



Alternativa para lanzamiento de vigas postensadas Tramo Tres del Viaducto Huanu Huanuni – Alto Obrajes, La Paz

Alternative for launch of postensed Beams Section Three of the Huanu
Huanuni Viaduct - Alto Obrajes, La Paz

Milder Mayta

ma_milder@hotmail.com

Universidad Autónoma Tomás Frías, Bolivia

Artículo recibido febrero 2018 | Arbitrado en marzo 2018 | Publicado en mayo de 2018

RESUMEN

Debido a la dificultad de transatibilidad del Municipio de La Paz en Bolivia es necesario la construcción de nuevas vía de acceso, con el imperante de no poseer las capacidades de las grúas necesarias para construir el viaducto. Se evalúan tres alternativas para subsanar esta indisponibilidad y cumplir con los plazos establecidos en el cronograma del proyecto. De éstas nace el objetivo del presente trabajo que fue analizar y calcular la alternativa de lanzamiento de vigas postensadas, mediante rodillos y tesado exterior, en el tercer tramo del viaducto Huanu Huanuni – Alto Obrajes, en la ciudad de La Paz. La metodología seguida consistió en la observación de la topografía de lanzamiento de las vigas y de las estructuras de hormigón que intervendrían en el lanzamiento para estudiar y diseñar las estructuras metálicas que se utilizarán en el lanzamiento de vigas mediante rodillos, los esfuerzos en la viga postensada para dicho lanzamiento. Además se calculó el tesado exterior de esta viga y se analizaron los esfuerzos para el proceso del lanzamiento.

Palabras clave: Lanzamiento de viga, rodillos metálicos, viaducto, viga postensada

ABSTRACT

Due to the difficulty of transatibility of the Municipality of La Paz in Bolivia, the construction of new access roads is necessary, with the imperative of not possessing the capacities of the cranes necessary to build the viaduct. Three alternatives are evaluated to remedy this unavailability and meet the deadlines established in the project schedule. From these, the objective of the present work was born, which was to analyze and calculate the alternative of launching post-tensioned beams, using rollers and external testing, in the third section of the Huanu Huanuni - Alto Obrajes viaduct, in the city of La Paz. The methodology followed consisted in the observation of the launch topography of the beams and the concrete structures that would intervene in the launch to study and design the metal structures that will be used in the launching of beams by rollers, the efforts in the post-tensioned beam for that launch. In addition, the external testing of this beam was calculated and the efforts for the launch process were analyzed.

Key words: Beam launch, metal rollers, viaduct, post-tensioned beam



INTRODUCCIÓN

La ubicación geográfica del Municipio de La Paz, comenta Tauber et al. (2005), le permite gozar de una extensa variedad de escenarios topográficos que la hacen tan particular. Por su parte, para Bazant (2010) al considerarse un área de expansión de la mancha urbana, se debe estimar la transitabilidad en el sector, término referenciado por Gómez y Magnin (2008) y Huarca y Argamonte (2016), y hacia el centro de la ciudad para aquella gente que habita en la zona y la que la visita. Desde otro punto de vista, colindando con la zona de Huanu Huanuni, expresa Villegas (2013), se encuentra la urbanización residencial “Verde Olivo” que es propiedad de la Policía Boliviana Nacional. Expresa Flores et al. (2013) que esta zona cuenta con más de 20 edificaciones con varias plantas, las cuales albergan a familias que en su mayoría trabajan o estudian en el centro de la ciudad.

El acceso a la zona residencial, desde el centro, es a través de la avenida Hernando Siles -calle 17 de Obrajes -calle Tomás Monje. Adicionalmente, existe otro acceso por la zona de Alto Obrajes, no conveniente debido a la pendiente y estrechez de vía. Estos accesos no son suficientes debido al crecimiento vehicular y congestión que se presenta en horas pico. Sin dejar de lado la tardanza que sufre la gente que se traslada hacia el centro de la ciudad, por tener que transitar por la calle 17 de Obrajes para poder acceder a la avenida principal Hernando Siles.

Existe la avenida Max Portugal que se encuentra en la zona de Alto Obrajes, con la facilidad de conectarse de forma directa, por un lado hacia la calle 10 de Obrajes y por la avenida Sabaleta. Ambas tienen una vía rápida hacia el centro de la ciudad. En

este sentido, la construcción del viaducto “Huanu Huanuni – Alto Obrajes” tiene por objetivo el de unificar la zona de Alto Obrajes y la zona de Huanu Huanuni de forma directa, así crear un acceso hacia esta zona a través de una vía rápida para el transporte (Sánchez y Llorente, 2016).

