****

****

**XII SIMPOSIO INTERNACIONAL DE ESTRUCTURAS, GEOTECNIA Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.**

**III COLOQUIO DE INGENIERÍA VIAL Y OBRAS DEL TRANSPORTE**

**Título: Método de la carga crítica y modelación de la estructura con y sin defectos en la investigación de puentes ferroviarios.**

***Title: Method of the load critic and shaping of the estructure with and without defects in the research of bridges rail.***

**Autor**:

Ing. Gregorio Aragón López. Email**:** gregorio.aragon@nauta.cu

Ing. José Leiva Pérez.

Msc. Yoandry Aragón Miranda.

**Resumen:**

En el año 2010 por falta de actualización y modernización queda obsoleta la Estación Comprobadora de Puentes perteneciente a la Empresa Constructora de Vías Férreas, la imposibilidad de invertir en la actualización de sensores y su completamiento hace insostenible su utilización y esta deja de funcionar. Por tanto, surgen las interrogantes, ¿Qué hacer para poder dictaminar los puentes ferroviarios? ¿Cómo poder brindar seguridad a los trenes de cargas y pasajeros que utilizan nuestra red ferroviaria?

El número de puentes ferroviarios en mal estado es tan alto que los especialistas buscan otros métodos que hagan posible el recálculo de la capacidad portante y con ello no detener la investigación de estas obras de fábricas, para así poder mantener el proceso de reparación y mantenimientos de forma segura y económica, pudiéndose alargar la vida útil de puentes ferroviarios que alcanzan el siglo en explotación y lo más importante mantener la seguridad para el traslado de cargas y pasajeros sobre los puentes ferroviarios. Con este objetivo se crea el análisis de los elementos por el método de la carga crítica. El método consiste en hacer una evaluación de las posibles combinaciones de cargas que se generan al ordenar todas las locomotoras y vagones existentes en el país que circulan por cada una de nuestras vías, con el objetivo de determinar cuál de éstas es la más desfavorable o sea que combinaciones actúan generando los máximos esfuerzos sobre la estructura lo que la convierte en la más crítica.

***Abstract:*** *In 2010, due to lack of updating and modernization, the Bridge Testing Station belonging to the Railway Road Construction Company is obsolete, the impossibility of investing in the updating of sensors and its completion makes its use unsustainable and it stops working. Therefore, the questions arise, What to do to be able to decide the railway bridges? How can we provide security to the freight and passenger trains that use our rail network? The number of railway bridges in poor condition is so high that specialists look for other methods that make it possible to recalculate carrying capacity and thereby not stop the investigation of these works of factories, in order to maintain the process of repair and maintenance of safe and economical way, being able to lengthen the useful life of railway bridges that reach the century in operation and the most important thing to maintain the security for the transfer of loads and passengers on the railway bridges. With this objective, the analysis of the elements is created by the critical load method. The method consists of making an evaluation of the possible combinations of loads generated by ordering all the locomotives and wagons in the country that circulate through each of our roads, in order to determine which of these is the most unfavorable or what combinations act generating the maximum efforts on the structure what turns it into the most critical.*

**Palabras Clave:** Puente; Ferrocarril; Método; Carga; Crítica.

***Keywords:*** ***Bridge; Railway; Method; Load; Critic.***

**Introducción:**

El trabajo que se presenta se desarrolla desde un punto de vista científico e investigativo, incluyendo el tema de la conservación, mantenimiento y reparación de puentes. Para ello se desarrolla una metodología sistémica e integral llevando a cabo los trabajos de conservación, mantenimiento y reparación de diferentes tipos de estructuras. La misma se basa en el uso estructurado y combinado de las siguientes técnicas:

* Auscultación y levantamiento de patologías y defectos combinados.
* Determinación de la carga crítica para cada una de las estructuras.
* Estudio concertado de la problemática presente en las vías y puentes con el empleo de la modelación numérica con previa calibración físico-matemática.
* Diagnóstico y evaluación del estado técnico de las vías y puentes.
* Determinación de la vida útil y vida residual de cada elemento
* Estudio de factibilidad del proceso de conservación y mantenimiento de puentes.
* Sistema de ayuda a la toma de decisiones. Planificación estratégica para el mantenimiento y reparación.
* Propuestas de conservación, mantenimiento y reparación.

