

UNA EXPERIENCIA EXITOSA CON FIBRAS DE CARBONO

Cortesía
Luis Flores Tantaleán
Ingeniero Civil
Gerente Administrativo de Constructora RF SA

En el distrito de Chasquitambo (800 mns), departamento de Ancash, sobre la carretera Pativilca-Huaraz, a unos 250 km de Lima, se halla la Comunidad Campesina de San Jerónimo de Paclo, cuyo principal acceso es el Puente Colgante conocido como Paclo - Callún. En diciembre del 2000, en plenos trabajos de construcción del Mineroducto Antamina, el brazo de una excavadora que era transportada sobre un camión plataforma jaló accidentalmente uno de los cables principales del puente colgante que cruzan sobre la carretera hacia las cámaras de anclaje de concreto ubicadas al otro lado de la carretera. Ello originó que este cable se saliera del carro de dilatación y se desplazara peligrosamente sobre la viga superior de una de las torres de sostenimiento, poniendo en riesgo la estabilidad del puente.



1.0 El Puente Colgante Paclo - Callún

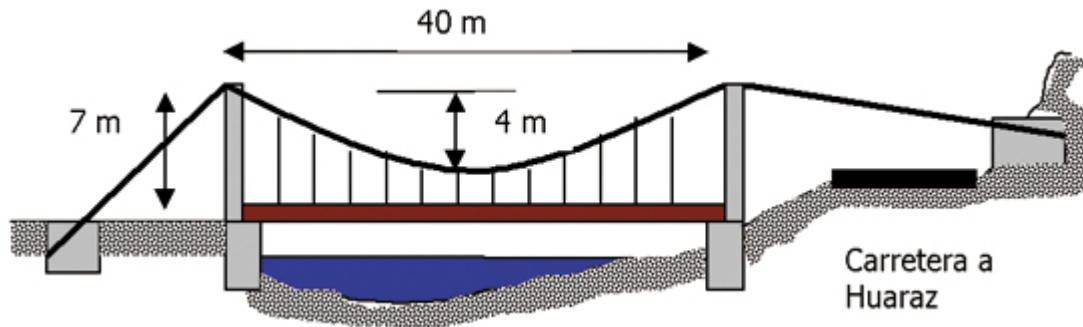
Los puentes colgantes tienen una importancia histórica para nosotros, pues su uso y concepción se remonta a las antiguas civilizaciones incas y fueron ideados para salvar grandes distancias. Antiguamente, los cables principales de soporte eran hechos con fibras de cáñamo trenzadas en diámetros grandes que sustituían a los actuales cables de acero. Estos puentes constituyen una de las estructuras más perfectas e insustituibles, ofreciendo ventajas en economía, facilidad de montaje y disponibilidad de materiales.

El puente Paclo-Callún fue diseñado para soportar una carga máxima de 5 t, con una luz de 40 metros entre las torres de sostenimiento, las cuales están constituidas por un pórtico de concreto armado de 7 m de altura y 4.10 m de distancia entre sus columnas. Tanto la viga superior como la intermedia y las columnas de la torre son de sección 0.30 x 0.60 m.

Los cables principales, hechos de torones de alambre de acero galvanizado, son de 1" de diámetro y anclan en las cámaras de anclaje que se encuentran a ambos lados del puente. Las péndolas o tirantes de acero sostienen el tablero del puente. El entablado del puente descansa sobre largueros de madera de 6" x 12", que a su vez se apoyan sobre viguetas de igual sección, que son sostenidas por las péndolas.

2.0 Los Daños que se Presentaron en el Puente

Ocurrido el accidente, uno de los cables principales de la torre de sostenimiento ubicada cerca de la carretera se salió del carro de dilatación, volando los rodillos, y quedó apoyado sobre la viga superior de la torre de acuerdo con el gráfico siguiente:



Este desplazamiento del cable produjo los siguientes daños estructurales:

En la Torre de Sostenimiento:

§ Fisuración de la parte inferior de las columnas, en una altura de 1.50 m desde la base.