Se realiza, valorando lo referenciado por Zotar y Aníbal (2014), el diseño correspondiente del viaducto, determinando de esta forma la construcción (en su primera fase), de tres tramos de 30,6 m cada uno. La infraestructura, tomando en cuenta lo planteado por Vardé (2003), está conformada por un Estribo de H^oA^o con fundación directa, tres Pilas de H^oA^o fundadas sobre Pilotes, Superestructura conformada por Vigas de H^oP^o y Losa de H^oA^o, considerando a Benjumea et al. (2010). Por otra parte, desde lo expuesto por Olazábal (2013), García (2017) y López y García (2017), las pilas son de diferente altura debido a la topografía y la pendiente de la Rasante.

La empresa adjudicada para la construcción realiza el proyecto según el cronograma especificado, en el cual se tiene el ítem de lanzamiento de vigas que consiste en el alquiler de grúas de gran capacidad para su izado hasta la posición final. En un sector habilitado para el efecto, se vacían y tesan las vigas y la infraestructura. Cuando se debe proceder con el paso de izado de vigas se tropieza con el problema que las grúas destinadas para el trabajo se encuentran dispuestas en su capacidad. Debido a que existe un contrato con la Alcaldía Municipal de La Paz, la empresa constructora no puede retrasarse en el proyecto por las condiciones del contrato. En este sentido, se toman alternativas diferentes para el izado de vigas sin tomar en cuenta grúas de mayor capacidad.



A continuación se mencionan algunas alternativas de izado de vigas:

- 1) Realizando un relleno de tierra alrededor de las pilas, de forma tal que su altura disminuya y así poder utilizar grúas de menor capacidad para el izado. Sin embargo, por la altura de las Pilas se necesita gran cantidad de material de relleno y este no se encuentra disponible cerca de la obra, por lo que implica demora en el traslado de material y elevado costo de transporte (Chasco, 2000).
- 2) Utilizando una lanzadora de vigas, compuesta por elementos metálicos a lo largo de todo el tramo, pero, como el tramo es de más de 30 m no existe en la ciudad un lanzador de este tipo. Adicionalmente, la construcción de la estructura metálica implica un elevado costo y tiempo de ejecución (Yepes, 2018).
- 3) Realizando un lanzamiento de vigas sobre rodillos metálicos desde la Pila 3 hacia la 2, lo que constituye el tramo tres del viaducto. De esta manera dar continuidad con la ejecución del proyecto y evitar el uso de grúas de mayor capacidad. En esta alternativa será necesario un tesado exterior en cada viga postensada antes del lanzamiento (Pichucho, 2012).

El presente trabajo tuvo como propósitos analizar y calcular la alternativa de lanzamiento de vigas postensadas, mediante rodillos y tesado exterior, en el tercer tramo del viaducto Huanu Huanuni – Alto Obrajes, en la ciudad de La Paz.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se ubica hacia el sur de la ciudad, dentro de la jurisdicción del gobierno municipal de La Paz, perteneciente a la subalcaldía sur Distrito 21, zona

Huanu Huanuni–Alto Obrajes. La metodología sigue los siguientes pasos, a partir de Mayta (2018):

- Observar la topografía para el lanzamiento de vigas.
- Estudiar y diseñar estructuras metálicas que se utiliza en el lanzamiento de vigas mediante rodillos.
- Analizar los esfuerzos en la viga postensada para el lanzamiento mediante rodillos.
- Calcular el tesado exterior en la viga postensada.
- Observar las estructuras de hormigón que intervendrán en el lanzamiento.
- Analizar los esfuerzos en la viga postensada con tesado exterior, en diferentes estados de carga, durante el lanzamiento mediante rodillos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Según el levantamiento topográfico realizado para la construcción del viaducto, tomando en consideración lo expuesto por Mayta (2018), se tienen las curvas de nivel correspondientes del área de trabajo, que sirve para el cálculo de movimiento de tierras que se realiza en los trabajos preliminares. Adicionalmente, la visita de campo realizado en la obra, propiamente en lo que concierne el tramo tres. Se observa que existe espacio suficiente para el traslado de vigas mediante la habilitación de vías, habiendo sólo la interferencia de algunos árboles.

