



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

EXPERIMENTO CON MODELO DE PUENTE TIPO CERCHA Y SU COMPARACIÓN CON PREDICCIONES ANALÍTICAS



MANUAL DEL ESTUDIANTE

Preparado por:

Eduardo Montalto Bolaños
Asistente de Unidad de Puentes
Agosto, 2014

Ing. Pablo Agüero Barrantes, M.Sc.
Unidad de Puentes
Agosto, 2014

Este manual es material de la Unidad de Puentes del Programa de Ingeniería Estructural del LanammeUCR. Mediante el experimento se pretende mejorar la comprensión del comportamiento de estructuras de puentes tipo cercha, por parte de estudiantes y profesionales en ingeniería civil de Costa Rica. Se busca cumplir con las obligaciones conferidas al LanammeUCR y estipuladas en el artículo 6 de la ley No. 8114 con respecto a la ejecución de actividades de transferencia tecnológica para ingenieros, y de investigación.

El Programa de Ingeniería Estructural está conformado por:

Ing. Pablo Agüero Barrantes, M.Sc

Ing. Sergio Álvarez González

Ing. Mauricio Araya Con

Ing. Rolando Castillo Barahona, Ph.D, Coordinador General del Programa de Ingeniería Estructural

Ing. Hellen Garita Durán

Ing. Sergio Lobo Aguilar, Ph.D

Ing. María José Rodríguez Roblero, Ph.D

Ing. Luis Guillermo Vargas Alas

Ing. Esteban Villalobos Vega, M.Sc, Coordinador de la Unidad de Puentes

Julio, 2019.

TABLA DE CONTENIDO

1. RESUMEN	4
2. INTRODUCCIÓN	4
3. TEORÍA	4
4. ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO	5
5. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	8
6. REFERENCIAS	8

1. RESUMEN

Este manual del estudiante contiene instrucciones para realizar un experimento usando un modelo de un puente tipo cercha. El objetivo final es que el estudiante calcule analíticamente las cargas en los elementos y deflexiones en los nodos de la estructura hiperestática por medio del método de trabajo virtual o la programación matricial, y lo compare con los resultados experimentales utilizando el modelo experimental instrumentado de la estructura tipo cercha de PASCO.

2. INTRODUCCIÓN

Este manual abarca los pasos necesarios para ejecutar el experimento utilizando el modelo del puente tipo cercha de PASCO. El manual inicia con información básica sobre el modelo a utilizar y el equipo de medición. El manual finaliza explicando cómo determinar experimentalmente las cargas en los elementos y las deflexiones en los nodos del modelo.

El presente documento se basa en el informe Experimento con modelo de puente tipo cercha y su comparación con predicciones analíticas - Manual del estudiante (LM-PI-UP-02-2014) que se encuentra en el siguiente enlace.

<https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/handle/50625112500/1527>

3. TEORÍA

Una estructura se puede clasificar según su grado de determinación estática. Cuando todas las fuerzas presentes en la estructura se pueden determinar a partir de las ecuaciones de equilibrio, se considera a la estructura como estáticamente determinada o isostática. No obstante, cuando existen más fuerzas desconocidas que ecuaciones de equilibrio disponibles, se trata de una estructura estáticamente indeterminada o hiperestática. En este caso, las ecuaciones

adicionales requeridas para encontrar las cargas desconocidas se obtienen a partir de las relaciones entre reacciones y cargas internas con los desplazamientos y pendientes en distintos puntos de la estructura. A estas ecuaciones se les conoce como ecuaciones de compatibilidad (Hibbeler, 2012).

Las estructuras reales suelen ser hiperestáticas debido a diversos motivos. Uno de ellos es que, por lo general, presentan esfuerzos y deformaciones menores que las que se presentan en estructuras isostáticas. Otra razón por la cual se utilizan estructuras hiperestáticas es su capacidad de redistribuir las cargas en caso de un mal diseño o de cargas excesivas, evitando el colapso. También hay que destacar que algunos edificios son estáticamente indeterminadas debido a la forma estructural a utilizar; por ejemplo, en la mayoría de estructuras de concreto reforzado, las vigas y columnas se cuegan en forma monolítica generando uniones rígidas que en conjunto producen una estructura hiperestática (Hibbeler, 2012).

