

# **ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO EN CARGA DE PUENTE DE MADERA**

**Ing. Eduardo Pedoja**  
Profesor de Hormigón Armado  
Facultad de Ingeniería, UM

## **1. INTRODUCCIÓN**

En el marco de un convenio de cooperación entre la Universidad de Montevideo y las empresas madereras COFUSA S.A. y TILE S.A. se diseñó y puso en práctica el ensayo de carga de un prototipo de puente de madera<sup>1</sup> de 10 m de luz construido con rolos de eucalipto tratado.

El puente, el lugar y todos los aspectos materiales propios del ensayo, fueron provistos por la empresa TILE S.A. Los instrumentos de medición y los operadores fueron proporcionados por el LATU (Laboratorio Tecnológico del Uruguay). El diseño y la dirección del ensayo, la interpretación de los resultados y la redacción del informe correspondió a la Universidad de Montevideo.

En este artículo se presenta un resumen del informe que contiene las partes fundamentales del mismo.

## **2. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO**

### **2.1. Características Físicas y Geométricas**

Se trata de un puente reticulado de madera, con uniones realizadas por bulones de acero, y con cimentaciones de hormigón armado.

La luz del puente es de 10m, tiene un ancho total de 537 cm y un ancho libre para circulación de 393 cm. La altura del reticulado es de 200 cm.

Los rolos de madera de eucaliptus grandis tienen en los reticulados un diámetro promedio de 24 cm y en el tablero de 24,5

cm. La terminación del tablero y superficie de rodadura, esta compuesta por durmientes del mismo material.

Los bulones de los nudos de la cercha son de 3" de diámetro en acero 1045, los nudos de vinculación cercha-postes del tablero son de 3/4" de diámetro en acero 1045. Los bulones que vinculan los durmientes de la superficie de rodadura con los rolos transversales del tablero son de 1/2" en hierro dulce.



---

<sup>1</sup> Realizado el 8.11.02, en Aserradero de Tile S.A. – Rivera –Uruguay.

**Equipo técnico:** Por Tile S.A.:Sebastián Ferres.  
Por LATU: Álvaro Pérez de Castillo, Andrés Ono.  
Por la U.M.: Eduardo Pedoja, Marcel Florit, Santiago Mullin



### 3. INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

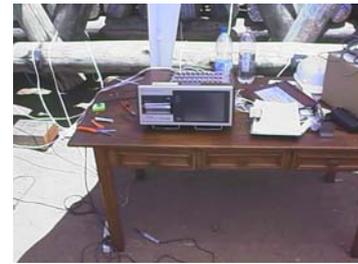
#### 3.1. Strain Gauge

#### 3.2. Extensómetros

#### 3.3. Datalogger Tokyo Sokki TDS-602 (30 canales)

Este instrumento almacenaba la información extraída por los Strain Gauge y los Extensómetros en una planilla excel.

#### 3.4. Medidor de Módulo de Elasticidad



Strain Gauge

Datalogger

### 4. DESCRIPCIÓN Y PROCEDIMIENTOS DE ENSAYO

#### 4.1. *Ensayo De Carga Estática Con Pesas*

##### Descripción:

El primer ensayo de carga estática se realizó con una carga total de 41 ton. La carga estuvo compuesta por:

