

ANÁLISIS TEÓRICO DE METODOS Y PROCESOS EN CONTRUCCIÓN DE  
MICROPILOTES INYECTADOS PARA FUNDACIONES.

POR:

HUGO ARMANDO FORERO GONZALEZ

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA CIVIL

ZIPAQUIRA

2014

ANÁLISIS TEÓRICO DE METODOS Y PROCESOS EN CONTRUCCIÓN DE  
MICROPILOTES INYECTADOS PARA FUNDACIONES.

POR:

HUGO ARMANDO FORERO GONZALEZ

Trabajo final investigativo de Grado.

LUIS FELIPE CARRILLO

Director de trabajo

Ingeniero Civil Geotecnia.

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA CIVIL

ZIAPAQUIRA

2014

## CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN.....	8
1.1. JUSTIFICACIÓN.....	9
2. OBJETIVOS.....	10
2.1. OBJETIVOS GENERALES.....	10
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	10
3. MARCO TEÓRICO.....	11
3.1. ANTECEDENTES.....	11
3.2. CONCEPTOS BASICOS.....	12
3.3. FUNCIÓN Y APLICACIÓN DE LOS MICROPILOTES.....	13
3.4. TIPOS DE MICROPILOTES.....	14
3.5. MÉTODOS PARA LA REALIZACIÓN DE MICROPILOTES.....	15
3.5.1.MICROPILOTES CONSTRUIDOS CON INYECCIÓN GLOBAL UNITARIA.....	16
3.5.2. MICROPILOTES CON INYECCIÓN REPETITIVA.....	17
3.6. CLASIFICACIÓN SEGÚN EL TIPO DE ARMADURA.....	18
3.7. PARTES DEL MICROPILOTE.....	19
3.8. RESISTENCIA A LA ESTRUCTURA.....	19
3.9. MAQUINARIA Y MANO DE OBRA.....	20
3.10. MÉTODOS DE DISEÑO.....	21
3.10.1. MÉTODO TRADICIONAL PARA PALI RADICE.....	21

3.10.2. MÉTODO DE BUSTAMANTE.....	22
3.10.3. EXPERIENCIAS DE GOUVENOT.....	28
3.10.4.METODOLOGÍA DE CÁLCULO BRASILEÑA (DA COSTA NUNES).....	29
3.10.5. RESISTENCIAS ÚLTIMAS POR FUSTE SEGÚN LA GUIA FHWA.....	29
3.11. MOVILIZACIÓN DE LA RESISTENCIA POR EL FUSTE.....	31
3.12.DISTRIBUCIÓN DE LA CARGA A LO LARGO DEL FUSTE DEL MICROPILOTE CARGADO POR LA PUNTA.....	34
3.13. TOPE ESTRUCTURAL DEL MICROPILOTE.....	35
3.14. RESISTENCIA POR PANDEO.....	36
3.15. ENSAYOS DE CARGA SOBRE MICROPILOTES.....	37
3.16. ENSAYO A TRACCIÓN.....	38
3.17. ENSAYOS DE CARGA A COMPRESIÓN.....	39
4. MARCO LEGAL.....	40
5. DESCRIPCION DEL PROBLEMA.....	42
6. METODOLOGIA.....	44
6.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	44
6.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	44
6.3. DEFINICIÓN OPERACIONAL DE LAS VARIABLES.....	45
7. DISEÑO COMPROBATORIO.....	48
8. VARIABLES E INDICADORES.....	57
9. PROCESOS Y PROCEDIMIENTOS.....	58
9.1. MUESTRA DE MEZCLA DE CEMENTO.....	59
9.2. PRUEBAS DE CARGA AXIAL EN MICROPILOTES.....	59
10. RESULTADOS.....	61
10.1. DISEÑO DEL MICROPILOTE.....	61
10.2. PROCESO CONSTRUCTIVO.....	61
10.3. MEZCLA DE CEMENTO.....	67

10.3.PRUEBAS DE CARGA.....	70
11. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	85
12. CONCLUSIONES.....	80
13. RECOMENDACIONES.....	90
14. BIBLIOGRAFÍA.....	91

## RESUMEN

La importancia de realizar un análisis de los métodos, procesos en construcción y propiedades de un micropilote como fundación en edificaciones, se crea a partir de observar los métodos poco técnicos que vienen siendo empleados en Colombia y principalmente en Bogotá, para la realización de este sistema de cimentación, en áreas de difícil acceso para la maquinaria, se opta por cambiar la construcción de pilotes tradicionales por los anteriormente mencionados, el objetivo principal de esta investigación es analizar el comportamiento, la estructura y los materiales utilizados en la construcción de micropilotes inyectados para luego realizar un seguimiento a este tipo de procesos constructivos en campo, y con esto poder determinar la viabilidad de construir micropilotes con los debidos procesos para poder remplazar los tradicionales, y por medio de un seguimiento que se realizó a una construcción en Bogota la cual permitió tomar las respectivas pruebas a los materiales y así llevarlas a un laboratorio certificado para luego compararlas.

Las características más relevantes de este tipo de fundaciones fueron extraídas de libros y artículos científicos que dejan constatar la funcionalidad del sistema, los procesos técnicos y su tipo de fabricación ampliando la veracidad de su funcionamiento. La obtención de resultados en cálculos realizados para una muestra es satisfactorio y se afirma que ya con los estudios hechos son equivalentes a los pilotes tradicionales, pero construyendo más unidades de las calculadas inicialmente, y así poder obtener el factor de seguridad requerido por el diseño, se pudo observar que son pocas las normas que avalan este tipo de procesos, pero que al ser comunes y para poder sacar las construcciones adelante con las especificaciones técnicas deseadas se están utilizando. Se vio como el proceso que es el que se pide no está siendo utilizado de la manera adecuada, y esto es lo que conlleva a revisar la funcionalidad del sistema si quedan vacíos los cuales afectan la integridad de la fundación.

## ABSTRACT

The importance of conducting an analysis of the methods, processes and properties under construction as a micropile foundation in buildings is created from observing the little technical methods that are being employed mainly in Colombia and Bogotá, for the realization of this system foundation, in remote and poor access for machinery areas choose to change the traditional construction of piles by the above, the main objective of this research is to analyze the structure and behavior of materials used in the construction of micropiles then injected a comparison with respect to traditional reinforced concrete piles, and thus to determine the feasibility of constructing buildings with these in replacement of traditional, which allowed the study of this system and building materials laboratory tests were performed as Grout is the material with which the drilling was conducted in the field is injected.

The most important characteristics of such foundations were drawn from books and scientific articles that leave finding system functionality and technical processes such veracity of expanding manufacturing operation. Obtaining results on calculations for a sample is satisfactory and stated that the studies and facts are equivalent to traditional piles but building more units than initially calculated, in order to obtain the required safety factor for design is It was observed that few standards that support these processes but to be common and to draw the buildings ahead with the desired technical specifications are being used, was seen as the process that is being asked is not being used as should be and this is what leads to check the functionality of the system if there are gaps which affect the integrity of the foundation.

## 1. INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo de investigación se estudiará un sistema de cimentaciones profundas “micropilotes”, los cuales se han utilizado con gran frecuencia en las construcciones para agilizar procesos, y en zonas de difícil acceso por realizar una buena fundación, cuando se cambia el sistema tradicional se opta por construir los micropilotes que son los que se analizaron en este texto, propiedades físicas, de materiales y comportamiento de la estructura para poder llegar a responder la pregunta ¿los procesos constructivos utilizados en Colombia y principalmente en Bogotá son los adecuados para la realización de micropilotes?. Y así poder aclarar las dudas con respecto a este sistema poco común pero que es ya algo antiguo. Esta investigación está basada básicamente en tres partes y cada una de ellas pretende abarcar y argumentar el sistema estudiado desde sus materiales, como su modo de construcción y su funcionamiento como fundación.

En la primera el estudio de los materiales, ya que son estos los que permiten que el sistema adquiera mayor credibilidad en el área de la construcción, en el cual se incluyeron ensayos de laboratorio y se analizaron los resultados para compararlos con los materiales de los pilotes tradicionales.

El segundo es el método constructivo ya que este es fundamental para que el sistema soporte las cargas que se van a tener en la edificación, se resalta este método utilizado en Colombia no cumple con las normas requeridas para la ejecución del mismo, y comparándolo con los sistemas tradicionales se observó que estos son más técnicos.

El tercero y fundamental es la realización de análisis teóricos de cómo funciona este tipo de micropilotes, como actúan los materiales que lo componen y como se mezcla la lechada de cemento inyectado con el terreno en el cual se introduce. A parte que estos sistemas funcionan como pilotes también ayudan a densificar el terreno para que este adquiera mayor solidez y resistencia, como actúa cuando se presentan las fallas y que tipos de prevención se puede tener, como actúa a compresión, a tracción, tensión y la reacción con las diferentes fuerzas que se le ejercen.

La búsqueda de diferentes autores e investigadores dieron a conocer la respuesta a la pregunta del trabajo investigativo. Además paralelamente se fueron realizando comparaciones con pilotes tradicionales y así llegar a cumplir los objetivos propuestos en el texto.



## 1.1. JUSTIFICACIÓN

Responder a preguntas como ¿los métodos constructivos de micropilotes utilizados en Colombia son los adecuados? Siempre han llevado a investigar sobre el tema de las cimentaciones profundas y en este caso el de los micropilotes, ya que este por ser un sistema bastante simple se crea una incertidumbre en el campo de la construcción por los procesos constructivos, ya que estos son complejos y no se realiza el respectivo seguimiento para que sean construidos de la manera adecuada y así garanticen la integridad del mismo.

Es conveniente llevar a cabo esta investigación puesto que se han creado grandes dudas sobre si este sistema que está siendo utilizado en Colombia para ahorrar costos tiempo y facilitar su construcción, es el ideal a la hora de soportar las cargas necesarias con las cuales los proyectos fueron diseñados inicialmente, los materiales y procesos utilizados son de mayor cuidado a la hora de realizar la estructura y se falla en el proceso, ya que los obreros no son lo suficientemente capacitados para realizar las mezclas de la lechada de cemento dejándola con demasiada agua más de la requerida según cálculos realizados en el diseño de agua/cemento.

No solo el diseño de la mezcla puede afectar el sistema sino también la socavación del terreno al instalar la armadura puede llegar a no garantizar que el diámetro del micropilote quede de acuerdo a lo requerido según los cálculos estructurales realizados.

La investigación planteada contribuirá a tener los conocimientos requeridos y poder intervenir en obras en las cuales se estén utilizando estos métodos constructivos para así capacitar las personas de acuerdo a los procedimientos y las funciones que son necesarias para la realización de estos, “ solo un pequeño porcentaje de micropilotes son sometidos a pruebas de carga lo que en comparación con los anclajes inyectados dan lugar a un menor grado de seguridad, por lo tanto hay que tener muy en cuenta el coeficiente de seguridad de adherencia principalmente en los pilotes a tracción”(Bustamante, 1986), entonces se puede argumentar la falta del estudio de este sistema para poder determinar las fallas que se han venido teniendo con respecto a los procedimientos y la elección de materiales para la realización de dicha estructura.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GENERAL**

- Analizar los métodos, procesos constructivos y materiales utilizados en micropilotes inyectados con el fin de determinar las fallas de estos sistemas en la ejecución de fundaciones profundas.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar los métodos, procesos y materiales de micropilotes inyectados.
- Comparar procesos constructivos y así poder determinar las fallas que se realizan en este procedimiento, ya sea por parte operacional, de maquinaria o parte técnica.
- Determinar cuál de los procesos es el más adecuado para la realización de este tipo de fundaciones, según la teoría encontrada en el estudio de este sistema para el mejor manejo de los materiales.

### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1 Antecedentes

Los micropilotes inyectados son considerados como cimentaciones profundas los cuales son realizados en terrenos de poco acceso de maquinaria y sus funciones fundamentales son:

- Soporte de elementos portantes trabajando a compresión.
- Trabajo como elementos a tracción en estabilización de taludes.
- Trabajar como estructuras de contención en tierras.

Estos micropilotes básicamente consisten en acero de refuerzo vertical con refuerzo de acero horizontal fleje circular o cuadrado dependiendo el tipo de sección del mismo, un tubo de pvc en el cual se inyecta la lechada de cemento y se debe realizar la perforación para después introducir el acero y posterior mente inyectarlo con la lechada.

Los primeros micropilotes fueron instalados en Italia en los años 50 y fueron propuestos como un método para cimentar edificios y recalzar los monumentos históricos, y en los años 80 este sistema fue introducido en EEUU, y ya entonces tuvo aceptación para cimentar y realzar estructuras existentes.

De acuerdo a (Hernández, 2002) concepto de pilote es” mecanismo que sea capaz de transmitir esfuerzos a un nivel competente que se encuentra a una profundidad relativa” siendo una práctica que se desarrolló desde los primeros tiempos.

La hincas de troncos de madera con métodos manuales se realiza en terrenos flojos los cuales se pueden introducir de forma fácil para alcanzar estratos duros y poder garantizar su funcionamiento fue desarrollado por el hombre sedentario para ubicar su hábitat en lugares cercanos a los ríos.

Se han encontrado numerosos restos arqueológicos de estos sistemas constructivos en áreas pantanosas “donde presentaba la doble función de cimentaciones y de separación de lavase de la vivienda de las lagunas circundantes” (Hernandez, 2002), en la edad media se desarrollaban numerosas construcciones de este tipo en Venecia y en Holanda.

También durante muchos años se realizaron pilas de árboles estos presentaban un diámetro progresivo para así tener una mejor penetración lo cual se hacía imposible con métodos de pilotes hincados.

