

# **Estabilización de Suelos Blandos para un Corredor Peatonal. Estudio de caso Brisas del Pacífico en Guapi - Cauca**

David Augusto Bonilla Barandica<sup>1</sup>, Laura Camila Hoyos Arias<sup>1</sup>, Anibal Osorio Bermúdez<sup>1</sup>,  
Xiomara Plazas Grajales<sup>1</sup> y Juan Pablo Salazar Gaez<sup>1</sup>

*<sup>1</sup>Estudiante de Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Javeriana Cali*

## **Resumen**

En este trabajo se realizó el levantamiento de las propiedades geotécnicas de los suelos presentes en el corredor peatonal de 1,0 km, que se diseñó para permitir la movilidad de los habitantes del proyecto de vivienda Brisas del Pacífico. Las propiedades geotécnicas de los suelos se determinaron a partir de ensayos de caracterización física como humedad natural, granulometría por tamizado y sedimentación, límites de consistencia, gravedad específica y peso unitario.

Las propiedades mecánicas se obtuvieron a partir de ensayos de compresión simple, corte directo y consolidación unidimensional, con este último se determinaron los asentamientos generados por las cargas proyectadas por la construcción de la vía. Debido a que el suelo de la zona de estudio se considera como blando reportado por los ensayos SPT ( $n < 4$ ) presentados más adelante, se implementó una solución geotécnica para el control de asentamientos.

Después de obtener las características del suelo se propusieron diferentes escenarios de diseño, el primer escenario consiste en la aplicación de una sobrecarga correspondiente a la estructura del pavimento y el tránsito que circulará por él permitiendo que el suelo se consolide, la segunda consiste en adicionar al primer escenario geodrenes verticales con el fin de acelerar el tiempo de consolidación. El tercer escenario consiste en reforzar la subrasante con un geotextil tejido buscando controlar las deformaciones del suelo.

Los tres escenarios fueron evaluados técnica, ambiental y económicamente, de allí se obtuvo que la solución con mejor viabilidad era la utilización de una sobrecarga con geodrenes verticales. Esta solución presentó resultados técnicos que prevenían la deformación de la estructura del pavimento.

## **Introducción**

En Colombia durante los años de 2010 y 2011 se presentó un fuerte fenómeno invernal el cual afectó de manera significativa algunas regiones del país, dejando sin hogar a muchas familias. El gobierno nacional a través del Fondo de Adaptación asignó recursos para diversos proyectos de vivienda en las zonas más afectadas por esa ola invernal, dentro de estos se encuentra el proyecto Brisas del Pacífico ubicado en el municipio de Guapi en el departamento del Cauca. Este proyecto contempla la construcción de 460 viviendas de interés prioritario (VIP), todas las obras urbanísticas de unidad residencial, las redes de servicios y además las plantas de tratamiento de agua potable y aguas residuales.

Debido a las condiciones de la región se han presentado en el proyecto una serie de problemas de tipo geotécnico ya que dentro del perfil estratigráfico se cuenta con una capa de suelo orgánico que según estudios previos efectuados en la región tienen profundidades hasta de 3,8 m.

Adicionalmente, se cuentan con niveles freáticos superficiales cuya profundidad mínima es de 10 cm.

Estas condiciones han generado un desafío para los diseñadores y constructores ya que los suelos blandos, altamente deformables y el nivel freático próximo a la superficie, obligaron a proyectar alternativas constructivas poco convencionales con el fin de garantizar la seguridad del proyecto habitacional y la durabilidad del mismo.

Este trabajo de grado propone una alternativa de diseño que viabiliza la construcción del corredor peatonal, orientada al control de los asentamientos excesivos de los suelos presentes en la zona de estudio, además de mantener un nivel freático constante con el objeto de mantener en condiciones funcionales la estructura de pavimento articulada que permitirá la circulación de personas y vehículos de dos ruedas al interior del proyecto.

### **Fundamentación teórica**

La compresibilidad de un suelo es el grado en que la masa cambia con respecto al volumen al someter una carga. El principal problema que tienen los suelos blandos es el asentamiento debido a su alta compresibilidad. De esta forma, a la hora de aplicar una carga al terreno este tendrá deformaciones excesivas, causando así daños importantes en las estructuras civiles tales como los daños en elementos estructurales en edificaciones y el daño en la estructura de soporte de un pavimento causando la rotura de la capa de rodadura (Das, 2011).

#### **Estabilización de suelos blandos**

Debido a la descripción geotécnica de la zona de estudio, es evidente que el proyecto será emplazado en un área con suelos blandos por esto es necesario proponer una alternativa de estabilización, con el fin de evitar deformaciones debido a la carga impuesta por la estructura de pavimento que se desea construir.

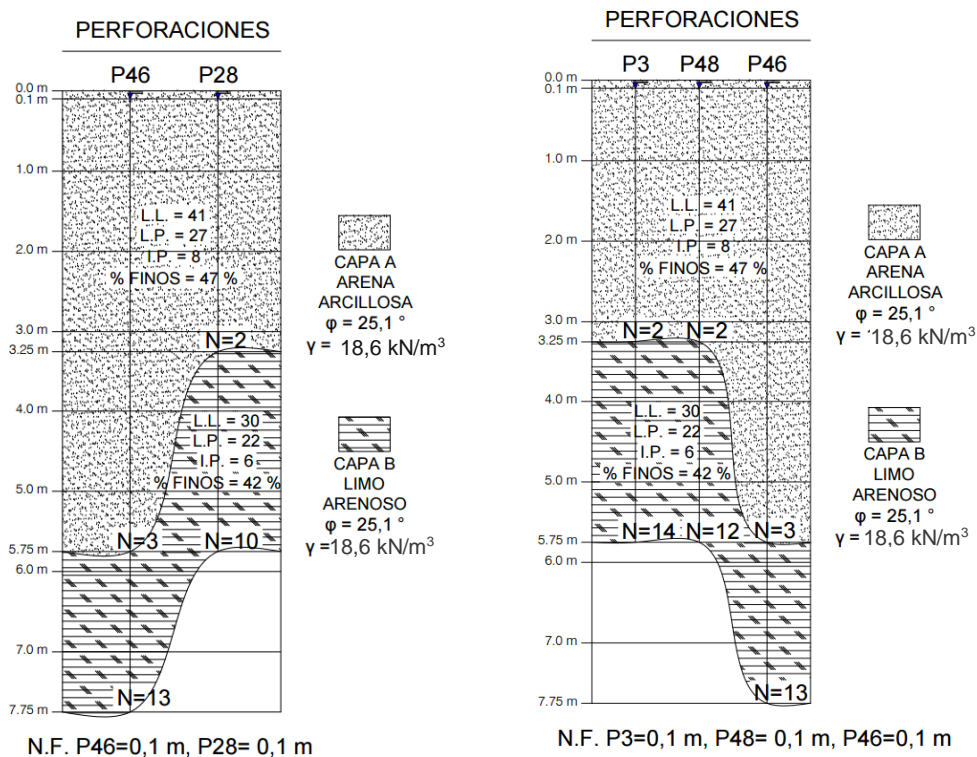
Existen diferentes metodologías e implementaciones a la hora de estabilizar un suelo blando, los factores que deberán garantizar la solución serán:

- Control de altos asentamientos totales y diferenciales teniendo en cuenta el desarrollo progresivo de los mismos;
- Aumento de la capacidad portante;
- Control en los cambios en la presión de poros debido a la variación del nivel freático.

Una alternativa empleada para la estabilización de suelos blandos consiste en la colocación de una sobrecarga. Esta solución, disminuye el tiempo de consolidación primaria la cual genera asentamientos similares a los que se producirán a la hora de aplicar la carga de diseño. Además, se emplean drenajes verticales los cuales pasan por las capas de suelo blando para mitigar el aumento de la presión de poros (Justo, Cuesta, Neyra, Moscardó, & Millán, 2003). La instalación o construcción de drenes verticales puede incrementar la capacidad portante de otros elementos estructurales como, por ejemplo, de pilotes. En este tipo de soluciones, la compresibilidad del suelo y el incremento en la presión de poros juegan un papel fundamental a la hora de aumentar la capacidad de una pila (Bingjian, 2011).

## Materiales presentes en la zona de estudio

Para realizar el diseño de la estabilización del suelo se deben considerar diferentes parámetros los cuales se obtuvieron a partir de exploración de campo y ensayos de laboratorio. A través de un ensayo de penetración estándar (SPT) y ensayos de laboratorio sobre muestras alteradas e inalteradas, se estableció la estratificación de los suelos presentes en la zona de estudio. A partir de los resultados obtenidos de los diferentes ensayos de campo y laboratorio, se construyeron dos perfiles de suelo típicos, los cuales se presentan en la Figura 1. Los suelos en el área de estudio se caracterizan por ser finos de consistencia limo arenosa (CL) o arenas arcillosas (ML), con un índice plástico que varía de 6 a 8% dependiendo de la cantidad de material fino presente, es decir partículas menores que 75  $\mu\text{m}$ . El nivel freático se encontró a 10 cm de la superficie del terreno.



**Figura 1** Perfil estratigráfico del suelo: a) perfil 1; b) perfil 2.

## Resultados

Para la elección de la solución del diseño, se evaluaron las técnicas ofrecidas en el mercado para mejoramiento de suelos blandos. Se analizaron cuatro escenarios contemplando aspectos técnicos económicos y ambientales, considerando las cargas generadas por la estructura proyectada en el área y las condiciones de compresibilidad de la zona de estudio, las cuatro alternativas de diseño evaluadas son:

- Construcción de la estructura de pavimento sobre el suelo de fundación;
- Construcción de una sobrecarga para acelerar el proceso de consolidación del suelo de fundación y posterior construcción de la estructura del pavimento;
- Construcción de una sobre carga con geodrenes verticales para acelerar el proceso de consolidación y drenaje, y posterior construcción e la estructura del pavimento;

d) Implementación de un geosintético, para mejorar el soporte del suelo de fundación y posterior construcción de la estructura del pavimento.

Las posibles soluciones a implementar se analizaron mediante los software Settle3D© y Phase II®, de la firma Rocscience Inc, los cuales están disponibles en la sala de cómputo de ingeniería civil de la Pontificia Universidad Javeriana seccional Cali. Con el análisis del conjunto de modelos seleccionados, mediante los software mencionados se pudo determinar la variación de los asentamientos en los puntos críticos, haciendo posible el análisis técnico de la solución, para el posterior análisis económico y ambiental.

El escenario de diseño con mejores resultados para la solución del problema de deformaciones en el suelo, consiste en la implementación una sobrecarga a acompañada de drenes verticales, estos aceleran el proceso de consolidación del suelo, creando más direcciones para el flujo del agua y una evacuación más rápida. El objetivo principal de este escenario es alcanzar la consolidación primaria dentro de un plazo aceptable en el proyecto (Suelos Ingenieria, 2009).

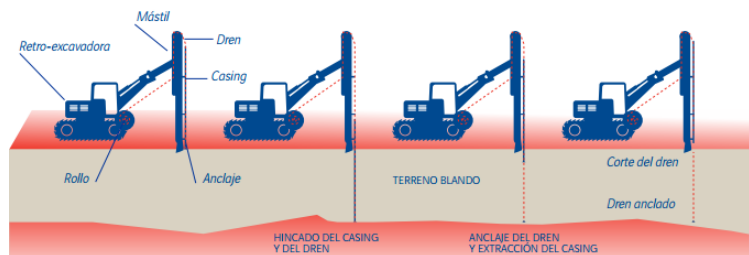
El dren vertical que se propone consiste en un geocompuesto para drenaje liviano y flexible, cuyo núcleo drenante es formado por una geored tridimensional, fabricada con filamentos de polipropileno y termosoldada entre geotextiles no tejidos de polipropileno, además el geodren propuesto es planar y cuenta con un espesor de 11 mm (Durman, 2011).

El pavimento cuenta con cinco secciones transversales, las cuales llevan diferentes cantidades de drenes, con el fin de optimizar económicamente el diseño, en la Tabla 1 se muestra detalladamente el diseño de los drenes verticales para cada sección.

**Tabla 1** Diseño de drenes verticales para cada sección transversal

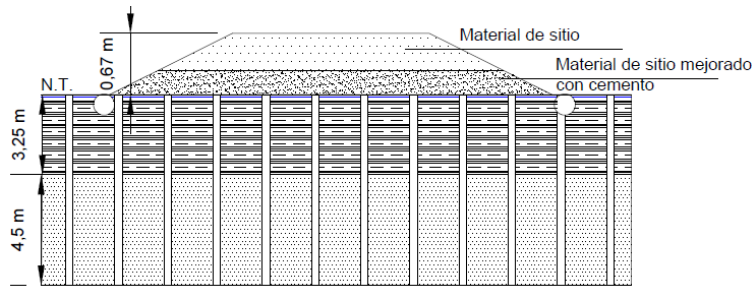
Ancho sección transversal (m)	Separación (m)	Longitud (m)
1,2	2,0	4,0
2,4	1,5	4,0
5,4	1,5	3,0
6,0	1,5	4,0
8,4	1,5	4,0

En la Figura 2 se ilustra el proceso constructivo de los drenes verticales utilizados en este escenario de diseño.



**Figura 2** Detalle constructivo drenes verticales Tomado de <http://menard.com.mx>

Además, se debe utilizar un geodren vial, con el fin de conducir el agua evacuada por los drenes verticales y el agua generada por precipitaciones. La Figura 3 muestra las características de la solución propuesta, la sobrecarga debe dejarse actuar por un tiempo de 6 meses para posteriormente retirar la capa superior del material de la sobrecarga para la construcción de la estructura de pavimento articulado.



**Figura 3** Características sobrecarga más geodrenes

### Recomendaciones

El diseño propuesto finalmente escogido para la construcción de la calzada peatonal fue el de sobrecarga acompañada de geodrenes verticales y viales, esta solución tiene un tiempo de construcción aproximado de 6 meses. El presupuesto para esta propuesta se estima en ochocientos veintisiete millones seiscientos dieciocho mil cuatrocientos setenta y nueve pesos (\$827.618.479) y la emisión de CO<sub>2</sub> equivale a 771.172 kg.

Dentro de lo estipulado por la Norma Sismos resistente Colombiana (NSR-10) en el título H.2, se debe proponer una alternativa técnicamente factible para solucionar problemas que se generen durante el proceso constructivo de la solución, en este caso la propuesta que se considera como plan de contingencia debido a problemas en la implementación de la solución de estabilización con sobrecarga y geodrenes, el uso de Geofoam.

En el caso del pavimento peatonal que se desea construir el geofoam puede sustituir una capa de suelo que corresponde a al peso de la estructura que va a ser soportado por el suelo, esto permite que la carga siga siendo la misma debido a el geofoam es muy ligero. Sustituir el suelo por el geofoam permite disminuir significativamente los esfuerzos verticales, lo que conlleva reducción de los asentamientos que es el problema principal que se presenta en el tipo de suelo que se analizó durante este proyecto. Por los beneficios que trae este material se recomienda realizar una prueba en sitio utilizando dicho material, de no ser posible la implementación de la propuesta inicial.

### Referencias Bibliográficas

- Bingjian, Z. (2011). Study of the pore water pressure variation rule in saturated soft soil caused by prestressed concrete pile penetration. In *2011 International Conference on Electric Technology and Civil Engineering (ICETCE)* (pp. 756–759). IEEE. <http://doi.org/10.1109/ICETCE.2011.5776453>
- Das, B. M. (2011). Principles of Foundation Engineering. In L. CENGAGE (Ed.) (Seven).
- Durman. (2011). Geocompuesto para drenaje.
- Justo, J., Cuesta, C., Neyra, P., Moscardó, E., & Millán, M. (2003). Parameters for undrained analysis in soft soil. *Revista de Obras Publicas*, 150(3431), 37–48.
- Suelos Ingenieria. (2009). Wick Drains.