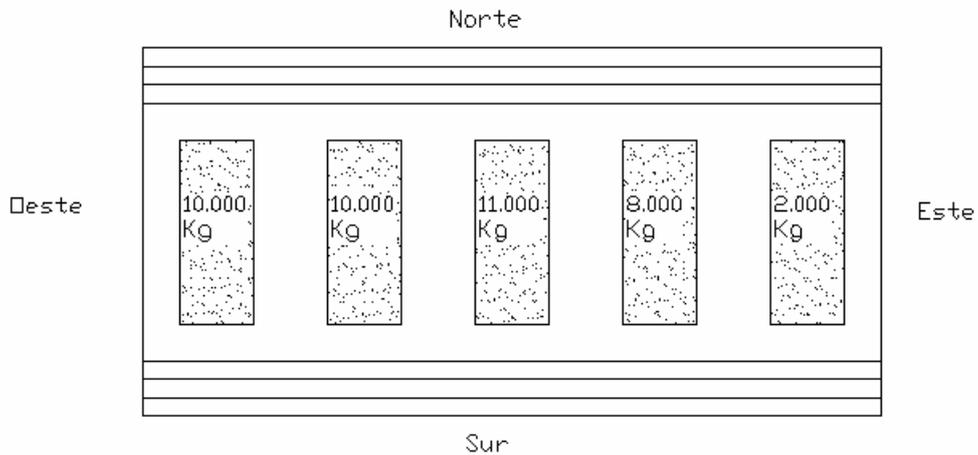
	<b>Dimensiones promedio (cm)</b>	<b>Peso promedio (Kg)</b>
Losas de hormigón armado	260 x 130 x 25	2000
	130 x 130 x 25	1000
Fardo de madera	-	2000

Para el pesaje de los bloques se tomaron 3 muestras aleatoriamente las cuales se pesaron en la balanza de camiones del aserradero la cual tiene una precisión de 10 Kg. De los pesajes realizados se calculó que la densidad media aproximada de los mismos es de 2500 Kg/m<sup>3</sup>. Tomando en cuenta las dimensiones de los bloques restantes y las irregularidades que presentan se tomaron los pesos promedio especificados en la tabla anterior.

Para llegar a la carga total se colocó en los tramos penúltimo y último fardos de madera cuyo peso se obtuvo con la misma balanza y es de 2000 g.

Todas las aproximaciones realizadas tienden a tomar pesos menores a los reales con el fin de estar del lado de la seguridad.

La distribución de las cargas sobre el puente fue la siguiente:



#### **Procedimiento:**

Los bloques se colocaron con la ayuda de un autoelevador de peso propio aproximado de 6030 Kg.. El autoelevador entró con su carga por la cara oeste del puente



Cada vez que se agregó una carga se tomaron medidas de las deformaciones y de las tensiones. El proceso de descarga se registro de manera similar.

#### **4.2. Ensayo De Carga Estática Con Camión**

##### **Descripción:**

El tren de cargas utilizado en este caso consiste en un camión de eje simple delantero y doble trasero. La distancia entre el eje delantero y el eje trasero (último) es de 680 cm, y la distancia entre ejes traseros es de 130 cm.

El camión cargado con piedra partida y pesas de hormigón fue pesado en la balanza anteriormente mencionada alcanzando un peso total de 30000 Kg..



##### **Procedimiento:**

El ensayo consistió en detener el camión sobre el puente durante 10 min centrado el camión en el tablero del puente transversal y longitudinalmente.

### 4.3. Ensayo De Carga Dinámica

#### Descripción:

Se realizó con el mismo camión anteriormente mencionado con la misma carga.

#### Procedimiento:

El ensayo consistió en realizar 10 pasadas de camión tomando medidas cada segundo y discretas en las siguientes posiciones del camión sobre el puente:

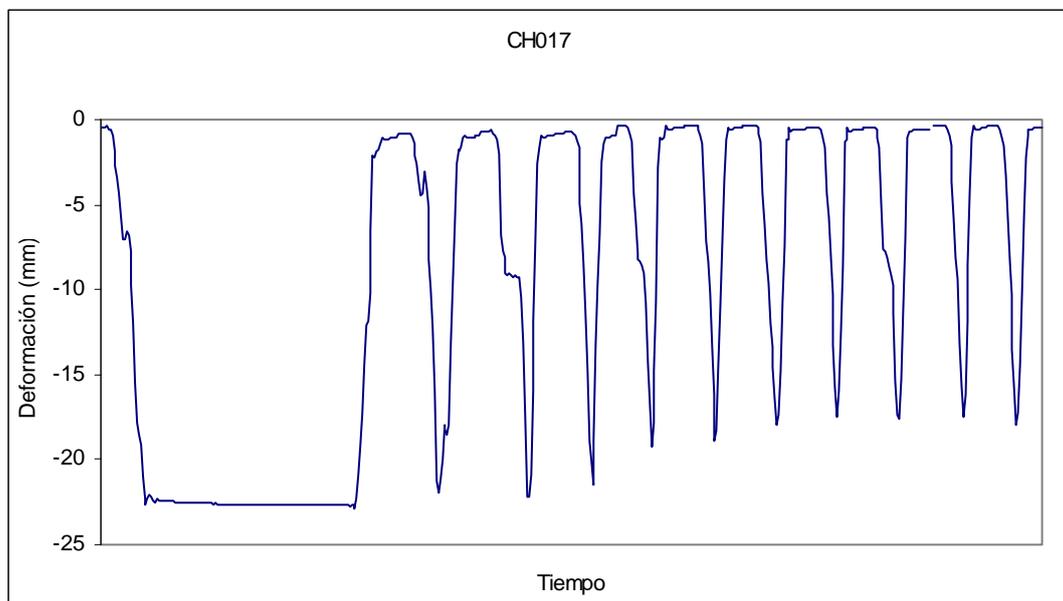
- antes de la entrada
- cuando el último eje del camión estaba totalmente sobre el tablero
- cuando el punto medio entre ejes del camión se alineaba con el punto medio longitudinal del puente
- cuando el eje trasero del camión estaba en el fin del tablero

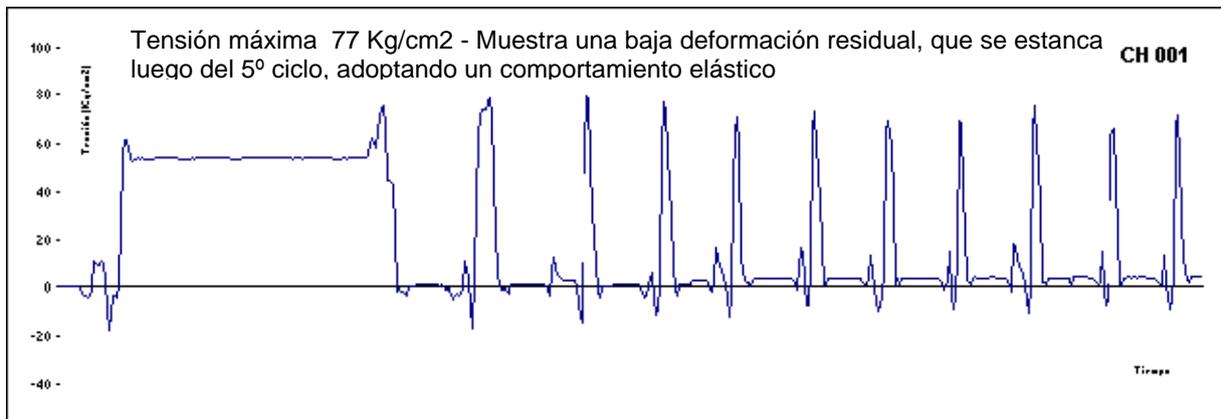
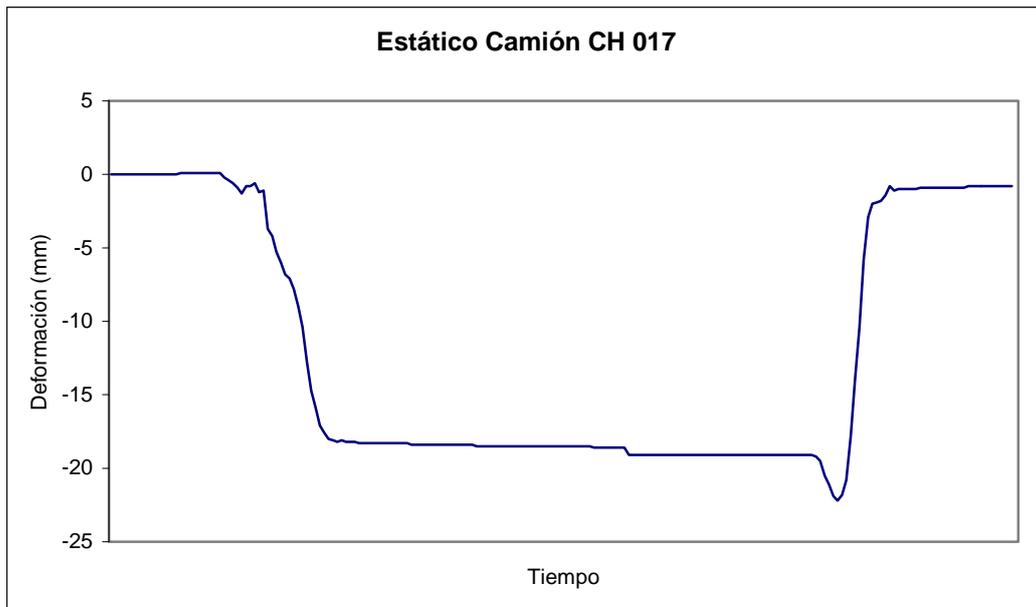
*Obs.1: luego de realizada la cuarta pasada el camión sufrió problemas con un neumático y el ensayo se detuvo por aproximadamente una hora.*

Se obtuvieron datos sobre el estado de los Strain Gauge y los Extensómetros en las sucesivas pasadas de camión con un intervalo segundo a segundo. De estos datos se obtuvieron gráficos que permiten estudiar el comportamiento real del puente frente a cargas dinámicas.

En éstos gráficos se identifican con claridad en cada pasada las descargas ejercidas por el eje delantero y trasero del camión.

#### Gráficos Extensómetros





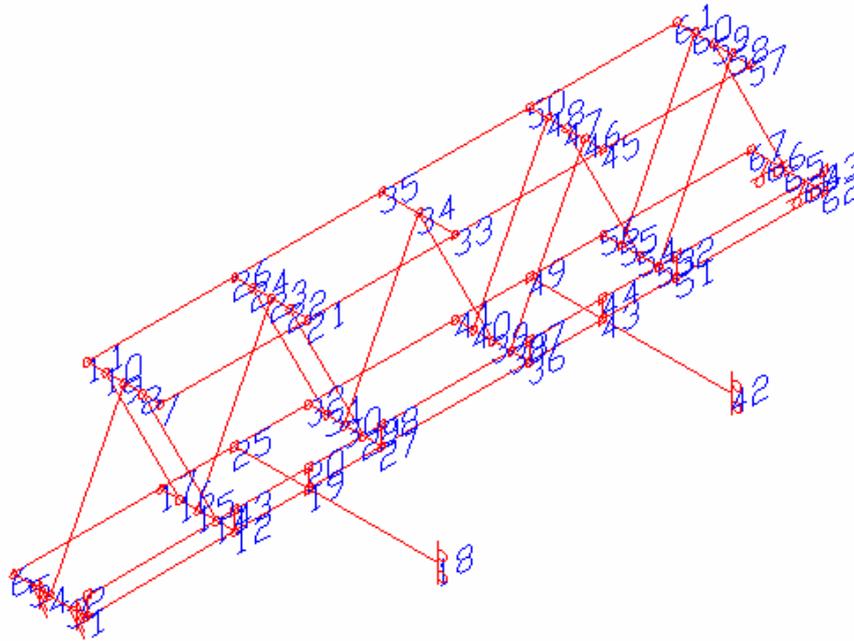
## 5. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

### 5.1. Ensayo De Carga Estática Con Pesas

Las deformaciones máximas observadas durante el ensayo fueron:

	<b>E4 BE2 Centro</b>	<b>E7 Nodo 9 N lateral</b>	<b>E9 Nodo 9 Sur Lateral</b>	<b>E8 Nodo 11</b>	<b>E3 BE17 Centro</b>	<b>E6 Nodo 6</b>	<b>E5 BE31 Centro</b>	<b>E2 BCI Norte nodo 3</b>	<b>E1 BCI Sur nodo 3</b>
<b>Modelo Real</b>	-2,1	36,5	33,7	1,7	-36	-0,9	-3,3	-25,4	-24
<b>Modelo Matemático</b>	Sin Datos	18,2	18,2	2,1	Sin Datos	0	Sin Datos	28	

## Detalle del Modelo Matemático



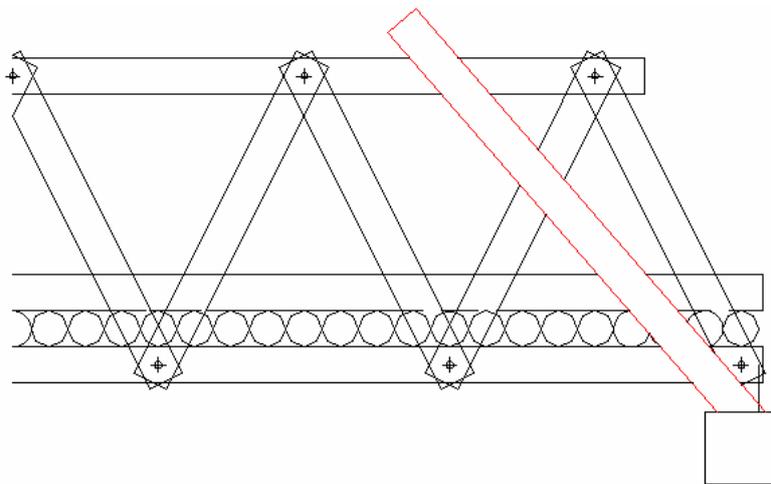
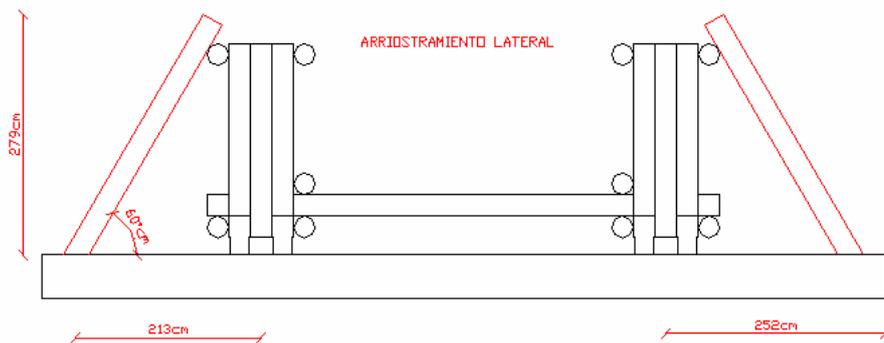
## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Nudos De Las Vigas

En los nudos los resultados del modelo, prácticamente coinciden con las mediciones. En el modelo se tomó un perno de 100 mm de diámetro sujeto en el eje de las barras contra los 75 mm reales para compensar la rigidez producida por el empotramiento del perno en el agujero del tronco y la fricción entre los troncos. El desplazamiento relativo de los troncos que concurren a un perno, que es una medida del comportamiento de los nudos, fue apenas medible con los instrumentos. No se observaron fisuras, ovalamiento de los agujeros ni curvatura de los pernos. A los efectos del dimensionado en otras situaciones de cargas se entiende que es posible tener en cuenta el empotramiento del perno en el agujero del tronco. No se recomienda tener en consideración la fricción de los mismos, por las variaciones volumétricas propias de la madera.

### Vigas

El comportamiento general del modelo se aproxima bastante bien al comportamiento real, aunque surgen algunas diferencias. Los movimientos transversales del cordón superior son mucho mayores que los del modelo. En esto puede estar influyendo la luz entre el perno y los agujeros de las piezas de apoyo. Si bien estos movimientos no resultaron demasiado importantes, se recomienda arriostrar transversalmente el cordón superior de las vigas a la fundación.