En general, existen dos métodos para analizar estructuras hiperestáticas: método de fuerzas o flexibilidad, y método de desplazamientos o rigidez. El método de flexibilidad se basa en las relaciones de carga – desplazamiento y en las ecuaciones de compatibilidad de deformaciones, cuyas incógnitas son fuerzas. Se encuentran las fuerzas redundantes para posteriormente encontrar el resto de las fuerzas actuantes en la estructura. Por su parte, el método de rigidez se basa en escribir las relaciones de carga – desplazamiento para luego satisfacer las condiciones de equilibrio de la estructura. En este caso, las incógnitas para las cuales se resuelve el método son desplazamientos (Hibbeler, 2012). Cabe destacar que los programas de análisis estructural, tales como SAP 2000 y ETABS, se basan en el método de rigidez.

Las ecuaciones de compatibilidad en las cuales se basa el método de fuerzas se pueden plantear en forma matricial de la forma que se presenta en la ecuación 3-1. En este planteamiento corresponde a la fuerza redundante i , es la deformación en el grado de libertad i debido a las cargas reales aplicadas a la estructura auxiliar isostática y corresponde a la

deformación en el grado de libertad i causado por una carga unitaria en el grado de libertad j .

$$\begin{pmatrix} f_{11} & \dots & f_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ f_{n1} & \dots & f_{nn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R_1 \\ \vdots \\ R_n \end{pmatrix} = - \begin{pmatrix} \Delta_1 \\ \vdots \\ \Delta_n \end{pmatrix} \quad [3-1]$$

Cada uno de los f_{ij} se denomina coeficiente de flexibilidad y puede ser determinado a través de métodos de energía para encontrar desplazamientos tales como trabajo virtual o el teorema de Castigliano. Para el caso del trabajo virtual, se recuerda que las ecuaciones para resolver desplazamientos están dadas por la ecuación 3-2, para el caso de carga axial, y por la ecuación 3-3, para deformaciones por flexión. También existen expresiones dadas para las deformaciones causadas por cortante, pero usualmente se desprecian por ser mucho menores a las generadas por flexión y carga axial.

$$1 \cdot \Delta = \sum \frac{nNL}{AE} \quad [3-2]$$

$$1 \cdot \Delta = \int_0^L \frac{mM}{EI} dx \quad [3-3]$$

4. ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO

4.1 Modelo de puente tipo cercha de PASCO

El set de puentes de PASCO contiene elementos tales como vigas I, cuerdas, tablero flexible, conectores y

tornillos que permiten construir modelos de estructuras de cerchas y puentes. Estos modelos permiten evaluar el comportamiento de las estructuras ante condiciones de carga estática o dinámica.

Para este experimento, el modelo que se ha construido es de un puente tipo cercha (Figura 1). En las Figuras 2, 3 y 4 se presentan las dimensiones del puente y sus condiciones de apoyo. Los elementos verticales de las cerchas laterales (10, 12, 14, 16, 18, 20 y 22) y los elementos de arriostre de la cercha superior e inferior poseen secciones rectangulares y se muestran en azul en las Figuras 2, 3 y 4. El resto de elementos del puente tipo cercha son vigas I, cuya sección se describe posteriormente.

