

# Estudio del comportamiento de los puentes tipo pony colgantes

Beatriz Elena León, Mario Alberto González  
Caori Takeuchi\*

## Study of behavior of hanging bridges type Pony

### RESUMEN

En el país se encuentran numerosos puentes de paso a través intermedio colgantes. En este artículo se presentan la metodología y las conclusiones obtenidas en un estudio sobre el comportamiento de este tipo de puentes para las cargas existentes durante su proceso de construcción y puesta en servicio, mediante la contrastación entre modelos físicos y matemáticos. Igualmente, se estudió para estos modelos la estabilidad lateral.

### PALABRAS CLAVES

Cables, puentes tipo pony, estabilidad lateral.

### SUMMARY

In the country there is a great quantity of hanging bridges type pony. This article presents the methodology and the results obtained in a study of the behavior of this type of bridges for the construction and the service loads. Besides, the behavior of the lateral stability of these models.

### PASSWORD

Cables, bridges type pony, lateral stability.

\* Profesora de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia.

## INTRODUCCIÓN

Los puentes metálicos de paso a través intermedio se han usado frecuentemente en nuestro país para el cruce de pequeños cauces en vías secundarias o como pasos provisionales que remplazan estructuras permanentes afectadas por desastres naturales o por la mano del hombre.

Un puente de paso a través intermedio, o simplemente puente tipo *pony*, consiste en una estructura metálica compuesta por dos armaduras longitudinales, las cuales en los nudos de su cordón inferior soportan vigas de carga transversales, que a su vez sirven de apoyo al tablero sobre el cual circulan las cargas del tráfico (figura 1). El cordón superior de las armaduras está solicitado a esfuerzos de compresión con cargas de servicio, por lo que actúa como una columna esbelta soportada elásticamente en cada uno de sus nudos. Al no haber arriostramiento transversal entre los nudos del cordón superior de las armaduras, éstas pueden presentar problemas de inestabilidad por pandeo y fallar por dicho mecanismo.

Una falla por pandeo ocurre de manera súbita, sin que necesariamente los elementos de las armaduras estén solicitados a esfuerzos altos. Para mejorar la esta-

bilidad lateral de los cordones superiores, ocasionalmente se colocan pie de amigos (figura 1).

En el caso de luces largas, algunos de estos puentes se cuelgan a dos cables principales de acero longitudinales, por medio de cables de menor diámetro que actúan como pendolones verticales. Los cables principales, que adquieren una forma de parábola debido al peso del puente, se apoyan en torres de soporte localizadas en los extremos del puente y se anclan por medio de macizos de concreto enterrados en el terreno adyacente a la estructura (figura 2).

La Unidad de Estructuras del Departamento de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional ha estudiado, a través de varios proyectos de grado, la estabilidad lateral y las condiciones de esfuerzos de los puentes tipo *pony* sencillos, con pie de amigos y colgantes, por medio de modelos por computador, y ha ensayado modelos físicos a escala de los puentes sencillos y con pie de amigos. También realizó el estudio de las causas del colapso del puente colgante sobre el río Sevilla ocurrido el 25 de agosto de 1996. Sin embargo, en todos estos estudios los análisis se realizaron sin tener en cuenta el proceso constructivo.

A causa de esto, en el proyecto de grado "Estudio de puentes de paso a través intermedio colgantes.

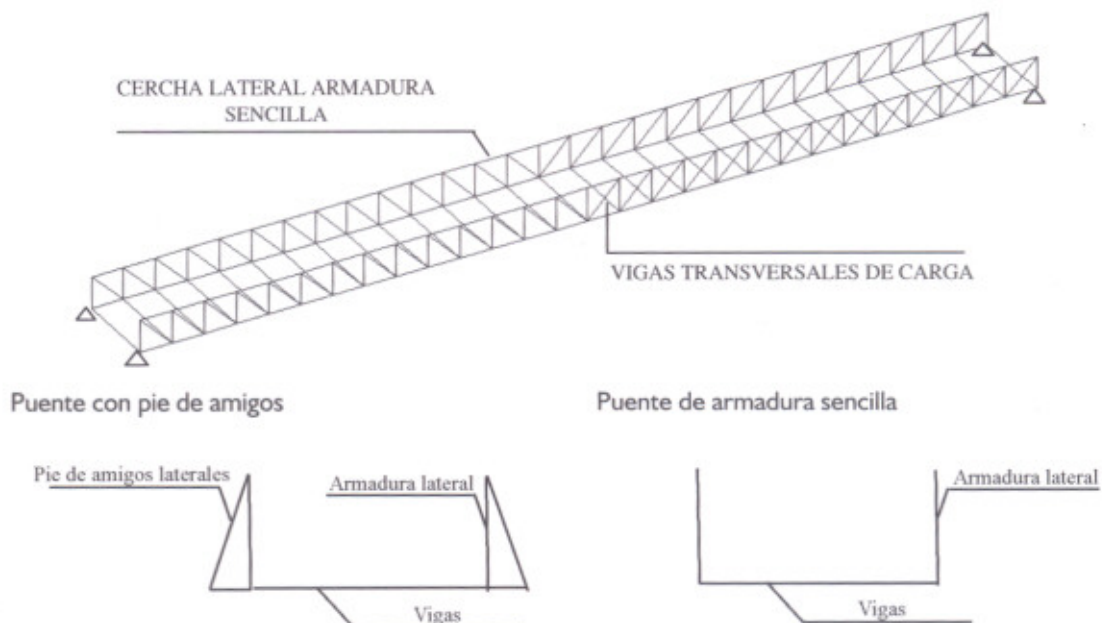


Figura 1. Puentes de paso a través intermedio tipo *pony*.