A partir de los datos obtenidos del levantamiento organoléptico detallado y teniendo en cuenta las patologías que posee la estructura, se decide realizarle un análisis mucho más detallado al puente, teniendo en cuenta las combinaciones más desfavorables o críticas.

Se realiza la modelación matemática de la estructura a través del software con interface gráfica SAP2000 versión 16, considerando todas las patologías presentes en la estructura, en aras de analizar el comportamiento estructural de la obra de fábrica y reconocer los puntos más comprometidos y vulnerables desde el punto de vista estructural. Posteriormente se realiza la revisión según criterios de resistencia y deformación de los principales elementos componentes utilizando para ello hojas de cálculo programadas en el software matemático Mathcad.

Luego de haber realizado los cálculos por resistencia y por deformación de los elementos del puente y teniendo en cuenta las combinaciones de cargas más desfavorables, se valoran no solo las patologías y defectos sino también las causas que lo provocan, se eliminan las causas y se eliminan los defectos, y esto se plasma en un nuevo modelo matemático de las estructuras y es entonces que se emiten las conclusiones a las que se arriban y se proponen las recomendaciones para las soluciones de las reparaciones correspondientes.

Este método proporciona reparaciones muy económicas, pues solo se cambia o se repara sólo aquel elemento del puente que lo necesita, se refuerzan aquellos elementos que su capacidad de carga se encuentre por debajo de la requerida. Aportando una nueva vida útil y de servicios.

**Desarrollo.**

Posterior a una etapa de estudios preliminares en la que se reúne y analiza la información existente del puente y la literatura técnica sobre el tema, así como la planificación de la inspección en sí misma; se procede a la realización de las siguientes actividades:

Trabajos de campo

* Levantamiento estructural de la superestructura del puente.
* Levantamiento estructural de la subestructura.
* Levantamiento patológico de la superestructura.
* Levantamiento patológico de la subestructura.
* Levantamiento de la cama del puente.
* Defectación de la cama del puente.
* Levantamiento e inspección de la vía en los 150 m de acceso en ambos extremos del puente.

Trabajos de gabinete

* Confección de la documentación preliminar.
* Elaboración de los esquemas en formato digital para lo cual se utiliza el software AutoCad.
* Confección del escalafón de trenes.
* Generación de un modelo matemático del puente en estado nuevo (Capacidad de diseño).
* Generación de un modelo matemático del puente en estado deteriorado (Estado actual)
* Recopilación de todos los resultados obtenidos de la modelación.
* Análisis integral del comportamiento estructural del puente.
* Arribo a conclusiones.
* Propuesta de recomendaciones.
* Redacción del dictamen técnico.
* Revisión en cruce entre especialistas sobre los cálculos y análisis efectuados.
* Revisión, edición e impresión del dictamen técnico.

**Ejemplo del recálculo del puente Km. 11,357 Ln Central, utilizando este método.**

Determinación de la formación de trenes crítica

Conociendo el parque de equipos de material rodante que en nuestro país existe, se procede a la determinación del número de unidades de cargas de referencia o clases de cargas, según el Método de Clasificación. Una vez determinada la formación de tren más crítica para esta estructura se procede a su modelación en el software SAP2000 16.

* Características de locomotoras y vagones más comunes

Las posibles combinaciones de locomotora y vagón (Tablas 1 y 2) se establecen a partir de considerar aquellos vehículos que son más frecuentes en nuestras vías y que puedan ser utilizadas en algún momento sobre este puente y que a continuación se enumeran:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Descripción | Cantidad ejes | Peso x eje(t) |
| A | TEM-4 | 6 | 20.40 |
| B | MLW-Canada | 6 | 18.70 |
| C | DF7G-China | 6 | 20.50 |
| D | TE-114-K | 6 | 20.88 |
| E | TM-2TK | 6 | 20.00 |
| F | TGM-4 | 4 | 17.00 |
| G | TGM-8K | 4 | 20.00 |
| H | ALCO | 6 | 18.20 |
| J | C – 30 -7 | 6 | 24.00 |

*Tabla No.1 Características de locomotoras. Fuente: El autor.*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Descripción | Cantidad ejes | Peso por eje(t) |
| A | Tanque | 4 | 19.05 |
| B | Hopper | 4 | 20.70 |
| C | Cisterna de cemento | 4 | 21.30 |
| D | Góndola rumana | 4 | 20.50 |
| E | Volqueta | 4 | 20.00 |

*Tabla No.2 Características de vagones. Fuente: El autor.*

* Determinación de la formación de tren más crítica. Cálculo de Kt según el Método de Clasificación de Puentes Ferroviarios de Acero.

Para cuantificar las máximas solicitaciones a las cuales están sometidas las vigas de la superestructura se procede a determinar las 3 combinaciones de carga que mayor efecto producen en el centro de la luz. De forma análoga se obtienen las máximas solicitaciones en los extremos de las vigas (zona de los apoyos).

* En los apoyos α=0.00, λ=12.00 (Tabla 3)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Lo | V | Kt-c | Kt-s |  | Lo | V | Kt-c | Kt-s |  | Lo | V | Kt-c | Kt-s |
| A | A | 4,01 | 3,64 | B | A | 4,00 | 3,64 | C | A | 4,16 | 3,64 |
| B | 4,13 | 4,18 | B | 4,13 | 4,18 | B | 4,28 | 4,18 |
| C | 4,09 | 4,07 | C | 4,09 | 4,07 | C | 4,24 | 4,07 |
| D | 4,16 | 4,16 | D | 4,16 | 4,16 | D | 4,31 | 4,16 |
| E | 4,15 | 4,07 | E | 4,15 | 4,07 | E | 4,30 | 4,07 |
|  |  |  |
| D | A | 4,13 | 3,64 | E | A | 3,95 | 3,64 | F | A | 3,16 | 3,64 |
| B | 4,24 | 4,18 | B | 4,07 | 4,18 | B | 3,31 | 4,18 |
| C | 4,20 | 4,07 | C | 4,03 | 4,07 | C | 3,29 | 4,07 |
| D | 4,28 | 4,16 | D | 4,10 | 4,16 | D | 3,34 | 4,16 |
| E | 4,27 | 4,07 | E | 4,09 | 4,07 | E | 3,32 | 4,07 |
|  |  |  |
| G | A | 3,56 | 3,64 | H | A | 3,99 | 3,64 | J | A | 4,69 | 3,64 |
| B | 3,71 | 4,18 | B | 4,12 | 4,18 | B | 4,81 | 4,18 |
| C | 3,69 | 4,07 | C | 4,09 | 4,07 | C | 4,78 | 4,07 |
| D | 3,74 | 4,16 | D | 4,15 | 4,16 | D | 4,85 | 4,16 |
| E | 3,72 | 4,07 | E | 4,14 | 4,07 | E | 4,83 | 4,07 |

*Tabla 3. Resultados del coeficiente Kt en los apoyos para las diferentes combinaciones de carga. Fuente: El autor.*

Después de realizado el cálculo del coeficiente Kt. (Clase de Tren) para las 45 combinaciones de locomotora y vagón que podrían circular por este tramo de vía, se ha determinado que las formaciones de trenes críticas son las siguientes:

1. Locomotora DF7G-China + Vagón Góndola rumana
2. Vagones Hopper (después de que la locomotora ha rebasado la estructura)
3. Locomotora C-30-7 + Vagón Góndola rumana
* En el centro de la luz α=0.50, λ=12.00. (Tabla 4)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Lo | V | Kt-c | Kt-s |  | Lo | V | Kt-c | Kt-s |  | Lo | V | Kt-c | Kt-s |
| A | A | 3,69 | 3,46 | B | A | 3,67 | 3,46 | C | A | 3,78 | 3,46 |
| B | 3,89 | 4,04 | B | 3,86 | 4,04 | B | 3,90 | 4,04 |
| C | 3,77 | 3,87 | C | 3,74 | 3,87 | C | 3,79 | 3,87 |
| D | 3,98 | 4,20 | D | 3,95 | 4,20 | D | 3,99 | 4,20 |
| E | 3,97 | 4,13 | E | 3,95 | 4,13 | E | 4,00 | 4,13 |
|  |  |  |
| D | A | 3,82 | 3,46 | E | A | 3,65 | 3,46 | F | A | 2,61 | 3,46 |
| B | 3,82 | 4,04 | B | 3,85 | 4,04 | B | 2,61 | 4,04 |
| C | 3,82 | 3,87 | C | 3,73 | 3,87 | C | 2,61 | 3,87 |
| D | 3,88 | 4,20 | D | 3,94 | 4,20 | D | 2,61 | 4,20 |
| E | 3,88 | 4,13 | E | 3,93 | 4,13 | E | 2,61 | 4,13 |
|  |  |  |
| G | A | 3,25 | 3,46 | H | A | 3,66 | 3,46 | J | A | 4,41 | 3,46 |
| B | 2,56 | 4,04 | B | 3,85 | 4,04 | B | 4,61 | 4,04 |
| C | 2,56 | 3,87 | C | 3,73 | 3,87 | C | 4,50 | 3,87 |
| D | 2,56 | 4,20 | D | 3,94 | 4,20 | D | 4,70 | 4,20 |
| E | 3,53 | 4,13 | E | 3,94 | 4,13 | E | 4,70 | 4,13 |

*Tabla 4. Resultados del coeficiente Kt en el centro de la luz para las diferentes combinaciones de carga. Fuente: El autor.*

En el centro de la luz las combinaciones de trenes que resultan más desfavorables son:

1. Vagones volqueta (en los instantes en los que la locomotora ya ha rebasado el puente)
2. Locomotora C-30-7 + Vagón Volqueta.

Abreviaturas utilizadas:

Kt-s : sin considerar la locomotora.

Kt-c.- Considerando la locomotora.

Lo- Locomotora.

V.- Vagón

Kt. Coeficiente unidades de carga o clases de carga.

α- Posición de la sección analizada

α=0 sobre los apoyos

α=0,5 en el centro de la luz

λ - Longitud de cálculo de la viga

* Consideraciones para la modelación de la estructura

La modelación numérica de la estructura se lleva a cabo con el software de interface gráfica SAP2000 v16. El modelo concebido toma como base el uso de elementos tipo Shell, es decir, elementos con forma de membrana o placa con dos dimensiones de longitudes mucho mayores que la tercera, en este caso del espesor. Algunos de los atributos conferidos al modelo se listan a continuación:

* Tipo de material: Acero
* Propiedades del material: Módulo de elasticidad E=2.039x105 MPa
* Cargas consideradas:
* Peso propio de la estructura
* Peso de la cama de la vía.
* Cargas verticales móviles constituidas por las diferentes combinaciones de locomotora y vagón consideradas (en este apartado se considera la amplificación de las cargas estáticas a través de un coeficiente dinámico)
* Combinaciones de carga más críticas: Formadas por el peso propio de los elementos componentes, las cargas permanentes (entre ellas el peso de la cama de la vía) y las cargas verticales móviles afectadas por un coeficiente que toma en consideración el efecto dinámico que por su naturaleza tienen este tipo de cargas, así como también debido a la rugosidad y desperfectos del carril.
* Resultados obtenidos

A partir de la modelación numérica de la estructura ha sido posible obtener las solicitaciones actuantes en términos de momento flector y cortante, así como también la cuantía de la deformación. Estos valores se someten a las revisiones pertinentes siguiendo las pautas establecidas en las normas vigentes y contando con la ayuda de hojas de cálculo programadas en el software matemático Mathcad.

|  |
| --- |
|  |
| *Ilustración 1. Vista en isométrico del modelo numérico en SAP2000. La escala cromática representa los valores de desplazamiento. Fuente: El autor.* |

En primera instancia este análisis se ha realizado considerando las secciones de diseño del puente, es decir, en estado nuevo; posteriormente incluyendo en el estudio las patologías y defectos observados en la inspección. De esta comparación se espera obtener una estimación de los porcientos de pérdida que ha sufrido la estructura en términos de rigidez, capacidad de resistencia, etcétera.

* Análisis comparativo de los principales resultados obtenidos del modelo en estado nuevo y deteriorado (Tabla 5)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Nuevo | Deteriorado | Diferencia (%) |
| Módulo de la sección neta | 15744.995 | 31767.93 | 2.018 |
| Valores de esfuerzos normales para combinación 1 (ton/cm2) | 0.849 | 1.066 | 1.256 |
| Valores de esfuerzos normales para combinación 2 (ton/cm2) | 0.82 | 1.031 | 1.257 |
| Valores de esfuerzos normales para combinación 3 (ton/cm2) | 0.913 | 1.16 | 1.271 |
| Valores de esfuerzos normales para combinación 4 (ton/cm2) | 0.837 | 1.051 | 1.256 |
| Valores de esfuerzos normales para combinación 5 (ton/cm2) | 0.929 | 1.159 | 1.248 |
| Criterio de esfuerzos normales | La sección cumple | La sección cumple |  |
| Inercia de la sección (cm4) | 810867.22 | 762430.329 | 0.94 |
| Espesor del alma (cm) | 1 | 1 | 1 |
| Área de la semi sección (cm2) | 170.514 | 161.299 | 0.946 |
| Brazo de la semi sección (cm) | 40.315 | 39.705 | 0.985 |
| Momento estático de la semi sección (cm3) | 6874.284 | 6404.368 | 0.932 |
| Valor de tensión tangencial actuante para combinación 1 (ton/cm2) | 0.438 | 0.483 | 1.102 |
| Valor de tensión tangencial actuante para combinación 2 (ton/cm2) | 0.414 | 0.461 | 1.114 |
| Valor de tensión tangencial actuante para combinación 3 (ton/cm2) | 0.487 | 0.537 | 1.103 |
| Valor de tensión tangencial actuante para combinación 4 (ton/cm2) | 0.419 | 0.464 | 1.106 |
| Valor de tensión tangencial actuante para combinación 5 (ton/cm2) | 0.488 | 0.536 | 1.098 |
| Criterio de esfuerzos tangenciales | La sección cumple | La sección cumple |  |
| Valor de flecha permisible (mm) | 18.462 | 18.462 |  |
| Valor de flecha actuante máxima (mm) | 14.24 | 17.24 | 1.211 |
| Criterio flecha permisible | La sección cumple el criterio de deformación | La sección cumple el criterio de deformación |  |

*Tabla No.5 Análisis comparativo de los principales resultados obtenidos Fuente: El autor.*

En la tabla No. 5 se tabulan los resultados obtenidos de los modelos en su estado de diseño y en estado deteriorado, para las cinco combinaciones de carga que se consideran críticas en esta estructura. A pesar de que los criterios de comparación entre los esfuerzos normales y los tangenciales con los valores de tensiones permisibles normales, se cumplen, es posible observar que los valores de esfuerzos normales aumentan entre el 24.8% y 27.1%, siendo todas diferencias notables. Por otra parte, los valores de tensiones tangenciales aumentan entre un 9.8% y 11.4%. Estos resultados son indicativos del detrimento de la capacidad de la sección para resistir los regímenes de cargas actuales con las nuevas condiciones de conservación. Hemos de recalcar que desde hace más de nueve años el equipo de adquisición de datos de la Estación Comprobadora de Puentes se haya descontinuado y por tanto, no ha sido posible realizar ensayos a la estructura. De contar con resultados de pruebas estáticas y dinámicas sería posible obtener valores reales de inercia de la sección que permitieran calibrar los modelos matemáticos, eliminado las incertidumbres que conlleva no poseer tales datos. La magnitud, alcance y consecuencias de las patologías se ha cuantificado mediante técnicas organolépticas, las cuales, a pesar de ser muy útiles y ciertamente económicas, pueden llegar a ser en gran medida conservadoras.

