal que no incurrieren en el rango inelástico es llegar a la fluencia.

Por lo tanto, el desplazamiento máximo que pueden presentar las columnas será el de fluencia. A continuación se detalla el cálculo del desplazamiento de fluencia en las columnas

$$\phi_y := 2.25 \frac{0.0021}{5.5 \text{ cm}}$$

$$\phi_y = 8.591 \times 10^{-3} \frac{1}{\text{m}}$$

$$H_{\text{columna}} := 500 \text{ cm}$$

$$\delta_y := \frac{\phi_y \cdot H_{\text{columna}}^2}{3}$$

$$\delta_y = 0.072 \text{ m}$$

$$\delta_{\text{sub1}} := \delta_y \quad \text{Desplazamiento de cedencia de las columnas}$$

$$\delta_{\text{sub1}} = 7.159 \text{ cm}$$

$$d := 9 \text{ cm} \quad \text{Desplazamiento total del sistema para evitar efectos P-Delta}$$

#### Qd : Resistencia característica

$$Q_d := 0.10 \cdot W_{ss} \quad Q_d = 130.112 \text{ kip}$$

$$Q_{d1} := Q_d \cdot \left( \frac{W_1}{W_{ss}} \right) \quad Q_{d1} = 32.528 \text{ kip}$$

$$Q_{d2} := Q_d \cdot \left( \frac{W_2}{W_{ss}} \right) \quad Q_{d2} = 65.056 \text{ kip}$$

$$Q_{d3} := Q_d \cdot \left( \frac{W_3}{W_{ss}} \right) \quad Q_{d3} = 0 \text{ kip}$$

$$Q_{d4} := Q_d \cdot \left( \frac{W_4}{W_{ss}} \right) \quad Q_{d4} = 32.528 \text{ kip}$$

**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

Rigidez Post-Elastica

$$K_d := 0.10 \frac{W_{ss}}{d} \quad K_d = 36.72 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

Rigidez Post-Elastica en los demás apoyos

$$K_{d1} := K_d \cdot \left( \frac{W_1}{W_{ss}} \right) \quad K_{d1} = 9.18 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{d2} := K_d \cdot \left( \frac{W_2}{W_{ss}} \right) \quad K_{d2} = 18.36 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{d3} := K_d \cdot \left( \frac{W_3}{W_{ss}} \right) \quad K_{d3} = 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{d4} := K_d \cdot \left( \frac{W_4}{W_{ss}} \right) \quad K_{d4} = 9.18 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{abut} := 10000 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$\alpha_1 := \frac{(K_{d1}) \cdot d + Q_{d1}}{(K_{abut}) \cdot d - Q_{d1}} \quad \alpha_1 = 1.838 \times 10^{-3}$$

$$\alpha_2 := \frac{(K_{d2}) \cdot d + Q_{d2}}{(K_{subp1}) \cdot d - Q_{d2}} \quad \alpha_2 = 0.245$$

$$\alpha_3 := \frac{(K_{d3}) \cdot d + Q_{d3}}{(K_{subp2}) \cdot d - Q_{d3}} \quad \alpha_3 = 0$$

$$\alpha_4 := \frac{(K_{d4}) \cdot d + Q_{d4}}{(K_{abut}) \cdot d - Q_{d4}} \quad \alpha_4 = 1.838 \times 10^{-3}$$

$$K_{eff1} := \frac{\alpha_1 \cdot (K_{abut})}{1 + \alpha_1} \quad K_{eff1} = 18.343 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{eff2} := \frac{\alpha_2 \cdot (K_{subp1})}{1 + \alpha_2} \quad K_{eff2} = 33.113 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{eff3} := \frac{\alpha_3 \cdot (K_{subp2})}{1 + \alpha_3} \quad K_{eff3} = 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{eff4} := \frac{\alpha_4 \cdot (K_{abut})}{1 + \alpha_4} \quad K_{eff4} = 18.343 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### B1.4 Rigidez efectiva

total

$$K_{eff} := K_{eff1} + K_{eff2} + K_{eff3} + K_{eff4}$$

$$K_{eff} = 69.8 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

### B1.5 Desplazamiento del aislador en cada apoyo

$$\text{diso1} := \frac{d}{1 + \alpha_1} \quad \text{diso1} = 8.983 \text{ cm}$$

$$\text{diso2} := \frac{d}{1 + \alpha_2} \quad \text{diso2} = 7.232 \text{ cm}$$

$$\text{diso3} := \frac{d}{1 + \alpha_3} \quad \text{diso3} = 9 \text{ cm}$$

$$\text{diso4} := \frac{d}{1 + \alpha_4} \quad \text{diso4} = 8.983 \text{ cm}$$

### B1.6 Rigidez del aislador en cada apoyo

$$K_{iso1} := \frac{Qd1}{\text{diso1}} + Kd1 \quad K_{iso1} = 18.377 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{iso2} := \frac{Qd2}{\text{diso2}} + Kd2 \quad K_{iso2} = 41.21 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{iso3} := \frac{Qd3}{\text{diso3}} + Kd3 \quad K_{iso3} = 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{iso4} := \frac{Qd4}{\text{diso4}} + Kd4 \quad K_{iso4} = 18.377 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

### B1.7 Desplazamiento de la subestructura en cada apoyo

$$\text{dsub1} := d - \text{diso1} \quad \text{dsub1} = 0.017 \text{ cm}$$

$$\text{dsub2} := d - \text{diso2} \quad \text{dsub2} = 1.768 \text{ cm}$$

$$\text{dsub3} := d - \text{diso3} \quad \text{dsub3} = 0 \text{ in}$$

$$\text{dsub4} := d - \text{diso4} \quad \text{dsub4} = 0.017 \text{ cm}$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### B1.8 Carga lateral en cada subestructura

$$\begin{aligned}
 F_{sub1} &:= K_{abut} \cdot (d_{sub1}) & F_{sub1} &= 64,996 \text{ kip} \\
 F_{sub2} &:= K_{subp1} \cdot (d_{sub2}) & F_{sub2} &= 117,33 \text{ kip} \\
 F_{sub3} &:= K_{subp2} \cdot (d_{sub3}) & F_{sub3} &= 0 \text{ kip} \\
 F_{sub4} &:= K_{abut} \cdot (d_{sub4}) & F_{sub4} &= 64,996 \text{ kip}
 \end{aligned}$$

### B1.9 Fuerza cortante en las columnas

$$\begin{aligned}
 F_{col1} &:= \frac{F_{sub2}}{n_{col}} & F_{col1} &= 39,11 \text{ kip} \\
 F_{col2} &:= \frac{F_{sub3}}{n_{col}} & F_{col2} &= 0 \text{ kip}
 \end{aligned}$$

### B1.10 Período efectivo y amortiguamiento

$$T_{eff} := 2\pi \sqrt{\frac{W_{eff}}{g \cdot K_{eff}}}$$

$$T_{eff} = 1,402 \text{ s} \quad \text{Ok!!! Similar al Período efectivo asumido al inicio}$$

$\xi$  = Amortiguamiento equivalente

dy es el desplazamiento por cedencia del aislador, que normalmente es tan bajo que se lo considera despreciable. Para este primer paso iterativo, asumamos dy=0

$$dy := 0$$

$$\xi := \frac{2 \cdot [Qd1 \cdot (d_{iso1} - dy) + Qd2 \cdot (d_{iso2} - dy) + Qd3 \cdot (d_{iso3} - dy) + Qd4 \cdot (d_{iso4} - dy)]}{\pi \cdot [K_{eff1} \cdot (d_{iso1} + d_{sub1})^2 + K_{eff2} \cdot (d_{iso2} + d_{sub2})^2 + K_{eff3} \cdot (d_{iso3} + d_{sub3})^2 + K_{eff4} \cdot (d_{iso4} + d_{sub4})^2]}$$

$$\xi = 0,302$$

### B1.11 Factor de amortiguamiento

$$B1 := \text{if} \left[ \xi < 0,3, \left( \frac{\xi}{0,05} \right)^{0,3}, 1,7 \right]$$

$$B1 = 1,7$$

$$d = 9 \text{ cm} \quad d : \text{Desplazamiento de la subestructura}$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

Amortiguamiento de los aisladores, para modelar en el sap

Estribos

$$c1 := 2 \cdot \xi \cdot \sqrt{\frac{\text{Kiso1} \cdot W1}{g}} \quad c1 = 2.374 \frac{\text{kip} \cdot \text{s}}{\text{in}}$$

Pilas

$$c2 := 2 \cdot \xi \cdot \sqrt{\frac{\text{Kiso2} \cdot W2}{g}} \quad c2 = 5.028 \frac{\text{kip} \cdot \text{s}}{\text{in}}$$



# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

## AISLACION SISMICA DE PUENTES METODO: FPS (DESPLAZAMIENTO ASUMIDO 9 CM) ALTURA DE COLUMNA 5.5 M

El puente en estudio es uno recto de 2 luces, con tablero formado por vigas de presforzadas continuas y una losa de concreto reforzado. Las vigas se apoyan en estribos tipo asiento en los extremos y en 1 pila intermedia formada por 3 columnas y una viga cabezal.

### Sección A

#### Paso A.1: Datos

$m := 3$  m : Número de apoyos

$n := 4$  n : Número de vigas por apoyo

$skew := 0$  skew : ángulo de esviajamiento

$ncol := 3$  ncol : número de columnas en apoyos intermedios

$W1 := 325.28 \text{ kip}$  W1 : peso de la superestructura en estribo 1

$W2 := 650.56 \text{ kip}$  W2 : peso de la superestructura en pila 1

$W3 := 0 \text{ kip}$  W3 : peso de la superestructura en pila 2

$W4 := 325.28 \text{ kip}$  W4 : peso de la superestructura en estribo 2

$Wss := W1 + W2 + W3 + W4$  Wss : Peso muerto de la superestructura

$Wss = 1301.12 \text{ kip}$

$Wpp := 42.28 \text{ kip}$  Wpp : Peso de las pilas

$Weff := Wss + Wpp$  Weff = 1343.4 kip

Rigidez de la pila, sentido longitudinal

$$E := 3605 \frac{\text{kip}}{\text{in}^2}$$

$dcol := 55 \text{ cm}$

$$Icol := \frac{\pi \cdot dcol^4}{64}$$

$$Icol = 1.079 \times 10^4 \text{ in}^4$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

$$L_p := 550 \text{ cm}$$

$$K_{\text{subp1}} := \frac{3 \cdot E \cdot I_{\text{col}}}{L^3}$$

$$K_{\text{subp1}} = 11.495 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{\text{subp1}} := 152.28 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{\text{subp2}} := 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$K_{\text{subp1}}$ ,  $K_{\text{subp2}}$  : Rigidez de las pilas en ambas direcciones, se asume empotradas en las zapatas y comportamiento de curvatura simple

### Paso A.2: Peligro Sísmico

$$PGA := 0.40$$

$$S_i := 2$$

## Sección B

### Análisis del puente en sentido longitudinal con carga sísmica.

En la mayoría de las aplicaciones, los sistemas de aislamiento deben ser rígidos para cargas no sísmicas, pero flexibles para cargas sísmicas aumentando por consiguiente el período fundamental de vibración. Como una consecuencia los aisladores presentan comportamiento bilineal.

Estrictamente hablando los métodos no lineales deben ser usados para los análisis. Pero un método común es usar resortes lineales equivalentes y amortiguamientos viscosos que representen a los aisladores, tal que métodos lineales sean utilizados para determinar la respuesta.

Las propiedades equivalentes como  $K_{\text{isol}}$  (rigidez efectiva del aislador) son dependientes de los desplazamientos, pero estos al inicio del análisis no son conocidos y se requiere de un proceso iterativo.

#### B.1 Método Simplificado

En el método simplificado un modelo de un sistema de un grado de libertad con propiedades lineales equivalentes y amortiguamiento viscoso para representar los aisladores, es analizado iterativamente para estimar el desplazamiento de la superestructura y las propiedades requeridas para cada aislador necesarias para el comportamiento requerido.

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### B.1.1 Propiedades iniciales del sistema y desplazamientos

El concepto básico para usar aisladores sísmicos es que los elementos de una pila, columnas y viga cabezal, cuando se presente el sismo de diseño es que se comporten dentro del rango elástico.

Los únicos elementos que pueden presentar rótulas plásticas son las columnas, por lo tanto el máximo desplazamiento en ellas tal que no incurrieren en el rango inelástico es llegar a la fluencia.

Por lo tanto, el desplazamiento máximo que pueden presentar las columnas será el de fluencia. A continuación se detalla el cálculo del desplazamiento de fluencia en las columnas

$$\phi_y := 2.25 \frac{0.0021}{55\text{cm}}$$

$$\phi_y = 8.591 \times 10^{-3} \frac{1}{\text{m}}$$

$$H_{\text{columna}} := 550\text{cm}$$

$$d_y := \frac{\phi_y \cdot H_{\text{columna}}^2}{3}$$

$$d_y = 0.087\text{ m}$$

$$d_{\text{sub1}} := d_y \quad \text{Desplazamiento de cedencia de las columnas}$$

$$d_{\text{sub1}} = 8.662\text{ cm}$$

$$d := 9\text{cm} \quad \text{Desplazamiento total del sistema para evitar efectos P-Delta}$$

#### Qd : Resistencia característica

$$Q_d := 0.10 \cdot W_{ss} \quad Q_d = 130.112\text{ kip}$$

$$Q_{d1} := Q_d \cdot \left( \frac{W_1}{W_{ss}} \right) \quad Q_{d1} = 32.528\text{ kip}$$

$$Q_{d2} := Q_d \cdot \left( \frac{W_2}{W_{ss}} \right) \quad Q_{d2} = 65.056\text{ kip}$$

$$Q_{d3} := Q_d \cdot \left( \frac{W_3}{W_{ss}} \right) \quad Q_{d3} = 0\text{ kip}$$

$$Q_{d4} := Q_d \cdot \left( \frac{W_4}{W_{ss}} \right) \quad Q_{d4} = 32.528\text{ kip}$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### Rigidez Post-Elástica

$$K_d := 0.10 \cdot \frac{W_{SS}}{d} \quad K_d = 36.72 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

### Rigidez Post-Elástica en los demás apoyos

$$K_{d1} := K_d \cdot \left( \frac{W_1}{W_{SS}} \right) \quad K_{d1} = 9.18 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{d2} := K_d \cdot \left( \frac{W_2}{W_{SS}} \right) \quad K_{d2} = 18.36 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{d3} := K_d \cdot \left( \frac{W_3}{W_{SS}} \right) \quad K_{d3} = 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{d4} := K_d \cdot \left( \frac{W_4}{W_{SS}} \right) \quad K_{d4} = 9.18 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{abut} := 10000 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$\alpha_1 := \frac{(K_{d1}) \cdot d + Q_{d1}}{(K_{abut}) \cdot d - Q_{d1}} \quad \alpha_1 = 1.838 \times 10^{-3}$$

$$\alpha_2 := \frac{(K_{d2}) \cdot d + Q_{d2}}{(K_{subp1}) \cdot d - Q_{d2}} \quad \alpha_2 = 0.274$$

$$\alpha_3 := \frac{(K_{d3}) \cdot d + Q_{d3}}{(K_{subp2}) \cdot d - Q_{d3}} \quad \alpha_3 = 0$$

$$\alpha_4 := \frac{(K_{d4}) \cdot d + Q_{d4}}{(K_{abut}) \cdot d - Q_{d4}} \quad \alpha_4 = 1.838 \times 10^{-3}$$

$$K_{eff1} := \frac{\alpha_1 \cdot (K_{abut})}{1 + \alpha_1} \quad K_{eff1} = 18.343 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{eff2} := \frac{\alpha_2 \cdot (K_{subp1})}{1 + \alpha_2} \quad K_{eff2} = 32.77 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{eff3} := \frac{\alpha_3 \cdot (K_{subp2})}{1 + \alpha_3} \quad K_{eff3} = 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{eff4} := \frac{\alpha_4 \cdot (K_{abut})}{1 + \alpha_4} \quad K_{eff4} = 18.343 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### B1.4 Rigidez efectiva total

$$K_{eff} := K_{eff1} + K_{eff2} + K_{eff3} + K_{eff4}$$

$$K_{eff} = 69.456 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

### B1.5 Desplazamiento del aislador en cada apoyo

$$\text{diso1} := \frac{d}{1 + \alpha_1} \quad \text{diso1} = 8.983 \text{ cm}$$

$$\text{diso2} := \frac{d}{1 + \alpha_2} \quad \text{diso2} = 7.063 \text{ cm}$$

$$\text{diso3} := \frac{d}{1 + \alpha_3} \quad \text{diso3} = 9 \text{ cm}$$

$$\text{diso4} := \frac{d}{1 + \alpha_4} \quad \text{diso4} = 8.983 \text{ cm}$$

### B1.6 Rigidez del aislador en cada apoyo

$$K_{iso1} := \frac{Qd1}{\text{diso1}} + Kd1 \quad K_{iso1} = 18.377 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{iso2} := \frac{Qd2}{\text{diso2}} + Kd2 \quad K_{iso2} = 41.755 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{iso3} := \frac{Qd3}{\text{diso3}} + Kd3 \quad K_{iso3} = 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{iso4} := \frac{Qd4}{\text{diso4}} + Kd4 \quad K_{iso4} = 18.377 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

### B1.7 Desplazamiento de la subestructura en cada apoyo

$$d_{sub1} := d - \text{diso1} \quad d_{sub1} = 0.017 \text{ cm}$$

$$d_{sub2} := d - \text{diso2} \quad d_{sub2} = 1.937 \text{ cm}$$

$$d_{sub3} := d - \text{diso3} \quad d_{sub3} = 0 \text{ in}$$

$$d_{sub4} := d - \text{diso4} \quad d_{sub4} = 0.017 \text{ cm}$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### B1.8 Carga lateral en cada subestructura

$$\begin{aligned}
 F_{sub1} &:= K_{sub1} \cdot (d_{sub1}) & F_{sub1} &= 64,996 \text{ kip} \\
 F_{sub2} &:= K_{sub1} \cdot (d_{sub2}) & F_{sub2} &= 116,112 \text{ kip} \\
 F_{sub3} &:= K_{sub2} \cdot (d_{sub3}) & F_{sub3} &= 0 \text{ kip} \\
 F_{sub4} &:= K_{sub1} \cdot (d_{sub4}) & F_{sub4} &= 64,996 \text{ kip}
 \end{aligned}$$

### B1.9 Fuerza cortante en las columnas

$$\begin{aligned}
 F_{col1} &:= \frac{F_{sub2}}{n_{col}} & F_{col1} &= 38,704 \text{ kip} \\
 F_{col2} &:= \frac{F_{sub3}}{n_{col}} & F_{col2} &= 0 \text{ kip}
 \end{aligned}$$

### B1.10 Periodo efectivo y amortiguamiento

$$T_{eff} := 2\pi \cdot \sqrt{\frac{W_{eff}}{g \cdot K_{eff}}}$$

$$T_{eff} = 1,406 \text{ s} \quad \text{Ok!!! Similar al Periodo efectivo asumido al inicio}$$

$\xi$  = Amortiguamiento equivalente

$dy$  es el desplazamiento por cedencia del aislador, que normalmente es tan bajo que se lo considera despreciable. Para este primer paso iterativo, asumamos  $dy=0$

$$\begin{aligned}
 dy &:= 0 \\
 \xi &:= \frac{2 \cdot [Qd1 \cdot (diso1 - dy) + Qd2 \cdot (diso2 - dy) + Qd3 \cdot (diso3 - dy) + Qd4 \cdot (diso4 - dy)]}{\pi \cdot [K_{eff1} \cdot (diso1 + d_{sub1})^2 + K_{eff2} \cdot (diso2 + d_{sub2})^2 + K_{eff3} \cdot (diso3 + d_{sub3})^2 + K_{eff4} \cdot (diso4 + d_{sub4})^2]}
 \end{aligned}$$

$$\xi = 0,3$$

### B1.11 Factor de amortiguamiento

$$BI := \text{if} \left[ \xi < 0,3, \left( \frac{\xi}{0,05} \right)^{0,3}, 1,7 \right]$$

$$BI = 1,7$$

$$d = 9 \text{ cm} \quad d : \text{Desplazamiento de la subestructura}$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

Amortiguamiento de los aisladores, para modelar en el sap

Estribos

$$c1 := 2 \cdot \xi_1 \cdot \sqrt{\frac{Kiso1 \cdot W1}{g}} \quad c1 = 2.361 \frac{\text{kip} \cdot \text{s}}{\text{in}}$$

Pilas

$$c2 := 2 \cdot \xi_2 \cdot \sqrt{\frac{Kiso2 \cdot W2}{g}} \quad c2 = 5.034 \frac{\text{kip} \cdot \text{s}}{\text{in}}$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

$$L := 600\text{cm}$$

$$K_{\text{subp1}} := \frac{3 \cdot E \cdot I_{\text{col}}}{L^3}$$

$$K_{\text{subp1}} = 8.854 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{\text{subp1}} := 140.85 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{\text{subp2}} := 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$K_{\text{subp1}}$ ,  $K_{\text{subp2}}$  : Rigidez de las pilas en ambas direcciones, se asume empotradas en las zapatas y comportamiento de curvatura simple

### Paso A.2: Peligro Sísmico

$$PGA = 0.40$$

$$S_1 := 2$$

## Sección B

### Análisis del puente en sentido longitudinal con carga sísmica.

En la mayoría de las aplicaciones, los sistemas de aislamiento deben ser rígidos para cargas no sísmicas, pero flexibles para cargas sísmicas aumentando por consiguiente el período fundamental de vibración. Como una consecuencia los aisladores presentan comportamiento bilineal.

Estrictamente hablando los métodos no lineales deben ser usados para los análisis. Pero un método común es usar resortes lineales equivalentes y amortiguamientos viscosos que representen a los aisladores, tal que métodos lineales sean utilizados para determinar la respuesta. Las propiedades equivalentes como  $K_{\text{isol}}$  (rigidez efectiva del aislador) son dependientes de los desplazamientos, pero estos al inicio del análisis no son conocidos y se requiere de un proceso iterativo.

#### B.1 Método Simplificado

En el método simplificado un modelo de un sistema de un grado de libertad con propiedades lineales equivalentes y amortiguamiento viscoso para representar los aisladores, es analizado iterativamente para estimar el desplazamiento de la superestructura y las propiedades requeridas para cada aislador necesarias para el comportamiento requerido.



## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### B.1.1 Propiedades iniciales del sistema y desplazamientos

El concepto básico para usar aisladores sísmicos es que los elementos de una pila, columnas y viga cabezal, cuando se presente el sismo de diseño es que se comporten dentro del rango elástico.

Los únicos elementos que pueden presentar rótulas plásticas son las columnas, por lo tanto el máximo desplazamiento en ellas tal que no incurrieren en el rango inelástico es llegar a la fluencia.

Por lo tanto, el desplazamiento máximo que pueden presentar las columnas será el de fluencia. A continuación se detalla el cálculo del desplazamiento de fluencia en las columnas

$$\phi_y := 2.25 \cdot \frac{0.0021}{55 \text{ cm}}$$

$$\phi_y = 8.591 \times 10^{-3} \frac{1}{\text{m}}$$

$$H_{\text{columna}} := 600 \text{ cm}$$

$$d_y := \frac{\phi_y \cdot H_{\text{columna}}^2}{3}$$

$$d_y = 0.103 \text{ m}$$

$$d_{\text{sub1}} := d_y \quad \text{Desplazamiento de cedencia de las columnas}$$

$$d_{\text{sub1}} = 10.309 \text{ cm}$$

$$d := 9 \text{ cm} \quad \text{Desplazamiento total del sistema para evitar efectos P-Delta}$$

**Qd : Resistencia característica**

$$Q_d := 0.10 \cdot W_{ss} \quad Q_d = 130.112 \text{ kip}$$

$$Q_{d1} := Q_d \cdot \left( \frac{W_1}{W_{ss}} \right) \quad Q_{d1} = 32.528 \text{ kip}$$

$$Q_{d2} := Q_d \cdot \left( \frac{W_2}{W_{ss}} \right) \quad Q_{d2} = 65.056 \text{ kip}$$

$$Q_{d3} := Q_d \cdot \left( \frac{W_3}{W_{ss}} \right) \quad Q_{d3} = 0 \text{ kip}$$

$$Q_{d4} := Q_d \cdot \left( \frac{W_4}{W_{ss}} \right) \quad Q_{d4} = 32.528 \text{ kip}$$

**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

Rigidez Post-Elástica

$$K_d := 0.10 \frac{W_{ss}}{d} \quad K_d = 36.72 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

Rigidez Post-Elástica en los demás apoyos

$$K_{d1} := K_d \left( \frac{W1}{W_{ss}} \right) \quad K_{d1} = 9.18 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{d2} := K_d \left( \frac{W2}{W_{ss}} \right) \quad K_{d2} = 18.36 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{d3} := K_d \left( \frac{W3}{W_{ss}} \right) \quad K_{d3} = 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{d4} := K_d \left( \frac{W4}{W_{ss}} \right) \quad K_{d4} = 9.18 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{abut} = 10000 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$\alpha_1 := \frac{(K_{d1}) \cdot d + Q_{d1}}{(K_{abut}) \cdot d - Q_{d1}} \quad \alpha_1 = 1.838 \times 10^{-3}$$

$$\alpha_2 := \frac{(K_{d2}) \cdot d + Q_{d2}}{(K_{subp1}) \cdot d - Q_{d2}} \quad \alpha_2 = 0.3$$

$$\alpha_3 := \frac{(K_{d3}) \cdot d + Q_{d3}}{(K_{subp2}) \cdot d - Q_{d3}} \quad \alpha_3 = 0$$

$$\alpha_4 := \frac{(K_{d4}) \cdot d + Q_{d4}}{(K_{abut}) \cdot d - Q_{d4}} \quad \alpha_4 = 1.838 \times 10^{-3}$$

$$K_{eff1} := \frac{\alpha_1 \cdot (K_{abut})}{1 + \alpha_1} \quad K_{eff1} = 18.343 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{eff2} := \frac{\alpha_2 \cdot (K_{subp1})}{1 + \alpha_2} \quad K_{eff2} = 32.486 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{eff3} := \frac{\alpha_3 \cdot (K_{subp2})}{1 + \alpha_3} \quad K_{eff3} = 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{eff4} := \frac{\alpha_4 \cdot (K_{abut})}{1 + \alpha_4} \quad K_{eff4} = 18.343 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### B1.4 Rigidez efectiva

total

$$K_{eff} := K_{eff1} + K_{eff2} + K_{eff3} + K_{eff4}$$

$$K_{eff} = 69.173 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

### B1.5 Desplazamiento del aislador en cada apoyo

$$d_{iso1} := \frac{d}{1 + \alpha_1} \quad d_{iso1} = 8.983 \text{ cm}$$

$$d_{iso2} := \frac{d}{1 + \alpha_2} \quad d_{iso2} = 6.924 \text{ cm}$$

$$d_{iso3} := \frac{d}{1 + \alpha_3} \quad d_{iso3} = 9 \text{ cm}$$

$$d_{iso4} := \frac{d}{1 + \alpha_4} \quad d_{iso4} = 8.983 \text{ cm}$$

### B1.6 Rigidez del aislador en cada apoyo

$$K_{iso1} := \frac{Qd1}{d_{iso1}} + Kd1 \quad K_{iso1} = 18.377 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{iso2} := \frac{Qd2}{d_{iso2}} + Kd2 \quad K_{iso2} = 42.225 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{iso3} := \frac{Qd3}{d_{iso3}} + Kd3 \quad K_{iso3} = 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{iso4} := \frac{Qd4}{d_{iso4}} + Kd4 \quad K_{iso4} = 18.377 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

### B1.7 Desplazamiento de la subestructura en cada apoyo

$$d_{sub1} := d - d_{iso1} \quad d_{sub1} = 0.017 \text{ cm}$$

$$d_{sub2} := d - d_{iso2} \quad d_{sub2} = 2.076 \text{ cm}$$

$$d_{sub3} := d - d_{iso3} \quad d_{sub3} = 0 \text{ in}$$

$$d_{sub4} := d - d_{iso4} \quad d_{sub4} = 0.017 \text{ cm}$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### B1.8 Carga lateral en cada subestructura

$$\begin{aligned}
 F_{sub1} &:= K_{abut} \cdot (d_{sub1}) & F_{sub1} &= 64.996 \text{ kip} \\
 F_{sub2} &:= K_{subp1} \cdot (d_{sub2}) & F_{sub2} &= 115.107 \text{ kip} \\
 F_{sub3} &:= K_{subp2} \cdot (d_{sub3}) & F_{sub3} &= 0 \text{ kip} \\
 F_{sub4} &:= K_{abut} \cdot (d_{sub4}) & F_{sub4} &= 64.996 \text{ kip}
 \end{aligned}$$

### B1.9 Fuerza cortante en las columnas

$$\begin{aligned}
 F_{col1} &:= \frac{F_{sub2}}{n_{col}} & F_{col1} &= 38.369 \text{ kip} \\
 F_{col2} &:= \frac{F_{sub3}}{n_{col}} & F_{col2} &= 0 \text{ kip}
 \end{aligned}$$

### B1.10 Período efectivo y amortiguamiento

$$T_{eff} := 2\pi \sqrt{\frac{W_{eff}}{g \cdot K_{eff}}}$$

$$T_{eff} = 1.41 \text{ s} \quad \text{Ok!!! Similar al Período efectivo asumido al inicio}$$

$\xi$  = Amortiguamiento equivalente

$dy$  es el desplazamiento por cedencia del aislador, que normalmente es tan bajo que se lo considera despreciable. Para este primer paso iterativo, asumamos  $dy=0$

$$\begin{aligned}
 \frac{dy}{n_{ov}} &:= 0 \\
 \xi &:= \frac{2 \cdot [Qd1 \cdot (diso1 - dy) + Qd2 \cdot (diso2 - dy) + Qd3 \cdot (diso3 - dy) + Qd4 \cdot (diso4 - dy)]}{\pi \cdot [K_{eff1} \cdot (diso1 + d_{sub1})^2 + K_{eff2} \cdot (diso2 + d_{sub2})^2 + K_{eff3} \cdot (diso3 + d_{sub3})^2 + K_{eff4} \cdot (diso4 + d_{sub4})^2]}
 \end{aligned}$$

$$\xi = 0.299$$

### B1.11 Factor de amortiguamiento

$$BI := \text{if} \left[ \xi < 0.3, \left( \frac{\xi}{0.05} \right)^{0.3}, 1.7 \right]$$

$$BI = 1.709$$

$$d = 9 \text{ cm} \quad d : \text{Desplazamiento de la subestructura}$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

Amortiguamiento de los aisladores, para modelar en el sap

Estribos

$$c1 := 2 \cdot \xi \cdot \sqrt{\frac{Kiso1 \cdot W1}{g}} \quad c1 = 2.35 \frac{\text{kip} \cdot \text{s}}{\text{in}}$$

Pilas

$$c2 := 2 \cdot \xi \cdot \sqrt{\frac{Kiso2 \cdot W2}{g}} \quad c2 = 5.039 \frac{\text{kip} \cdot \text{s}}{\text{in}}$$

# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

## ASLACION SISMICA DE PUENTES METODO: FPS (DESPLAZAMIENTO ASUMIDO 9 CM) ALTURA DE COLUMNA 6.5 M

El puente en estudio es uno recto de 2 luces, con tablero formado por vigas de presforzadas continuas y una losa de concreto reforzado. Las vigas se apoyan en estribos tipo asiento en los extremos y en 1 pila intermedia formada por 3 columnas y una viga cabezal.

### Sección A

#### Paso A.1: Datos

$m := 3$        $m$  : Número de apoyos  
 $n := 4$        $n$  : Número de vigas por apoyo  
 $skew := 0$       skew : ángulo de esviajamiento  
 $ncol := 3$       ncol : número de columnas en apoyos intermedios

$W1 := 325.28 \text{ kip}$        $W1$  : peso de la superestructura en estribo 1  
 $W2 := 650.56 \text{ kip}$        $W2$  : peso de la superestructura en pila 1  
 $W3 := 0 \text{ kip}$        $W3$  : peso de la superestructura en pila 2  
 $W4 := 325.28 \text{ kip}$        $W4$  : peso de la superestructura en estribo 2

$Wss := W1 + W2 + W3 + W4$        $Wss$  : Peso muerto de la superestructura  
 $Wss = 1301.12 \text{ kip}$

$Wpp := 46.05 \text{ kip}$        $Wpp$  : Peso de las pilas

$Wef := Wss + Wpp$        $Wef = 1347.17 \text{ kip}$

#### Rigidez de la pila, sentido longitudinal

$E := 3605 \frac{\text{kip}}{\text{in}^2}$

$dcol := 55 \text{ cm}$

$Icol := \frac{\pi \cdot dcol^4}{64}$

$Icol = 1.079 \times 10^4 \text{ in}^4$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

$$L_{col} := 650 \text{ cm}$$

$$K_{subp1} := \frac{3 \cdot E \cdot I_{col}}{L^3}$$

$$K_{subp1} = 6.964 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{subp1} := 138.25 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{subp2} := 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$K_{subp1}$ ,  $K_{subp2}$  : Rigidez de las pilas en ambas direcciones, se asume empotradas en las zapatas y comportamiento de curvatura simple

### Paso A.2: Peligro Sísmico

$$PGA := 0.40$$

$$S_i := 2$$

### Sección B

#### Análisis del puente en sentido longitudinal con carga sísmica.

En la mayoría de las aplicaciones, los sistemas de aislamiento deben ser rígidos para cargas no sísmicas, pero flexibles para cargas sísmicas aumentando por consiguiente el período fundamental de vibración. Como una consecuencia los aisladores presentan comportamiento bilineal.

Estrictamente hablando los métodos no lineales deben ser usados para los análisis. Pero un método común es usar resortes lineales equivalentes y amortiguamientos viscosos que representen a los aisladores, tal que métodos lineales sean utilizados para determinar la respuesta. Las propiedades equivalentes como  $K_{isol}$  (rigidez efectiva del aislador) son dependientes de los desplazamientos, pero estos al inicio del análisis no son conocidos y se requiere de un proceso iterativo.

#### B.1 Método Simplificado

En el método simplificado un modelo de un sistema de un grado de libertad con propiedades lineales equivalentes y amortiguamiento viscoso para representar los aisladores, es analizado iterativamente para estimar el desplazamiento de la superestructura y las propiedades requeridas para cada aislador necesarias para el comportamiento requerido.

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### B.1.1 Propiedades iniciales del sistema y desplazamientos

El concepto básico para usar aisladores sísmicos es que los elementos de una pila, columnas y viga cabezal, cuando se presente el sismo de diseño es que se comporten dentro del rango elástico.

Los únicos elementos que pueden presentar rótulas plásticas son las columnas, por lo tanto el máximo desplazamiento en ellas tal que no incurrieren en el rango inelástico es llegar a la fluencia.

