

## Reparación Puente de Ferrocarril Dubrocq.

*Dubrocq Railroad Bridge Repair.*



**MSc. Ing. Héctor Alfonso Pérez**

Ingeniero Principal  
Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería. EMPAI. Matanzas.  
Cuba  
Profesor Asistente de la Carrera de Ingeniería Civil de la UMCC. Cuba  
Telf: (45)291802, Ext. 209. Email: [hector-alfonso@empai.co.cu](mailto:hector-alfonso@empai.co.cu)



**Lic. Ing. Pedro A. Hernández Delgado**

Director Técnico y Desarrollo  
Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería. EMPAI. Matanzas.  
Cuba  
Profesor Instructor de la Carrera de Ingeniería Civil de la UMCC. Cuba  
Telf: (45) 291802, Ext. 210 Email: [Pedro-Hernandez@empai.co.cu](mailto:Pedro-Hernandez@empai.co.cu)



**DrC. Ing. Luis R. González Arestuche**

Ingeniero Civil. Doctor en Ciencias Técnicas  
Director de Negocios, Mercadotecnia y Comunicación  
Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería, EMPAI.  
Matanzas. Cuba  
Profesor Titular de la Carrera de Ingeniería Civil de la UMCC. Cuba  
Telf: (45) 291802 ext. 204 Email: [Luis-Gonzalez@empai.co.cu](mailto:Luis-Gonzalez@empai.co.cu)

Recibido: 19-02-13

Aceptado: 26-03-13

### **Resumen:**

En este trabajo hemos ordenado lógicamente los procesos de valoración, modelación, revisión y reforzamiento de una estructura en colapso, la cual resultaba necesario poner en funcionamiento en un plazo breve para impedir pérdidas altas al país desde el punto de vista económico y social, aplicado concretamente al caso del Puente de Ferrocarril Dubrocq, que está en el ramal de acceso al puerto de Matanzas.

Para ello se realiza un análisis estructural subdividiendo la estructura en sus partes componentes, se analizan las cargas actuantes y a partir de estos se evalúan los sistemas de fallo. De manera similar se ordenan los trabajos atendiendo a la secuencia que se debe seguir para evitar nuevos colapsos.

De igual manera se ha documentado metodologías para, con recursos disponibles en la provincia, realizar pruebas de carga que permitan poner en funcionamiento estructuras de alto nivel de responsabilidad estructural con un alto grado de confiabilidad y seguridad.

**Palabras Clave:** Reparación / Puentes, Ferrocarriles, Pruebas de carga.

#### **Abstract:**

In this work we have ordered the processes of valuation logically, modelation, revision and reinforcement of a structure in collapse, which was necessary to put into operation in a brief term to impede lost high to the country from the economic and social point of view, applied to the case of the railroad bridge, concretely Dubrocq, that is in the access brunch to the port of Matanzas.

For this is carried out it a structural analysis subdividing the structure in their component parts, the acting loads are analyzed and starting from these the failure systems are evaluated. In a similar way the works are ordered assisting to the sequence that should be continued to avoid new collapses.

In a same way it has been documented methodologies for, with available resources in the county to carry out load tests that they allow to put into operation structures of high level of structural responsibility with a high grade of dependability and security.

**Keywords:** Repair / Bridge, Railroad, Test of load.

#### **Introducción:**

El día 27 de Diciembre del 2011 fue convocada la Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería, en adelante EMPAI, a una reunión en el Puente Dubrocq por la Dirección de Ferrocarriles del MITRANS, con el objetivo de participar en los trabajos de evaluación de las afectaciones de este puente producidas al pasar un tren de carga que originó fallas de consideración en varios elementos del puente. Es necesario significar que este tráfico se produjo en un momento en que se trabajaba en la reparación de esta estructura por entidades ajenas a nuestro centro.

En la mencionada reunión se lega a la EMPAI la última documentación elaborada por los especialistas<sup>1</sup> de la Estación Comprobadora de Placetas de la Unidad Empresarial de Base Vías y Puentes de Placetas, en Villa Clara. Este hecho facilitó y permitió la realización de los análisis y que a continuación se detallan:

- Dictamen técnico de la investigación del puente KM. 2,151 del ramal Dubrocq, Agosto - 2009. (DTI-08-2209).
- Informe técnico de la inspección realizada al puente Km 2,151 del ramal Dubrocq en la provincia de Matanzas. (22/12/11). (IT- 22/12/11). En este informe se plantea categóricamente que el **"puente falló"** y se hace un análisis correcto y realista de las causas que provocaron este estado límite.