La topografía permite que entre las Pilas 2 y 3 se coloque un apoyo auxiliar. Con estas verificaciones se realiza el lanzamiento de vigas postensadas desde la Pila 3 hacia la Pila 2, lo que constituye el tercer tramo. Para tener una idea clara acerca del terreno y realizar los movimientos correspondientes de tierra, se establece el perfil longitudinal entre las Pilas 2



y 3. Específicamente, en el eje del viaducto, estableciendo el perfil longitudinal del tramo tres, paralelo a la posición de las vigas postensadas. Este perfil nos permite ubicar la posición exacta de la estructura metálica auxiliar entre ambas Pilas.

La alternativa de realizar el lanzamiento de vigas postensadas mediante rodillos consiste en colocar, mediante un transporte adecuado, una por una las vigas postensadas en la plataforma cerca de la Pila 3. Ésta cuenta con una pantalla de sección 0,60 m x 0,80 m, que sirvió de apoyo para la losa que conecta con la calle continua. En éste se apoya el primer rodillo; en la plataforma B entre las Pilas 2 y 3 está situado un pórtico (trípode) metálico en el cual se apoya el segundo rodillo. Sobre el cabezal de la Pila dos se arma un pórtico metálico, el cual mediante cables tendrá la función de jalar de un extremo cada viga, de modo que mediante los rodillos se desplace hasta su posición final.

Trabajos preliminares

La continuación del viaducto será una losa de 10 m, conectada a una calle. En este sentido, se hace posible la utilización de maquinaria pesada para realizar corte y relleno según las secciones transversales. Además, se tiene una idea clara acerca del proceso de lanzamiento mediante rodillos, revisando el levantamiento topográfico y el perfil longitudinal se trazan los lugares que sirven de plataforma como también el espacio necesario para el traslado de las vigas.

De esta manera se determinan los trabajos preliminares, que consisten en derribar algunos árboles y habilitar una vía para el paso del Dolly (Dolly equipo que permite unir a dos semirremolques para ser jalados por un mismo tractoca-

mión) el cual trasladará la viga, para este trabajo se realiza corte propia-mente.

Según el levantamiento topográfico se hace accesible la conformación de una plataforma cerca a la Pila 3, que denominaremos plataforma A. En este último trabajo se realiza corte y relleno según las secciones transversales; mismas que nos permitirán el posicionamiento de cada viga al inicio de su lanzamiento. Por otro lado, para el posicionamiento del trípode debe ser a la mitad del tramo tres, es decir, a 15.30m. Sin embargo, observando el perfil longitudinal, no es posible esta distancia por no existir espacio suficiente desde la Pila 3 hacia la Pila 2.

La distancia máxima que se posicionaría el trípode es de 14,30 m desde la Pila 3, teniendo la seguridad suficiente para el soporte del peso total de la viga. De esta manera, se habilita una plataforma para el colocado del soporte metálico que se ubicará entre las Pilas 2 y 3, denominado plataforma B, en este trabajo se realiza corte, relleno y compactación. Estos trabajos se realizan mediante maquinaria pesada (excavadora tornamesa y volquetes), en los lugares inaccesibles, para la plataforma B por medio de mano de obra manual. Para una mejor estabilización del suelo se utiliza una compactadora manual (saltarín).

Diseño de estructuras metálicas

A partir de los trabajos preliminares se realizan los diseños de las estructuras metálicas, los cuales tienen como objetivo general el de soportar el peso propio de la viga postensada. En algunos casos se determina la forma y resistencia de la estructura metálica. En otros, ya se tienen estructuras prediseñadas, que solamente se debe comprobar la resistencia al peso propio de la viga. Cabe mencionar que los pesos propios de las estructuras metálicas



son despreciados, debido a la comparación con la carga que estará sometido. En principio se tienen tres estructuras metálicas: El pórtico que se sitúa en el cabezal de la Pila 2, el trípode que se ubica entre las Pilas 2 y 3, por último los rodillos. En se describen cada una de las estructuras metálicas.