Por lo tanto, el desplazamiento máximo que pueden presentar las columnas será el de fluencia. A continuación se detalla el cálculo del desplazamiento de fluencia en las columnas

$$\phi_y := 2.25 \cdot \frac{0.0021}{55\text{cm}}$$

$$\phi_y = 8.591 \times 10^{-3} \frac{1}{\text{m}}$$

$$H_{\text{columna}} := 650\text{cm}$$

$$d_y := \frac{\phi_y \cdot H_{\text{columna}}^2}{3}$$

$$d_y = 0.121 \text{ m}$$

$d_{\text{sub1}} := d_y$       Desplazamiento de cedencia de las columnas

$$d_{\text{sub1}} = 12.099 \text{ cm}$$

$d := 9\text{cm}$       Desplazamiento total del sistema para evitar efectos P-Delta

**Qd : Resistencia característica**

$$Q_d := 0.10 \cdot W_{ss} \quad Q_d = 130.112 \text{ kip}$$

$$Q_{d1} := Q_d \left( \frac{W1}{W_{ss}} \right) \quad Q_{d1} = 32.528 \text{ kip}$$

$$Q_{d2} := Q_d \left( \frac{W2}{W_{ss}} \right) \quad Q_{d2} = 65.056 \text{ kip}$$

$$Q_{d3} := Q_d \left( \frac{W3}{W_{ss}} \right) \quad Q_{d3} = 0 \text{ kip}$$

$$Q_{d4} := Q_d \left( \frac{W4}{W_{ss}} \right) \quad Q_{d4} = 32.528 \text{ kip}$$



**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

Rigidez Post-Elástica

$$K_d := 0.10 \frac{W_{ss}}{d} \quad K_d = 36.72 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

Rigidez Post-Elástica en los demás apoyos

$$K_{d1} := K_d \cdot \left( \frac{W_1}{W_{ss}} \right) \quad K_{d1} = 9.18 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{d2} := K_d \cdot \left( \frac{W_2}{W_{ss}} \right) \quad K_{d2} = 18.36 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{d3} := K_d \cdot \left( \frac{W_3}{W_{ss}} \right) \quad K_{d3} = 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{d4} := K_d \cdot \left( \frac{W_4}{W_{ss}} \right) \quad K_{d4} = 9.18 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{abut} := 10000 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$\alpha_1 := \frac{(K_{d1}) \cdot d + Q_{d1}}{(K_{abut}) \cdot d - Q_{d1}} \quad \alpha_1 = 1.838 \times 10^{-3}$$

$$\alpha_2 := \frac{(K_{d2}) \cdot d + Q_{d2}}{(K_{subp1}) \cdot d - Q_{d2}} \quad \alpha_2 = 0.306$$

$$\alpha_3 := \frac{(K_{d3}) \cdot d + Q_{d3}}{(K_{subp2}) \cdot d - Q_{d3}} \quad \alpha_3 = 0$$

$$\alpha_4 := \frac{(K_{d4}) \cdot d + Q_{d4}}{(K_{abut}) \cdot d - Q_{d4}} \quad \alpha_4 = 1.838 \times 10^{-3}$$

$$K_{eff1} := \frac{\alpha_1 \cdot (K_{abut})}{1 + \alpha_1} \quad K_{eff1} = 18.343 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{eff2} := \frac{\alpha_2 \cdot (K_{subp1})}{1 + \alpha_2} \quad K_{eff2} = 32.416 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{eff3} := \frac{\alpha_3 \cdot (K_{subp2})}{1 + \alpha_3} \quad K_{eff3} = 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{eff4} := \frac{\alpha_4 \cdot (K_{abut})}{1 + \alpha_4} \quad K_{eff4} = 18.343 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### B1.4 Rigidez efectiva total

$$K_{eff} := K_{eff1} + K_{eff2} + K_{eff3} + K_{eff4}$$

$$K_{eff} = 69,102 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

### B1.5 Desplazamiento del aislador en cada apoyo

$$diso1 := \frac{d}{1 + \alpha1} \quad diso1 = 8.983 \text{ cm}$$

$$diso2 := \frac{d}{1 + \alpha2} \quad diso2 = 6.89 \text{ cm}$$

$$diso3 := \frac{d}{1 + \alpha3} \quad diso3 = 9 \text{ cm}$$

$$diso4 := \frac{d}{1 + \alpha4} \quad diso4 = 8.983 \text{ cm}$$

### B1.6 Rigidez del aislador en cada apoyo

$$Kiso1 := \frac{Qd1}{diso1} + Kd1 \quad Kiso1 = 18,377 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$Kiso2 := \frac{Qd2}{diso2} + Kd2 \quad Kiso2 = 42,344 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$Kiso3 := \frac{Qd3}{diso3} + Kd3 \quad Kiso3 = 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$Kiso4 := \frac{Qd4}{diso4} + Kd4 \quad Kiso4 = 18,377 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

### B1.7 Desplazamiento de la subestructura en cada apoyo

$$d_{sub1} := d - diso1 \quad d_{sub1} = 0.017 \text{ cm}$$

$$d_{sub2} := d - diso2 \quad d_{sub2} = 2.11 \text{ cm}$$

$$d_{sub3} := d - diso3 \quad d_{sub3} = 0 \text{ in}$$

$$d_{sub4} := d - diso4 \quad d_{sub4} = 0.017 \text{ cm}$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### B1.8 Carga lateral en cada subestructura

$$\begin{aligned}
 F_{sub1} &:= K_{abut} \cdot (d_{sub1}) & F_{sub1} &= 64.996 \text{ kip} \\
 F_{sub2} &:= K_{subp1} \cdot (d_{sub2}) & F_{sub2} &= 114.858 \text{ kip} \\
 F_{sub3} &:= K_{subp2} \cdot (d_{sub3}) & F_{sub3} &= 0 \text{ kip} \\
 F_{sub4} &:= K_{abut} \cdot (d_{sub4}) & F_{sub4} &= 64.996 \text{ kip}
 \end{aligned}$$

### B1.9 Fuerza cortante en las columnas

$$\begin{aligned}
 F_{col1} &:= \frac{F_{sub2}}{n_{col}} & F_{col1} &= 38.286 \text{ kip} \\
 F_{col2} &:= \frac{F_{sub3}}{n_{col}} & F_{col2} &= 0 \text{ kip}
 \end{aligned}$$

### B1.10 Período efectivo y amortiguamiento

$$T_{eff} := 2\pi \sqrt{\frac{W_{eff}}{g \cdot K_{eff}}}$$

$$T_{eff} = 1.412 \text{ s} \quad \text{Ok!!! Similar al Período efectivo asumido al inicio}$$

$\xi$  = Amortiguamiento equivalente

$d_y$  es el desplazamiento por cedencia del aislador, que normalmente es tan bajo que se lo considera despreciable. Para este primer paso iterativo, asumamos  $d_y=0$

$$\frac{d_y}{W} = 0$$

$$\xi := \frac{2 \cdot [Qd1 \cdot (d_{iso1} - d_y) + Qd2 \cdot (d_{iso2} - d_y) + Qd3 \cdot (d_{iso3} - d_y) + Qd4 \cdot (d_{iso4} - d_y)]}{\pi \cdot [K_{eff1} \cdot (d_{iso1} + d_{sub1})^2 + K_{eff2} \cdot (d_{iso2} + d_{sub2})^2 + K_{eff3} \cdot (d_{iso3} + d_{sub3})^2 + K_{eff4} \cdot (d_{iso4} + d_{sub4})^2]}$$

$$\xi = 0.298$$

### B1.11 Factor de amortiguamiento

$$B1 := \text{if} \left[ \xi < 0.3, \left( \frac{\xi}{0.05} \right)^{0.3}, 1.7 \right]$$

$$B1 = 1.709$$

$$d = 9 \text{ cm} \quad d : \text{Desplazamiento de la subestructura}$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

Amortiguamiento de los aisladores, para modelar en el sap

Estribos

$$c1 := 2 \cdot \xi \cdot \sqrt{\frac{Kiso1 \cdot W1}{g}} \quad c1 = 2,348 \frac{\text{kip} \cdot \text{s}}{\text{in}}$$

Pilas

$$c2 := 2 \cdot \xi \cdot \sqrt{\frac{Kiso2 \cdot W2}{g}} \quad c2 = 5,04 \frac{\text{kip} \cdot \text{s}}{\text{in}}$$

**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

**AISLACION SISMICA DE PUENTES  
METODO: FPS (DESPLAZAMIENTO ASUMIDO 9 CM)  
ALTURA DE COLUMNA 7 M**

El puente en estudio es uno recto de 2 luces, con tablero formado por vigas de presforzadas continuas y una losa de concreto reforzado. Las vigas se apoyan en estribos tipo asiento en los extremos y en 1 pila intermedia formada por 3 columnas y una viga cabezal.

**Sección A**

**Paso A.1: Datos**

$m := 3$        $m$  : Número de apoyos  
 $n := 4$        $n$  : Número de vigas por apoyo  
 $skew := 0$       skew : ángulo de esviajamiento  
 $ncol := 3$       ncol : número de columnas en apoyos intermedios

$W1 := 325.28kip$        $W1$  : peso de la superestructura en estribo 1  
 $W2 := 650.56kip$        $W2$  : peso de la superestructura en pila 1  
 $W3 := 0kip$        $W3$  : peso de la superestructura en pila 2  
 $W4 := 325.28kip$        $W4$  : peso de la superestructura en estribo 2

$Wss := W1 + W2 + W3 + W4$        $Wss$  : Peso muerto de la superestructura  
 $Wss = 1301.12 kip$

$Wpp := 47.92kip$        $Wpp$  : Peso de las pilas  
 $Wef := Wss + Wpp$        $Wef = 1349.04 kip$

**Rigidez de la pila, sentido longitudinal**

$$E := 3605 \frac{kip}{in^2}$$

$$dcol := 55in$$

$$Icol := \frac{\pi \cdot dcol^4}{64}$$

$$Icol = 1.079 \times 10^4 in^4$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

$$L_c := 700 \text{ cm}$$

$$K_{\text{subp1}} := \frac{3 \cdot E \cdot I_{\text{col}}}{L^3}$$

$$K_{\text{subp1}} = 5.576 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{\text{subp1}} := 125 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{\text{subp2}} := 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

Ksubp1 , Ksubp2 : Rigidez de las pilas en ambas direcciones, se asume empotradas en las zapatas y comportamiento de curvatura simple

### Paso A.2: Peligro Sísmico

$$PGA := 0.40$$

$$S_i := 2$$

## Sección B

### Análisis del puente en sentido longitudinal con carga sísmica.

En la mayoría de las aplicaciones, los sistemas de aislamiento deben ser rígidos para cargas no sísmicas, pero flexibles para cargas sísmicas aumentando por consiguiente el período fundamental de vibración. Como una consecuencia los aisladores presentan comportamiento bilineal.

Estrictamente hablando los métodos no lineales deben ser usados para los análisis. Pero un método común es usar resortes lineales equivalentes y amortiguamientos viscosos que representen a los aisladores, tal que métodos lineales sean utilizados para determinar la respuesta. Las propiedades equivalentes como  $K_{\text{isol}}$  (rigidez efectiva del aislador) son dependientes de los desplazamientos, pero estos al inicio del análisis no son conocidos y se requiere de un proceso iterativo.

#### B.1 Método Simplificado

En el método simplificado un modelo de un sistema de un grado de libertad con propiedades lineales equivalentes y amortiguamiento viscoso para representar los aisladores, es analizado iterativamente para estimar el desplazamiento de la superestructura y las propiedades requeridas para cada aislador necesarias para el comportamiento requerido.

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### B.1.1 Propiedades iniciales del sistema y desplazamientos

El concepto básico para usar aisladores sísmicos es que los elementos de una pila, columnas y viga cabezal, cuando se presente el sismo de diseño es que se comporten dentro del rango elástico.

Los únicos elementos que pueden presentar rótulas plásticas son las columnas, por lo tanto el máximo desplazamiento en ellas tal que no incurrieren en el rango inelástico es llegar a la fluencia.

Por lo tanto, el desplazamiento máximo que pueden presentar las columnas será el de fluencia. A continuación se detalla el cálculo del desplazamiento de fluencia en las columnas

$$\phi_y := 2.25 \cdot \frac{0.0021}{55\text{cm}}$$

$$\phi_y = 8.591 \times 10^{-3} \frac{1}{\text{m}}$$

$$H_{\text{columna}} := 700\text{cm}$$

$$d_y := \frac{\phi_y \cdot H_{\text{columna}}^2}{3}$$

$$d_y = 0.14 \text{ m}$$

$$d_{\text{sub1}} := d_y \quad \text{Desplazamiento de cedencia de las columnas}$$

$$d_{\text{sub1}} = 14.032 \text{ cm}$$

$$d := 9\text{cm} \quad \text{Desplazamiento total del sistema para evitar efectos P-Delta}$$

Qd : Resistencia característica

$$Q_d := 0.10 \cdot W_{ss} \quad Q_d = 130.112 \text{ kip}$$

$$Q_{d1} := Q_d \cdot \left( \frac{W1}{W_{ss}} \right) \quad Q_{d1} = 32.528 \text{ kip}$$

$$Q_{d2} := Q_d \cdot \left( \frac{W2}{W_{ss}} \right) \quad Q_{d2} = 65.056 \text{ kip}$$

$$Q_{d3} := Q_d \cdot \left( \frac{W3}{W_{ss}} \right) \quad Q_{d3} = 0 \text{ kip}$$

$$Q_{d4} := Q_d \cdot \left( \frac{W4}{W_{ss}} \right) \quad Q_{d4} = 32.528 \text{ kip}$$

**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

Rigidez Post-Elástica

$$K_d := 0.10 \cdot \frac{W_{ss}}{d} \quad K_d = 36.72 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

Rigidez Post-Elástica en los demás apoyos

$$K_{d1} := K_d \cdot \left( \frac{W1}{W_{ss}} \right) \quad K_{d1} = 9.18 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{d2} := K_d \cdot \left( \frac{W2}{W_{ss}} \right) \quad K_{d2} = 18.36 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{d3} := K_d \cdot \left( \frac{W3}{W_{ss}} \right) \quad K_{d3} = 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{d4} := K_d \cdot \left( \frac{W4}{W_{ss}} \right) \quad K_{d4} = 9.18 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{abut} := 10000 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$\alpha_1 := \frac{(K_{d1}) \cdot d + Q_{d1}}{(K_{abut}) \cdot d - Q_{d1}} \quad \alpha_1 = 1.838 \times 10^{-3}$$

$$\alpha_2 := \frac{(K_{d2}) \cdot d + Q_{d2}}{(K_{subp1}) \cdot d - Q_{d2}} \quad \alpha_2 = 0.344$$

$$\alpha_3 := \frac{(K_{d3}) \cdot d + Q_{d3}}{(K_{subp2}) \cdot d - Q_{d3}} \quad \alpha_3 = 0$$

$$\alpha_4 := \frac{(K_{d4}) \cdot d + Q_{d4}}{(K_{abut}) \cdot d - Q_{d4}} \quad \alpha_4 = 1.838 \times 10^{-3}$$

$$K_{eff1} := \frac{\alpha_1 \cdot (K_{abut})}{1 + \alpha_1} \quad K_{eff1} = 18.343 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{eff2} := \frac{\alpha_2 \cdot (K_{subp1})}{1 + \alpha_2} \quad K_{eff2} = 32.018 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{eff3} := \frac{\alpha_3 \cdot (K_{subp2})}{1 + \alpha_3} \quad K_{eff3} = 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{eff4} := \frac{\alpha_4 \cdot (K_{abut})}{1 + \alpha_4} \quad K_{eff4} = 18.343 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$



## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### B1.4 Rigidez efectiva

total

$$K_{eff} := K_{eff1} + K_{eff2} + K_{eff3} + K_{eff4}$$

$$K_{eff} = 68.704 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

### B1.5 Desplazamiento del aislador en cada apoyo

$$diso1 := \frac{d}{1 + \alpha1} \quad diso1 = 8.983 \text{ cm}$$

$$diso2 := \frac{d}{1 + \alpha2} \quad diso2 = 6.695 \text{ cm}$$

$$diso3 := \frac{d}{1 + \alpha3} \quad diso3 = 9 \text{ cm}$$

$$diso4 := \frac{d}{1 + \alpha4} \quad diso4 = 8.983 \text{ cm}$$

### B1.6 Rigidez del aislador en cada apoyo

$$Kiso1 := \frac{Qd1}{diso1} + Kd1 \quad Kiso1 = 18.377 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$Kiso2 := \frac{Qd2}{diso2} + Kd2 \quad Kiso2 = 43.043 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$Kiso3 := \frac{Qd3}{diso3} + Kd3 \quad Kiso3 = 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$Kiso4 := \frac{Qd4}{diso4} + Kd4 \quad Kiso4 = 18.377 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

### B1.7 Desplazamiento de la subestructura en cada apoyo

$$d_{sub1} := d - diso1 \quad d_{sub1} = 0.017 \text{ cm}$$

$$d_{sub2} := d - diso2 \quad d_{sub2} = 2.305 \text{ cm}$$

$$d_{sub3} := d - diso3 \quad d_{sub3} = 0 \text{ in}$$

$$d_{sub4} := d - diso4 \quad d_{sub4} = 0.017 \text{ cm}$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### B1.8 Carga lateral en cada subestructura

$$\begin{aligned}
 F_{sub1} &:= K_{abut} \cdot (d_{sub1}) & F_{sub1} &= 64.996 \text{ kip} \\
 F_{sub2} &:= K_{subp1} \cdot (d_{sub2}) & F_{sub2} &= 113.448 \text{ kip} \\
 F_{sub3} &:= K_{subp2} \cdot (d_{sub3}) & F_{sub3} &= 0 \text{ kip} \\
 F_{sub4} &:= K_{abut} \cdot (d_{sub4}) & F_{sub4} &= 64.996 \text{ kip}
 \end{aligned}$$

### B1.9 Fuerza cortante en las columnas

$$\begin{aligned}
 F_{col1} &:= \frac{F_{sub2}}{n_{col}} & F_{col1} &= 37.816 \text{ kip} \\
 F_{col2} &:= \frac{F_{sub3}}{n_{col}} & F_{col2} &= 0 \text{ kip}
 \end{aligned}$$

### B1.10 Período efectivo y amortiguamiento

$$T_{eff} := 2\pi \sqrt{\frac{W_{eff}}{g \cdot K_{eff}}}$$

$$T_{eff} = 1.417 \text{ s} \quad \text{Ok!!! Similar al Período efectivo asumido al inicio}$$

$\xi$  = Amortiguamiento equivalente

$dy$  es el desplazamiento por cedencia del aislador, que normalmente es tan bajo que se lo considera despreciable. Para este primer paso iterativo, asumamos  $dy=0$

$$\xi := \frac{2 \cdot [Qd1 \cdot (diso1 - dy) + Qd2 \cdot (diso2 - dy) + Qd3 \cdot (diso3 - dy) + Qd4 \cdot (diso4 - dy)]}{\pi \left[ K_{eff1} \cdot (diso1 + d_{sub1})^2 + K_{eff2} \cdot (diso2 + d_{sub2})^2 + K_{eff3} \cdot (diso3 + d_{sub3})^2 + K_{eff4} \cdot (diso4 + d_{sub4})^2 \right]}$$

$$\xi = 0.296$$

### B1.11 Factor de amortiguamiento

$$B1 := \text{if} \left[ \xi < 0.3, \left( \frac{\xi}{0.05} \right)^{0.3}, 1.7 \right]$$

$$B1 = 1.706$$

$d = 9 \text{ cm}$        $d$  : Desplazamiento de la subestructura

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

Amortiguamiento de los aisladores, para modelar en el sap

Estribos

$$c1 := 2 \cdot \xi \cdot \sqrt{\frac{Kiso1 \cdot W1}{g}} \quad c1 = 2.332 \frac{\text{kip} \cdot \text{s}}{\text{in}}$$

Pilas

$$c2 := 2 \cdot \xi \cdot \sqrt{\frac{Kiso2 \cdot W2}{g}} \quad c2 = 5.048 \frac{\text{kip} \cdot \text{s}}{\text{in}}$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

La rigidez efectiva horizontal de un aislador cambia el período fundamental del puente, lo que produce que el período sea mucho más largo.

### - Altura de Columna 2.5 m

**PUENTE CON AISLADORES**

**ESPECTRO DE DISEÑO : AASHTO 1999**

Cs máximo= 1

Cs = A Si/(T<sup>1.5</sup>B)

A (%g) = 0,4

Si = 2

Teff (seg) = 1,379

0.80Teff (seg) = 1,1032

B = 1,7 Amortiguamiento equivalente del 30%

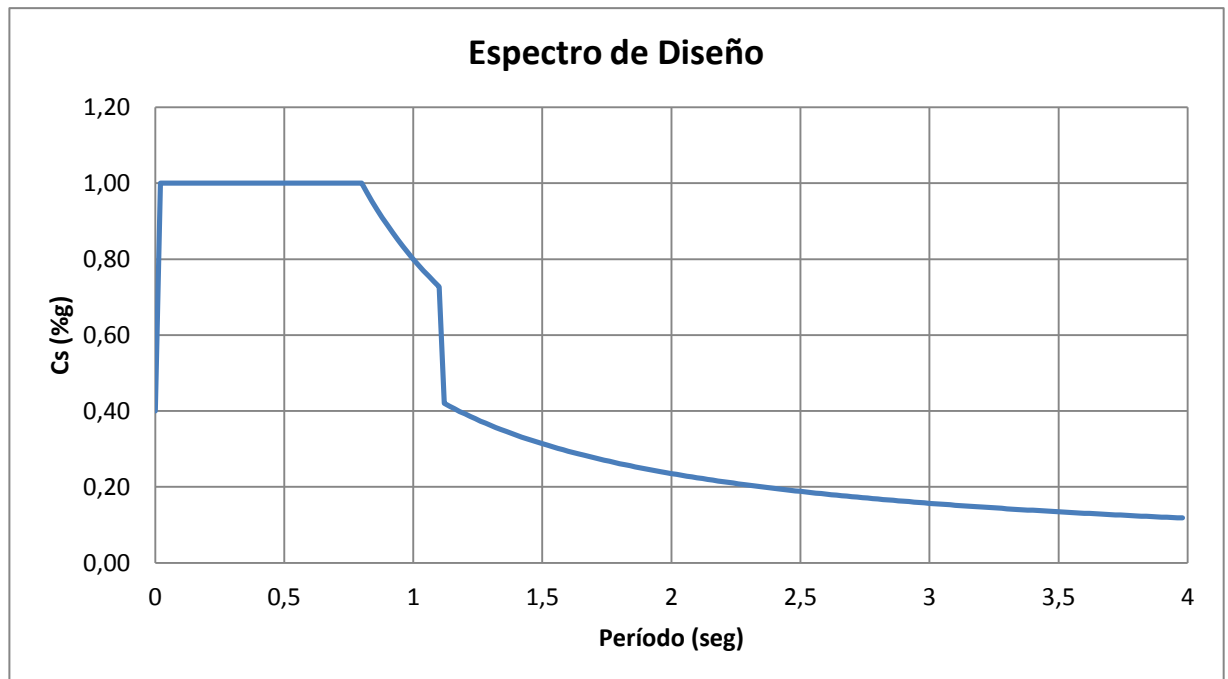
Coefficiente del sitio para aisladores sísmicos (Si) (FACTOR TOMADO DEL AASHTO, 1998, 2002)

TIPO DEL PERFIL DEL SUELO

S	I	II	III	IV
	1	1,2	1,5	2

Coefficiente de amortiguamiento (B) (FACTOR TOMADO DEL AASHTO, 1999)

	<2	5	10	20	30	40	50
B	0,8	1	1,2	1,5	1,7	1,9	2



## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

- **Altura de Columna 3 m**

**PUENTE CON AISLADORES**

**ESPECTRO DE DISEÑO : AASHTO 1999**

Cs = A Si(T<sup>B</sup>)      Cs máximo= 1

A (%g) = 0,4

Si = 2

Teff (seg) = 1,38

0.80Teff (seg) = 1,104

B = 1,7      Amortiguamiento equivalente del 30%

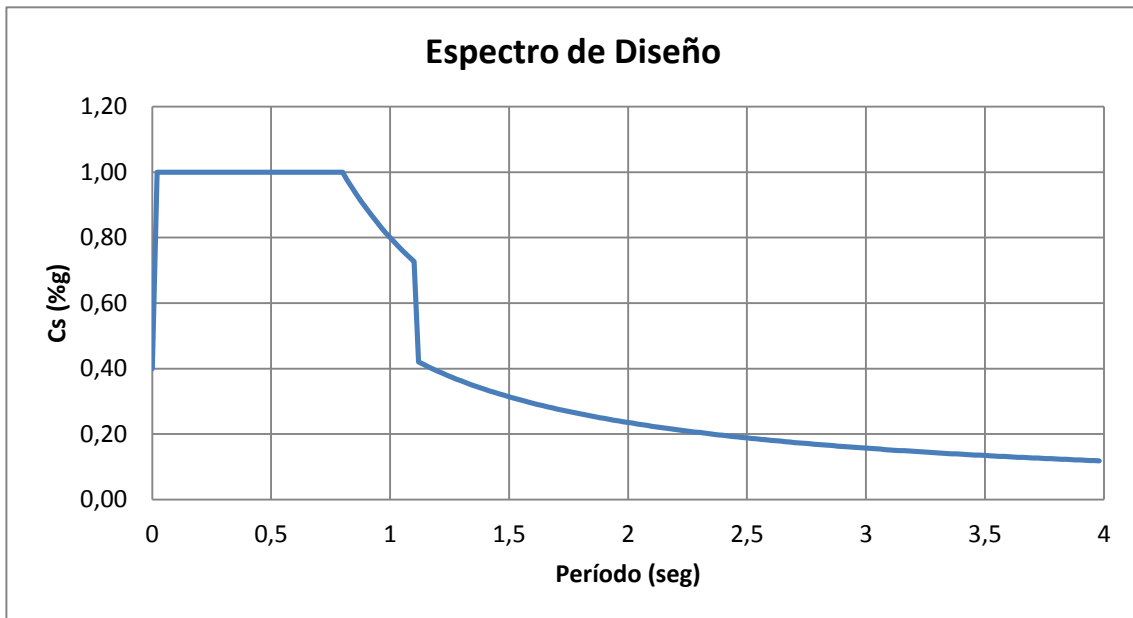
Coeficiente del sitio para aisladores sísmicos (Si)      (FACTOR TOMADO DEL AASHTO, 1998, 2002)

TIPO DEL PERFIL DEL SUELO

	I	II	III	IV
S	1	1,2	1,5	2

Coeficiente de amortiguamiento (B)      (FACTOR TOMADO DEL AASHTO, 1999)

	<2	5	10	20	30	40	50
B	0,8	1	1,2	1,5	1,7	1,9	2



## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

- **Altura de Columna 3.5 m**

**PUENTE CON AISLADORES**

**ESPECTRO DE DISEÑO : AASHTO 1999**

Cs = A Si(T<sup>B</sup>)                      Cs máximo= 1

A (%g) = 0,4

Si = 2

Teff (seg) = 1,386

0.80Teff (seg) = 1,1088

B = 1,7                      Amortiguamiento equivalente del 30%

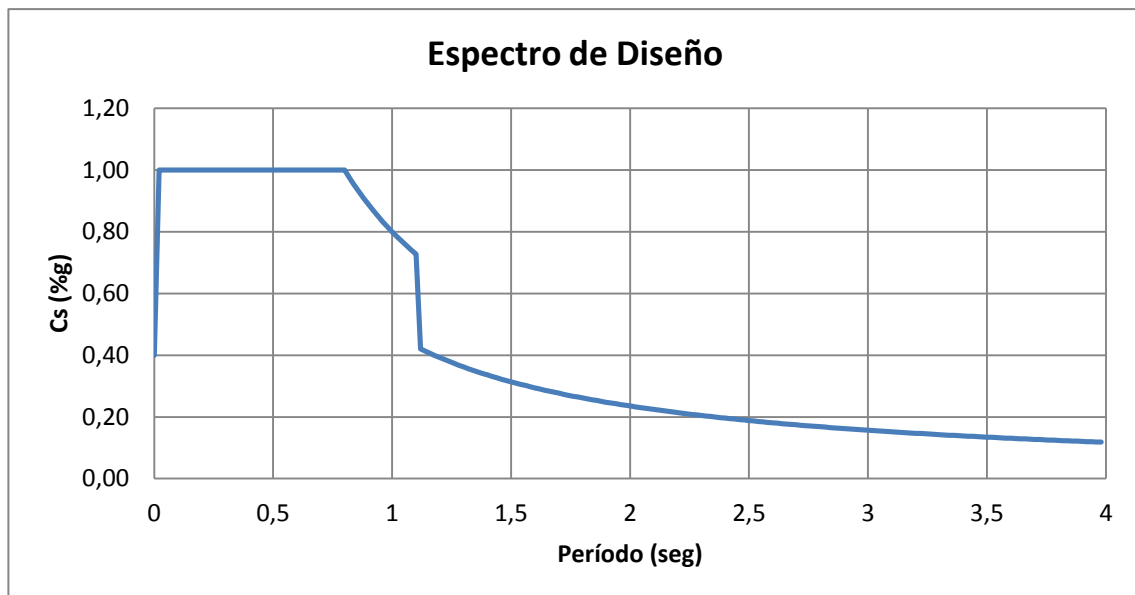
Coeficiente de sitio para aisladores sísmicos (Si)                      (FACTOR TOMADO DEL AASHTO, 1998, 2002)

TIPO DEL PERFIL DEL SUELO

	I	II	III	IV
S	1	1,2	1,5	2

Coeficiente de amortiguamiento (B)                      (FACTOR TOMADO DEL AASHTO, 1999)

	<2	5	10	20	30	40	50
B	0,8	1	1,2	1,5	1,7	1,9	2



## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

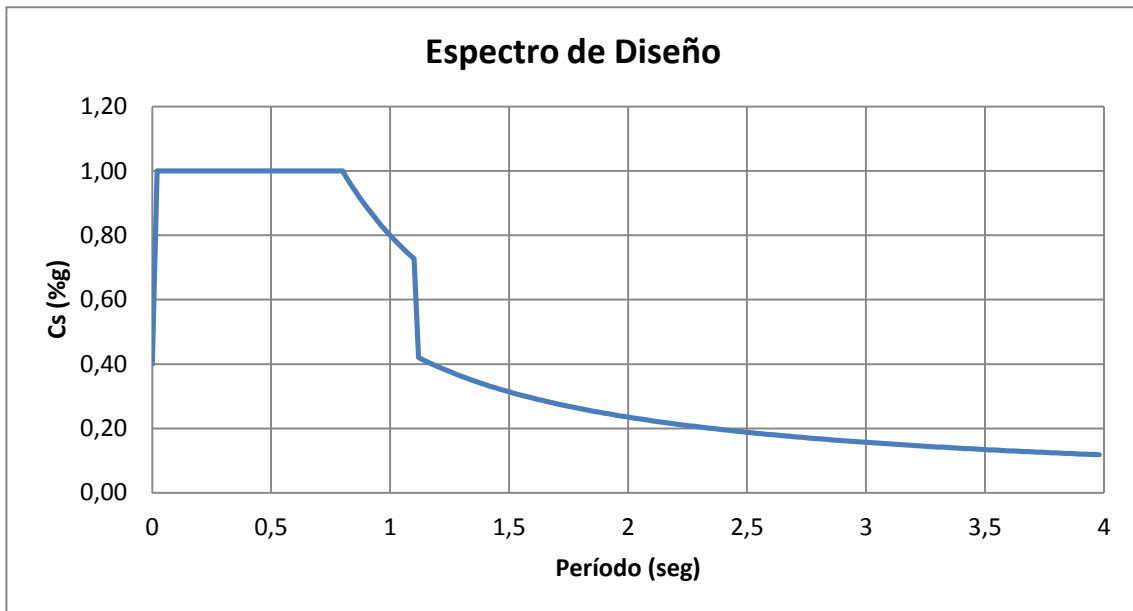
### - Altura de Columna 4 m

**PUENTE CON AISLADORES**

ESPECTRO DE DISEÑO : AASHTO 1999 Coeficiente del sitio para aisladores sísmicos (S<sub>i</sub>) (FACTOR TOMADO DEL AASHTO, 1998, 2002)

<b>C<sub>s</sub> = A S<sub>i</sub> (T<sup>n</sup>B)</b>	<b>C<sub>s</sub> máximo= 1</b>	<b>TIPO DEL PERFIL DEL SUELO</b>								
A (%g) = 0,4		<table style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: none; padding: 0 5px;">I</td> <td style="border: none; padding: 0 5px;">II</td> <td style="border: none; padding: 0 5px;">III</td> <td style="border: none; padding: 0 5px;">IV</td> </tr> <tr> <td style="border: none; padding: 0 5px;">1</td> <td style="border: none; padding: 0 5px;">1,2</td> <td style="border: none; padding: 0 5px;">1,5</td> <td style="border: none; padding: 0 5px;">2</td> </tr> </table>	I	II	III	IV	1	1,2	1,5	2
I	II	III	IV							
1	1,2	1,5	2							
S <sub>i</sub> = 2										
T <sub>eff</sub> (seg) = 1,392										
0.80T <sub>eff</sub> (seg) = 1,1136										
B = 1,7	<b>Amortiguamiento equivalente del 30%</b>	<b>Coeficiente de amortiguamiento (B) (FACTOR TOMADO DEL AASHTO, 1999)</b>								

	<2	5	10	20	30	40	50
B	0,8	1	1,2	1,5	1,7	1,9	2



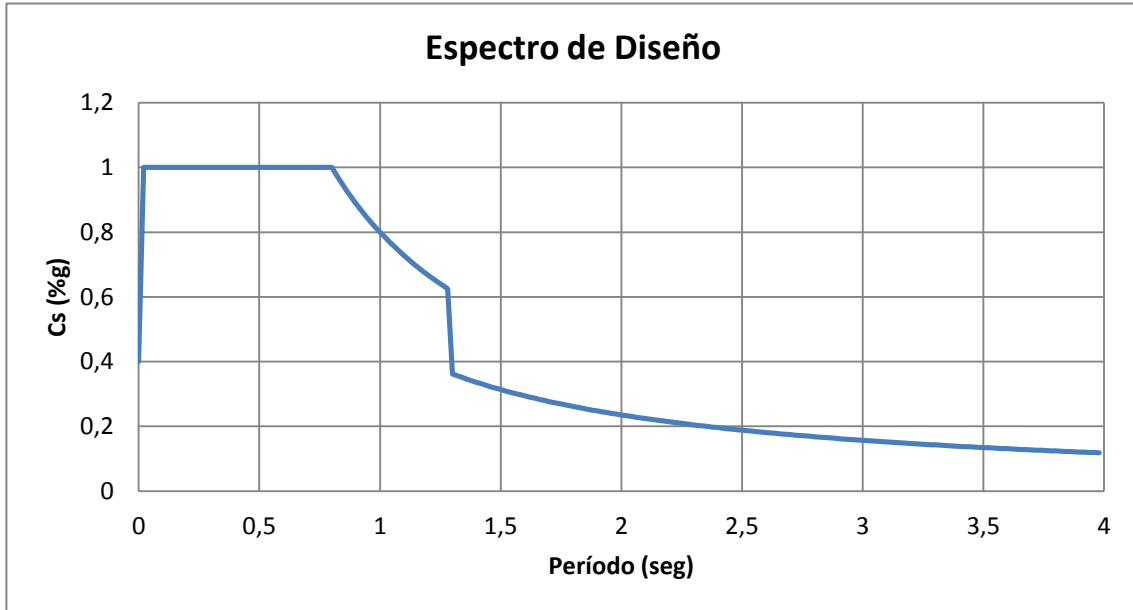
## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

- **Altura de Columna 4.5 m**

**PUENTE CON AISLADORES**

ESPECTRO DE DISEÑO : AASHTO 1999

<p><math>C_s = A S_i / (T^B)</math></p> <p>A (%g) = 0,4</p> <p><math>S_i = 2</math></p> <p>Teff (seg) = 1,397</p> <p><math>0.80 T_{eff}</math> (seg) = 1,1176</p> <p>B = 1,7</p>	<p>Cs máximo= 1</p> <p>Amortiguamiento equivalente del 30%</p>	<p>Coefficiente del sitio para aisladores sísmicos (<math>S_i</math>) (FACTOR TOMADO DEL AASHTO, 1998, 2002)</p> <p style="text-align: center;">TIPO DEL PERFIL DEL SUELO</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td style="border: none;"></td> <td style="border: 1px solid black;">I</td> <td style="border: 1px solid black;">II</td> <td style="border: 1px solid black;">III</td> <td style="border: 1px solid black;">IV</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">S</td> <td style="border: 1px solid black;">1</td> <td style="border: 1px solid black;">1,2</td> <td style="border: 1px solid black;">1,5</td> <td style="border: 1px solid black;">2</td> </tr> </table> <p>Coefficiente de amortiguamiento (B) (FACTOR TOMADO DEL AASHTO, 1999)</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td style="border: none;"></td> <td style="border: 1px solid black;">&lt;2</td> <td style="border: 1px solid black;">5</td> <td style="border: 1px solid black;">10</td> <td style="border: 1px solid black;">20</td> <td style="border: 1px solid black;">30</td> <td style="border: 1px solid black;">40</td> <td style="border: 1px solid black;">50</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">B</td> <td style="border: 1px solid black;">0,8</td> <td style="border: 1px solid black;">1</td> <td style="border: 1px solid black;">1,2</td> <td style="border: 1px solid black;">1,5</td> <td style="border: 1px solid black;">1,7</td> <td style="border: 1px solid black;">1,9</td> <td style="border: 1px solid black;">2</td> </tr> </table>		I	II	III	IV	S	1	1,2	1,5	2		<2	5	10	20	30	40	50	B	0,8	1	1,2	1,5	1,7	1,9	2
	I	II	III	IV																								
S	1	1,2	1,5	2																								
	<2	5	10	20	30	40	50																					
B	0,8	1	1,2	1,5	1,7	1,9	2																					





## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

- **Altura de Columna 5 m**

**PUENTE CON AISLADORES**

**ESPECTRO DE DISEÑO : AASHTO 1999**

Cs = A Si(T<sup>B</sup>)      Cs máximo= 1

A (%g) = 0,4

Si = 2

Teff (seg) = 1,402

0.80Teff (seg) = 1,1216

B = 1,7      Amortiguamiento equivalente del 30%

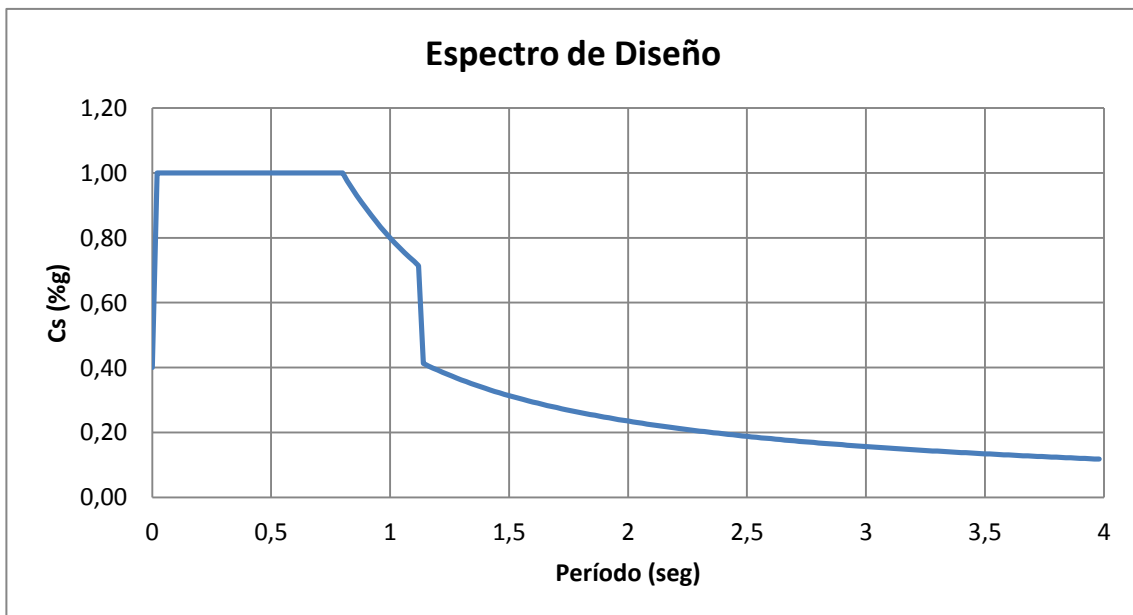
Coeficiente del sitio para aisladores sísmicos (Si)      (FACTOR TOMADO DEL AASHTO, 1998, 2002)