Figura 2. Configuración de los cables de un puente tipo *pony* colgante.

Contrastación experimental", se compararon los resultados experimentales de esfuerzos y desplazamientos en modelos físicos con los del análisis por computador, en los que se consideró el proceso constructivo en los diferentes pasos del análisis. Adicionalmente, se estudió la estabilidad lateral de los modelos.

#### PROCESO CONSTRUCTIVO DE LOS PUENTES TIPO PONY COLGANTES

El proceso constructivo consiste en el montaje de la estructura sin cables, luego se colocan los tableros, se cuelga el puente de los cables principales mediante los pendolones y se tensiona el cable principal hasta alcanzar una contraflecha que luego la contrarrestarán las cargas de tráfico. Debido a este sistema de montaje, la estructura se somete a esfuerzos y deformaciones importantes durante el proceso constructivo, especialmente cuando se tensiona el cable principal.

#### MODELAMIENTO EXPERIMENTAL Y MATEMÁTICO DEL PROCESO CONSTRUCTIVO

En el proyecto mencionado se realizó la simulación de las cargas que ocurren durante la construcción y puesta en servicio de tres modelos físicos de puente, elaborados con varillas de diferente diámetro en los cordones y vigas transversales. Dos de estos modelos se colgaron del cordón inferior y el otro del cordón superior. El procedimiento de carga fue el siguiente:

- Se colocó el modelo sin cable, simplemente apoyado; luego se colocaron los cables sin tensión, y para representar la carga del tablero se colocaron bolsas de arena.

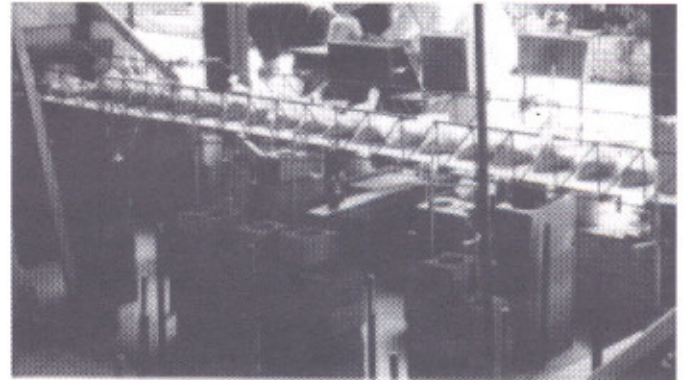


Foto 1. Simulación experimental de la carga muerta de un puente tipo *pony* colgante.

- Se tensionaron los cables principales y para representar la línea de carga se pusieron más bolsas de arena. La carga viva concentrada se aplicó por medio de un gato hidráulico, apoyado en bloques de concreto.

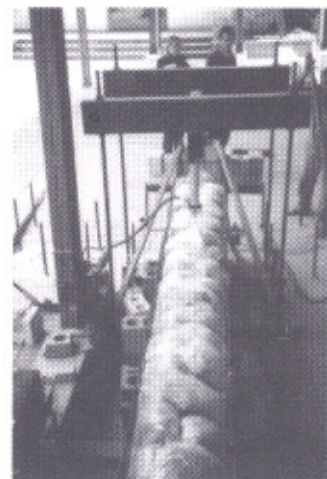


Foto 2. Simulación experimental de la carga viva de un puente tipo *pony* colgante.

Para determinar los esfuerzos en cada condición de carga se ubicaron deformímetros eléctricos en varios elementos (cable principal, cordones superior e inferior, dos paralelos, dos diagonales y cuatro pendolones), al igual que deformímetros mecánicos para medir los desplazamientos de varios nudos.

Para la modelación matemática se desarrollaron análisis de segundo orden en computador por medio del programa Staad Pro, con la metodología que se describe a continuación:

1. Introducción de la geometría original del modelo.
2. Carga del modelo con su peso propio y obtención de la deformada.
3. Con la deformada del paso anterior se calcularon las nuevas coordenadas de los nudos y se introdujo la nueva geometría.
4. Carga del modelo con el peso simulado del tablero y obtención de la deformada y los esfuerzos axiales.
5. Con la deformada del paso anterior se calcularon las nuevas coordenadas de los nudos y se introdujo la nueva geometría.
6. Tensionamiento de los cables principales del modelo, así como obtención de la deformada y esfuerzos axiales.
7. Con la deformada del paso anterior se calcularon las nuevas coordenadas de los nudos y se introdujo la nueva geometría.
8. Carga del modelo con la línea de carga simulada y obtención de la deformada y los esfuerzos axiales.
9. Con la deformada del paso anterior se calcularon las nuevas coordenadas de los nudos y se introdujo la nueva geometría.
10. Carga del modelo con la carga viva puntual de servicio y obtención de la deformada y los esfuerzos axiales (el paso 10 se repite, variando la posición de la carga viva puntual).