Es importante considerar que este puente está ubicado en una curva de 112 m de radio con sobre-elevación.

---

<sup>1</sup> Ingenieros civiles Gregorio Aragón Fernández y Alejandro Fernández. Presentes en la reunión del 2011.12.27, junto al Dr.C. Carlos A. Recarey Morfa.

Los participantes por la EMPAI en esta visita-reunión para la coordinación de acciones, valoraron como “**extremadamente grave**” el estado del puente y dada su importancia para la economía nacional decidieron precipitar los trabajos de inspección y evaluación estructural.

### 1. Descripción del puente y estructuración del análisis.

Tipológicamente el puente está constituido por cerchas tipo Warren, divididas con nudos rígidos en la estructura del tablero compuesto por vigas diafragmas transversales que soportan las vigas longitudinales sobre las que se apoyan las traviesas de madera en las que descansan los rieles. Las vigas longitudinales están localizadas en dependencia de la curva del trazado. El radio de curvatura de la vía es de 112 metros.

Para esta inspección se adoptó el siguiente esquema estructural:

#### Tablero estructural.

- Vigas longitudinales.
- Vigas diafragma transversales.

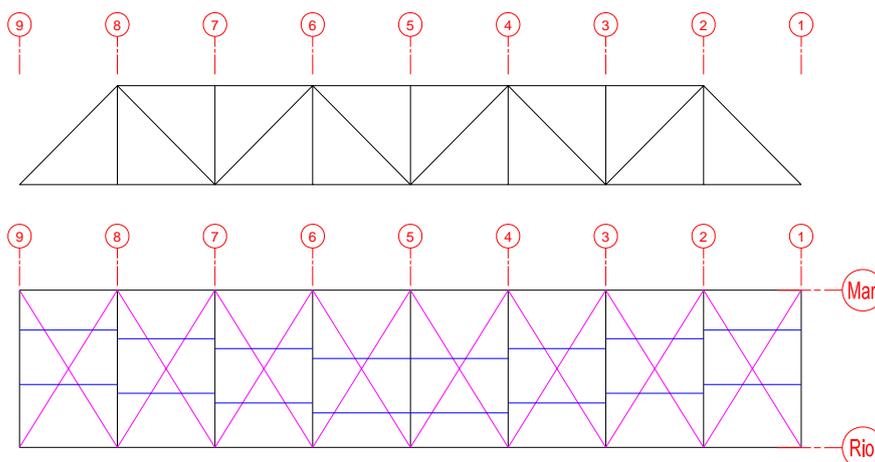
#### Cerchas.

- Cordón inferior.
- Cordón superior.
- Diagonales externas.
- Diagonales internas.
- Montantes.
- Vigas transversales superiores
- Nudos

#### Arriostres

- Arriostres inferiores.
- Arriostres superiores.

Todas las uniones originales son con remaches en caliente de una pulgada de diámetro (1plg = 2.54 cm), lo cual condiciona la transmisión de esfuerzos en los nudos.



## 2. Análisis estructural.

### 2.1. Modelación geométrica y estructural.

- Modelación geométrica: Para la realización de este análisis se dimensionó el modelo a partir de la información contenida en DTI-08-2209 y de comprobaciones efectuadas "in situ". Se estimaron por mediciones directas y aplicando la fotografía para determinar algunas dimensiones, al requerirse para completar el modelo.
- Para la modelación estructural se empleó el programa SAP\_2009.V.14.
- Para la realización de este análisis no existió la información del proyecto original del puente.
- Modelación estructural.
  - Resistencia del acero ( $2\ 100\ \text{kg/cm}^2$ ).
  - Secciones.
  - Cargas y factores de seguridad.
  - Combinaciones de carga.

### 2.2. Cargas y factores de seguridad.

Para las cargas se empleó inicialmente la Norma Cubana *NC.53.125.1984: Puentes y Alcantarillas. Especificaciones de Proyecto y Métodos de Cálculo*. Esta norma está vigente para el cálculo y diseño de puentes de ferrocarril. Se consultó además la propuesta de la nueva Norma, la cual mantiene los mismos criterios en cuanto a la determinación de las cargas.

