

INSPECCIÓN DE LOS ANCLAJES DE LOS CABLES DE LAS PILAS CENTRALES DEL PUENTE SOBRE EL LAGO DE MARACAIBO

Antonio R. Sarcos-Portillo¹, Hildrun F. García-Leg¹ y Alfredo Navarro²

RESUMEN: En julio del año 2000 se culminó el re-tensado de los 384 cables de suspensión de las seis pilas centrales del puente sobre el Lago de Maracaibo en Venezuela. Durante la realización de ese proyecto se determinó la presencia de agua y corrosión en la zona de anclaje y en los orificios pasantes en las vigas de anclaje inferior. No obstante, estos orificios estaban sellados por las cuñas que anclan los cables, lo que impedía realizar una inspección. Este trabajo tiene como finalidad mostrar el procedimiento empleado para practicar la inspección de los anclajes de los cables del Puente sobre el Lago de Maracaibo.

INTRODUCCIÓN

Entre los años 1997 y 1999 se realizaron estudios experimentales e inspecciones de campo para determinar el estado en el que se encontraban los cables de suspensión de las pilas centrales del puente General Rafael Urdaneta sobre el Lago de Maracaibo y sus anclajes y, para verificar la necesidad de re-tensar los 384 cables. Los resultados de estos estudios indicaron la clara necesidad de aplicar re-tensado a los cables y además de realizar una inspección más profunda a las zonas de los anclajes y en los extremos de los cables ubicados en el interior de las vigas de anclaje (Sarcos et al, 1999). En la figura 1 se muestran las tensiones en dos de los cuatro grupos de cables (16 cables por grupo) pertenecientes a la pila No. 20, antes de realizar el re-tensado. El cálculo de la tensión fue llevado a cabo a partir de los registros de frecuencia de cada cable generados en pruebas de vibración, obtenidos de a partir de la Transformada Rápida de Fourier (FFT) y la aplicación de la Teoría de la Cuerda Vibrante. La ecuación utilizada para el cálculo de las tensiones fue:

$$T = \frac{4f^2 L^2 P}{g} \quad (1)$$

Donde T es la tensión de cada cable, f es la frecuencia fundamental de vibración del cable, L es la longitud efectiva del cable, P es el peso por unidad de longitud del cable y g es la aceleración de la gravedad.

En la Figura 2 se aprecia la nivelación topográfica de la calzada de la pila No. 20 antes del tensado. En la Figura 3 se muestra una vista aérea del puente y en la Figura 4 uno de los espectros de Fourier obtenidos a partir de las pruebas de vibración sobre un cable.

¹ Universidad de Zulia, Escuela de Ingeniería Civil. Departamento de Estructuras. Apartado 10483. Maracaibo. Estado Zulia. Venezuela.

² Universidad de Zulia, Escuela de Ingeniería Mecánica. Departamento de Materiales. Apartado 10483. Maracaibo. Estado Zulia. Venezuela.