TIPO DEL PERFIL DEL SUELO

	I	II	III	IV
S	1	1,2	1,5	2

Coeficiente de amortiguamiento (B)      (FACTOR TOMADO DEL AASHTO, 1999)

	<2	5	10	20	30	40	50
B	0,8	1	1,2	1,5	1,7	1,9	2



## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

### - Altura de Columna 5.5 m

**PUENTE CON AISLADORES**

ESPECTRO DE DISEÑO : AASHTO 1999

Cs = A Si(T<sup>B</sup>)      Cs máximo= 1

A (%g) = 0,4

Si = 2

Teff (seg) = 1,406

0.80Teff (seg) = 1,1248

B = 1,7      Amortiguamiento equivalente del 30%

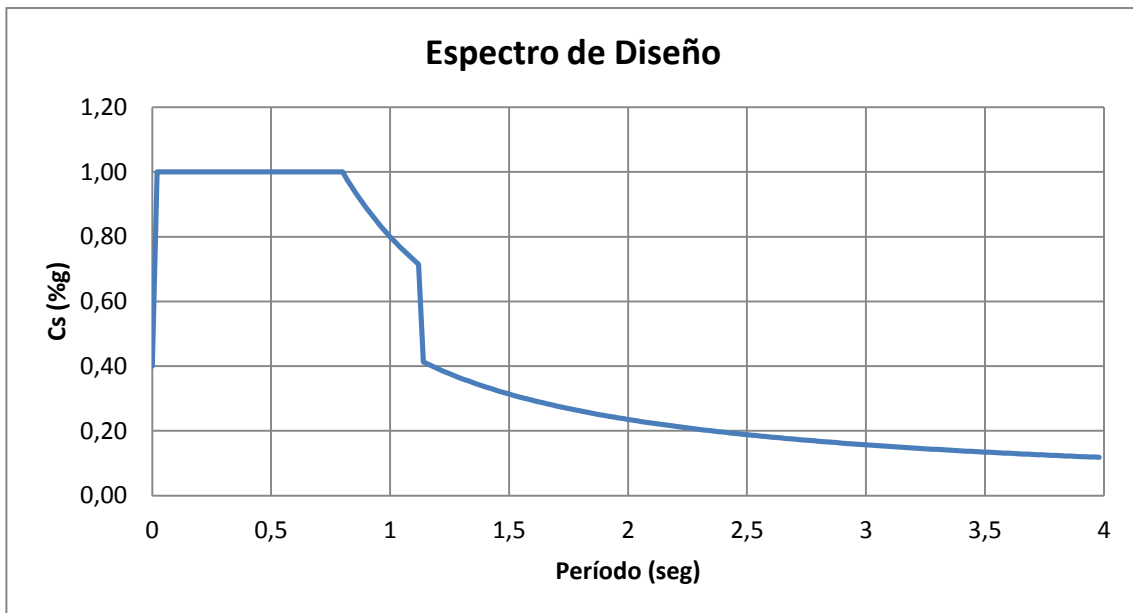
Coeficiente del sitio para aisladores sísmicos (Si)      (FACTOR TOMADO DEL AASHTO, 1998, 2002)

TIPO DEL PERFIL DEL SUELO

	I	II	III	IV
S	1	1,2	1,5	2

Coeficiente de amortiguamiento (B)      (FACTOR TOMADO DEL AASHTO, 1999)

	<2	5	10	20	30	40	50
B	0,8	1	1,2	1,5	1,7	1,9	2



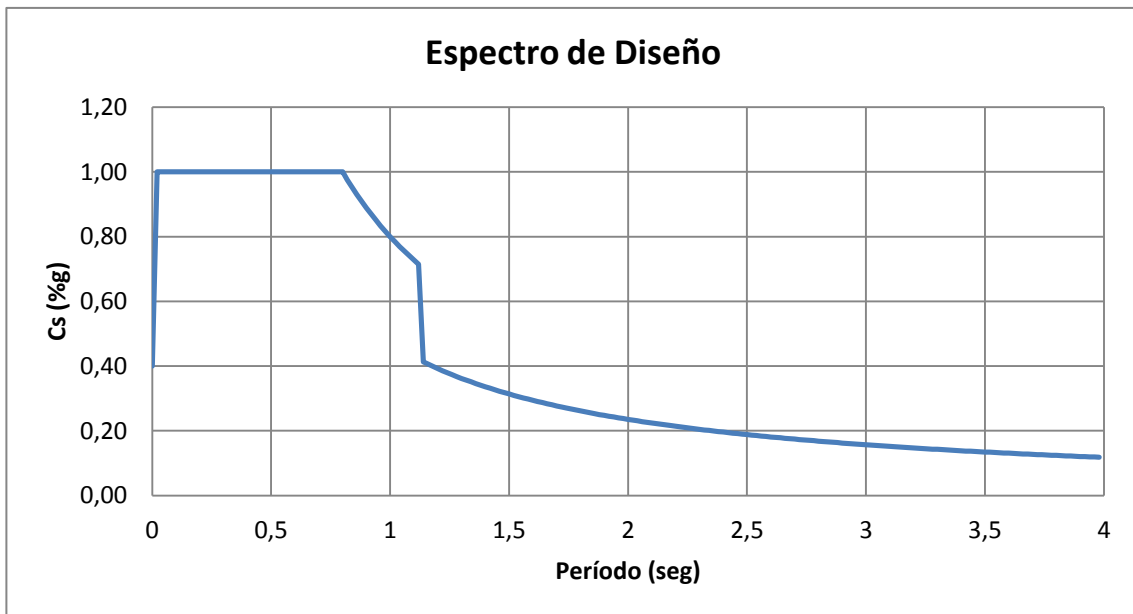
## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

- Altura de Columna 6 m

**PUENTE CON AISLADORES**

ESPECTRO DE DISEÑO : AASHTO 1999

<p>Cs = A Si(T<sup>B</sup>)</p> <p>A (%g) = 0,4</p> <p>Si = 2</p> <p>Teff (seg) = 1,41</p> <p>0.80Teff (seg) = 1,128</p> <p>B = 1,7</p>	<p>Cs máximo= 1</p> <p style="text-align: center;">Amortiguamiento equivalente de 30%</p>	<p>Coefficiente del sitio para aisladores sísmicos (Si) (FACTOR TOMADO DEL AASHTO, 1998, 2002)</p> <p style="text-align: center;">TIPO DEL PERFIL DEL SUELO</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td style="border: none;"></td> <td style="border: 1px solid black;">I</td> <td style="border: 1px solid black;">II</td> <td style="border: 1px solid black;">III</td> <td style="border: 1px solid black;">IV</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">S</td> <td style="border: 1px solid black;">1</td> <td style="border: 1px solid black;">1,2</td> <td style="border: 1px solid black;">1,5</td> <td style="border: 1px solid black;">2</td> </tr> </table> <p>Coefficiente de amortiguamiento (B) (FACTOR TOMADO DEL AASHTO, 1999)</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td style="border: none;"></td> <td style="border: 1px solid black;">&lt;2</td> <td style="border: 1px solid black;">5</td> <td style="border: 1px solid black;">10</td> <td style="border: 1px solid black;">20</td> <td style="border: 1px solid black;">30</td> <td style="border: 1px solid black;">40</td> <td style="border: 1px solid black;">50</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">B</td> <td style="border: 1px solid black;">0,8</td> <td style="border: 1px solid black;">1</td> <td style="border: 1px solid black;">1,2</td> <td style="border: 1px solid black;">1,5</td> <td style="border: 1px solid black;">1,7</td> <td style="border: 1px solid black;">1,9</td> <td style="border: 1px solid black;">2</td> </tr> </table>		I	II	III	IV	S	1	1,2	1,5	2		<2	5	10	20	30	40	50	B	0,8	1	1,2	1,5	1,7	1,9	2
	I	II	III	IV																								
S	1	1,2	1,5	2																								
	<2	5	10	20	30	40	50																					
B	0,8	1	1,2	1,5	1,7	1,9	2																					



## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

- **Altura de Columna 6.5 m**

**PUENTE CON AISLADORES**

ESPECTRO DE DISEÑO : AASHTO 1999

Cs = A Si/(T<sup>B</sup>)      Cs máximo= 1

A (%g) = 0,4

Si = 2

Teff (seg) = 1,412

0.80Teff (seg) = 1,1296

B = 1,7      Amortiguamiento equivalente del 30%

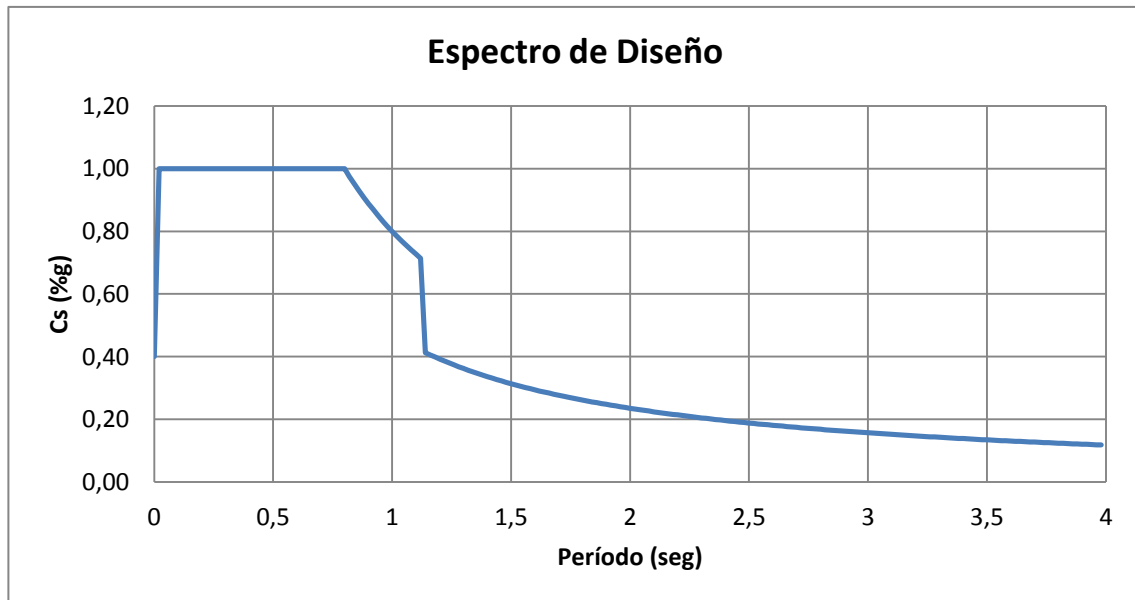
Coeficiente del sitio para aisladores sísmicos (Si)      (FACTOR TOMADO DEL AASHTO, 1998, 2002)

TIPO DEL PERFIL DEL SUELO

S	I	II	III	IV
1	1,2	1,5	2	

Coeficiente de amortiguamiento (B)      (FACTOR TOMADO DEL AASHTO, 1999)

	<2	5	10	20	30	40	50
B	0,8	1	1,2	1,5	1,7	1,9	2



## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

- **Altura de Columna 7 m**

**PUENTE CON AISLADORES**

ESPECTRO DE DISEÑO : AASHTO 1999

Cs = A Si/(T<sup>B</sup>)

A (%g) = 0,4

Si = 2

Teff (seg) = 1,417

0.80Teff (seg) = 1,1336

B = 1,7

Cs máximo= 1

Amortiguamiento equivalente del 30%

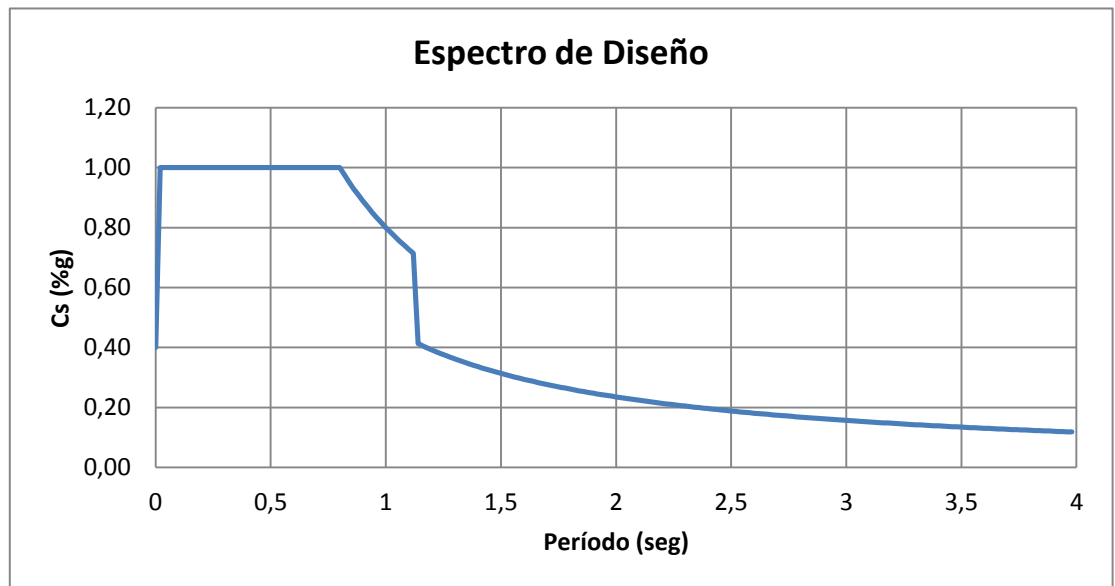
Coefficiente del sitio para aisladores sísmicos (S<sub>i</sub>) (FACTOR TOMADO DEL AASHTO, 1998, 2002)

TIPO DEL PERFIL DEL SUELO

	I	II	III	IV
S	1	1,2	1,5	2

Coefficiente de amortiguamiento (B) (FACTOR TOMADO DEL AASHTO, 1999)

	<2	5	10	20	30	40	50
B	0,8	1	1,2	1,5	1,7	1,9	2



**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

Resumen de las Rigideces de las pilas con la variación desde 2.5 a 7 m asumiendo un desplazamiento inicial de 9 cm

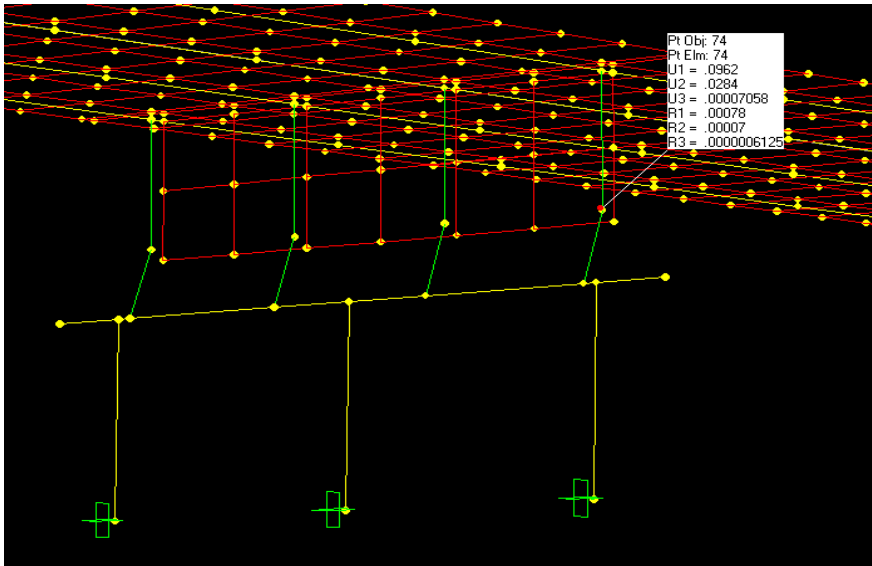
L (m)	desplazamientos unitarios (in)	Ksub (kip/in)	W (Kips)	d (cm)	kiso_estribo (kip/in)	kiso_pila (kip/in)	Teff	$\zeta$	B	c_estribo	c_pila
2,50	0,0082	365,85	31,42	9,00	18,38	38,66	1,379	0,31	1,70	2,44	5,01
3,00	0,0082	365,85	32,85	9,00	18,38	38,66	1,380	0,31	1,70	2,44	5,01
3,50	0,0109	275,23	34,75	9,00	18,38	39,35	1,386	0,31	1,70	2,42	5,01
4,00	0,0134	223,88	36,63	9,00	18,38	40,00	1,392	0,31	1,70	2,41	5,02
4,50	0,0157	191,08	38,51	9,00	18,38	40,62	1,397	0,30	1,70	2,39	5,02
5,00	0,0178	168,54	40,40	9,00	18,38	41,21	1,402	0,30	1,70	2,37	5,03
5,50	0,0197	152,28	42,28	9,00	18,38	41,76	1,406	0,30	1,70	2,36	5,03
6,00	0,0213	140,85	44,16	9,00	18,38	42,23	1,410	0,30	1,70	2,35	5,04
6,50	0,0217	138,25	46,05	9,00	18,38	42,34	1,412	0,30	1,70	2,35	5,04
7,00	0,0240	125,00	47,92	9,00	18,38	43,04	1,417	0,30	1,70	2,33	5,05

"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

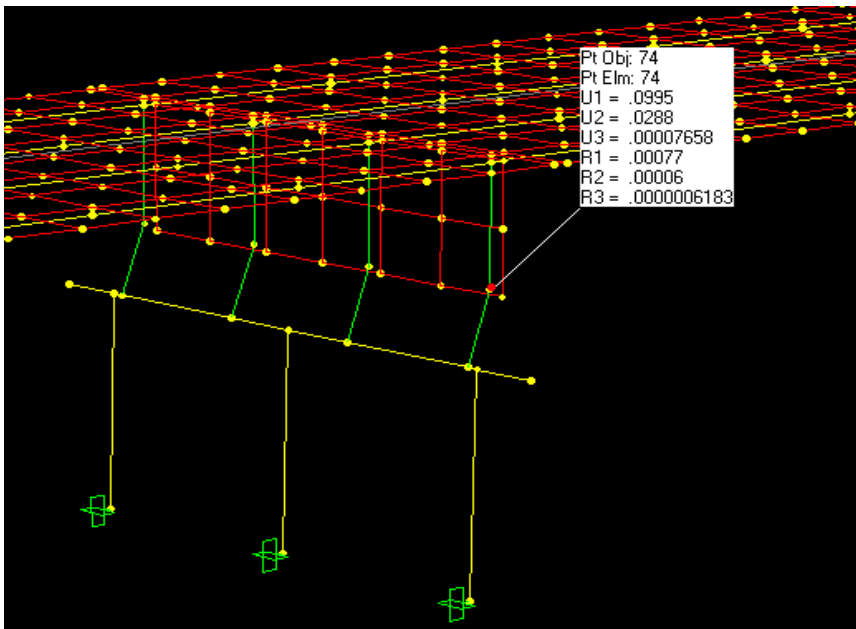
---

DESPLAZAMIENTOS FPS INICIAL 9 CM SAP 2000

ALTURA DE COLUMNA 2.5 M

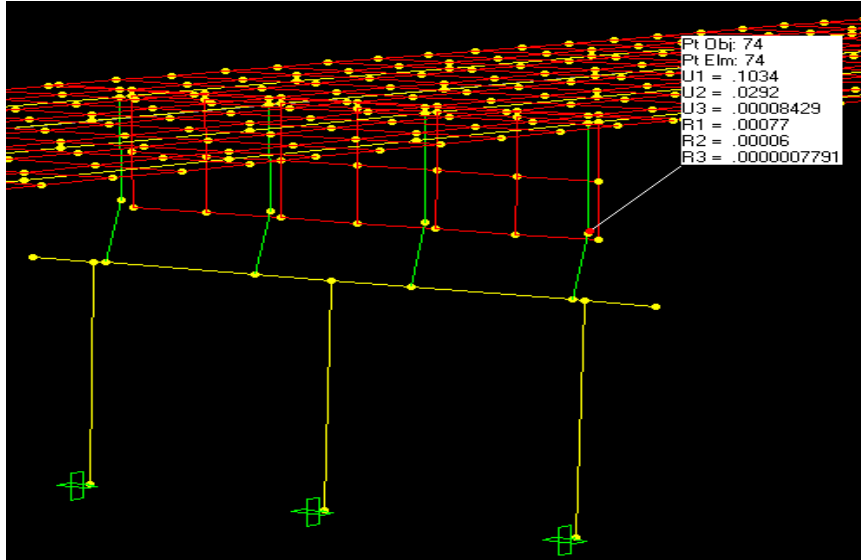


ALTURA DE COLUMNA 3 M

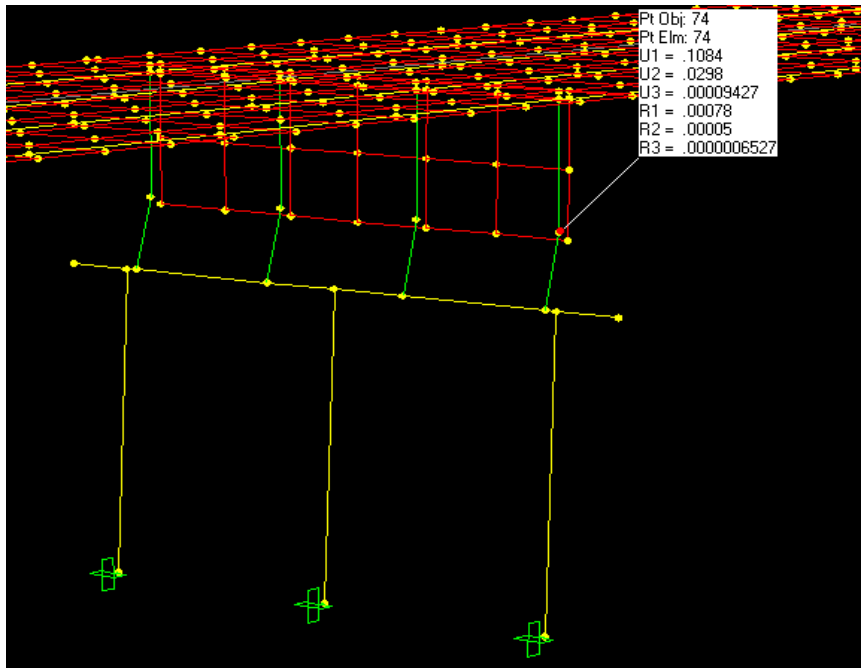


# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

ALTURA DE COLUMNA 3.5 M



ALTURA DE COLUMNA 4 M

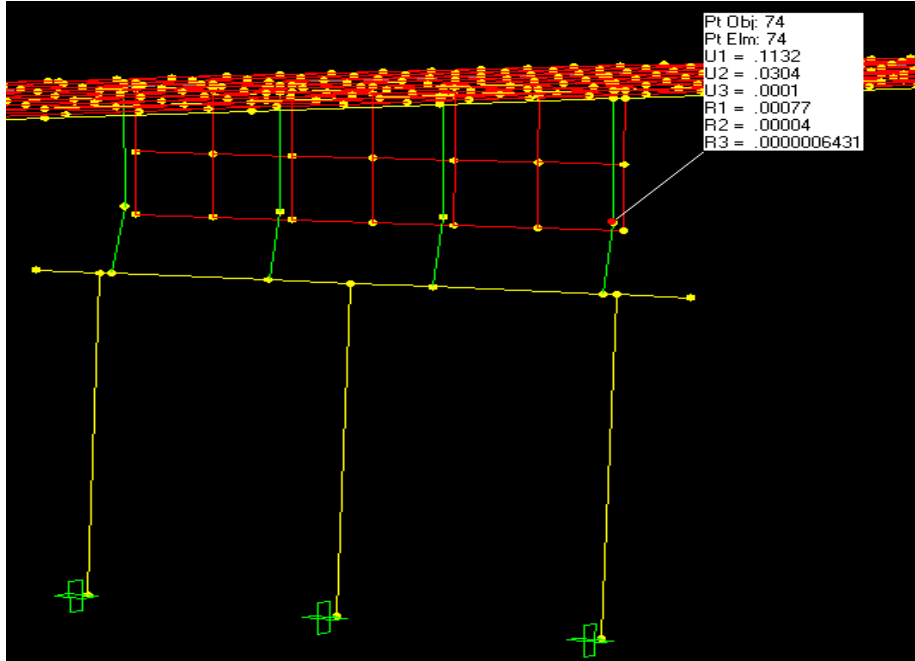




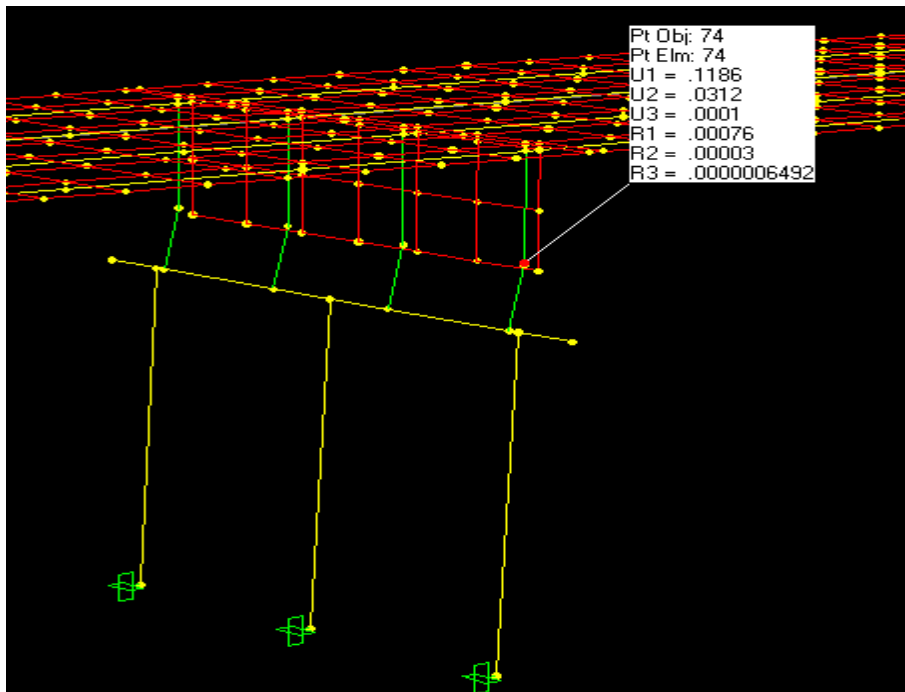
**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

ALTURA DE COLUMNA 4.5 M



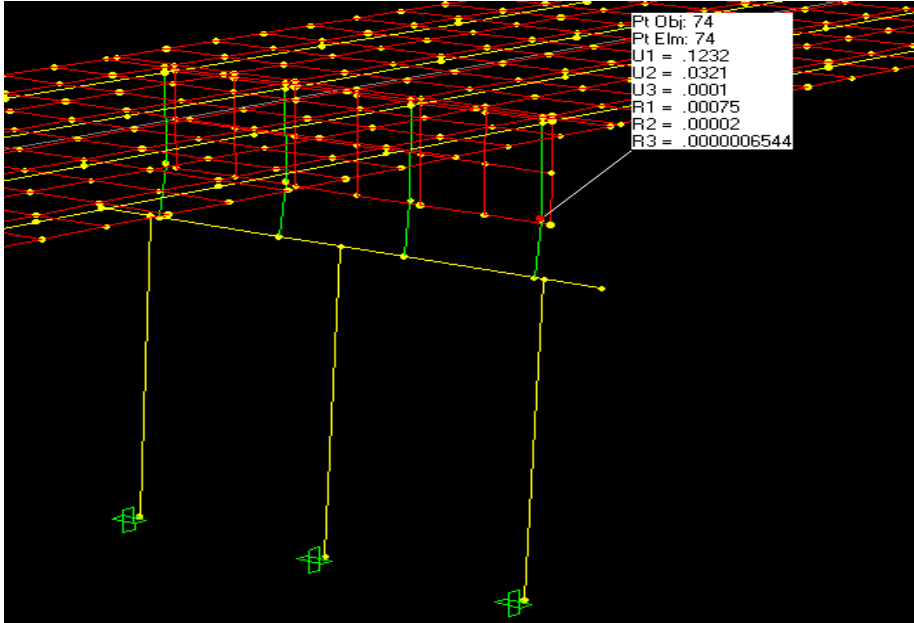
ALTURA DE COLUMNA 5 M



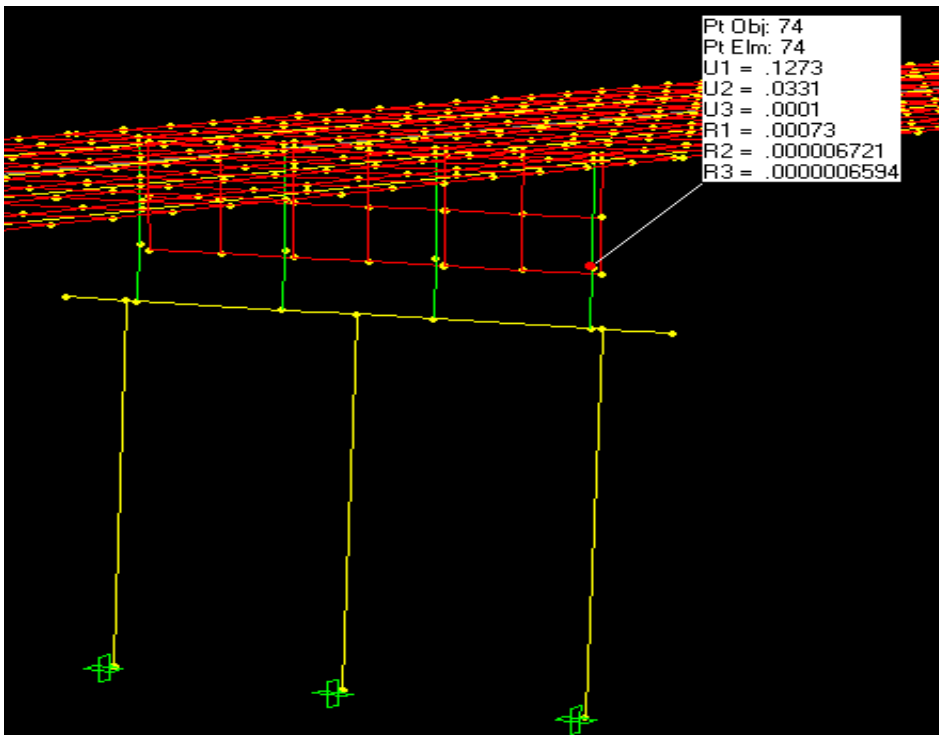
**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

ALTURA DE COLUMNA 5.5 M



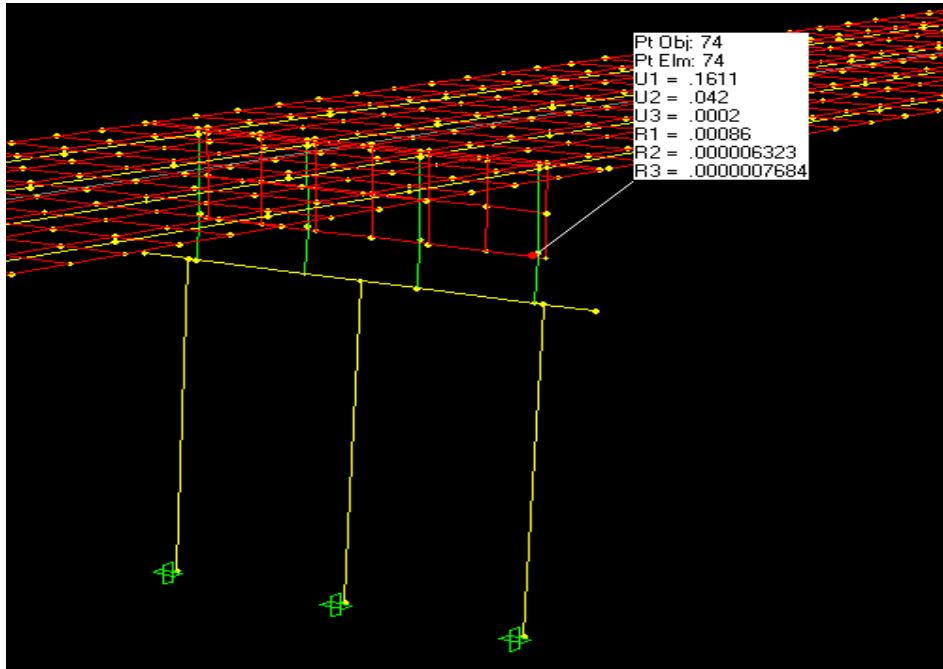
ALTURA DE COLUMNA 6 M



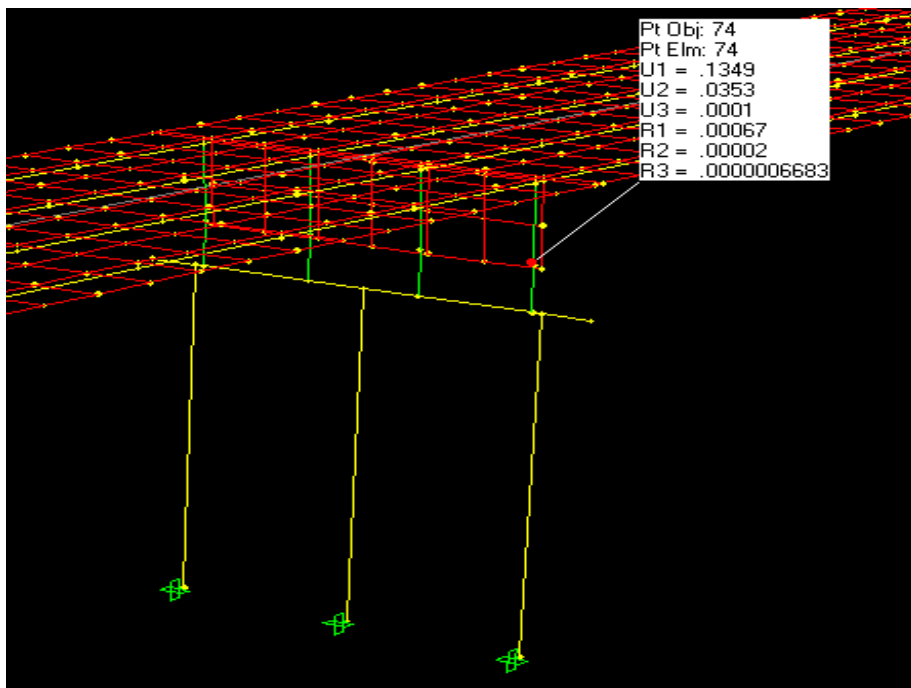
**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

ALTURA DE COLUMNA 6.5 M



ALTURA DE COLUMNA 7 M



# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

## DESPLAZAMIENTO TOTAL 12.26 CM

### AISLACION SISMICA DE PUENTES METODO: FPS (DESPLAZAMIENTO ASUMIDO 12 CM) ALTURA DE COLUMNA 2.5 M

El puente en estudio es uno recto de 2 luces, con tablero formado por vigas de presforzadas continuas y una losa de concreto reforzado. Las vigas se apoyan en estribos tipo asiento en los extremos y en 1 pila intermedia formada por 3 columnas y una viga cabezal.

#### Sección A

##### Paso A.1: Datos

$m := 3$  m : Número de apoyos  
 $n := 4$  n : Número de vigas por apoyo  
 $skew := 0$  skew : ángulo de esviajamiento  
 $ncol := 3$  ncol : número de columnas en apoyos intermedios

$W1 := 325.28 \text{ kip}$  W1 : peso de la superestructura en estribo 1  
 $W2 := 650.56 \text{ kip}$  W2 : peso de la superestructura en pila 1  
 $W3 := 0 \text{ kip}$  W3 : peso de la superestructura en pila 2  
 $W4 := 325.28 \text{ kip}$  W4 : peso de la superestructura en estribo 2

$Wss := W1 + W2 + W3 + W4$  Wss : Peso muerto de la superestructura  
 $Wss = 1301.12 \text{ kip}$

$Wpp := 31.42 \text{ kip}$  Wpp : Peso de las pilas  
 $Wef := Wss + Wpp$  Wef = 1332.54 kip

##### Rigidez de la pila, sentido longitudinal

$E := 3605 \frac{\text{kip}}{\text{in}^2}$   
 $dcol := 55 \text{ cm}$   
 $Icol := \frac{\pi \cdot dcol^4}{64}$   
 $Icol = 1.079 \times 10^4 \text{ in}^4$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

$$L = 250 \text{ cm}$$

$$K_{\text{subp}} := \frac{3 \cdot E \cdot I_{\text{col}}}{L^3}$$

$$K_{\text{subp1}} = 122.403 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{\text{subp1}} = 365.85 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{\text{subp2}} = 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$K_{\text{subp1}}$ ,  $K_{\text{subp2}}$ : Rigidez de las pilas en ambas direcciones, se asume empotradas en las zapatas y comportamiento de curvatura simple

### Paso A.2: Peligro Sísmico

$$PGA = 0.40$$

$$S_1 = 2$$

### Sección B

#### Análisis del puente en sentido longitudinal con carga sísmica.

En la mayoría de las aplicaciones, los sistemas de aislamiento deben ser rígidos para cargas no sísmicas, pero flexibles para cargas sísmicas aumentando por consiguiente el periodo fundamental de vibración. Como una consecuencia los aisladores presentan comportamiento bilineal.