Si se comparan los valores de flecha actuante en el centro de la luz para ambos modelos la diferencia es de 21.1%, una cifra significativa si se tiene en cuenta que el criterio de tolerancia es hasta el 5%.

Es imprescindible destacar que este análisis estructural comprende sólo la superestructura del puente y no la totalidad del conjunto. No debe obviarse el hecho de que el mal estado de los estribos y la cama del puente comprometen en gran medida la seguridad de circulación sobre la estructura y constituyen un peligro latente.

En el caso particular de este puente:

* Es posible sentenciar que el puente presenta signos de haber disminuido la capacidad portante de forma considerable. Esta afirmación está dada por el pésimo estado de conservación de los estribos y el detrimento de la cama de la vía. Ambos factores derivan en la pérdida de la seguridad de circulación.
* A pesar de que los análisis efectuados a la superestructura del puente según criterios de resistencia y deformación han sido satisfactorios, no debe desestimarse el hecho de que la seguridad de circulación está garantizada solo cuando todos los elementos garantizan dicha condición por lo que el puente califica como inseguro.

**Efecto económico.**

Cuando se logra restituir y redimensionar la capacidad portante, de servicio, la capacidad de evacuación de las aguas y la seguridad del sistema ferroviario se obtienen una serie de beneficios colaterales:

* + Disminución en el tiempo de circulación de los trenes para el trasiego de mercancías y pasajeros.
	+ Disminución de consumo de combustible.
	+ Restitución y mejora del confort, calidad de marcha de los trenes y seguridad de circulación de los mismos y lo más importante: la seguridad para la vida de pasajeros y las cargas.
	+ Restablece las condiciones necesarias en la obra de fábrica para responder de forma positiva los cambios climáticos.
	+ Se mantienen las condiciones necesarias para la vida y el desarrollo de la flora y la fauna del lugar evitando la erosión, los deslaves y las posibles transformaciones de los suelos
	+ Este trabajo utilizado en varias obras de fábrica en el país, de haber sido contratado a las pocas empresas extranjeras que ejecutan trabajos similares, Cuba hubiera tenido que pagar en estos años valores por decenas de millones de dólares, de acuerdo al precio de cobro internacionalmente establecido por estos trabajos, sin tener en cuenta los costos de transporte, alimentación y alojamiento de los especialistas extranjeros.

En estos cálculos no se incluyen los beneficios señalados anteriores, solamente incluiremos las ganancias netas (pesos) que ha percibido nuestra empresa (Empresa Constructora de Vías Férreas Cmdte Tony Santiago) con la utilización del trabajo a partir del 2010 cuando se comenzó a utilizar y que aún hoy la utilizamos. Los valores de producción creados (ver tabla 6) por la Estación Comprobadora de Puentes en la investigación (Dictámenes del estado técnico y Dictamen de Reparación) a partir del 2010 con la utilización de esta metodología hasta el año 2018.

Consideramos que aún mayores han sido los efectos sociales pues gracias a ello se ha podido mantener el paso seguro para la vida de pasajeros y cargas sobre estos centenarios puentes ferroviarios.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Año  | Numero de Puentes | Cantidad Pesos | Cantidad CUC | Total |
| 2010 | 16 | 130 496,30 | 4 604,53 | 135 100,83 |
| 2011 | 16 | 128 750,52 | 7 467,53 | 136 218,05 |
| 2012 | 11 | 75 481,46 | 4 647,45 | 80 128,91 |
| 2013 | 17 | 114 621,63 | 15 424,58 | 130 046,21 |
| 2014 | 22 | 185 793,63 | 11 408,3 | 197 201,93 |
| 2015 |  22 | 177 615,98 | 11 062,44 | 188 678,42 |
| 2016 | 29 (4 R) | 322 644,87 | 19 865,60 | 342 510,47 |
| 2017 | 37 (18 R) | 516 692,16 | 27 469,90 | 544 162,06 |
| 2018 | 25 (23 R) | 354 265,87 | 19577,12 | 373842,99 |
| Totales | 195 (45 R) | 2 006 362,42 | 121 527,45 | 2 127 889,87 |

*Tabla 6. Efecto económico logrados gracias a la aplicación del método antes descrito. Fuente: El autor.*

Los gastos incurridos en estos diez años (en salarios, combustibles, lubricantes, material de oficina, etc.) para ejecutar estos trabajos alcanzan la suma de 723 482,56 pesos. Por lo que la ganancia neta que ha tenido la empresa en estos 10 años ha sido de 1 404 407,31 pesos.

**Conclusiones.**

Son millonarios los ahorros que ha reportado a la economía del país la utilización de este trabajo en las vías de ferrocarril, existen cientos de puentes con estas dificultades, las cifras son altas, alcanzando cifras millonarias, pues gracias a ello el país puede mantener vivo por muchos años puentes de más de un siglo de explotación.

Con la utilización de este método se llega un poco más a la realidad de trabajo de cada elemento que componen los puentes, sin el uso de los sensores por las causas antes mencionadas.

El ferrocarril es el transporte más económico que tiene cualquier país, si se sabe dirigir, es también el menos contaminante, una locomotora puede sustituir más de 100 camiones o rastras de mercancías y transporta cientos de pasajeros, sustituyendo también cientos de ómnibus o autos, es por ello que su mantenimiento en el tiempo es tan necesario y rentable.

Este trabajo tiene un alto valor social, nos ha permitido aumentar la seguridad de la vida de las cargas y pasajeros sobre los viejos puentes ferroviarios, aumentar el confort en su transporte, determinar en tiempo el cierre o no de las vías ferroviarias a causas del deterioro de las obras de fábrica.

Nos ha permitido planificar y organizar reparaciones muy económicas y duraderas.

**Bibliografía.**

Cuba, F. d. (1988). Reglas para el mantenimiento de las obras de fábricas. Ministerio del Transporte Ferrocarriles de Cuba. *Reglas para el mantenimiento de las obras de fábricas. Ministerio del Transporte Ferrocarriles de Cuba.*

E. Small, T. P. (1999). Current Status of Bridge Management System Implementation in the United States. *8th Internacional Bridge* , (págs. 1-16). Denver.

Echaveguren, T. (2000). Gestión del Mantenimiento de Puentes. Una Revisión Conceptual. *VI Congreso PROVIAL 2000*, (págs. 243 - 258). La Serena, Chile.

Elordi, J. O. (18 de Noviembre de 2012). *Historia del Tren.* Obtenido de 175 años de historia ferroviaria en Cuba y España: http://historiastren.blogspot.com/2012/11/175-anos-de-historia-ferroviaria-en.html

González, J. L. (2014). *Guía para la redacción del plan de mantenimiento.*

NRMT:235. (1986). Vías y Puentes para el transporte ferroviario. Inspección a obras de fabrica. Organización. Cuba.

Ministerio del Transporte, F. d. (1973). Metodología para la determinación de la capacidad de carga de las estructuras metálicas de los puentes ferroviarios. . La Habana, Cuba.

Norma Cubana, C. E. (1984). NC 53-125 Puentes y alcantarillas. Especificaciones de proyecto y métodos de cálculo. La Habana, Cuba.