Figura 3: Vista Aérea del Puente General Rafael Urdaneta en Venezuela

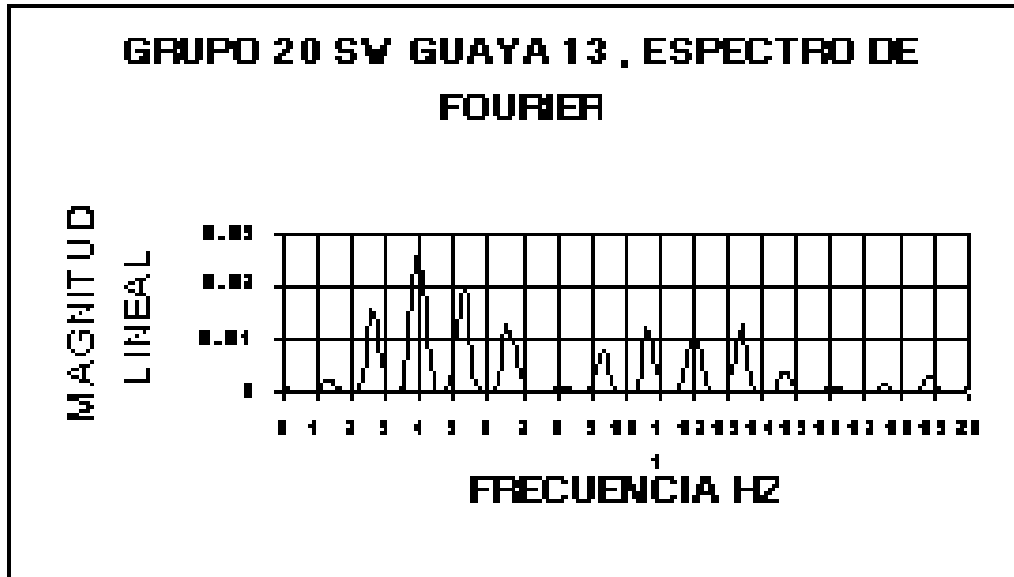


Figura 4: Espectro de Fourier del cable 20SW-13

En la Figura 5 se puede apreciar el efecto de la corrosión en algunos anclajes inferiores de los cables generado por el paso del agua a través de los mismos, lo que motivó una inspección más profunda de estas estructuras y de los extremos de los cables en la actualidad.



Figura 5: Daños por corrosión en anclajes inferiores de los cables

El re-tensado de los cables de suspensión de las pilas centrales se culminó en junio del año 2000 (Sarcos y García, 2001). En la Figura 6 se muestra las tensiones finales para los grupos 20NE y 20 NW y en la Figura 7 se puede observar la configuración definitiva de la calzada de la pila 20 después del tensado de los cables de suspensión. Sin embargo, la inspección de los extremos de los cables contenidos en las vigas de anclaje no pudo llevarse a cabo en esas fechas porque no se contaba con el equipo necesario para realizar el trabajo. Es necesario recordar que en el año 1980 colapsaron 4 cables de suspensión del Puente sobre el Lago de Maracaibo (ver Figuras 8 y 9) (Ingenieros Estructurales Asociados, 1979). Estas fallas ocurrieron principalmente por los efectos de corrosión en la zona cercana a los anclajes de los cables o viga de anclaje (ver Figura 9). En esa época, para cambiar un cable era necesario liberar todos los cables que pasaban por encima del cable roto, dificultando las labores de mantenimiento. Por esta razón se eliminó el sistema de anclaje construido en el proyecto original, el cual consistía en 192 cables pasantes de un lado a otro de la pila, de 180 m de largo (32 cables por cada pila) y fue cambiado por un sistema de 384 cables de 90 m de largo cada uno, cuyos anclajes superiores e inferiores son independientes (Bauverlag GMBH,1970), colocándose en cada pila 4 grupos de 16 cables cada uno (ver Figuras 10, 11 y 12).