Estrictamente hablando los métodos no lineales deben ser usados para los análisis. Pero un método común es usar resortes lineales equivalentes y amortiguamientos viscosos que representen a los aisladores, tal que métodos lineales sean utilizados para determinar la respuesta.

Las propiedades equivalentes como  $K_{\text{isol}}$  (rigidez efectiva del aislador) son dependientes de los desplazamientos, pero estos al inicio del análisis no son conocidos y se requiere de un proceso iterativo.

#### B.1 Método Simplificado

En el método simplificado un modelo de un sistema de un grado de libertad con propiedades lineales equivalentes y amortiguamiento viscoso para representar los aisladores, es analizado iterativamente para estimar el desplazamiento de la superestructura y las propiedades requeridas para cada aislador necesarias para el comportamiento requerido.

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### B.1.1 Propiedades iniciales del sistema y desplazamientos

El concepto básico para usar aisladores sísmicos es que los elementos de una pila, columnas y viga cabezal, cuando se presente el sismo de diseño es que se comporten dentro del rango elástico.

Los únicos elementos que pueden presentar rótulas plásticas son las columnas, por lo tanto el máximo desplazamiento en ellas tal que no incurrieren en el rango inelástico es llegar a la fluencia.

Por lo tanto, el desplazamiento máximo que pueden presentar las columnas será el de fluencia. A continuación se detalla el cálculo del desplazamiento de fluencia en las columnas

$$\phi_y := 2.25 \cdot \frac{0.0021}{55 \text{ cm}}$$

$$\phi_y = 8.591 \times 10^{-3} \frac{1}{\text{m}}$$

$$H_{\text{columna}} := 250 \text{ cm}$$

$$d_y := \frac{\phi_y \cdot H_{\text{columna}}^2}{3}$$

$$d_y = 0.018 \text{ m}$$

$$d_{\text{sub1}} := d_y \quad \text{Desplazamiento de cedencia de las columnas}$$

$$d_{\text{sub1}} = 1.79 \text{ cm}$$

$$d := 12.26 \text{ cm} \quad \text{Desplazamiento total del sistema para evitar efectos P-Delta}$$

#### Qd : Resistencia característica

$$Qd := 0.10 \cdot W_{ss} \quad Qd = 130.112 \text{ kip}$$

$$Qd1 := Qd \cdot \left( \frac{W1}{W_{ss}} \right) \quad Qd1 = 32.528 \text{ kip}$$

$$Qd2 := Qd \cdot \left( \frac{W2}{W_{ss}} \right) \quad Qd2 = 65.056 \text{ kip}$$

$$Qd3 := Qd \cdot \left( \frac{W3}{W_{ss}} \right) \quad Qd3 = 0 \text{ kip}$$

$$Qd4 := Qd \cdot \left( \frac{W4}{W_{ss}} \right) \quad Qd4 = 32.528 \text{ kip}$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### Rigidez Post-Elástica

$$K_d := 0.10 \cdot \frac{W_{ss}}{d} \quad K_d = 26.956 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

### Rigidez Post-Elástica en los demás apoyos

$$K_{d1} := K_d \left( \frac{W_1}{W_{ss}} \right) \quad K_{d1} = 6.739 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{d2} := K_d \left( \frac{W_2}{W_{ss}} \right) \quad K_{d2} = 13.478 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{d3} := K_d \left( \frac{W_3}{W_{ss}} \right) \quad K_{d3} = 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{d4} := K_d \left( \frac{W_4}{W_{ss}} \right) \quad K_{d4} = 6.739 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{abut} := 10000 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$\alpha_1 := \frac{(K_{d1}) \cdot d + Q_{d1}}{(K_{abut}) \cdot d - Q_{d1}} \quad \alpha_1 = 1.349 \times 10^{-3}$$

$$\alpha_2 := \frac{(K_{d2}) \cdot d + Q_{d2}}{(K_{subp1}) \cdot d - Q_{d2}} \quad \alpha_2 = 0.076$$

$$\alpha_3 := \frac{(K_{d3}) \cdot d + Q_{d3}}{(K_{subp2}) \cdot d - Q_{d3}} \quad \alpha_3 = 0$$

$$\alpha_4 := \frac{(K_{d4}) \cdot d + Q_{d4}}{(K_{abut}) \cdot d - Q_{d4}} \quad \alpha_4 = 1.349 \times 10^{-3}$$

$$K_{eff1} := \frac{\alpha_1 \cdot (K_{abut})}{1 + \alpha_1} \quad K_{eff1} = 13.469 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{eff2} := \frac{\alpha_2 \cdot (K_{subp1})}{1 + \alpha_2} \quad K_{eff2} = 25.999 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{eff3} := \frac{\alpha_3 \cdot (K_{subp2})}{1 + \alpha_3} \quad K_{eff3} = 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{eff4} := \frac{\alpha_4 \cdot (K_{abut})}{1 + \alpha_4} \quad K_{eff4} = 13.469 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### B1.4 Rigidez efectiva total

$$K_{eff} := K_{eff1} + K_{eff2} + K_{eff3} + K_{eff4}$$

$$K_{eff} = 52.937 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

### B1.5 Desplazamiento del aislador en cada apoyo

$$\text{diso1} := \frac{d}{1 + \alpha_1} \quad \text{diso1} = 12.243 \text{ cm}$$

$$\text{diso2} := \frac{d}{1 + \alpha_2} \quad \text{diso2} = 11.389 \text{ cm}$$

$$\text{diso3} := \frac{d}{1 + \alpha_3} \quad \text{diso3} = 12.26 \text{ cm}$$

$$\text{diso4} := \frac{d}{1 + \alpha_4} \quad \text{diso4} = 12.243 \text{ cm}$$

### B1.6 Rigidez del aislador en cada apoyo

$$K_{iso1} := \frac{Qd1}{\text{diso1}} + Kd1 \quad K_{iso1} = 13.487 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{iso2} := \frac{Qd2}{\text{diso2}} + Kd2 \quad K_{iso2} = 27.987 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{iso3} := \frac{Qd3}{\text{diso3}} + Kd3 \quad K_{iso3} = 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{iso4} := \frac{Qd4}{\text{diso4}} + Kd4 \quad K_{iso4} = 13.487 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

### B1.7 Desplazamiento de la subestructura en cada apoyo

$$\text{dsub1} := d - \text{diso1} \quad \text{dsub1} = 0.017 \text{ cm}$$

$$\text{dsub2} := d - \text{diso2} \quad \text{dsub2} = 0.871 \text{ cm}$$

$$\text{dsub3} := d - \text{diso3} \quad \text{dsub3} = 0 \text{ in}$$

$$\text{dsub4} := d - \text{diso4} \quad \text{dsub4} = 0.017 \text{ cm}$$



## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### B1.8 Carga lateral en cada subestructura

$$\begin{aligned}
 F_{sub1} &:= K_{sub1} \cdot (d_{sub1}) & F_{sub1} &= 65.012 \text{ kip} \\
 F_{sub2} &:= K_{sub1} \cdot (d_{sub2}) & F_{sub2} &= 125.489 \text{ kip} \\
 F_{sub3} &:= K_{sub2} \cdot (d_{sub3}) & F_{sub3} &= 0 \text{ kip} \\
 F_{sub4} &:= K_{sub1} \cdot (d_{sub4}) & F_{sub4} &= 65.012 \text{ kip}
 \end{aligned}$$

### B1.9 Fuerza cortante en las columnas

$$\begin{aligned}
 F_{col1} &:= \frac{F_{sub2}}{n_{col}} & F_{col1} &= 41.83 \text{ kip} \\
 F_{col2} &:= \frac{F_{sub3}}{n_{col}} & F_{col2} &= 0 \text{ kip}
 \end{aligned}$$

### B1.10 Período efectivo y amortiguamiento

$$T_{eff} := 2\pi \sqrt{\frac{W_{eff}}{g \cdot K_{eff}}}$$

$$T_{eff} = 1.604 \text{ s} \quad \text{Ok!!! Similar al Período efectivo asumido al inicio}$$

$\xi$  = Amortiguamiento equivalente

dy es el desplazamiento por cedencia del aislador, que normalmente es tan bajo que se lo considera despreciable. Para este primer paso iterativo, asumamos dy=0

$$\frac{dy}{dx} = 0$$

$$\xi = \frac{2 \cdot [Qd1 \cdot (diso1 - dy) + Qd2 \cdot (diso2 - dy) + Qd3 \cdot (diso3 - dy) + Qd4 \cdot (diso4 - dy)]}{\pi \cdot [K_{eff1} \cdot (diso1 - d_{sub1})^2 + K_{eff2} \cdot (diso2 + d_{sub2})^2 + K_{eff3} \cdot (diso3 - d_{sub3})^2 + K_{eff4} \cdot (diso4 + d_{sub4})^2]}$$

$$\xi = 0.312$$

### B1.11 Factor de amortiguamiento

$$D1 := \text{if} \left[ \xi < 0.3, \left( \frac{\xi}{0.05} \right)^{0.3}, 1.7 \right]$$

$$D1 = 1.7$$

$$d = 12.26 \text{ cm} \quad d : \text{Desplazamiento de la subestructura}$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

Amortiguamiento de los aisladores, para modelar en el sap

Estribos

$$c1 := 2 \xi_1 \sqrt{\frac{Kiso1 \cdot W1}{g}} \quad c1 = 2.106 \frac{\text{kip}\cdot\text{s}}{\text{in}}$$

Pilas

$$c2 := 2 \xi_2 \sqrt{\frac{Kiso2 \cdot W2}{g}} \quad c2 = 4.291 \frac{\text{kip}\cdot\text{s}}{\text{in}}$$

**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

**AISLACION SISMICA DE PUENTES  
METODO: FPS (DESPLAZAMIENTO ASUMIDO 12 CM)  
ALTURA DE COLUMNA 3 M**

El puente en estudio es uno recto de 2 luces, con tablero formado por vigas de preforzadas continuas y una losa de concreto reforzado. Las vigas se apoyan en estribos tipo asiento en los extremos y en 1 pila intermedia formada por 3 columnas y una viga cabezal.

**Sección A**

**Paso A.1: Datos**

$m := 3$        $m$  : Número de apoyos

$n := 4$        $n$  : Número de vigas por apoyo

$skew := 0$        $skew$  : ángulo de esviajamiento

$ncol := 3$        $ncol$  : número de columnas en apoyos intermedios

$W1 := 325.28 \text{ kip}$        $W1$  : peso de la superestructura en estribo 1

$W2 := 650.56 \text{ kip}$        $W2$  : peso de la superestructura en pila 1

$W3 := 0 \text{ kip}$        $W3$  : peso de la superestructura en pila 2

$W4 := 325.28 \text{ kip}$        $W4$  : peso de la superestructura en estribo 2

$W_{ss} := W1 + W2 + W3 + W4$        $W_{ss}$  : Peso muerto de la superestructura

$W_{ss} = 1301.12 \text{ kip}$

$W_{pp} := 32.85 \text{ kip}$        $W_{pp}$  : Peso de las pilas

$W_{eff} := W_{ss} + W_{pp}$        $W_{eff} = 1333.97 \text{ kip}$

Rigidez de la pila, sentido longitudinal

$$E := 3605 \frac{\text{kip}}{\text{in}^2}$$

$d_{col} := 55 \text{ cm}$

$$I_{col} := \frac{\pi \cdot d_{col}^4}{64}$$

$$I_{col} = 1.079 \times 10^4 \text{ in}^4$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

$$L_s := 300 \text{ cm}$$

$$K_{\text{subp1}} := \frac{3 \cdot E \cdot I_{\text{col}}}{L^3}$$

$$K_{\text{subp1}} = 70.835 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{\text{subp2}} := 365.85 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{\text{subp2}} := 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$K_{\text{subp1}}$  ,  $K_{\text{subp2}}$  : Rigidez de las pilas en ambas direcciones, se asume empotradas en las zapatas y comportamiento de curvatura simple

### Paso A.2: Peligro Sísmico

$$PGA := 0.40$$

$$S_i := 2$$

## Sección B

### Análisis del puente en sentido longitudinal con carga sísmica.

En la mayoría de las aplicaciones, los sistemas de aislamiento deben ser rígidos para cargas no sísmicas, pero flexibles para cargas sísmicas aumentando por consiguiente el período fundamental de vibración. Como una consecuencia los aisladores presentan comportamiento bilineal.

Estrictamente hablando los métodos no lineales deben ser usados para los análisis. Pero un método común es usar resortes lineales equivalentes y amortiguamientos viscosos que representen a los aisladores, tal que métodos lineales sean utilizados para determinar la respuesta. Las propiedades equivalentes como  $K_{\text{isol}}$  (rigidez efectiva del aislador) son dependientes de los desplazamientos, pero estos al inicio del análisis no son conocidos y se requiere de un proceso iterativo.

#### B.1 Método Simplificado

En el método simplificado un modelo de un sistema de un grado de libertad con propiedades lineales equivalentes y amortiguamiento viscoso para representar los aisladores, es analizado iterativamente para estimar el desplazamiento de la superestructura y las propiedades requeridas para cada aislador necesarias para el comportamiento requerido.

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### B.1.1 Propiedades iniciales del sistema y desplazamientos

El concepto básico para usar aisladores sísmicos es que los elementos de una pila, columnas y viga cabezal, cuando se presente el sismo de diseño es que se comporten dentro del rango elástico.

Los únicos elementos que pueden presentar rótulas plásticas son las columnas, por lo tanto el máximo desplazamiento en ellas tal que no incurrieren en el rango inelástico es llegar a la fluencia.

Por lo tanto, el desplazamiento máximo que pueden presentar las columnas será el de fluencia. A continuación se detalla el cálculo del desplazamiento de fluencia en las columnas

$$\phi_y := 2.25 \cdot \frac{0.0021}{55\text{cm}}$$

$$\phi_y = 8.591 \times 10^{-3} \frac{1}{\text{m}}$$

$$H_{\text{columna}} := 300\text{cm}$$

$$d_y := \frac{\phi_y \cdot H_{\text{columna}}^2}{3}$$

$$d_y = 0.026\text{m}$$

$$d_{\text{sub1}} := d_y \quad \text{Desplazamiento de cedencia de las columnas}$$

$$d_{\text{sub1}} = 2.577\text{cm}$$

$$d := 12.26\text{cm} \quad \text{Desplazamiento total del sistema para evitar efectos P-Delta}$$

**Qd : Resistencia característica**

$$Q_d := 0.10 \cdot W_{ss} \quad Q_d = 130.112\text{ kip}$$

$$Q_{d1} := Q_d \cdot \left( \frac{W_1}{W_{ss}} \right) \quad Q_{d1} = 32.528\text{ kip}$$

$$Q_{d2} := Q_d \cdot \left( \frac{W_2}{W_{ss}} \right) \quad Q_{d2} = 65.056\text{ kip}$$

$$Q_{d3} := Q_d \cdot \left( \frac{W_3}{W_{ss}} \right) \quad Q_{d3} = 0\text{ kip}$$

$$Q_{d4} := Q_d \cdot \left( \frac{W_4}{W_{ss}} \right) \quad Q_{d4} = 32.528\text{ kip}$$

**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

Rigidez Post-Elástica

$$K_d := 0.10 \cdot \frac{W_{ss}}{d} \quad K_d = 26.956 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

Rigidez Post-Elástica en los demás apoyos

$$K_{d1} := K_d \cdot \left( \frac{W1}{W_{ss}} \right) \quad K_{d1} = 6.739 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{d2} := K_d \cdot \left( \frac{W2}{W_{ss}} \right) \quad K_{d2} = 13.478 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{d3} := K_d \cdot \left( \frac{W3}{W_{ss}} \right) \quad K_{d3} = 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{d4} := K_d \cdot \left( \frac{W4}{W_{ss}} \right) \quad K_{d4} = 6.739 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{abut} := 10000 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$\alpha_1 := \frac{(K_{d1}) \cdot d + Q_{d1}}{(K_{abut}) \cdot d - Q_{d1}} \quad \alpha_1 = 1.349 \times 10^{-3}$$

$$\alpha_2 := \frac{(K_{d2}) \cdot d + Q_{d2}}{(K_{subp1}) \cdot d - Q_{d2}} \quad \alpha_2 = 0.076$$

$$\alpha_3 := \frac{(K_{d3}) \cdot d + Q_{d3}}{(K_{subp2}) \cdot d - Q_{d3}} \quad \alpha_3 = 0$$

$$\alpha_4 := \frac{(K_{d4}) \cdot d + Q_{d4}}{(K_{abut}) \cdot d - Q_{d4}} \quad \alpha_4 = 1.349 \times 10^{-3}$$

$$K_{eff1} := \frac{\alpha_1 \cdot (K_{abut})}{1 + \alpha_1} \quad K_{eff1} = 13.469 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{eff2} := \frac{\alpha_2 \cdot (K_{subp1})}{1 + \alpha_2} \quad K_{eff2} = 25.999 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{eff3} := \frac{\alpha_3 \cdot (K_{subp2})}{1 + \alpha_3} \quad K_{eff3} = 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{eff4} := \frac{\alpha_4 \cdot (K_{abut})}{1 + \alpha_4} \quad K_{eff4} = 13.469 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### B1.4 Rigidez efectiva

total

$$K_{eff} := K_{eff1} + K_{eff2} + K_{eff3} + K_{eff4}$$

$$K_{eff} = 52.937 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

### B1.5 Desplazamiento del aislador en cada apoyo

$$diso1 := \frac{d}{1 + \alpha1} \quad diso1 = 12.243 \text{ cm}$$

$$diso2 := \frac{d}{1 + \alpha2} \quad diso2 = 11.389 \text{ cm}$$

$$diso3 := \frac{d}{1 + \alpha3} \quad diso3 = 12.26 \text{ cm}$$

$$diso4 := \frac{d}{1 + \alpha4} \quad diso4 = 12.243 \text{ cm}$$

### B1.6 Rigidez del aislador en cada apoyo

$$Kiso1 := \frac{Qd1}{diso1} + Kd1 \quad Kiso1 = 13.487 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$Kiso2 := \frac{Qd2}{diso2} + Kd2 \quad Kiso2 = 27.987 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$Kiso3 := \frac{Qd3}{diso3} + Kd3 \quad Kiso3 = 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$Kiso4 := \frac{Qd4}{diso4} + Kd4 \quad Kiso4 = 13.487 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

### B1.7 Desplazamiento de la subestructura en cada apoyo

$$d_{sub1} := d - diso1 \quad d_{sub1} = 0.017 \text{ cm}$$

$$d_{sub2} := d - diso2 \quad d_{sub2} = 0.871 \text{ cm}$$

$$d_{sub3} := d - diso3 \quad d_{sub3} = 0 \text{ in}$$

$$d_{sub4} := d - diso4 \quad d_{sub4} = 0.017 \text{ cm}$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### B1.8 Carga lateral en cada subestructura

$$\begin{aligned}
 F_{sub1} &:= K_{sub1} \cdot (d_{sub1}) & F_{sub1} &= 65.012 \text{ kip} \\
 F_{sub2} &:= K_{sub1} \cdot (d_{sub2}) & F_{sub2} &= 125.489 \text{ kip} \\
 F_{sub3} &:= K_{sub2} \cdot (d_{sub3}) & F_{sub3} &= 0 \text{ kip} \\
 F_{sub4} &:= K_{sub1} \cdot (d_{sub4}) & F_{sub4} &= 65.012 \text{ kip}
 \end{aligned}$$

### B1.9 Fuerza cortante en las columnas

$$\begin{aligned}
 F_{col1} &:= \frac{F_{sub2}}{n_{col}} & F_{col1} &= 41.83 \text{ kip} \\
 F_{col2} &:= \frac{F_{sub3}}{n_{col}} & F_{col2} &= 0 \text{ kip}
 \end{aligned}$$

### B1.10 Período efectivo y amortiguamiento

$$T_{eff} := 2\pi \sqrt{\frac{W_{eff}}{g \cdot K_{eff}}}$$

$$T_{eff} = 1.605 \text{ s} \quad \text{Ok!!! Similar al Período efectivo asumido al inicio}$$

$\xi$  = Amortiguamiento equivalente

$dy$  es el desplazamiento por cedencia del aislador, que normalmente es tan bajo que se lo considera despreciable. Para este primer paso iterativo, asumamos  $dy=0$

$$\frac{dy}{W_{tot}} = 0$$

$$\xi := \frac{2 \cdot [Qd1 \cdot (diso1 - dy) + Qd2 \cdot (diso2 - dy) + Qd3 \cdot (diso3 - dy) + Qd4 \cdot (diso4 - dy)]}{\pi \cdot [K_{eff1} \cdot (diso1 + d_{sub1})^2 + K_{eff2} \cdot (diso2 + d_{sub2})^2 + K_{eff3} \cdot (diso3 + d_{sub3})^2 + K_{eff4} \cdot (diso4 + d_{sub4})^2]}$$

$$\xi = 0.312$$

### B1.11 Factor de amortiguamiento

$$B1 := \text{if} \left[ \xi < 0.3, \left( \frac{\xi}{0.05} \right)^{0.3}, 1.7 \right]$$

$$B1 = 1.7$$

$$d = 12.26 \text{ cm} \quad d : \text{Desplazamiento de la subestructura}$$



## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

Amortiguamiento de los aisladores, para modelar en el sap

Estribos

$$c1 := 2 \cdot \xi \cdot \sqrt{\frac{Kiso1 \cdot W1}{g}} \quad c1 = 2.106 \frac{\text{kip} \cdot \text{s}}{\text{in}}$$

Pilas

$$c2 := 2 \cdot \xi \cdot \sqrt{\frac{Kiso2 \cdot W2}{g}} \quad c2 = 4.291 \frac{\text{kip} \cdot \text{s}}{\text{in}}$$

**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

**AISLACION SISMICA DE PUENTES  
METODO: FPS (DESPLAZAMIENTO ASUMIDO 12 CM)  
ALTURA DE COLUMNA 3.5 M**

El puente en estudio es uno recto de 2 luces, con tablero formado por vigas de preforzadas continuas y una losa de concreto reforzado. Las vigas se apoyan en estribos tipo asiento en los extremos y en 1 pila intermedia formada por 3 columnas y una viga cabezal.

**Sección A**

Paso A.1: Datos

$m := 3$        $m$  : Número de apoyos  
 $n := 4$        $n$  : Número de vigas por apoyo  
 $skew := 0$        $skew$  : ángulo de esviajamiento  
 $ncol := 3$        $ncol$  : número de columnas en apoyos intermedios

$W1 := 325.28 \text{ kip}$        $W1$  : peso de la superestructura en estribo 1  
 $W2 := 650.56 \text{ kip}$        $W2$  : peso de la superestructura en pila 1  
 $W3 := 0 \text{ kip}$        $W3$  : peso de la superestructura en pila 2  
 $W4 := 325.28 \text{ kip}$        $W4$  : peso de la superestructura en estribo 2

$Wss := W1 + W2 + W3 + W4$        $Wss$  : Peso muerto de la superestructura  
 $Wss = 1301.12 \text{ kip}$

$Wpp := 34.75 \text{ kip}$        $Wpp$  : Peso de las pilas

$W_{eff} := Wss + Wpp$        $W_{eff} = 1335.87 \text{ kip}$

Rigidez de la pila, sentido longitudinal

$E := 3605 \frac{\text{kip}}{\text{in}^2}$

$dcol := 55 \text{ cm}$

$Icol := \frac{\pi \cdot dcol^4}{64}$

$Icol = 1.079 \times 10^4 \text{ in}^4$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

$$L_c := 350 \text{ cm}$$

$$K_{\text{subp1}} := \frac{3 \cdot E \cdot I_{\text{col}}}{L^3}$$

$$K_{\text{subp1}} = 44.608 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{\text{subp1}} := 275.23 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{\text{subp2}} := 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$K_{\text{subp1}}$  ,  $K_{\text{subp2}}$  : Rigidez de las pilas en ambas direcciones, se asume empotradas en las zapatas y comportamiento de curvatura simple

### Paso A.2: Peligro Sísmico

$$\text{PGA} := 0.40$$

$$S_i := 2$$

## Sección B

### Análisis del puente en sentido longitudinal con carga sísmica.

En la mayoría de las aplicaciones, los sistemas de aislamiento deben ser rígidos para cargas no sísmicas, pero flexibles para cargas sísmicas aumentando por consiguiente el período fundamental de vibración. Como una consecuencia los aisladores presentan comportamiento bilineal.

Estrictamente hablando los métodos no lineales deben ser usados para los análisis. Pero un método común es usar resortes lineales equivalentes y amortiguamientos viscosos que representen a los aisladores, tal que métodos lineales sean utilizados para determinar la respuesta.

Las propiedades equivalentes como  $K_{\text{isol}}$  (rigidez efectiva del aislador) son dependientes de los desplazamientos, pero estos al inicio del análisis no son conocidos y se requiere de un proceso iterativo.

### B.1 Método Simplificado

En el método simplificado un modelo de un sistema de un grado de libertad con propiedades lineales equivalentes y amortiguamiento viscoso para representar los aisladores, es analizado iterativamente para estimar el desplazamiento de la superestructura y las propiedades requeridas para cada aislador necesarias para el comportamiento requerido.

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### B.1.1 Propiedades iniciales del sistema y desplazamientos

El concepto básico para usar aisladores sísmicos es que los elementos de una pila, columnas y viga cabezal, cuando se presente el sismo de diseño es que se comporten dentro del rango elástico.

Los únicos elementos que pueden presentar rótulas plásticas son las columnas, por lo tanto el máximo desplazamiento en ellas tal que no incurrieren en el rango inelástico es llegar a la fluencia.

Por lo tanto, el desplazamiento máximo que pueden presentar las columnas será el de fluencia. A continuación se detalla el cálculo del desplazamiento de fluencia en las columnas

$$\phi_y := 2.25 \frac{0.0021}{55\text{cm}}$$

$$\phi_y = 8.591 \times 10^{-3} \frac{1}{\text{m}}$$

$$H_{\text{columna}} := 350\text{cm}$$

$$d_y := \frac{\phi_y \cdot H_{\text{columna}}^2}{3}$$

$$d_y = 0.035 \text{ m}$$

$$d_{\text{sub1}} := d_y \quad \text{Desplazamiento de cedencia de las columnas}$$

$$d_{\text{sub1}} = 3.508 \text{ cm}$$

$$d := 12.26\text{cm} \quad \text{Desplazamiento total del sistema para evitar efectos P-Delta}$$

#### Qd : Resistencia característica

$$Q_d := 0.10 \cdot W_{SS} \quad Q_d = 130.112 \text{ kip}$$

$$Q_{d1} := Q_d \left( \frac{W_1}{W_{SS}} \right) \quad Q_{d1} = 32.528 \text{ kip}$$

$$Q_{d2} := Q_d \left( \frac{W_2}{W_{SS}} \right) \quad Q_{d2} = 65.056 \text{ kip}$$

$$Q_{d3} := Q_d \left( \frac{W_3}{W_{SS}} \right) \quad Q_{d3} = 0 \text{ kip}$$

$$Q_{d4} := Q_d \left( \frac{W_4}{W_{SS}} \right) \quad Q_{d4} = 32.528 \text{ kip}$$

**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

Rigidez Post-Elástica

$$K_d := 0.10 \frac{W_{ss}}{d} \quad K_d = 26.956 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

Rigidez Post-Elástica en los demás apoyos

$$K_{d1} := K_d \cdot \left( \frac{W1}{W_{ss}} \right) \quad K_{d1} = 6.739 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{d2} := K_d \cdot \left( \frac{W2}{W_{ss}} \right) \quad K_{d2} = 13.478 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{d3} := K_d \cdot \left( \frac{W3}{W_{ss}} \right) \quad K_{d3} = 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{d4} := K_d \cdot \left( \frac{W4}{W_{ss}} \right) \quad K_{d4} = 6.739 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{abut} := 10000 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$\alpha_1 := \frac{(K_{d1}) \cdot d + Q_{d1}}{(K_{abut}) \cdot d - Q_{d1}} \quad \alpha_1 = 1.349 \times 10^{-3}$$

$$\alpha_2 := \frac{(K_{d2}) \cdot d + Q_{d2}}{(K_{subp1}) \cdot d - Q_{d2}} \quad \alpha_2 = 0.103$$

$$\alpha_3 := \frac{(K_{d3}) \cdot d + Q_{d3}}{(K_{subp2}) \cdot d - Q_{d3}} \quad \alpha_3 = 0$$

$$\alpha_4 := \frac{(K_{d4}) \cdot d + Q_{d4}}{(K_{abut}) \cdot d - Q_{d4}} \quad \alpha_4 = 1.349 \times 10^{-3}$$

$$K_{eff1} := \frac{\alpha_1 \cdot (K_{abut})}{1 + \alpha_1} \quad K_{eff1} = 13.469 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{eff2} := \frac{\alpha_2 \cdot (K_{subp1})}{1 + \alpha_2} \quad K_{eff2} = 25.698 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{eff3} := \frac{\alpha_3 \cdot (K_{subp2})}{1 + \alpha_3} \quad K_{eff3} = 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{eff4} := \frac{\alpha_4 \cdot (K_{abut})}{1 + \alpha_4} \quad K_{eff4} = 13.469 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### B1.4 Rigidez efectiva

total

$$K_{eff} := K_{eff1} + K_{eff2} + K_{eff3} + K_{eff4}$$

$$K_{eff} = 52.636 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

### B1.5 Desplazamiento del aislador en cada apoyo

$$\text{diso1} := \frac{d}{1 + \alpha_1} \quad \text{diso1} = 12.243 \text{ cm}$$

$$\text{diso2} := \frac{d}{1 + \alpha_2} \quad \text{diso2} = 11.115 \text{ cm}$$

$$\text{diso3} := \frac{d}{1 + \alpha_3} \quad \text{diso3} = 12.26 \text{ cm}$$

$$\text{diso4} := \frac{d}{1 + \alpha_4} \quad \text{diso4} = 12.243 \text{ cm}$$

### B1.6 Rigidez del aislador en cada apoyo

$$K_{iso1} := \frac{Qd1}{\text{diso1}} + Kd1 \quad K_{iso1} = 13.487 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{iso2} := \frac{Qd2}{\text{diso2}} + Kd2 \quad K_{iso2} = 28.344 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{iso3} := \frac{Qd3}{\text{diso3}} + Kd3 \quad K_{iso3} = 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{iso4} := \frac{Qd4}{\text{diso4}} + Kd4 \quad K_{iso4} = 13.487 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

### B1.7 Desplazamiento de la subestructura en cada apoyo

$$d_{sub1} := d - \text{diso1} \quad d_{sub1} = 0.017 \text{ cm}$$

$$d_{sub2} := d - \text{diso2} \quad d_{sub2} = 1.145 \text{ cm}$$

$$d_{sub3} := d - \text{diso3} \quad d_{sub3} = 0 \text{ in}$$

$$d_{sub4} := d - \text{diso4} \quad d_{sub4} = 0.017 \text{ cm}$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### B1.8 Carga lateral en cada subestructura

$$F_{sub1} := K_{abut} \cdot (d_{sub1}) \quad F_{sub1} = 65.012 \text{ kip}$$

$$F_{sub2} := K_{subp1} \cdot (d_{sub2}) \quad F_{sub2} = 124.038 \text{ kip}$$

$$F_{sub3} := K_{subp2} \cdot (d_{sub3}) \quad F_{sub3} = 0 \text{ kip}$$

$$F_{sub4} := K_{abut} \cdot (d_{sub4}) \quad F_{sub4} = 65.012 \text{ kip}$$

### B1.9 Fuerza cortante en las columnas

$$F_{col1} := \frac{F_{sub2}}{n_{col}} \quad F_{col1} = 41.346 \text{ kip}$$

$$F_{col2} := \frac{F_{sub3}}{n_{col}} \quad F_{col2} = 0 \text{ kip}$$

### B1.10 Período efectivo y amortiguamiento

$$T_{eff} := 2\pi \sqrt{\frac{W_{eff}}{g \cdot K_{eff}}}$$

$$T_{eff} = 1.611 \text{ s} \quad \text{Ok!!! Similar al Período efectivo asumido al inicio}$$

$\xi$  = Amortiguamiento equivalente

$dy$  es el desplazamiento por cedencia del aislador, que normalmente es tan bajo que se lo considera despreciable. Para este primer paso iterativo, asumamos  $dy=0$

$$\frac{dy}{n_{iso}} := 0$$

$$\xi := \frac{2 \cdot [Qd1 \cdot (diso1 - dy) + Qd2 \cdot (diso2 - dy) + Qd3 \cdot (diso3 - dy) + Qd4 \cdot (diso4 - dy)]}{\pi \left[ K_{eff1} \cdot (diso1 + d_{sub1})^2 + K_{eff2} \cdot (diso2 + d_{sub2})^2 + K_{eff3} \cdot (diso3 + d_{sub3})^2 + K_{eff4} \cdot (diso4 + d_{sub4})^2 \right]}$$

$$\xi = 0.311$$

### B1.11 Factor de amortiguamiento

$$B1 := \text{if} \left[ \xi < 0.3, \left( \frac{\xi}{0.05} \right)^{0.3}, 1.7 \right]$$

$$B1 = 1.7$$

$$d = 12.26 \text{ cm} \quad d : \text{Desplazamiento de la subestructura}$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

Amortiguamiento de los aisladores, para modelar en el sap

Estribos

$$c1 := 2 \cdot \xi \cdot \sqrt{\frac{Kiso1 \cdot W1}{g}} \quad c1 = 2.094 \frac{\text{kip} \cdot \text{s}}{\text{in}}$$

Pilas

$$c2 := 2 \cdot \xi \cdot \sqrt{\frac{Kiso2 \cdot W2}{g}} \quad c2 = 4.293 \frac{\text{kip} \cdot \text{s}}{\text{in}}$$



# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

## ASLACION SISMICA DE PUENTES METODO: FPS (DESPLAZAMIENTO ASUMIDO 12 CM) ALTURA DE COLUMNA 4 M

El puente en estudio es uno recto de 2 luces, con tablero formado por vigas de presforzadas continuas y una losa de concreto reforzado. Las vigas se apoyan en estribos tipo asiento en los extremos y en 1 pila intermedia formada por 3 columnas y una viga cabezal.

### Sección A

#### Paso A.1: Datos

$m := 3$        $m$  : Número de apoyos  
 $n := 4$        $n$  : Número de vigas por apoyo  
 $skew := 0$        $skew$  : ángulo de esviajamiento  
 $ncol := 3$        $ncol$  : número de columnas en apoyos intermedios

$W1 := 325.28 \text{ kip}$        $W1$  : peso de la superestructura en estribo 1  
 $W2 := 650.56 \text{ kip}$        $W2$  : peso de la superestructura en pila 1  
 $W3 := 0 \text{ kip}$        $W3$  : peso de la superestructura en pila 2  
 $W4 := 325.28 \text{ kip}$        $W4$  : peso de la superestructura en estribo 2

$Wss := W1 + W2 + W3 + W4$        $Wss$  : Peso muerto de la superestructura  
 $Wss = 1301.12 \text{ kip}$

$Wpp := 36.63 \text{ kip}$        $Wpp$  : Peso de las pilas

$Weff := Wss + Wpp$        $Weff = 1337.75 \text{ kip}$

#### Rigidez de la pila, sentido longitudinal

$$E := 3605 \frac{\text{kip}}{\text{in}^2}$$

$$dcol := 55 \text{ cm}$$

$$Icol := \frac{\pi \cdot dcol^4}{64}$$

$$Icol = 1.079 \times 10^4 \text{ in}^4$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

$$L_c := 400 \text{ cm}$$

$$K_{\text{subp1}} := \frac{3 \cdot E \cdot I_{\text{col}}}{L_c^3}$$

$$K_{\text{subp1}} = 29.884 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{\text{subp1}} := 223.88 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{\text{subp2}} := 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$K_{\text{subp1}}$  ,  $K_{\text{subp2}}$  : Rigidez de las pilas en ambas direcciones, se asume empotradas en las zapatas y comportamiento de curvatura simple

### Paso A.2: Peligro Sísmico

$$\text{PGA} := 0.40$$

$$S_i := 2$$

## Sección B

### Análisis del puente en sentido longitudinal con carga sísmica.

En la mayoría de las aplicaciones, los sistemas de aislamiento deben ser rígidos para cargas no sísmicas, pero flexibles para cargas sísmicas aumentando por consiguiente el período fundamental de vibración. Como una consecuencia los aisladores presentan comportamiento bilineal.

Estrictamente hablando los métodos no lineales deben ser usados para los análisis. Pero un método común es usar resortes lineales equivalentes y amortiguamientos viscosos que representen a los aisladores, tal que métodos lineales sean utilizados para determinar la respuesta. Las propiedades equivalentes como  $K_{\text{isol}}$  (rigidez efectiva del aislador) son dependientes de los desplazamientos, pero estos al inicio del análisis no son conocidos y se requiere de un proceso iterativo.

### B.1 Método Simplificado

En el método simplificado un modelo de un sistema de un grado de libertad con propiedades lineales equivalentes y amortiguamiento viscoso para representar los aisladores, es analizado iterativamente para estimar el desplazamiento de la superestructura y las propiedades requeridas para cada aislador necesarias para el comportamiento requerido.

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### B.1.1 Propiedades iniciales del sistema y desplazamientos

El concepto básico para usar aisladores sísmicos es que los elementos de una pila, columnas y viga cabezal, cuando se presente el sismo de diseño es que se comporten dentro del rango elástico.

Los únicos elementos que pueden presentar rótulas plásticas son las columnas, por lo tanto el máximo desplazamiento en ellas tal que no incurrieren en el rango inelástico es llegar a la fluencia.

Por lo tanto, el desplazamiento máximo que pueden presentar las columnas será el de fluencia. A continuación se detalla el cálculo del desplazamiento de fluencia en las columnas

$$\phi_y := 2.25 \cdot \frac{0.0021}{55 \text{ cm}}$$

$$\phi_y = 8.591 \times 10^{-3} \frac{1}{\text{m}}$$

$$H_{\text{columna}} := 400 \text{ cm}$$

$$d_y := \frac{\phi_y \cdot H_{\text{columna}}^2}{3}$$

$$d_y = 0.046 \text{ m}$$

$$d_{\text{sub1}} := d_y \quad \text{Desplazamiento de cedencia de las columnas}$$

$$d_{\text{sub1}} = 4.582 \text{ cm}$$

$$d := 12.26 \text{ cm} \quad \text{Desplazamiento total del sistema para evitar efectos P-Delta}$$

**Qd : Resistencia característica**

$$Q_d := 0.10 \cdot W_{SS} \quad Q_d = 130.112 \text{ kip}$$

$$Q_{d1} := Q_d \left( \frac{W_1}{W_{SS}} \right) \quad Q_{d1} = 32.528 \text{ kip}$$

$$Q_{d2} := Q_d \left( \frac{W_2}{W_{SS}} \right) \quad Q_{d2} = 65.056 \text{ kip}$$

$$Q_{d3} := Q_d \left( \frac{W_3}{W_{SS}} \right) \quad Q_{d3} = 0 \text{ kip}$$

$$Q_{d4} := Q_d \left( \frac{W_4}{W_{SS}} \right) \quad Q_{d4} = 32.528 \text{ kip}$$

**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

Rigidez Post-Elástica

$$K_d := 0.10 \frac{W_{ss}}{d} \quad K_d = 26.956 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

Rigidez Post-Elástica en los demás apoyos

$$K_{d1} := K_d \cdot \left( \frac{W1}{W_{ss}} \right) \quad K_{d1} = 6.739 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{d2} := K_d \cdot \left( \frac{W2}{W_{ss}} \right) \quad K_{d2} = 13.478 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{d3} := K_d \cdot \left( \frac{W3}{W_{ss}} \right) \quad K_{d3} = 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{d4} := K_d \cdot \left( \frac{W4}{W_{ss}} \right) \quad K_{d4} = 6.739 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{abut} := 10000 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$\alpha_1 := \frac{(K_{d1}) \cdot d + Q_{d1}}{(K_{abut}) \cdot d - Q_{d1}} \quad \alpha_1 = 1.349 \times 10^{-3}$$

$$\alpha_2 := \frac{(K_{d2}) \cdot d + Q_{d2}}{(K_{subp1}) \cdot d - Q_{d2}} \quad \alpha_2 = 0.128$$

$$\alpha_3 := \frac{(K_{d3}) \cdot d + Q_{d3}}{(K_{subp2}) \cdot d - Q_{d3}} \quad \alpha_3 = 0$$

$$\alpha_4 := \frac{(K_{d4}) \cdot d + Q_{d4}}{(K_{abut}) \cdot d - Q_{d4}} \quad \alpha_4 = 1.349 \times 10^{-3}$$

$$K_{eff1} := \frac{\alpha_1 \cdot (K_{abut})}{1 + \alpha_1} \quad K_{eff1} = 13.469 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{eff2} := \frac{\alpha_2 \cdot (K_{subp1})}{1 + \alpha_2} \quad K_{eff2} = 25.426 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{eff3} := \frac{\alpha_3 \cdot (K_{subp2})}{1 + \alpha_3} \quad K_{eff3} = 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{eff4} := \frac{\alpha_4 \cdot (K_{abut})}{1 + \alpha_4} \quad K_{eff4} = 13.469 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### B1.4 Rigidez efectiva

total

$$K_{eff} := K_{eff1} + K_{eff2} + K_{eff3} + K_{eff4}$$

$$K_{eff} = 52.364 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

### B1.5 Desplazamiento del aislador en cada apoyo

$$diso1 := \frac{d}{1 + \alpha1} \quad diso1 = 12.243 \text{ cm}$$

$$diso2 := \frac{d}{1 + \alpha2} \quad diso2 = 10.868 \text{ cm}$$

$$diso3 := \frac{d}{1 + \alpha3} \quad diso3 = 12.26 \text{ cm}$$

$$diso4 := \frac{d}{1 + \alpha4} \quad diso4 = 12.243 \text{ cm}$$

### B1.6 Rigidez del aislador en cada apoyo

$$Kiso1 := \frac{Qd1}{diso1} + Kd1 \quad Kiso1 = 13.487 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$Kiso2 := \frac{Qd2}{diso2} + Kd2 \quad Kiso2 = 28.683 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$Kiso3 := \frac{Qd3}{diso3} + Kd3 \quad Kiso3 = 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$Kiso4 := \frac{Qd4}{diso4} + Kd4 \quad Kiso4 = 13.487 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

### B1.7 Desplazamiento de la subestructura en cada apoyo

$$d_{sub1} := d - diso1 \quad d_{sub1} = 0.017 \text{ cm}$$

$$d_{sub2} := d - diso2 \quad d_{sub2} = 1.392 \text{ cm}$$

$$d_{sub3} := d - diso3 \quad d_{sub3} = 0 \text{ in}$$

$$d_{sub4} := d - diso4 \quad d_{sub4} = 0.017 \text{ cm}$$

**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

**B1.8 Carga lateral en cada subestructura**

$$F_{sub1} := K_{abut} \cdot (d_{sub1}) \quad F_{sub1} = 65.012 \text{ kip}$$

$$F_{sub2} := K_{subp1} \cdot (d_{sub2}) \quad F_{sub2} = 122.724 \text{ kip}$$

$$F_{sub3} := K_{subp2} \cdot (d_{sub3}) \quad F_{sub3} = 0 \text{ kip}$$

$$F_{sub4} := K_{abut} \cdot (d_{sub4}) \quad F_{sub4} = 65.012 \text{ kip}$$

**B1.9 Fuerza cortante en las columnas**

$$F_{col1} := \frac{F_{sub2}}{n_{col}} \quad F_{col1} = 40.908 \text{ kip}$$

$$F_{col2} := \frac{F_{sub3}}{n_{col}} \quad F_{col2} = 0 \text{ kip}$$

**B1.10 Período efectivo y amortiguamiento**

$$T_{eff} := 2\pi \cdot \sqrt{\frac{W_{eff}}{g \cdot K_{eff}}}$$

$T_{eff} = 1.616 \text{ s}$       Ok!!! Similar al Período efectivo asumido al inicio

$\xi$  = Amortiguamiento equivalente

dy es el desplazamiento por cedencia del aislador, que normalmente es tan bajo que se lo considera despreciable. Para este primer paso iterativo, asumamos dy=0

$dy := 0$

$$\xi := \frac{2 \cdot [Qd1 \cdot (diso1 - dy) + Qd2 \cdot (diso2 - dy) + Qd3 \cdot (diso3 - dy) + Qd4 \cdot (diso4 - dy)]}{\pi \cdot [K_{eff1} \cdot (diso1 + d_{sub1})^2 + K_{eff2} \cdot (diso2 + d_{sub2})^2 + K_{eff3} \cdot (diso3 + d_{sub3})^2 + K_{eff4} \cdot (diso4 + d_{sub4})^2]}$$

$\xi = 0.309$

**B1.11 Factor de amortiguamiento**

$$B1 := \text{if} \left[ \xi < 0.3, \left( \frac{\xi}{0.05} \right)^{0.3}, 1.7 \right]$$

$B1 = 1.7$

$d = 12.26 \text{ cm}$       d : Desplazamiento de la subestructura

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

Amortiguamiento de los aisladores, para modelar en el sap

Estribos

$$c1 := 2 \cdot \xi \cdot \sqrt{\frac{Kiso1 \cdot W1}{g}} \quad c1 = 2.083 \frac{\text{kip} \cdot \text{s}}{\text{in}}$$

Pilas

$$c2 := 2 \cdot \xi \cdot \sqrt{\frac{Kiso2 \cdot W2}{g}} \quad c2 = 4.295 \frac{\text{kip} \cdot \text{s}}{\text{in}}$$

# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

## AISLACION SISMICA DE PUENTES METODO: FPS (DESPLAZAMIENTO ASUMIDO 12 CM) ALTURA DE COLUMNA 4.5 M

El puente en estudio es uno recto de 2 luces, con tablero formado por vigas de presforzadas continuas y una losa de concreto reforzado. Las vigas se apoyan en estribos tipo asiento en los extremos y en 1 pila intermedia formada por 3 columnas y una viga cabezal.

### Sección A

Paso A.1: Datos

$m := 3$        $m$  : Número de apoyos

$n := 4$        $n$  : Número de vigas por apoyo

$skew := 0$       skew : ángulo de esviajamiento

$ncol := 3$       ncol : número de columnas en apoyos intermedios

$W1 := 325.28 \text{ kip}$        $W1$  : peso de la superestructura en estribo 1

$W2 := 650.56 \text{ kip}$        $W2$  : peso de la superestructura en pila 1

$W3 := 0 \text{ kip}$        $W3$  : peso de la superestructura en pila 2

$W4 := 325.28 \text{ kip}$        $W4$  : peso de la superestructura en estribo 2

$Wss := W1 + W2 + W3 + W4$        $Wss$  : Peso muerto de la superestructura

$Wss = 1301.12 \text{ kip}$

$Wpp := 38.51 \text{ kip}$        $Wpp$  : Peso de las pilas

$W_{eff} := Wss + Wpp$        $W_{eff} = 1339.63 \text{ kip}$

Rigidez de la pila, sentido longitudinal

$$E := 3605 \frac{\text{kip}}{\text{in}^2}$$

$$d_{col} := 55 \text{ cm}$$

$$I_{col} := \frac{\pi \cdot d_{col}^4}{64}$$

$$I_{col} = 1.079 \times 10^4 \text{ in}^4$$



## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

$$L_c := 450 \text{ cm}$$

$$K_{\text{subp1}} := \frac{3 \cdot E \cdot I_{\text{col}}}{L^3}$$

$$K_{\text{subp1}} = 20,988 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{\text{subp1}} = 191,0828 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{\text{subp2}} := 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$K_{\text{subp1}}$  ,  $K_{\text{subp2}}$  : Rigidez de las pilas en ambas direcciones, se asume empotradas en las zapatas y comportamiento de curvatura simple

### Paso A.2: Peligro Sísmico

$$\text{PGA} := 0,40$$

$$S_i := 2$$

### Sección B

#### Análisis del puente en sentido longitudinal con carga sísmica.

En la mayoría de las aplicaciones, los sistemas de aislamiento deben ser rígidos para cargas no sísmicas, pero flexibles para cargas sísmicas aumentando por consiguiente el periodo fundamental de vibración. Como una consecuencia los aisladores presentan comportamiento bilineal.

Estrictamente hablando los métodos no lineales deben ser usados para los análisis. Pero un método común es usar resortes lineales equivalentes y amortiguamientos viscosos que representen a los aisladores, tal que métodos lineales sean utilizados para determinar la respuesta.

Las propiedades equivalentes como  $K_{\text{isol}}$  (rigidez efectiva del aislador) son dependientes de los desplazamientos, pero estos al inicio del análisis no son conocidos y se requiere de un proceso iterativo.

#### B.1 Método Simplificado

En el método simplificado un modelo de un sistema de un grado de libertad con propiedades lineales equivalentes y amortiguamiento viscoso para representar los aisladores, es analizado iterativamente para estimar el desplazamiento de la superestructura y las propiedades requeridas para cada aislador necesarias para el comportamiento requerido.

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### B.1.1 Propiedades iniciales del sistema y desplazamientos

El concepto básico para usar aisladores sísmicos es que los elementos de una pila, columnas y viga cabezal, cuando se presente el sismo de diseño es que se comporten dentro del rango elástico.

Los únicos elementos que pueden presentar rótulas plásticas son las columnas, por lo tanto el máximo desplazamiento en ellas tal que no incurrieren en el rango inelástico es llegar a la fluencia.

Por lo tanto, el desplazamiento máximo que pueden presentar las columnas será el de fluencia. A continuación se detalla el cálculo del desplazamiento de fluencia en las columnas

$$\phi_y := 2.25 \cdot \frac{0.0021}{55 \text{ cm}}$$

$$\phi_y = 8.591 \times 10^{-3} \frac{1}{\text{m}}$$

$$H_{\text{columna}} := 450 \text{ cm}$$

$$d_y := \frac{\phi_y \cdot H_{\text{columna}}^2}{3}$$

$$d_y = 0.058 \text{ m}$$

$$d_{\text{sub1}} := d_y \quad \text{Desplazamiento de cedencia de las columnas}$$

$$d_{\text{sub1}} = 5.799 \text{ cm}$$

$$d := 12.26 \text{ cm} \quad \text{Desplazamiento total del sistema para evitar efectos P-Delta}$$

**Qd : Resistencia característica**

$$Q_d := 0.10 \cdot W_{SS} \quad Q_d = 130.112 \text{ kip}$$

$$Q_{d1} := Q_d \cdot \left( \frac{W1}{W_{SS}} \right) \quad Q_{d1} = 32.528 \text{ kip}$$

$$Q_{d2} := Q_d \cdot \left( \frac{W2}{W_{SS}} \right) \quad Q_{d2} = 65.056 \text{ kip}$$

$$Q_{d3} := Q_d \cdot \left( \frac{W3}{W_{SS}} \right) \quad Q_{d3} = 0 \text{ kip}$$

$$Q_{d4} := Q_d \cdot \left( \frac{W4}{W_{SS}} \right) \quad Q_{d4} = 32.528 \text{ kip}$$

**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

Rigidez Post-Elástica

$$K_d := 0.10 \cdot \frac{W_{ss}}{d} \quad K_d = 26.956 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

Rigidez Post-Elástica en los demás apoyos

$$K_{d1} := K_d \cdot \left( \frac{W_1}{W_{ss}} \right) \quad K_{d1} = 6.739 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{d2} := K_d \cdot \left( \frac{W_2}{W_{ss}} \right) \quad K_{d2} = 13.478 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{d3} := K_d \cdot \left( \frac{W_3}{W_{ss}} \right) \quad K_{d3} = 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{d4} := K_d \cdot \left( \frac{W_4}{W_{ss}} \right) \quad K_{d4} = 6.739 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{abut} := 10000 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$\alpha_1 := \frac{(K_{d1}) \cdot d + Q_{d1}}{(K_{abut}) \cdot d - Q_{d1}} \quad \alpha_1 = 1.349 \times 10^{-3}$$

$$\alpha_2 := \frac{(K_{d2}) \cdot d + Q_{d2}}{(K_{subp1}) \cdot d - Q_{d2}} \quad \alpha_2 = 0.152$$

$$\alpha_3 := \frac{(K_{d3}) \cdot d + Q_{d3}}{(K_{subp2}) \cdot d - Q_{d3}} \quad \alpha_3 = 0$$

$$\alpha_4 := \frac{(K_{d4}) \cdot d + Q_{d4}}{(K_{abut}) \cdot d - Q_{d4}} \quad \alpha_4 = 1.349 \times 10^{-3}$$

$$K_{eff1} := \frac{\alpha_1 \cdot (K_{abut})}{1 + \alpha_1} \quad K_{eff1} = 13.469 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{eff2} := \frac{\alpha_2 \cdot (K_{subp1})}{1 + \alpha_2} \quad K_{eff2} = 25.18 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{eff3} := \frac{\alpha_3 \cdot (K_{subp2})}{1 + \alpha_3} \quad K_{eff3} = 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{eff4} := \frac{\alpha_4 \cdot (K_{abut})}{1 + \alpha_4} \quad K_{eff4} = 13.469 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### B1.4 Rigidez efectiva

total

$$K_{eff} := K_{eff1} + K_{eff2} + K_{eff3} + K_{eff4}$$

$$K_{eff} = 52.118 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

### B1.5 Desplazamiento del aislador en cada apoyo

$$diso1 := \frac{d}{1 + \alpha1} \quad diso1 = 12.243 \text{ cm}$$

$$diso2 := \frac{d}{1 + \alpha2} \quad diso2 = 10.644 \text{ cm}$$

$$diso3 := \frac{d}{1 + \alpha3} \quad diso3 = 12.26 \text{ cm}$$

$$diso4 := \frac{d}{1 + \alpha4} \quad diso4 = 12.243 \text{ cm}$$

### B1.6 Rigidez del aislador en cada apoyo

$$Kiso1 := \frac{Qd1}{diso1} + Kd1 \quad Kiso1 = 13.487 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$Kiso2 := \frac{Qd2}{diso2} + Kd2 \quad Kiso2 = 29.002 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$Kiso3 := \frac{Qd3}{diso3} + Kd3 \quad Kiso3 = 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$Kiso4 := \frac{Qd4}{diso4} + Kd4 \quad Kiso4 = 13.487 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

### B1.7 Desplazamiento de la subestructura en cada apoyo

$$dsub1 := d - diso1 \quad dsub1 = 0.017 \text{ cm}$$

$$dsub2 := d - diso2 \quad dsub2 = 1.616 \text{ cm}$$

$$dsub3 := d - diso3 \quad dsub3 = 0 \text{ in}$$

$$dsub4 := d - diso4 \quad dsub4 = 0.017 \text{ cm}$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### B1.8 Carga lateral en cada subestructura

$$F_{sub1} := K_{abut} \cdot (d_{sub1}) \quad F_{sub1} = 65.012 \text{ kip}$$

$$F_{sub2} := K_{subp1} \cdot (d_{sub2}) \quad F_{sub2} = 121.539 \text{ kip}$$

$$F_{sub3} := K_{subp2} \cdot (d_{sub3}) \quad F_{sub3} = 0 \text{ kip}$$

$$F_{sub4} := K_{abut} \cdot (d_{sub4}) \quad F_{sub4} = 65.012 \text{ kip}$$

### B1.9 Fuerza cortante en las columnas

$$F_{col1} := \frac{F_{sub2}}{n_{col}} \quad F_{col1} = 40.513 \text{ kip}$$

$$F_{col2} := \frac{F_{sub3}}{n_{col}} \quad F_{col2} = 0 \text{ kip}$$

### B1.10 Período efectivo y amortiguamiento

$$T_{eff} := 2\pi \sqrt{\frac{W_{eff}}{g \cdot K_{eff}}}$$

$$T_{eff} = 1.621 \text{ s} \quad \text{Ok!!! Similar al Período efectivo asumido al inicio}$$

$\xi$  = Amortiguamiento equivalente

$dy$  es el desplazamiento por cedencia del aislador, que normalmente es tan bajo que se lo considera despreciable. Para este primer paso iterativo, asumamos  $dy=0$

$$\frac{dy}{www} := 0$$

$$\xi := \frac{2 \cdot [Qd1 \cdot (diso1 - dy) + Qd2 \cdot (diso2 - dy) + Qd3 \cdot (diso3 - dy) + Qd4 \cdot (diso4 - dy)]}{\pi \cdot [K_{eff1} \cdot (diso1 + d_{sub1})^2 + K_{eff2} \cdot (diso2 + d_{sub2})^2 + K_{eff3} \cdot (diso3 + d_{sub3})^2 + K_{eff4} \cdot (diso4 + d_{sub4})^2]}$$

$$\xi = 0.307$$

### B1.11 Factor de amortiguamiento

$$BI := \text{if} \left[ \xi < 0.3, \left( \frac{\xi}{0.05} \right)^{0.3}, 1.7 \right]$$

$$BI = 1.7$$

$$d = 12.26 \text{ cm} \quad d : \text{Desplazamiento de la subestructura}$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

Amortiguamiento de los aisladores, para modelar en el sap

Estribos

$$c1 := 2 \cdot \xi \cdot \sqrt{\frac{Kiso1 \cdot W1}{g}} \quad c1 = 2.072 \frac{\text{kip} \cdot \text{s}}{\text{in}}$$

Pilas

$$c2 := 2 \cdot \xi \cdot \sqrt{\frac{Kiso2 \cdot W2}{g}} \quad c2 = 4.297 \frac{\text{kip} \cdot \text{s}}{\text{in}}$$

# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

## AISLACION SISMICA DE PUENTES METODO: FPS (DESPLAZAMIENTO ASUMIDO 12 CM) ALTURA DE COLUMNA 5 M

El puente en estudio es uno recto de 2 luces, con tablero formado por vigas de presforzadas continuas y una losa de concreto reforzado. Las vigas se apoyan en estribos tipo asiento en los extremos y en 1 pila intermedia formada por 3 columnas y una viga cabezal.

### Sección A

#### Paso A.1: Datos

$m := 3$        $m$  : Número de apoyos  
 $n := 4$        $n$  : Número de vigas por apoyo  
 $skew := 0$        $skew$  : ángulo de esviajamiento  
 $ncol := 3$        $ncol$  : número de columnas en apoyos intermedios

$W1 := 325.28 \text{ kip}$        $W1$  : peso de la superestructura en estribo 1  
 $W2 := 650.56 \text{ kip}$        $W2$  : peso de la superestructura en pila 1  
 $W3 := 0 \text{ kip}$        $W3$  : peso de la superestructura en pila 2  
 $W4 := 325.28 \text{ kip}$        $W4$  : peso de la superestructura en estribo 2

$Wss := W1 + W2 + W3 + W4$        $Wss$  : Peso muerto de la superestructura  
 $Wss = 1301.12 \text{ kip}$

$Wpp := 40.40 \text{ kip}$        $Wpp$  : Peso de las pilas

$Weff := Wss + Wpp$        $Weff = 1341.52 \text{ kip}$

#### Rigidez de la pila, sentido longitudinal

$$E := 3605 \frac{\text{kip}}{\text{in}^2}$$

$$dcol := 55 \text{ cm}$$

$$Icol := \frac{\pi \cdot dcol^4}{64}$$

$$Icol = 1.079 \times 10^4 \text{ in}^4$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

$$L := 500 \text{ cm}$$

$$K_{\text{subp1}} := \frac{3 \cdot E \cdot I_{\text{col}}}{L^3}$$

$$K_{\text{subp1}} = 15.3 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{\text{subp1}} := 168.54 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{\text{subp2}} := 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$K_{\text{subp1}}$  ,  $K_{\text{subp2}}$  : Rigidez de las pilas en ambas direcciones, se asume empotradas en las zapatas y comportamiento de curvatura simple

### Paso A.2: Peligro Sísmico

$$PGA := 0.40$$

$$S_i := 2$$

## Sección B

### Análisis del puente en sentido longitudinal con carga sísmica.

En la mayoría de las aplicaciones, los sistemas de aislamiento deben ser rígidos para cargas no sísmicas, pero flexibles para cargas sísmicas aumentando por consiguiente el periodo fundamental de vibración. Como una consecuencia los aisladores presentan comportamiento bilineal.

Estrictamente hablando los métodos no lineales deben ser usados para los análisis. Pero un método común es usar resortes lineales equivalentes y amortiguamientos viscosos que representen a los aisladores, tal que métodos lineales sean utilizados para determinar la respuesta.

Las propiedades equivalentes como  $K_{\text{isol}}$  (rigidez efectiva del aislador) son dependientes de los desplazamientos, pero estos al inicio del análisis no son conocidos y se requiere de un proceso iterativo.

### B.1 Método Simplificado

En el método simplificado un modelo de un sistema de un grado de libertad con propiedades lineales equivalentes y amortiguamiento viscoso para representar los aisladores, es analizado iterativamente para estimar el desplazamiento de la superestructura y las propiedades requeridas para cada aislador necesarias para el comportamiento requerido.



## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### B.1.1 Propiedades iniciales del sistema y desplazamientos

El concepto básico para usar aisladores sísmicos es que los elementos de una pila, columnas y viga cabezal, cuando se presente el sismo de diseño es que se comporten dentro del rango elástico.

Los únicos elementos que pueden presentar rótulas plásticas son las columnas, por lo tanto el máximo desplazamiento en ellas tal que no incurrieren en el rango inelástico es llegar a la fluencia.

Por lo tanto, el desplazamiento máximo que pueden presentar las columnas será el de fluencia. A continuación se detalla el cálculo del desplazamiento de fluencia en las columnas

$$\phi_y := 2.25 \cdot \frac{0.0021}{55\text{cm}}$$

$$\phi_y = 8.591 \times 10^{-3} \frac{1}{\text{m}}$$

$$H_{\text{columna}} := 500\text{cm}$$

$$d_y := \frac{\phi_y \cdot H_{\text{columna}}^2}{3}$$

$$d_y = 0.072\text{m}$$

$$d_{\text{sub1}} := d_y \quad \text{Desplazamiento de cedencia de las columnas}$$

$$d_{\text{sub1}} = 7.159\text{cm}$$

$$d := 12.26\text{cm} \quad \text{Desplazamiento total del sistema para evitar efectos P-Delta}$$

Qd : Resistencia característica

$$Q_d := 0.10 \cdot W_{ss} \quad Q_d = 130.112 \text{ kip}$$

$$Q_{d1} := Q_d \cdot \left( \frac{W1}{W_{ss}} \right) \quad Q_{d1} = 32.528 \text{ kip}$$

$$Q_{d2} := Q_d \cdot \left( \frac{W2}{W_{ss}} \right) \quad Q_{d2} = 65.056 \text{ kip}$$

$$Q_{d3} := Q_d \cdot \left( \frac{W3}{W_{ss}} \right) \quad Q_{d3} = 0 \text{ kip}$$

$$Q_{d4} := Q_d \cdot \left( \frac{W4}{W_{ss}} \right) \quad Q_{d4} = 32.528 \text{ kip}$$

**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

Rigidez Post-Elástica

$$K_d := 0.10 \frac{W_{ss}}{d} \quad K_d = 26.956 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

Rigidez Post-Elástica en los demás apoyos

$$K_{d1} := K_d \cdot \left( \frac{W1}{W_{ss}} \right) \quad K_{d1} = 6.739 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{d2} := K_d \cdot \left( \frac{W2}{W_{ss}} \right) \quad K_{d2} = 13.478 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{d3} := K_d \cdot \left( \frac{W3}{W_{ss}} \right) \quad K_{d3} = 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{d4} := K_d \cdot \left( \frac{W4}{W_{ss}} \right) \quad K_{d4} = 6.739 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{abut} := 10000 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$\alpha_1 := \frac{(K_{d1}) \cdot d + Q_{d1}}{(K_{abut}) \cdot d - Q_{d1}} \quad \alpha_1 = 1.349 \times 10^{-3}$$

$$\alpha_2 := \frac{(K_{d2}) \cdot d + Q_{d2}}{(K_{subp1}) \cdot d - Q_{d2}} \quad \alpha_2 = 0.174$$

$$\alpha_3 := \frac{(K_{d3}) \cdot d + Q_{d3}}{(K_{subp2}) \cdot d - Q_{d3}} \quad \alpha_3 = 0$$

$$\alpha_4 := \frac{(K_{d4}) \cdot d + Q_{d4}}{(K_{abut}) \cdot d - Q_{d4}} \quad \alpha_4 = 1.349 \times 10^{-3}$$

$$K_{eff1} := \frac{\alpha_1 \cdot (K_{abut})}{1 + \alpha_1} \quad K_{eff1} = 13.469 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{eff2} := \frac{\alpha_2 \cdot (K_{subp1})}{1 + \alpha_2} \quad K_{eff2} = 24.96 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{eff3} := \frac{\alpha_3 \cdot (K_{subp2})}{1 + \alpha_3} \quad K_{eff3} = 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{eff4} := \frac{\alpha_4 \cdot (K_{abut})}{1 + \alpha_4} \quad K_{eff4} = 13.469 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### B1.4 Rigidez efectiva

total

$$K_{eff} := K_{eff1} + K_{eff2} + K_{eff3} + K_{eff4}$$

$$K_{eff} = 51.898 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

### B1.5 Desplazamiento del aislador en cada apoyo

$$\text{diso1} := \frac{d}{1 + \alpha_1} \quad \text{diso1} = 12.243 \text{ cm}$$

$$\text{diso2} := \frac{d}{1 + \alpha_2} \quad \text{diso2} = 10.444 \text{ cm}$$

$$\text{diso3} := \frac{d}{1 + \alpha_3} \quad \text{diso3} = 12.26 \text{ cm}$$

$$\text{diso4} := \frac{d}{1 + \alpha_4} \quad \text{diso4} = 12.243 \text{ cm}$$

### B1.6 Rigidez del aislador en cada apoyo

$$K_{iso1} := \frac{Qd1}{\text{diso1}} + Kd1 \quad K_{iso1} = 13.487 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{iso2} := \frac{Qd2}{\text{diso2}} + Kd2 \quad K_{iso2} = 29.299 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{iso3} := \frac{Qd3}{\text{diso3}} + Kd3 \quad K_{iso3} = 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{iso4} := \frac{Qd4}{\text{diso4}} + Kd4 \quad K_{iso4} = 13.487 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

### B1.7 Desplazamiento de la subestructura en cada apoyo

$$\text{dsub1} := d - \text{diso1} \quad \text{dsub1} = 0.017 \text{ cm}$$

$$\text{dsub2} := d - \text{diso2} \quad \text{dsub2} = 1.816 \text{ cm}$$

$$\text{dsub3} := d - \text{diso3} \quad \text{dsub3} = 0 \text{ in}$$

$$\text{dsub4} := d - \text{diso4} \quad \text{dsub4} = 0.017 \text{ cm}$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### B1.8 Carga lateral en cada subestructura

$$\begin{aligned}
 F_{sub1} &:= K_{abut} \cdot (d_{sub1}) & F_{sub1} &= 65.012 \text{ kip} \\
 F_{sub2} &:= K_{subp1} \cdot (d_{sub2}) & F_{sub2} &= 120.477 \text{ kip} \\
 F_{sub3} &:= K_{subp2} \cdot (d_{sub3}) & F_{sub3} &= 0 \text{ kip} \\
 F_{sub4} &:= K_{abut} \cdot (d_{sub4}) & F_{sub4} &= 65.012 \text{ kip}
 \end{aligned}$$

### B1.9 Fuerza cortante en las columnas

$$\begin{aligned}
 F_{col1} &:= \frac{F_{sub2}}{n_{col}} & F_{col1} &= 40.159 \text{ kip} \\
 F_{col2} &:= \frac{F_{sub3}}{n_{col}} & F_{col2} &= 0 \text{ kip}
 \end{aligned}$$

### B1.10 Período efectivo y amortiguamiento

$$T_{eff} := 2\pi \cdot \sqrt{\frac{W_{eff}}{g \cdot K_{eff}}}$$

$$T_{eff} = 1.626 \text{ s} \quad \text{Ok!!! Similar al Período efectivo asumido al inicio}$$

$\xi$  = Amortiguamiento equivalente

$dy$  es el desplazamiento por cedencia del aislador, que normalmente es tan bajo que se lo considera despreciable. Para este primer paso iterativo, asumamos  $dy=0$

$$\begin{aligned}
 \frac{dy}{\text{mm}} &= 0 \\
 \xi &:= \frac{2 \cdot [Qd1 \cdot (diso1 - dy) + Qd2 \cdot (diso2 - dy) + Qd3 \cdot (diso3 - dy) + Qd4 \cdot (diso4 - dy)]}{\pi \cdot \left[ K_{eff1} \cdot (diso1 + d_{sub1})^2 + K_{eff2} \cdot (diso2 + d_{sub2})^2 + K_{eff3} \cdot (diso3 + d_{sub3})^2 + K_{eff4} \cdot (diso4 + d_{sub4})^2 \right]}
 \end{aligned}$$

$$\xi = 0.306$$

### B1.11 Factor de amortiguamiento

$$BI := \text{if} \left[ \xi < 0.3, \left( \frac{\xi}{0.05} \right)^{0.3}, 1.7 \right]$$

$$BI = 1.7$$

$$d = 12.26 \text{ cm} \quad d : \text{Desplazamiento de la subestructura}$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

Amortiguamiento de los aisladores, para modelar en el sap

Estribos

$$c1 := 2 \cdot \xi \cdot \sqrt{\frac{Kiso1 \cdot W1}{g}} \quad c1 = 2.063 \frac{\text{kip} \cdot \text{s}}{\text{in}}$$

Pilas

$$c2 := 2 \cdot \xi \cdot \sqrt{\frac{Kiso2 \cdot W2}{g}} \quad c2 = 4.3 \frac{\text{kip} \cdot \text{s}}{\text{in}}$$

**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

**ASLACION SISMICA DE PUENTES  
METODO: FPS (DESPLAZAMIENTO ASUMIDO 12 CM)  
ALTURA DE COLUMNA 5.5 M**

El puente en estudio es uno recto de 2 luces, con tablero formado por vigas de presforzadas continuas y una losa de concreto reforzado. Las vigas se apoyan en estribos tipo asiento en los extremos y en 1 pila intermedia formada por 3 columnas y una viga cabezal.

**Sección A**

Paso A.1: Datos

$m := 3$        $m$  : Número de apoyos

$n := 4$        $n$  : Número de vigas por apoyo

$skew := 0$       skew : ángulo de esviajamiento

$ncol := 3$       ncol : número de columnas en apoyos intermedios

$W1 := 325.28 \text{ kip}$        $W1$  : peso de la superestructura en estribo 1

$W2 := 650.56 \text{ kip}$        $W2$  : peso de la superestructura en pila 1

$W3 := 0 \text{ kip}$        $W3$  : peso de la superestructura en pila 2

$W4 := 325.28 \text{ kip}$        $W4$  : peso de la superestructura en estribo 2

$Wss := W1 + W2 + W3 + W4$        $Wss$  : Peso muerto de la superestructura

$Wss = 1301.12 \text{ kip}$

$Wpp := 42.28 \text{ kip}$        $Wpp$  : Peso de las pilas

$Weff := Wss + Wpp$        $Weff = 1343.4 \text{ kip}$

Rigidez de la pila, sentido longitudinal

$$E := 3605 \frac{\text{kip}}{\text{in}^2}$$

$$dcol := 55 \text{ cm}$$

$$Icol := \frac{\pi \cdot dcol^4}{64}$$

$$Icol = 1.079 \times 10^4 \text{ in}^4$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

$$L := 550 \text{ cm}$$

$$K_{\text{subp1}} := \frac{3 E I_{\text{col}}}{L^3}$$

$$K_{\text{subp1}} = 11.495 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{\text{subp1}} := 152.28 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{\text{subp2}} := 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$K_{\text{subp1}}$  ,  $K_{\text{subp2}}$  : Rigidez de las pilas en ambas direcciones, se asume empotradas en las zapatas y comportamiento de curvatura simple

### Paso A.2: Peligro Sísmico

$$\text{PGA} := 0.40$$

$$S_i := 2$$

## Sección B

### Análisis del puente en sentido longitudinal con carga sísmica.

En la mayoría de las aplicaciones, los sistemas de aislamiento deben ser rígidos para cargas no sísmicas, pero flexibles para cargas sísmicas aumentando por consiguiente el período fundamental de vibración. Como una consecuencia los aisladores presentan comportamiento bilineal.

Estrictamente hablando los métodos no lineales deben ser usados para los análisis. Pero un método común es usar resortes lineales equivalentes y amortiguamientos viscosos que representen a los aisladores, tal que métodos lineales sean utilizados para determinar la respuesta. Las propiedades equivalentes como  $K_{\text{isol}}$  (rigidez efectiva del aislador) son dependientes de los desplazamientos, pero estos al inicio del análisis no son conocidos y se requiere de un proceso iterativo.

#### B.1 Método Simplificado

En el método simplificado un modelo de un sistema de un grado de libertad con propiedades lineales equivalentes y amortiguamiento viscoso para representar los aisladores, es analizado iterativamente para estimar el desplazamiento de la superestructura y las propiedades requeridas para cada aislador necesarias para el comportamiento requerido.

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### B.1.1 Propiedades iniciales del sistema y desplazamientos

El concepto básico para usar aisladores sísmicos es que los elementos de una pila, columnas y viga cabezal, cuando se presente el sismo de diseño es que se comporten dentro del rango elástico.

Los únicos elementos que pueden presentar rótulas plásticas son las columnas, por lo tanto el máximo desplazamiento en ellas tal que no incurrieren en el rango inelástico es llegar a la fluencia.

Por lo tanto, el desplazamiento máximo que pueden presentar las columnas será el de fluencia. A continuación se detalla el cálculo del desplazamiento de fluencia en las columnas

$$\delta y := 2.25 \cdot \frac{0.0021}{55 \text{ cm}}$$

$$\delta y = 8.591 \times 10^{-3} \frac{\text{in}}{\text{m}}$$

$$H_{\text{columna}} := 550 \text{ cm}$$

$$\delta y := \frac{\delta y \cdot H_{\text{columna}}^2}{3}$$

$$\delta y = 0.087 \text{ m}$$

$$\delta_{\text{sub1}} := \delta y \quad \text{Desplazamiento de cedencia de las columnas}$$

$$\delta_{\text{sub1}} = 8.662 \text{ cm}$$

$$d := 12.26 \text{ cm} \quad \text{Desplazamiento total del sistema para evitar efectos P-Delta}$$

**Qd : Resistencia característica**

$$Qd := 0.10 \cdot W_{ss} \quad Qd = 130.112 \text{ kip}$$

$$Qd1 := Qd \cdot \left( \frac{W1}{W_{ss}} \right) \quad Qd1 = 32.528 \text{ kip}$$

$$Qd2 := Qd \cdot \left( \frac{W2}{W_{ss}} \right) \quad Qd2 = 65.056 \text{ kip}$$

$$Qd3 := Qd \cdot \left( \frac{W3}{W_{ss}} \right) \quad Qd3 = 0 \text{ kip}$$

$$Qd4 := Qd \cdot \left( \frac{W4}{W_{ss}} \right) \quad Qd4 = 32.528 \text{ kip}$$



## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### Rigidez Post-Elástica

$$K_d := 0.10 \cdot \frac{W_{ss}}{d} \quad K_d = 26.956 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

### Rigidez Post-Elástica en los demás apoyos

$$K_{d1} := K_d \cdot \left( \frac{W_1}{W_{ss}} \right) \quad K_{d1} = 6.739 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{d2} := K_d \cdot \left( \frac{W_2}{W_{ss}} \right) \quad K_{d2} = 13.478 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{d3} := K_d \cdot \left( \frac{W_3}{W_{ss}} \right) \quad K_{d3} = 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{d4} := K_d \cdot \left( \frac{W_4}{W_{ss}} \right) \quad K_{d4} = 6.739 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{abut} := 10000 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$\alpha_1 := \frac{(K_{d1}) \cdot d + Q_{d1}}{(K_{abut}) \cdot d - Q_{d1}} \quad \alpha_1 = 1.349 \times 10^{-3}$$

$$\alpha_2 := \frac{(K_{d2}) \cdot d + Q_{d2}}{(K_{subp1}) \cdot d - Q_{d2}} \quad \alpha_2 = 0.194$$

$$\alpha_3 := \frac{(K_{d3}) \cdot d + Q_{d3}}{(K_{subp2}) \cdot d - Q_{d3}} \quad \alpha_3 = 0$$

$$\alpha_4 := \frac{(K_{d4}) \cdot d + Q_{d4}}{(K_{abut}) \cdot d - Q_{d4}} \quad \alpha_4 = 1.349 \times 10^{-3}$$

$$K_{eff1} := \frac{\alpha_1 \cdot (K_{abut})}{1 + \alpha_1} \quad K_{eff1} = 13.469 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{eff2} := \frac{\alpha_2 \cdot (K_{subp1})}{1 + \alpha_2} \quad K_{eff2} = 24.764 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{eff3} := \frac{\alpha_3 \cdot (K_{subp2})}{1 + \alpha_3} \quad K_{eff3} = 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{eff4} := \frac{\alpha_4 \cdot (K_{abut})}{1 + \alpha_4} \quad K_{eff4} = 13.469 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### B1.4 Rigidez efectiva

total

$$K_{eff} := K_{eff1} + K_{eff2} + K_{eff3} + K_{eff4}$$

$$K_{eff} = 51,703 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

### B1.5 Desplazamiento del aislador en cada apoyo

$$diso1 := \frac{d}{1 + \alpha1} \quad diso1 = 12,243 \text{ cm}$$

$$diso2 := \frac{d}{1 + \alpha2} \quad diso2 = 10,266 \text{ cm}$$

$$diso3 := \frac{d}{1 + \alpha3} \quad diso3 = 12,26 \text{ cm}$$

$$diso4 := \frac{d}{1 + \alpha4} \quad diso4 = 12,243 \text{ cm}$$

### B1.6 Rigidez del aislador en cada apoyo

$$Kiso1 := \frac{Qd1}{diso1} + Kd1 \quad Kiso1 = 13,487 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$Kiso2 := \frac{Qd2}{diso2} + Kd2 \quad Kiso2 = 29,574 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$Kiso3 := \frac{Qd3}{diso3} + Kd3 \quad Kiso3 = 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$Kiso4 := \frac{Qd4}{diso4} + Kd4 \quad Kiso4 = 13,487 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

### B1.7 Desplazamiento de la subestructura en cada apoyo

$$d_{sub1} := d - diso1 \quad d_{sub1} = 0,017 \text{ cm}$$

$$d_{sub2} := d - diso2 \quad d_{sub2} = 1,994 \text{ cm}$$

$$d_{sub3} := d - diso3 \quad d_{sub3} = 0 \text{ in}$$

$$d_{sub4} := d - diso4 \quad d_{sub4} = 0,017 \text{ cm}$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### B1.8 Carga lateral en cada subestructura

$$\begin{aligned}
 F_{sub1} &:= K_{sub1} \cdot (d_{sub1}) & F_{sub1} &= 65.012 \text{ kip} \\
 F_{sub2} &:= K_{sub1} \cdot (d_{sub2}) & F_{sub2} &= 119.532 \text{ kip} \\
 F_{sub3} &:= K_{sub2} \cdot (d_{sub3}) & F_{sub3} &= 0 \text{ kip} \\
 F_{sub4} &:= K_{sub1} \cdot (d_{sub4}) & F_{sub4} &= 65.012 \text{ kip}
 \end{aligned}$$

### B1.9 Fuerza cortante en las columnas

$$\begin{aligned}
 F_{col1} &:= \frac{F_{sub2}}{n_{col}} & F_{col1} &= 39.844 \text{ kip} \\
 F_{col2} &:= \frac{F_{sub3}}{n_{col}} & F_{col2} &= 0 \text{ kip}
 \end{aligned}$$

### B1.10 Periodo efectivo y amortiguamiento

$$T_{eff} := 2\pi \sqrt{\frac{W_{eff}}{g \cdot K_{eff}}}$$

$$T_{eff} = 1.63 \text{ s} \quad \text{Ok!!! Similar al Periodo efectivo asumido al inicio}$$

$\xi$  = Amortiguamiento equivalente

$dy$  es el desplazamiento por cedencia del aislador, que normalmente es tan bajo que se lo considera despreciable. Para este primer paso iterativo, asumamos  $dy=0$

$$\frac{dy}{W} := 0$$

$$\xi := \frac{2 \cdot [Qd1 \cdot (diso1 - dy) + Qd2 \cdot (diso2 - dy) + Qd3 \cdot (diso3 - dy) + Qd4 \cdot (diso4 - dy)]}{\pi \left[ K_{eff1} \cdot (diso1 + d_{sub1})^2 + K_{eff2} \cdot (diso2 + d_{sub2})^2 + K_{eff3} \cdot (diso3 + d_{sub3})^2 + K_{eff4} \cdot (diso4 + d_{sub4})^2 \right]}$$

$$\xi = 0.305$$

### B1.11 Factor de amortiguamiento

$$B1 := \left[ \xi < 0.3, \left( \frac{\xi}{0.05} \right)^{0.3}, 1.7 \right]$$

$$B1 = 1.7$$

$$d = 12.26 \text{ cm} \quad d : \text{Desplazamiento de la subestructura}$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

Amortiguamiento de los aisladores, para modelar en el sap

Estribos

$$c1 := 2 \cdot \xi \cdot \sqrt{\frac{Kiso1 \cdot W1}{g}} \quad c1 = 2.054 \frac{\text{kip} \cdot \text{s}}{\text{in}}$$

Pilas

$$c2 := 2 \cdot \xi \cdot \sqrt{\frac{Kiso2 \cdot W2}{g}} \quad c2 = 4.302 \frac{\text{kip} \cdot \text{s}}{\text{in}}$$

# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

## AISLACION SISMICA DE PUENTES METODO: FPS (DESPLAZAMIENTO ASUMIDO 12 CM) ALTURA DE COLUMNA 6 M

El puente en estudio es uno recto de 2 luces, con tablero formado por vigas de presforzadas continuas y una losa de concreto reforzado. Las vigas se apoyan en estribos tipo asiento en los extremos y en 1 pila intermedia formada por 3 columnas y una viga cabezal.

### Sección A

Paso A.1: Datos

$m := 3$  m : Número de apoyos

$n := 4$  n : Número de vigas por apoyo

$skew := 0$  skew : ángulo de esviajamiento

$ncol := 3$  ncol : número de columnas en apoyos intermedios

$W1 := 325.28 \text{ kip}$  W1 : peso de la superestructura en estribo 1

$W2 := 650.56 \text{ kip}$  W2 : peso de la superestructura en pila 1

$W3 := 0 \text{ kip}$  W3 : peso de la superestructura en pila 2

$W4 := 325.28 \text{ kip}$  W4 : peso de la superestructura en estribo 2

$Wss := W1 + W2 + W3 + W4$  Wss : Peso muerto de la superestructura

$Wss = 1301.12 \text{ kip}$

$Wpp := 44.16 \text{ kip}$  Wpp : Peso de las pilas

$Weff := Wss + Wpp$  Weff = 1345.28 kip

Rigidez de la pila, sentido longitudinal

$$E := 3605 \frac{\text{kip}}{\text{in}^2}$$

$dcol := 55 \text{ cm}$

$$Icol := \frac{\pi \cdot dcol^4}{64}$$

$$Icol = 1.079 \times 10^4 \text{ in}^4$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

$$L_c := 600 \text{ cm}$$

$$K_{\text{subp1}} := \frac{3 \cdot E \cdot I_{\text{col}}}{L_c^3}$$

$$K_{\text{subp1}} = 8.854 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{\text{subp1}} := 140.85 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{\text{subp2}} := 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$K_{\text{subp1}}$ ,  $K_{\text{subp2}}$  : Rigidez de las pilas en ambas direcciones, se asume empotradas en las zapatas y comportamiento de curvatura simple

### Paso A.2: Peligro Sísmico

$$\text{PGA} := 0.40$$

$$S_i := 2$$

### Sección B

#### Análisis del puente en sentido longitudinal con carga sísmica.

En la mayoría de las aplicaciones, los sistemas de aislamiento deben ser rígidos para cargas no sísmicas, pero flexibles para cargas sísmicas aumentando por consiguiente el periodo fundamental de vibración. Como una consecuencia los aisladores presentan comportamiento bilineal.

Estrictamente hablando los métodos no lineales deben ser usados para los análisis. Pero un método común es usar resortes lineales equivalentes y amortiguamientos viscosos que representen a los aisladores, tal que métodos lineales sean utilizados para determinar la respuesta. Las propiedades equivalentes como  $K_{\text{isol}}$  (rigidez efectiva del aislador) son dependientes de los desplazamientos, pero estos al inicio del análisis no son conocidos y se requiere de un proceso iterativo.

#### B.1 Método Simplificado

En el método simplificado un modelo de un sistema de un grado de libertad con propiedades lineales equivalentes y amortiguamiento viscoso para representar los aisladores, es analizado iterativamente para estimar el desplazamiento de la superestructura y las propiedades requeridas para cada aislador necesarias para el comportamiento requerido.

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### B.1.1 Propiedades iniciales del sistema y desplazamientos

El concepto básico para usar aisladores sísmicos es que los elementos de una pila, columnas y viga cabezal, cuando se presente el sismo de diseño es que se comporten dentro del rango elástico.

Los únicos elementos que pueden presentar rótulas plásticas son las columnas, por lo tanto el máximo desplazamiento en ellas tal que no incursionen en el rango inelástico es llegar a la fluencia.

Por lo tanto, el desplazamiento máximo que pueden presentar las columnas será el de fluencia. A continuación se detalla el cálculo del desplazamiento de fluencia en las columnas

$$\phi_y := 2.25 \frac{0.0021}{55 \text{ cm}}$$

$$\phi_y = 8.591 \times 10^{-3} \frac{1}{\text{m}}$$

$$H_{\text{columna}} := 600 \text{ cm}$$

$$d_y := \frac{\phi_y \cdot H_{\text{columna}}^2}{3}$$

$$d_y = 0.103 \text{ m}$$

$d_{\text{sub1}} := d_y$  Desplazamiento de cedencia de las columnas

$$d_{\text{sub1}} = 10.309 \text{ cm}$$

$d := 12.26 \text{ cm}$  Desplazamiento total del sistema para evitar efectos P-Delta

$Q_d$  : Resistencia característica

$$Q_d := 0.05 \cdot W_{ss} \quad Q_d = 65.056 \text{ kip}$$

$$Q_{d1} := Q_d \cdot \left( \frac{W1}{W_{ss}} \right) \quad Q_{d1} = 16.264 \text{ kip}$$

$$Q_{d2} := Q_d \cdot \left( \frac{W2}{W_{ss}} \right) \quad Q_{d2} = 32.528 \text{ kip}$$

$$Q_{d3} := Q_d \cdot \left( \frac{W3}{W_{ss}} \right) \quad Q_{d3} = 0 \text{ kip}$$

$$Q_{d4} := Q_d \cdot \left( \frac{W4}{W_{ss}} \right) \quad Q_{d4} = 16.264 \text{ kip}$$

**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

Rigidez Post-Elástica

$$K_d := 0.05 \frac{W_{SS}}{d} \quad K_d = 13.478 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

Rigidez Post-Elástica en los demás apoyos

$$K_{d1} := K_d \left( \frac{W1}{W_{SS}} \right) \quad K_{d1} = 3.37 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{d2} := K_d \left( \frac{W2}{W_{SS}} \right) \quad K_{d2} = 6.739 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{d3} := K_d \left( \frac{W3}{W_{SS}} \right) \quad K_{d3} = 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{d4} := K_d \left( \frac{W4}{W_{SS}} \right) \quad K_{d4} = 3.37 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{abut} := 10000 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$\alpha_1 := \frac{(K_{d1}) \cdot d + Q_{d1}}{(K_{abut}) \cdot d - Q_{d1}} \quad \alpha_1 = 6.741 \times 10^{-4}$$

$$\alpha_2 := \frac{(K_{d2}) \cdot d + Q_{d2}}{(K_{subp1}) \cdot d - Q_{d2}} \quad \alpha_2 = 0.101$$

$$\alpha_3 := \frac{(K_{d3}) \cdot d + Q_{d3}}{(K_{subp2}) \cdot d - Q_{d3}} \quad \alpha_3 = 0$$

$$\alpha_4 := \frac{(K_{d4}) \cdot d + Q_{d4}}{(K_{abut}) \cdot d - Q_{d4}} \quad \alpha_4 = 6.741 \times 10^{-4}$$

$$K_{eff1} := \frac{\alpha_1 \cdot (K_{abut})}{1 + \alpha_1} \quad K_{eff1} = 6.737 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{eff2} := \frac{\alpha_2 \cdot (K_{subp1})}{1 + \alpha_2} \quad K_{eff2} = 12.863 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{eff3} := \frac{\alpha_3 \cdot (K_{subp2})}{1 + \alpha_3} \quad K_{eff3} = 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{eff4} := \frac{\alpha_4 \cdot (K_{abut})}{1 + \alpha_4} \quad K_{eff4} = 6.737 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$



## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### B1.4 Rigidez efectiva total

$$K_{eff} := K_{eff1} + K_{eff2} + K_{eff3} + K_{eff4}$$

$$K_{eff} = 26.336 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

### B1.5 Desplazamiento del aislador en cada apoyo

$$\text{diso1} := \frac{d}{1 + \alpha1} \quad \text{diso1} = 12.252 \text{ cm}$$

$$\text{diso2} := \frac{d}{1 + \alpha2} \quad \text{diso2} = 11.14 \text{ cm}$$

$$\text{diso3} := \frac{d}{1 + \alpha3} \quad \text{diso3} = 12.26 \text{ cm}$$

$$\text{diso4} := \frac{d}{1 + \alpha4} \quad \text{diso4} = 12.252 \text{ cm}$$

### B1.6 Rigidez del aislador en cada apoyo

$$K_{iso1} := \frac{Qd1}{\text{diso1}} + Kd1 \quad K_{iso1} = 6.741 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{iso2} := \frac{Qd2}{\text{diso2}} + Kd2 \quad K_{iso2} = 14.155 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{iso3} := \frac{Qd3}{\text{diso3}} + Kd3 \quad K_{iso3} = 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{iso4} := \frac{Qd4}{\text{diso4}} + Kd4 \quad K_{iso4} = 6.741 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

### B1.7 Desplazamiento de la subestructura en cada apoyo

$$\text{dsub1} := d - \text{diso1} \quad \text{dsub1} = 8.259 \times 10^{-3} \text{ cm}$$

$$\text{dsub2} := d - \text{diso2} \quad \text{dsub2} = 1.12 \text{ cm}$$

$$\text{dsub3} := d - \text{diso3} \quad \text{dsub3} = 0 \text{ in}$$

$$\text{dsub4} := d - \text{diso4} \quad \text{dsub4} = 8.259 \times 10^{-3} \text{ cm}$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### B1.8 Carga lateral en cada subestructura

$$\begin{aligned}
 F_{sub1} &:= K_{abut} \cdot (d_{sub1}) & F_{sub1} &= 32.517 \text{ kip} \\
 F_{sub2} &:= K_{subp1} \cdot (d_{sub2}) & F_{sub2} &= 62.085 \text{ kip} \\
 F_{sub3} &:= K_{subp2} \cdot (d_{sub3}) & F_{sub3} &= 0 \text{ kip} \\
 F_{sub4} &:= K_{abut} \cdot (d_{sub4}) & F_{sub4} &= 32.517 \text{ kip}
 \end{aligned}$$

### B1.9 Fuerza cortante en las columnas

$$\begin{aligned}
 F_{col1} &:= \frac{F_{sub2}}{n_{col}} & F_{col1} &= 20.695 \text{ kip} \\
 F_{col2} &:= \frac{F_{sub3}}{n_{col}} & F_{col2} &= 0 \text{ kip}
 \end{aligned}$$

### B1.10 Período efectivo y amortiguamiento

$$T_{eff} := 2\pi \sqrt{\frac{W_{eff}}{g \cdot K_{eff}}}$$

$$T_{eff} = 2.285 \text{ s} \quad \text{Ok!!! Similar al Período efectivo asumido al inicio}$$

$\xi$  = Amortiguamiento equivalente

$dy$  es el desplazamiento por cedencia del aislador, que normalmente es tan bajo que se lo considera despreciable. Para este primer paso iterativo, asumamos  $dy=0$

$$\frac{dy}{W} = 0$$

$$\xi := \frac{2 \cdot [Qd1 \cdot (diso1 - dy) + Qd2 \cdot (diso2 - dy) + Qd3 \cdot (diso3 - dy) + Qd4 \cdot (diso4 - dy)]}{\pi \cdot [K_{eff1} \cdot (diso1 + d_{sub1})^2 + K_{eff2} \cdot (diso2 + d_{sub2})^2 + K_{eff3} \cdot (diso3 + d_{sub3})^2 + K_{eff4} \cdot (diso4 + d_{sub4})^2]}$$

$$\xi = 0.311$$

### B1.11 Factor de amortiguamiento

$$BI := \text{if} \left[ \xi < 0.3, \left( \frac{\xi}{0.05} \right)^{0.3}, 1.7 \right]$$

$$BI = 1.7$$

$$d = 12.26 \text{ cm} \quad d : \text{Desplazamiento de la subestructura}$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

Amortiguamiento de los aisladores, para modelar en el sap

Estribos

$$c1 := 2 \cdot \xi \cdot \sqrt{\frac{Kiso1 \cdot W1}{g}} \quad c1 = 1.481 \frac{\text{kip} \cdot \text{s}}{\text{in}}$$

Pilas

$$c2 := 2 \cdot \xi \cdot \sqrt{\frac{Kiso2 \cdot W2}{g}} \quad c2 = 3.036 \frac{\text{kip} \cdot \text{s}}{\text{in}}$$

**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

**ASLACION SISMICA DE PUENTES  
METODO: FPS (DESPLAZAMIENTO ASUMIDO 12 CM)  
ALTURA DE COLUMNA 6.5 M**

El puente en estudio es uno recto de 2 luces, con tablero formado por vigas de preforzadas continuas y una losa de concreto reforzado. Las vigas se apoyan en estribos tipo asiento en los extremos y en 1 pila intermedia formada por 3 columnas y una viga cabezal.

**Sección A**

Paso A.1: Datos

$m := 3$        $m$  : Número de apoyos

$n := 4$        $n$  : Número de vigas por apoyo

$skew := 0$        $skew$  : ángulo de esviajamiento

$ncol := 3$        $ncol$  : número de columnas en apoyos intermedios

$W1 := 325.28kip$        $W1$  : peso de la superestructura en estribo 1

$W2 := 650.56kip$        $W2$  : peso de la superestructura en pila 1

$W3 := 0kip$        $W3$  : peso de la superestructura en pila 2

$W4 := 325.28kip$        $W4$  : peso de la superestructura en estribo 2

$Wss := W1 + W2 + W3 + W4$

$Wss$  : Peso muerto de la superestructura

$Wss = 1301.12kip$

$Wpp := 46.05kip$

$Wpp$  : Peso de las pilas

$Weff := Wss + Wpp$

$Weff = 1347.17kip$

Rigidez de la pila, sentido longitudinal

$$E := 3605 \frac{kip}{in^2}$$

$dcol := 55cm$

$$Icol := \frac{\pi \cdot dcol^4}{64}$$

$$Icol = 1.079 \times 10^4 in^4$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

$$L := 650 \text{ cm}$$

$$K_{\text{subp1}} := \frac{3 \cdot E \cdot I_{\text{col}}}{L^3}$$

$$K_{\text{subp1}} = 6.964 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{\text{subp1}} := 132.16 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{\text{subp2}} := 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$K_{\text{subp1}}$  ,  $K_{\text{subp2}}$  : Rigidez de las pilas en ambas direcciones, se asume empotradas en las zapatas y comportamiento de curvatura simple

### Paso A.2: Peligro Sísmico

$$PGA := 0.40$$

$$S_i := 2$$

### Sección B

#### Análisis del puente en sentido longitudinal con carga sísmica.

En la mayoría de las aplicaciones, los sistemas de aislamiento deben ser rígidos para cargas no sísmicas, pero flexibles para cargas sísmicas aumentando por consiguiente el periodo fundamental de vibración. Como una consecuencia los aisladores presentan comportamiento bilineal.

Estrictamente hablando los métodos no lineales deben ser usados para los análisis. Pero un método común es usar resortes lineales equivalentes y amortiguamientos viscosos que representen a los aisladores, tal que métodos lineales sean utilizados para determinar la respuesta. Las propiedades equivalentes como  $K_{\text{isol}}$  (rigidez efectiva del aislador) son dependientes de los desplazamientos, pero estos al inicio del análisis no son conocidos y se requiere de un proceso iterativo.

#### B.1 Método Simplificado

En el método simplificado un modelo de un sistema de un grado de libertad con propiedades lineales equivalentes y amortiguamiento viscoso para representar los aisladores, es analizado iterativamente para estimar el desplazamiento de la superestructura y las propiedades requeridas para cada aislador necesarias para el comportamiento requerido.

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### B.1.1 Propiedades iniciales del sistema y desplazamientos

El concepto básico para usar aisladores sísmicos es que los elementos de una pila, columnas y viga cabezal, cuando se presente el sismo de diseño es que se comporten dentro del rango elástico.

Los únicos elementos que pueden presentar rótulas plásticas son las columnas, por lo tanto el máximo desplazamiento en ellas tal que no incurrieren en el rango inelástico es llegar a la fluencia.

Por lo tanto, el desplazamiento máximo que pueden presentar las columnas será el de fluencia. A continuación se detalla el cálculo del desplazamiento de fluencia en las columnas

$$\phi_y := 2.25 \cdot \frac{0.0021}{55 \text{ cm}}$$

$$\phi_y = 8.591 \times 10^{-3} \frac{1}{\text{m}}$$

$$H_{\text{columna}} := 650 \text{ cm}$$

$$d_y := \frac{\phi_y \cdot H_{\text{columna}}^2}{3}$$

$$d_y = 0.121 \text{ m}$$

$$d_{\text{sub1}} := d_y \quad \text{Desplazamiento de cedencia de las columnas}$$

$$d_{\text{sub1}} = 12.099 \text{ cm}$$

$$d := 12.26 \text{ cm} \quad \text{Desplazamiento total del sistema para evitar efectos P-Delta}$$

#### Qd : Resistencia característica

$$Q_d := 0.10 \cdot W_{ss} \quad Q_d = 130.112 \text{ kip}$$

$$Q_{d1} := Q_d \cdot \left( \frac{W1}{W_{ss}} \right) \quad Q_{d1} = 32.528 \text{ kip}$$

$$Q_{d2} := Q_d \cdot \left( \frac{W2}{W_{ss}} \right) \quad Q_{d2} = 65.056 \text{ kip}$$

$$Q_{d3} := Q_d \cdot \left( \frac{W3}{W_{ss}} \right) \quad Q_{d3} = 0 \text{ kip}$$

$$Q_{d4} := Q_d \cdot \left( \frac{W4}{W_{ss}} \right) \quad Q_{d4} = 32.528 \text{ kip}$$

**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

Rigidez Post-Elástica

$$K_d := 0.10 \cdot \frac{W_{ss}}{d} \quad K_d = 26.956 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

Rigidez Post-Elástica en los demás apoyos

$$K_{d1} := K_d \cdot \left( \frac{W1}{W_{ssj}} \right) \quad K_{d1} = 6.739 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{d2} := K_d \cdot \left( \frac{W2}{W_{ssj}} \right) \quad K_{d2} = 13.478 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{d3} := K_d \cdot \left( \frac{W3}{W_{ssj}} \right) \quad K_{d3} = 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{d4} := K_d \cdot \left( \frac{W4}{W_{ssj}} \right) \quad K_{d4} = 6.739 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{abut} := 10000 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$\alpha_1 := \frac{(K_{d1}) \cdot d + Q_{d1}}{(K_{abut}) \cdot d - Q_{d1}} \quad \alpha_1 = 1.349 \times 10^{-3}$$

$$\alpha_2 := \frac{(K_{d2}) \cdot d + Q_{d2}}{(K_{subp1}) \cdot d - Q_{d2}} \quad \alpha_2 = 0.227$$

$$\alpha_3 := \frac{(K_{d3}) \cdot d + Q_{d3}}{(K_{subp2}) \cdot d - Q_{d3}} \quad \alpha_3 = 0$$

$$\alpha_4 := \frac{(K_{d4}) \cdot d + Q_{d4}}{(K_{abut}) \cdot d - Q_{d4}} \quad \alpha_4 = 1.349 \times 10^{-3}$$

$$K_{eff1} := \frac{\alpha_1 \cdot (K_{abut})}{1 + \alpha_1} \quad K_{eff1} = 13.469 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{eff2} := \frac{\alpha_2 \cdot (K_{subp1})}{1 + \alpha_2} \quad K_{eff2} = 24.462 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{eff3} := \frac{\alpha_3 \cdot (K_{subp2})}{1 + \alpha_3} \quad K_{eff3} = 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{eff4} := \frac{\alpha_4 \cdot (K_{abut})}{1 + \alpha_4} \quad K_{eff4} = 13.469 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### B1.4 Rigidez efectiva

total

$$K_{eff} := K_{eff1} + K_{eff2} + K_{eff3} + K_{eff4}$$

$$K_{eff} = 51.4 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

### B1.5 Desplazamiento del aislador en cada apoyo

$$\text{diso1} := \frac{d}{1 + \alpha1} \quad \text{diso1} = 12.243 \text{ cm}$$

$$\text{diso2} := \frac{d}{1 + \alpha2} \quad \text{diso2} = 9.991 \text{ cm}$$

$$\text{diso3} := \frac{d}{1 + \alpha3} \quad \text{diso3} = 12.26 \text{ cm}$$

$$\text{diso4} := \frac{d}{1 + \alpha4} \quad \text{diso4} = 12.243 \text{ cm}$$

### B1.6 Rigidez del aislador en cada apoyo

$$K_{iso1} := \frac{Qd1}{\text{diso1}} + Kd1 \quad K_{iso1} = 13.487 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{iso2} := \frac{Qd2}{\text{diso2}} + Kd2 \quad K_{iso2} = 30.018 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{iso3} := \frac{Qd3}{\text{diso3}} + Kd3 \quad K_{iso3} = 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{iso4} := \frac{Qd4}{\text{diso4}} + Kd4 \quad K_{iso4} = 13.487 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

### B1.7 Desplazamiento de la subestructura en cada apoyo

$$\text{dsub1} := d - \text{diso1} \quad \text{dsub1} = 0.017 \text{ cm}$$

$$\text{dsub2} := d - \text{diso2} \quad \text{dsub2} = 2.269 \text{ cm}$$

$$\text{dsub3} := d - \text{diso3} \quad \text{dsub3} = 0 \text{ in}$$

$$\text{dsub4} := d - \text{diso4} \quad \text{dsub4} = 0.017 \text{ cm}$$



## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### B1.8 Carga lateral en cada subestructura

$$\begin{aligned}
 F_{sub1} &:= K_{sub1} \cdot (d_{sub1}) & F_{sub1} &= 65.012 \text{ kip} \\
 F_{sub2} &:= K_{sub1} \cdot (d_{sub2}) & F_{sub2} &= 118.071 \text{ kip} \\
 F_{sub3} &:= K_{sub2} \cdot (d_{sub3}) & F_{sub3} &= 0 \text{ kip} \\
 F_{sub4} &:= K_{sub1} \cdot (d_{sub4}) & F_{sub4} &= 65.012 \text{ kip}
 \end{aligned}$$

### B1.9 Fuerza cortante en las columnas

$$\begin{aligned}
 F_{col1} &:= \frac{F_{sub2}}{n_{col}} & F_{col1} &= 39.357 \text{ kip} \\
 F_{col2} &:= \frac{F_{sub3}}{n_{col}} & F_{col2} &= 0 \text{ kip}
 \end{aligned}$$

### B1.10 Período efectivo y amortiguamiento

$$T_{eff} := 2\pi \sqrt{\frac{W_{eff}}{g \cdot K_{eff}}}$$

$$T_{eff} = 1.637 \text{ s} \quad \text{Ok!!! Similar al Período efectivo asumido al inicio}$$

$\xi$  = Amortiguamiento equivalente

dy es el desplazamiento por cedencia del aislador, que normalmente es tan bajo que se lo considera despreciable. Para este primer paso iterativo, asumamos dy=0

$$\xi := \frac{2 \cdot [Qd1 \cdot (diso1 - dy) + Qd2 \cdot (diso2 - dy) + Qd3 \cdot (diso3 - dy) + Qd4 \cdot (diso4 - dy)]}{\pi \cdot [K_{eff1} \cdot (diso1 + d_{sub1})^2 + K_{eff2} \cdot (diso2 + d_{sub2})^2 + K_{eff3} \cdot (diso3 + d_{sub3})^2 + K_{eff4} \cdot (diso4 + d_{sub4})^2]}$$

$$\xi = 0.303$$

### B1.11 Factor de amortiguamiento

$$BI := \text{if} \left[ \xi < 0.3, \left( \frac{\xi}{0.05} \right)^{0.3}, 1.7 \right]$$

$$BI = 1.7$$

$$d = 12.26 \text{ cm} \quad d : \text{Desplazamiento de la subestructura}$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

Amortiguamiento de los aisladores, para modelar en el sap

Estribos

$$c1 := 2 \cdot \xi \cdot \sqrt{\frac{Kiso1 \cdot W1}{g}} \quad c1 = 2,041 \frac{\text{kip} \cdot \text{s}}{\text{in}}$$

Pilas

$$c2 := 2 \cdot \xi \cdot \sqrt{\frac{Kiso2 \cdot W2}{g}} \quad c2 = 4,306 \frac{\text{kip} \cdot \text{s}}{\text{in}}$$

**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

**AISLACION SISMICA DE PUENTES  
METODO: FPS (DESPLAZAMIENTO ASUMIDO 12 CM)  
ALTURA DE COLUMNA 7 M**

El puente en estudio es uno recto de 2 luces, con tablero formado por vigas de presforzadas continuas y una losa de concreto reforzado. Las vigas se apoyan en estribos tipo asiento en los extremos y en 1 pila intermedia formada por 3 columnas y una viga cabezal.

**Sección A**

Paso A.1: Datos

$m := 3$        $m$  : Número de apoyos

$n := 4$        $n$  : Número de vigas por apoyo

$skew := 0$       skew : ángulo de esviajamiento

$ncol := 3$       ncol : número de columnas en apoyos intermedios

$W1 := 325.28 \text{ kip}$        $W1$  : peso de la superestructura en estribo 1

$W2 := 650.56 \text{ kip}$        $W2$  : peso de la superestructura en pila 1

$W3 := 0 \text{ kip}$        $W3$  : peso de la superestructura en pila 2

$W4 := 325.28 \text{ kip}$        $W4$  : peso de la superestructura en estribo 2

$Wss := W1 + W2 + W3 + W4$        $Wss$  : Peso muerto de la superestructura

$Wss = 1301.12 \text{ kip}$

$Wpp := 47.92 \text{ kip}$        $Wpp$  : Peso de las pilas

$Weff := Wss + Wpp$        $Weff = 1349.04 \text{ kip}$

Rigidez de la pila, sentido longitudinal

$$E := 3605 \frac{\text{kip}}{\text{in}^2}$$

$$dcol := 55 \text{ cm}$$

$$Icol := \frac{\pi \cdot dcol^4}{64}$$

$$Icol = 1.079 \times 10^4 \text{ in}^4$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

$$L_{\text{col}} := 700 \text{ cm}$$

$$K_{\text{subp1}} := \frac{3 \cdot E \cdot I_{\text{col}}}{L^3}$$

$$K_{\text{subp1}} = 5.576 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{\text{subp2}} := 125 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{\text{subp2}} := 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$K_{\text{subp1}}$  ,  $K_{\text{subp2}}$  : Rigidez de las pilas en ambas direcciones, se asume empotradas en las zapatas y comportamiento de curvatura simple

### Paso A.2: Peligro Sísmico

$$PGA := 0.40$$

$$S_i := 2$$

## Sección B

### Análisis del puente en sentido longitudinal con carga sísmica.

En la mayoría de las aplicaciones, los sistemas de aislamiento deben ser rígidos para cargas no sísmicas, pero flexibles para cargas sísmicas aumentando por consiguiente el periodo fundamental de vibración. Como una consecuencia los aisladores presentan comportamiento bilineal.

Estrictamente hablando los métodos no lineales deben ser usados para los análisis. Pero un método común es usar resortes lineales equivalentes y amortiguamientos viscosos que representen a los aisladores, tal que métodos lineales sean utilizados para determinar la respuesta. Las propiedades equivalentes como  $K_{\text{isol}}$  (rigidez efectiva del aislador) son dependientes de los desplazamientos, pero estos al inicio del análisis no son conocidos y se requiere de un proceso iterativo.

#### B.1 Método Simplificado

En el método simplificado un modelo de un sistema de un grado de libertad con propiedades lineales equivalentes y amortiguamiento viscoso para representar los aisladores, es analizado iterativamente para estimar el desplazamiento de la superestructura y las propiedades requeridas para cada aislador necesarias para el comportamiento requerido.

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### B.1.1 Propiedades iniciales del sistema y desplazamientos

El concepto básico para usar aisladores sísmicos es que los elementos de una pila, columnas y viga cabezal, cuando se presente el sismo de diseño es que se comporten dentro del rango elástico.

Los únicos elementos que pueden presentar rótulas plásticas son las columnas, por lo tanto el máximo desplazamiento en ellas tal que no incurrieren en el rango inelástico es llegar a la fluencia.

Por lo tanto, el desplazamiento máximo que pueden presentar las columnas será el de fluencia. A continuación se detalla el cálculo del desplazamiento de fluencia en las columnas

$$\phi_y := 2.25 \frac{0.0021}{55 \text{ cm}}$$

$$\phi_y = 8.591 \times 10^{-3} \frac{1}{\text{m}}$$

$$H_{\text{columna}} := 700 \text{ cm}$$

$$\delta_y := \frac{\phi_y \cdot H_{\text{columna}}^2}{3}$$

$$\delta_y = 0.14 \text{ m}$$

$\delta_{\text{sub1}} := \delta_y$       Desplazamiento de cedencia de las columnas

$$\delta_{\text{sub1}} = 14.032 \text{ cm}$$

$d := 12.26 \text{ cm}$       Desplazamiento total del sistema para evitar efectos P-Delta

**Qd : Resistencia característica**

$$Q_d := 0.10 \cdot W_{ss} \quad Q_d = 130.112 \text{ kip}$$

$$Q_{d1} := Q_d \cdot \left( \frac{W_1}{W_{ss}} \right) \quad Q_{d1} = 32.528 \text{ kip}$$

$$Q_{d2} := Q_d \cdot \left( \frac{W_2}{W_{ss}} \right) \quad Q_{d2} = 65.056 \text{ kip}$$

$$Q_{d3} := Q_d \cdot \left( \frac{W_3}{W_{ss}} \right) \quad Q_{d3} = 0 \text{ kip}$$

$$Q_{d4} := Q_d \cdot \left( \frac{W_4}{W_{ss}} \right) \quad Q_{d4} = 32.528 \text{ kip}$$

**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

Rigidez Post-Elástica

$$K_d := 0.10 \cdot \frac{W_{SS}}{d} \quad K_d = 26.956 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

Rigidez Post-Elástica en los demás apoyos

$$K_{d1} := K_d \cdot \left( \frac{W1}{W_{SS}} \right) \quad K_{d1} = 6.739 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{d2} := K_d \cdot \left( \frac{W2}{W_{SS}} \right) \quad K_{d2} = 13.478 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{d3} := K_d \cdot \left( \frac{W3}{W_{SS}} \right) \quad K_{d3} = 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{d4} := K_d \cdot \left( \frac{W4}{W_{SS}} \right) \quad K_{d4} = 6.739 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{abut} := 10000 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$\alpha_1 := \frac{(K_{d1}) \cdot d + Q_{d1}}{(K_{abut}) \cdot d - Q_{d1}} \quad \alpha_1 = 1.349 \times 10^{-3}$$

$$\alpha_2 := \frac{(K_{d2}) \cdot d + Q_{d2}}{(K_{subp1}) \cdot d - Q_{d2}} \quad \alpha_2 = 0.242$$

$$\alpha_3 := \frac{(K_{d3}) \cdot d + Q_{d3}}{(K_{subp2}) \cdot d - Q_{d3}} \quad \alpha_3 = 0$$

$$\alpha_4 := \frac{(K_{d4}) \cdot d + Q_{d4}}{(K_{abut}) \cdot d - Q_{d4}} \quad \alpha_4 = 1.349 \times 10^{-3}$$

$$K_{eff1} := \frac{\alpha_1 \cdot (K_{abut})}{1 + \alpha_1} \quad K_{eff1} = 13.469 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{eff2} := \frac{\alpha_2 \cdot (K_{subp1})}{1 + \alpha_2} \quad K_{eff2} = 24.333 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{eff3} := \frac{\alpha_3 \cdot (K_{subp2})}{1 + \alpha_3} \quad K_{eff3} = 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$K_{eff4} := \frac{\alpha_4 \cdot (K_{abut})}{1 + \alpha_4} \quad K_{eff4} = 13.469 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### B1.4 Rigidez efectiva

total

$$K_{eff} := K_{eff1} + K_{eff2} + K_{eff3} + K_{eff4}$$

$$K_{eff} = 51.271 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

### B1.5 Desplazamiento del aislador en cada apoyo

$$diso1 := \frac{d}{1 + \alpha1} \quad diso1 = 12.243 \text{ cm}$$

$$diso2 := \frac{d}{1 + \alpha2} \quad diso2 = 9.873 \text{ cm}$$

$$diso3 := \frac{d}{1 + \alpha3} \quad diso3 = 12.26 \text{ cm}$$

$$diso4 := \frac{d}{1 + \alpha4} \quad diso4 = 12.243 \text{ cm}$$

### B1.6 Rigidez del aislador en cada apoyo

$$Kiso1 := \frac{Qd1}{diso1} + Kd1 \quad Kiso1 = 13.487 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$Kiso2 := \frac{Qd2}{diso2} + Kd2 \quad Kiso2 = 30.214 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$Kiso3 := \frac{Qd3}{diso3} + Kd3 \quad Kiso3 = 0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$Kiso4 := \frac{Qd4}{diso4} + Kd4 \quad Kiso4 = 13.487 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

### B1.7 Desplazamiento de la subestructura en cada apoyo

$$dsub1 := d - diso1 \quad dsub1 = 0.017 \text{ cm}$$

$$dsub2 := d - diso2 \quad dsub2 = 2.387 \text{ cm}$$

$$dsub3 := d - diso3 \quad dsub3 = 0 \text{ in}$$

$$dsub4 := d - diso4 \quad dsub4 = 0.017 \text{ cm}$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

### B1.8 Carga lateral en cada subestructura

$$\begin{aligned}
 F_{sub1} &:= K_{abut} \cdot (d_{sub1}) & F_{sub1} &= 65.012 \text{ kip} \\
 F_{sub2} &:= K_{subp1} \cdot (d_{sub2}) & F_{sub2} &= 117.448 \text{ kip} \\
 F_{sub3} &:= K_{subp2} \cdot (d_{sub3}) & F_{sub3} &= 0 \text{ kip} \\
 F_{sub4} &:= K_{abut} \cdot (d_{sub4}) & F_{sub4} &= 65.012 \text{ kip}
 \end{aligned}$$

### B1.9 Fuerza cortante en las columnas

$$\begin{aligned}
 F_{col1} &:= \frac{F_{sub2}}{n_{col}} & F_{col1} &= 39.149 \text{ kip} \\
 F_{col2} &:= \frac{F_{sub3}}{n_{col}} & F_{col2} &= 0 \text{ kip}
 \end{aligned}$$

### B1.10 Período efectivo y amortiguamiento

$$T_{eff} := 2\pi \cdot \sqrt{\frac{W_{eff}}{g \cdot K_{eff}}}$$

$$T_{eff} = 1.64 \text{ s} \quad \text{Ok!!! Similar al Período efectivo asumido al inicio}$$

$\xi$  = Amortiguamiento equivalente

$d_y$  es el desplazamiento por cedencia del aislador, que normalmente es tan bajo que se lo considera despreciable. Para este primer paso iterativo, asumamos  $d_y=0$

$$\begin{aligned}
 d_y &:= 0 \\
 \xi &:= \frac{2 \cdot [Qd1 \cdot (diso1 - d_y) + Qd2 \cdot (diso2 - d_y) + Qd3 \cdot (diso3 - d_y) + Qd4 \cdot (diso4 - d_y)]}{\pi \cdot [K_{eff1} \cdot (diso1 + d_{sub1})^2 + K_{eff2} \cdot (diso2 + d_{sub2})^2 + K_{eff3} \cdot (diso3 + d_{sub3})^2 + K_{eff4} \cdot (diso4 + d_{sub4})^2]}
 \end{aligned}$$

$$\xi = 0.302$$

### B1.11 Factor de amortiguamiento

$$B1 := \text{if} \left[ \xi < 0.3, \left( \frac{\xi}{0.05} \right)^{0.3}, 1.7 \right]$$

$$B1 = 1.7$$

$$d = 12.26 \text{ cm} \quad d : \text{Desplazamiento de la subestructura}$$



## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

Amortiguamiento de los aisladores, para modelar en el sap

Estribos

$$c1 := 2 \cdot \xi_1 \cdot \sqrt{\frac{Kiso1 \cdot W1}{g}} \quad c1 = 2.035 \frac{\text{kip} \cdot \text{s}}{\text{in}}$$

Pilas

$$c2 := 2 \cdot \xi_2 \cdot \sqrt{\frac{Kiso2 \cdot W2}{g}} \quad c2 = 4.308 \frac{\text{kip} \cdot \text{s}}{\text{in}}$$

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

- **Altura de Columna 2.5 m**

ESPECTRO DE DISEÑO: AASHTO 1999

Cs máximo= 1

Cs = A Si/(T\*B)

A (%g) =	0.4	Coefficiente aceleracion
Si =	2	Coefficiente aisladores sísmicos
Teff (seg) =	1.604	Periodo efectivo
0.80Teff (seg) =	1.2832	
B =	1.7	Amortiguamiento equivalente del 30%

Coefficiente del sitio para aisladores sísmicos (Si)

(FACTOR TOMADO DEL AASHTO, 1998, 2002)

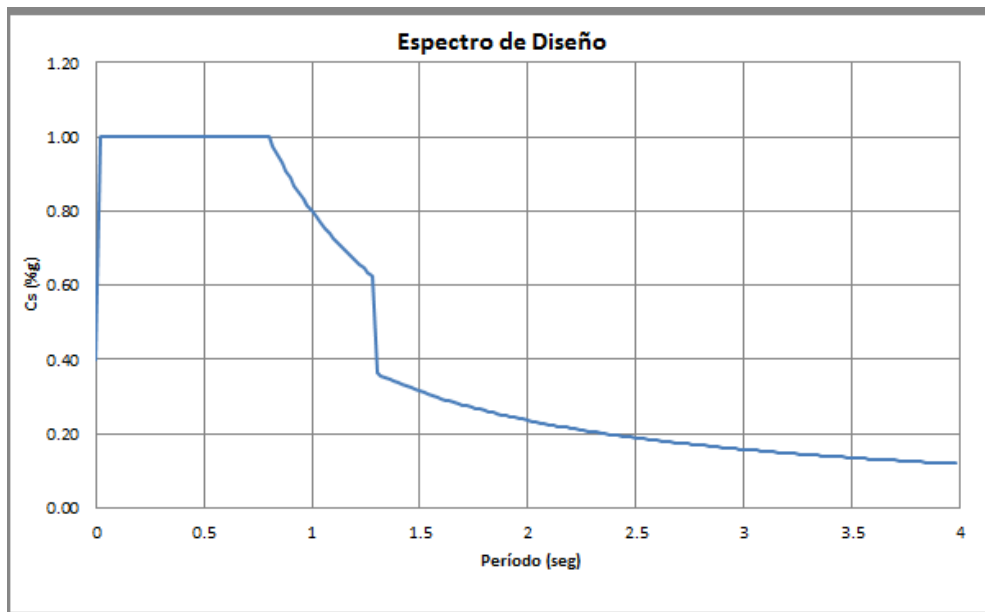
TIPO DEL PERFIL DEL SUELO

	I	II	III	IV
S	1	1.2	1.5	2

Coefficiente de amortiguamiento (B)

(FACTOR TOMADO DEL AASHTO, 1999)

	<2	5	10	20	30	40	50
B	0.8	1	1.2	1.5	1.7	1.9	2



# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

- **Altura de Columna 3 m**

## PUENTE CON AISLADORES

ESPECTRO DE DISEÑO : AASHTO 1999

Coefficiente del sitio para aisladores sísmicos (Si) (FACTOR TOMADO DEL AASHTO, 1998, 2002)

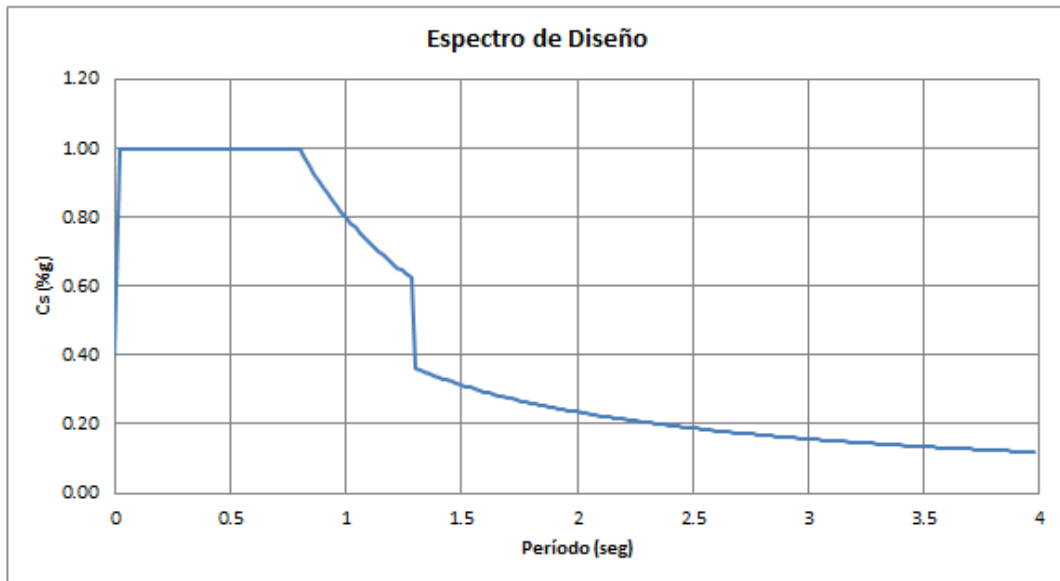
**Cs = A Si(T<sup>n</sup>B)**  
**A (%g) = 0.4**      **Cs máximo= 1**  
**Si = 2**              **Coefficiente aceleración**  
**Teff (seg) = 1.604**      **Coefficiente aisladores sísmicos**  
**0.80Teff (seg) = 1.2832**      **Periodo efectivo**  
**B = 1.7**              **Amortiguamiento equivalente del 30%**

TIPO DEL PERFIL DEL SUELO

	I	II	III	IV
S	1	1.2	1.5	2

Coefficiente de amortiguamiento (B) (FACTOR TOMADO DEL AASHTO, 1999)

	<2	5	10	20	30	40	50
B	0.8	1	1.2	1.5	1.7	1.9	2



## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

- Altura de Columna 3.5 m

ESPECTRO DE DISEÑO : AASHTO 1999

$C_s = A S_i(T^B)$

A (%g) = 0.4  
 $S_i = 2$   
 Teff (seg) = 1.611  
 $0.80T_{eff}$  (seg) = 1.2888  
 B = 1.7

Cs máximo= 1  
 Coeficiente aceleracion  
 Coeficiente aisladores sísmicos  
 Periodo efectivo  
 Amortiguamiento equivalente del 30%

Coeficiente del sitio para aisladores sísmicos ( $S_i$ )

(FACTOR TOMADO DEL AASHTO, 1998, 2002)

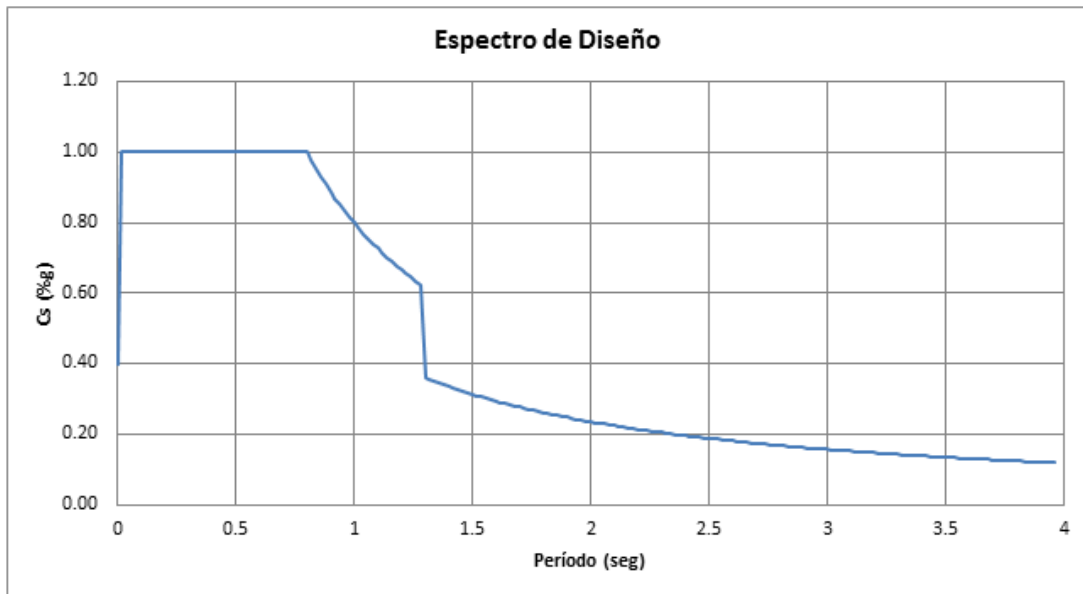
TIPO DEL PERFIL DEL SUELO

	I	II	III	IV
S	1	1.2	1.5	2

Coeficiente de amortiguamiento (B)

(FACTOR TOMADO DEL AASHTO, 1999)

	<2	5	10	20	30	40	50
B	0.8	1	1.2	1.5	1.7	1.9	2



## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

- **Altura de Columna 4 m.**

ESPECTRO DE DISEÑO : AASHTO 1999

$C_s = A S_i (T^B)$   
 $A (\%g) = 0.4$        $C_s \text{ máximo} = 1$   
 $S_i = 2$               **Coefficiente aceleración**  
 $T_{eff} (\text{seg}) = 1.616$       **Coefficiente aisladores sísmicos**  
 $0.80 T_{eff} (\text{seg}) = 1.2928$       **Periodo efectivo**  
 $B = 1.7$               **Amortiguamiento equivalente del 30%**

Coefficiente del sitio para aisladores sísmicos ( $S_i$ )

(FACTOR TOMADO DEL AASHTO, 1998, 2002)

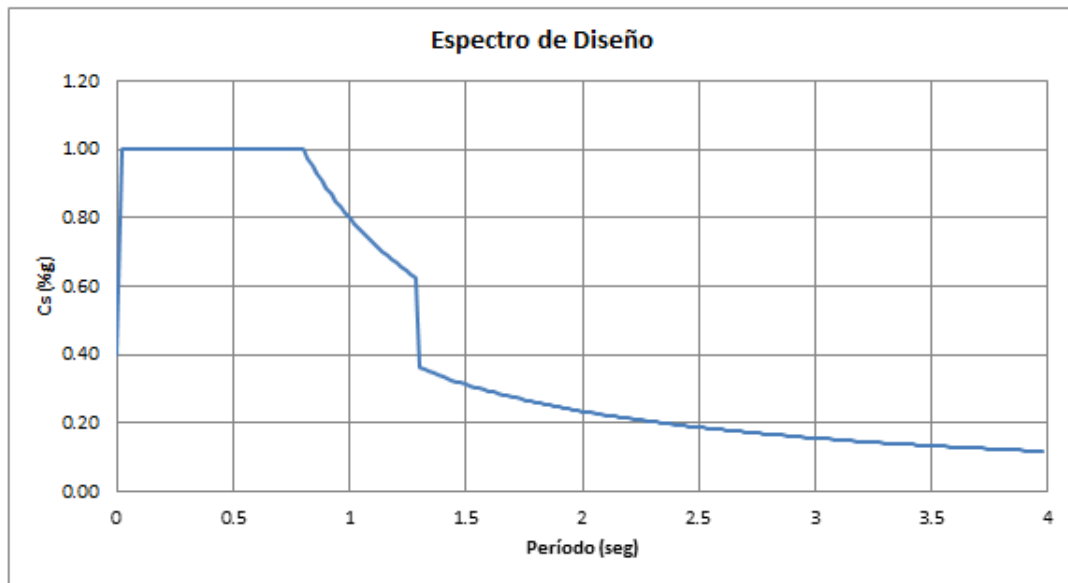
TIPO DEL PERFIL DEL SUELO

	I	II	III	IV
S	1	1.2	1.5	2

Coefficiente de amortiguamiento (B)

(FACTOR TOMADO DEL AASHTO, 1999)

	<2	5	10	20	30	40	50
B	0.8	1	1.2	1.5	1.7	1.9	2



## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

- **Altura de Columna 4.5 m.**

**ESPECTRO DE DISEÑO : AASHTO 1999**

$C_s = A S_i (T^B)$   
 $A$  (%g) = 0.4       $C_s$  máximo= 1  
 $S_i$  = 2      **Coefficiente aceleración**  
 $T_{eff}$  (seg) = 1.621      **Coefficiente aisladores sísmicos**  
 $0.80 T_{eff}$  (seg) = 1.2968      **Periodo efectivo**  
 $B$  = 1.7      **Amortiguamiento equivalente del 30%**

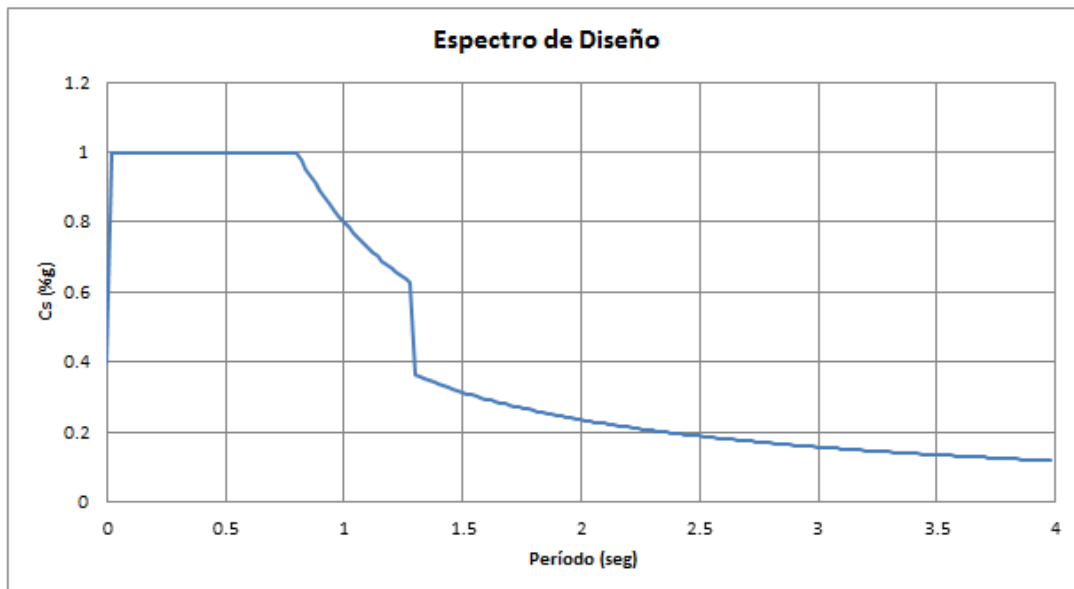
Coefficiente del sitio para aisladores sísmicos ( $S_i$ )      (FACTOR TOMADO DEL AASHTO, 1998, 2002)

TIPO DEL PERFIL DEL SUELO

S	I	II	III	IV
1	1.2	1.5	2	

Coefficiente de amortiguamiento ( $B$ )      (FACTOR TOMADO DEL AASHTO, 1999)

	<2	5	10	20	30	40	50
B	0.8	1	1.2	1.5	1.7	1.9	2





## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

- **Altura de Columna 5.5 m.**

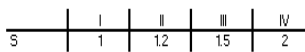
ESPECTRO DE DISEÑO : AASHTO 1999

$C_s = A S_i / (T^B)$   
 $A (\%g) = 0.4$   
 $S_i = 2$   
 $T_{eff} (seg) = 1.63$   
 $0.80 T_{eff} (seg) = 1.304$   
 $B = 1.7$

$C_s \text{ máximo} = 1$   
**Coficiente aceleracion**  
**Coficiente aisladores sísmicos**  
**Periodo efectivo**  
**Amortiguamiento equivalente del 30%**

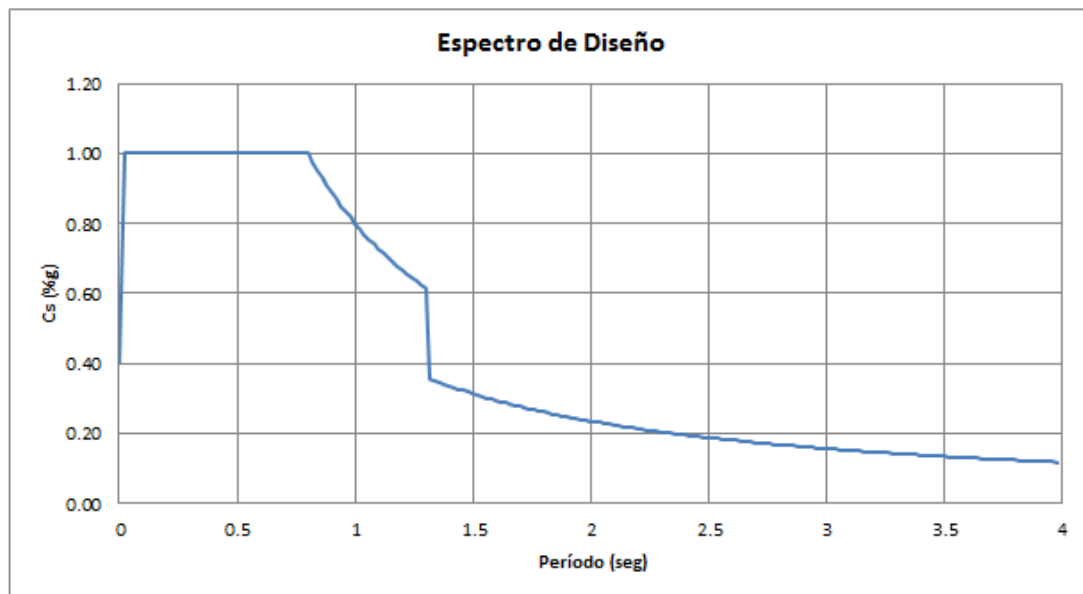
Coficiente del sitio para aisladores sísmicos ( $S_i$ ) (FACTOR TOMADO DEL AASHTO, 1998, 2002)

TIPO DEL PERFIL DEL SUELO



Coficiente de amortiguamiento (B) (FACTOR TOMADO DEL AASHTO, 1999)

	<2	5	10	20	30	40	50
B	0.8	1	1.2	1.5	1.7	1.9	2





## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

- Altura de Columna 6 m.

ESPECTRO DE DISEÑO : AASHTO 1999

$C_s = A S_i (T^B)$   
 $A$  (%g) = 0.4       $C_s$  máximo= 1  
 $S_i$  = 2      Coeficiente aceleración  
 $T_{eff}$  (seg) = 1.634      Coeficiente aisladores sísmicos  
 $0.80T_{eff}$  (seg) = 1.3072      Periodo efectivo  
 $B$  = 1.7      Amortiguamiento equivalente de 30%

Coeficiente del sitio para aisladores sísmicos ( $S_i$ )

(FACTOR TOMADO DEL AASHTO, 1998, 2002)

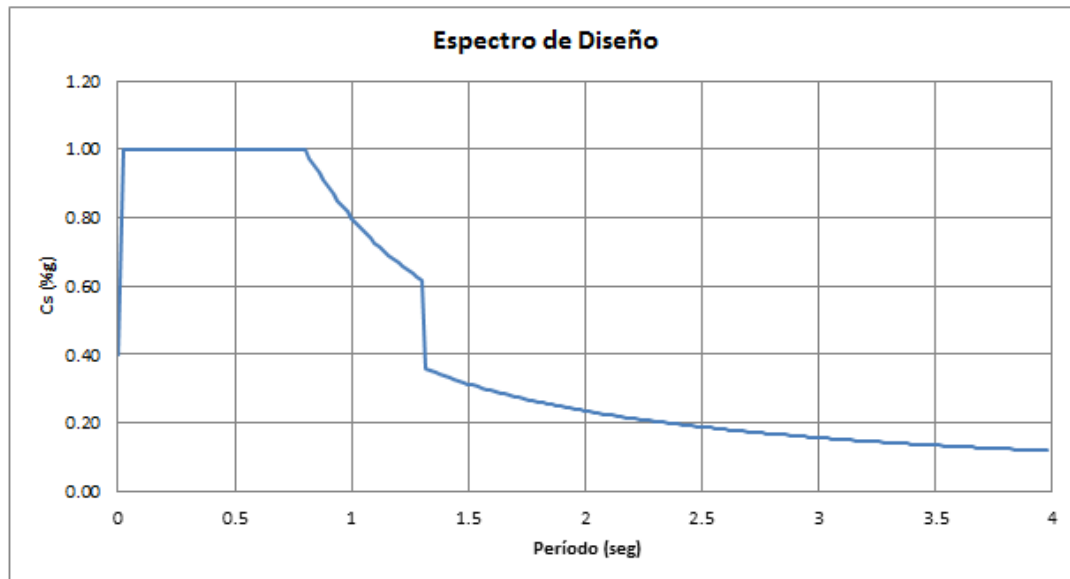
TIPO DEL PERFIL DEL SUELO

S	I	II	III	IV
1	1.2	1.5	2	

Coeficiente de amortiguamiento ( $B$ )

(FACTOR TOMADO DEL AASHTO, 1999)

	<2	5	10	20	30	40	50
B	0.8	1	1.2	1.5	1.7	1.9	2



## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

- **Altura de Columna 6.5 m**

ESPECTRO DE DISEÑO : AASHTO 1999

$C_s = A S_i / (T^B)$

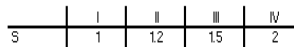
A (%g) = 0.4  
 S<sub>i</sub> = 2  
 T<sub>eff</sub> (seg) = 1.635  
 0.80T<sub>eff</sub> (seg) = 1.308  
 B = 1.7

C<sub>s</sub> máximo= 1  
 Coeficiente aceleracion  
 Coeficiente aisladores sísmicos  
 Periodo efectivo  
 Amortiguamiento equivalente del 30%

Coeficiente del sitio para aisladores sísmicos (S<sub>i</sub>)

(FACTOR TOMADO DEL AASHTO, 1998, 2002)

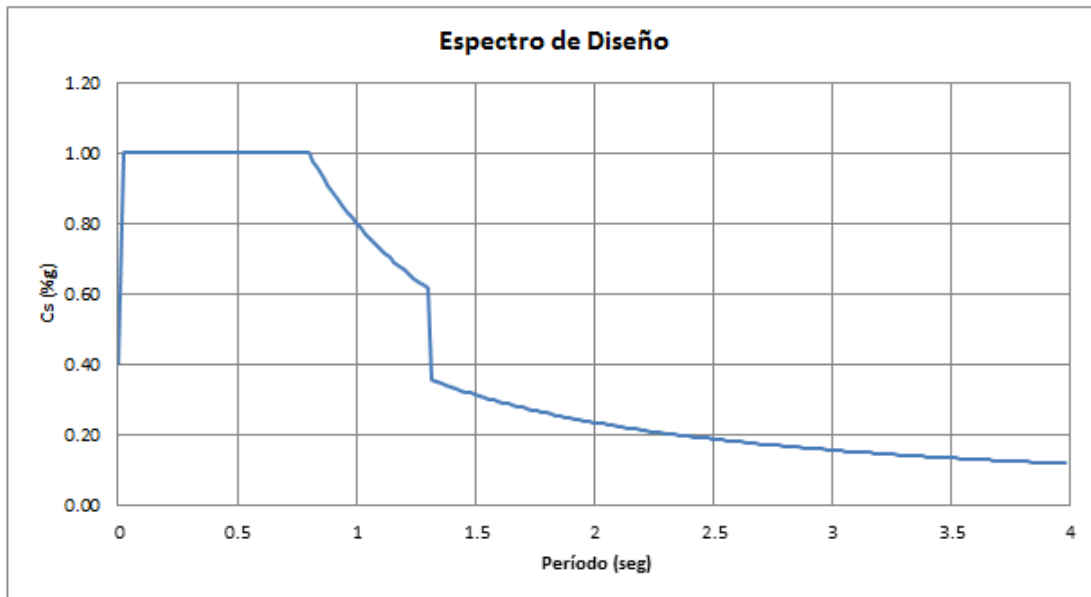
TIPO DEL PERFIL DEL SUELO



Coeficiente de amortiguamiento (B)

(FACTOR TOMADO DEL AASHTO, 1999)

	<2	5	10	20	30	40	50
B	0.8	1	1.2	1.5	1.7	1.9	2



# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

- Altura de Columna 7 m

ESPECTRO DE DISEÑO : AASHTO 1999

Coefficiente del sitio para aisladores sísmicos (S<sub>i</sub>)

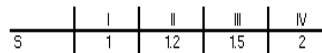
(FACTOR TOMADO DEL AASHTO, 1998, 2002)

C<sub>s</sub> = A S<sub>i</sub> (T<sup>-B</sup>)

A (%g) = 0.4  
 S<sub>i</sub> = 2  
 T<sub>eff</sub> (seg) = 1.64  
 0.80T<sub>eff</sub> (seg) = 1.312  
 B = 1.7

C<sub>s</sub> máximo = 1  
 Coeficiente aceleración  
 Coeficiente aisladores sísmicos  
 Periodo efectivo  
 Amortiguamiento equivalente del 30%

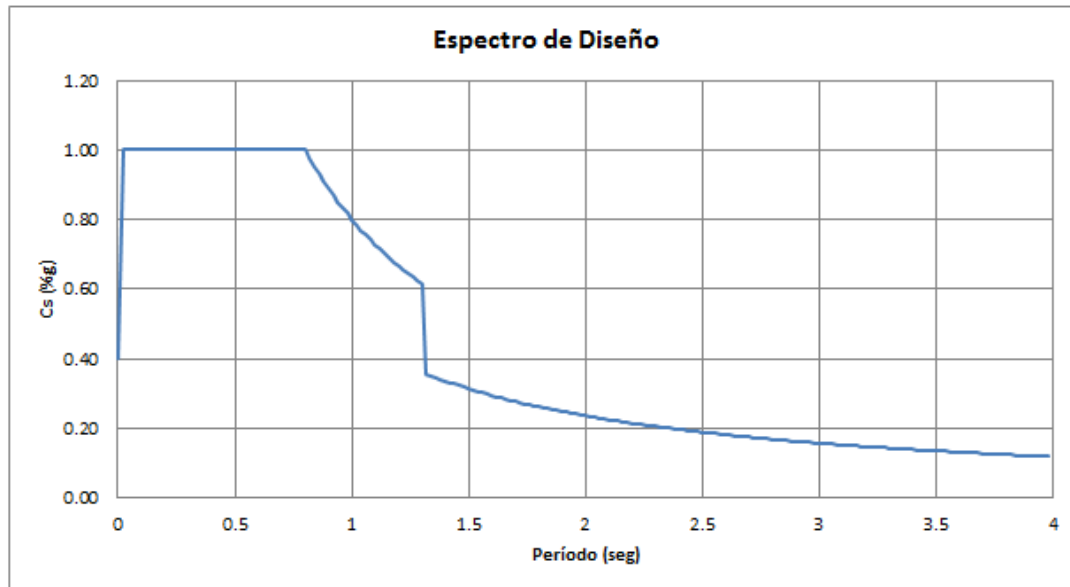
TIPO DEL PERFIL DEL SUELO



Coefficiente de amortiguamiento (B)

(FACTOR TOMADO DEL AASHTO, 1999)

	<2	5	10	20	30	40	50
B	0.8	1	1.2	1.5	1.7	1.9	2



## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

---

Resumen de las Rigideces de las pilas con la variación desde 2.5 a 7 m asumiendo un desplazamiento inicial de 12.26 cm

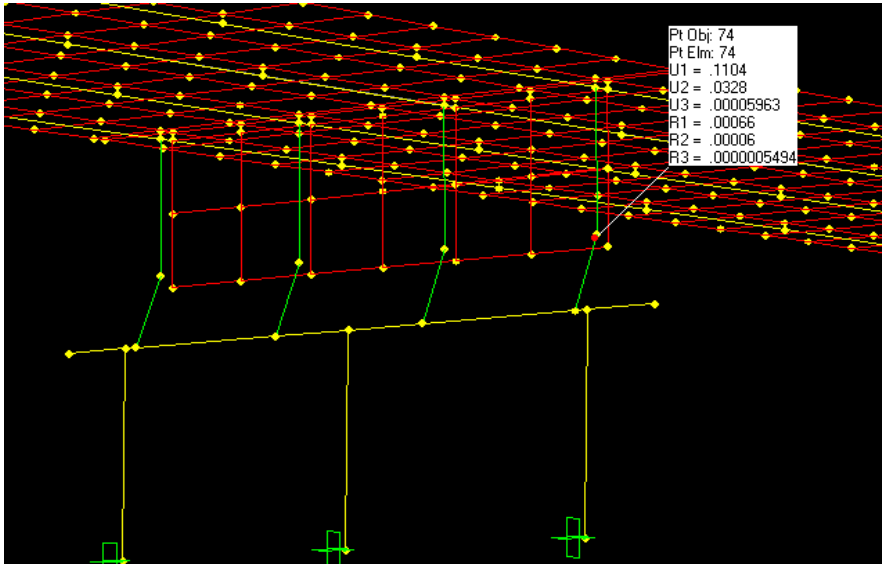
L (m)	desplazamiento unitarios (in)	Ksub (kip/in)	W (Kips)	d (cm)	kiso_estribo (kip/in)	kiso_pila (kip/in)	Teff	$\zeta$	B
2.50	0.0082	365.85	31.42	12.26	13.49	27.99	1.604	0.31	1.70
3.00	0.0082	365.85	32.85	12.26	13.49	27.99	1.605	0.31	1.70
3.50	0.0109	275.23	34.75	12.26	13.49	28.34	1.611	0.31	1.70
4.00	0.0134	223.88	36.63	12.26	13.49	28.68	1.616	0.31	1.70
4.50	0.0157	191.08	38.51	12.26	13.49	29.00	1.621	0.31	1.70
5.00	0.0178	168.54	40.40	12.26	13.49	29.30	1.626	0.31	1.70
5.50	0.0197	152.28	42.28	12.26	13.49	29.57	1.630	0.31	1.70
6.00	0.0213	140.85	44.16	12.26	13.49	29.81	1.634	0.30	1.70
6.50	0.0217	138.25	46.05	12.26	13.49	29.87	1.635	0.30	1.70
7.00	0.0240	125.00	47.92	12.26	13.49	30.21	1.640	0.30	1.70

