



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**ZONIFICACIÓN DE COMPORTAMIENTO DE
MICROPILOTES SOMETIDOS A PRUEBAS DE
CARGA**

Autor

Mariana Alzate Correa

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Escuela Ambiental

Departamento de Ingeniería Civil

Medellín, Colombia

2021



ZONIFICACIÓN DE COMPORTAMIENTO DE MICROPILOTES SOMETIDOS A
PRUEBAS DE CARGA

Mariana Alzate Correa

Trabajo de grado, ó Informe de Práctica académica presentada(o) como requisito parcial
para optar al título de:

Ingeniera Civil

Asesores (a):

Sebastián Sepúlveda Cano, Ingeniero Civil

Herson David Osorio Montoya, Ingeniero Civil

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Escuela Ambiental
Departamento de Ingeniería Civil
Medellín, Colombia

2021

Tabla de contenido

Resumen.....	5
Introducción.....	6
Objetivos.....	7
Objetivo general.....	7
Objetivos específicos.....	7
Marco Teórico.....	8
Micropilote.....	8
Tipos de micropilotes.....	9
Análisis de comportamiento de micropilotes.....	10
Pruebas de carga.....	10
Resultados y análisis.....	13
<i>Primera instancia: Reconocimiento del procedimiento para ejecutar una prueba de carga.....</i>	13
<i>Información preliminar para realizar cada prueba de carga.....</i>	13
<i>Segunda instancia: logística y planeación de una prueba de carga.....</i>	20
<i>Equipos para montaje de prueba de carga.....</i>	20
<i>Tercera instancia: apropiación de información registrada durante la prueba....</i>	24
<i>Cuarta instancia: Resultados obtenidos en cada prueba de carga y análisis de confiabilidad.....</i>	26
<i>Quinta instancia: Tabulación de datos de pruebas de carga en micropilotes ...</i>	28
Referencias Bibliográficas.....	39

Lista de Tablas

Tabla 1 Registro de prueba de carga en micropilotes. _____	25
Tabla 2 Ejemplo de registro de deformación durante etapa de carga _____	26
Tabla 3 Recopilación de datos de pruebas de verificación y pre diseño ejecutadas en micropilotes _____	29
Tabla 4 Descripción de suelos e información adicional _____	30
Tabla 5 Tendencia de comportamiento en suelo arenoso, Vereda Potrerito, Bello- Ant. _____	32

Lista de imagenes

Imagen 1	Ejemplo de protocolo pruebas de carga de verificación, parte1. "Arrieta, G. (2021). Protocolo PCC Parque Alto. [Captura]. Tomada de información enviada durante la etapa de prácticas académicas"	14
Imagen 2	Ejemplo de protocolo pruebas de carga de verificación, parte2. "Arrieta, G. (2021). Protocolo PCC Parque Alto. [Captura]. Tomada de información enviada durante la etapa de prácticas académicas"	15
Imagen 3	Ejemplo de protocolo pruebas de carga de verificación, parte3. "Arrieta, G. (2021). Protocolo PCC Parque Alto. [Captura]. Tomada de información enviada durante la etapa de prácticas académicas"	16
Imagen 4	Ejemplo de protocolo pruebas de carga de verificación, parte4. "Arrieta, G. (2021). Protocolo PCC Parque Alto. [Captura]. Tomada de información enviada durante la etapa de prácticas académicas"	17
Imagen 5	Ejemplo de protocolo pruebas de carga de verificación, parte 5 "Arrieta, G. (2021). Protocolo PCC Parque Alto. [Captura]. Tomada de información enviada durante la etapa de prácticas académicas"	18
Imagen 6	Ejemplo de protocolo pruebas de carga de pre diseño, parte 1 "Tamayo, D. (2021). Protocolo para ensayos pre diseño. [Captura]. Tomada de información enviada durante la etapa de prácticas académicas"	19
Imagen 7	Ejemplo de protocolo pruebas de carga de pre diseño, parte 2 "Tamayo, D. (2021). Protocolo para ensayos pre diseño. [Captura]. Tomada de información enviada durante la etapa de prácticas académicas"	20
Imagen 8	Montaje, prueba de carga de diseño.....	21
Imagen 9	Manómetro	22
Imagen 10	Bomba hidráulica.....	22
Imagen 11	Gato hidráulico	23
Imagen 12	Comparadores de carátula.....	23

Resumen

Los micropilotes son elementos con diseños empíricos (de alta incertidumbre), que generalmente dan respuestas satisfactorias bajo pruebas de carga axial, la capacidad portante del elemento depende de la interacción suelo-lechada que se genere, lo anterior sugiere la idea de la posibilidad de zonificar el comportamiento del micropilote según el tipo de suelo en el que se construya (para lograr esto, se debe comparar mismos tipos de micropilotes, en este caso con inyección IRS).

El proceso de elaboración del trabajo de grados inició con la comprensión de cómo realizar una prueba de carga y los factores que determinan el comportamiento de un micropilote sometido a carga axial y la ejecución de varios ensayos. A partir de esa apropiación del conocimiento y proceso de ejecución, fue posible reconocer, la información candidata a depuración debido a la incertidumbre generada por factores que intervienen en el correcto desarrollo de la capacidad de rozamiento del elemento, ya sea producto del proceso constructivo del micropilote (incorrecto equipamiento que conlleve a afectaciones en la tubería de pvc interviniendo en el proceso de llenado e inyección, bajas presiones en la inyección o empotramiento del elemento) o la ejecución de la prueba de carga (excentricidad en la carga aplicada, desalineación de los micropilotes del marco de reacción y/o desnivel en dado o vigas).

Con la información a utilizar lista, se procedió a hacer un análisis de las posibilidades de zonificación y confiabilidad de resultados, concluyendo y exponiendo acerca de este versátil y aún, poco investigado, elemento de fundaciones.

Introducción

Con el avance y desarrollo del sector de la construcción, innumerables procesos se han exigido a innovar y reinventarse, permitiendo una ampliación de posibilidades convirtiendo en opciones viables aquellas que antes no se consideraban (por costos, seguridad o procesos constructivos), en el área de la geotecnia se ha implementado un elemento versátil, que cumple función de cimentación y alternativa de mejoramiento de suelo, denominado, micropilote.

Su uso es hoy ventajoso en muchos sentidos, siendo muy solicitados en innumerables construcciones, proyectos arquitectónicos y urbanos, sin embargo, su diseño sigue siendo experimental, generando expectativas complejas con altos rangos de incertidumbre. Según Ministerio de Fomento, del Departamento de Carreteras de Barcelona “Los cálculos asociados al estudio de cimentaciones profundas pueden resultar poco precisos y por ello la realización de ensayos o pruebas de carga resultan especialmente recomendables [1]”

Como oportunidad de verificar las hipótesis de diseño se realizan cada vez de manera más frecuente, las denominadas “Pruebas de Carga”, considerando este planteamiento y en busca de dar un aporte a la empresa TerraCEO Ingenieros y al sector de la Geotecnia, se propone zonificar el comportamiento de los micropilotes según condiciones externas y de diseño, tomando como base de la investigación, los archivos existentes en la empresa TerraCEO Ingenieros de pruebas de carga realizados en micropilotes.

Objetivos

Objetivo general

Describir el comportamiento de los micropilotes según las condiciones externas en las cuales se implementen, por medio de una zonificación, haciendo uso de los registros de pruebas de carga archivados por la empresa TerraCEO Ingenieros S.A.S.

Objetivos específicos

- Agrupar las condiciones externas, según similitudes, de zonas en las cuales se ha implementado como cimentación, micropilotes.
- Comparar el comportamiento de los micropilotes en las diferentes condiciones que puedan influir en su comportamiento.
- Registrar los resultados obtenidos de las diferentes condiciones de trabajo de los micropilotes
- Analizar las variables que afectan el comportamiento de los micropilotes.

Marco Teórico

Micropilote

Según Jaime Suarez "Los micropilotes reticulados fueron desarrollados en Italia y se utilizan para crear bloques rígidos monolíticos, reforzados a profundidades por debajo de la superficie de falla crítica [2]".

Se define como micropilote, a un elemento cilíndrico, con un diámetro inferior a 250 mm, perforado "in situ", armado con tubería de acero, reforzada a veces con uno o varios redondos, e inyectado con lechada o mortero de cemento en una o varias fases. Se caracteriza principalmente por el hecho de llevar armadura tubular de acero, y que el material que rodea esta armadura y que queda en contacto con el terreno (lechada o mortero) se introduce a presión contra el terreno, pudiendo realizarse esta inyección por tramos. Se diferencian entre ellos atendiendo fundamentalmente a los siguientes aspectos:

- Por la forma de transmitir los esfuerzos al terreno:
 - Puntualmente, cada uno de los micropilotes a través de su fuste, y su punta, como cimentación profunda.
 - En conjunto, mejorando una zona determinada del terreno.
- Por el tipo de sollicitación dominante a la que están sometidos:
 - Esfuerzos axiales a compresión o tracción (cimentaciones y recalces)
 - Momentos flectores y esfuerzos cortantes (estabilización de laderas, contención de excavaciones, etc.).
- Por el sistema de perforación:
 - Métodos de perforación no encamisada.
 - Métodos de perforación encamisada.
- Por el sistema de inyección de la lechada o mortero de cemento:

Los inyectados en una sola fase a baja presión, también denominados de inyección única global (IU).

- Los re - inyectados hasta dos veces a través de tubos o circuitos con válvulas anti retorno, también denominados de inyección repetitiva (IR).
- Los re - inyectados varias veces a través de tubos manguito instalados en la tubería de armadura, en toda la

longitud del micropilote o en parte, también denominados de inyección repetitiva y selectiva (IRS) [3].

Según Guía para proyectos de ejecución en micropilotes de carretera “El proceso de inyección tiene por objeto garantizar el contacto y la transmisión de esfuerzos entre la armadura tubular y el terreno. El sistema de inyección más adecuado a cada caso deberá elegirse en función del terreno atravesado, entre otros aspectos [4]”.

Tipos de micropilotes

Según el tipo de elemento que se emplea como refuerzo se clasifican en micropilote con barra autoperforante o micropilote de tubería de barra roscada.

Micropilotes con Barra Autoperforante: la perforación se realiza con la misma armadura estructural que formará parte del futuro micropilote ó anclaje. Son barras de acero y manguitos tipo TITAN. Estas barras de acero están disponibles en un amplio abanico de diámetros cubriendo las solicitudes de prácticamente cualquier proyecto. Las barras de acero son huecas por dentro y se unen entre sí con manguitos de unión roscados de capacidad resistente superior a las barras que unen. En la cabeza de perforación va una trialeta de acero perdida, que varía según el tipo de terreno que se perfora. Durante todo el proceso de perforación se inyecta un caudal adecuado de agua-lechada de cemento, que sale por las toberas en la parte posterior de las trialetas en cabeza de perforación. La lechada de cemento se inyecta a presión y se hace más densa a medida que avanza la perforación. Todo el material granular removido durante la perforación y el adyacente se impregna de la lechada de cemento formando el micropilote en cuyo eje se encuentra la barra de acero estructural. Este tipo de micropilote es especialmente demandado en terreno granular. Permite unas producciones diarias muy altas ya que evita el uso de entubación recuperable, en terrenos colapsables. El tipo de unión especial roscado de estas barras y manguitos, hacen estas armaduras estructurales apropiadas tanto en esfuerzos a compresión como a tracción.

Micropilotes con Tubería de Acero Roscada: la perforación se realiza con trialeta y tuberías de perforación roscada. Periféricamente, si el terreno lo demanda por sus características

colapsables, irá una segunda tubería que avanza al unísono con la tubería central. Las perforaciones se realizan a rotación ayudada en zonas de estratos duros con la roto percusión que puede proceder del martillo en cabeza ó de un martillo en fondo. Una vez realizada la perforación, se extrae la tubería de perforación con su trialeta y se introduce la armadura resistente del micropilote que es una tubería de acero roscada. Existe una gran variedad de armaduras tubulares de micropilotes en acero TN.80 (límite de elasticidad 550 Mpa).

En lugar de armadura tubular, pueden usarse también armaduras tipo GEWI con sus manguitos de unión roscados, especialmente recomendados en caso de esfuerzos a tracción.

Una vez introducida la armadura tubular del micropilote, se inyecta el micropilote por el centro del mismo inyectando desde el fondo de perforación hasta que salga por la boca de perforación y haya cubierto por dentro y fuera todo el micropilote.

Posteriormente, se extrae la entubación recuperable y se reinyecta simultáneamente.

Las inyecciones de lechada pueden ser únicas, ó repetitivas y selectivas [5].

Análisis de comportamiento de micropilotes

Según lo expuesto por Juan Carlos Hernández del Pozo. ICCP. Profesor Titular de la Universidad de Granada. "El mecanismo principal para la transferencia de las carga a los micropilotes es la fricción lateral. Los movimientos necesarios para movilizar la resistencia lateral de un micropilote son pequeños en comparación con los necesarios para movilizar la punta del mismo (20 ó 40 veces menos). La fricción lateral depende de la unión inyección-terreno que está influenciado principalmente por las técnicas y la calidad de la construcción [6]".

Pruebas de carga

Dado que los métodos de cálculo de capacidad de este tipo de cimentación (micropilotes) tienen origen empírico, se sugiere programar pruebas de carga a compresión, una de las normativas más utilizadas es la *ASTM D1143 "Métodos de prueba estándar para elementos de*

cimentación profunda bajo carga de compresión axial estática", en la cual se consigna lo siguiente:

Significado y uso

Las pruebas de campo proporcionan la relación más confiable entre la carga axial aplicada a una base profunda y el movimiento axial resultante. Los resultados de las pruebas también pueden proporcionar información utilizada para evaluar la distribución de la resistencia al corte lateral a lo largo del elemento, la cantidad de cojinete del extremo desarrollado en la base del elemento y el comportamiento de carga-deflexión a largo plazo. El ingeniero puede evaluar los resultados de la prueba para determinar si, después de aplicar los factores apropiados, el elemento o grupo de elementos tiene una capacidad estática, una respuesta de carga y una deflexión en la carga de servicio, satisfactorias para soportar la cimentación. Cuando se realiza como parte de un programa de prueba de elementos múltiples, el ingeniero también puede usar los resultados para evaluar la viabilidad de diferentes tamaños y tipos de elementos de cimentación y la variabilidad del sitio de prueba [7].

Metodología

Inicialmente se hizo una búsqueda de información secundaria con el fin de conocer teorías acerca del comportamiento de micropilotes en tipos de suelos que presenten similitud con las características geotécnicas de los suelos de Antioquia, estudio con el cual se obtuvo un panorama claro que ayudó a lograr el objetivo del proyecto, y hacer una depuración de los datos registrados en campo que según tendencias, se consideraron atípicos.

Posteriormente se inició la ejecución del proyecto por medio de 5 instancias, en la primera instancia, se realiza el reconocimiento del procedimiento para ejecutar una prueba de carga, considerando esencial para analizar los resultados, conocer la información base del desarrollo. En la segunda instancia, y considerando que una de las actividades del semestre de industria fue ejecutar pruebas de carga, se estudia y aprehende la logística y planeación de una prueba de carga. En una tercera instancia, por medio de la práctica me familiaricé con la toma de datos que se registran en campo durante la prueba de carga.

En la cuarta instancia, se estudió minuciosamente las gráficas y tendencias registradas en cada prueba de carga y se analizaron las condiciones que se presentan en cada proceso de carga, señalando la información a ser depurada.

Finalmente, en una quinta instancia, se tabuló y analizó si la información, concluyendo acerca de las posibilidades de alcanzar los objetivos propuestos inicialmente

Resultados y análisis

Primera instancia: Reconocimiento del procedimiento para ejecutar una prueba de carga

Información preliminar para realizar cada prueba de carga

Cada proyecto en el cual se ejecutan pruebas de cargas debe enviar el protocolo de la misma (especificando numero de ciclos y porcentajes de incremento de carga, al igual que el tiempo que debe sostenerse la carga aplicada y las pautas para tomar lectura de las deformaciones en los comparadores de carátula) ajustado al tipo de ensayo (ensayos de verificación o ensayos de pre diseño), a continuación se muestra un ejemplo de protocolo de prueba de carga de verificación (ver "Imagen 1-5"), y, un ejemplo de protocolo de prueba de carga de pre diseño (ver "Imagen 6-7")

GEOTÉCNICA

Sabaneta, 19 de marzo de 2021

Señores

PACTAR DESARROLLADOR INMOBILIARIO

Ciudad

Atendiendo su solicitud a continuación presentamos las aclaraciones en cuanto a cantidad, tipo y protocolo de las pruebas de carga de los micropilotes del proyecto del asunto, las cuales se justan a las especificaciones de la norma ASTM 1143 y las recomendaciones de la norma NSR-10.

▣ Pruebas a compresión de verificación

Durante la construcción y dado que, los métodos de cálculo de capacidad en este tipo de cimentaciones tienen origen empírico, se sugiere programar mínimo tres (3) prueba de carga a compresión, a partir de cuyos resultados se refinarán los parámetros y dimensionamientos presentados en el documento "065-017-06 Adenda 06 La Avelina- Micropilotes inyectados". Estas pruebas se llevan a cabo hasta 1.33 CD ; el procedimiento de las pruebas se ajusta al tipo A (carga "rápida") de la norma ASTM D1143 y según ajustes realizados conforme a los materiales detectados en el proyecto.

Requisitos para la prueba pre diseño.

Para efectos del montaje de los ensayos, se requiere la construcción del elemento sometido a prueba, los apoyos de reacción y el dado de apoyo para el gato hidráulico. Para tal efecto se debe tener en cuenta las características de los tres elementos:

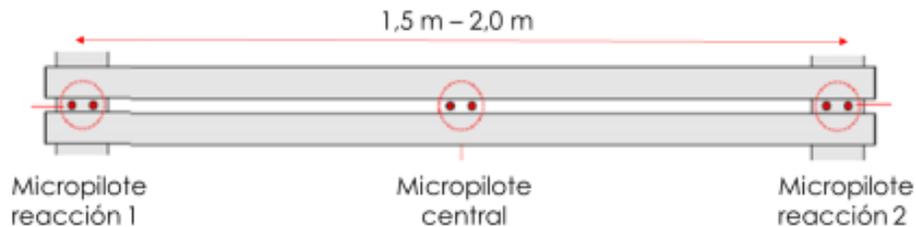
- Diámetro de perforación 6.0"
- Longitud efectiva mínima micropilote central: 20.0 m
- Carga de diseño: 50 Toneladas.
- Inyección tipo IRS

Imagen 1 Ejemplo de protocolo pruebas de carga de verificación, parte1.

"Arrieta, G. (2021). Protocolo PCC Parque Alto. [Captura]. Tomada de información enviada durante la etapa de prácticas académicas"

GEOTÉCNICA

□ La distribución de los micropilotes deberá contar con el siguiente espaciamiento o similar, dependiendo de las dimensiones de vigas disponibles para la ejecución del ensayo.



□ Los apoyos de reacción funcionarían a la inversa de la prueba prevista, es decir, a tracción y la carga transmitida a cada elemento corresponde al 50% de la carga límite. Por lo anterior, los micropilotes de reacción deben de ser equidistantes al micropilote central.

□ Debe considerarse que entre las dos reacciones se debe atender adecuadamente la carga límite de la prueba, es decir, se prevé solicitaciones del orden del 50% de la carga límite de la prueba en cada reacción.

□ En cada reacción se deben disponer elementos de cimentación que atiendan la carga prevista a tracción y asegurar resistencia a rotación o desplazamientos laterales. Los elementos deben ir perfectamente alineados y para este caso en particular (cargas previstas) en cada elemento debe disponerse de mínimo una (1) de 1 ¼" de diámetro o equivalente, con una longitud libre de 1.50 m por encima del micropilote de prueba (elemento central); la cantidad de barras obedece a la capacidad a tracción del acero para atender adecuadamente las solicitaciones de cada elemento de reacción.

□ El acero de refuerzo que viene como extensión de los micropilotes de reacción, debe de contar con un sistema de restricción en la parte superior de las vigas para garantizar el correcto funcionamiento del montaje, es decir, debe tener un tope o limitante que restrinja el movimiento. Usualmente se emplean tuercas roscadas.

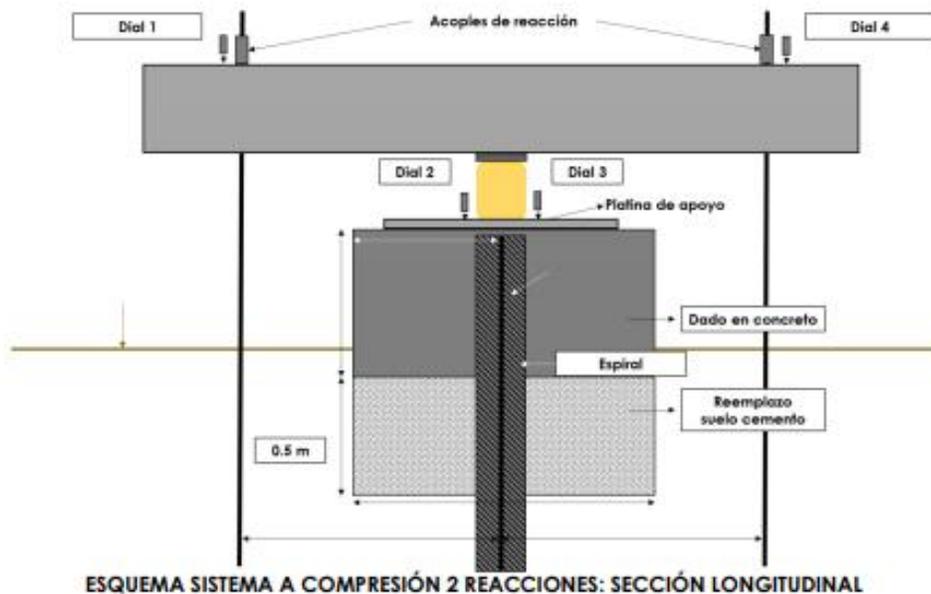
□ Se debe disponer de un reemplazo en suelo - cemento con una proporción de cemento al 5% (por peso) y de mínimo 0.50 m de espesor, sobre el cual reposará el dado. Lo anterior, previniendo que con los esfuerzos ejercidos durante el ensayo se genere un pandeo en el tramo superior del micropilote por falta de confinamiento lateral.