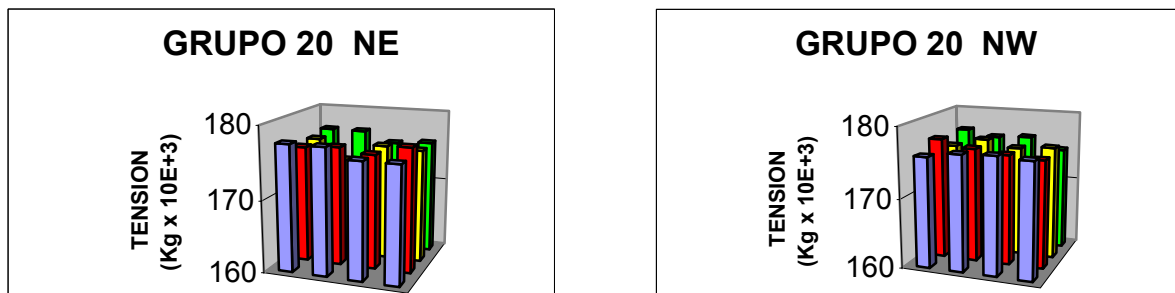


Figura 6: Tensiones de los cables después del tensado. Pila 20

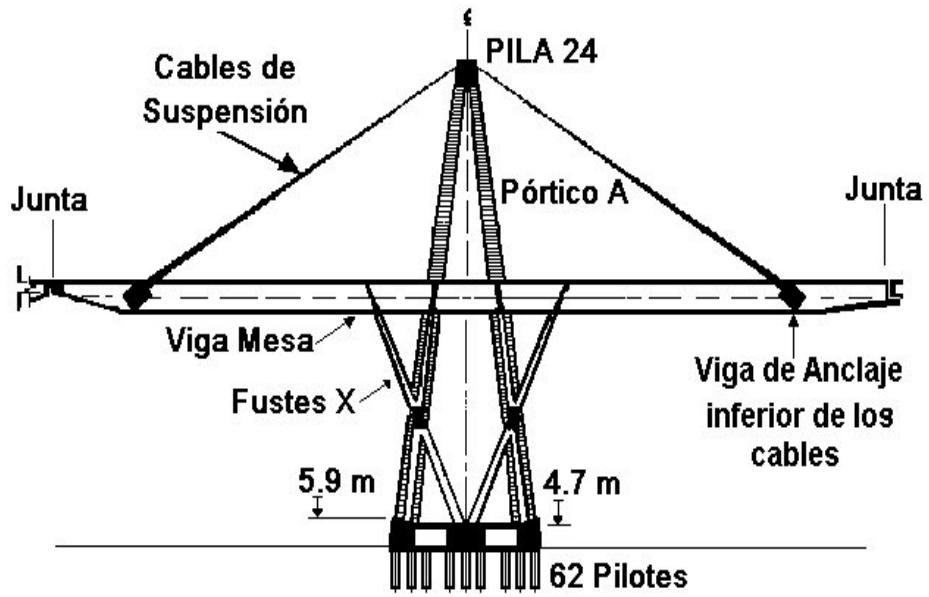


Figura 10: Geometría de una pila central del puente

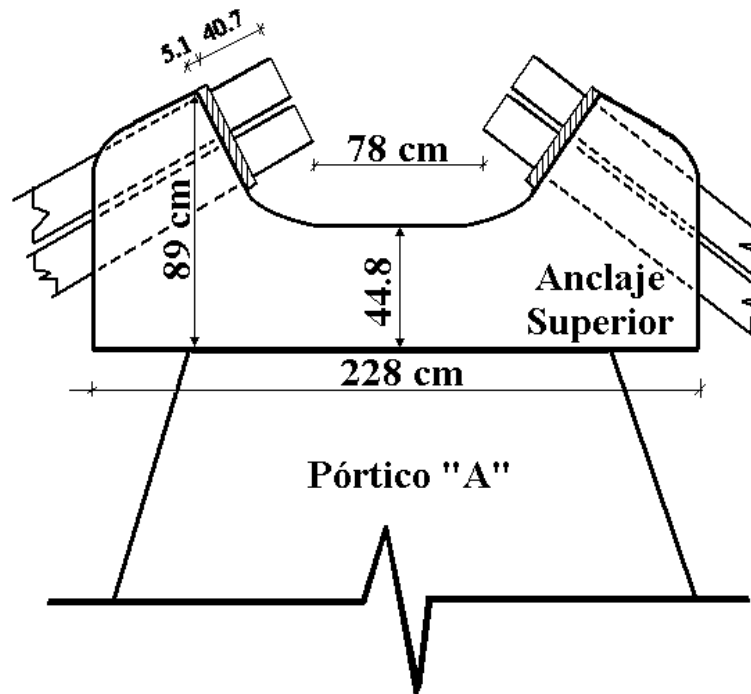
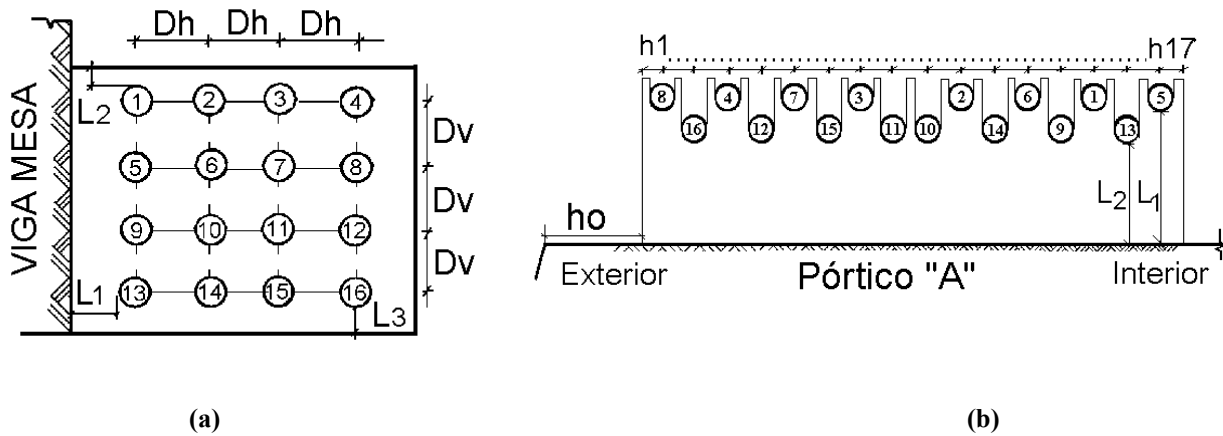