Rodillos

Los rodillos, como su nombre lo indica, nos sirven para el desplazamiento de la viga a lo largo del tramo tres. Su forma está destinada para el ruedo, la resistencia es calculada para el soporte del peso propio total de la viga postensada. En primer lugar se tiene la forma del rodillo que se asemeja a un rodamiento, estarán formados de dos anillos, el interior de 6,35cm (2,5 plg) y el exterior de 20 cm de diámetro, soportados por un eje de 2,5 plg de diámetro, anclados en dos soportes de 2 plg de espesor. Para facilitar la fabricación se divide en dos partes el rodillo, cada uno de 25cm de largo, sobre una plancha de 0,60m x 0,85m x 1plg. El objetivo que tiene el rodillo es de soportar el peso propio de la viga postensada según este vaya desplazándose.

Comprobación de la Resistencia del Rodillo

Como datos iniciales tenemos el peso propio de la viga postensada 44,55 Tn, el acero A36 con $f_y = 2.530 \text{ kg/cm}^2$. El análisis se realizara en la parte delicada de la estructura, el eje de 2,5 plg de diámetro. El rodillo está dividido en dos partes, por lo que se tomara solo una para el análisis, es decir, el largo de 25 cm. Por último, para mayor seguridad tomaremos para el análisis todo el peso propio de la viga, en realidad solo soportaría la mitad. El cálculo se realizara como resistencia a la flexión

con una viga con carga distribuida, con un apoyo simple y otro empotrado.

Trípode

El trípode intermedio se ubica en la plataforma B, tiene la función de resistir el peso propio de la viga mientras esta se desplaza hacia la Pila 2, sirve de apoyo para el segundo rodillo en el transcurso del lanzamiento en el tramo tres. Éste está constituido de cuatro pórticos formados por dos perfiles de C4x7.25 en forma triangular unidos por tres travesaños. La altura vertical es de 5.30m lo necesario que se proyecta en el lanzamiento de la Pila 3 hacia la Pila 2, una abertura de las patas de 2.0m el cual se pueda ubicar sin problemas en el espacio de la plataforma B, la separación entre pórticos es de 1.05m en los extremos y 0.30m en el medio, debido a que mayormente el rodillo se ubicara en el medio del trípode.

Encima los cuatro pórticos se colocan una viga travesaño de perfil W14x38 y 2.40m de largo, que tendrá la función de apoyo para el rodillo y además de soportar el peso propio de la viga, también esta facilitara para el desplazamiento del rodillo a lo largo de la viga.

Comprobación de la Resistencia del Trípode

El análisis que se realiza en el trípode se divide en dos partes, el primero la resistencia de la viga travesaño a flexión, el segundo los pórticos triangulares a compresión; el acero por analizar es A36, la carga muerta de cada viga es de 44.55Tn. La parte desfavorable por analizar en la viga travesaño será donde se encuentra la máxima separación, es decir, 1.05m. La sección de la viga travesaño es adecuada, entonces se adopta el perfil W14x38. El análisis en el trípode se realizara en un solo pórtico triangular el que



está formado por dos perfiles unidos C4x7.25 y 5.39m de largo.

Pórtico

El pórtico está anclado en el cabezal de la Pila 2, tiene el objetivo de sujetar los cables mientras se va jalando la viga desde la Pila 3, la viga travesaño sirve de soporte para la viga postensada en el momento que este se encuentre sobre el cabezal de la Pila 2, mientras se acomoda para su posición final. Los dos rombos que conforman el pórtico anteriormente se utilizaron con otro fin, es por tanto que tenemos que adaptarnos al prediseño, los rombos están constituidos por la unión de dos perfiles C12x20.7, con una base horizontal de 10.60m, altura vertical de 3.20m, arriostrado en el medio por un parante de 2.96m de altura. Encima de los rombos se coloca una viga travesaño que tiene perfiles S12x31.8 con una longitud total de 9.60m.

Comprobación de la Resistencia del Pórtico

En primer lugar se realiza el análisis sobre la viga travesaño que está sometida a flexión en una longitud de 5.20m que es la separación entre rombos, acero A36, carga puntual por soportar la mitad del peso propio de la viga 22.28Tn. Con dos perfiles S12x31.8, se tiene la seguridad para soportar la mitad del peso propio de la viga. Por otro lado, también la viga travesaño trabaja en los lados exteriores a los rombos debido a que son cuatro las vigas que se lanzan, dos de ellas por fuera de los rombos; así, para mayor seguridad se añaden dos perfiles más, en total cuatro perfiles S12x31.8.

El análisis para el rombo se realiza en el parante que está constituido por dos perfiles C12x20.7 y 2.96m de largo, mismo que está sometido a compresión.

