

Blanca Inés Soracá Reyes
Ingeniero en Vías y Transportes,
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja
blancaisoraca@hotmail.com

Víctor Manuel Puerto Nócu
Ingeniero Civil, Universidad Católica, Bogotá
vimapuno@gmail.com

Fuente Tipográfica: <http://www.sxc.hu/photo/831868>

Diseño del Puente

Los Yopos

RESUMEN

Para la adecuación de la vía entre los Municipios de Labranzagrande (Boyacá) y el Morro (Casanare), se realizaron las actividades correspondientes y necesarias para realizar la localización, diseño y formulación del proyecto, para la construcción de un puente, se realizaron actividades tales como estudios preliminares, estudios de suelos, levantamiento topográfico, estudios hidrológicos, análisis de TPDs, así como predimensionamiento y análisis de las diferentes alternativas que se tienen para desarrollar un proyecto de estas características. Teniendo como base los anteriores análisis, además de considerar la longitud, gálibo y las losas de aproximación requeridas como acceso al puente, se consideró el método para el diseño de las vigas en sistema preesforzado. Con este proyecto se buscó incentivar el desarrollo socio-económico de la región, mitigando el impacto ambiental y ecológico de esta región.

Palabras Clave: puente postensado, quebrada Los Yopos, vía Labranzagrande–El Morro

ABSTRACT

For the adecuación of the road between the Municipalities of Labranzagrande (Boyacá) and the Muzzle (Casanare), realized the corresponding and necessary activities to realize the localización, design and formulation of the project, for the building of a bridge, realizing activities such as preliminary studies, studies of soils, levantamiento topographical, studies hidrológicos, analysis of TPDs, like this as, predimensionamiento and analysis of the different alternatives that have to develop a project of these characteristics. Having as it base the previous analyses, in addition to considering the length, gálibo and the losas of approximation required like access to the bridge, considered the method for the design of the beams in system preesforzado. With this project looked for incentivar the development partner –economic of the region, mitigating the environmental and ecological impact of this region.

Keywords: bridge postensado, broken the yopos, road labranzagrande – the morro

I. INTRODUCCIÓN

En la zona oriental del Departamento de Boyacá, en el piedemonte llanero, se encuentra una región que además de haber sufrido la influencia de grupos armados, posee unas características geográficas abruptas las cuales inciden en el avance de su infraestructura vial que impiden la interrelación entre los centros o polos de desarrollo. Entonces, se efectuaron estudios sobre la quebrada Los Yopos, ubicada a 3,3 kilómetros del casco urbano de Labranzagrande, paso obligado de comunicación terrestre entre el Municipio de Labranzagrande que pertenece al Departamento de Boyacá y el Municipio de El Morro, con jurisdicción en Casanare.

Para dar solución al problema citado, se iniciaron indagaciones de orden verbal, en lo referente a la forma de desplazamiento propio de la región, donde se evidenció que las gentes que viven en el área de influencia han utilizado hasta hace poco menos de un año, como medio de transporte el ir a pie, a caballo y en bicicleta, ya que no existía una vía que permitiera acceso a vehículos automotores. Se efectuó un diagnóstico al carretable actual, encontrándose una estructura a nivel de apertura de vía sin ningún tipo de mejoramiento, con ausencia total de obras de canalización de aguas de escorrentía y lluvias y con pasos obligados por quebradas y ríos con caudales de aguas considerables.

Sin embargo, con un esfuerzo por parte del Municipio de Labranzagrande, se han iniciado durante el año 2010, labores sobre esta vía, correspondientes a ampliación de calzada, rectificación de alineamientos, construcción de estructuras tales como alcantarillas y box –coulvert, así como, mejoramiento de la rasante mediante la conformación de la banca e instalación de una estructura en afirmado.

Está pendiente la intervención en aquellos pasos naturales sobre las quebradas, ya que se requiere efectuar obras de mayor envergadura. Uno de estos puntos que presenta grandes conflictos y que en épocas de invierno impiden la comunicación entre los municipios, es el sector denominado Los Yopos, por el cual cruza la quebrada La Yopera. Es por estos aspectos, que de común acuerdo con la administración municipal de Labranzagrande, se consideró la alternativa de iniciar los estudios y diseños para la construcción del puente que permita el cruce sobre la quebrada La Yopera, con el fin de darle continuidad a la vía, además de brindar seguridad, confort y economía a los usuarios de la misma.

Se iniciaron los trabajos preliminares, recopilando información sobre pluviometría de la zona. Se efectuaron los trabajos de topografía, defi-



niendo la ronda del ponteadero, así como la longitud proyectada de la estructura por diseñar. Se ejecutaron estudios de suelos para la caracterización del terreno, así como la clasificación geológica de la zona. Se realizaron estudios de tráfico promedio diario, TPD, para poder determinar el tránsito desviado y proyectado por utilizar dentro del diseño del puente. Así mismo, se inició una revisión en el área de influencia de las posibles fuentes de materiales para la obtención de la materia prima y la disponibilidad de los centros de suministros más próximos, para poder definir el valor comercial de los materiales por utilizar en la construcción del puente y obtener un valor de la obra ajustado a las condiciones encontradas.

Se procedió a ordenar los resultados de los diferentes ensayos para determinar el tipo de puente por diseñar, teniendo en cuenta aspectos como: valor real de la construcción del puente, costos de obra adicionales de adecuación de accesos al puente, tiempo de ejecución de la obra, desplazamiento

de maquinaria pesada a la zona y afectación a los propietarios de los predios.

Dentro del estudio de suelos se determinó que la zona definida como ponteadero, presenta una capacidad portante alta, con la cual se definió el tipo de cimentación. Así mismo, con el levantamiento topográfico se estableció la diferencia de niveles entre los puntos definidos para la ubicación de los estribos, estableció una diferencia de cotas de 4,0 metros entre estos puntos. Esto determinó la necesidad de levantar el estribo aguas abajo, margen derecho, además de tener que diseñarse una rampa de acceso o aproches.

Se presentaron varias alternativas ante la administración municipal: construcción de un puente en estructura metálica, construcción de un puente en concreto reforzado y la construcción de un puente en concreto preesforzado, se tomó como viable esta última opción, ya que ofreció mayores garantías de estabilidad y seguridad.



II. ESTUDIOS Y DISEÑO DEL PUENTE

A. Estudios preliminares

Dentro de estos estudios se efectuaron mediciones de TPDs, se evaluaron las condiciones del área de influencia de la Quebrada Los Yopos, se determinó el caudal de aguas, y se definió el área de la cuenca, incluyendo parte de la Cuenca del Río Cravo Sur. Se hizo el levantamiento topográfico de planta y perfil, secciones de ponedero, batimetría y detalles de curvas de nivel de la zona de influencia.

B. Estudios de suelos e hidrología

Con esta información y una vez definida la cuenca hidrográfica, se llevó a cabo el cálculo de los niveles máximos y mínimos de agua y se proyectó la profundidad de las estructuras de cimentación para los estribos del puente. Los estudios de suelos permitieron establecer los perfiles estratigráficos del suelo, así como, el cálculo de la capacidad portante, valor con el cual se determinó el tipo y la profundidad de cimentación. Los resultados obtenidos son como sigue:



FOTOGRAFÍA 1. PANORÁMICA, CAUCE QUEBRADA LA YOPERA
Fuente: Autores del proyecto

1) PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DEL SUBSUELO PARA EL DISEÑO DE CIMENTACIÓN, NIVEL FREÁTICO Y PERFIL ESTRATIGRÁFICO DEL SUELO

El proyecto y diseño del puente se definió teniendo en cuenta las condiciones geológicas tanto locales como regionales, para evaluar comportamientos futuros de las obras por construir con respecto a su estabilidad, así como los impactos ambientales que se puedan generar.

Con la exploración geológica se determinó el tipo de suelos y las rocas que componen el área donde se proyectó la construcción de la estructura, por medio de las cuales se definieron las zonas donde se establecieron los estribos.

El Perfil de suelos corresponde a depósitos de tipo aluvial compuesto por bloques de rocas areniscas embebidas dentro de una matriz heterométrica de arcillas, limos, gravas y arenas. El substrato rocoso aflora cerca al sitio del proyecto, pero en profundidad (Vargas, J.2010, en prensa).

Se detectó la posición del nivel freático de las aguas con influencia en el área del proyecto a 1,20 metros de profundidad respecto a la rasante actual, lo que permitió definir el nivel de cimentación más favorable, además del tipo y forma de transmisión de cargas al subsuelo y la incidencia en el proceso constructivo.