Imagen 2 Ejemplo de protocolo pruebas de carga de verificación, parte2.

“Arrieta, G. (2021). Protocolo PCC Parque Alto. [Captura]. Tomada de información enviada durante la etapa de prácticas académicas”

GEOTÉCNICA

- Las vigas del ensayo deben tener suficiente rigidez para evitar deflexión excesiva para la carga límite definido.
- Todos los elementos deben cumplir las dimensiones definidas anteriormente y la construcción debe acometerse adecuadamente por parte de los responsables de la obra.
- La carga debe ser transmitida a través de un dado o cabezal en concreto reforzado alineado sobre el micropilote sometido a prueba, totalmente nivelado y precisamente centrado para el adecuado apoyo del gato y evitar excentricidades al momento de la transmisión de la carga. Las especificaciones para la realización del dado deberán ser brindados por parte del ingeniero estructural del proyecto teniendo en cuenta las solicitaciones de cada ensayo.
- Se debe garantizar un recubrimiento de mínimo 10.0 cm de la cabeza del pilote de prueba a la parte superior del dado, con el fin de evitar falla por punzonamiento.



Calle 60 Sur 43 A 108 - Subaneta - PBX 448 11 10 - www.geotecnicas.com.co

Imagen 3 Ejemplo de protocolo pruebas de carga de verificación, parte3.
"Arrieta, G. (2021). Protocolo PCC Parque Alto. [Captura]. Tomada de información enviada durante la etapa de prácticas académicas"



MONTAJE ESPERADO PARA PRUEBA DE CARGA A COMPRESIÓN DE 2 REACCIONES.

Protocolo de pruebas de carga

El procedimiento acometido en la prueba de carga para ensayo de verificación se ajusta a las especificaciones de la norma ASTM D1143 procedimiento "A" o prueba de carga "rápida" con algunas modificaciones teniendo en cuenta las condiciones de los materiales y el desempeño del pilote, este procedimiento se resume básicamente en los siguientes pasos:

1. Presentar medidas del dado de apoyo, marcar los centros y tomar medidas centro a centro de los micropilotes en el esquema anexo.
2. Disponer de comparadores tanto en el dado de apoyo como en los micropilotes de reacción, a nivel de las vigas auxiliares (reacciones).
3. En una primera fase de prueba aplicar una precarga del 5% de la carga de trabajo (CD), la cual permite que se "ajusten" los diversos elementos del ensayo y se produzca el alineamiento del micropilote.
4. Reiniciar la lectura de los comparadores a cero (precisión de 0.01 mm).
5. En una segunda fase de prueba se aplicarán incrementos de carga correspondientes a: 20%CD, 40%CD, 60%CD, 80%CD, 100%CD, 120%CD, 133%CD.
6. En cada incremento o ciclo de carga se debe realizar lecturas a 0, 30", 1, 2, 4, 6, 8, 10 y 15 minutos.
7. Verificar antes de tomar lecturas las constantemente pérdidas de la presión en la bomba (carga no sostenida – no permitir pérdidas mayores a 5% de CD).

GEOTÉCNICA

indicarlo en los reportes y realizar el ajuste, con el objetivo de asegurar la permanencia de la aplicación de carga al elemento.

8. Finalmente se procede con la descarga del elemento conservando los intervalos de carga. Cada decremento o ciclo de descarga se da por completado a los 4 minutos de recuperación con lecturas a 0, 1, 2 y 4 minutos.

Requisitos para la ejecución de las pruebas.

Para efectos de la buena interpretación y presentación de resultados de las pruebas solicitadas, se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

Tomar buen registro fotográfico donde se observe el montaje del sistema con los respectivos niveles, los diales de reacción y micropilote central, dado antes y después del ensayo (con niveles), evidencia de incrementos de carga en manómetro y localización del ensayo.

Tomar medidas de los elementos al eje, dado o estructura de apoyo para el gato e indicar si existe excentricidades, rotaciones, grietas, entre otros.

Indicar como se realiza la restricción de las reacciones a la viga (pernos roscados, soldadura, otros)

Realizar una breve descripción del montaje y evolución del ensayo (estado del suelo, evidencia de grietas, fisuras, abombamiento, burbujas, entre otros)

Se solicita enviar la información obtenida de cada una de las pruebas teniendo en cuenta los procedimientos descritos anteriormente, incluyendo los datos de carga y deformaciones debidamente tabulados y la gráfica de la misma, comentarios u observaciones de la ejecución y/o comportamiento de la prueba, para analizar la información y tomar las decisiones correspondientes.

Imagen 5 Ejemplo de protocolo pruebas de carga de verificación, parte 5
“Arrieta, G. (2021). Protocolo PCC Parque Alto. [Captura]. Tomada de información enviada durante la etapa de prácticas académicas”

Ref. Protocolo para ensayos de pre diseño.

Ensayos pre diseño

Antes de dar inicio a la construcción, se sugiere programar mínimo una (1) prueba de carga a compresión, esta prueba se llevará a cabo hasta la falla, la cual se estima entre 2.5 y 3.0 veces la capacidad de trabajo pre dimensionada en el último informe del diseño geotécnico del proyecto; el procedimiento de las pruebas se ajusta al tipo A (carga "rápida") de la norma ASTM D1143 y según ajustes realizados conforme a los materiales detectados en el proyecto.

Protocolo de pruebas de carga

El procedimiento acometido en la prueba de carga para ensayo de verificación se ajusta a las especificaciones de la norma ASTM D1143 procedimiento "A" o prueba de carga "rápida" con algunas modificaciones teniendo en cuenta las condiciones de los materiales y el desempeño del pilote, este procedimiento se resume básicamente en los siguientes pasos:

1. Presentar medidas del dado de apoyo, marcar los centros y tomar medidas centro a centro de los micropilotes en el esquema anexo.
2. Disponer de comparadores tanto en el dado de apoyo como en los micropilotes de reacción, a nivel de las vigas auxiliares (reacciones).
3. En una primera fase de prueba aplicar una precarga del 5% de la carga de trabajo (CT), la cual permite que se "ajusten" los diversos elementos del ensayo y se produzca el alineamiento del pilote.
4. Reiniciar la lectura de los comparadores a cero (precisión de 0.01 mm).
5. En una segunda fase de prueba se aplicarán incrementos de carga correspondientes al 25% de CT y hasta alcanzar la carga de trabajo. Esta carga (CT) deberá ser sostenida por un periodo de dos (2) horas evaluando durante este periodo la velocidad de deformación del mismo para los ensayos de pre diseño, se reanuda el proceso de carga a 25% de CT hasta llegar al 200% de CT y se sostiene por un periodo de dos (2) horas. Si el micropilote en esta etapa de carga no ha fallado, se repite el proceso hasta llegar al 300% de CT.
6. En cada incremento o ciclo de carga se debe realizar lecturas a 0, 2, 5, 7, 10 y 15 minutos, en las cargas sostenidas durante dos horas se harán lecturas a 0, 2, 5, 7, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110 y 120 minutos.
7. Verificar antes de tomar lecturas las constantemente pérdidas de la presión en la bomba (carga no sostenida – no permitir perdidas mayores a 5% de CT), indicarlo en los reportes y realizar el ajuste, con el objetivo de asegurar la permanencia de la aplicación de carga al elemento.



8. Finalmente se procede con la descarga del elemento conservando los intervalos de carga. Cada decremento o ciclo de descarga se da por completado a los 4 minutos de recuperación con lecturas a 0, 1, 2 y 4 minutos.

Para el caso de la prueba de prediseño, que serán llevadas a la falla, se debe mantener la carga de falla y realizar las recuperaciones pertinentes hasta registrar una deformación igual al 15% del diámetro del pilote y proceder con la descarga permitida.

Se deberán evaluar diferentes criterios de falla para el pilote sometido a carga de compresión.

Imagen 7 Ejemplo de protocolo pruebas de carga de pre diseño, parte 2

“Tamayo, D. (2021). Protocolo para ensayos pre diseño. [Captura]. Tomada de información enviada durante la etapa de prácticas académicas”

Una vez recibido el protocolo para la ejecución de la prueba de carga, se realiza un reconocimiento en campo y se solicita los planos de fundación para analizar en qué elementos es posible realizar el montaje de las pruebas de carga.

Segunda instancia: logística y planeación de una prueba de carga

El montaje de las pruebas de carga consta de 2 partes; un micropilote enlazado a un dado de reacción en el cabezal del elemento, con nivel verificado para garantizar que no se presente excentricidad y que permite la aplicación de la carga axial, y dos o más micropilotes que serán sometidos a tracción para completar el marco de reacción. La distancia entre micropilotes debe ser acorde al protocolo enviado por la parte interesada.

Después de verificar que las distancias entre elementos son admisibles, se procede a preparar los equipos y herramientas para la prueba de carga.

Equipos para montaje de prueba de carga

Vigas metálicas, barras de alta resistencia, platinas y tuercas

Se requiere utilizar vigas metálicas para garantizar que el elemento va a transmitir la carga adecuadamente formando el marco de reacción, el montaje puede requerir una viga para montaje sencillo o montajes compuestos (ideales para pruebas de carga de pre diseño en lo que la

carga aplicada sobrepasa las 100 toneladas, en la “Imagen 6”, se ilustra el montaje compuesto en prueba de carga de pre diseño.

El gato hidráulico, impulsado por la bomba hidráulica, transmite una carga suficientemente alta para generar punzonamiento, tanto en el dado de reacción como en las vigas, por este motivo se utilizan platinas, que adicional, aportan área de contacto para la transmisión axial de la carga. Los elementos de reacción (micropilotes que serán sometidos a tracción en la prueba de carga), deben contar con una barra de alta resistencia suficientemente larga para posibilitar que las vigas sean posicionadas y posteriormente cuñadas por medio de platinas y tuercas. Las barras de alta resistencia pueden ser embebidas (cumpliendo con el traslape necesario para que se cumpla la longitud de desarrollo) o soldadas, según la carga a la cual se someterá el elemento y la carga que se estime se transmitirá a las reacciones, se elige el diámetro de las barras a utilizar, usualmente se utilizan barras GEWI 28 PLUS Y GEWI 40.

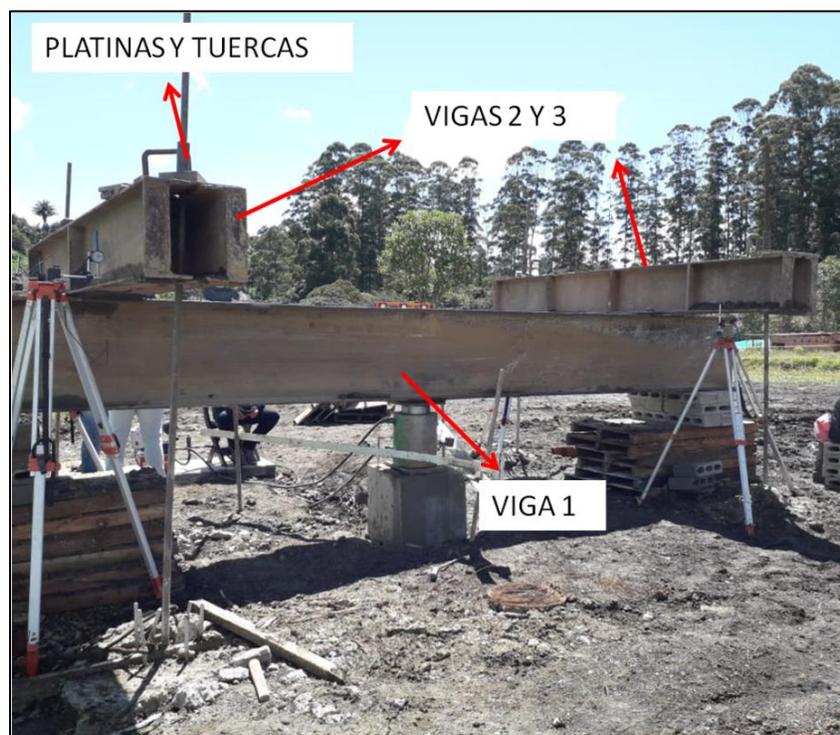


Imagen 8 Montaje, prueba de carga de diseño

“Alzate, M. (2021). Prueba de carga en proyecto ‘Senderos de Cimarronas’. [Fotografía]. Tomada y modificada por Mariana Alzate durante prueba de carga”

Manómetro

Manómetro con su respectiva fecha de calibración.

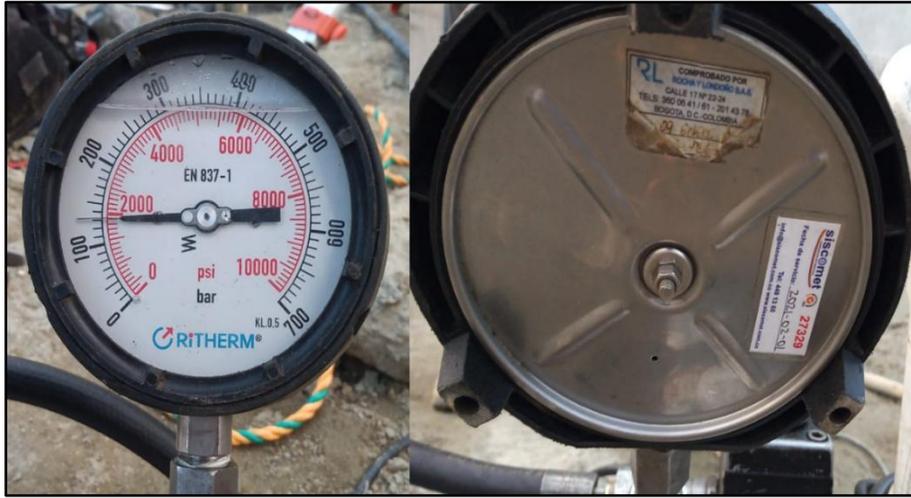


Imagen 9 Manómetro

“Alzate, M. (2021). Prueba de carga en proyecto ‘Senderos de Cimarronas’. [Fotografía]. Tomada y modificada por Mariana Alzate durante prueba de carga”

Bomba hidráulica



Imagen 10 Bomba hidráulica

“Alzate, M. (2021). Prueba de carga en proyecto ‘Senderos de Cimarronas’. [Fotografía]. Tomada y modificada por Mariana Alzate durante prueba de carga”

Gato hidráulico_con capacidad según solicitud de la prueba



Imagen 11 Gato hidráulico

“Alzate, M. (2021). Prueba de carga en proyecto ‘Senderos de Cimarronas’. [Fotografía]. Tomada y modificada por Mariana Alzate durante prueba de carga”

Comparadores de carátula.

Por medio de los comparadores de carátula o deformímetros, se leen las deformaciones en cada elemento de la prueba de carga, cada elemento debe estar debidamente calibrado y ubicado completamente perpendicular para que sea confiable la lectura de la deformación.



Imagen 12 Comparadores de carátula

“Alzate, M. (2021). Prueba de carga en proyecto ‘Senderos de Cimarronas’. [Fotografía]. Tomada por Mariana Alzate para trabajo de grado”

Requerimientos para la confiabilidad de resultados

Para considerar confiables los datos registrados en una prueba de carga, no solo se verifica la calibración y estado de los implementos, también se debe verificar la limpieza y nivelación de la plataforma de trabajo, la distancia entre los micropilotes para que la carga en las reacciones se distribuya aproximadamente igual.

El dado de concreto sobre el micropilote a compresión debe tener dimensiones admisibles, no debe presentar excentricidad y el concreto debe tener edad de mínimo 7 días.

Las barras de refuerzo deben garantizar la longitud de desarrollo y/o en caso tal de tener soldadura, se debe verificar su estado.

Las vigas deben estar debidamente niveladas.

El conjunto de micropilotes de la prueba debe estar alineado.

Adicional a lo descrito anteriormente, se presentan factores derivados del proceso constructivo que pueden alterar el resultado de la prueba de carga.

La capacidad de carga del micropilote está ligada a su capacidad aportada por el rozamiento entre el cuerpo expandido del micropilote y el suelo, este aporte depende de la calidad de la inyección que reciba el elemento.

En el presente informe se analiza la capacidad de los micropilotes al interactuar con diferentes tipos de suelo, con objeto de zonificar los resultados, para posibilitar del análisis, se descartan las variables anteriores y solo se analiza la interacción micropilote-tipo de suelo.

Tercera instancia: apropiación de información registrada durante la prueba

Se toman mediciones leídas en los comparadores de carátula en los tiempos que dictamine el protocolo recibido previamente, como se muestra en las "Tablas 1 y 2". En este proceso se debe estar verificando continuamente que no se presenten factores externos que alteren las mediciones marcadas por los comparadores de carátula.

Tabla 1 Registro de prueba de carga en micropilotes.

“Alzate, M. (2020). Prueba de carga en proyecto ‘La Reserva’. [Captura]. Tomada por Mariana Alzate para trabajo de grado”



PRUEBA DE CARGA A COMPRESION EN MICROPILOTES									
PROYECTO: LA RESERVA CLIENTE: OBRASDE					FECHA: 19/11/2020 RESPONSABL Herson David Osorio- Mariana Alzate OPERADOR BOMBA: Herson David Osorio				
ETAPA	PRESION (PSI MEDIDO)	CARGA		TIEMPO DE CARGA (min)	UNIDADES DEFORMIMETRO:				% CARGA
		KN	TON		DEF 1	DEF 2	DEF 3	DEF 4	
AL	218	24,5	2,50	0	0,00	0,00	0,00	0,00	5%
1	943	122,50	12,50	0	0,381	1,600	1,397	0,305	25%
				1	0,356	1,626	1,397	0,305	
				2	0,356	1,626	1,397	0,279	
				4	0,356	1,626	1,422	0,330	
				6	0,279	1,676	1,448	0,305	
				8	0,305	1,651	1,422	0,305	
				10	0,305	1,651	1,422	0,305	
2	1885	245,00	25,00	0	1,549	2,769	2,642	2,083	50%
				1	1,549	2,769	2,642	2,083	
				2	1,499	2,769	2,616	2,083	
				4	1,499	2,769	2,616	2,083	
				6	1,524	2,769	2,616	2,108	
				8	1,524	2,769	2,616	2,134	
				10	1,549	2,769	2,616	2,134	
3	2828	367,50	37,50	0	2,794	3,886	3,810	4,293	75%
				1	2,718	3,937	3,861	4,293	
				2	2,692	3,937	3,861	4,293	
				4	2,616	4,013	3,937	4,293	
				6	2,591	4,064	3,988	4,318	
				8	2,515	4,140	4,064	4,343	
				10	2,667	4,343	4,242	4,699	
4	3843	490,00	50,00	0	3,912	5,690	5,715	6,858	100%
				1	3,810	5,740	5,766	6,807	
				2	3,810	5,766	5,715	6,756	
				4	3,861	5,715	5,664	6,782	
				6	4,216	5,791	5,817	7,137	
				8	4,216	5,791	5,817	7,137	
				10	4,140	5,867	5,893	7,137	
				20	4,293	5,867	5,893	7,264	
				30	4,496	5,994	6,020	7,544	
				40	4,470	5,994	6,020	7,544	
				50	4,445	6,020	6,045	7,569	
				60	4,521	6,045	6,096	7,696	
				5	4568	588,00	60,00	0	
1	5,334	6,528	6,655					8,839	
2	5,283	6,604	6,680					8,839	
4	5,232	6,629	6,731					8,839	
6	5,207	6,629	6,731					8,839	
8	5,182	6,629	6,731					8,839	
10	5,436	6,782	6,909					9,195	
6	5003	651,70	66,50	0	6,198	7,366	7,493	10,312	133%
				1	6,198	7,366	7,493	10,312	
				2	6,071	7,442	7,544	10,338	
				4	6,045	7,493	7,595	10,338	
				6	6,045	7,493	7,595	10,338	
				8	5,994	7,493	7,595	10,338	
				10	6,274	7,645	7,772	10,693	
7	5438	704,90	71,88	0	5,283	16,942	15,723	11,811	144%
	1200	156,8	16,00	0	5,410	31,217	30,531	11,836	

Tabla 2 Ejemplo de registro de deformación durante etapa de carga

“Alzate, M. (2020). Registro de datos prueba de carga “La Reserva”. [Captura]. Tomada de informe enviado durante la etapa de prácticas académicas”

TIEMPO DESCARGA	PRESION (PSI REAL)	PRESION (PSI MEDIDO)	CARGA		UNIDADES DEFORMIMETRO:				% CARGA
			KN	TON	DEF 1	DEF 2	DEF 3	DEF 4	
0	880	943,0	122,50	12,50	4,699	16,383	14,961	10,795	25%
1					4,699	16,383	14,961	10,795	
4					4,699	16,383	14,961	10,795	
0	0	0,0	0,00	0,00	1,753	11,557	9,677	5,258	0%
1					1,753	11,557	9,677	5,258	
4					1,753	11,557	9,677	5,258	

Cuarta instancia: Resultados obtenidos en cada prueba de carga y análisis de confiabilidad

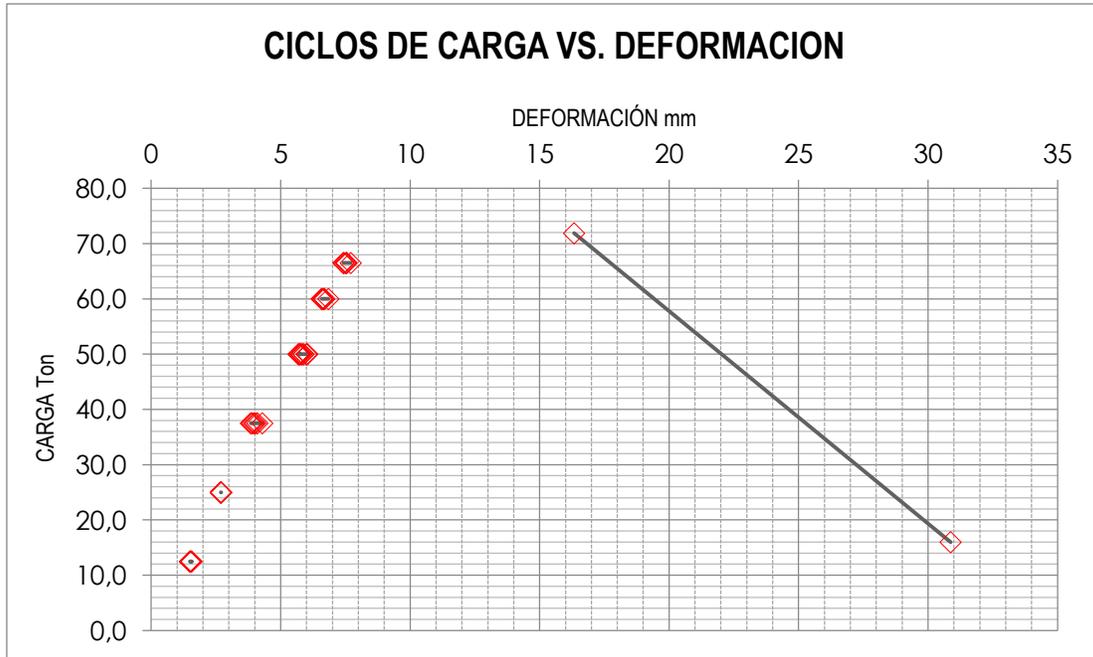
Una vez tomados los datos de cada incremento de la prueba de carga, se realiza un informe con gráficas de interés que muestran el comportamiento del elemento bajo la carga aplicada, por medio de estas se analiza y concluye acerca del comportamiento del micropilote en relación a la verificación de la carga de trabajo (CT).

A continuación se muestra en las “Gráficas 1, 2 y 3”, un ejemplo de comportamiento de micropilote durante una prueba de carga.

En la “Gráfica 1”, se muestra la deformación registrada en cada ciclo de carga, para dictaminar que el micropilote no tuvo registros que sean objeto de estudio, se deben apreciar ciclos secuenciales, líneas de deformación significativas y semejantes, en este caso, se aprecia un brinco anormal, que sugiere fallo del elemento y pérdida de presión ejercida sobre el suelo en la última etapa de la prueba.

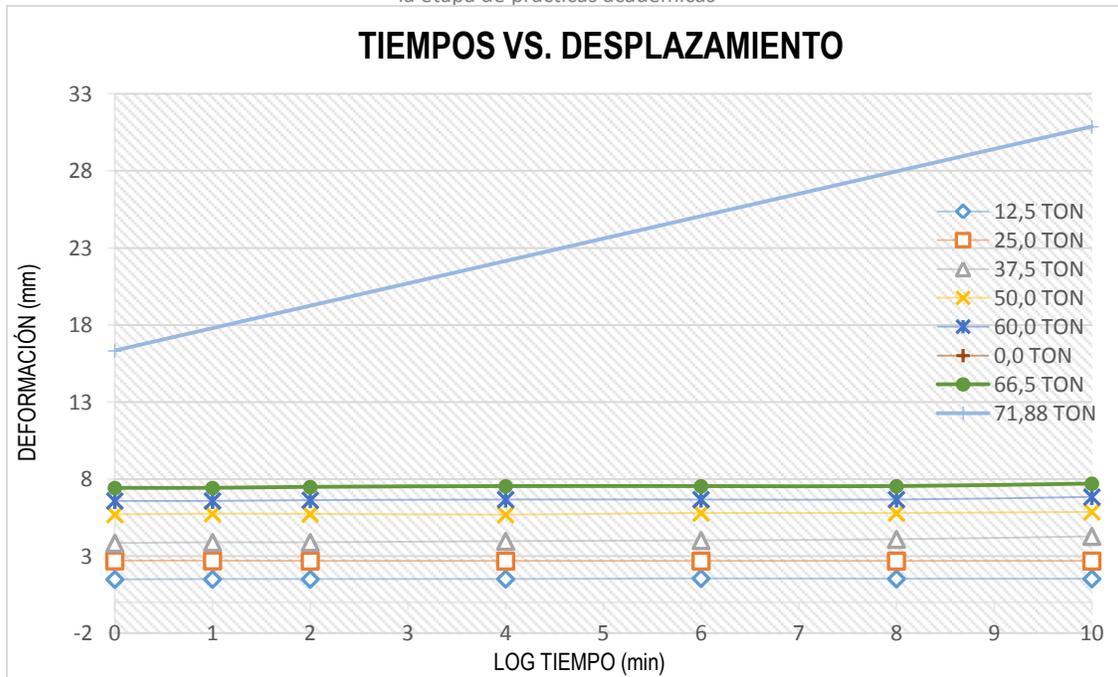
En la “Gráfica 2”, se aprecia el comportamiento del micropilote bajo la carga sostenida, se aprecia que pese a perder presión (Como se muestra en la “Gráfica 1”), conforme pasa el tiempo, la deformación incrementa considerablemente.

La “Gráfica 3” describe el comportamiento del micropilote, que el punto de deformación más alto no se encuentre en el punto de carga más alto, indica que se presentó la pérdida de presión y pese a esa pérdida, el elemento se siguió deformando. Este tipo de comportamiento, puede ser consecuencia de fallo del elemento (su capacidad aportada por la fricción suelo-lechada es sobrepasada), de pandeo ocasionada por punta del elemento trabajando (generalmente micropilote empotrado) o cabeceo del dado de concreto (ocasionado por carga excéntrica, consecuencia de una mala preparación y/o desarrollo de la prueba de carga).



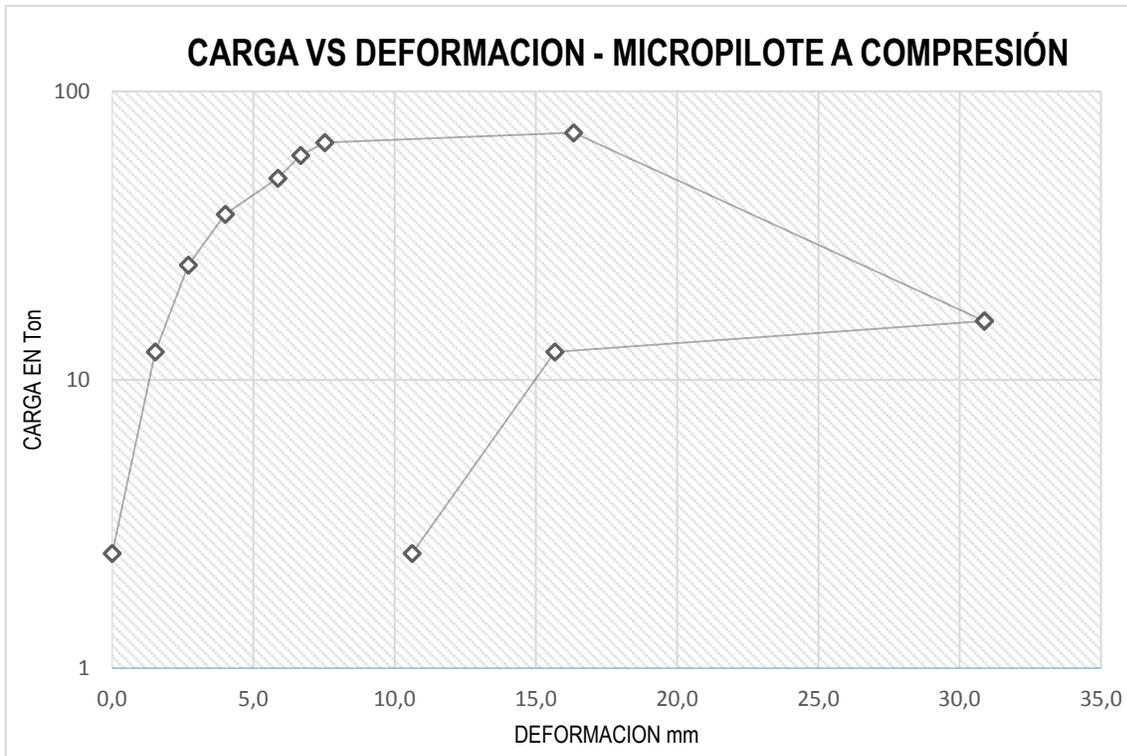
Gráfica 1 Ciclos de carga vs deformación registrada (asentamiento)

“Alzate, M. (2020). Registro de datos prueba de carga “La Reserva”. [Captura]. Tomada de informe enviado durante la etapa de prácticas académicas”



Gráfica 2 Deformación leída en cada ciclo de carga

“Alzate, M. (2020). Registro de datos prueba de carga “La Reserva”. [Captura]. Tomada de informe enviado durante la etapa de prácticas académicas”



Gráfica 3 Comportamiento del micropilote bajo la aplicación de la carga

"Alzate, M. (2020). Registro de datos prueba de carga "La Reserva". [Captura]. Tomada de informe enviado durante la etapa de prácticas académicas"

Quinta instancia: Tabulación de datos de pruebas de carga en micropilotes

Se recopila la información de las pruebas de carga, como se muestra en la "Tabla 3", en esta, hay datos que son puestos en cuestión (filas en rojo) debido a que se realizaron pruebas similares en elementos del mismo proyecto, con el mismo diseño y especificaciones, obteniendo resultados distantes, los cuales sugieren la omisión de alguna variante que alteró los resultados de las pruebas.

En la "Tabla 4 se realiza una breve descripción del tipo de suelo correspondiente a cada tipo prueba de carga recopilada.

Tabla 3 Recopilación de datos de pruebas de verificación y pre diseño ejecutadas en micropilotes

Cód	Ubicación	Tipo de prueba	Longitud Micropilote (m)	Carga (tn)	Asent (mm)	Cap. (tn/m)	¿Asent. admisible ?		NOTAS
							SI	NO	
1	Bello-Potrerito	Verificación	15,000	66,500	5,537	4,433	x		
2	Bello-Potrerito	Verificación	15,000	66,500	5,423	4,433	X		
3	Bello-Potrerito	Verificación	15,000	66,500	9,436	4,433	X		
4	Bello-Potrerito	Prediseño	18,000	77,880	30,874	4,327		X	
5	Bello-Potrerito	Prediseño	18,000	108,000	51,538	6,000		X	
6	Bello-Trapiche	Verificación	20,000	67,000	8,408	3,350	X		
7	Bello-Trapiche	Verificación	20,000	67,000	2,718	3,350	X		
8	Bello-Trapiche	Verificación	20,000	67,000	25,597	3,350		X	Volcamiento
9	La Ceja	Verificación	4,000	19,340	0,495	4,835	X		
10	Medellín	Verificación	11,000	13,570	2,045	1,234	X		
11	La Ceja	Verificación	4,000	19,340	1,257	4,835	X		
12	La Ceja	Verificación	4,000	19,340	1,930	4,835	X		
13	La Ceja	Verificación	4,000	19,340	0,940	4,835	X		
14	Bello-Potrerito	Verificación	18,000	66,500	4,940	3,694	X		
15	Bello-Potrerito	Verificación	18,000	66,500	6,833	3,694	X		
16	Bello-Potrerito	Verificación	18,000	66,500	6,756	3,694	X		
17	Bello-Potrerito	Verificación	18,000	66,500	7,988	3,694	X		
18	Bello-Potrerito	Verificación	18,000	66,500	4,407	3,694	X		
19	Bello-Potrerito	Verificación	18,000	66,500	5,359	3,694	X		
20	Bello-Potrerito	Verificación	18,000	66,500	13,703	3,694	X		Atípico

Tabla 4 Descripción de suelos e información adicional

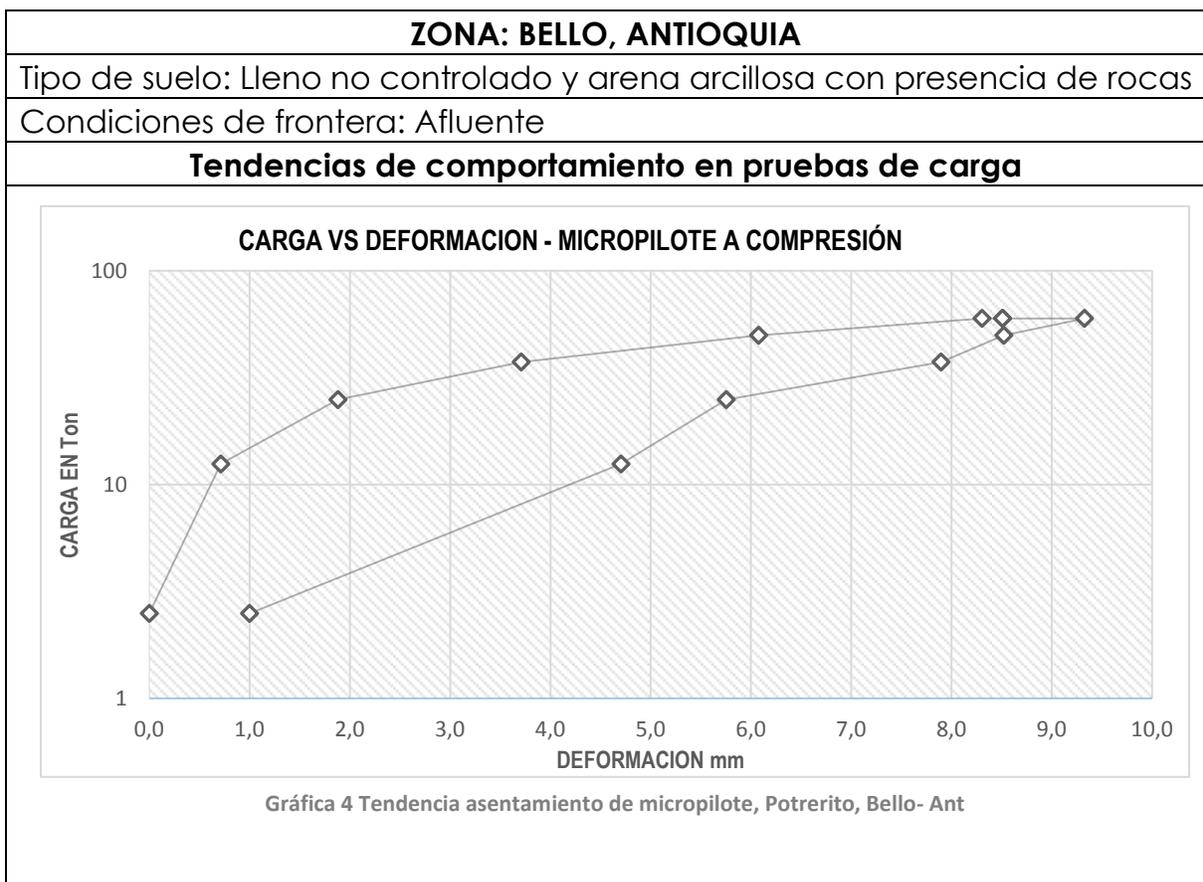
Cód.	Descripción suelo	Método de perforación	¿Dato apto para zonificar?
1	Lleno no controlado de 1m-8m, arena arcillosa con presencia de rocas >8m.	El terreno requiere perforación con rotación y percusión. Se utiliza martillo de fondo.	Puede aportar información (no se conoce la carga límite del elemento)
2	Lleno no controlado de 1m-8m, arena arcillosa con presencia de rocas >8m.	El terreno requiere perforación con rotación y percusión. Se utiliza martillo de fondo.	Puede aportar información (no se conoce la carga límite del elemento)
3	Lleno no controlado de 1m-8m, arena arcillosa con presencia de rocas >8m.	El terreno requiere perforación con rotación y percusión. Se utiliza martillo de fondo.	Puede aportar información (no se conoce la carga límite del elemento)
4	Lleno no controlado de 1m-8m, arena arcillosa con presencia de rocas >8m.	El terreno requiere perforación con rotación y percusión. Se utiliza martillo de fondo.	Aporta información.
5	Lleno no controlado de 1m-8m, arena arcillosa con presencia de rocas >8m.	El terreno requiere perforación con rotación y percusión. Se utiliza martillo de fondo.	Aporta información.
6	Lleno no controlado de 1m-5m, Residual de matriz arenosa >5m	El terreno requiere perforación con rotación y percusión. Se utiliza martillo de fondo.	Puede aportar información (no se conoce la carga límite del elemento)
7	Lleno no controlado de 1m-5m, Residual de matriz arenosa >5m	El terreno requiere perforación con rotación y percusión. Se utiliza martillo de fondo.	Puede aportar información (no se conoce la carga límite del elemento)
8	Lleno no controlado de 1m-5m, Residual de matriz arenosa >5m	El terreno requiere perforación con rotación y percusión. Se utiliza martillo de fondo.	No aporta información, el elemento presenta volcamiento que impide evaluar su capacidad de carga real bajo carga axial.

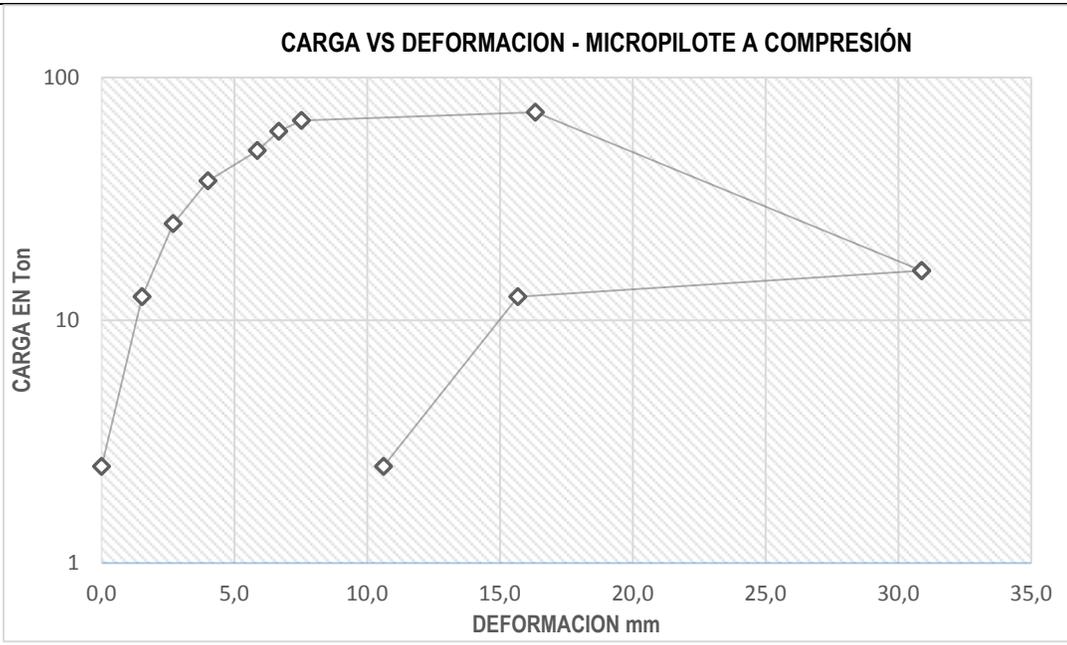
9	Suelo limo arcilloso con presencia de ceniza volcánica.	El terreno requiere perforación con rotación.	Puede aportar información (no se conoce la carga límite del elemento)
10	Información no registrada	Información no registrada	Información no registrada
11	Suelo limo arcilloso con presencia de ceniza volcánica.	El terreno requiere perforación con rotación.	Puede aportar información (no se conoce la carga límite del elemento)
12	Suelo limo arcilloso con presencia de ceniza volcánica.	El terreno requiere perforación con rotación.	Puede aportar información (no se conoce la carga límite del elemento)
13	Suelo limo arcilloso con presencia de ceniza volcánica.	El terreno requiere perforación con rotación.	Puede aportar información (no se conoce la carga límite del elemento)
14	Lleno no controlado de 1m-8m, arena arcillosa con presencia de rocas >8m.	El terreno requiere perforación con rotación y percusión. Se utiliza martillo de fondo.	Puede aportar información (no se conoce la carga límite del elemento)
15	Lleno no controlado de 1m-8m, arena arcillosa con presencia de rocas >8m.	El terreno requiere perforación con rotación y percusión. Se utiliza martillo de fondo.	Puede aportar información (no se conoce la carga límite del elemento)
16	Lleno no controlado de 1m-8m, arena arcillosa con presencia de rocas >8m.	El terreno requiere perforación con rotación y percusión. Se utiliza martillo de fondo.	Puede aportar información (no se conoce la carga límite del elemento)
17	Lleno no controlado de 1m-8m, arena arcillosa con presencia de rocas >8m.	El terreno requiere perforación con rotación y percusión. Se utiliza martillo de fondo.	Puede aportar información (no se conoce la carga límite del elemento)
18	Lleno no controlado de 1m-8m, arena arcillosa con presencia de rocas >8m.	El terreno requiere perforación con rotación y percusión. Se utiliza martillo de fondo.	Puede aportar información (no se conoce la carga límite del elemento)
19	Lleno no controlado	El terreno requiere	Puede aportar información (no

	de 1m-8m, arena arcillosa con presencia de rocas >8m.	perforación con rotación y percusión. Se utiliza martillo de fondo.	se conoce la carga límite del elemento)
20	Lleno no controlado de 1m-8m, arena arcillosa con presencia de rocas >8m.	El terreno requiere perforación con rotación y percusión. Se utiliza martillo de fondo.	Puede aportar información (no se conoce la carga límite del elemento)

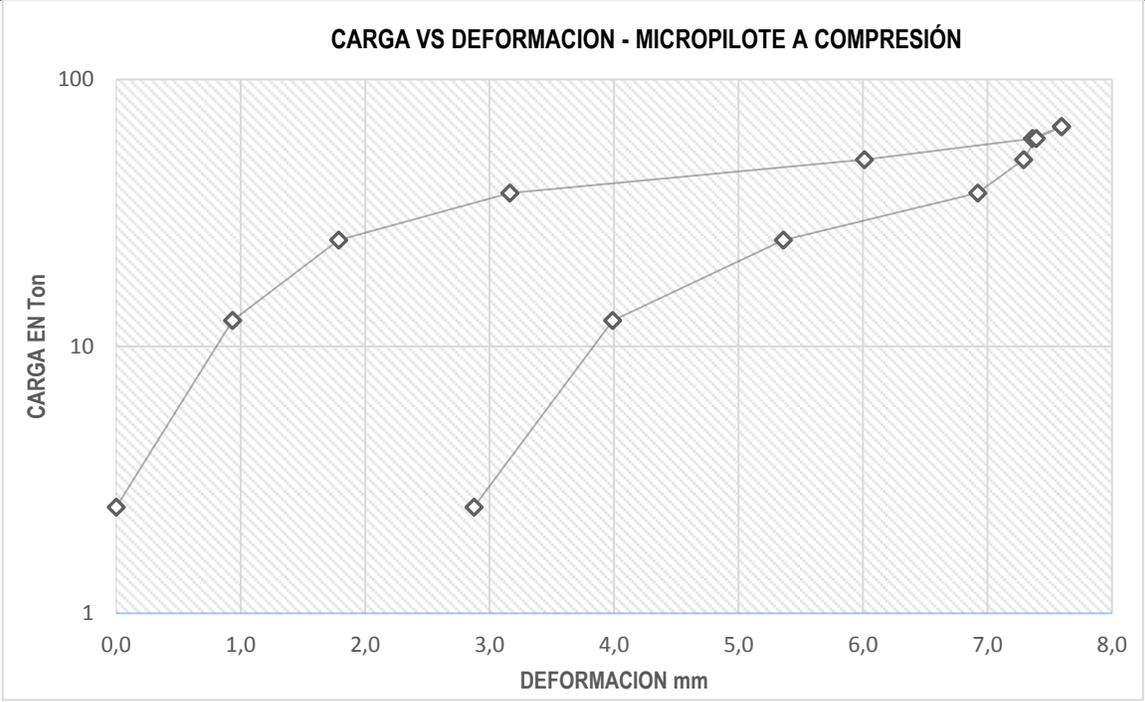
Según la información recopilada, considerando la cantidad de datos de cada zona registrada, se procede a revisar la tendencia de las pruebas ejecutadas en Bello, Antioquia, como se muestra en la "Tabla 5", adicional, se deja abierta la posibilidad de continuar recopilando información para nutrir los datos registrados y dar pie a investigaciones y estudios adicionales.

Tabla 5 Tendencia de comportamiento en suelo arenoso, Vereda Potrerito, Bello-Ant.

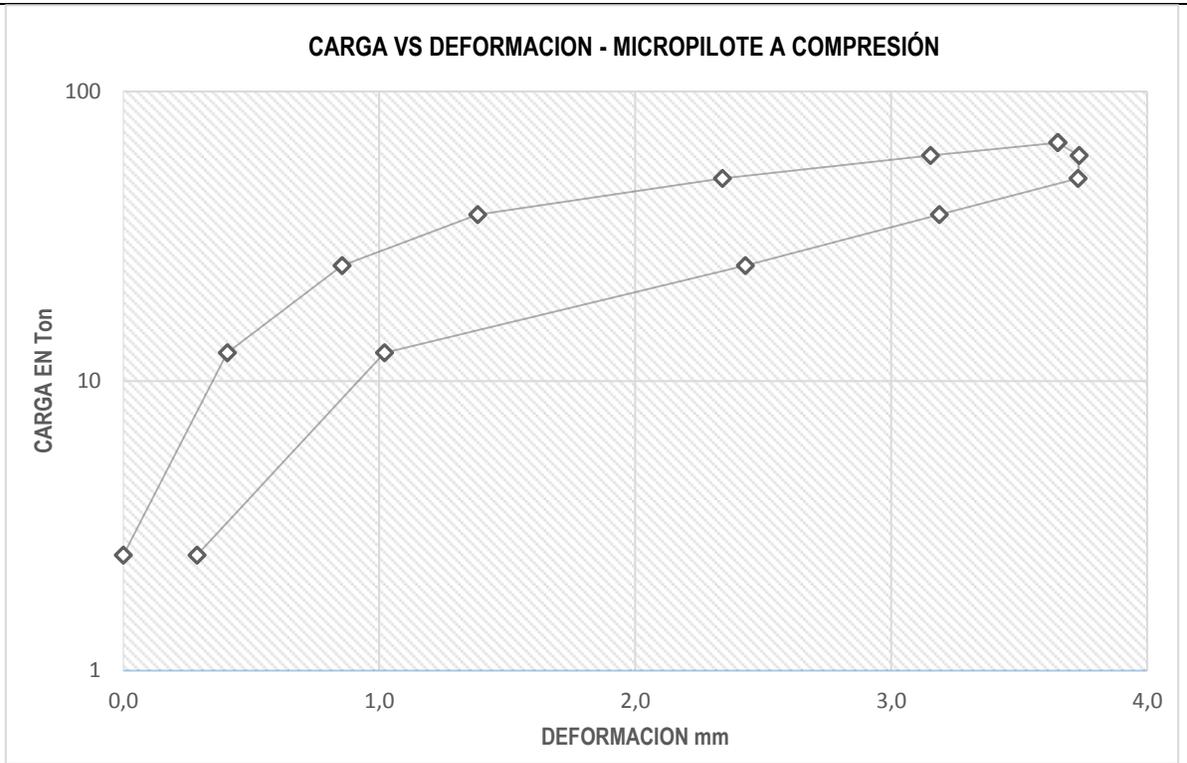




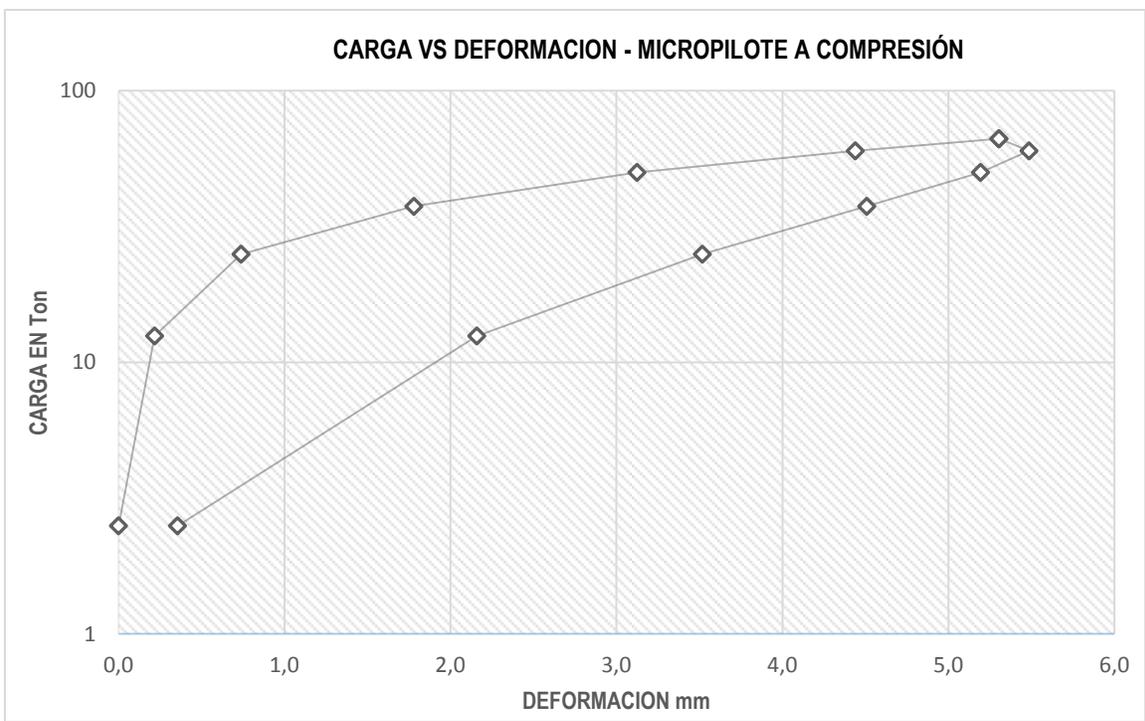
Gráfica 5 Tendencia asentamiento de micropilote, Potrerito, Bello- Ant



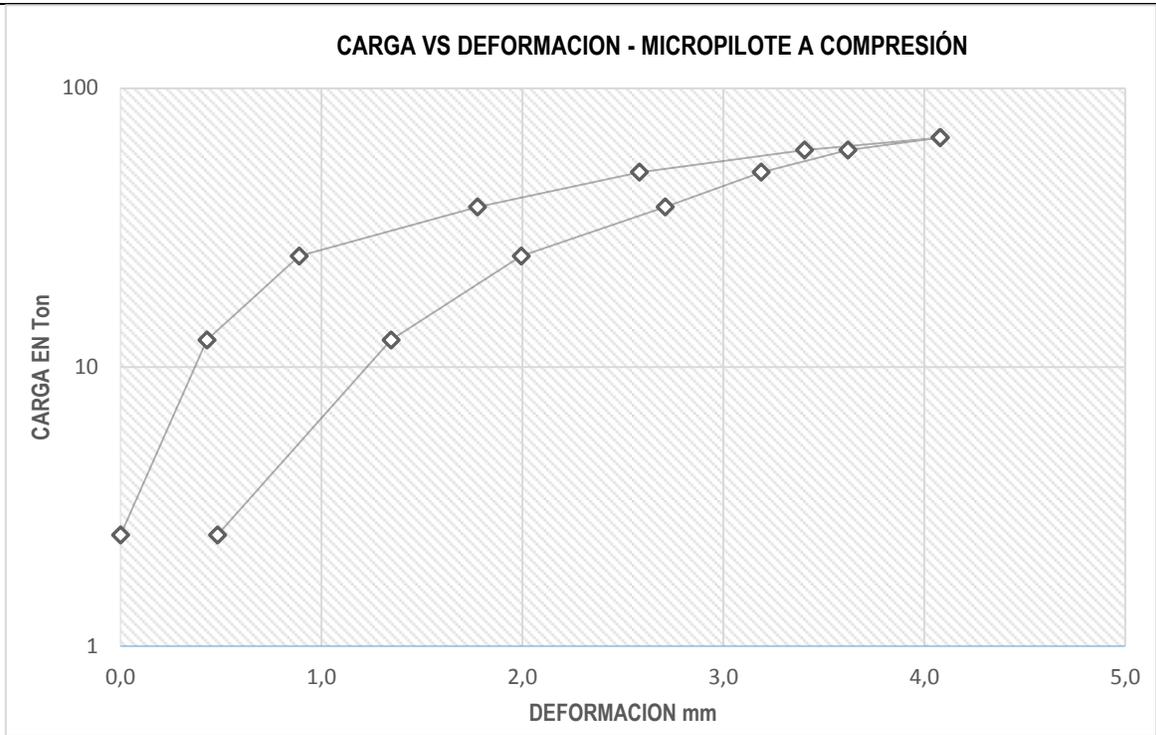
Gráfica 6 Tendencia asentamiento de micropilote, Potrerito, Bello- Ant



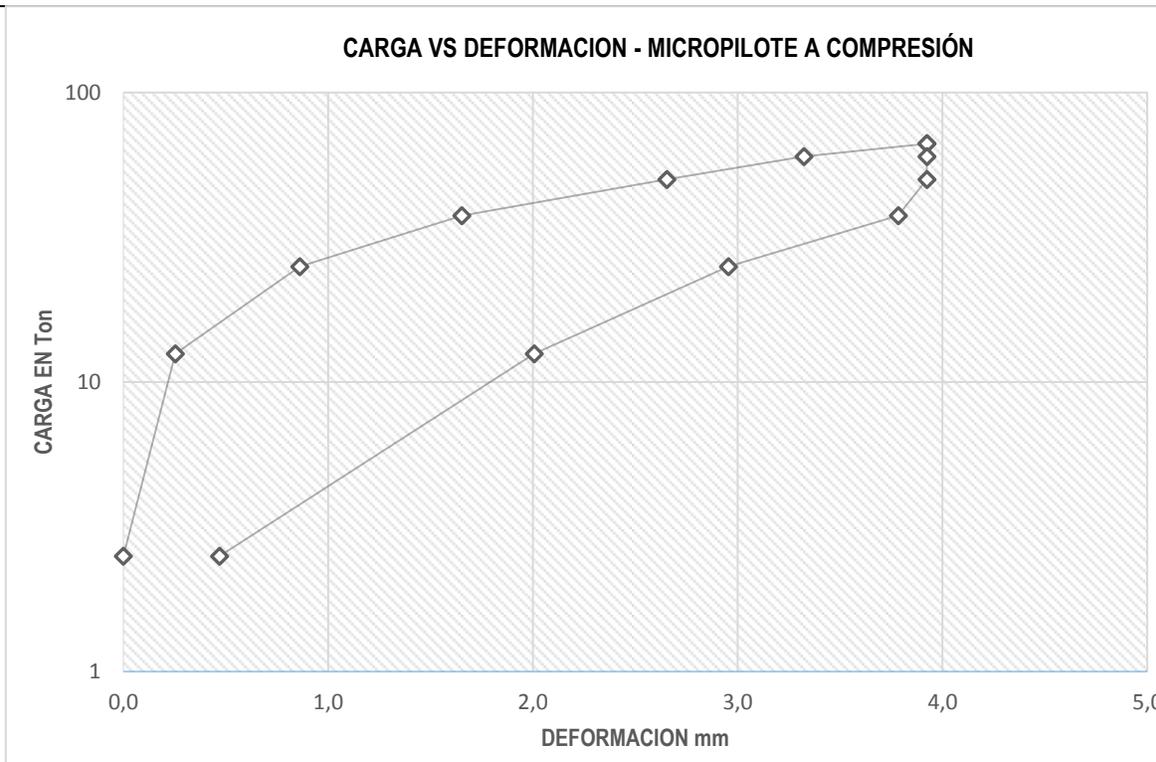
Gráfica 7 Tendencia asentamiento de micropilote, Potrerito, Bello- Ant



Gráfica 8 Tendencia asentamiento de micropilote, Potrerito, Bello- Ant



Gráfica 9 Tendencia asentamiento de micropilote, Potrerito, Bello- Ant



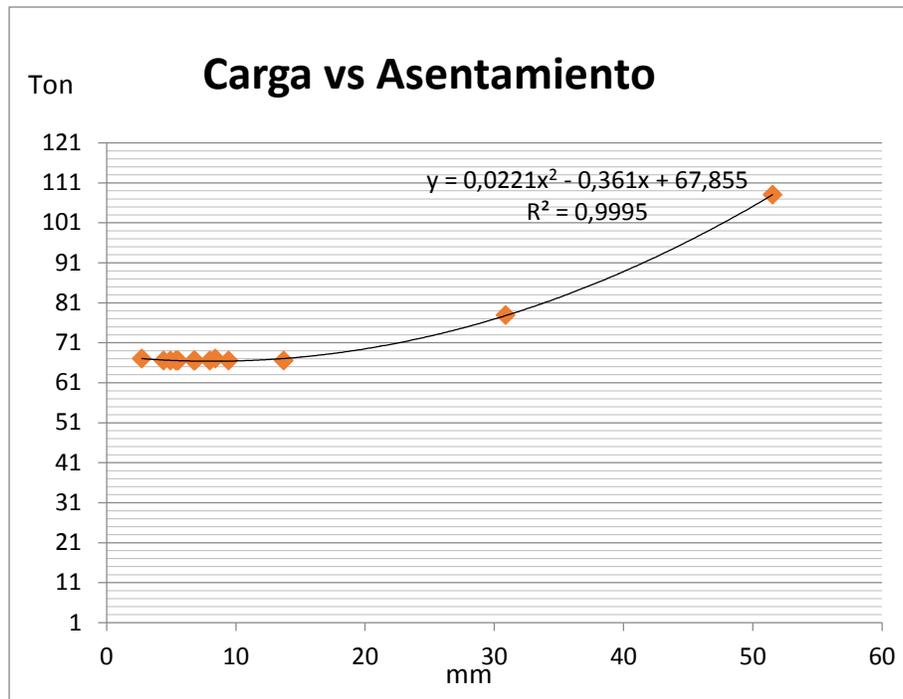
Gráfica 10 Tendencia asentamiento de micropilote, Potrerito, Bello- Ant

PERFIL DE COMPORTAMIENTO DE MICROPILOTE EN SUELO ARENOSO

Ubicación: Tendencia de comportamiento en la vereda Porterito, ubicada en el municipio de Bello del departamento Antioqueño

Descripción del suelo: En superficie (5-8 m) lleno no controlado, subyacido por arena arcillosa con presencia de roca.

Información del elemento: diámetro excavado de 6", diámetro expandido esperado de 8", longitud de 18 m.



Gráfica 11 Tendencia de Carga VS asentamiento

Ecuación de aproximación: $Y = 0,0221X^2 - 0,361X + 67,855$

Siendo Y, la carga en toneladas

Siendo X, el asentamiento en milímetros

Conclusiones

- Se describe el micropilote como unidad de fundación que integra un conjunto de elementos diseñados para trabajar en grupo, y, que debido a su esbeltez no debe ser construido ni diseñado para trabajar empotrado (se debe descartar su capacidad por punta).
- Durante el desarrollo de una prueba de carga a compresión en micropilote, el manómetro puede registrar una pérdida de presión significativa que no es posible recuperar, acompañado de brinco en la lectura de los comparadores de carátula, que puede ser indicativo de tres fenómenos; opción 1, que la carga aplicada supera la capacidad del elemento generada por la interacción del suelo-lechada y presentada por medio de la resistencia del rozamiento, opción 2, se presenta pandeo debido a que el micropilote fue empotrado durante su proceso constructivo, induciéndolo a que trabaje por punta y restringiendo el desarrollo de su capacidad alcanzada por la fricción entre la lechada del elemento y el suelo, opción 3, el elemento cabecea (puede presentar o no presentar volcamiento del dado de concreto y es ocasionado por aplicación de carga excéntrica sobre el elemento, el dado de concreto cumple la función de rigidizar el elemento en el cabezal, sustituyendo la viga diafragma, sin embargo, es mucho menos rígida, otra posible causa de que se presente este fenómeno, es la deficiencia en el montaje de la prueba, generando concentradores de esfuerzos y aplicando la carga excéntricamente).
- Según el tipo de suelo, es posible estimar una carga esperada por el micropilote, sin embargo, para zonificar los resultados, es necesario un registro denso de pruebas de carga llevadas a la falla por superar la resistencia de rozamiento entre el suelo y la lechada del micropilote, fundamentando estadísticamente el resultado de cargas según tipos de suelo.
- En la "Tabla 3 y 4" se presenta información de utilidad que permite analizar el comportamiento de micropilotes en relación a sus deformaciones, sin embargo, el número de registros archivados de pruebas de carga llevadas a la falla se considera estadísticamente deficiente, ocasionando que zonificar la resistencia de los micropilotes no se efectuó.
- En base a las pruebas de carga ejecutadas y los análisis realizados en cada una de ellas, se confirma la posibilidad de una zonificación, que sea la culminación de registros densos y tabulación rigurosa de

pruebas de carga realizadas en diferentes tipos de suelos del Departamento de Antioquia.

- Se sugiere que el análisis registrado de carga prueba de carga a la falla, sea efectuado por la persona que ejecutó la prueba de carga, esto con objeto de describir apropiadamente las condiciones externas y en caso tal de requerir depurar, hacerlo con criterio fundamentado.

Referencias Bibliográficas

- [1] SERIE NORMATIVAS, INSTRUCCIONES DE CONSTRUCCIÓN. [En línea]. España.2005. Ministerio de – fomento del Departamento de Carreteras. Nùmeral 3.3.2.2. Pag 27.
- [2] SUAREZ, Jaime. Deslizamientos: Técnicas de remediación. Capitulo 5: PERNOS, CLAVOS Y MICROPILOTES. [En línea]. [Revisado en diciembre de 2020].Pag 195
- [3] Lorente, Raúl. EJECUCIÓN DE MICROPILOTES EN RECALCE DE CIMENTACIONES. [En línea]. Colombia. 2013. Universidad Politécnica de Cartagena Escuela de Arquitectura e Ingeniería de Edificación GRADO EN INGENIERÍA DE EDIFICACIÓN., p. 24-25
- [4] SERIE NORMATIVAS, INSTRUCCIONES DE CONSTRUCCIÓN. [En línea]. España. 2005. Ministerio de – fomento del Departamento de Carreteras. Nùmeral 1.3., Pag 8.
- [5] PILOTES Y OBRAS S.A.. [En línea]. España. 2015., PRODUCTOS- Tipos de MICROPILOTES
- [6] HERNANDEZ DEL POZO, Juan Carlos, et al. EL CONTROL DE CALIDAD EN LAS OBRAS CON MICROPILOTES INYECTADOS. PARÁMETROS DE CÁLCULO EN SUELOS ALPUJÁRRIDES. [En línea]. España. 2012., Geotécnica del Sur S.A.
- [7] ASTM D1143 / D1143M-20, Métodos de prueba estándar para elementos de cimentación profunda bajo carga de compresión axial estática, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2020, www.astm.org

Bibliografía

- Sánchez, C. (25 de abril de 2020). Citar Normas Técnicas o de Calidad – Referencias Bibliográficas. Normas APA (7ma edición). <https://normas-apa.org/referencias/citar-normas-tecnicas-o-de-calidad/>
 - Ingeniería Geológica – Luis I Gonzalez Vallejo.
 - Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. Braja M. Das, 2001.
 - MEYERHOF, G.G. (1951). Some recent research on the bearing capacity of foundations. Canadian Geotechnical Journal, 1 (1), 16 – 26.
 - MURTHY, V.N.S. (2002). Geotechnical Engineering: Principles and Practices of Soil
 - Mechanics and Foundation Engineering. New York: Marcel Dekker.
-