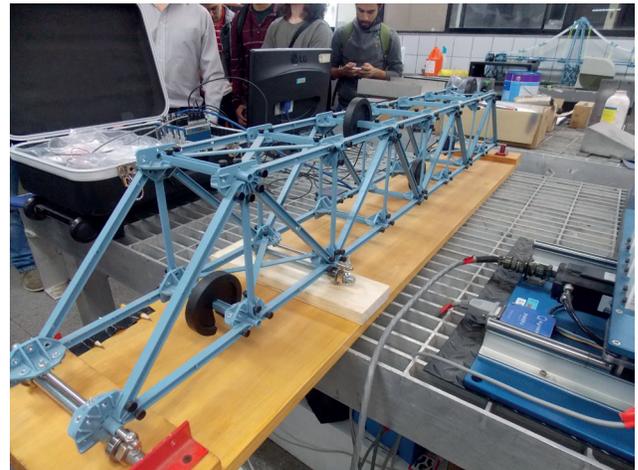


Figura 1. Modelo de puente tipo cercha de PASCO

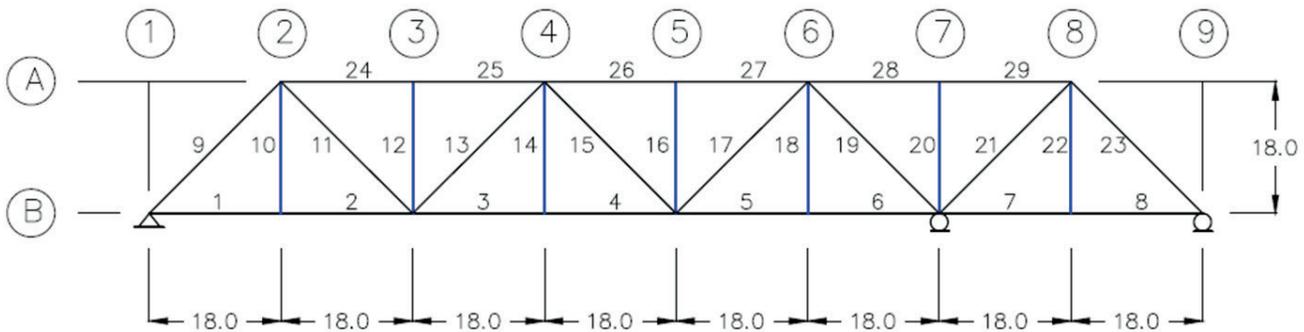


Figura 2. Elevación de cercha lateral del modelo (unidades en centímetros)

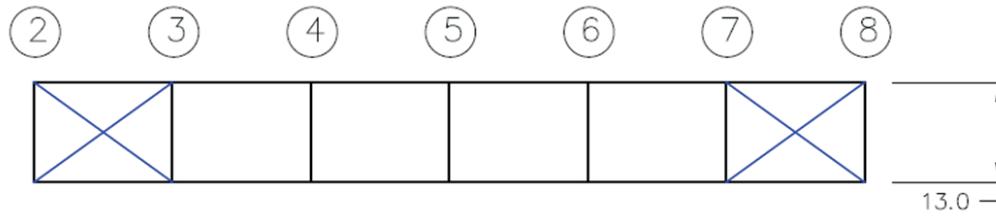


Figura 3. Vista en planta de cercha superior del modelo (unidades en centímetros)

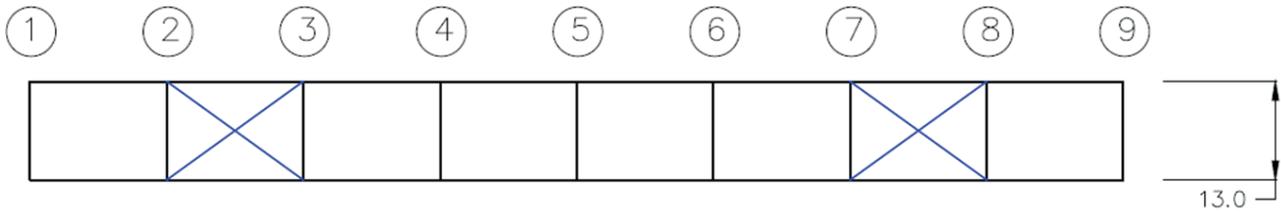


Figura 4. Vista en planta de cercha inferior del modelo (unidades en centímetros)

Las propiedades de los elementos del modelo son proporcionadas por el fabricante. El módulo de elasticidad del material es de 2,29 GPa. Las dimensiones de la sección transversal de las vigas I se muestran en la Figura 5. Para los elementos de arriostramiento, la sección transversal es rectangular y posee dimensiones nominales de 10,0 mm x 2,5 mm.