Estructuras de Hormigón

El proceso del lanzamiento de vigas mediante rodillos en el tramo tres, se tienen afectadas tres estructuras de hormigón: la viga de H^oP^o (hormigón postensado), la Pila 2 de H^oA^o (hormigón armado) y la Pila 3 de H^oA^o. Este último no tiene relevancia, debido a que la estructura servirá de apoyo para el primer rodillo. Es decir, estará sometida a compresión, como la pantalla de la Pila 3 está destinada para la continuación del viaducto mediante una losa, tiene el refuerzo necesario para soportar tanto la carga viva de los automóviles como la carga muerta de la superestructura, es por esto que se desprecia el análisis en esta estructura de hormigón.

Viga de hormigón postensado

En un principio las vigas de H^oP^o se diseñaron para que sean izadas mediante grúas de gran capacidad, desde la base de las Pilas hasta los cabezales; entonces en la construcción se dejan orificios en ambos extremos de las vigas con el refuerzo necesario para el soporte de su peso propio. Según el cronograma de actividades de la obra, se vaciaron las fundaciones de las Pilas y paralelamente se vaciaron las vigas de H^oP^o, en un espacio determinado, con el propósito de optimizar el tiempo de ejecución del proyecto. Una vez vaciados los cabezales de las Pilas, 25 días antes se concluye el vaciado de 12 vigas; para que 30 días después se proceda con el tesado de las mismas; quedando listas ambas estructuras para el izado.

Debido a la falta de grúas de gran capacidad se opta por el lanzamiento mediante rodillos, para este proceso necesariamente se tuvo que realizar el rediseño de la viga de H^oP^o, por lo tanto, en primer lugar se analizan los esfuerzos de la viga en el momento de transferencia de fuerza



axial, es decir, el preesfuerzo a que estará sometida.

Análisis de la viga de H^oP^o

Se observa en la secuencia del lanzado mediante rodillos, que nuestra viga estará sometida a esfuerzos a flexión en el transcurso del tramo tres. Es por tanto que se realiza el rediseño de la misma con el objetivo de determinar los momentos y esfuerzos, que nos servirán de referencia para el análisis posterior.

Análisis de la viga de H^oP^o para el lanzamiento mediante rodillos

La viga de H^oP^o está sometida a esfuerzos de tracción y compresión en el instante que se termina de tesar. Preparada para el lanzamiento de la misma, se observa que al estar en voladizo se producirá un esfuerzo a compresión en la parte inferior y tracción en la parte superior de la viga, el máximo momento que se producirá será cuando la viga este con la mitad en voladizo. Para modelar este problema se recurrió a la ayuda del programa SAP2000, referenciado por Lavado y Granados (2013), el cual analizará la viga en el instante del voladizo a la mitad, este programa se encargará de calcular y obtener los esfuerzos máximos de momento y, cortante en la viga, provocado por el peso propio de la misma.

Tesado exterior

Como solución al problema que presenta la viga en el instante del voladizo, se opta por contrarrestar los esfuerzos producidos por el preesfuerzo, a través de un tesado exterior en la viga, de tal forma que produzca una fuerza puntual en el medio de la misma, de esta manera adicionando un momento positivo, que equilibre el momento negativo producido en el voladizo. Mediante el programa

SAP2000, observamos que en la viga, aplicando el tesado exterior se provoca una carga puntual en el medio. Es decir, aplicando la fuerza puntual en el medio de la viga, se causara un momento positivo, equilibrando el momento negativo que se producía por la carga del peso propio de la viga, en el instante del voladizo, permitiéndonos contrarrestar los sobreesfuerzos de tracción y compresión.

Análisis de la viga con el tesado exterior

Con la ayuda del programa SAP2000, se comprueba la resistencia de la viga con la carga puntual en el medio (tesado exterior) y la carga muerta del peso propio de la viga, en el caso más desfavorable cuando la viga se encuentra apoyado en ambos extremos (simplemente apoyado). El máximo momento que se produce será a consecuencia del peso propio sumado al tesado exterior, momento positivo en el medio de la viga es de 340835.04kg-m, según esta ocasión seguidamente tenemos que verificar los esfuerzos producidos tanto a compresión como a tracción.