## CARGAS DE INESTABILIDAD LATERAL

En el estudio se buscó experimental y matemáticamente la carga de tensionamiento del cable principal que produjera la falla por inestabilidad lateral del puente (falla en el cordón inferior). Adicionalmente, se encontró la carga viva puntual crítica aplicada en una zona cercana al centro de la luz (falla por inestabilidad lateral en el cordón superior).

Para encontrar en los modelos por computador las cargas que producen la inestabilidad en los casos descritos se siguió el mismo procedimiento mencionado anteriormente para las condiciones de carga de servicio, sólo que al aplicarse la carga de tensionamiento o viva puntual ésta se incrementó hasta que el modelo se volvió inestable.

Para encontrar la carga crítica experimental de tensionamiento en uno de los modelos, se tensionaron los cables principales hasta que el puente colapsó (foto 3). Para determinar la carga que produce la inestabilidad lateral del cordón superior, se aplicaron incrementos de carga con el gato hidráulico hasta que se presentó la falla (foto 4).

## CONCLUSIONES

Las conclusiones más relevantes obtenidas en este estudio fueron las siguientes:

- Los esfuerzos y desplazamientos encontrados experimentalmente, para los diferentes procesos de carga, son similares a los obtenidos en el análisis.
- La carga crítica de tensionamiento y la carga viva puntual crítica pueden predecirse con suficiente aproximación, por medio de análisis no lineales.
- A pesar de que los cordones inferiores se encuentran unidos entre sí por vigas transversales, la falla por inestabilidad lateral en dichos cordones se puede presentar en el momento de tensionamiento del cable principal.
- La falla por inestabilidad lateral del cordón superior se puede presentar en puentes colgantes.
- Los esfuerzos en los elementos de la cercha pueden ser de pequeña magnitud (comparados a los esfuerzos de fluencia), cuando se presenta la falla por inestabilidad lateral.
- El proceso de colgar y tensionar los cables principales permite reducir los esfuerzos actuantes en las armaduras para cargas de servicio. De hecho, el tensionamiento de los cables introduce esfuerzos de tensión en el cordón superior y de compresión en el inferior, antes de aplicar la carga viva.
- La falla por inestabilidad lateral tiende a ser súbita, especialmente aquella producida por el tensionamiento del cable principal.

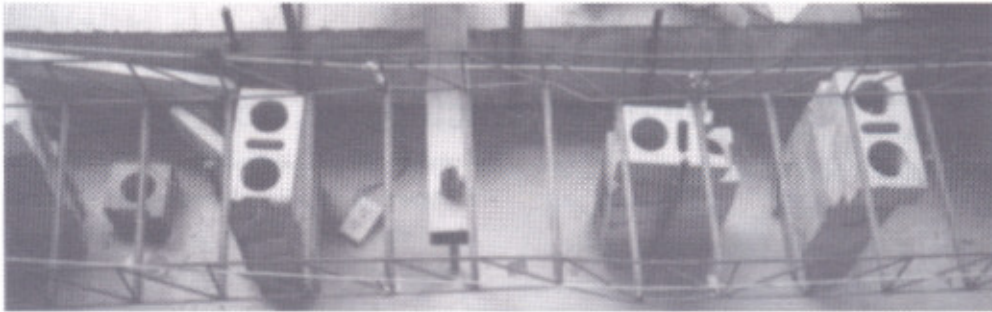


Foto 3. Falla experimental por pandeo lateral del cordón inferior a causa del tensionamiento de los cables principales.



Foto 4. Falla experimental por pandeo lateral del cordón superior debida a carga puntual.

## RECOMENDACIONES

En razón de los resultados encontrados, se recalca la importancia de revisar la estabilidad lateral de los puentes, tanto en etapa de servicio como de construcción.

## BIBLIOGRAFÍA

- Contreras, C., *Análisis de estabilidad de puentes largos tipo pony*, 1998.
- Fonseca, F. y Rivelino, R., *Estabilidad de puentes metálicos colgantes*, 1998.
- Guzmán V., Juan y Zambrano P., Alejandro, *Estabilidad de puentes pony. Contratación experimental*, 1999.
- León, D. y Torres, R., *Estudio de puentes desarmables metálicos*, 1998.
- Ortega, L., *Diseño de puentes desarmables compact 200 con sistema colgante*, 1999.
- Ramírez, *Análisis de puentes compact 200, etapa 2*, 1997.
- Rogelis, C. y Gómez, J., *Análisis de estabilidad lateral de puentes compact 200*, 1999.
- Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, "Causas del colapso del puente sobre el río Sevilla", informe, 1997.