Los desplazamientos verticales totales menos los remanentes son algo inferiores a los del modelo. Habiendo coincidencia entre los diámetros y los módulos de elasticidad, se presume que esta discrepancia se debe a que quedan esfuerzos remanentes en la parte interior del cordón inferior, que impiden las vigas vuelvan libremente a su posición de reposo. Esto no tiene ninguna consecuencia negativa para el comportamiento del puente.

En los ensayos dinámicos, las curvas de respuesta de las tensiones y de las deformaciones muestran un comportamiento uniforme y perfectamente elástico de las vigas, manteniéndose prácticamente la deformación remanente que quedó del ensayo estático.

La uniformidad de los resultados en los diez ciclos de carga lleva a pensar que la respuesta estructural de las vigas no va a ser afectada por el uso del puente, en otros términos, el pasaje de camiones no va a deteriorar las vigas.

La flecha máxima por carga dinámica se mantiene en el orden de los 2 cm, por lo tanto la relación flecha/luz es aproximadamente 1/500 lo cual supera los requerimientos de las normas DIN y AASHTO para este tipo de puentes.

La deformación de las vigas resultó imperceptible para el conductor del vehículo y no generó sensaciones desagradables para las personas que estaban sobre el puente.

La buena coincidencia con el modelo matemático permitirá extrapolar los resultados de este ensayo a luces mayores o cargas diferentes.

## Tablero

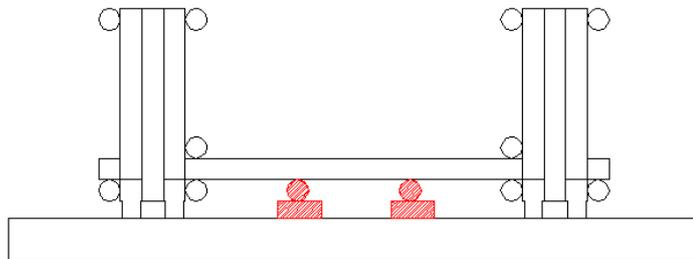
En el ensayo dinámico, los troncos transversales mostraron un buen comportamiento resistente, a pesar de las elevadas tensiones a que fueron sometidos. No obstante las deformaciones resultaron muy elevadas. En particular el primer tronco se deformó de modo exageradamente grande bajo la carga de la rueda del camión al ingresar al puente. Esto puede producir deterioros puntuales a mediano plazo y debe ser evitado, cualquiera sea el tipo de pavimento que se utilice.

Como posibles medidas para mejorar esta situación se señalan:

1. Aumentar el diámetro de los troncos
2. Colocar dos troncos longitudinales en los tercios de la luz abulonados a los troncos transversales.
3. Apoyar estos troncos longitudinales sobre la fundación de las cabeceras.
4. Apoyar la mayor cantidad posible de troncos transversales en las dos barras del cordón inferior de las vigas.

Los troncos longitudinales tienen la función de repartir las cargas concentradas entre varios troncos transversales.

Si se quisiera hacer un pavimento asfáltico, se recomienda tomar todas estas medidas y apoyar la carpeta asfáltica sobre 10 a 15 cm de tosca compactada.



Un pavimento de hormigón, para que sea compatible con las deformaciones de la madera debería estar vinculado a los troncos transversales mediante conectores de cortante de modo de sumar la rigidez propia del hormigón con la de los troncos transversales. En forma preliminar se podría pensar en 17 cm de espesor con armadura superior e inferior.

Las vigas, tal cual están dimensionadas, pueden soportar el sobrepeso de un pavimento asfáltico o de hormigón.

## Resumen Final

En resumen, el comportamiento de las vigas, tanto desde el punto de vista resistente como de las deformaciones o de la respuesta dinámica, puede calificarse de muy bueno, en tanto que en el tablero, si bien desde soportó perfectamente bien las cargas a que fue sometido deben, aplicarse algunas medidas correctivas para mejorar su rigidez.