Los resultados obtenidos para la carga C-10 no son resistidos por las secciones originales del puente, sin considerar afectación alguna por el efecto de la corrosión. Por esta razón se realizó un análisis de los posibles vehículos a circular con los especialistas de la División de Distancias y Vías en los Ferrocarriles de Matanzas, determinándose sus características según el Itinerario No. 14, vigente desde abril del 2003. El valor máximo determinado para una carga lineal equivalente para la vía fue de 7,05 t/m.

Se consultaron las siguientes normativas y documentos foráneos, al tratarse de un problema complejo, y partiendo del hecho de que la Norma vigente presenta obsolescencia técnica:

- *Manual for Railway Engineering, American Railroad Engineering and Maintenance-of-Way Association (AREMA). 2002, USA*. En 1894 la AREMA adoptó el tren de carga COOPER E60, con el cual probablemente se calculó este puente originalmente. En la actualidad el incremento del peso de los equipos provocó un incremento sucesivo de las cargas hasta llegar a la actual carga de diseño E80 para puentes nuevos y en algunos casos superiores. La siguiente figura ilustra un eje unitario de carga en el sistema inglés. Las cargas son obtenidas multiplicando cada carga unitaria por la misma constante Q; el espaciamiento entre las ruedas no cambia.

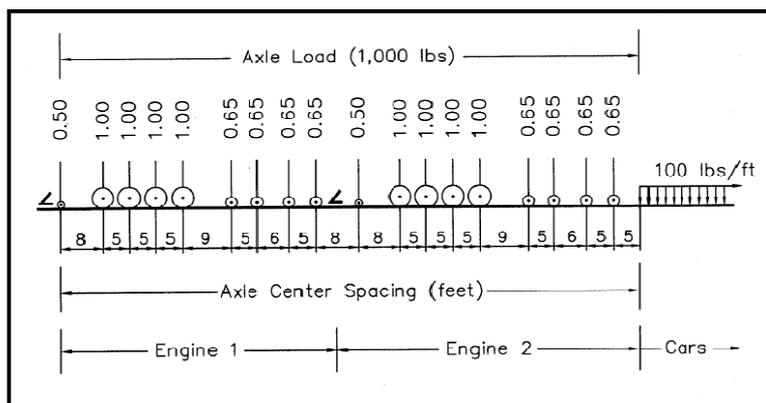


Figure 7-19. Cooper Load Configuration for Bridges

Por lo tanto, para la carga E60 se obtienen los siguientes valores:

- $Q_1 = 0.50 \times 60 = 30\,000 \text{ lbs} = 13.6 \text{ t}$ .
- $Q_2 = 1.00 \times 60 = 60\,000 \text{ lbs} = 27.2 \text{ t}$ .
- $Q_2 = 1.00 \times 60 = 39\,000 \text{ lbs} = 17.7 \text{ t}$ .
- $q = 6\,000 \text{ lbs/pie} = 8.9 \text{ t}$ .

- *Instrucción sobre acciones de puentes de ferrocarril, (IAPF). Ministerio de Fomento. España. 2010.*
- *BS 5400-2.1978. Steel, concrete and composite bridges. Part 2: Specification for loads. (Vigente en la actualidad).*
- *"Guideline for Load and Resistance Assessment of Existing European Railway Bridges - advices on the use of advanced methods". 2007.*

En estos documentos, todos de origen europeo, se emplea como carga para el diseño la siguiente:

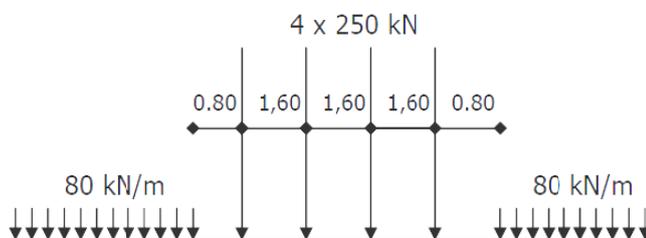


Fig. 5: Tren de cargas

Finalmente se adoptó este último tren de carga teniendo en cuenta que, posteriormente como parte del análisis, tendrán que mayorarse las cargas.

Los factores de mayoración adoptados fueron los planteados en la *NC.53.125.1984*. Igualmente se calcularon según esta Norma los valores del coeficiente de impacto y de la fuerza centrífuga.

El análisis estructural no ha tenido en cuenta el cálculo por fatiga, ni las reducciones de capacidad por corrosión. No obstante a lo anterior, los resultados obtenidos son suficientes para establecer conclusiones. En las próximas etapas se tendrán en cuenta estos factores.