Construcción del tesado exterior

Como se observó anteriormente no existe problema alguno aplicando la carga puntual en el medio de la viga, que contrarrestara los momentos producidos en el voladizo. A continuación, se modela la forma de cómo se ejecutará el tesado externo: para producir una carga puntual de 22276.8kg (esta carga se origina por un cálculo invertido a partir del momento máximo 170417.52kg-m, producto de la carga puntual en la viga simplemente apoyada) en el medio de la viga, se necesita utilizar estructuras metálicas que soporten estas fuerzas. Por otro lado, se necesitaran tendones que a través del esfuerzo a tracción produzcan la carga



puntual deseada, en primer lugar se ideó la utilización de 2 tirfor de 3tn de capacidad. Sin embargo, no es suficiente por lo que se ocurre utilizar torones de pretensados de grado 270ksi al igual que se usaron en el preesfuerzo de la viga, a fin de garantizar la estabilidad.

En primer lugar tomamos como referencia los orificios que tiene cada viga, a 0.45m de la base y 0.65m de los extremos, es por ahí que pasaran los tendones; la viga de H^oP^o tiene una altura de 1.70m, con estos datos procedemos a modelar el tesado externo. Es así que se forma un triángulo con los tendones y la viga, a partir de estos datos se procede con el cálculo de las fuerzas.

Se toma una altura de 2.50 m encima la viga, porque es la que mejor se adapta para tener un ángulo favorable en los anclajes de los extremos y la fuerza horizontal que produzcan los tendones no afecten a la viga.

Diseño de estructuras metálicas para el tesado exterior

A continuación, procedemos al diseño de estructuras metálicas para el tesado exterior, los mismos que tendrán la función de soportar la carga puntual aplicada en el medio de la viga, formando el triángulo requerido analizado anteriormente.

Mástil

El mástil tendrá la función principal de soportar las fuerzas producidas por el tesado externo y transmitir a la viga la fuerza puntual requerida. La forma de este mástil tendrá el objetivo de triangular los tendones tal como se realizó en el modelado. Además estará diseñada de forma que los tendones formen un triángulo paralelo en ambos lados de la viga.

El mástil está constituido por dos perfiles C6x8.2, formando un pórtico de 2.5m de alto y 0.8m de ancho, unidos por celosías de perfil C6x8.2. El travesaño está formado por dos perfiles C6x8.2, de 1m de largo, en cuyos extremos se apoyan los tendones. Por ese motivo, ambos extremos se refuerzan con pies de amigo de perfil C6x8.2 soldados a los parantes; la base del mástil está constituido por un perfil C6x8.2 de 1m de largo, cuya función es la de transmitir toda la carga transversalmente en el medio de la viga.

Comprobación de la resistencia del mástil

Como el mástil es simétrico, se analiza en un solo extremo; debido a que los tendones se apoyan en los extremos del pórtico, los perfiles que conforman los parantes están sometidos a compresión.

Anclajes

Los anclajes para el tesado exterior son dos, ubicados cada uno en los extremos de la viga, la función principal de estos es la de anclar los tendones de tal forma que resistan y produzcan la fuerza puntual requerida, a su vez están anclados al hormigón en los extremos de la viga, con el motivo de evitar desplazamientos. Los anclajes están formados principalmente por dos perfiles de sección 50x210mm, 1.67m de longitud, se añade por encima de estos una plancha de 20x20cm con un orificio circular de 10cm de diámetro, donde se apoyaran las cunas de cada tendón, a ambos lados de la viga. Por otro lado, para el anclaje en el hormigón se adhiere a los perfiles una plancha de 40x50cm con ocho orificios para tornillos de empotramiento de 1/2plg de diámetro.



Comprobación de la resistencia de los anclajes

Prácticamente, los anclajes están sometidos a flexión, se ejerce fuerza en ambos extremos de los perfiles de 50x210mm, para analizar la resistencia tomaremos la fuerza total ejercida y comprobarla en la parte más desfavorable, que es en el medio de los perfiles de 50x210mm. Comprobando con un solo perfil de 50x210mm

Análisis de la viga en diferentes estados de carga durante el lanzamiento mediante rodillos

Para mayor seguridad en el momento del lanzamiento en el tercer tramo del viaducto, se realiza un análisis de la viga en diferentes estados de carga, es decir, análisis de la viga en diferentes posiciones durante el lanzamiento mediante rodillos; con estos resultados se tendrá mayor seguridad para efectuar esta alternativa.