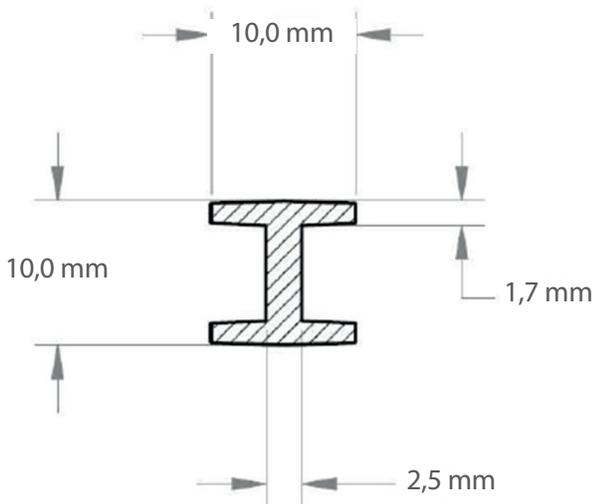


Figura 5. Sección transversal de las vigas I

Fuente: Pasco, 2014

4.2 Celdas de carga

Se utilizarán celdas de carga de PASCO (Figura 6) con capacidad de medir fuerzas en el rango de -100 N y +100 N. Estas celdas de carga se conectan al sistema de adquisición de datos CompactDAQ de *National Instruments* para transmitir la señal al computador.



Figura 6. Celda de carga de PASCO

Para medir fuerzas axiales en elementos de modelos PASCO se pueden incluir las celdas de carga al modelo. Para ello, se reemplaza una viga por dos vigas más cortas y la celda de carga (Figura 7). Se deben colocar los tornillos en forma suelta para asegurar que la celda de carga únicamente registre cargas axiales.

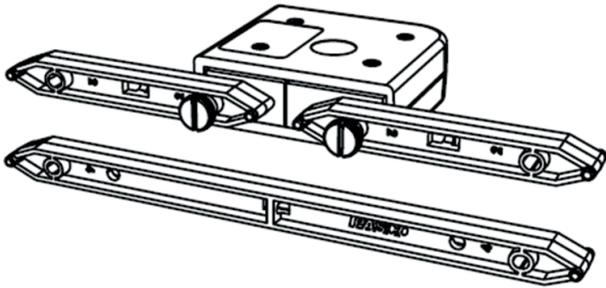


Figura 7. Ensamblaje de celdas de carga en elemento del modelo
Fuente: Pasco, 2014

4.3 Sistema de adquisición de datos CompactDAQ

El CompactDAQ de *National Instruments* (Figura 8) es un chasis que se encarga de la temporización, sincronización y adquisición de datos provenientes de diversos módulos de E/S que se integran al chasis. Existen diversos módulos según el tipo de sensor que se desee conectar (acelerómetros, medidores de voltaje u otros). En el caso de las celdas de carga, se conectan al módulo que posee entradas RJ-50 (Figura 9).