## 2.3. Análisis del puente.

### 2.3.1. Tablero estructural.

**Vigas longitudinales.** Son vigas de alma llena con peralte de 970 mm. Están conformadas por una plancha de 970 X 10 mm, platabanda de 370 x 16 mm y angulares superiores e inferiores de 150 x 150 x 16 mm, dos a dos.

- Estas vigas soportan las cargas que el tren trasmite directamente a las traviesas de madera mediante los rieles. Ellas constituyen el primer eslabón de la cadena de transmisión de cargas de los elementos que conforman la estructura del puente. Así transmiten las cargas a las vigas transversales (diafragmas) debidas a esfuerzos cortantes, mediante uniones remachadas al alma de las vigas transversales, no existiendo transmisión de momento al no estar conectadas las alas, por lo que se modelaron liberando las restricciones de giro en la dirección gravitatoria. Estas vigas son las responsables además de la super-elevación y su replanteo es variable, en función de la curvatura de esta vía. En la modelación ellas soportan la mitad de las cargas que transmite el tren de diseño. En sus secciones críticas, soportan un momento máximo de 98 t-m, un cortante vertical de 61 t y horizontalmente hasta 18 t.
- El nivel de corrosión se estima en el orden del 25%. No se ha realizado una evaluación completa de ellas. En el panel 8 se sustituyeron las vigas originales por vigas nuevas, de las cuales no se conocen sus características para el diseño. Los pernos colocados son normales y se desconocen sus propiedades, así como los requerimientos de su apretado.
- Se considera la sustitución al menos, de dos de estas vigas, posiblemente hasta tres, dependiendo de precisiones posteriores producto de la evaluación más detallada que continuará por esta parte.
- Es un elemento redundante importante alternativo al cordón inferior de las cerchas.

**Vigas diafragmas transversales.** Son vigas de alma llena con peralte de 970 mm y espesor de 10 mm. Están conformadas por una plancha de 970 X 10 mm, platabanda de 370 x 16 mm y angulares superiores e inferiores de 150 x 150 x 16 mm, de dos a dos.

- Estas vigas soportan las cargas que le transmiten las vigas longitudinales por cortante y además sirven de diafragma rigidizador transversal. Estas cargas son soportadas por el alma observándose un importante grado de corrosión que afecta el 20% del área de la sección. Además, transmiten las cargas a las cerchas también por cortante mediante uniones remachadas. Los esfuerzos a cortante en las vigas interiores varían entre 28t y 61t y los de compresión alcanzan un valor de 26 t.
- Al no estar alineadas las vigas longitudinales que le tributan, como consecuencia de la curvatura del trazado, se originan esfuerzos muy difíciles de evaluar entre las zonas que soportan a dichas vigas.
- Su diseño no está previsto para la transmisión de esfuerzos por compresión que puedan llegar desde las longitudinales como consecuencia de fallas en el cordón inferior de la cercha.
- En los ejes 6 y 7 ha fallado el alma de estas vigas en las uniones con las vigas longitudinales, observándose grietas, desgarraduras y deformaciones de consideración.
- El nivel de corrosión se estima que produjo pérdidas de sección entre un 20% y un 40 %.

### 2.3.2. Cerchas.

Las cerchas soportan el tablero y transmiten las cargas a los apoyos. Están compuestas por 4 secciones triangulares de 10 m de base y 8 m de altura, con nudos rígidos.

**Cordón Inferior.** Está constituido por dos vigas C de 330 x 75 x 10 mm. En algunas secciones se observa un refuerzo con una plancha de 240 x 16 mm.

- En la actualidad se observa que las secciones correspondientes a la mitad del lado Versalles han sido sustituidas, mientras que se mantienen las originales en la otra mitad de la banda Matanzas.
- Estas vigas obligatoriamente tienen que ser continuas entre los nudos rígidos y al pasar por los montantes solamente se une a ellos mediante una simple unión, sin trasmisión de esfuerzos axiales. En la reparación realizada se interrumpieron estas vigas lo que provoca trasmisión de esfuerzos axiales a los montantes, los cuales no están preparados para soportarlos, produciéndose deformaciones en los montantes y fallas en los cordones por roturas de estas uniones realizadas sólo con 2 pernos.
- Deberá revisarse más detalladamente, la unión con los apoyos en el lado Versalles.
- La tensión máxima de tracción es de 178 t.
- El nivel de corrosión es muy alto, por encima del 30% en las secciones originales, provocando pérdidas importantes que las invalidan para soportar las tensiones actuantes, por lo que se hace necesaria su sustitución total.
- Se propone para la reconstrucción del cordón inferior, el empleo de dos perfiles C de 300 X 75 x 13 mm reforzada con una plancha de 10 mm de espesor.