Los estados de carga se modelaron con el programa SAP2000, obteniendo los resultados de los momentos máximos (positivos y negativos), en cada etapa durante el lanzamiento, se observa que los esfuerzos varían solamente en la carga producida por el peso propio de la viga. Por último, se observa que los esfuerzos máximos producidos en la viga, se presentan en la primera etapa (simplemente apoyado) y novena etapa (mitad en voladizo), de acuerdo con los esfuerzos admisibles del hormigón, los esfuerzos finales en la viga resisten satisfactoriamente al lanzamiento mediante rodillos.

Pila 2 de hormigón armado

La Pila 2 es una infraestructura de hormigón armado, está conformada de acuerdo con las especificaciones del plano principal del viaducto. Esta soporta las vigas postensadas del tramo dos como

también del tramo tres. En nuestro caso, para el lanzamiento de vigas mediante rodillos en el tramo tres, esta infraestructura permite utilizarla de apoyo para el pórtico metálico, la función principal que tiene es la de jalar y resistir a la viga mientras se realiza el lanzamiento. La Pila 2 está formada por una zapata de 7x9m con una altura de 1.4m, la corona de la zapata 2.7x4m con altura de 0.5m, la Pila o Pilar de sección 3x1.7m con las esquinas recortadas en forma circular a partir de los 30cm, altura de 11.34m, por último el cabezal de sección 7.78x1.25m con altura de 1.7m.

La armadura principal de la Pila está formada por dos líneas paralelas, la primera de 56 o 25 con estribos de 12, la segunda de 56 o 25 con estribos de 10/20, de acuerdo con las especificaciones de los planos principales del viaducto.

Comprobación de la resistencia de la pila 2

Analizando la Pila 2, la parte donde se debe verificar la resistencia será en la corona de la zapata (donde empieza la Pila o pilar), es ahí que se producirá un esfuerzo a flexión, debido a la fuerza horizontal por el jalado de la viga, este esfuerzo se presentara en la parte ancha de la Pila, es decir, de 3m. Analizando en la parte más desfavorable tomaremos como fuerza horizontal, el peso propio de la viga 44.55 Tn descartando el peso propio de la Pila 2. Dicho análisis se realiza como una viga en voladizo con una fuerza puntual en el extremo.

CONCLUSIONES

Según la topografía del área de trabajo, el tramo tres del viaducto es el más aconsejable para el lanzamiento mediante rodillos. Así, las estructuras metálicas involucradas en el lanzamiento



mediante rodillos, son: los rodillos, trípode y pórtico. Se calcularon las mismas para soportar el peso propio de la viga (44.55Tn), dándonos como resultado resistencias de diseño adecuados.

La viga de H^oP^o fue analizada con el objetivo de calcular los esfuerzos en la misma al momento de transferencia del preesfuerzo, obteniendo como resultado: $f_1=14.822\text{kg/cm}^2$ (parte superior a tracción) y $f_2=-207.967\text{kg/cm}^2$ (parte inferior a compresión). Por otra parte, analizando la viga para el lanzamiento mediante rodillos, se observa que cuando esta se encuentre con la mitad en voladizo también se producirán esfuerzos, debido al peso propio de la misma: $f_1=69.62\text{kg/cm}^2$ y $f_2=-77.75\text{kg/cm}^2$. Sumando ambos esfuerzos se producía una falla en la viga de H^oP^o. Para evitar la falla en la viga de H^oP^o, se calculó el tesado exterior que evitó dichos sobreesfuerzos en la misma, logrando mantener de forma enderezada la viga en todo el lanzamiento mediante rodillos a través de ejercer una carga puntual en el medio de la viga, con la ayuda de estructuras metálicas (mástil y anclajes) y torones formando un triángulo. Esta carga puntual se calcula inversamente a partir del momento máximo (170417.52kg-m) producido en la viga por una carga puntual (simplemente apoyada), obteniendo un valor de 22276.8kg.

Observando las estructuras de hormigón que intervienen en el lanzamiento mediante rodillos, la Pila 3 no sufre ningún esfuerzo adicional a su diseño original, en cambio la Pila 2 si ejercerá un esfuerzo adicional en la base de la Pila (entre la corona de la zapata y el inicio de la Pila), se realizó el cálculo más desfavorable analizando como viga en voladizo ejerciendo una carga puntual en el extremo de 44.55Tn (peso de la viga), obteniendo una resistencia de diseño favorable.