Figura 8. Sistema de adquisición de datos CompactDAQ

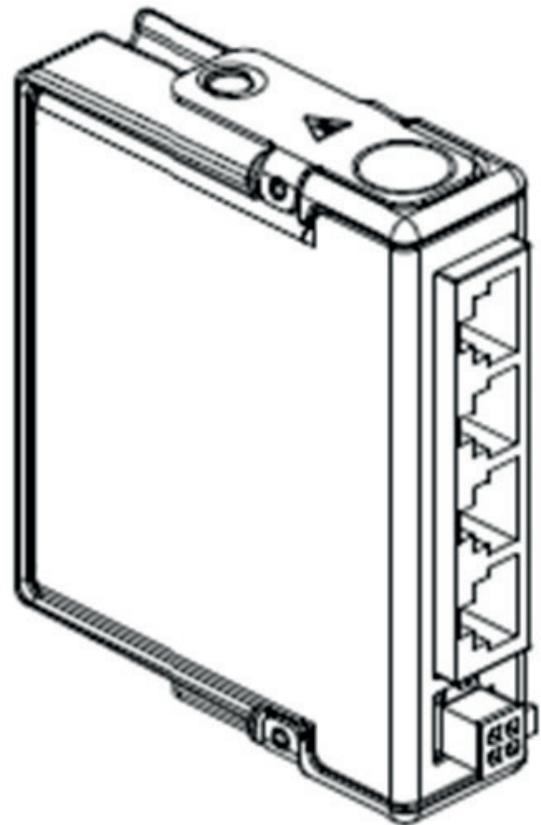


Figura 9. Módulo utilizado para conectar las celdas de carga
Fuente: Pasco, 2014

El sistema de adquisición de datos se controla en la computadora a través de un programa desarrollado con la plataforma de desarrollo de sistemas LabView de *National Instruments*. El programa para estos fines posee las funciones de iniciar y terminar las mediciones de las celdas de carga, desplegar las mediciones en tiempo real y registrar los datos de estos sensores.

5. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

5.1 Propósito

Esta sección explica cómo determinar experimentalmente las cargas en los elementos internos y las deflexiones en los nodos de la estructura tipo cercha.

5.2 Materiales

1. Modelos de puente tipo cercha PASCO
2. Celdas de carga
3. Vernier de patas largas, regla o cinta métrica
4. Masas de 0,5 kg

5.3 Procedimiento

1. Encienda el sistema de adquisición de datos CompactDAQ y el computador al cual se encuentra conectado.
2. Coloque celdas de carga en los elementos 5, 11 y 26, y conéctelas al sistema de adquisición de datos. Asegúrese de conectar las celdas de carga al módulo apropiado del CompactDAQ. Para realizar las estimaciones analíticas, se debe suponer que las propiedades de la sección transversal de estos elementos permanecen constantes.
3. Mida la separación entre la cuerda inferior de la cercha lateral y la base en los ejes 2, 4 y 6. Se recomienda utilizar, por lo menos, un vernier.

Esto debido a que las deflexiones esperadas en el modelo tienen valores pequeños que no se podrán detectar correctamente con un instrumento de menor precisión.

4. Coloque masas dos masas de 0,5 kg (para un total de 1 kg) en cada uno de los elementos transversales en las intersecciones de los ejes B y 2, A y 4, B y 6, A y 8 (Figura 2).
5. En el computador ingrese al programa de LabView denominado carga_axial_cercha.vi. De inicio al programa para que empiece a mostrar las mediciones de las celdas de carga. Haga click derecho en el gráfico que aparece en pantalla para exportar los datos.
6. Mida nuevamente la separación entre la cuerda inferior de la cercha lateral y la base en los ejes 2, 4 y 6 mientras la carga está aplicada para determinar las deflexiones.

6. REFERENCIAS

- Hibbeler, R. (2012). *Structural Analysis*. New Jersey: Prentice Hall.
- PASCO. (2014). *100 N Load Cell Manual*. Recuperado el 21 de Agosto de 2014, de PASCO: http://www.pasco.com/prodCatalog/PS/PS-2201_100-n-load-cell/#resourcesTab
- PASCO. (4 de Abril de 2010). *Cross section and material properties for structure system beams*. Recuperado el 21 de Agosto de 2014, de PASCO: <http://www.pasco.com/support/technical-support/technote/techIDlookup.cfm?TechNoteID=1060>



LanammeUCR

LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

 11501-2060 San José, Costa Rica

 (506) 2511-2500

 direccion.lanamme@ucr.ac.cr

 www.lanamme.ucr.ac.cr

Centro de Transferencia Tecnológica

*Experimento con modelo de puente tipo cercha y su comparación
con predicciones analíticas. Manual del estudiante.*

Diagramación y diseño: Daniela Martínez Ortiz

Control de calidad: Óscar Rodríguez Quintana

Julio, 2019

UCR