"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

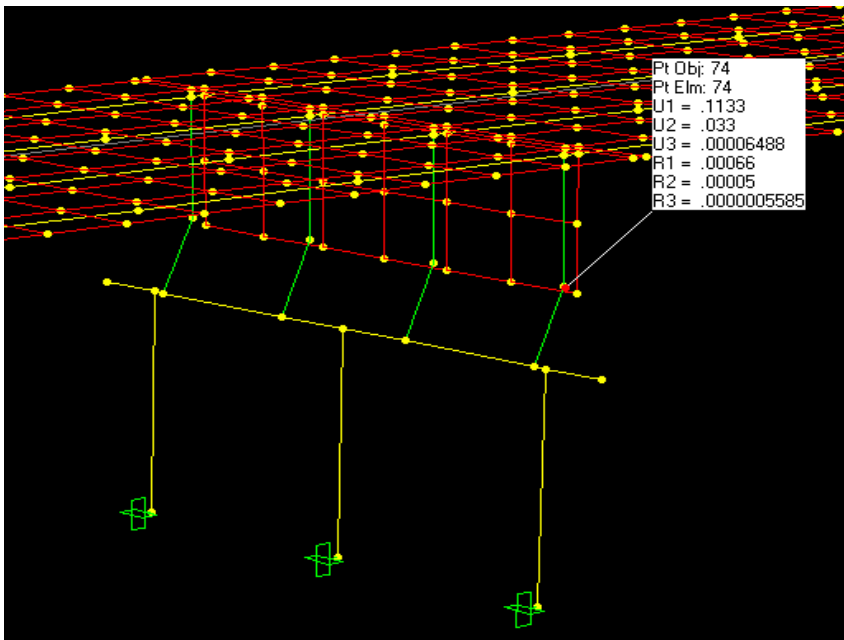
---

**DESPLAZAMIENTOS FPS INICIAL 12.26 CM SAP 2000**

ALTURA DE COLUMNA 2.5 M



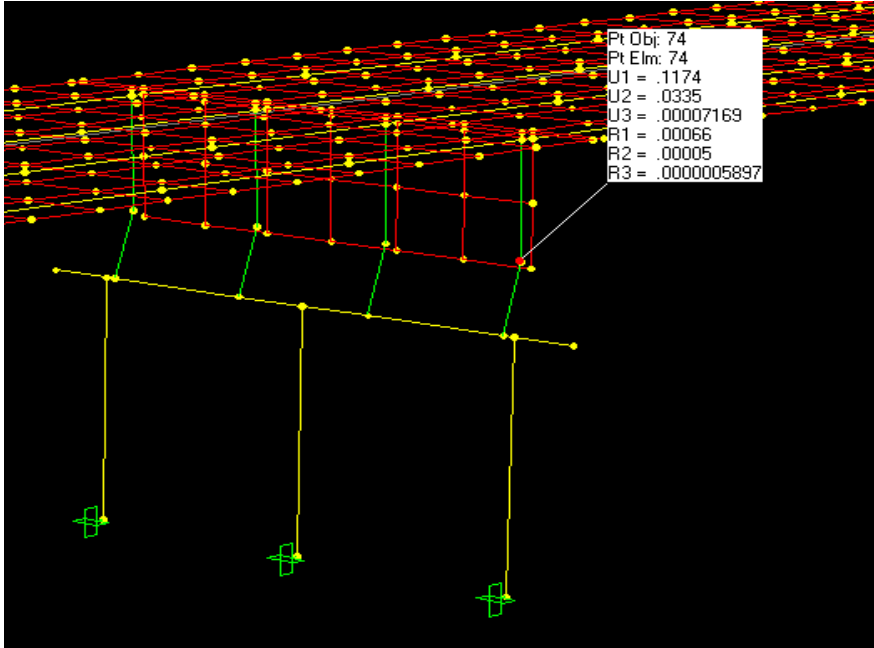
ALTURA DE COLUMNA 3 M



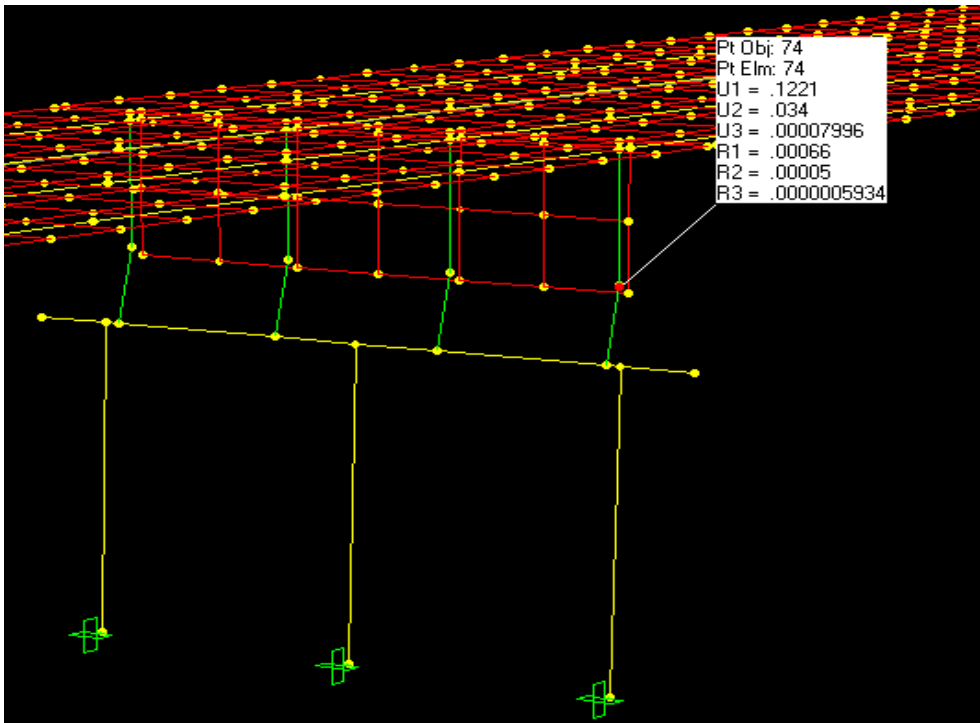
**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

ALTURA DE COLUMNA 3.5 M

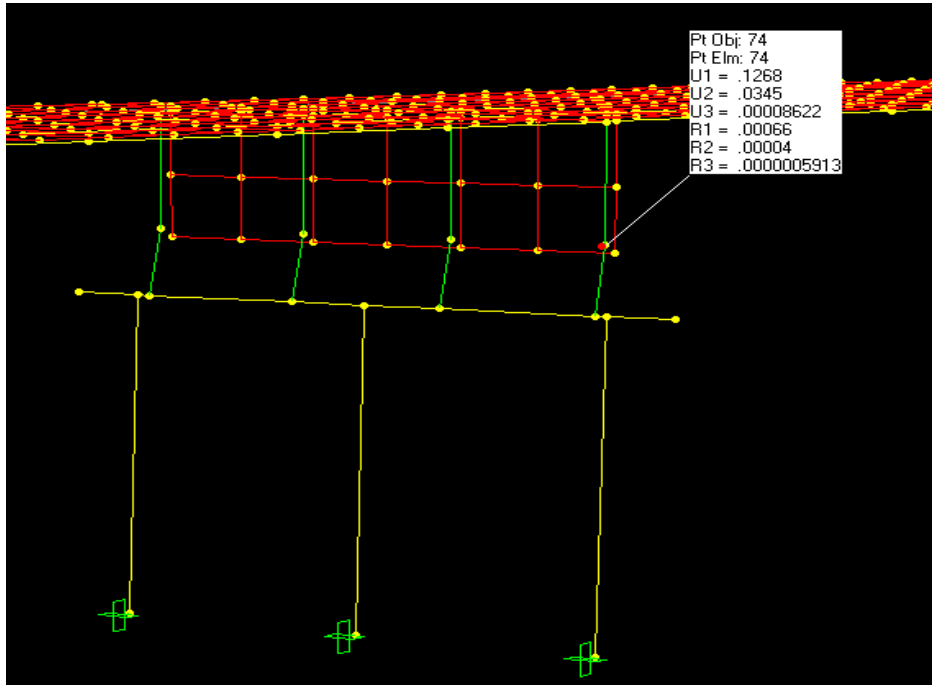


ALTURA DE COLUMNA 4 M

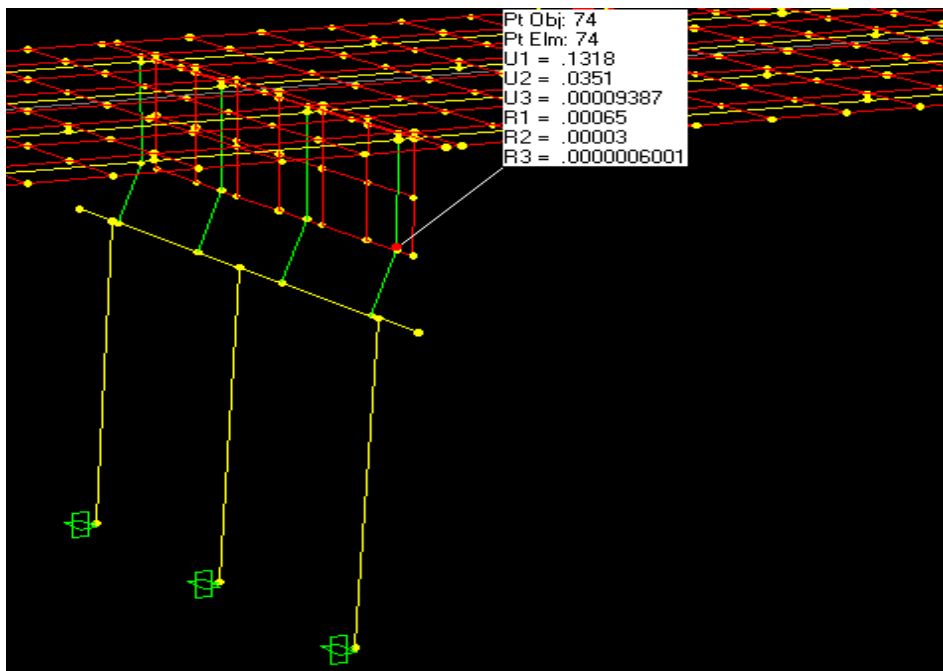


# "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

ALTURA DE COLUMNA 4.5 M



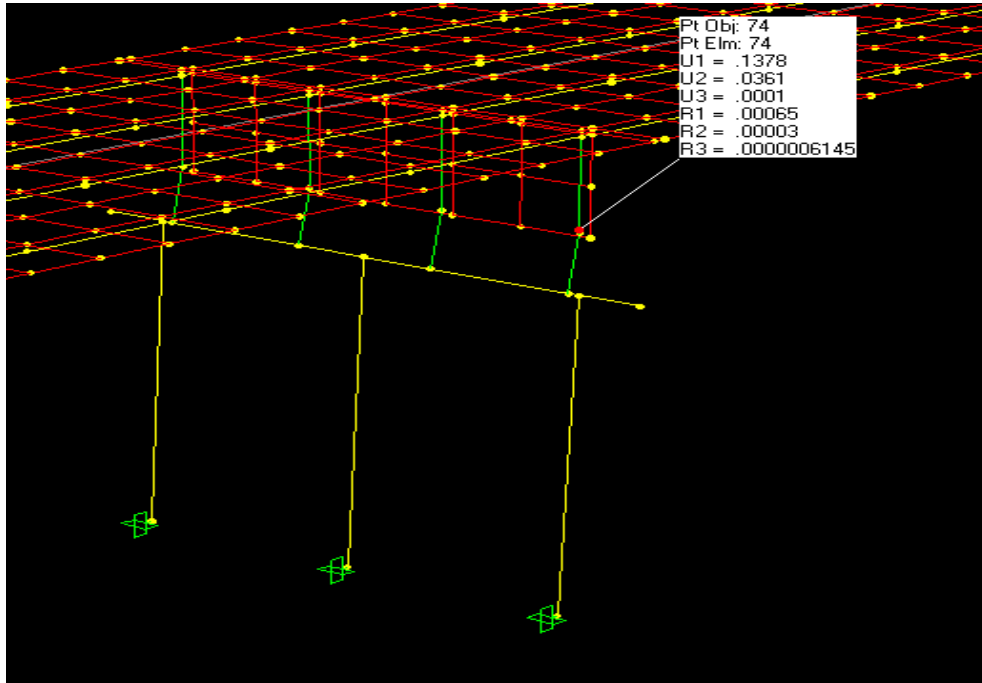
ALTURA DE COLUMNA 5 M



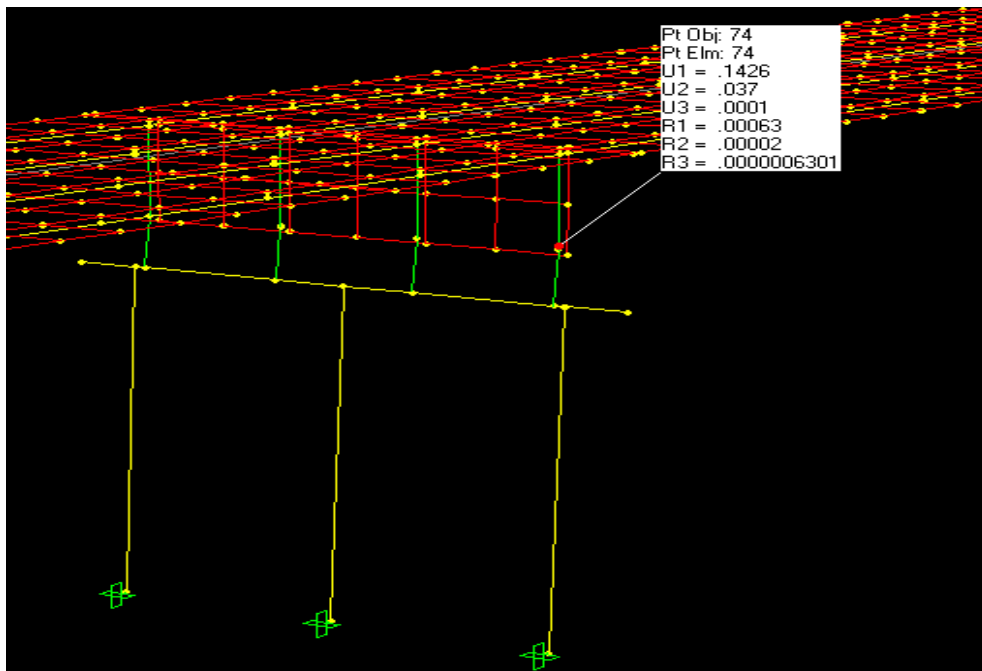
**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

ALTURA DE COLUMNA 5.5 M



ALTURA DE COLUMNA 6 M

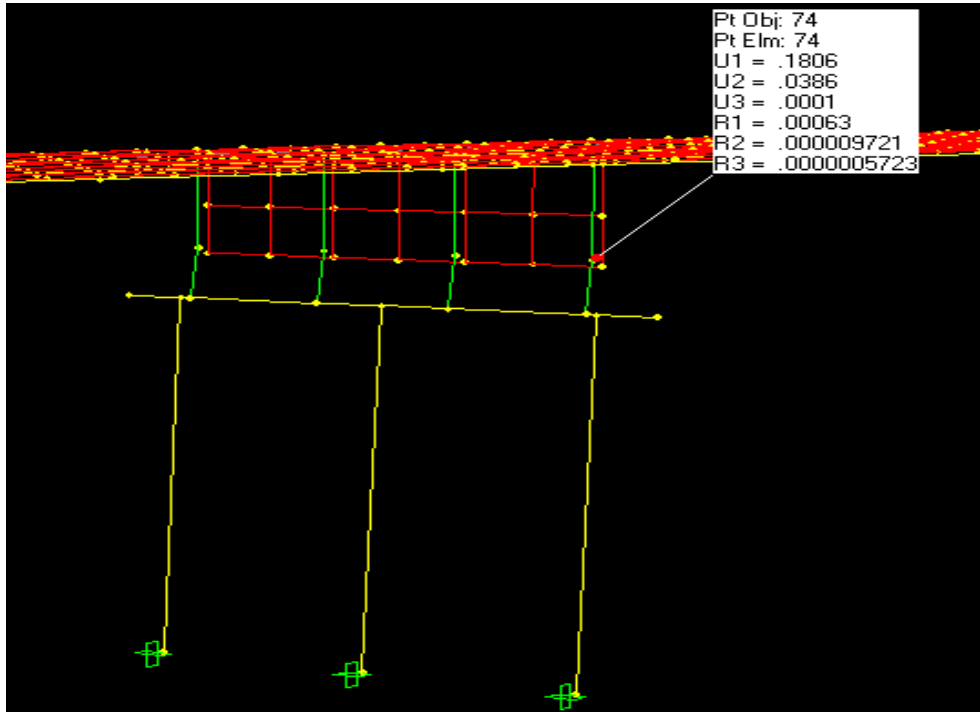




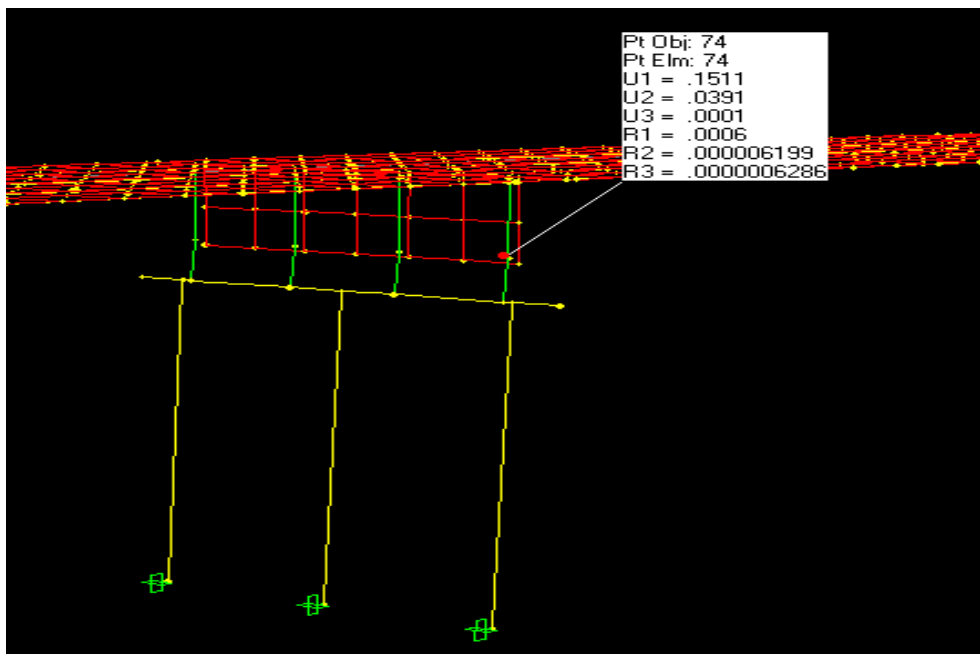
**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

ALTURA DE COLUMNA 6.5 M



ALTURA DE COLUMNA 7 M



## **6.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **6.1 CONCLUSIONES:**

- 1.- Con el uso de aisladores se busca mejorar el comportamiento de las estructuras ante eventos sísmicos, con el fin que absorban la energía y ésta sea disipada, aumentando el periodo de la estructura.
- 2.- Se busca controlar los desplazamientos de la estructura concentrándolos en el dispositivo, con el fin de transmitir menores fuerzas a las pilas.
- 3.- La estructura complementada con aisladores sufrirá menores daños estructurales.
- 4.- Los desplazamientos permisibles que se generen en los neoprenos con placas de acero dependerán netamente de la geometría de los mismos, mientras que en los fps, los desplazamientos dependerán de las cargas de diseño,
- 5.- El costo de los neoprenos con placas de acero son más económicos puesto que son de fácil construcción, en comparación de los fps que es necesaria su importación al país.
- 6.- Los fps son más efectivos en estructuras de poca altura y más rígidas generando una mayor reducción en las fuerzas sísmicas.
- 7.- Se requiere promover la investigación de otros tipos de aisladores en el medio ya que fomenta a la investigación y motiva al desarrollo vial del país.

**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

## **6.2 RESULTADOS**

1.- Los aisladores flexibilizan la pila reducen las fuerzas provenientes de la estructura y los desplazamientos se concentran en los dispositivos

Se realizó el diseño de la pila con los neoprenos placas de acero; para efecto comparativo, se utilizaron las mismas dimensiones de la pila para el análisis con péndulo friccionante con el fin de no modificar las secciones y ver cuán efectivo resulta su función.

En el análisis de la pila obtuvimos que:

- En el sentido X-X las columnas trabajan en curvatura simple, solo se puede producir rótula plástica en el extremo inferior
- En el sentido Y-Y las columnas trabajan en curvatura doble, se puede producir rótula plástica en ambos extremos

<b>H col</b>	<b>SISMO X-X</b>		<b>SISMO Y-Y</b>	
	Minf x-x	Msup x-x	Minf y-y	Msup y-y
2.5	41.21	24.09	31.81	35.09
3.00	35.99	23.00	42.49	44.63
3.50	39.02	22.15	37.01	38.89
4.00	36.82	21.46	38.76	40.31
4.50	34.35	20.84	39.88	41.25
5.00	31.84	20.25	40.39	41.68
5.50	29.44	19.63	40.33	41.60
6.00	27.21	18.98	39.78	41.07
6.50	25.15	18.28	38.82	40.16
7.00	23.28	17.56	37.56	38.95

FIGURA 6.3 RESULTADO DE LOS MOMENTOS OBTENIDOS EN AMBAS DIRECCIONES

**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

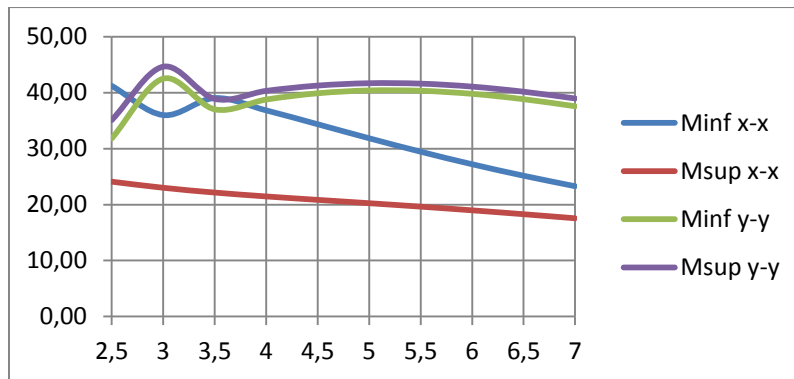


FIGURA 6.4 COMPARACION DE MOMENTOS EN VARIACION DE LA ALTURA DE LA COLUMNA

4.- Para los resultados obtenidos en los dos casos analizados, se determina lo siguiente:

a.- Los desplazamientos del elastómero son menores que los del sistema de péndulo friccionante

H col	T elastómero	Δ elastómero m	desplazamiento inicial 12cm		desplazamiento inicial 9cm	
			T fps1	Δ fps1 m	T fps2	Δ fps2 m
2.50	0.73	0.02	1.77	0.11	1.52	0.10
3.00	0.74	0.02	1.77	0.11	1.53	0.10
3.50	0.75	0.02	1.79	0.13	1.56	0.10
4.00	0.77	0.02	1.83	0.12	1.59	0.11
4.50	0.78	0.02	1.86	0.13	1.63	0.11
5.00	0.79	0.02	1.90	0.13	1.67	0.12
5.50	0.81	0.02	1.94	0.14	1.71	0.12
6.00	0.82	0.02	1.99	0.14	1.76	0.13
6.50	0.83	0.02	2.39	0.18	2.11	0.16
7.00	0.84	0.02	2.08	0.15	1.83	0.13

FIGURA 6.5 RESULTADOS DE LOS ANALISIS

3.- Los períodos obtenidos en el análisis de apoyos elastoméricos de neoprenos con placa de acero son más bajos que los del sistema de péndulo friccionante,

**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

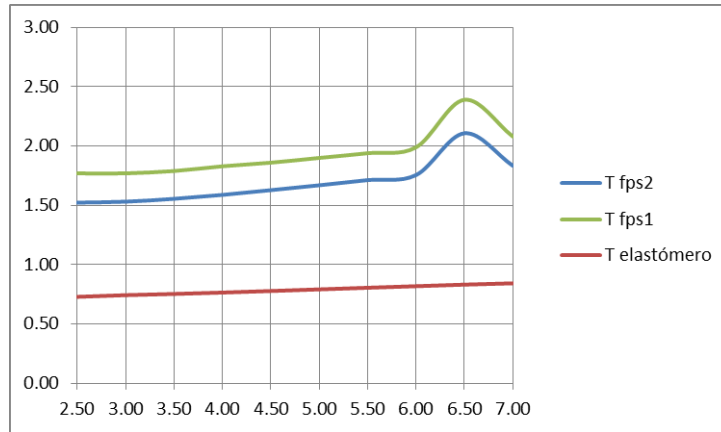


FIGURA 6.6 COMPARACION DE PERIODOS DE AMBOS SISTEMAS EN VARIACION DE LA ALTURA DE LA COLUMNA

4.- Con el uso de apoyos elastoméricos con neoprenos se obtuvieron valores aceptables de desplazamiento, dentro del rango establecido por la dimensión propia del aislador; En el método aplicado para el análisis del sistema de péndulo friccionante, se realiza varias iteraciones para obtener una respuesta eficaz en el comportamiento de la estructura independientemente de la sección del dispositivo pero se obtienen mayores desplazamientos.

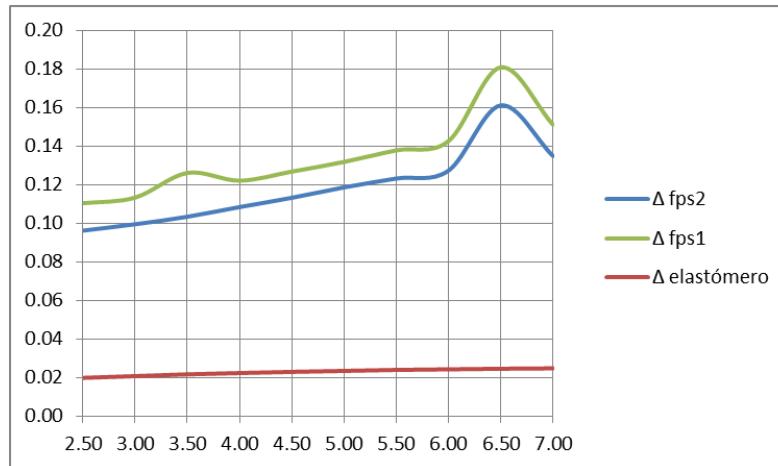


FIGURA 6.7 COMPARACION DE DESPLAZAMIENTOS DE AMBOS SISTEMAS EN VARIACION DE LA ALTURA DE LA COLUMNA

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

5.- Con el análisis de columnas para neoprenos con placa de acero se analiza el dispositivo fps y lo que se busca es que la sección de las columnas no varíe, quedando con un diámetro de 55 cm; obteniendo cuantía de acero similar para las distintas alturas de columnas propuestas en el estudio.

L (m)	REFUERZO LONGITUDINAL	REFUERZO TRANSVERSAL
2.50	12 $\phi$ 25 MM	$\phi$ 12 C/10 cm
3.00	16 $\phi$ 25 MM	$\phi$ 12 C/10 cm
3.50	12 $\phi$ 25 MM	$\phi$ 12 C/10 cm
4.00	12 $\phi$ 25 MM	$\phi$ 12 C/10 cm
4.50	12 $\phi$ 25 MM	$\phi$ 12 C/10 cm
5.00	12 $\phi$ 25 MM	$\phi$ 12 C/10 cm
5.50	12 $\phi$ 25 MM	$\phi$ 12 C/10 cm
6.00	12 $\phi$ 25 MM	$\phi$ 12 C/10 cm
6.50	12 $\phi$ 25 MM	$\phi$ 12 C/10 cm
7.00	12 $\phi$ 25 MM	$\phi$ 12 C/10 cm

FIGURA 6.8 REFUERZOS DE LAS COLUMNAS

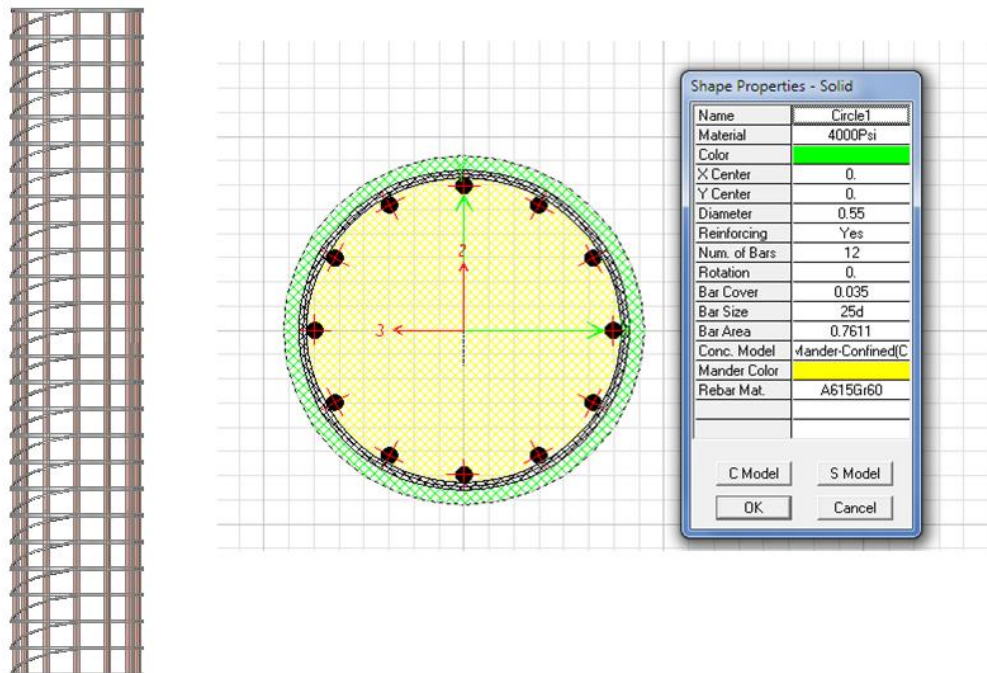


FIGURA 6.9 DETALLE DE REFUERZOS

## "Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"

6.- Se analiza la estructura que cumpla con la relación  $\Theta_s = P\Delta / My$  no mayor al 30%. Para este estudio se obtiene que para los dispositivos de neoprenos con placa de acero cumplen con la condición, en comparación con los dispositivos fps que para las pilas con alturas mayores de 4.5 m no cumple.

7.- E el análisis comprueba la efectividad en los apoyos de neopreno con placas de acero, ya que se obtuvieron valores permisibles y que la estructura no colapse por efecto  $P\Delta$

### NEOPRENOS CON PLACA DE ACERO

L (m)	desplazamiento (m)	T	Mu	P	My	PΔ	$\Theta_s = P\Delta / My$	0.3
2.50	0.02	0.73	41.21	122.63	50.14	2.44	0.05	OK
3.00	0.02	0.74	35.99	122.63	58.33	2.55	0.04	OK
3.50	0.02	0.75	39.02	122.63	50.14	2.66	0.05	OK
4.00	0.02	0.77	36.82	122.63	50.14	2.75	0.05	OK
4.50	0.02	0.78	34.35	122.63	50.14	2.82	0.06	OK
5.00	0.02	0.79	31.84	122.63	50.14	2.88	0.06	OK
5.50	0.02	0.81	29.44	122.63	50.14	2.94	0.06	OK
6.00	0.02	0.82	27.21	122.63	50.14	2.98	0.06	OK
6.50	0.02	0.83	25.15	122.63	50.14	3.02	0.06	OK
7.00	0.02	0.84	23.28	122.63	50.14	3.04	0.06	OK

### SISTEMA DE PENDULO FRICCIONANTE

desplazamiento asumido 12.26 cm

L (m)	desplazamiento (m)	T	Mu	P	My	PΔ	$\Theta_s = P\Delta / My$	0.3
2.50	0.11	1.77	44.11	122.63	50.14	13.54	0.27	OK
3.00	0.11	1.77	52.56	122.63	58.33	13.89	0.24	OK
3.50	0.12	1.79	24.37	122.63	50.14	14.40	0.29	OK
4.00	0.12	1.83	63.25	122.63	50.14	14.97	0.30	OK
4.50	0.13	1.86	67.35	122.63	50.14	15.55	0.31	NO CUMPLE
5.00	0.13	1.90	69.97	122.63	50.14	16.16	0.32	NO CUMPLE
5.50	0.14	1.94	71.57	122.63	50.14	16.90	0.34	NO CUMPLE
6.00	0.14	1.99	34.85	122.63	50.14	17.49	0.35	NO CUMPLE
6.50	0.18	2.39	83.50	122.63	50.14	22.17	0.44	NO CUMPLE
7.00	0.15	2.08	67.51	122.63	50.14	18.53	0.37	NO CUMPLE

### SISTEMA DE PENDULO FRICCIONANTE

desplazamiento asumido 9 cm

L (m)	desplazamiento total (m)	T	Mu	P	My	PΔ	$\Theta_s = P\Delta / My$	0.3
2.50	0.10	1.52	44.11	122.63	50.14	11.80	0.24	OK
3.00	0.10	1.53	52.56	122.63	58.33	12.20	0.21	OK
3.50	0.10	1.56	24.37	122.63	50.14	12.68	0.25	OK
4.00	0.11	1.59	63.25	122.63	50.14	13.29	0.27	OK
4.50	0.11	1.63	67.35	122.63	50.14	13.88	0.28	OK
5.00	0.12	1.67	69.97	122.63	50.14	14.54	0.29	OK
5.50	0.12	1.71	71.57	122.63	50.14	15.11	0.30	NO CUMPLE
6.00	0.13	1.76	34.85	122.63	50.14	15.61	0.31	NO CUMPLE
6.50	0.16	2.11	83.50	122.63	50.14	19.76	0.39	NO CUMPLE
7.00	0.13	1.83	67.51	122.63	50.14	16.54	0.33	NO CUMPLE

FIGURA 6.10 VERIFICACIONES DE AMBOS SISTEMAS POR EFECTO  $P\Delta$

**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

8.- Ventajas y desventajas de ambos sistemas.

<b>APOYOS ELASTOMÉRICOS</b>	<b>SISTEMA DE PENDULO FRICCIONANTE</b>
El costo de fabricación es más económico.	Su costo de fabricación es mayor
Simplicidad en la fabricación y diseño	Complejidad en el diseño
La vida útil del elastómero normalmente es igual al de la superestructura sin necesidad de mantenimiento, puesto que posee buena resistencia contra la corrosión y envejecimiento.	Durante la vida útil del dispositivo se necesita de inspecciones para evitar problemas de corrosión.
El desplazamiento es limitado por las características del apoyo	Permite mayor desplazamiento. Y el desplazamiento global inicial es asumido y depende de la cuantía de acero que posea la estructura a analizar mas no de las características del apoyo
No necesita control ante fenómenos de viento o frenado	Controlar no activarse ante fenómenos de viento o frenado aunque que el coeficiente de fricción se puede ajustar para resistir la carga de viento sin deslizamiento.



**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

**6.2 RECOMENDACIONES:**

- ✓ Fomentar el estudio y análisis de más dispositivos de aislación para implementar en las estructuras ya que se logra un mejor comportamiento.
- ✓ Analizar el comportamiento de la estructura para varios tipos de suelos, tanto como aisladores sísmicos fps y neoprenos.
- ✓ Analizar la pila con varios registros sísmicos y replicas.
- ✓ Ampliar investigaciones y promover el uso de dispositivos de aislación Fps ya que en nuestro medio los más utilizados son los neoprenos con placas de acero.
- ✓ Analizar el comportamiento con otros tipos de pilas para verificar la efectividad de los mismos.

## **7.- BIBLIOGRAFÍA**

- ❖ IAN G. BUCKLE, MICHAEL C CONSTATINOU, MIRAT DICLELI AND HAMID GHASEMI; 2006, Seismic Isolation of Highway Bridges.
- ❖ AMERICAN CONCRETE INSTITUTE; 2011, Requisitos para Concreto Estructural (ACI 318S-11) y comentario.
- ❖ M.J. N PRIESTLEY, F SEINLE, G.M. CALVI; 1996, Seismic Desing and Retrofit of Bridges.
- ❖ AMERICAN ASSOCIATION OF STATES HIGHWAY AND TRANSPORTATIN OFFICALS, SUBCOMMITTE ON BRIDGES AND STRUCTURES; 1996, AASHTO Standard Specifications For Highway Bridge 16<sup>th</sup>.
- ❖ AMERICAN ASSOCIATION OF STATES HIGHWAY AND TRANSPORTATIN OFFICALS, SUBCOMMITTE ON BRIDGES AND STRUCTURES; 2000, Guide Specification for Seismic Isolation Desing
- ❖ DEMETRIOS E TONIAS; 2006 , Bridge Engineering- Desing, Regabilitation, and Maintenance of Modern Higway Bridges
- ❖ ARTHUR N. NILSON; 2001, Diseño de estructuras de concreto.
- ❖ JAIME ANDRES ARRIAGADA ROSAS, 2005, Aislación Sísmica de un Edificio de Oficinas de Siete Pisos. (Análisis Comparativo de Comportamiento y Costos con un Edificio Tradicional).

**"Aislación Sísmica para Puentes: Comparación entre el uso de apoyos elastoméricos (neoprenos) con respecto al uso de apoyos de péndulo friccionante (FPS)"**

---

- ❖ CHOPRA, ANIL, 1995 "Dynamics of Structures", theory and applications to earthquake engineering, University of California at Berkeley, Editorial Prentice Hall, New Jersey, Estados Unidos.
- ❖ INSITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE, SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES, 1996 "Comportamiento Sísmico de Puentes sobre Apoyos Elastoméricos", Publicación Técnica No.90, Querétaro, México