El proceso constructivo de lanzamiento de vigas mediante rodillos, se llevó a cabo según la hipótesis planteada, incluyendo el tesado exterior en cada viga del tercer tramo del viaducto, con el único detalle de que la viga fue jalada mediante un sistema de poleas, una polea ubicada en el extremo de la viga y otra en el pórtico situado en el cabezal de la Pila 2, jalando el cable con la ayuda de una grúa.

El presupuesto de la alternativa de lanzamiento de vigas mediante rodillos, alcanza un valor de 143 863.20bs, que surge del alquiler de equipo pesado. Esta alternativa es más económica en comparación con el relleno de tierra y la lanzadora de vigas, además tomando en cuenta que esta alternativa se ejecuta de forma inmediata, en el tiempo de 24 días calendario.

Este método solamente se utilizó en el tramo tres, para el izado del tramo dos y tramo uno, ya se contó con la ayuda de grúas de mayor capacidad e izar de manera cómo estaba proyectada desde el inicio. Levantado desde la base de las Pilas, sujetado a ambos extremos de la viga y colocar a su posición final.

REFERENCIAS

- Bazant, J. (2010). Expansión urbana incontrolada y paradigmas de la planeación urbana. *Espacio abierto*, 19(3), 475-503
- Benjumea, J., Chío, G., y Maldonado, E. (2010). Comportamiento estructural y criterios de diseño de los puentes extradosados: visión general y estado del arte. *Revista ingeniería de construcción*, 25(3), 383-398
- Chasco, F. (2000). La técnica de cimentación de puentes hasta el siglo XVIII. In *Actas del Tercer Congreso Nacional de Historia de la construcción: Sevilla*,



- 26 a 28 de octubre de 2000 (pp. 879-886). Instituto Juan de Herrera
- Flores, R., Arquipino, E., Estrada, J. C., y Quispe, V. H. (2013). Simulación de la demanda de suelo urbano en la ciudad de La Paz. *Revista Investigación y Tecnología*, 44
- García, G., y Eliesser, B. (2017). *La importancia de la topografía en la construcción de puentes vehiculares*. Facultad de Ingeniería-Ingeniería Topográfica e Hidrología-UNICACH
- Gómez, J. C., y Magnin, L. (2008). Cartografía geomorfológica aplicada a un sector de interés arqueológico en el Macizo del Deseado, Santa Cruz (Patagonia Argentina). *Investigaciones geográficas*, (65), 22-37
- Huarca Maququera, B., y Atahui Argamonte, J. (2016). Mejoramiento de la transitabilidad vehicular y peatonal del sector de Cruz verde en el Distrito de Poroy-Cusco
- Lavado Rodríguez, J., y Granados Romera, J. (2013). Cálculo de estructuras con el programa SAP2000
- López, J., y García, J. (2007). *Rehabilitación de un tramo de calle urbana de 381.6 metros en el Municipio de San Marcos*, Departamento de Carazo. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua
- Mayta, M. (2018). Alternativa para lanzamiento de vigas postensadas, mediante rodillos y tesado exterior, tramo tres del viaducto Huanu Huanuni – Alto Obrajes, La Paz. Potosí: Universidad Autónoma “Tomás Frías”
- Pichucho, C. (2012). *Diseño y fabricación de los rodillos y malacate para el desplazamiento del puente metálico de vigas continuas sobre el Río Cebadas de 60 metros de longitud y procedimiento de lanzamiento*. Espe. Sangolquí
- Olazábal Herrero, P. (2013). *La instrumentación: una nueva forma de comprender los puentes. Una aportación a un fenómeno desconocido: el gradiente térmico en pilas de gran altura*. Universidad de Cantabria
- Sánchez, M., y Llorente Zurdo, M. P. (2016). Las infraestructuras de ingeniería como génesis y expresión de la ciudad
- Tauber, F., Delucchi, D., Martino, H., y Bognanni, L. (2005). Sistema Integral de Información Geográfica Municipal. Municipalidad de Marcos Paz. Información Geográfica de La Paz
- Vardé, O. A. (2003). Fundaciones sobre pilotes de gran diámetro conexión vial Rosario-Victoria. *Memoria de Trabajos de Difusión Científica y Técnica*, (3), 22-38
- Villegas, P. (2013). Huanuni y la inminente transformación estructural de la minería. *PetroPress*, 31, 19-25
- Yepes Piqueras, V. (2018). Construcción de puentes mediante lanzador de vigas. Universidad Politécnica de Valencia
- Zotar, C., Aníbal, M. (2014). *Diseño de un puente con estribo integral*. Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales