

Artículo Científico

<https://doi.org/10.52428/20758944.v11i34.702>

## DISEÑO DE FUNDACIONES DEL PASO A DESNIVEL AVENIDA 6 DE AGOSTO Y AVENIDA PANAMERICANA MEDIANTE EL USO DE MIRCOPILOTES

### FOUNDATIONS DESIGN OF THE OVERPASS AT 6 DE AGOSTO AVENUE AND PANAMERICANA AVENUE USING MICROPILES

Nathalie Le Noir Rivas (1)  
Hugo Álvarez Iriarte (2)

#### RESUMEN

Con el propósito de descongestionar el tránsito del sur de la ciudad de Cochabamba-Bolivia, se planteó la construcción del paso a desnivel en la intersección de las avenidas 6 de Agosto y Panamericana, optando por una solución de puente tipo arco.

Tomando en cuenta la magnitud de la estructura, las solicitaciones de carga que ésta impondrá sobre las fundaciones y las características del subsuelo, un diseño empleando fundaciones profundas fue necesario. Por consiguiente, se elaboró un diseño alternativo empleando micropilotes, que permitió la construcción de la fundación del puente, considerando las condiciones reales de campo sin afectar la estabilidad estructural, además permitió un ahorro económico significativo en el proyecto.

De forma complementaria, se realizó una optimización del diseño final propuesto. Se determinó un ángulo de inclinación óptimo que favoreció el comportamiento de los micropilotes frente a las cargas laterales, el cual permitió reducir el número de micropilotes y la geometría de los cabezales, logrando así determinar una solución técnica satisfactoria, y además económicamente factible en el medio.

**Palabras clave:** Paso a desnivel. Fundación. Micropilotes. Pruebas de Carga

#### ABSTRACT

In order to improve the traffic flow in the city south, in Cochabamba, Bolivia; it was necessary the construction of an overpass at the intersection of 6 de Agosto and Panamericana avenues, choosing an arch-type solution.

Given the magnitude of the structure, the load stresses imposed on the foundations and the characteristics of the subsurface, a design using deep foundations has been necessary. Therefore, an alternative design using micropiles has been required, which has allowed the construction of the foundation of the bridge, considering the actual field conditions without affecting the structural stability, and also has allowed a significant saving in the budget.

As a complement, an optimization of the proposed final design, with an optimum tilt angle that favored the behavior of the micropiles against lateral loads, which reduced the number of micropiles and the geometry of the cap, thereby achieving a satisfactory technical solution, and also economically feasible.

**Keywords:** Overpass. Foundation. Micropiles. Load Testing.

#### INTRODUCCIÓN

Con la finalidad de descongestionar el tránsito de la zona sur de la ciudad de Cochabamba, se planteó la

1) Estudiante Egresada Ingeniería Civil. Univalle Cochabamba, Bolivia. [naty\\_lenoir@hotmail.com](mailto:naty_lenoir@hotmail.com)

2) Ingeniero Civil. Universidad Mayor de San Simón. Cochabamba, Bolivia. Master of Engineering. University of Florida. Florida, Estados Unidos. Gerente Técnico Constructora Álvarez Ltda. Docente Univalle Cochabamba. [victor-alvarez@alvarezltda.com](mailto:victor-alvarez@alvarezltda.com)

construcción de cuatro pasos a desnivel en puntos de congestión vial. Uno de estos puntos es la intersección de las avenidas 6 de Agosto y Panamericana, en las cuales se realizó el análisis de diversas alternativas, optando por una solución de puente tipo arco. La solución adoptada permitirá el acceso de la Av. Panamericana por encima de la plataforma y el flujo de la Av. 6 de Agosto por debajo de la misma, logrando así descongestionar el tráfico vial (Figura N° 1).

**Figura N° 1. Modelo 3D del paso desnivel**



Fuente: (1).

El paso a desnivel requerirá fundaciones profundas, debido a: la magnitud de la estructura, las solicitaciones de carga que ésta impondrá sobre las fundaciones y las características del subsuelo.

Las fundaciones originalmente propuestas fueron diseñadas empleando pilotes convencionales. Al realizar los estudios de suelos correspondientes para verificar el diseño propuesto, se encontró un gran número de tuberías pertenecientes a la red de servicios básicos, sin registro alguno. Muchas de estas tuberías interferían con la ubicación inicialmente proyectada para los pilotes propuestos, impidiendo así su libre construcción. Por consiguiente, se requiere elaborar un diseño alternativo, que permita la construcción la fundación del puente evadiendo las tuberías de la red de servicios básicos y que no afecte la estabilidad estructural de la superestructura.

#### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Considerando la magnitud de la estructura, las solicitaciones de carga, el emplazamiento del proyecto, las condiciones reales de campo y las características del subsuelo: *¿Cuál es la fundación profunda que representa una solución óptima para el Paso a desnivel Av. 6 de Agosto y Av. Panamericana?*

#### **JUSTIFICACIÓN**

Cuando las condiciones del suelo son tales que es necesario el uso de fundaciones profundas, la elección más adecuada del tipo de fundación profunda involucra tomar en consideración diversos factores, tales como: las características del subsuelo, la profundidad necesaria, la magnitud de las cargas impuestas por la estructura, la existencia de cargas laterales, los métodos de ejecución, entre otros (2).

Dentro de las fundaciones profundas, el empleo de micropilotes postinyectados o postgrouteados es una opción estructural útil que permite dar soluciones óptimas a diversos problemas geotécnicos, especialmente cuando no es factible la ejecución de pilotaje convencional. Los micropilotes tienen la ventaja de poder resistir elevadas cargas de compresión y tracción, e incluso cargas laterales puesto que estos pueden ser inclinados. Otra cualidad de los micropilotes son sus dimensiones reducidas, lo que permite el uso de equipos de menor tamaño para su construcción (2).

#### **OBJETIVO GENERAL**

Diseñar las fundaciones para el Paso a Desnivel Av. 6 de Agosto y Av. Panamericana, empleando micropilotes, asegurando la estabilidad y funcionalidad de la estructura, obteniendo una solución razonablemente económica.

#### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Evaluar los estudios geotécnicos realizados, inferir el perfil estratigráfico y estimar los parámetros de resistencia del suelo.
- Determinar las características geométricas del micropilote de diseño, de modo que soporten las cargas impuestas por la estructura y asimismo representen una solución económicamente factible en el medio.
- Diseñar el grupo de micropilotes y cabezal a partir de las solicitaciones impuestas por la estructura, empleando un modelo analítico que simule la interacción suelo-estructura.
- Comprobar la capacidad real de los micropilotes realizando pruebas de carga verticales y laterales.
- Optimizar el modelo de las fundaciones, basándose en los resultados obtenidos en las pruebas de carga.

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

El proyecto a ser desarrollado constituye una investigación cuantitativa; cuyo enfoque es descriptivo para un caso específico de diseño, lo cual implica en primera instancia una revisión bibliográfica del área de estudio y su alcance tecnológico. La metodología que se empleará para el diseño de las fundaciones es la siguiente:

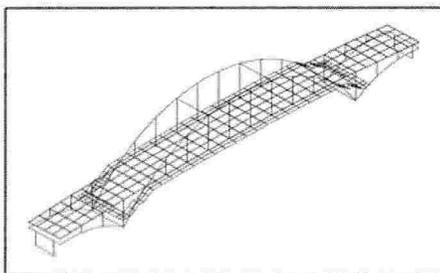
- Mediante estudios geotécnicos exploratorios se logrará inferir el perfil estratigráfico y estimar los parámetros de resistencia del suelo, utilizando las especificaciones propuestas en la normativa de American Society for Testing and Materials (*ASTM*).
- Empleando métodos empíricos se determinará la capacidad de carga, se utilizará la metodología propuesta en la normativa de American Association of State Highway and Transportation Officials (*AASHTO*) para el Diseño de Puentes por el Método *LRFD* (3) y se comparará el resultado obtenido con la Metodología Francesa propuesta por Michel Bustamante (4).
- Mediante el programa *FB MultiPier*, se realizará el modelo analítico que permitirá simular la interacción suelo-estructura. A través de un proceso iterativo se determinará las características geométricas y el número de micropilotes, su distribución necesaria y las dimensiones del cabezal, que permitirán soportar las cargas de la superestructura y cargas laterales. El modelo será validando mediante pruebas de carga verticales y laterales, las cuales serán ejecutadas siguiendo las recomendaciones de la norma propuesta por *Federal Highway Administration (FHWA)* “Diseño y Construcción de Micropilotes” (4). Finalmente, en base a los resultados obtenidos en las pruebas de carga se optimizara el diseño.

**RESULTADOS**

Para dar inicio al diseño se requirieron como datos preliminares las reacciones en las fundaciones, determinadas a partir de un análisis estructural que contemple la totalidad de cargas actuantes en la etapa final, el perfil estratigráfico y los parámetros de resistencia del subsuelo.

Para determinar las reacciones en el modelo analítico de superestructura, se consideró inicialmente a las fundaciones como apoyos empotrados, sin embargo es más apropiado utilizar apoyos elásticos, obteniendo así una calibración de la rigidez del suelo que contempla la interacción suelo-estructura (Figura Nº 2).

**Figura Nº 2. Modelo estructural supraestructura**



*Fuente: Elaboración propia. Noviembre 2014.*

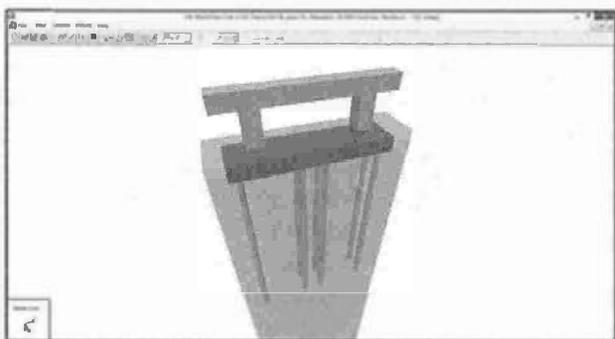
Se evaluaron los estudios geotécnicos realizados, se infirió el perfil estratigráfico y se estimaron los parámetros de resistencia del suelo. Los estratos superiores corresponden a suelos arcillosos y los inferiores a suelos limo-arcillosos. Puesto que el suelo de fundación es principalmente arcilloso, se elaboró el diseño a partir de micropilotes postgrouteados, dado que su procedimiento constructivo mejora considerablemente las propiedades geotécnicas del suelo.

Para determinar la capacidad de carga del micropilote de diseño se empleó dos metodologías empíricas, la metodología propuesta en la normativa *AASHTO-LRFD* (3) (950.02 [kN]) y se comparó el resultado obtenido con la Metodología Francesa propuesta por Michel Bustamante (4) (1125.53 [kN]). La metodología de diseño propuesta por la *AASHTO-LRFD* utiliza coeficientes que dependen del tipo de suelo y tipo de sistema de inyección, los cuales varían en rangos amplios, por ello la capacidad de carga variará de igual manera. De igual forma, la Metodología Francesa utiliza coeficientes similares, pero los rangos propuestos varían en menor proporción, por lo cual se comparó ambos métodos para así encontrar un valor de capacidad de carga similar.

Si bien se realizaron cálculos a partir de dos diferentes metodologías, éstos manejan coeficientes dependientes del tipo de suelo determinados a partir de pruebas empíricas en diversos, los cuales probablemente no se aplican en su totalidad a la realidad del suelo de fundación. Por este motivo se ejecutaron pruebas de carga, para contrastar los resultados determinados. Se efectuó una prueba de carga a compresión a 1032.01 [kN], sin llegar a la falla, para verificar los resultados obtenidos. Por lo tanto, su capacidad es mayor a la determinada, confirmando así al diseño, un margen de seguridad adicional.

Para plasmar el diseño de la fundación se empleó un modelo analítico, que permitió simular la interacción suelo-estructura, utilizando el *FB MultiPier*. Es un programa de elementos finitos desarrollado para llevar a cabo el análisis estructural de la interacción suelo-estructura. Mediante este programa se verificó la capacidad estructural de los micropilotes de la fundación, asimismo, proporcionó resultados de solicitaciones en el cabezal, deformaciones y relación demanda/capacidad del hormigón-acero para los micropilotes (Figura Nº 3).

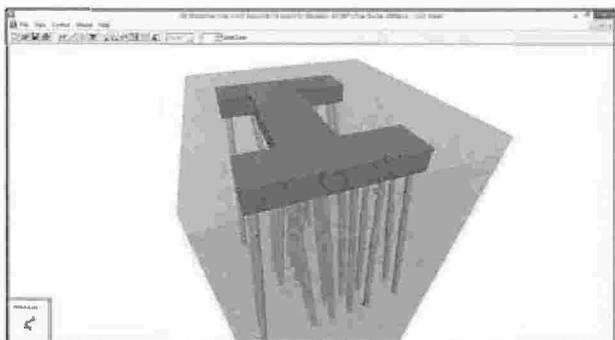
Figura N° 3. Modelo fundación de estribos



Fuente: Elaboración propia. Enero 2015.

En este diseño en específico, el arco central de la estructura tendrá una tendencia a abrirse hacia los extremos generando fuerzas laterales en la fundación, por lo cual la utilización de micropilotes inclinados es favorable para este diseño. Para obtener los modelos finales de fundación se probó diferentes configuraciones, variando: el diámetro, la longitud postgrouteada, el ángulo de inclinación y posición del micropilote, y geometría del cabezal. La selección del diámetro y longitud del micropilote dependió de optimizar el número de micropilotes en el grupo y también facilitar el proceso constructivo. El diámetro de 0.30 [m] y la longitud de 11 [m] (postgrouteado entre los 3 y 11 [m] de profundidad) redujo notablemente el número de micropilotes (Figura N° 4).

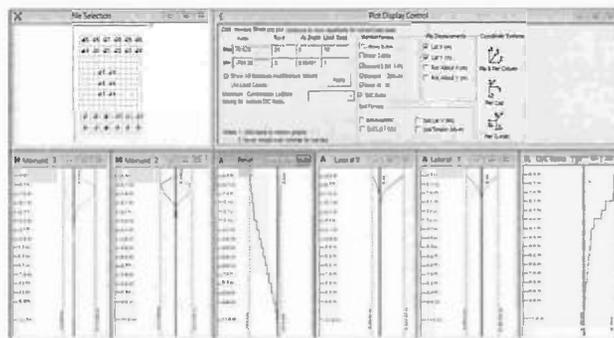
Figura N° 4. Modelo fundación pilas



Fuente: Elaboración propia. 2015.

Los modelos finales de fundación para las pilas constan de 30 micropilotes, inclinados a 5° y 10° respecto a la vertical. Sobre estos 30 micropilotes se apoya un cabezal de 1.00 [m] de espesor, de donde nacen los arcos de la superestructura. Los estribos constan de 8 micropilotes verticales, sobre los cuales se apoya un cabezal de 0.75 [m] de espesor, de donde nacen dos columnas sobre las que a su vez se encuentra la viga de apoyo de la superestructura (Figura N° 5).

Figura N° 5. Resultados simulación pila sur 30 micropilotes a 5° y 10°



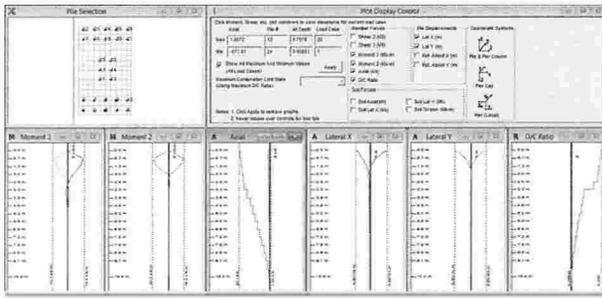
Fuente: Elaboración Propia. Enero 2015.

Si bien el diseño alternativo por el cual se optó cumplía con las solicitaciones de carga impuestas por la superestructura y cargas laterales, una limitante para este diseño fue la maquinaria disponible para realizar la perforación por parte de la constructora. No obstante, existen maquinarias que realizan la perforación a mayor ángulo de inclinación, teniendo en cuenta que a mayor ángulo se tendrá una mayor resistencia ante las cargas laterales. Es por ello que de forma complementaria se realizó una optimización del diseño final, incrementando el ángulo de inclinación logrando así reducir el número de micropilotes y geometría del cabezal.

Si bien una mayor inclinación permite un mejor comportamiento ante estas fuerzas horizontales, la existencia de fuerzas verticales grandes es la que limita dicha inclinación. La inclinación óptima para cierta combinación de fuerzas corresponde a la inclinación de la fuerza total existente en la fundación.

Después de analizar los resultados obtenidos para los diferentes ángulos de inclinación, se optó por 26 micropilotes a 20° de inclinación con respecto a la vertical para el diseño optimizado, ya que al incrementar el ángulo de inclinación las deformaciones laterales disminuyen. Por el contrario, las deformaciones verticales incrementan a mayor ángulo pero aun así se encuentran dentro los rangos aceptables. En este caso la carga muerta de los arcos tiene mayor ponderación y la resultante de estos se encuentra a 22° por ello los modelos de 20° y 25° presentan resultados más óptimos, aun así se optó por el modelo de 20° ya que presenta menores deformaciones y valores de la relación demanda/capacidad superiores que el de 25° (Figura N° 6).

**Figura N° 6. Resultados Simulación Pila Norte 26 Micropilotes a 20°**



*Fuente: Elaboración Propia. Enero 2015.*

**DISCUSIÓN.**

De acuerdo con los resultados obtenidos en el proyecto, se concluye que:

- Considerando la estratigrafía y la magnitud de la estructura, el diseño elaborado empleando micropilotaje es una solución técnica satisfactoria, debido a que el postgrouteo de los micropilotes mejora considerablemente las propiedades geotécnicas del suelo de fundación.
- El ajuste de los parámetros de resistencia y el comportamiento mismo del micropilote en el modelo analítico, requieren necesariamente de una validación mediante pruebas de carga verticales y horizontales.
- Si bien un mayor ángulo inclinación del micropilote permite un mejor comportamiento ante estas fuerzas horizontales, la existencia de fuerzas verticales de gran magnitud es la que limita dicha inclinación. La inclinación óptima para cierta combinación de fuerzas corresponde a la inclinación de la fuerza total existente en la fundación.
- El empleo de micropilotes postgrouteados permitió una solución técnica-económica satisfactoria para este diseño. Se realizó un análisis económico comparativo de los tres diseños presentados para el paso a desnivel. El diseño final empleando micropilotes, por el cual optó la empresa constructora, permitió un ahorro económico de 15% comparado con el diseño inicialmente propuesto en la licitación, empleando pilotes convencionales. El diseño optimizado, presentado en este proyecto empleando micropilotes, permite un ahorro económico de 11% comparado con el diseño final empleando micropilotes. Al igual comparado con el diseño inicial, empleando pilotaje, se obtuvo un ahorro económico de 24%.

**REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

- (1) ÁLVAREZ Ltda. (2014). Informes Diseño de Fundaciones Paso a Desnivel Av. 6 de Agosto y Av. Panamericana. Cochabamba-Bolivia. Constructora Álvarez Ltda.
- (2) FRATTELLI, M. G. (1993). Suelos, Fundaciones y Muros. Caracas-Venezuela. Bonalde Editores.
- (3) STEUDLE, K., LEWIS, M., & BRACERAS, C. (2012). AASHTO- LRFD Bridge Design Specifications. Washington DC. American Association of State Highway and Transportation Officials.
- (4) LEONI, A. J. (2005). Apuntes sobre Micropilotes Inyectados. La Plata-Argentina. Universidad Nacional La Plata.
- (5) SABATINI, P., TANYU, B., ARMOUR, T., GRONECK, P., & KEELY, J. (2005). FHWA- Micropile Design and Construction (Reference Manual for NHI Course 132078). Estados Unidos. National Highway Institute.

**Fuentes de financiamiento:** Esta investigación fue financiada con fondos de los autores.

**Declaración de conflicto de intereses:** Los autores declaran que no tiene ningún conflicto de interés.

Copyright (c) 2015 Nathalie Le Noir Rivas; Victor Hugo Alvarez Iriarte



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0.](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Usted es libre para Compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y Adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

**Atribución:** Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumendelicencia](#) - [Textocompletodelalicencia](#)