C. Definición del diseño estructural del puente

De acuerdo con los resultados obtenidos, se analizó y evaluó el tipo de diseño que se ajustaba a las condiciones encontradas en el área de influencia. Se consideraron como parámetros de diseño sísmico:

TABLA I PROPIEDADES INDICES DE PA, CAPA ENTRE 0,30 Y 5,50 METROS DE PROFUNDIDAD
Fuente: Estudio de Suelos. Vargas, J. 2010

ESTRIBO (Aguas abajo)	Wn (%)	IP (%)	Cohesión (Kpa)	Fricción	Gs	e	PESO ESPECIFICO KN/m3	E, Kpa
Derecho	28	14	45	3	2.62	0.3	17.9	10800
Izquierdo	29	13	48	6	2.62	0.3	17.5	10800



perfil de suelo tipo S2, coeficiente de sitio 1,20 y zona de amenaza sísmica alta.

Se propuso la construcción de un puente tipo preesforzado, con estribos y aletas en concreto reforzado, ancho de calzada 4.0 metros lineales, andén de 1.1 metros y bordillo de 0.25 metros a lado y lado de la calzada y un espesor de placa de 0,30 metros, capa de rodadura en pavimento flexible con un espesor de 0,7 metros y barandas metálicas.

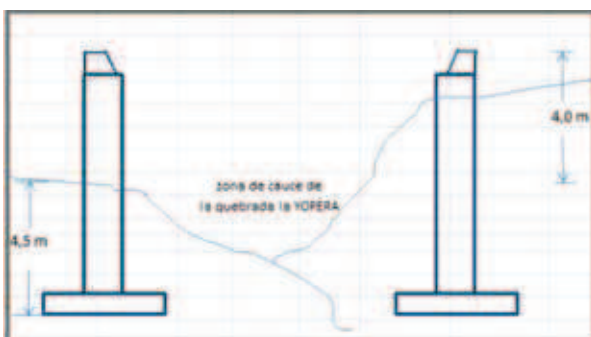


FIGURA 1. UBICACIÓN DE ESTRIBOS
Fuente: Autores del proyecto

Para la realización de los diseños se utilizó el método de fuerzas de desviación (fuerzas balanceadas y fuerzas equivalentes), trabajando el sistema como una viga simplemente apoyada, generándose un momento a causa del preesfuerzo, comportándose la fuerza de desviación como una carga uniformemente distribuida. Se consideraron dentro del diseño los diagramas de cuerpo libre interno y externo, para controlar la contraflecha máxima admisible.

III. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Revisada la topografía del área de ronda de la Quebrada La Yopera, se evidenció una diferencia de cotas del terreno de 4,0 metros de altura, respecto al nivel de la rasante existente, de la margen izquierda aguas abajo de la quebrada. Esta situación exigió que adicional al diseño del puente se contemplaran obras como aproches y aletas de los estribos, para controlar los factores de empuje y deslizamientos del suelo.

Entonces, se llegó a determinar el diseño del puente que más se ajustó a las condiciones y pará-

metros existentes. Se tuvo especial cuidado en las características geotécnicas e hidrológicas de la zona y puntualmente en el sitio específico donde se localizó el puente, por lo que el método empleado en el diseño fue el sistema preesforzado, postensado, con losa en concreto y apoyado en dos estribos.

Para el cálculo de capacidad portante, se consideraron tres tipos de cimentación, teniendo en cuenta la profundidad y ancho de los cimientos y de acuerdo con las propiedades de suelos encontradas, el tipo de proyecto, las áreas involucradas. Se consideró trabajar un sistema de cimentación superficial.

TABLA II. TIPOS DE CIMENTACIÓN DE ACUERDO CON LA PROFUNDIDAD DE DESPLANTE Y ANCHO DE CIMIENTOS

CLASE	RELACIÓN	TIPO CIMENTACIÓN
1. Superficial	$Df/B = 0 - 4.5$	Zapatas y placas
2. Semiprofunda	$Df/B = 5 - 10$	Cajones - Caissons
3. Profundas	$Df/B = \text{mayor a } 10$	Pilas - Pilotes

Fuente: Estudios de suelos. Vargas.J. 2010, en prensa

Df = profundidad de desplante de la cimentación
 B = Ancho del cimiento.

Para elegir la profundidad de cimentación se optó por una profundidad determinada, con base en consideraciones de tipo constructivo y económico, principalmente, y se chequeó con un factor de seguridad, asumido si a esta profundidad el suelo de cimentación ofrece las condiciones de resistencia, para fundar la estructura.

De la información anterior se concluyó que el tipo de cimentación que mejores resultados presenta por las características de las construcciones son las zapatas corridas, ya que por la geometría de los estribos éstas deben ser como mínimo iguales. La elección de las dimensiones de la cimentación fueron definidas por las cargas que se van a transmitir al suelo, y el tipo de aplicación de la carga de la columna al cimiento. En los cálculos se utilizó un factor de seguridad de 3. El nivel de cimentación de los estribos se consideró a 4.50 metros de profundidad y retirados de la zona de afectación de las avalanchas, cuyos rastros se aprecian en todo el sector.

El comportamiento de los asentamientos en una fundación superficial se definió como sigue:

$$S = S_i + S_c + S_s$$

S = Valor del asentamiento

S_i = Asentamiento inmediato o distorsión del suelo

S_c = Asentamiento por consolidación

S_s = Asentamiento por compresión secundaria.

El asentamiento inmediato, es el asentamiento que ocurre esencialmente con la aplicación de la carga de la estructura. Los otros dos componentes resultan de la expulsión gradual del agua, de los vacíos y de la consiguiente compactación de la estructura del suelo.

Estos asentamientos de todas formas se producen sin importar el tipo de estructura que se le aplique al suelo, y están dados en función del tiempo. Dentro de los aspectos más importantes están que los asentamientos deben ser uniformes a toda la estructura para no producir hundimientos diferenciales, a la vez no deben ser de gran magnitud y se



debe evitar la influencia de la estructura sobre las construcciones adyacentes.

De acuerdo con el tipo de suelo, en el cálculo de los asentamientos se tiene en cuenta: si el suelo de fundación es cohesivo, se puede usar la teoría elástica; si el suelo de fundación es granular, se deben usar métodos empíricos experimentales.

Para la zona del proyecto, donde el perfil de suelo es granular y cohesivo, se utilizó el método de Schermertmann para la evaluación de los asentamientos. Mediante un programa de computador se calcularon los asentamientos totales para las cargas obtenidas en el capítulo de capacidad portante.

En lo concerniente al diseño estructural, se consideró un sistema de concreto tipo pre esforzado, con el propósito de obviar una pila intermedia, considerando que la luz horizontal del puente es de 42 metros. Se tomó en cuenta que la capacidad estructural del elemento depende únicamente del tensionamiento que generalmente se efectúa a 28 días de fundida la losa, con el fin de aprovechar en su totalidad la resistencia de diseño. Se utilizó para el cálculo el método de esfuerzos admisibles.

Se recomendó dentro del diseño, que los cables o torones de la viga de concreto deben ser recubiertos o protegidos mediante un ducto para disminuir la corrosión en la capa pasiva y a la vez que garantice la protección del acero de refuerzo a la influencia de otros agentes como sales, cloruros, ácidos y otros que ataquen la estructura molecular de los torones.

Es de resaltar que para la evaluación económica se tuvieron en cuenta factores específicos tales como: localización de los centros de acopio de materiales necesarios, el estado de las vías de acceso y la disponibilidad de maquinaria requerida en este tipo de tecnología constructiva. Según evaluación de cantidades de obra, se pudo establecer que el valor total estimado para la ejecución del proyecto asciende a un valor de mil cien millones de pesos (\$1.100.000.000,00) para la infraestructura y superestructura del puente, considerando las obras complementarias para protección, pre-ataguías y aislamiento temporal de la zona aledaña al proyecto.

IV. CONCLUSIONES

El sitio donde se ubica el proyecto corresponde al cruce de la carretera que comunica al municipio de Labranzagrande, en el Departamento de Boyacá, con el corregimiento de El Morro, en el Departamento de Casanare.

El sitio del proyecto presenta una zona definida desde el punto de vista geotécnico, para el diseño y predimensionamiento de los dos estribos, correspondiendo a un suelo con un amplio depósito coluvio – aluvial, caracterizado por grandes bloques de rocas areniscas embebidos dentro de una matriz de limos arenosos, y gravas con bloques de arcillas, lo que implicó un aumento en las dimensiones de la estructura de cimentación.

Para la exploración del subsuelo en el sitio del proyecto se realizaron dos (2) sondeos, con profundidad máxima de exploración de 5.0 metros, utilizando equipo de perforación para las diferentes pruebas de SPT y DCPT, determinándose la profundidad de la cimentación de la infraestructura del puente.

La región ha sido catalogada como una zona de riesgo sísmico alto, lo cual fue indicio de condiciones críticas para el diseño.

Según los perfiles de suelos, se define una sola zona de igual comportamiento geotécnico correspondiente a un depósito de tipo coluvio – aluvial, donde el sustrato rocoso está en profundidad sin aflorar cerca al sitio del proyecto. Por lo tanto, el nivel de cimentación de los estribos debe estar en el mismo material que conforma el depósito cuaternario, para de esta manera garantizar estabilidad en la estructura.

En los sondeos efectuados se encontró nivel freático a 1.20 mts de profundidad, por lo que se definió la implementación de sistemas de filtro y drenaje para el manejo de estas aguas.

Aunque para el caso de suelos estratificados no se tiene definida una teoría única sobre los asentamientos, estos se calcularon con base en la teoría elástica, la cual permite calcular asentamientos tolerables en las construcciones.



El sitio donde se localiza el proyecto corresponde a una topografía abrupta, de pendientes en media ladera, de forma cóncava sin desnivel entre las dos orillas donde se proyecta el puente. Se evidencian depósitos de avalanchas provenientes de la parte alta de la cuenca, sector Aguas Arriba, según pobladores de la región, el régimen de la misma es continuo y torrencial en épocas de invierno, por lo que se tuvo en cuenta el diseño de estructuras de protección, contención y estabilización de los taludes.

Según los análisis y estudios, el tipo de cimentación que mejor resultado ha presentado en otras estructuras de características similares en este sector, ha sido el de construcción de zapatas corridas, ya que por la geometría de los estribos, éstas deben ser como mínimo iguales.

Este estudio se complementó con los análisis hidrológicos e hidráulicos de la cuenca para poder definir los sitios más convenientes en la localización de los estribos, según el área de drenaje requerida para eventos de precipitaciones máximas.

El nivel de cimentación de los estribos se recomienda a 4.50 metros de profundidad, retirados de la zona de afectación de las avalanchas cuyos rastros se aprecian en todo el sector por lo que se debió establecer puntualmente la ubicación de los estribos.

Una vez obtenidas las cargas reales que se transmiten al suelo, se deben chequear nuevamente los asentamientos probables manteniendo la capacidad portante admisible de seguridad, si estas cargas se mantienen dentro de los rangos presentados en este estudio no será necesario chequearlas nuevamente, lo que nos indica que los valores están dentro de los rangos permisibles.

Para el diseño estructural se tuvieron en cuenta los factores sísmicos provenientes del estudio de suelos, la norma sismo resistente, NSR10, el código colombiano de diseño sísmico de puentes, CCDSP95, los cuales rigen este tipo de construcciones.

Las especificaciones y resultados obtenidos del diseño se deben seguir en el proceso constructivo y si se presenta alguna duda sobre el proceso constructivo, debe concertarse cualquier cambio con el ingeniero diseñador.

V. AGRADECIMIENTOS

Los autores reconocen las contribuciones y aportes dentro del proyecto al Ingeniero Néstor Rafael Perico, profesor titular de la Universidad Santo Tomás, por la revisión del texto final. Agradecimiento a Félix Hernando Poveda Tibavija, alcalde municipio de Labranzagrande, por el apoyo logístico dado al proyecto. Por el aporte en el proceso de diseño al Ingeniero Hernando Puerto, especialista en estructuras. Por la revisión del proyecto final al Ingeniero Harold Álvarez, quien tiene maestría en estructuras y es Especialista en Estructuras. Agradecimientos al Ingeniero Carlos Vallecilla, director del Proyecto. Y gratitud al ingeniero Carlos Reyes, coordinador postgrados de la facultad de Ingeniería Civil Universidad Santo Tomás, por su incondicional apoyo dentro del desarrollo de la especialización.

VI. REFERENCIAS

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (2010). Bogotá

Colombia, Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes. 30 de Junio de 2009, Bogotá.

R. Peck. 1987. Ingeniería de Cimentaciones. Limusa

Vallecilla, Carlos.(2009). Manual de Diseño de Puentes Preesforzados, Bogotá: Universidad Nacional.

Vargas., J. (2010). Estudios de suelos, Puente Quebrada Los Yopos. Sogamoso: en prensa.