§ Desplome de Torre y Giro hacia fuera, de acuerdo al [gráfico 02](#).

En el Tablero del Puente:

§ Sólo se detectó que una de las viguetas de madera se rajó debido al movimiento de los cables del puente colgante.

§ También se observaron algunos largueros fisurados, que aparentemente se habían ya resquebrajado antes del accidente, aparentemente por un exceso de carga sobre el puente. Si bien es cierto que este es un solo puente peatonal, los pobladores de la zona indicaron que usualmente ingresaban carros y camionetas por el puente sin problemas.

En los Cables Principales:

§ No se presentó ningún tipo de desgaste o rotura que hiciera pensar en su reemplazo.

3.0 El Proyecto de Reforzamiento del Puente

La empresa contratista del Mineroducto Antamina, el Consorcio Spie-Capag ICCGSA, luego de ocurrido el accidente, contrató los servicios de la empresa SEINTEC SA, especialista en proyectos estructurales, para la reparación y reforzamiento del Puente Paclo-Callún, con las siguientes necesidades:

§ Garantizar la estabilidad del Puente Colgante y asegurar una resistencia igual o superior en los elementos estructurales, y volver operativa la vía de acceso a la Comunidad Campesina de Paclo.

§ Debido a la gravedad del accidente y a las fisuras que se habían presentado en las torres de sostenimiento del puente, que ponían en peligro su estabilidad, el proyecto se debía tener completo en tres días para iniciar los trabajos de reforzamiento.

§ SEINTEC SA debía trabajar de acuerdo a los estándares de calidad establecidos por los contratistas : Planos, especificaciones, informes y documentos bajo las exigencias de las Normas ISO 9000.

§ Se debía Proponer un procedimiento de reparación rápido, seguro y efectivo, que garantice además de la estabilidad estructural, un procedimiento constructivo que permita efectuar las labores en el menor tiempo posible, reduciendo al máximo el bloqueo temporal de la carretera Pativilca - Huaraz. Recordemos que esta es la única carretera de acceso hacia Huaraz y además se estaban culminando los trabajos de tendido del mineroducto sobre la carretera, por lo que cualquier interrupción modificaba el Cronograma de Ejecución del Mineroducto Antamina.

Cumplido el plazo especificado, el proyecto fue entregado de acuerdo con los estándares y necesidades solicitadas.

4.0 La Filosofía del Proyecto de Reforzamiento Estructural

Del análisis estructural efectuado se puede concluir lo siguiente:

§ Al producirse el contacto de la maquinaria con uno de los cables principales y jalarlo, el cable se sale del carro de dilatación y cae sobre la viga superior y es arrastrado hasta la posición mostrada en la [Foto 03](#). El objetivo principal del carro de dilatación es anular las fuerzas horizontales que se producen por la diferencia de longitud del cable ambos lados, cambios por temperatura, asimetría de la carga, etc. y conseguir que las reacciones sean sólo verticales. Al quedar el cable fuera del carro de dilatación, el pórtico de la torre recibe cargas horizontales para los cuales no ha sido diseñado, provocando el desplome de la torre y esfuerzos en la base de las columnas que produjeron las grietas mostradas en la [Foto 02](#).

§ Al fisurarse las columnas, se produce una "rótula plástica", mecanismo de falla que provoca que el concreto de recubrimiento de la base en la zona fisurada pierda capacidad resistente y deje de ser competente.



§ Se planteó un reforzamiento con sistema FRP, es decir, en base a láminas de fibras de carbono. Como se sabe en este sistema, una o varias capas de láminas son colocadas alrededor o debajo de las secciones de concreto a reforzar, y junto a un sistema adhesivo epóxico especial, se logra una total adherencia a la antigua superficie de concreto, el resultado es una capa externa de reforzamiento que ayuda a soportar las cargas del elemento y previene deflexiones excesivas.

§ Este sistema de reforzamiento también se caracteriza por su rápida aplicación y bajo costo, obteniendo un sistema único basado en materiales de alta resistencia, con una relación rigidez/peso elevada y muy resistentes a ataques químicos. Las bondades de este sistema fueron ampliamente descritas en un artículo anterior sobre reforzamiento estructural.

5.0 La Ejecución del Reforzamiento del Puente Colgante

Para ejecutar las operaciones de reforzamiento, el Consorcio Spie-Capag ICCGSA contrató los servicios de CONSTRUCTORA RF S.A., empresa que tuvo a su cargo la ejecución de los 05 Pases Aéreos para el Mineroducto Antamina y que además cuenta con amplia experiencia en reforzamiento y reparación estructural, bajo la supervisión de Bechtel y la Cia. Minera Antamina.

Al igual que para el proyecto, el contratista solicitó a CONSTRUCTORA RF S.A. trabajar bajo estándares de calidad y seguridad internacionales, cumplir con la ejecución completa de los trabajos en menos de 10 días y de acuerdo al proyecto propuesto.

El Proyecto de Reforzamiento contemplaba 04 etapas bien definidas:

5.1 Apuntalamiento de la Torre de Sostenimiento Dañada

Previo al inicio de los trabajos se realizaron las siguientes operaciones:



§ Se apuntaló a presión la viga del primer y segundo nivel del pórtico desaplomado, con puntales metálicos telescópicos (durante todo el procedimiento de izaje del cable, que se detalla más adelante, este apuntalamiento se mantuvo en su lugar).

§ Terminada la operación de la colocación del cable del puente colgante en su lugar correcto se procedió recién a retirar los puntales y a continuar con los procedimientos siguientes.

5.2 Colocación del Cable Principal en la Posición Correcta

Los pasos que se siguieron para colocar los cables dentro del carro de dilatación fueron:

§ Previo al izaje del cable, se fijó la plancha de apoyo inferior del carro de dilatación a la parte superior de la columna de la torre y se rehabilitó el sistema móvil y sus componentes, como los cuatro rodillos y la plancha superior, con el fin de que pudiera recibir los cables desplazados.

§ Con un camión grúa de capacidad de carga de 20 t, se izó los cables desplazados de su posición original.

§ El cable se izó lentamente hasta llevarlo a un nivel mayor a 3 cm pero menor de 5 cm de la plancha superior del carro de dilatación. Luego, el cable se trasladó lentamente hasta su posición original sobre el carro ya habilitado ([Foto 04](#)).

§ Una vez sobre el carro de dilatación y terminada la operación de Aplomado de la Torre descrita en la siguiente etapa, los cables fueron bajados para que apoyen en la plancha superior del carro, cuidando que el desplazamiento final de esta plancha se encuentre en su posición correcta, vale decir centrado con respecto al eje de la columna de la torre.

5.3 Aplomado de la Torre

Esta operación se realizó de manera paralela a la reinstalación del cable en su posición final. Para ello, se siguieron los siguientes pasos:

§ Previo al izaje del cable, se colocó un sistema de cables tirantes de acero y cuatro tirsors.

§ Una vez que el cable fue izado por la grúa, el sistema diseñado de cables permitió ir aplomando lentamente el pórtico hasta su aplomo vertical ([Foto 05](#)).

§ Finalmente, se dio la conformidad de aplome para poder bajar el cable principal a su posición final.

5.4 Reforzamiento de las Columnas de la Torre con Fibras de Carbono

Una vez aplomada la torre y estando el cable principal en su posición original, se procedió a reforzar las columnas dañadas con láminas de fibra de carbono con el siguiente procedimiento:



§ Se retiró el tarrajeo en toda la zona donde se colocó las fibras de carbono, hasta una altura de 2.00 m desde el piso.

§ Se martelinó la superficie para lograr una superficie rugosa en el concreto. Luego, se limpió la superficie del polvo.

§ Se inyectó resina epóxica en las fisuras que sobrepasaban los 0.5 mm.

§ Se añadió refuerzo longitudinal en las columnas en reemplazo de algunas varillas que mostraban oxidación y elongación por efecto del desplome.

§ Colocación de la primera capa de fibras en sentido vertical.

§ Colocación de la segunda capa de fibras en sentido horizontal (solo en las caras perpendiculares al plano de la torre).

§ Aplicación de dos capas del recubrimiento protector (o Top Coat) sobre las cuatro caras de las columnas.

Respecto a la aplicación de las capas de fibra de carbono, en este proyecto se utilizó fibras Mrace, distribuidas por MBT-UNICON en el Perú y se siguieron las siguientes pasos:

§ Colocación del imprimante epóxico (o Primer).

§ Aplicar la Pasta adhesiva (o Putty) para igualar las superficies.

§ Luego, una capa de saturante (o Saturant).

§ Agregar el refuerzo de fibras de carbono en espesores y dimensiones indicados por el proyectista.

§ Una segunda capa de saturante (o Saturant).

§ Incluir el recubrimiento protector (o Top Coat) para proteger las fibras de los rayos solares.

Es muy importante recalcar que la efectividad de este sistema depende de la pericia y experiencia que debe tener el técnico aplicador para lograr una adecuada adherencia concreto-fibra, siempre bajo la supervisión de un ingeniero entrenado en este procedimiento. El manejo adecuado de los tiempos de espera entre una y otra capa, los espesores exactos de las capas y la presión de aplicación son factores determinantes en la resistencia final del sistema, por lo que no se recomienda su aplicación en manos inexpertas.



5.5 Reparación de las Vigas de Madera

Finalmente, quedaba reparar las partes dañadas del tablero del puente. Para el reemplazo de los largueros dañados se siguieron los siguientes pasos:

§ Se habilitaron las vigas largueras que se habían dañado de acuerdo con las medidas tomadas in situ . Luego se pintaron con pintura impermeabilizante.

§ Se retiró la zona del entablado sobre el puente que se encuentra sobre los largueros dañados y se reemplazaron las vigas ([Foto 11](#)).

§ Estos nuevos largueros se fijaron a las viguetas transversales de acuerdo al proyecto original.

§ Se reinstaló el entablado en su posición original.

6.0 Una Experiencia Exitosa de Reforzamiento Estructural

Este proyecto de reforzamiento tuvo las siguientes particularidades:

§ El diseño del proyecto se desarrolló aplicando criterios de CONSTRUCTABILIDAD, es decir, su concepción estuvo orientada además de satisfacer los requerimientos estructurales, a lograr una facilidad constructiva que permitiese al ejecutor de las obras desarrollarlas en el menor tiempo y costo, así como y optimizar la gestión constructora.

§ Se diseñó un sistema para aplomar la torre, en base a un sistema de cables y tirfors, que permitió optimizar el uso de la mano de obra y posteriormente el uso de la grúa que izó el cable.

§ Se trabajó, tanto en el diseño como en la construcción, cumpliendo con las exigencias y estándares internacionales de calidad y seguridad.



§ Existía un requerimiento por parte del cliente que era evitar en lo posible el cierre prolongado de la carretera a Huaraz por dos motivos: esto atrasaba las obras del tendido del mineroducto sobre la carretera, que estaba entrando ya a su fase final con un apretado cronograma de obra y, además, la vía Chasquitambo - Conococha constituye el principal ingreso hacia la zona del Callejón de Huaylas, siendo una carretera muy transitada. Con este proyecto se logró solamente cerrar la carretera por espacio de dos horas, mientras la grúa ejecutaba los trabajos de reposición del cable principal.

§ El proyecto se desarrolló en 3 días y las labores de reforzamiento se hicieron en cuatro días, logrando entregar la obra en menos de la mitad del plazo contratado.

§ Las ventajas que ofrece el sistema de reforzamiento FRP frente a otros sistemas se hizo evidente en este proyecto: el transporte de los materiales, el costo del reforzamiento, la rapidez en la ejecución de las partidas y la entrega del puente colgante nuevamente operativo en un tiempo récord.