Figura 11: Disposición actual de los cables de suspensión sobre el pórtico "A"



(a) (b)
Figura 12: Geometría de los anclajes superiores e inferiores de los cables
(a) Anclajes Superiores, (b) Anclajes Inferiores

Debido al antecedente de fallas en los cables ocurridos en las zonas cercanas a los anclajes inferiores en 1980 [Sarcos et al, 2002 y Navarro et al, 2002], se planteó la necesidad de realizar una inspección de esta zona, para lo cual fue necesario modificar el sistema de apoyo de los gatos de carga (ver Figura 15), para lograr la inspección de los anclajes inferiores, zonas en las cuales presumiblemente pudieran existir daños por corrosión ya que no habían sido inspeccionadas desde el año 1980. Adicionalmente, durante las labores de re-tensado en el año 2000, se halló acumulación de agua, arena y óxido en dichos anclajes (Sarcos y García, 2001). Un ejemplo de esto se documenta en la Figura 5.

Este trabajo consiste en la proposición de un método práctico para realizar la inspección de los cables del Puente sobre el Lago de Maracaibo en la zona de los anclajes inferiores y mostrar algunos de los resultados obtenidos mediante este procedimiento (Navarro et al, 2002).

ADAPTACIÓN DEL SISTEMA DE APOYO DEL GATO HIDRÁULICO

El gato hidráulico utilizado para tensar los cables puede proporcionar una fuerza de tensión de hasta 300 toneladas, aproximadamente. La tensión en cada uno de los cables de suspensión del puente ha sido medida en unas 177 toneladas en promedio. El sistema de apoyo de los gatos consiste en dos placas metálicas. Estas placas metálicas de apoyo se encuentran unidas a un cajón de acero en el cual se apoya el gato hidráulico. Éste último posee un tornillo pasante que se enrosca en el cabezal inferior de cada cable para poder transmitirle la carga. Cada cable de suspensión se encuentra a su vez fijo al anclaje por medio de varias cuñas redondas y una cuña cuadrada. El sistema de anclaje se muestra en las Figuras 13 y 14. La Figura 15 muestra el gato hidráulico.

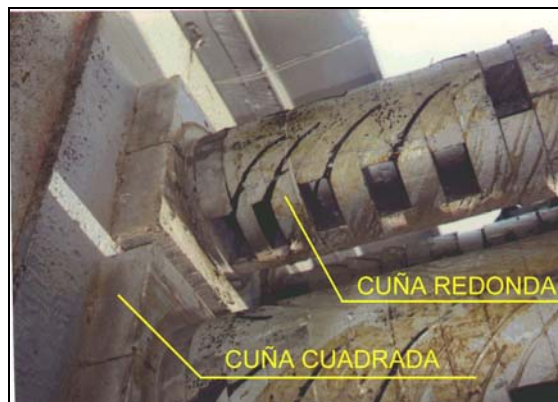


Figura 13: Anclaje inferior de un grupo de 16 cables

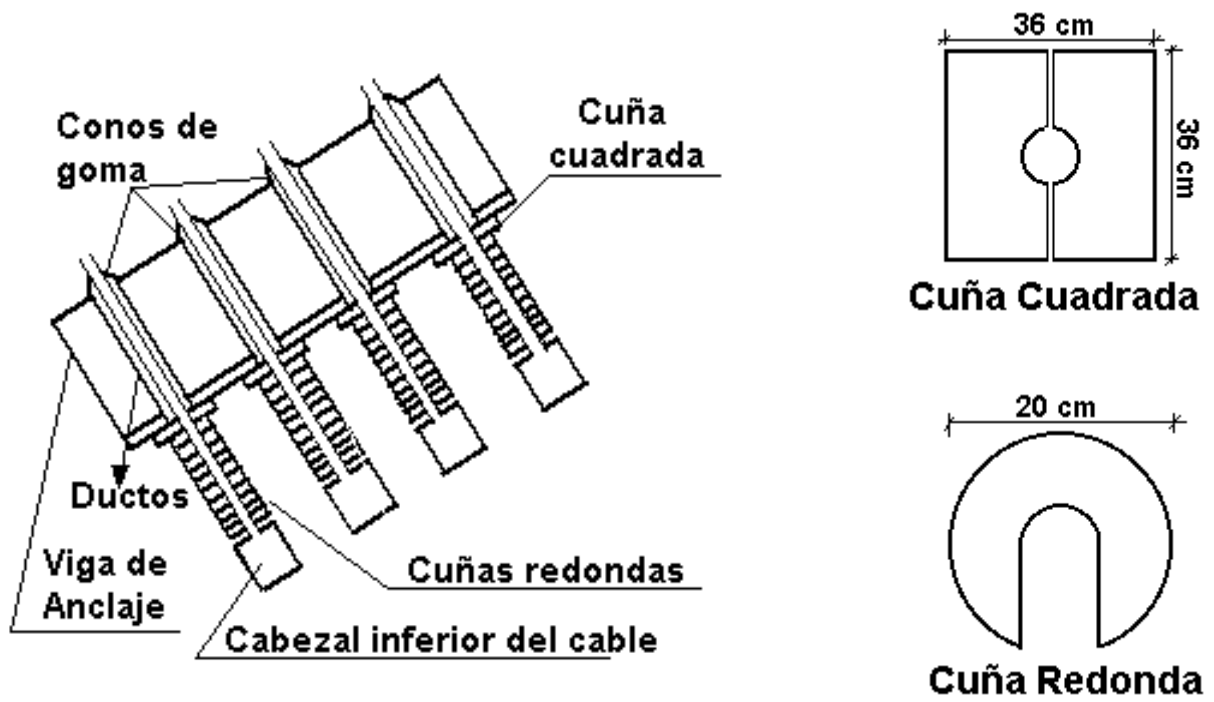
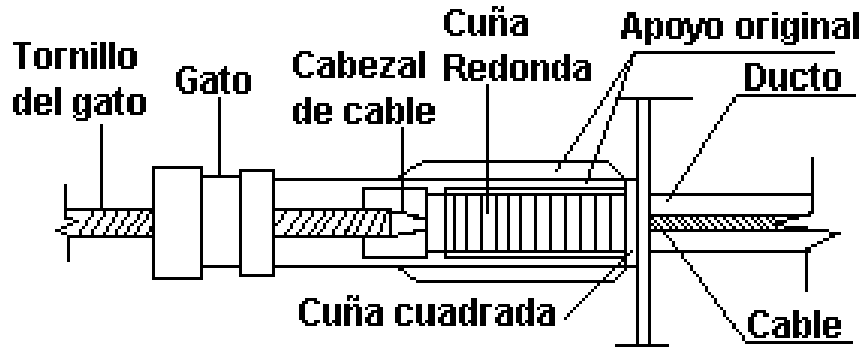
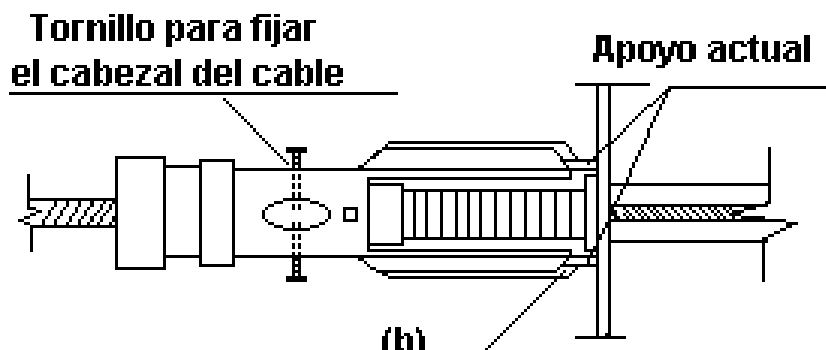


Figura 14: Esquema del anclaje inferior de los cables de suspensión



(a)



(b)

Lámina de apoyo



(c)

Figura 15: Modificaciones del gato original con láminas de refuerzo y tornillos de ajuste
 (a) Gato hidráulico en condiciones originales, (b) Gato hidráulico modificado y reforzado,
 (c) Fotografía del gato

Para poder realizar la inspección del anclaje inferior de los cables es necesario extraer todas las cuñas redondas y la cuña cuadrada de sus posiciones, lo cual era imposible de realizar con el gato hidráulico original utilizado en 1980. Esto se debe a que la estructura de soporte del gato se apoyaba directamente sobre la cuña cuadrada (ver Figura 15-a). Por este motivo se diseñó una modificación en el sistema de apoyo del gato, tal y como se muestra en la Figura 15-b. De esta manera, la fuerza que transmite el gato se aplica directamente sobre la viga de anclaje de concreto reforzado quedando libre la cuña cuadrada, lo que permite su extracción. Así es posible realizar la inspección del tramo extremo inferior de los cables. Sin embargo, en una prueba realizada antes de iniciar el proyecto, utilizando el gato hidráulico modificado se produjo un imprevisto. Al tensar el cable que iba a ser inspeccionado, se produjo una fuerza lateral que arrastró a las cuñas hacia un lado y descuadró la posición original del cable arrastrando al gato y trancando el mecanismo impidiendo liberar al gato del anclaje.

Al revisar el incidente se puso en evidencia que al realizarse el cambio de cables en 1980, también se modificaron las estructuras de apoyo de los cables cambiando de cuatro capas de cuatro cables cada una a dos capas de 8 cables cada una en la zona de los anclajes superiores (ver Figuras 10, 11 y 12). Este cambio de estructura de anclaje superior produjo una modificación en el ángulo de salida de los cables en los anclajes inferiores de los mismos. Ahora los cables no salen con un ángulo de 90° de los anclajes inferiores produciéndose una fuerza lateral que produjo el movimiento transversal de las cuñas y el gato. Sin embargo, debido a que esta distorsión es mínima, se pudo restituir la posición original utilizando dos gatos de tres toneladas cada uno, los cuales restituyeron los desplazamientos adecuados. Para impedir que este incidente ocurriera nuevamente se modificó la estructura original del gato al añadirle cuatro tornillos laterales al mismo para permitir la fijación del gato al cable en el anclaje con un ángulo adecuado durante la aplicación de la tensión a la guaya e impedir así que se desplazara hacia un lado. En la Figura 15-b se muestra las modificaciones realizadas al gato (ver los tornillos en dicha Figura)

METODOLOGÍA PARA LA INSPECCIÓN

La existencia de dos problemas básicos llevó a realizar la inspección de los tirantes en la zona de los anclajes inferiores:

1. De acuerdo a la falla ocasionada en 4 cables o tirantes de las pilas centrales en 1980, principalmente iniciada en la zona de los anclajes inferiores y, de acuerdo a inspecciones visuales donde se verifica la presencia de agua en los conductos pasantes del anclaje, se consideró prudente realizar una inspección a fondo de diez cables elegidos de acuerdo a las inspecciones realizadas anteriormente (Rincón et al, 2002 y Sarcos et al, 1999)
2. La presencia de asentamientos considerables en los cabezales inferiores de los tirantes, con presencia de agua y óxido, indicó la necesidad de inspección de la zona superior del cabezal inferior del cable.

La metodología realizada para poder inspeccionar principalmente las zonas indicadas anteriormente consistió de los siguientes pasos:

- a. Selección de cables a inspeccionar de acuerdo a los que presentaron mayor contenido de agua y corrosión en anteriores inspecciones [Sarcos et al, 1999].
- b. Posicionamiento del gato hidráulico en uno de los cables seleccionados.
- c. Ajuste de los tornillos o pernos transversales para mantener la posición centrada del cable.
- d. Aplicación de aproximadamente 200 toneladas de carga para lograr despegar las cuñas.
- e. Extracción de la cuña cuadrada y cuñas redondas.
- f. Inicio de la inspección visual y filmación en oscuridad del cable en la zona del tubo pasante por la viga de anclaje.

RESULTADOS

Los resultados indican que los cables presentaron unas condiciones generales bastante buenas a pesar de la existencia de arena y sucio en los anclajes y corrosión en zonas aisladas. Ejemplo de esto último se muestra en la Figura 16. También se observó desplazamientos y agrietamientos en la zona superior de los cabezales inferiores, producto del asentamiento interno que existe en el cabezal, lo que propicia la filtración de agua y produce efectos de corrosión, como puede observarse en las Figuras 17 y 18.



Figura 16: Suciedad y corrosión acumulada en los extremos de los cables



Figura 17: Cabezal de cable oxidado y desplazado



Figura 18: Cabezal de cable desplazado y agrietado en el centro

CONCLUSIONES

Del trabajo realizado y reportado en este artículo pueden resumirse las siguientes conclusiones:

1. El procedimiento empleado para realizar la inspección de la guaya es adecuado y podría ser utilizado en puentes similares
2. La inspección demostró la existencia de sucio que se acumula en la zona de los anclajes y de desplazamientos en el cabezal inferior de los cables, lo que podría ser la causa de la filtración de agua dentro del conducto de la viga de anclaje y el cabezal inferior del cable.

REFERENCIAS

- Bauverlag GMBH. (1970). "Puente Sobre el Lago de Maracaibo", Berlín, Alemania,
- Ingenieros Estructurales Asociados S.R.L. (1979). Ministerio de Transporte y Comunicaciones: "Informe fotográfico dimensional sobre el estado de los cables", Maracaibo, Venezuela, marzo.
- Navarro Alfredo, Sarcos Antonio, García Hildrun. (2002). "Modificación de la Estructura del Gato Hidráulico para Retirar las Cuñas Cuadradas de los Cables Atirantados del P.G.R.U", Informe de Proyecto presentado al SAPGRU", Maracaibo, Venezuela,
- Rincón, Contreras, Sánchez, Padilla, Lasarte, Sarcos, García y Navarro. (2002). "Inspection and Repair of Lake Maracaibo Bridge Suspension Cables", Materials Performance, Texas, USA, pp. 34-38
- Sarcos Antonio, Bukowitz David y García Hildrun. (1999). "Evaluación de la Necesidad de Tensado de los Cables de Suspensión del Puente General Rafael Urdaneta", *Revista INGENIERÍA*, CEDEX, Madrid, España, No. 113, 1999, pp. 91-98.
- Sarcos Antonio, García Hildrun y Navarro Alfredo. (2002). "Inspection and Process of Tension of Cables of General Rafael Urdaneta Bridge". *Journal of Bridge Engineering*. American Society of Civil Engineering (ASCE) En prensa, año 2002.
- Sarcos Antonio y García Hildrun. (2001). "Tensado de los Cables de Suspensión del Puente Sobre el Lago de Maracaibo en Venezuela", *Revista INGENIERÍA*, CEDEX, Madrid, España, No. 123, pp. 37.