**Cordón Superior.** Está constituido por una sección compuesta conformada con dos planchas verticales de 400 x 10 mm y una superior de 510 x 10 mm y angulares superiores e inferiores de 100 x 800 x 10 mm, dos a dos. Por la parte inferior esta arriostradas por planchas próximas a los nudos y originalmente por crucetas, que solo se conservan en la cercha de la derecha, mientras que en la de la izquierda fueron sustituidas por planchas soldadas.

- El nivel de corrosión de estas vigas arroja pérdidas en la sección de un 20 al 40%. Por esta razón se deben reforzar las secciones críticas.
- La tensión de compresión máxima que soporta este cordón es de 242 t.

**Diagonales Externas.** Están constituidas por una sección similar a la del cordón superior.

- Las crucetas de arriostres están muy deterioradas y se observan signos de falla, por lo que se debe restituir el sistema de arriostre mediante planchas.
- El nivel de corrosión de estos elementos arroja pérdidas en la sección comprendidas en el rango de un 20 al 40%. Por esta razón se deben reforzar las secciones críticas.
- La tensión de compresión máxima que soporta este cordón es de 190 t.
- Al modelar la falla del puente estos elementos sufren una importante deformación, con el consecuente incremento para las tensiones, fuera de todo límite.

**Diagonales Internas.** Están constituidas por dos vigas C de 340 x 75 x 10 mm, arriostradas mediante crucetas, muy deterioradas y con algunos signos de falla producto de deformaciones.

- Se debe restituir el sistema de arriostre mediante planchas.
- El nivel de corrosión de estas vigas produjo pérdidas de sección en el rango de un 20 al 40%. Por esta razón se reforzarán las secciones críticas.
- La tensión de compresión máxima que soporta este cordón es de 149 toneladas.

**Montantes.** Están constituidos por 4 angulares de 130 x 95 x 12 mm.

- La tensión de tracción máxima que soporta este elemento es de 60 t.
- El nivel de corrosión general produjo pérdidas de sección en el rango de un 10 al 20%, pero que se incrementa en las proximidades de los apoyos, Cerca de los apoyos superiores se observan fallas por corrosión.
- Se deben reforzar o reconstruir las secciones dañadas.

**Vigas transversales superiores.** Para este análisis se asumieron similares condiciones que para los montantes.

- La tensión de tracción máxima que soporta este elemento es de 20 t.
- El nivel de corrosión general está comprendido en el rango de un 10 al 20%, pero que se incrementa en las proximidades de los apoyos.
- Se deben reforzar o reconstruir las secciones dañadas.

**Nudos.** Los nudos presentan, en general, señales de haber sufrido deformaciones importantes. Las afectaciones por corrosión se estiman entre un 5 y un 15%.

- Se reforzarán todos los nudos.
- En particular se inspeccionarán detalladamente los dos nudos de apoyo del lado Versalles, los cuales fueron debilitados por la reparación.

**Arriostres superiores e inferiores.** En la práctica no funciona la totalidad de los arriostres inferiores, como consecuencia de la corrosión, la falla ocurrida y por una reparación irracional.

- Todos los arriostres se sustituirán con angulares de 150 X 150 x 10 mm.

### **Sistemas de fallos encontrados:**

En el puente se han encontrado varios esquemas de fallos actuantes, algunos primarios y otros que son consecuencia de las deformaciones y la transferencia de esfuerzos producto a las primarias. Los 2 fallos primarios se encuentran en los cordones inferiores de ambas cerchas en el eje 4 del lado Mar y en el eje 6 del lado Rio. A partir de aquí existen torsiones y desgarraduras en las vigas transversales de los ejes 6 y 7 con rotación en los nudos de estas vigas con las longitudinales que se unen a ellas.

Además producto a la falla y descenso del puente la cercha del lado rio en el eje 9 esta incrustada contra el aproche de hormigón, efecto que ha impedido en la actualizad que aumente la flecha pero que se debe solucionar puesto que no permite la libre dilatación de la estructura. De origen corrosivo existen otras fallas que, aunque son anteriores, presentan una gran importancia, como son la pérdida de sección todos los elementos de la cercha y en especial de los montantes o columnas de las cerchas y del cordón superior..

### **Organización de la ejecución de los trabajos.**

.Para contar con una organización de los trabajos se realizó una dirección facultativa en la cual se incluían el asesoramiento a la inversión y los constructores desde el punto de vista técnico de manera que todos tuviesen el máximo de información para poder realizar una toma de decisiones correcta en cada caso.

De manera similar se realizó la organización de los trabajos estratégicamente en un cronograma general de la obra y de manera táctica se ordenaban todos los días a las 7:30AM y a las 5:00PM los trabajos a realizar por cada turno en la jornada que se debía iniciar. En esa misma reunión de conjunto con la APCI y un Bombero que estaba permanente en la obra se discuten las condiciones de Salud y Seguridad del trabajo para cumplir con las normas ISO 14000 y con el jefe de brigada y la inversión para garantizar la calidad de los trabajos según las ISO 9000.

En estos trabajos participaron dos brigadas constructoras de Astilleros Cabañas y de Caribbean Dry-dock Company (CDC) con un poder de fuego de 4 y 6 antorchas de corte oxiacetilénico respectivamente y 4 punto de soldadura eléctrica, lo cual representó un reto al tener que combinar estos trabajos de las dos brigadas, manteniendo la seguridad de los trabajadores y la estructura.

### **Secuencia de los trabajos.**

El primer trabajo a realizar en el puente es su arriostamiento en el cordón inferior con angulares de 100x100x10mm que se fijarán de cartela a cartela de los nudos 3 al 5, 5 al 7 y 7 al 9 de ambas cerchas. El tramo de cordón inferior de los ejes 1 al 3 se encuentra en buen estado y no es necesario intervenirlo.

Seguidamente se sustituyeron los elementos del cordón inferior por perfiles canales conformados por planchas y reforzados en los casos de los tramos 3-5 y 5-7. Para ello se comenzó por la cercha del lado Rio por el tramo 7-9 y paralelamente se puede ejecutar la sustitución del cordón inferior del tramo 3-5 de la cercha del lado mar.

Para garantizar el flujo de los trabajos se prefabricaron los elementos en taller trasladándose por ferrocarril hasta el emplazamiento y llevándolo a posición con patana en la desembocadura del rio.

Una vez retirados los elementos existentes se revisó el estado de las planchas que conforman la unión para evaluar su estado y en los casos necesarios se retiró el cordón inferior siguiente y se saneó plancha metálica. Una vez restituídos los dos tramos de cordones intervenidos en primer lugar se continuó con los tramos 5-7 del lado rio y el 7-9 del lado mar con un proceso similar. Finalmente se sustituyeron los tramos 3-5 del lado rio y 5-7 del lado mar.

Cuando se realizaron la totalidad de la reparación de los cordones inferiores y las planchas interiores de los nudos de estos cordones, se restauraron las platabandas inferiores de los nudos y las diagonales inferiores para garantizar el cierre y estabilidad de la estructura y se pudo retirar finalmente los angulares de arriostre que se colocaron en el primer paso.

La actividad siguiente a realizar fue sanear, reforzar y sustituir los elementos en mal estado en las diagonales y los montantes. Para estos trabajos se dispuso de plataformas de trabajo a diferentes alturas. El saneo se realizará a antorcha y se evaluó cada caso en el lugar tomando las decisiones más adecuadas. Como norma se reforzó todo elemento que tenga pérdida de sección de más de un 10% y sustituir total o parcialmente aquellos que tengan pérdida de más de un 40%.

En las cerchas se deben sanearon y reforzaron los cordones superiores atendiendo al mismo criterio plantado para las diagonales y montantes.

En estos trabajos se pudo abrir dos frentes de trabajo uno para cada cercha comenzando siempre por extremos opuestos.

De manera similar se trabajaron las vigas y crucetas del techo que también fueron saneadas, reforzadas y sustituidas aquellas que no cumplan con las secciones necesarias.

Finalmente se trabajó en el tablero que por ser los elementos más pesados se tuvieron que remover y sustituir, los que fueron necesarios, con el resto del puente reforzado para poder asumir los esfuerzos que estos trabajos van a inducir.

Dado los daños que tiene el puente las vigas transversales de los ejes 3, 4, 5, 6 y 7 debieron ser sustituidas por nuevos elementos. Estos elementos se confeccionaron en los Talleres de Pailería de CDC en La Habana y se transportaron por carretera hasta la obra, evitando así la importación de vigas que serían extraordinariamente caras.

Las vigas longitudinales se fueron extrayendo simultáneamente con las transversales y realizando su reparación fuera del puente para volver a montarlas con su capacidad portante restituida.

Finalmente, además de la pintura de ejecución que se le fue aplicando a los elementos y a las soldaduras ejecutadas, se aplicó a toda la estructura un esquema de pintura que garantiza la protección del puente por, al menos, 10 años.

#### **Pruebas de carga y certificación de trabajos.**

Como parte de la asistencia técnica que se realizó se hicieron 3 pruebas de carga sobre el puente, dos de ellas estáticas y una estática y dinámica. El objetivo de la prueba de carga es comprobar mediante cargas incrementales por escalones, de una manera segura tanto para la estructura como para las personas que están realizando la prueba, la capacidad de la estructura y su respuesta deformacional. Siempre la prueba de carga se modela en computadora, teniendo analizado de manera previa la deformación esperada y los criterios para detener la prueba si el comportamiento está fuera de los parámetros esperados.

La primera prueba se realizó una vez que estuvo reparadas las cerchas, con el objetivo de validar la seguridad para colocar la grúa de ferrocarril sobre la estructura en reparación de forma tal que se pudiesen extraer los elementos del tablero, vigas transversales y longitudinales, del puente para repararlos o sustituirlos según fuese el caso.

Para dicha prueba se empleó un nivel topogeodésico y dos miras invertidas para la lectura. Como carga se utilizó para el primer escalón una plancha de FFCC vacía que pesaba 20 toneladas, el segundo escalón fue una góndola cargada de yeso que pesaba 80 toneladas y el tercer escalón fue la góndola de yeso más la plancha de FFCC colocadas simultáneamente en el puente produciendo una carga de 100 toneladas. Se hace notar que estábamos certificando la posibilidad de cargar con la grúa, incluyendo la tara del equipo, 78 toneladas. En esta prueba se obtuvieron resultados satisfactorios y se comprobó que no hubo desplazamiento en las uniones y que la rigidez que se había obtenido en el puente era 1.7 veces la estimada por cálculo.

La segunda prueba se realizó al terminar los trabajos de todo el puente para certificar el paso de la carga móvil y la explotación sin restricciones por parte de la Unión de Ferrocarriles de Cuba. Esta prueba requería mayor precisión y se empleó para ello una estación total y prismas de refracción. Se cargó también en 3 escalones, el primero una góndola de yeso de 80 toneladas en la entrada del puente, el segundo escalón fueron 2 góndolas de yeso y el tercero fueron las tres góndolas de yeso. En todos los casos se hizo carga y descarga revisando la recuperación de la estructura. Finalmente se dieron dos pases de locomotora en ambas direcciones con cuatro góndolas cargadas para revisar que no hubiese deformaciones

remanentes. Los resultados obtenidos fueron satisfactorios y la rigidez del puente nuevamente supero las expectativas en este caso en 2.1 veces.

Como la EMPAI fue parte del proceso constructivo del Puente se exigió que se hiciese una tercera prueba de carga con participación de una entidad ajena a la empresa. En este caso se contrató a la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas que replicó la segunda prueba de carga realizada y además midió las vibraciones del puente mediante el método dinámico. Para estas mediciones se empleó tecnología muy avanzada con niveles de alta precisión y miras de invar, deformetros digitales y deformetros de cuerda vibrante. En esta tercera prueba se obtuvieron resultados coherentes con la segunda prueba y a partir de este momento se pudo abrir al paso del ferrocarril el Puente Dubrocq.

### **Valoración económica y aporte social**

En este trabajo hemos obtenido una serie de ventajas sociales, pedagógicas y económicas para la actividad de ingeniería ferroviaria, la explotación y reanimación del transporte nacional. Económicamente se ha salvado un puente del que depende la actividad económica del puerto de Matanzas y el acceso ferroviario para la extracción de materiales de la zona industrial. En estos acápites figura la exportación de azúcar, en la cual el puerto de Matanzas juega un papel fundamental dado las características de calado y tecnologías disponibles en el mismo. De igual manera la transportación de producciones como el yeso, fertilizante, combustible, mieles y alcohol entre otros se realiza por esta vía, dada la economía en la trasportación de cargas pesadas y voluminosas que representa el ferrocarril. Como dato numérico se puede aportar que por cada barco que Cuba no pudo rellenar en el puerto de Matanzas en el comienzo del año 2012 provocó pérdidas por valor de 7000 USD al país, de igual manera la extracción de cada tonelada de yeso o fertilizante por camiones costó al país, 250 pesos entre las dos monedas, con un considerable consumo adicional de combustible.

El hecho de decidir recuperar el puente permitió acortar el plazo de las afectaciones y permitir la puesta en explotación, ya que de decidirse la realización de un puente nuevo hubiese sido necesario al menos 1 año de proceso inversionista cuando la totalidad de los trabajos fueron realizados en 4 meses, evitando al país 8 meses de pérdidas.

Desde el punto de vista social se debe partir que, al deprimirse la actividad portuaria se pierden más de 200 empleos de trabajadores que son declarados interruptos o disponibles. Con el consecuente daño social. Como aporte adicional se utilizaron las labores de reparación del puente como aula práctica anexa a la Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos, empleándose tanto en la docencia de pregrado como en posgrado durante la impartición del Diplomado de Diseño de Puentes gestionado de conjunto entre la UMCC y el MICONS. Esto revirtió un aumento de calidad en estas clases, ya que se pudieron ver de manera práctica labores que son realizadas muy esporádicamente, permitiendo un aumento de la calidad de las actividades docentes importante. De manera paralela se grabaron en video las actividades más representativas de los trabajos para futuros cursos, generando así material docente de gran valor.

De manera similar se generaron un grupo de procedimientos para la inspección, evaluación, modelación, reparación y prueba de carga de puentes de ferrocarril de estructura metálica. Este trabajo y los resultados obtenidos han permitido a nuestra Empresa, que la Dirección Nacional de Ferrocarriles de Cuba y el Ministerio de Transporte le contratase un trabajo similar para otro puente en la provincia de Holguín y la evaluación de al menos 20 puentes en Matanzas con posibilidades de extender este trabajo a otras provincias.

### **Conclusiones:**

El puente Dubrocq es la única vía de acceso ferroviario al puerto de Matanzas y la Zona Industrial de la ciudad, es por ello que al provocarse un fallo estructural en diciembre de 2011 el país comienza a sufrir pérdidas económicas importantes y daños sociales asociados al cierre de este ramal. Debido a esto se realiza el presente trabajo ordenando lógicamente los procesos de valoración, modelación, revisión y reforzamiento de un puente metálico ferroviario en colapso, para el cual era necesario poner en funcionamiento en un plazo breve con el objetivo de impedir pérdidas altas al país desde el punto de vista económico y social.

En el cuerpo del trabajo se realiza una descripción del objeto de estudio, se realiza un análisis estructural subdividiendo la estructura en sus partes componentes, se analizan las cargas actuantes y a partir de estos se evalúan los sistemas de fallo.

En el epígrafe 4 se realiza un análisis exhaustivo de los trabajos atendiendo a la secuencia que se debe seguir, la continuidad del trabajo, el mínimo plazo posible y la seguridad de la estructura y los obreros al evitar nuevos colapsos.

De igual manera se ha documentado metodologías para, con recursos disponibles en la provincia, realizar pruebas de carga que permitan poner en funcionamiento estructuras de alto nivel de responsabilidad estructural con un alto grado de confiabilidad y seguridad.

### **Bibliografía:**

- AENOR. Norma Europea Experimental: Eurocódigo 1. Bases de proyecto y acciones en estructuras. Parte 3: Acciones del tráfico en puentes 1, 1998.
- CEMEX. Métodos de diseño de la AASHTO. México. 2004.
- Department of Transportation. Bridge Design Manual. Texas, 2001.
- Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. Manual de diseño de Puentes. Perú, 2003,
- Especificaciones AASHTO para el diseño de puentes por el método LRFD. 2007.
- NC 733: 2009: "Carreteras-Puentes y Alcantarillas- Requisitos de diseño y método de cálculo".
- Sánchez Márquez, C M, "Análisis de la carga de explotación para el diseño o revisión de los puentes en autopistas o carreteras nacionales por el método de estados límites". Primer Simposium Internacional sobre Política, Tecnología, Administración, Operación y Mantenimiento de Carreteras y Puentes en países en Desarrollo y en transición. La Habana, Ministerio de la Construcción, 1997. Tomo I
- Universidad de Berkeley. Manual de usuario SAP 2000, V 14.1.0. 2009.
- <http://www.camineros.com/grupos/guiaaashto2002.htm>. Consultado: Marzo 2013