Estos métodos eran principalmente utilizados mediante golpes de mazo y medios mecánicos, utilizando sistemas de palanca o incluso métodos de ruedas de agua.

Al pasar el tiempo y con la revolución industrial llegaron nuevas formas más eficaces de hincar estos y con una mayor efectividad y rapidez aumentando también la longitud de los mismos para así poder soportar cargas mayores, también fue posible encontrar la forma de desarrollar perforaciones empotradas en suelos inestable a un bajo costo.

Las perforaciones de pozos petroleros dieron pie para avanzar en el campo de los pilotes y reducir el diámetro de estos “en 1952 el contratista italiano Fondedile, bajo dirección técnica del Dr Lizzi, comenzó a construir pilotes con diámetros más pequeños que los estipulados por los códigos de construcción de la época” (Lizzi, Fernando, 1982), y de ahí partieron el nombre de los micropilotes.

Las características principales de los micropilotes es que estos son construidos de un menor diámetro y la maquinaria utilizada para la realización de este es más pequeña que la de los pilotes tradicionales “los micros primitivos fueron construidos con diámetros del orden de los 100mm y probados con cargas con más de 40 KN sin sufrir deformaciones evidentes” (Bruce, 1995).

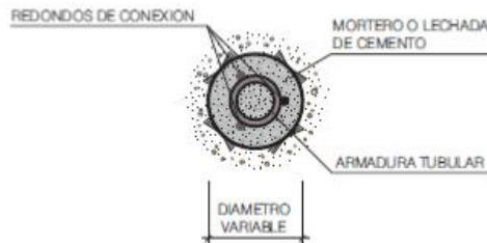
El uso de la perforación y la introducción de la lechada para construir el micropilote reduce tanto las vibraciones como cualquier efecto que pueda producirse en la estructura en comparación con otras técnicas de la instalación de pilotes, en 1973 fueron utilizados en Estados Unidos pero no fueron recibidos con gran aceptación y esta técnica fue desarrollada hasta finales de los 80, hoy en día son utilizados en gran parte del mundo para la rehabilitación y recalce de edificios.

### **3.2 Conceptos básicos.**

Los micropilotes según (Bustamante, 1985) “son elementos con capacidad inferior a los pilotes tradicionales, su principal característica es que son de menor diámetro y su perforación es a rotación mediante una tubería de perforación”. Son de mucha necesidad ya que encontramos áreas en las que no son factibles la construcción de los que se utilizan comúnmente y su diámetro se construye como se muestra en la (figura 1).

Las diferencias principales de los dos tipos de pilotes radican en su proceso de construcción y en el tamaño de perforación su tamaño llega a ser máximo de 350 mm.

Figura 1. Partes de un micropilote.



Estos transmiten las cargas desde la estructura de la construcción hasta el terreno, por medio de esfuerzos de compresión y en ocasiones de flexión y cortante e incluso a tracción, esta transmisión se realiza por medio de la unión de la estructura en varios elementos mediante la cimentación y así realizar el rozamiento por fuste despreciándose en muchos casos la resistencia en punta ya que esta es muy inferior con respecto a los utilizados normalmente.

### 3.3 Función y aplicación de los micropilotes.

Se puede decir que la función básica y las aplicaciones son las que se exponen por (Hernández, 2002), como se explican a continuación:

- a) En estructuras de cimentación: se llegaron a utilizar en obras nuevas como en recalces de edificaciones ya construidas. Para el caso de edificaciones nuevas como ya se ha mencionado en el texto para llegar a terrenos de difícil manejo de la maquinaria para pilotes tradicionales y para reducir tiempo en la construcción, para recalces su mayor uso se da en la rehabilitación de obras ya construidas y que suelen ser reforzadas ya sea por cambio de norma o por cuestiones técnicas del terreno.
- b) Estructuras de contención o sostenimiento del terreno: generalmente se utilizan varios y se realizan verticalmente se acompañan de anclajes y refuerzan los terrenos.
- c) Estabilización de taludes y laderas: se alinean en grupos números y se realizan verticalmente también son acompañados de anclajes. Producen

mejor en el en el coeficiente de seguridad global por incremento de resistencia al corte de las mismas.

- d) Mejoramiento del terreno: ayuda al aumento de la capacidad portante del terreno para arreglo y mejoramiento de terrenos y reducir los asentamientos diferenciales de las estructuras realizadas.
- e) Como estructuras de contención de tierras: por medio de la realización de varios seguidos en terrenos que son bastante inestables pueden llegar a funcionar como muros de contención llegando a funcionar como una pantalla.

### **3.4. Tipos de micropilotes.**

Se clasifican de acuerdo al seguimiento de los siguientes aspectos según (Hernández, 2002):

1. Según la forma de las transmisión de los esfuerzos del terreno, ya que estos actúan de acuerdo a como se dé su geometría y se clasifican así:
  - Como elemento puntual.
  - Como grupo, actuando sobre determinada zona del terreno.
2. Según el tipo de zona dominante a la que esté sometido por las cargas de la estructura y por el tipo de terreno se clasifican así:
  - Esfuerzos axiales de compresión y tracción.
  - Flexión.
3. Según el sistema y tipo de lechada de cemento o mortero a utilizar de acuerdo a los requisitos que tenga el estudio de suelos según el terreno:
  - Tipo 1: inyección única global (IGU); una sola fase a baja presión.
  - Tipo 2: inyección Única repetitiva (IR) en una o dos fases mediante latiguillos y presiones medias no superiores a la mitad límite del terreno.
  - Tipo 3: inyección repetitiva y selectiva (IRS), a través de tubos de manguitos con inyecciones superiores a dos y con altas presiones de hasta la presión límite del terreno.

### **3.5. Métodos para la construcción de micropilotes.**

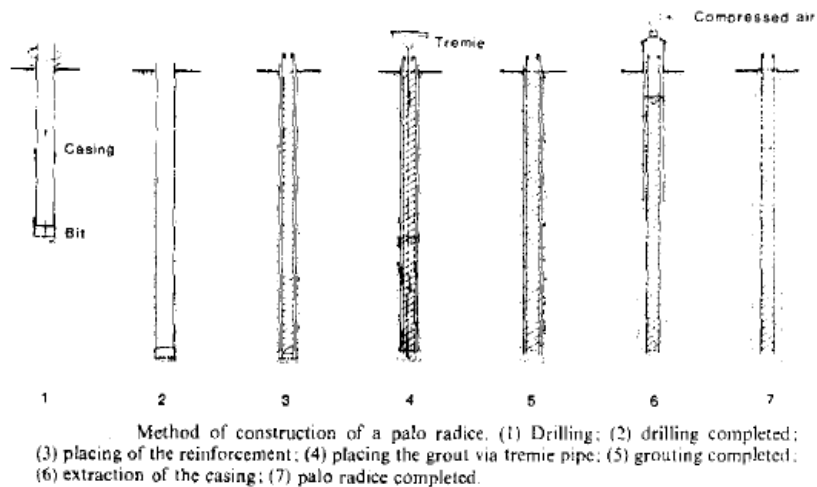
Para el análisis de micropilotes es necesario saber cómo se construyen y de que están compuestos con lo cual podemos decir que “son estructuras cilíndricas de

pequeño diámetro entre 75 y 300 mm con esbeltez entre 10 y 20, perforados “in situ” verticalmente o con inclinaciones hasta de 20°, constituidos por una armadura de acero que se aloja en el taladro relleno con mortero o lechada de cemento. Las cargas admisibles oscilan entre 3 y 150 toneladas las cargas se transmiten por fricción y punta” (Donald A, 1995) inyectados a presión.

En la instalación y construcción de micropilotes según el método de “palo radice” que nos dice “la perforación se realiza a presión. El residuo de perforación es lavado con agua o con fango bentónico. La armadura que se utiliza para estos es de una barra de diámetros pequeños de (10), un tubo con una armadura compuesta por diámetros mayores de hasta (26 a 30)” (Lizzi, 1985), y por medio de la (figura 2) podemos ver los pasos a seguir para la realización del sistema.

1. Perforación.
2. Perforación térmica.
3. Colocación de la armadura.
4. Puesta en obra del mortero mediante una tolva tremie.
5. Hormigonado térmico.
6. Extracción de la entubación manteniendo el mortero a presión mediante aire comprimido.
7. Terminación del “palo radice” añadiendo algo de mortero a la cabeza.

Figura 2. Método de ejecución de un “palo radice”



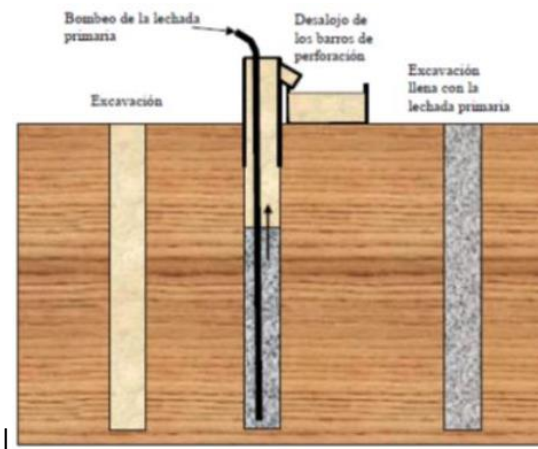
Lizzi, F. (1985). Montones de Raiz. En F. Lizzi, *Micropilotes* (pág. 84).

La maquinaria de perforación se debe realizar con mechas especiales dependiendo el tipo de suelo o roca que se esté manejando para la cimentación a realizar, la mayoría como se mencionó anteriormente en rotación y con agua, hasta alcanzar la profundidad deseada. Al alcanzar la profundidad deseada se instalara una cañería para proceder a la inyección de la lechada denominada inyección primaria.

Las lechadas utilizadas son de alta resistencia en un orden no menor a los 250 kg/cm<sup>2</sup> (25 Mpa), suele agregarse aditivos para que esta tenga mejor aspecto y trabaje como es deseado ya que suele perderse y quedar cortada.

Estos aditivos ayudan a prevenir y disminuir la contracción, reducen la relación de cemento arena sin perder la relación de la lechada ni la eficiencia del mortero, y ayuda a la compatibilidad de fragüe con la operación de instalación de armadura. En la (Figura 3) podemos ver los pasos de la inyección primaria.

Figura 3. Colocacion de lechada primaria.



Cordero, F. (2012). Estudio de pilotes y micropilotes enfocados al diseño y solución de problemas de estructuras viales.

Y los métodos constructivos son los siguientes:

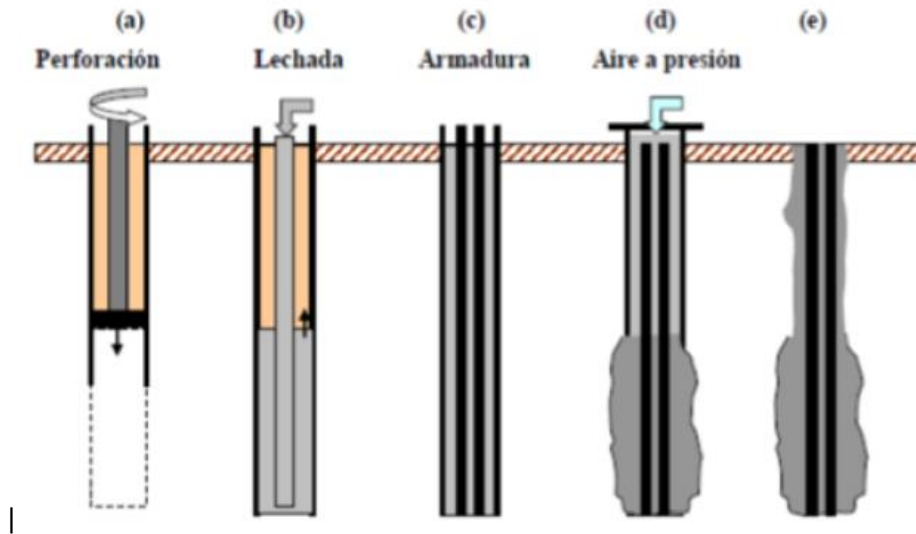
### 3.5.1 Micropilotes construidos con inyección Global unitaria.

Se realiza la inyección de la lechada como se indicó en la primaria, luego de esto se coloca la armadura se debe dejar la separación por medio de distanciadores ya que si queda unido el refuerzo con el tubo se puede perder el recubrimiento mínimo esperado, se procede a dar presión de la lechada, por medio de un obturador para aumentar los parámetros de corte del suelo y para que la lechada penetre todos los orificios o vacíos que puedan llegar a existir, el inconveniente del sistema es el gran



volumen de lechada que se pierde durante la construcción ya que todo el proceso se ejecuta con lechada como se muestra en la (figura 4).

Figura 4. Esquema sistema de inyección única global.



### 3.5.2. Micropilotes construidos con inyección repetitiva.

Este sistema incluye todo tipo de micropilotes inyectados por medio de una vaina con un obturador doble para poder realizar la inyección en las zonas seleccionadas y así realizar el proceso repetitivamente.

Su construcción se realiza mediante perforación se efectúa con tubería de revestimiento en los casos en que sea necesaria, concluida la perforación se lava el taladro con agua a presión, la armadura es una tubería de acero y no una jaula de redondos como en el caso de los pilotes tradicionales redondos o de muros.

Después de realizada la perforación con la tubería del diámetro necesario según la exigencia del diseño se realiza la instalación de la armadura con los manguitos instalados, el proceso de inyección se realiza por medio de circulación inversa con lechada. La lechada se bombea por el interior de la armadura hasta el fondo del taladro y sube por el espacio anular que queda entre la armadura y la perforación.

La lechada deberá tener la consistencia máxima compatible con la inyectabilidad. El valor de la fluidez expresado por el tiempo que tarda en salir un litro de agua por el cono de Marsh, estará comprendido entre 17 y 18 segundos.

Para determinar la resistencia de la lechada de cemento se deben realizar los ensayos en probetas de cilíndricas fabricadas curadas respectivamente y ensayadas a compresión a 28 días de edad según normatividad NRS 10 para control de resistencia de hormigón, las lechadas deberán presentar un contenido mínimo de trescientos setenta y cinco quilogramos por metro cúbico, salvo que por orden específica del proyecto se recomiende cambia la dosificación del mismo, su relación agua cemento deberá mantenerse aproximadamente entre cuarenta y cincuenta y cinco centésimas, y en caso de que sea necesario recurrir a lechadas con relaciones menores a cuarenta centésimas normalmente deberá agregarse aditivos que ayuden a que la mezcla tenga la manejabilidad requerida para la inyección.

### **3.6 Clasificación según el tipo de armadura.**

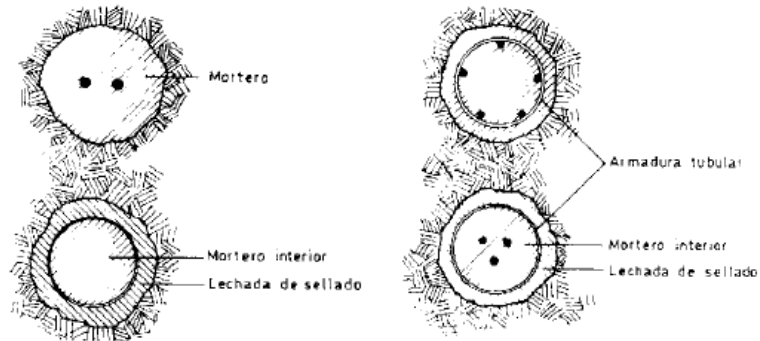
El sistema se basa específicamente e tres tipos de armaduras las cuales pueden ser utilizadas según las condiciones del terreno y el diámetro de micropilote a elegir como se muestra en la (Figura 5) son las siguientes:

- Dos o más barras de refuerzo adyacentes colocadas en el centro del taladro.
- Con una armadura tubular rellena de lechada de cemento o mortero.
- En jaula con cinco a mas barras corrugadas y refuerzo atándolo transversalmente.

Estas armaduras deben estar protegidas contra la corrosión frente a su vida útil. Este sistema de protección se basa en un recubrimiento mínimo el cual debe cumplir de acuerdo a la NSR-10 para pilotes mediante la lechada de cemento que es la que se va a utilizar en este tipo de micropilotes, para la protección de armaduras en ambientes agresivos el proyecto podrá dispones de protecciones adicionales como las siguientes:

- Uso de acero y cementos especiales.
- Recubrimientos superiores a los especificados según la norma.
- Protección catódica.
- Entubación permanente en el tramo del terreno.
- Tratamiento superficial
- Otros sistemas.

Figura 5. Distintos tipos de armadura de micropilotes



Rodriguez Ortiz, J. (1984). La Cimentacion.

### 3.7. Partes del micropilote.

- Núcleo: para este se disponen varios tipos de acero y diferentes diámetros que dan un soporte equivalente según la cantidad, para tres barras el trabajo del micropilote puede ser mayor si el terreno lo soporta, así como lo puede realizar también la resistencia a la flexión, si se colocan varias barras roscadas el rozamiento puede llegar a ser elevado como para soportar más carga.
- Unión de manguitos: son orificios que están instalados para que por medio de este se efectuó la instalación de la lechada de cemento a presión a medida que él va subiendo hasta llegar a la superficie.
- Anclaje final: se le llama a la unión que hay entre el acero de refuerzo y la lechada de mortero este formando una adherencia la cual permite mayor efectividad a la hora de transmitir y soportar cargas.

### 3.8. Resistencia estructural.

La capacidad de carga de los micropilotes está gobernada en su mayoría de veces por la resistencia interna de los elementos que lo componen ya que este es un elemento estructural de diámetro muy pequeño que desarrolla una gran resistencia en el fuste debido a la lechada de cemento.

La función fundamental de la armadura consiste en transferir las cargas a través de la longitud del elemento, y la resistencia se genera por la acción del fuste que genera

en el suelo por la inyección de la lechada por lo tanto se requiere un diseño óptimo por parte de los elementos que conforman el micropilote.

Para poder generar que la transferencia y el funcionamiento del micropilote sea el adecuado se debe lograr que la inyección de la lechada haya sido de una buena forma técnica ya que si llegase a generar cortes este no funcionaría adecuadamente.

### **3.9. Maquinaria y mano de obra.**

Para la ejecución de este sistema es necesario la utilización de maquinaria adecuada como es equipos adecuados para la perforación ya sean sondas o carros perforadores adecuados que puedan ser utilizados, también pueden ser de rotación o roto percusión con unas dimensiones adecuadas que puedan trabar en el terreno. Por lo general la maquina piloteadora se traslada sobre orugas y posee una torre donde se encuentran los dispositivos de taladro, el equipo para la ejecución deberá estar constituido por al menos una mezcladora, un agitador y una bomba de inyección.

- La mezcladora deberá ser de alta turbulencia de modo que se garantice la calidad y homogeneidad de la mezcla.
- El agitador sirve como depósito de acumulación entre la mezcladora y el sistema de inyección para garantizar la continuidad de la inyección durante la construcción del micropilote.
- La bomba de inyección o neumática es la encargada de impulsar la mezcla durante la inyección proporcionando los caudales y proporciones específicas requeridas en el proyecto.

Además de esto se necesitan otros materiales para la construcción los cuales son:

- Un grupo electrógeno, el cual se utiliza para dar electricidad a la maquina encargada de la fabricación de la lechada de cemento y la bomba inyectora.
- Pala cargadora, se utiliza para retirar materiales luego de la perforación del micropilote.
- Tanque de agua, para el suministro y la instalación de la lechada de cemento.
- Camión, para retirar materiales sobrantes.
- Tubería, para la entubación y perforación de las paredes para que no se desprendan ni colapsen.
- Vibradores, se utilizan para vibrar la lechada de cemento y conseguir la homogeneidad deseada.

- Martillo picador pequeño o similar, se utiliza para descabezamiento de los micropilotes.

En cuanto a la mano de obra se utiliza en siguiente personal:

- Un maquinista especializado en operar el equipo perforador.
- Bombista especializado para inyectar la lechada de cemento.
- Armadores de acero para el canastillo del pilote y para la instalación del mismo.
- Un ayudante encargado de retirar el material que se extrae en hélice en la perforación.

### **3.10. Métodos de diseño.**

Los métodos que se describen intentan definir una capacidad de carga admisible para los micropilotes, que luego se comprobaba con los correspondientes ensayos de carga.

Estos ensayos ayudaron a definir la carga de rotura y para ello será necesario llevar al micropilote a una carga de por lo menos dos veces la carga admisible esperada.

Para estos ensayos se recomienda utilizar el ensayo a compresión (micropilote) la norma ASTM-D 1143-81 y para ensayos de tracción anclajes la ASTM-D 3689-87.

#### **3.10.1. Método tradicional para “pali radice”.**

Según (Lizzi, 1985) propone para hallar la carga última la siguiente Ecuacion 1:

$$\text{Fórmula 1. } P_{ult} = \pi \cdot D \cdot L \cdot K \cdot I$$

Donde  $P_{ult}$ = carga ultima del palo radice a compresión (no incluye coeficientes de seguridad).

$D$ = diámetro nominal de perforación.

$L$ = longitud.

$K$ = coeficiente que representa el rozamiento por el fuste.

$I$ = coeficiente adimensional que depende del rozamiento.

A continuación se muestra la (Tabla 1) propuesta por (Lizzi, 1985).

Tabla 1. Diámetros y tipos de suelos para el método Pali Radice.

SUELO	K(KP)	Diámetro (cm)	I
Blando	50	10	1.00
Suelto	100	15	0.90
De compactidad media	150	20	0.85
Muy compacto grava o arena.	200	25	0.80

Valor de la resistencia por el fuste= K

Valor de coeficiente = I.

Con este método se despreja la resistencia por la punta y la resistencia por el fuste utilizada puede exceder del valor máximo que suele admitirse para los pilotes convencionales que es de 100 kpa, la diferencia es dada por Lizzi al contacto estrecho entre pilote y terreno y al diámetro real, mayor que el nominal. Con este método se ha calculado la gran mayoría de los “pali radice”.

### 3.10.2. Método de Bustamante.

Para este método (Bustamante, 1986) basándose en resultados de los ensayos de presiometria, determino que se podía estimar la capacidad de carga de los micropilotes que se construyen por inyección de lechada en el terreno con una presión relativamente elevada y no solamente con un llenado de la cavidad por gravedad.

Cuando la lechada es inyectada a una presión elevada, la misma penetra en parte en el suelo y además provoca una expansión de la cavidad formada por la herramienta de perforación en el terreno, de mismo modo como cuando se realiza un ensayo de presiometria, provocaron una expansión del suelo con una membrana que se dilata bajo una presión conocida.

El método se basó en el ensayo de numerosos anclajes y micropilotes y se refiere a las categorías de inyección una fase única.

La carga límite de un micropilote como la de un pilote a compresión se determina mediante la (Ecuación 1.1) a continuación descrita:

Ecuación 1.1.  $Q.L = Q.P + Q.S$

Dónde: QL= carga limite en cabeza (no incluye coeficiente de seguridad).

Qp= resistencia por la punta

Qs= resistencia limite por el fuste.

$$Q_s = \sum \pi D_i L_i q_{si}$$

Donde para cada i (véase en la figura 6)

Dsi=diámetro medio real ( $D_{si} = \alpha D_{mi}$ ).

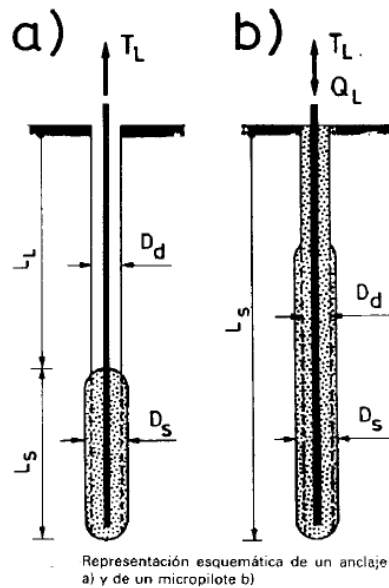
Li=longitud de la capa.

Qsi= resistencia unitaria por el fuste.

El diámetro real puede estimarse multiplicando el diámetro nominal de perforación por un coeficiente  $\alpha$  que se produce en el cuadro de la (Tabla 2), los valores de la resistencia unitaria por el fuste  $q_s$  pueden tomarse de la (figura 7) para suelos o de la (figura 9) para rocas blandas o alteradas.

Para poder aplicar el método Bustamante es precisó que efectivamente se realice una inyección a presión y que los volúmenes de la lechada inyectada exceden de los volúmenes teóricos del bulbo presito  $V_s$ .

Figura 6. Nomenclatura para el cálculo por el método.



Bustamante, M. (1986). Un metodo para el calculo de anclajes y micropilotes inyectados.

Debe inyectarse entre un 50% y un 100% más sobre el volumen teórico para compensar las pérdidas de lechada por exudación de terreno, las “perdidas ligadas a la técnica de inyección” y para poder tratar el suelo en la inmediata periferia del bulbo.

Para la resistencia por la punta se puede calcular por métodos convencionales o también por el método de la regla simplificada con la (Ecuación 2):

Ecuación 2.  $Q_p = 0,15 \cdot Q_s$

El coeficiente de seguridad propuesto por Bustamante es 2 en todos los casos aunque puede admitirse una reducción de 10% en micropilotes provisionales sometidos a compresión.

La carga límite de tracción se halla mediante la (ecuación 3)

Ecuación 3.  $Q_L = Q_s$

Tabla 2. Coeficiente  $\alpha$  de incremento del diámetro nominal  $D_n(D_s = \alpha D_n)$  de un micropilote inyectado

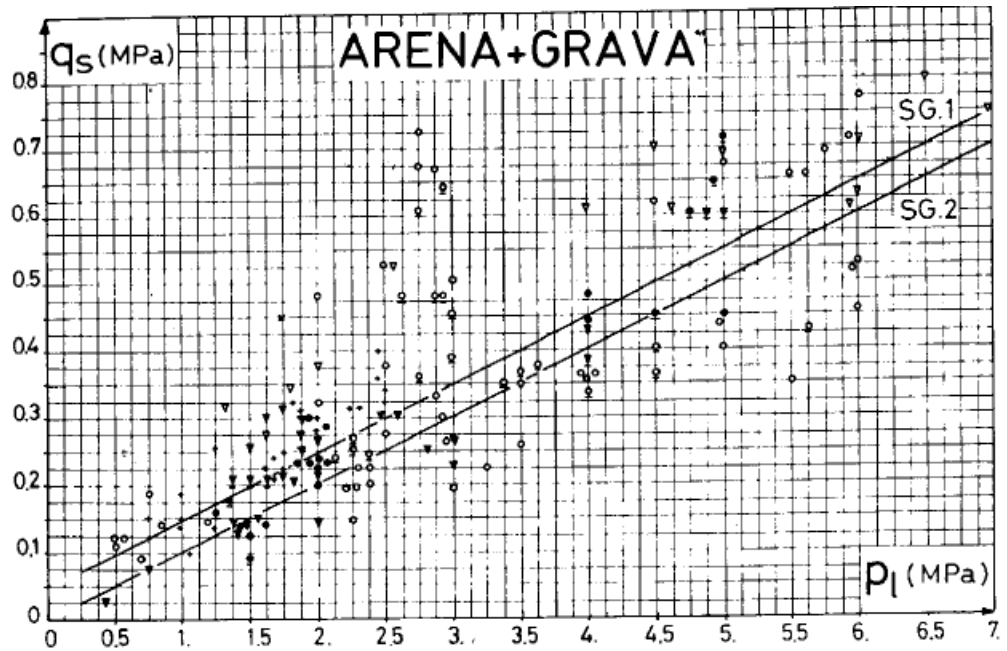
Type of soil	$\alpha$ coefficient		curve to use in Figure 2.13	
	IRS	IGU	IRS	IGU
Gravel	1.8	1.3 to 1.4	SG.1	SG.2
Sandy gravel	1.6 to 1.8	1.2 to 1.4		
Gravelly sand	1.5 to 1.6	1.2 to 1.3		
Coarse sand	1.4 to 1.5	1.1 to 1.2		
Medium sand	1.4 to 1.5	1.1 to 1.2		
Fine sand	1.4 to 1.5	1.1 to 1.2		
Silty sand	1.4 to 1.5	1.1 to 1.2		
Silt	1.4 to 1.6	1.1 to 1.2	AL.1	AL.2
Clay	1.8 to 2.0	1.2		
Marl (Greensand)	1.8	1.1 to 1.2	MC.1	MC.2
Calcareous marl	1.8	1.1 to 1.2		
Altered or fragmented chalk	1.8	1.1 to 1.2		
Altered or fragmented rock	1.2	1.1	$\geq R.1$	$\geq R.2$

for IRS:  $p_i \geq p_1$   
 for IGU:  $0.5p_1 < p_i < p_1$

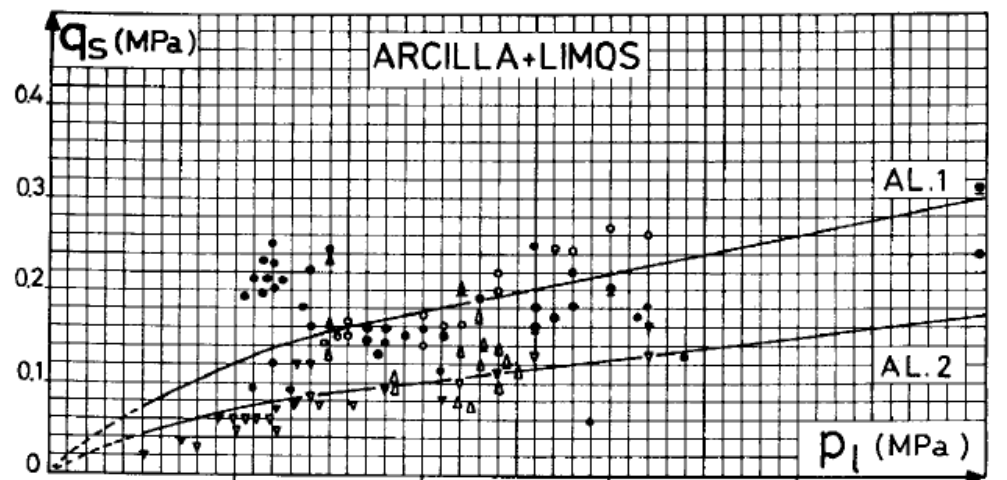
Bustamante, M. (1986). Un metodo para el calculo de anclajes y micropilotes inyectados.



Figura 7. Ábacos de Bustamante para la determinación de la resistencia unitaria al fuste  $q_s$  en diversos suelos.



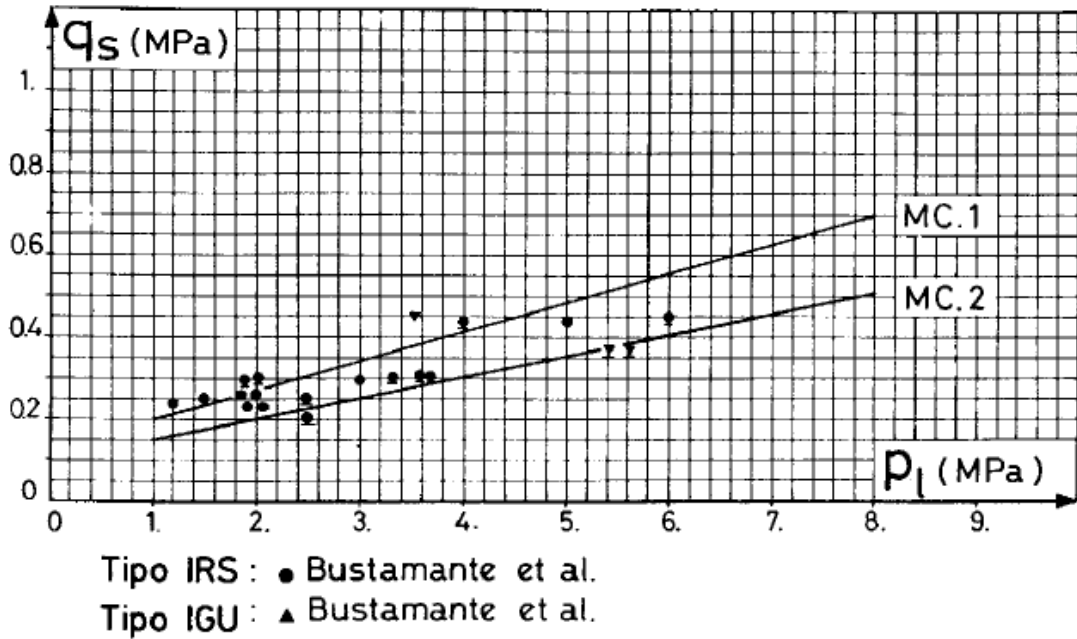
Tipo IRS: ● Bustamante et al. ○ Ostermayer et Scheele  
 + Fujita et al. × Koreck  
 Tipo IGU: ▼ Bustamante et al. ▽ Ostermayer



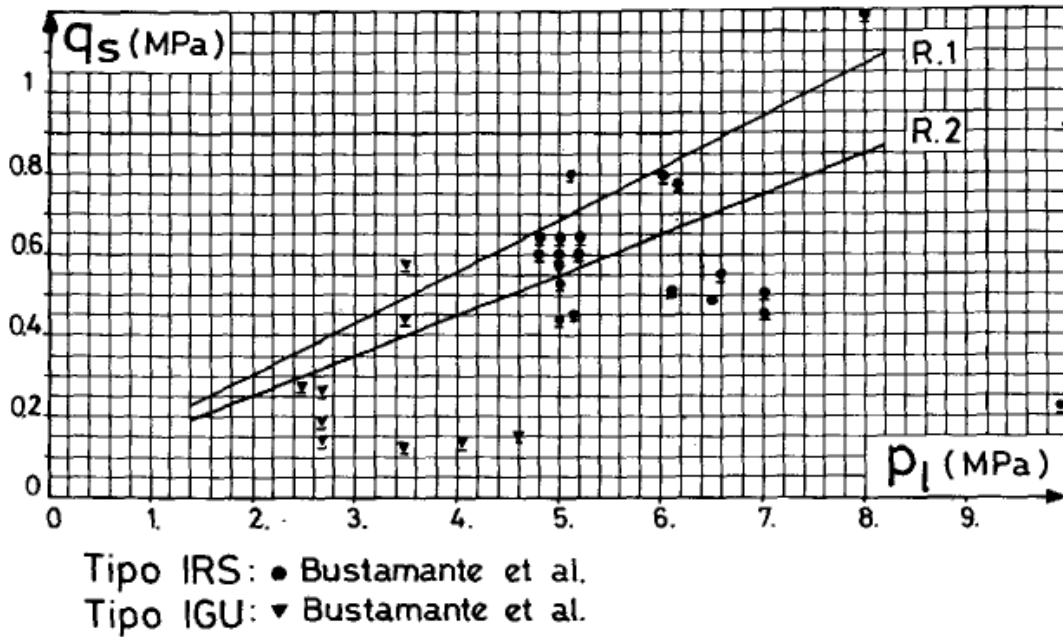
Tipo IRS: ● Bustamante et al. ○ Ostermayer  
 Tipo IGU: ▼ Bustamante et al. ▽ Ostermayer  
 Δ Jones et Turner et Spencer

Figura 8. Ábacos de Bustamante para la determinación de la resistencia unitaria por el fuste en algunas rocas.

### CRETA ALTERADA Y FRAGMENTADA MARGAS Y MARGO-CALCAREA



### ROCA ALTERADA Y FRAGMENTADA



=

Donde:

$P_N$  = carga nominal admisible del micropilote.

$F_1$  = factor de mayoración de cargas.

$F_2 F_3$  = coeficiente de seguridad de minoración de resistencia, fuste y punta.

$D$  = diámetro nominal de perforación

$L$  = longitud

$Q_r$  = rozamiento por fuste

$Q_p$  = carga hundimiento por punta.

Los coeficientes de seguridad parciales propuestos según (Oteo, 2001), se determinan en la (tabla 3):

Tabla 3. Valores de coeficiente  $F_1$

$F_1$	RESPONSABILIDAD	IMPORTANCIA ECONOMICA
2.25	Poca	Poca
1.40	Poca	Bastante
1.5	Grande	Grande

VALORES DE COEFICIENTE  $F_1$  (Oteo, 2001).

Nota. La variación total  $F_1$  es 1.2 -1.6.

$F_2 = 1.5$  a  $2$                        $F_3 = 3$  a  $4$ .

En realidad la resistencia por la punta se puede determinar que es mucho menor que la del fuste y por lo tanto en pilotes largos puede llegar a no movilizarse, de acuerdo a esto puede despreciarse.

La resistencia en fuste admisible en cada estrato de termina en la (Ecuación 4):

Ecuación 4. 
$$q_{sia} = \frac{c_i}{F_c} + \frac{(\sigma'_{vio} + \sigma_{iny})tg \varphi_i}{F\varphi}$$

Donde  $q_{sia}$  = resistencia admisible en el estrato  $i$ .

$C_i$  = cohesión efectiva en el estrato  $i$ .

$\delta_{vio}$  = presión vertical efectiva en el estrato *i* antes de la construcción del micropilote.

$\delta_{iny}$  = sobrepresión de inyección efectiva en el estrato *i*.

$\phi_i$  = ángulo de rozamiento efectivo en el estrato *i*.

$F_\phi$  = coeficiente de seguridad parcial de minoración del rozamiento  $\tan \phi$ .

Y la resistencia de micropilote se determina mediante la (ecuación 5):

$$P_n = \frac{1}{F_1} \sum \Pi D L_i q_{sia}$$

Ecuación 5.

Según (Oteo, 2003) “en términos generales los siguientes valores de los coeficientes parciales de seguridad para cohesión y rozamiento”

$F_c = 1.25$  a  $1.60$

$F_\phi = 1.25$  a  $1.35$ .

En la práctica el valor de  $c'$  será muy bajo tanto en arenas como en arcillas normalmente consolidadas, y en cambio será el más significativo para los tramos de micro pilotes que atraviesan arcillas muy pre consolidadas y/o rocas.

Si no se dispone de información geotécnica precisa puede utilizarse los ábacos de Bustamante para estimar  $q_{si}$  (que no incluye coeficientes parciales de seguridad).

### 3.10.3. Experiencias de Gouvenot

Para poder desarrollar este método Gouvenot, analizo resultados de carga realizados sobre estructuras de anclaje y sobre micropilotes, obtuvo rango de valores para la tensión de fricción para diferentes tipos de suelos, basados en el ángulo de fricción ( $\phi$ ), en la cohesión no drenada y en una presión de confinamiento  $\sigma'$  o de  $1,5 \text{ kg/cm}^2$ . Esto quiere decir que la presión de inyección se llevó por lo menos a un valor de  $1,5 \text{ kg/cm}^2$ .

Tipo I arenas y gravas:  $35^\circ < \phi < 45^\circ$  ( $C_u = 0$ ).

$$q_s = \sigma_o \times \tan \phi.$$

Tipo II: arena fina, limosa, suelta:  $20^\circ < \phi < 30^\circ$  ( $0.1 < C_u < 0.5 \text{ kg/cm}^2$ )

$$q_s = \sigma_o \times \text{seno } \phi + C_u.$$

Tipo III: arcillas  $0,5 < C_u < 2 \text{ kg/cm}^2$  ( $\phi = 0$ )

$q_s = c_u$  para  $0,5 < c_u < 1 \text{ kg/cm}^2$

$q_s = 1$  para  $1 < c_u < 2 \text{ kg/cm}^2$

### 3.10.4. Metodología de cálculo Brasileña Da Costa Nunes

Esta metodología de cálculo se conoce a nivel mundial y es la brasileña, simplificada por Da Costa Nunes, en la cual se utiliza básicamente la ecuación de resistencia al corte de Coulomb para analizar las tensiones de fuste del micropilote.

Se supone un micropilote vertical en un suelo homogéneo en la que la longitud "L" de mismo llega a la profundidad "h" donde el diámetro se calcula mediante la (Ecuación 6)..

$$\text{Ecuación 6. } Q_u = \Pi \times D \times L \times \left[ C + \left( \left( \frac{\gamma \times h}{2} \right) \times K_o + \Delta P \right) \times \text{tg } \phi \right]$$

Donde:

D= Diámetro de cavidad extendida.

L= Longitud del elemento.

C= cohesión del suelo.

$\gamma$ = Peso unitario del suelo.

h= profundidad del bulbo de presión considerado.

$\Delta P$ = incremento de presión debido a la presión de la inyección.

$\phi$ = Angulo de presión interna del suelo.

La tensión unitaria del suelo  $q_s$  para suelos cohesivos será (Ecuación 7):

$$\text{Ecuación 7. } q_s = \frac{1}{\left[ \frac{0.55}{N_{60}} + 0.02 \right]} \quad \left[ \text{tn/m}^2 \right]$$

Donde  $N_{60}$  = valores del ensayo normal de penetración, para una energía de 60%.

### 3.10.5. Resistencias ultimas por fuste según la guía FHWA.

La tabla presenta a continuación contiene las resistencias por fuste según el método de ejecución y pertenece a la guía FHWA ( 1997), y fue traducida por

(Armijo, 2003), en la cuales se presenta los tipos de resistencia por fuste que se determinan a continuación:

Tipo B: Inyección por gravedad solamente.

Tipo B: Inyección a presión, en retirada.

Tipo C: Inyección primaria por gravedad y una fase de inyección secundaria “global” a presión.

Tipo D: Inyección primaria por gravedad y una fase de inyección secundaria “global” a presión.

Al observarse la tabla a continuación relacionada se define que principalmente el método B se utiliza para rocas fracturadas en el tramo final de un micropilote que atraviesa rellenos y /o suelos blandos. En ese caso el terreno tiene una resistencia ultima de del orden del 50%, más de lo que correspondería a pilotes ejecutados por el método A.

Se debe de tener precaución y prudencia al utilizar la (tabla 4), ya que el mal uso puede llegar a ocasionar fallas en el sistema.

Tabla 4. Resistencias ultimas  $q_s$  por fuste en KPa FHWA 1997

Descripción del terreno	Resistencia última por fuste $q_s$ (Kpa)			
	Tipo A	Tipo B	Tipo C	Tipo D
Limo y arcilla (con algo de arena) (blando, plasticidad media)	35-70	35-95	50-120	50-145
Limo y arcilla (con algo de arena) (rigido, denso a muy denso)	50-120	70-190	95-190	95-190
Arena (con algo de limo) (fina, suelta a medio densa)	70-145	70-190	95-190	95-240
Arena (con algo de limo y grava) (fina a gruesa, medio densa a muy densa)	95-215	120-360	145-360	145-385
Grava (con algo de arena) (medio densa a muy densa)	95-265	120-360	145-360	145-385
“Till” glaciar (limo, arena y grava) (medio denso a denso, cementado)	95-190	95-310	120-310	120-335
Esquistos blandos (moderadamente fracturados, casi sin meteorización)	205-550	-	-	-
Pizarras y esquistos duros (moderadamente fracturados, casi sin meteorización)	515-1380	-	-	-
Calizas (moderadamente fracturados, casi sin meteorización)	1035-2070	-	-	-
Areniscas (moderadamente fracturados, casi sin meteorización)	520-1725	-	-	-
Granito y basalto (moderadamente fracturados, casi sin meteorización)	1380-4200	-	-	-

(Romana, 2000).

### 3.11. Movilización de la resistencia por el fuste.

En diferentes ocasiones se llega a admitir que la resistencia por fuste de un pilote se moviliza totalmente con deformaciones verticales del orden del 0,5% al 1% del diámetro del pilote. Puesto que los micropilotes tienen diámetros inferiores a 25 cm los diámetros necesarios para movilizar la resistencia por fuste serían del orden de los 2m. Las pruebas de carga confirman que los asentamientos necesarios para movilizar totalmente la resistencia pueden ser algo mayores, pero siempre del orden milimétrico.

Los “pali radice” se necesitan asentamientos entre 1 y 4 mm (como se muestra en las figuras 9 y 10) “lo que equivale como máximo al 2% del diámetro nominal de deformación y al 1-15% del diámetro real del bulbo obtenido.

Pero se evidencia de acuerdo a la (figura 10) que en los pilotes donde no se realizó inyección importante pueden requerir asentamientos algo mayores, también se puede observar en la figura de (Lizzi, 1980) la comparación de dos micropilotes.

El micropilote convencional de tubo (no se aclara si se inyectó según la información), requerido un asiento de 7mm, lo que equivale a al 5%, del diámetro nominal que era de 13 cm.

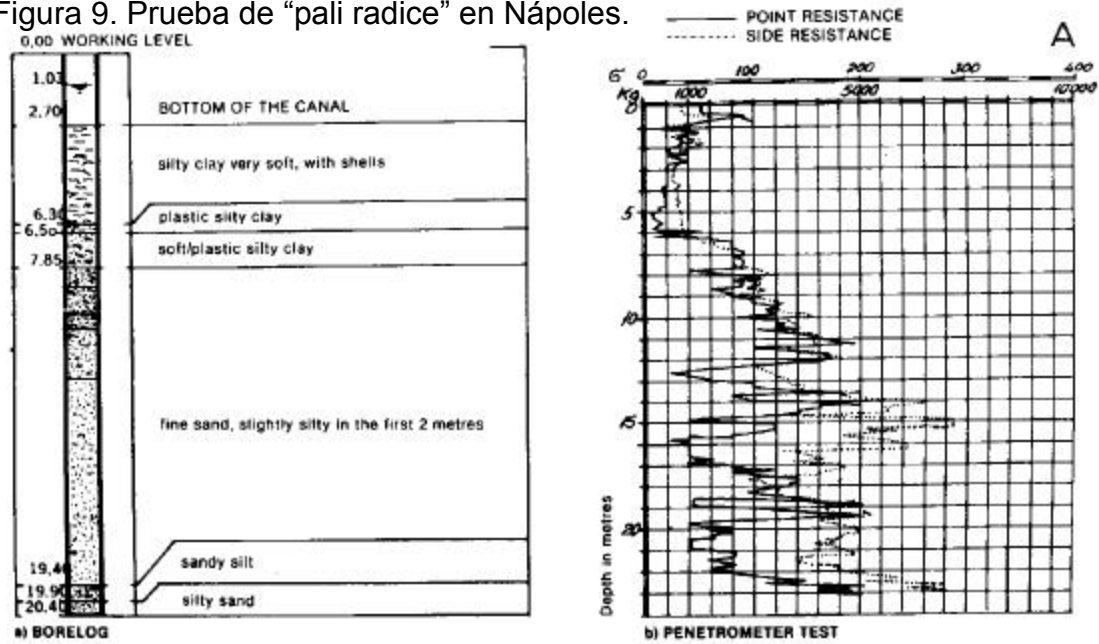
En la (figura 11) se resume un caso muy interesante según (Uriel A., 1990) de micropilote en una zona karstica de la costa Sede Mallorca. Se ensayó un micropilote de 22 cm de diámetro, relleno con presión por gravedad, y en los dos primeros ciclos hasta una carga de 600 kN, y en el asiento este fue de 2mm (1% del diámetro) y el comportamiento fue elástico. En el tercer ciclo se alcanzaron los 800kN, el asentamiento se acercó a los 5mm (más del 2% del diámetro) y el comportamiento dejó de ser elástico. En el tercer ciclo se alcanzaron los 800 kN, y el asiento se acercó a los 5mm (más del 2% del diámetro), y el comportamiento dejó de ser elástico, con un asiento no recuperable de 2 mm. La figura también ha ilustrado el dispositivo de prueba de carga muy habitual.

(Oteo, 2001), compara varias pruebas de carga de micropilotes ilustradas en la (figura 12), en el que se observa que los asentamientos pueden llegar a ser del orden del 10%.

La resistencia unitaria por fuste tiene unos valores que superan siempre los 10kN, que es el tope marcado para las instrucciones y la práctica de los pilotes de desplazamiento. Este incremento tiene dos causas las cuales son:

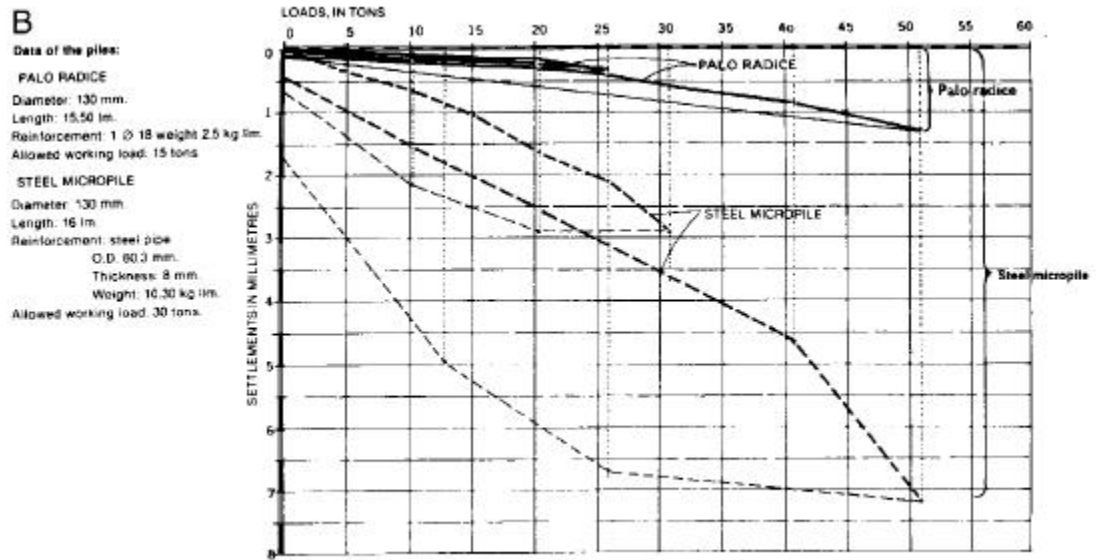
- a) El diámetro es mayor que el nominal y la resistencia por fuste suele calcularse por a partir del diámetro nominal.
- b) La presión/inyección consolidan el terreno en el perímetro de la zona del bulbo.

Figura 9. Prueba de "pali radice" en Nápoles.



(Lizzi, 1980)

Figura 10. Comparación entre dos ensayos de carga de micropilotes de 13 cm de diámetro

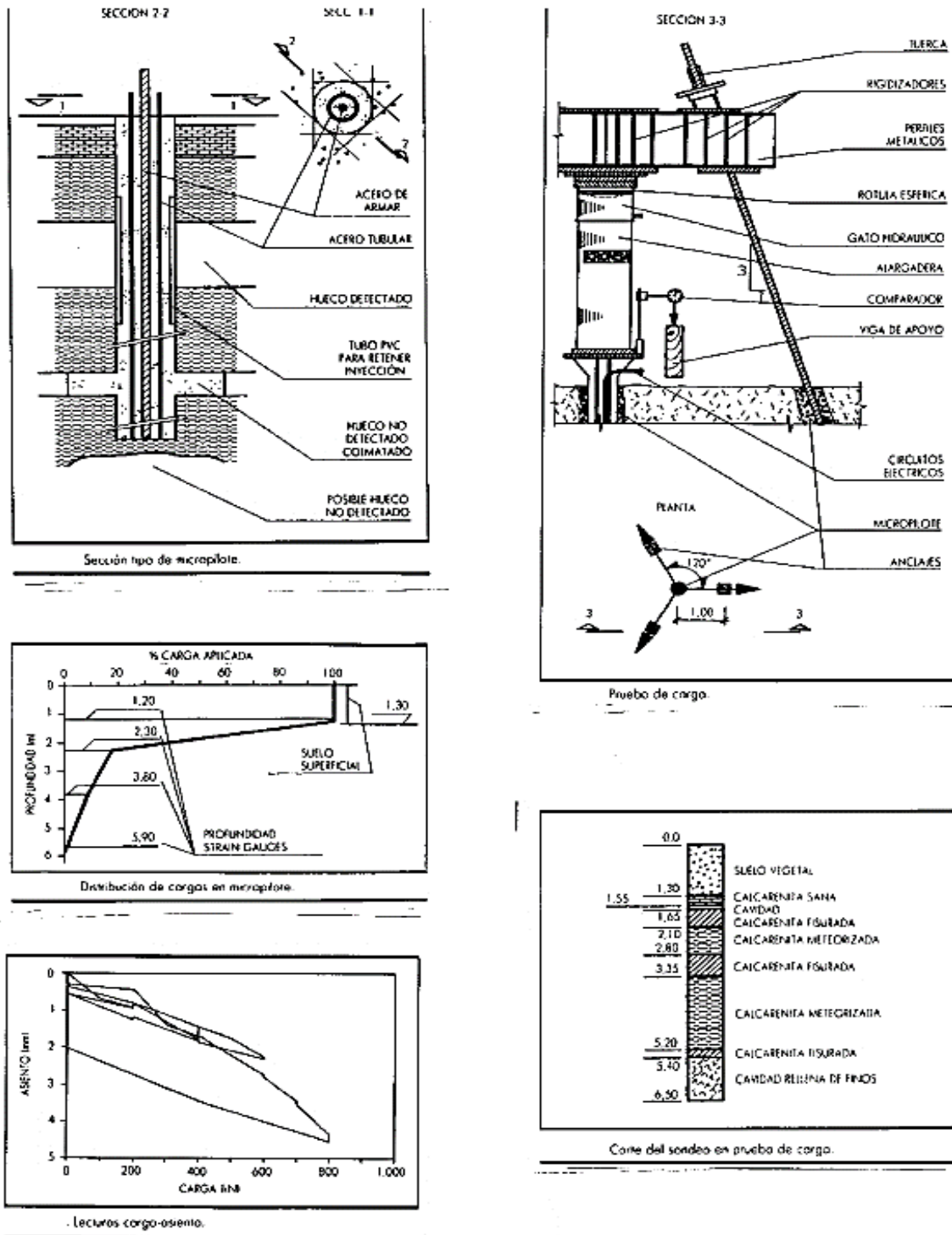


Load tests carried out on the same site on a palo radice and on a steel micropile. (A) the site investigation; (B) load/settlement charts.

(Lizzi, 1980).

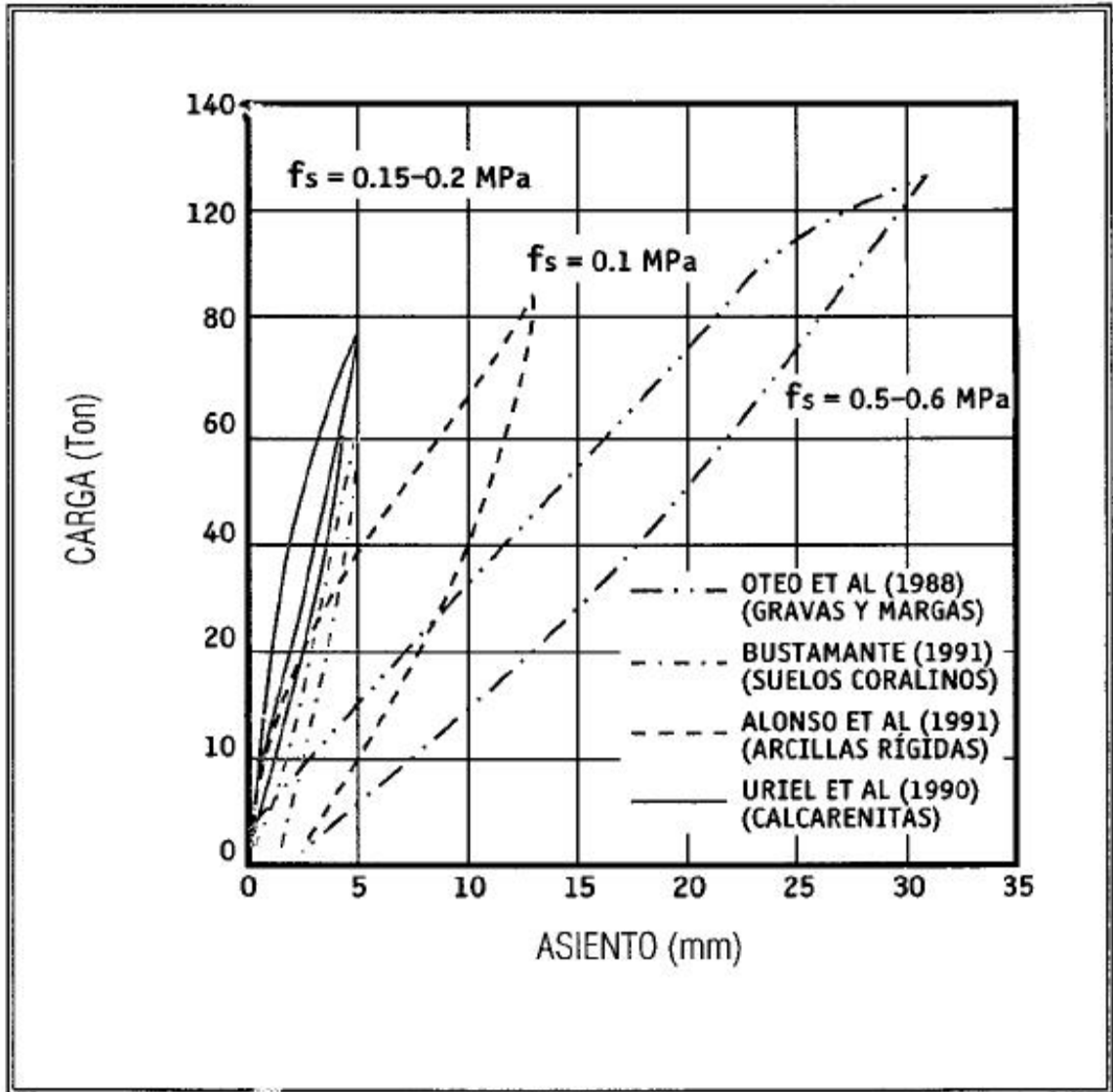


Figura 11. Resultados de un ensayo de micropilotes de 22cm de diámetro en zonas kársticas



(Uriel A., 1990).

Figura 12. Comportamiento de micropilotes en varios tipos de suelos



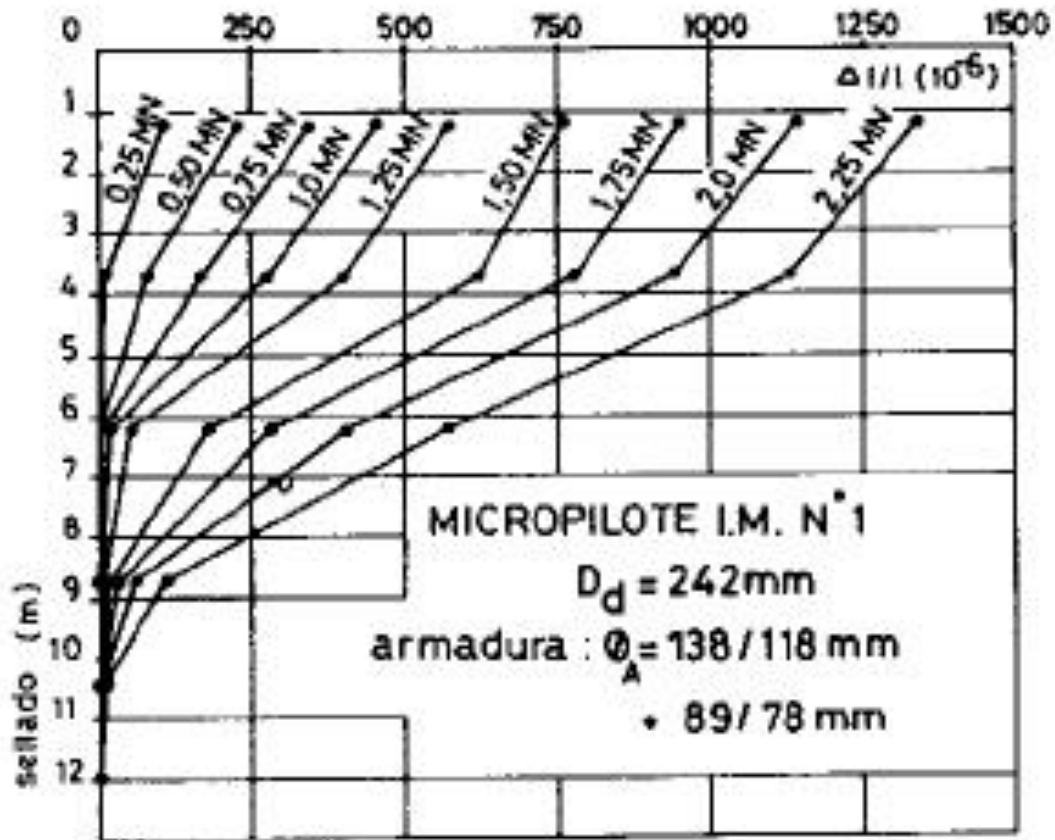
(Oteo, 2001)

### 3.12. Distribución de la carga a lo largo del fuste del Micropilote cargada por la punta.

En la (figura 13) (Bustamante, 1986), el cual realizó varias investigaciones sobre la distribución de la carga sobre micropilotes a lo largo del fuste, se muestra que no llega prácticamente ninguna carga a la punta. El pilote de Uriel et al. muestra que tenía una esbeltez (cociente longitud/diámetro), de 27 y el de Bustamante de 45

y se puede afirmar que son bastante normales los micropilotes con esbeltez de 40 o más. De acuerdo a estas condiciones se puede decir que es muy dudoso que un micropilote instalado en un terreno homogéneo llegue a transmitir carga a la punta y por otra parte el área de la punta es muy reducida, y equivale a orden de los 0,5 m<sup>2</sup> como máximo. Incluso por presiones por la punta de 2Mpa, la carga en la punta no supera los 100 KN. Ello justifica la simplificación de Bustamante e incluso de no justificación de la carga por la punta.

Figura 13. Variación de la carga a lo largo del fuste de un micropilote en función de la carga en cabeza



(Bustamante, 1986).

### 3.13. Tope estructural del micropilote.

El tope estructural valor máximo que puede tomar la carga de servicio de un micropilote, es conveniente entonces para un mejor aprovechamiento de los materiales y desde un punto de vista económico, determinar el valor del tope estructural del elemento que se quiere proyectar y posteriormente darle al

micropilote la longitud necesaria para que la carga admisible sea muy similar, aunque menor, al valor del tope estructural.

En algunas veces se alcanza el tope estructural del micropilote, considerado como en una barra de compresión Jiménez Salas utilizo la expresión (Ecuación 8):

$$\text{Ecuacion 8. } T=0,25f_{ck}xB+0,4f_{yk}xA$$

Dónde: T = Tope estructural

B = Sección teórica nominal de mortero.

A = Sección de Acero.

$f_{ck}$  = resistencia característica del hormigón  $0,25f_{ck} \leq 6$  Mpa

$f_{yk}$  = resistencia característica del acero  $0,40 f_{yk} \leq 140$  Mpa.

Lo que implica coeficiente totales de seguridad de 4 y de 2,5 para el hormigón y el acero y resistencias máximas de cálculo de 24 Mpa y 350 Mpa respectivamente. Esto quiere decir que si para realizar un pilote tradición con hormigón se realizan estos coeficientes se deben de tener en cuenta ala momento de diseñar un micro pilote inyectado.

Muchos proyectistas utilizan la fórmula de la EH española que se presenta a continuación en la (Ecuación 9):

$$\text{Ecuación 9. } T = \frac{1}{1,2 \times 1,8} (0,85 f_{ck} x B + f_{yk} x A)$$

Con la condición  $A > 0,2B$  y la misma notación la que implica coeficientes de seguridad parciales de 1,2 y 1,8 y un coeficiente de seguridad global de 2, 16.

Y si la fórmula de la EHE española para soportes el tope estructural (Ecuación 10):

$$\text{Ecuación 10. } T = \frac{1}{F_1} \left( \frac{0,85B f_{ck}}{1,5} + \frac{A f_{yk}}{1,15} \right)$$

### 3.14. Resistencia por pandeo.

Se debe realizar una verificación clave para el diseño de micropilotes la cual es la de la resistencia por pandeo, la cual se puede realizar para determinar la posibilidad de que el elemento se pandee ante los esfuerzos de las cargas verticales de compresión a los que este se someterá. Esta aplicación se realiza básicamente a

los micropilotes que atraviesan mantos de escasa resistencia al corte. Y se determina mediante la (Ecuación 11):

$$\text{Ecuación 11. } Qp = 8x\sqrt{\tau u x E x I}$$

Donde:

$\tau u$  = Resistencia al corte del suelo blando.

$E$  = Modulo elástico de la lechada de cemento.

$I$  = Momento de Inercia de la sección transversal del micropilote.

De acuerdo a la relación al valor para adoptar el coeficiente de seguridad frente a la posibilidad de experimentar pandeo “ $F_p$ ”, el cual dependen del tipo de carga a que sea sometido el micropilote, se adopta que las cargas permanentes adopten un valor de  $F_p \geq 3$ .

### **3.15. Ensayos de carga sobre micropilotes.**

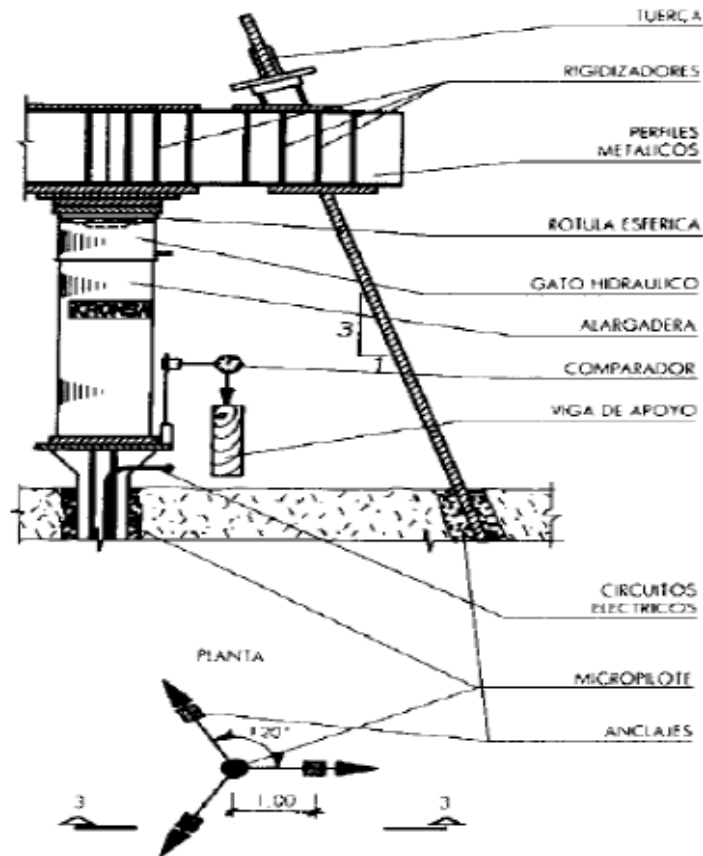
Ya que la carga total de un micropilote no es muy elevada es más fácil realizar pruebas o ensayos de carga que con los pilotes ordinarios de mayor diámetro. En la (figura 14) se muestra un posible dispositivo de prueba de carga. La carga suele aplicar escalonadamente en porcentajes equivalentes al 25%, 50%, 75%, 100% y 125% de la carga del servicio prevista. Es posible pero no usual superar esta carga si se ensayan micropilotes que después deben trabajar en la cimentación.

Para llevar esto a cabo se debe tener en cuenta que no se debe superar la carga multiplicada por el coeficiente de seguridad parcial de la mayor ración. Cada escalón de carga debe mantenerse hasta que se estabiliza la deformación y al menos 30 a 45 minutos.

Los criterios de aceptación del micropilote se basan en los asentamientos totales con la carga máxima y dependerá del método de ejecución. Dichos asentamientos totales límite deben ser los tolerables por la estructura, pero no inferior al 0,5% del diámetro del micropilote.

Estas pruebas en determinados casos que se exigen y que por el avance del proceso constructivo, se pueden realizar construyendo micropilotes en un terreno cercano al sitio en donde se realiza la obra, y que este tenga las mismas características geotécnicas del suelo para así poder compararlo con el terreno en donde están construido esta forma poder liberar los pilotes con los respectivos ensayos requeridos.

Figura 14. Equipo de prueba de Carga.



### 3.16. Ensayo a tracción.

Para estos ensayos en micropilotes se puso un marco el cual contiene las siguientes cualidades.

- Su estructura esta echa con parales acoplados con pasadores.
- Su montaje no requiere equipos ya que ese procedimiento se realiza manualmente.
- Es fácil de transportar.
- Es capaz de resistir cargas verticales de tracción de 100 ton.
- El borde más cercano de las patas al centro de micropilote es de 150cm.

En la (figura 15) se muestra el marco de carga, del que se suspende el tensor hidráulico, que mediante violetas se acopla a la estructura del micropilote para ejecutar el ensayo.

Para la comparación de las deformaciones se colocan dos comparadores centesimales que miden el desplazamiento de la barra de acero que conecta a la estructura del micropilote con el tensor hidráulico de acuerdo como se muestra en la figura. Es necesario destacar las bondades del marco de carga diseñado ya que permite ejecutar ensayos de carga rápidos y baratos hasta la carga de servicio.

Figura 15. Marcos de carga para la ejecución de ensayos a tracción



### **3.17. Ensayos de carga a compresión.**

Aparte de realizar ensayos de tracción sobre los micropilotes que se construyen, por su economía y rapidez, hay situaciones dadas por la conformación estratigráfica del suelo en el que es necesario ejecutar ensayos de compresión en suelos para verificar fundamentalmente la estabilidad de la pieza a la falla por pandeo.

De acuerdo a estos casos es necesario construir cuatro micropilotes similares al que se va a ensayar como se muestra en la (figura 16) para que sirva de anclajes de reacción, estos anclajes deben ser ejecutados a una distancia tal que no perturbe el terreno circundante al micropilote que va a ser ensayado, por lo general esta distancia es similar a los 200cm.

Figura 16. Marco de carga para ejecutar ensayos de carga a compresión.



#### 4. MARCO LEGAL

En Colombia las construcciones se basan en la norma sismo resistente 2010, la cual solo habla de los procesos en pilotes tradicionales y no para micropilotes. En el caso del sistema estudiado no existen normas que avalen este proceso ya que la gran mayoría de sus métodos son empíricos y no pueden fundamentarse en un referente que lo haga comparativo para la realización de este.

Pero no se puede dejar por fuera los parámetros que se establecen en el NRS-10 título H:

- **Estados límites de falla**, en el capítulo (H.4.4.1 estados límites de falla, 2010) el cual requiere la verificación de cimentación para que esta para la estabilidad de la edificación con algún de las siguientes condiciones.
  - Falla del sistema del suelo-zapatas, o suelo losa de cimentación, despreciando la capacidad de pilotes.
  - Falla del sistema suelo pilotes despreciando la capacidad del sistema suelo zapatas o suelo losa, para lo cual debe considerarse que la carga de falla del sistema es la menor de los siguientes valores 1) suma de capacidades de carga de los pilotes individuales; 2) capacidad de carga de un bloque de terreno cuya geometría sea igual



a la envolvente del conjunto de pilotes; 2) suma de las capacidades de carga de los diversos grupos de pilotes en que pueda subdividirse la cimentación teniendo en cuenta la posible reducción por la eficiencia de grupos de pilotes.

- **Estados límites de servicio**, los asentamientos de cimentaciones con pilotes de fricción bajo cargas de gravedad se estimaran considerando la penetración de los mismos y las deformaciones del suelo que los soporta, así con la fricción negativa. En el cálculo de los movimientos anteriores se tendrá en cuenta las excentricidades de carga.
- **Uso de pilotes de fricción para control de asentamientos**, cuando se utilicen pilotes de fricción como complemento de un sistema de cimentaciones parcialmente compensada para reducir asentamientos en suelos cohesivos blandos, transfiriendo parte de la carga a los estratos más profundos, los pilotes generalmente no tienen la capacidad de soportar por si solos el peso de la edificación ya que se diseña para trabajar al límite de falla en condiciones estáticas.

También hace referencia a los asentamientos y el estado límite de servicio evaluando evaluándola mediante modelos de aceptación generalmente empleando parámetros de deformación obtenidos en ensayos de deformación obtenidos en el laboratorio.

Ya que no hay normas que avalen los micropilotes en Colombia se debe tener en cuenta que este cumpla con las exigencias que la norma pide al diseñador.

## 5. DESCRIPCION DEL PROBLEMA

En Colombia se ha visto el gran avance en construcción y en obras de estructuras las grandes constructoras y empresas involucradas en este medio tienden a reducir costos y disminuir tiempos de construcción disminuyendo secciones de las estructuras y facilitando así los métodos de realización de la edificación.

La construcción de cimentaciones con hormigón armado para edificios y conjuntos residenciales en terrenos de difícil acceso para la maquinaria a utilizar en cimentaciones profundas ha dado pie en que los diseños de estas cambien de acuerdo a los que se habían proyectado para la estructura, así se han venido remplazando los pilotes tradicionales por micropilotes inyectados que son los más utilizados en Colombia.

El estudio preliminar de los terrenos a construir para edificaciones de grandes alturas como son las de más de 6 pisos en la sabana de Bogotá llega a diseñar cimentaciones profundas debido a los tipos de acillas que tienen ya que estas son de origen lacustre las cuales presentan un alto índice de plasticidad, con una consistencia o resistencia al corte baja, entre 0,2 y 0,4 kg/cm<sup>2</sup> y gran espesor, de manera típica con valores de más de 250 cm.

Esto dio para que los diseños sean con cimentaciones profundas, y en su mayoría con pilotes tradicionales ya que estos tienen unas longitudes considerables y unas secciones que oscilan en más de los .30mx.30m, y de acuerdo a esto en sitios que es de difícil acceso la maquinaria se remplazan por micropilotes, estos tienen diámetros entre los 15 y 30 cm y no se realizan con hormigón armado como los tradicionales, sino con una mezcla de lechada de cemento inyectado a presión mediante un tubo pvc perforado cada cierta distancia, para así con la presión ir llenando hasta llegar a la superficie y nivel de la fundación.

Este método parece poco técnico y no muy confiable para remplazar las fundaciones tradicionales, ya que las especificaciones y los sistemas constructivos de estos cambian y pueden llegar a afectar la estructura de la edificación si estas no se realizan con los parámetros y normas necesarias para la ejecución del mismo, el cambio brusco de hormigón a lechada de cemento puede llegar a trabajar de una forma diferente a la solicitada si este sistema no se realiza debidamente.

Los sistemas de fundaciones profundas tradicionales son seguros y confiables de acuerdo a las pruebas que se han venido realizando a lo largo del tiempo, con los micropilotes existen varios factores que impiden hacerles las pruebas necesarias como los solicita la norma y es necesario crear un sobre costo en la construcción para poder cotejar estos resultados con un referente que pueda llegar a dar los resultados esperados.

Al cambiar los sistemas es necesario realizar los cálculos pertinentes ya que la estructura con la que fue diseñada presenta unas cargas iniciales de acuerdo a los estudios previos y los cálculos estructurales para la cimentación, es de notar que un micropilote no tiene las mismas características que los convencionales y puede ser menor su trabajo en los esfuerzos axiales, de compresión y tracción.

En los sistemas tradicionales se utiliza fundamentalmente concreto y acero los cuales tienen una gran resistencia a la compresión y a la flexión, para los micropilotes inyectados se usa lechada de cemento y acero de refuerzo con un tubo pvc el cual esta perforado a ciertas distancias para ir llenando el orificio a medida que va subiendo, la lechada de cemento tiene unas características y propiedades diferentes al concreto y es fundamental su análisis para evaluar su resistencia a la compresión y el trabajo con el acero en los suelos de la sabana de Bogotá.

Los costos de estos tipos de fundaciones pueden llegar a ser menores y sus tiempos disminuyen, pero estos pueden incrementarse si no se realizan de la forma adecuada y de acuerdo a las normas para los cálculos y ejecución de la fundación con el sistema estudiado, ya que los comportamientos de las estructuras pueden llegar a tener cambios en el funcionamiento y evaluando el sistema de seguridad de la misma afectaría la totalidad del proyecto construido.

## **6. METODOLOGÍA**

Este capítulo hace referencia al tipo y diseño de la investigación realizada, la población y muestra utilizada en el estudio del sistema al que se hace referencia, también se tienen en cuenta los instrumentos de recolección de información así como el procedimiento que se siguió y el tratamiento estadístico necesario para el análisis de datos. Se destaca en la investigación que se realiza sobre un sistema que si es factible utilizar en la construcción.

### **6.1 Tipo y Nivel de la Investigación.**

La investigación es de tipo analítico, la cual se clasifico de distintas maneras, sin embargo la destacamos en procesos y métodos de diseño para así llegar al propósito del planteamiento del problema. Dada la naturaleza y complejidad del sistema estudiado el nivel de investigación se refiere al grado de profundidad con que se aborde el problema.

Este documento investigativo se encuentra enmarcado como tipo de investigación analítica, en el cual se analizan los métodos y procesos constructivos de los micropilotes como fundación en edificaciones, con el fin de llegar a determinar las fallas en los casos estudiados.

Así mismo esta investigación se considera de tipo documental ya que trata de resolver y entender alguna situación, necesidad o problema en un contexto, determinado mediante la aplicación de bibliografías referentes al tema de estudio, por esto se estudiaron los micropilotes inyectados con lechada de mortero para saber sus características, procesos y comportamiento con base a lo ya leído en los autores citados.

La investigación tiene como propósito la revisión de fuentes como son libros revistas artículos, en los cuales se puede llegar a evaluar, verificar y sintetizar evidencias de lo que ya fue investigado, con el fin de establecer conclusiones relacionadas con el objeto de investigación.

### **6.2. Diseño de la investigación.**

Para elaborar el diseño de investigación este debe constituir un plan general de lo que se quiere investigar, y de acuerdo a este obtener las respuestas a los interrogantes de forma que se compruebe la hipótesis del trabajo.

Se desglosan adicionalmente las ideas y estrategias básicas que el autor adopta para extraer una información que sea la más adecuada para reforzar el planteamiento del problema y cumplir los objetivos propuestos durante el desarrollo del trabajo de investigación.

El diseño de la investigación fue realizado mediante dos tipos de estructuras metodológicas las cuales son las más usadas en este tipo de trabajos investigativos, estos dos tipos son, no experimental en la parte de los métodos propuestos por los autores y experimentales en la parte de procesos constructivos, en la parte no experimental ya están las variables citadas por los autores consultados y por tanto no podrán ser modificadas, se realizaron seguimientos a procesos constructivos en una obra de Bogotá la cual autorizo para poder determinar las fallas que ocasionan el mal proceso realizado en la construcción de este tipo de sistemas.

En la parte experimental se analizaron los procesos constructivos que se llevaron a cabo en una empresa de Bogotá, la cual dio los permisos necesarios para hacer este seguimiento, también se realizaron pruebas que van a ser analizadas en la investigación comparándolas con las que se requieren de acuerdo a los métodos investigados.

Se realizó la recolección de los datos en un momento determinado de acuerdo a los procesos para describir las variables y analizar la relación que existe en un momento dado.

### **6.3. Definición operacional de las variables.**

**Definición nominal:** Análisis teórico de métodos y procesos en construcción de micropilotes inyectados para fundaciones.

**Variable:** métodos y procesos constructivos de micropilotes.

**Definición conceptual:** para estos procesos se requieren manuales técnicos que pueden ayudar a la realización de sistema según (Villamizar, 2006), se define como “el proceso orientado a definir las operaciones de forma que proporcionen estabilidad, previniendo cambios adversos”.

**Definición operacional:** la investigación a realizar se lleva a través de documentos que ose una Seri de lineamientos previstos que servía de guía para ingenieros/ y o profesionales expertos en un área determinada de la construcción con el propósito

de mejorar los procesos de trabajos que se realizan al momento de construir las cimentaciones. Esta investigación se direcciona profesionales que laboran en el área de los pilotes y área de geotecnia permitiéndoles orientar y supervisar todas las etapas para la realización de este sistema, hasta obtener un producto con las especificaciones esperadas según normas de diseño.

**Variable:** Métodos contractivos y de diseño para micro pilotes inyectados.

**Definición conceptual:** Está definido como el proceso constructivo mediante el cual se plantearan los métodos y procesos para micro pilotes inyectados en edificaciones , con el propósito de observar las fallas que pueden llegar a ocasionar el mal uso de este tipo de sistema ya que las fundaciones tradicionales llegan a ser remplazadas por este sistema.

Definición operacional: para la aplicación de este análisis teórico de micropilotes inyectados se especifica a través de esta investigación donde se especifica su método de diseño, ejecución y construcción así como las pruebas necesarias para realizar este sistema de fundaciones profundas. Los micropilotes inyectados permiten remplazar los tradicionales pero se en cuenta que el proceso a seguir no es lo suficientemente técnico para la realización de este.

**Unidades de análisis:** según lo expresado por (Hernández, 1998), la población es la totalidad del fenómeno a estudiar en donde la unidades de población poseen una característica común, la cual se estudia y da origen a los datos de la investigación. Además plantea que son los elementos en los cuales, se va a extraer la información que se necesita para darle respuesta a los objetivos de la investigación y por consiguiente respuesta al problema planteado.

Para la recolección de los datos fue necesario indagar el mayor número de manuales, libros, revistas, informes, tesis de grado entre otros elementos que relacionen de manera directa e indirecta con la variable de estudio “análisis teórico de métodos y procesos en construcción de micro pilotes inyectados para fundaciones”, con el propósito de cumplir los objetivos mencionados anteriormente, cabe destacar que la información analizada proviene de fuentes nacionales e internacionales.

**Procedimiento:** el proceso investigativo se realizó en varias etapas las cuales describimos a continuación:

- Etapa 1: investigación documental, en el cual se documentó informal acerca de las teorías los procesos y métodos de micro pilotes inyectados, para realizar algunas variables, dimensiones, indicadores y sindicadores.
- Etapa 2: se elabora el problema y objetivo de la investigación.

- Etapa 3: Se elaboran los antecedentes las bases teóricas que sustentan la información en esta investigación.
- Etapa 4: Se estableció el tipo de diseño de la investigación técnicas de recolección de la información y los procedimientos que se toman para la elaboración de la investigación de opción de grado.
- Etapa 5: se realizaron dueños respectivos de los métodos para así tomar uno solo y con este realizar los reactivos estudio y profundización de la investigación.
- Etapa 6: se procede a describir las conclusiones y se propuso las respectivas recomendaciones de estudio.

**Plan de análisis de datos:** el plan de análisis de datos que se siguió para la realización de esta investigación, se fundamentó básicamente en la recolección de datos y material documental como base de esta investigación, mediante la indagación e interpretación de libros, revistas científicas, manuales y procedimientos de calidad, normas entre otros artículos de interés que acreditan los postulados teóricos existentes, aptos para la elaboración de un análisis investigativo de micro pilotes inyectados y así poder abordar el tema en estudio, y poder ofrecer una herramienta que sirva para la elaboración de estos sistemas .

## 7. DISEÑO COMPROBATORIO

Para el diseño comprobatorio se tomaron los cálculos reales de un proyecto construido en Bogotá y el cual para realizar y ser más comprobados los procesos se centró en la zona de Estacionamientos y Comercio que fue donde se utilizaron este tipo de cimentaciones profundas como son los micropilotes remplazando los tradicionales Hincados que se calcularon para este proceso.

El proyecto está ubicado en Bogotá en la calle 193, el lote del proyecto apareció cubierto por un lleno mixto de una capa vegetal, de poco espesor, bajo este material se presentó un perfil típicamente sabanero, un sección estratigráfica se presenta en la (Figura 17 y 18).

En los sondeos el agua aparece entre los 0,30 m y 6,50m de profundidad, al terminar las perforaciones el agua se estabilizó a los 2,90 m.

La ciudad de Bogotá se encuentra en zona de amenaza sísmica intermedia de acuerdo con las disipaciones de la Norma Sismo Resistente Colombiana NSR10.

Este estatuto recomienda realizar el análisis estructural sísmico de las edificaciones, así como la evaluación de la influencia del suelo, teniendo en cuenta los parámetros que se consignan en la (Tabla 5)

### *RECOMENDACIONES PARA DISEÑO SISMICO.*

• Perfil del suelo.	S3
• Coeficiente de Sitio.	S=1.5
• Grupo de Uso.	I=
• Coeficiente de Impostancia.	I=1.0
• Aceleración Pico Efectiva.	A <sup>a</sup> = 0.2
• Aceleración Pico Efectiva- umbral de daño.	A <sup>d</sup> = 0,04

Tabla 5. Recomendaciones para diseño sísmico.

Para pilotes Hincados.

De acuerdo al diseño presentado por la empresa encargada del estudio de suelos (Áreas Ingenieros Constructores Ltda.), los pilotes tendrán las siguientes características:

- Lado: 0,35m.
- Segmento: L<sub>i</sub> = 12,0 m.
- Longitud L = 24,0 m, 36,0m, 48m.
- Separación: s= 1,00m- 1,20m

La carga inicial variable para estos pilotes se presenta en la (Tabla 6)



Tabla 6.Capacidad admisible de pilotes Hincados.

Profundidad Z(m)	Longitud efectiva de los pilotes	L= 0,35m	
		Pa, ton.	CPEton/m3
30	28	58	16,91
31	29	61	17,17
32	30	64	17,41
33	31	67	17,64
34	32	70	17,86
35	33	73	18,06
36	34	77	18,49
37	35	80	18,66
38	36	84	19,05
39	37	88	19,42
40	38	91	19,55
41	39	95	19,88
42	40	99	20,20
43	41	103	20,51
44	42	107	20,80
45	43	112	21,26
46	44	116	21,52
47	45	120	21,77
48	46	125	22,18
49	47	129	22,41
50	48	134	22,79

El pilote tendrá la longitud de 35m y la armadura del pilote de acuerdo a los cálculos realizados por el ingeniero estructura estuvo compuesta de la siguiente forma.

Concreto = 24.5 Mpa

Refuerzo de acero = 10#4

Refuerzo Fleje = 340 # 3 L= 1,25 m.

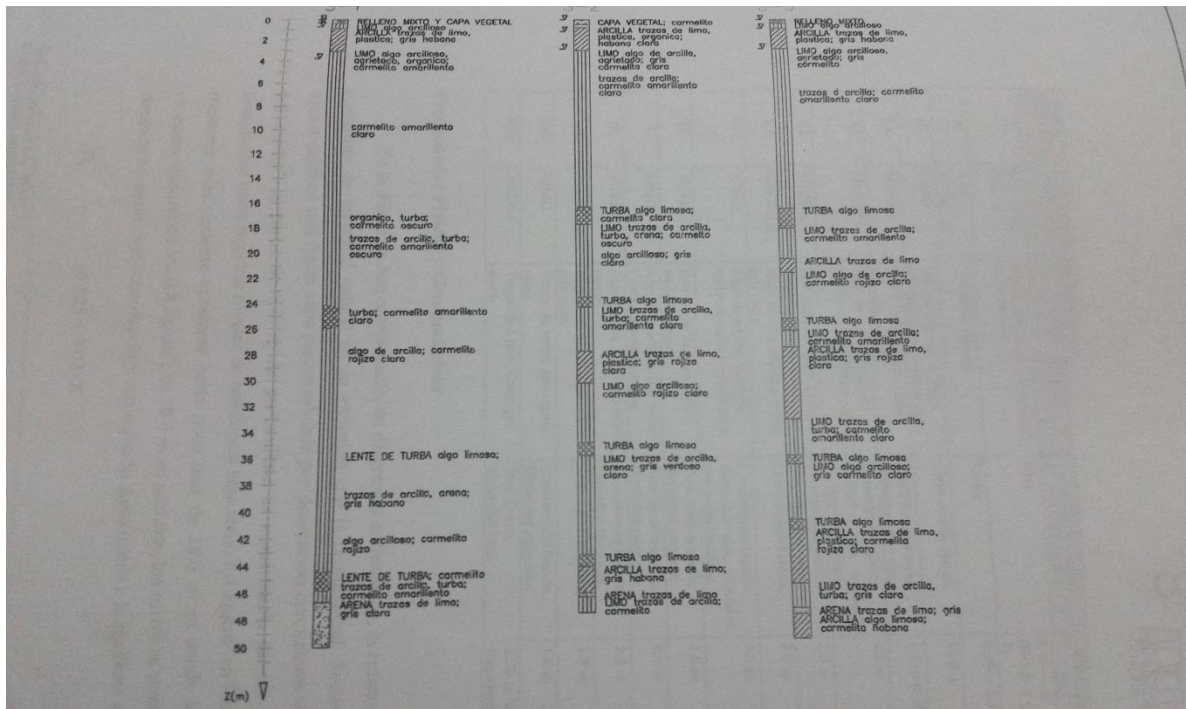
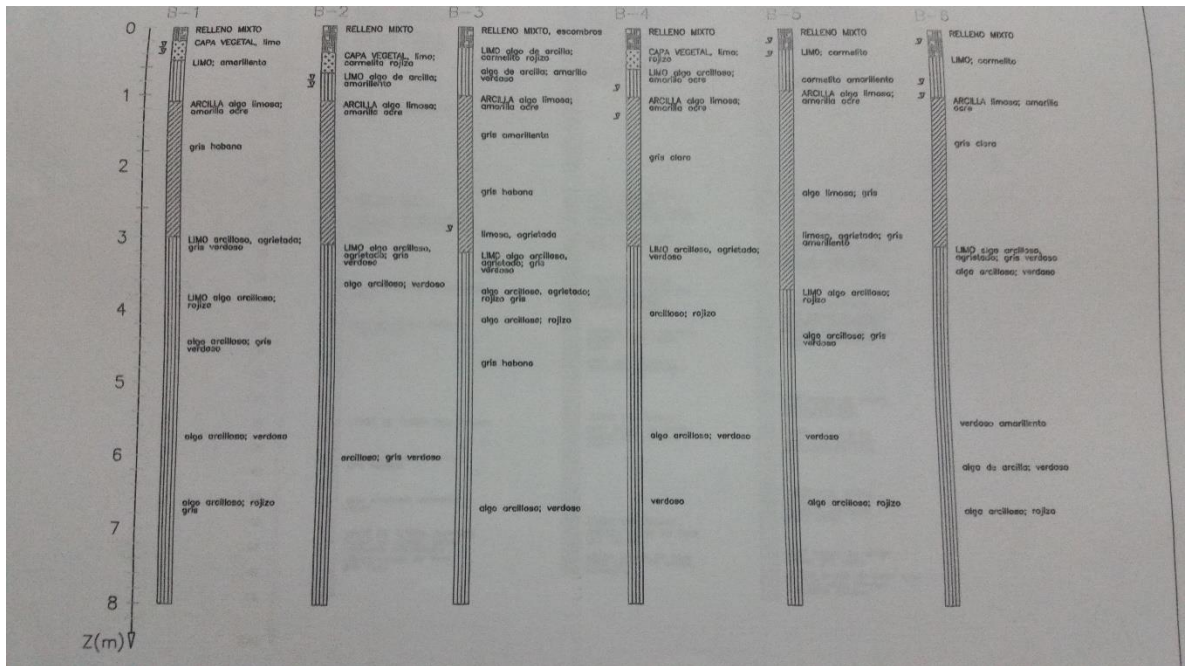
El esquema se muestra en la (figura 19)

El esfuerzo en la pila deberá mantenerse por debajo de, según aprobación del ingeniero estructural.

$f_c \leq 0,25 f_c$ .

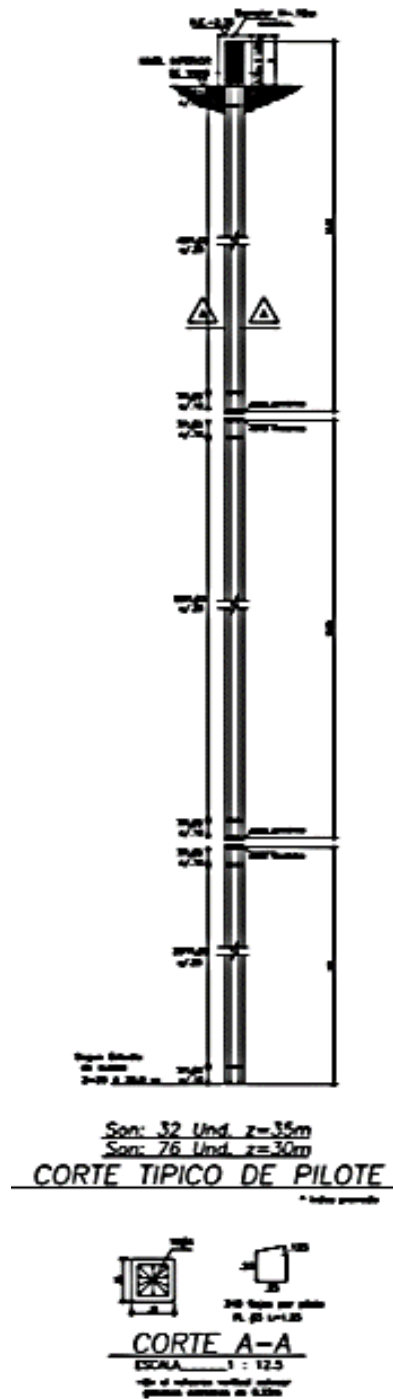
Las luces en los estacionamientos serán de 7,0m x 7,0m y sus cargas estarán en el rango de 70 y 72 ton, las cuales soportaran dos niveles con dos placas de 0,60m aligeradas.

Figura 17 y 18. Sección estratigráfica del terreno.



Promotora Kepler ( Estudio de suelos Áreas Ingeniero y Consultores 2013).

Figura 19. Diseño pilote.



Promotora Kepler, (Diseñador Ipi, 2013).

El sistema para la realización de estos se basa en una excavación del elemento por medio de un tornillo sinfín, al que quedan adheridos los cortes del suelo.

Diseño Micropilotes.

Para el diseño de este sistema el geotecnista realizo el siguiente diseño:

De acuerdo a las recomendaciones del geotecnista es conveniente que los pilotes no sean más largos que 30,0 m más o menos 3,0m

- Excavación = 1,00m.
- Holgura = 2,00 m.
- Factor  $S_u = 0,150$ .
- Alpha (a) = 0,875
- $Z(S_u \text{ cte}) = 20.0\text{m}$ .
- $S_{ul} = 3.0 \text{ ton/m}^2$ .
- Diámetro = 0,20m.

En la (tabla 7) que se presente a continuación están los datos para el cálculo de la capacidad de micropilotes para equilibrar las cargas:

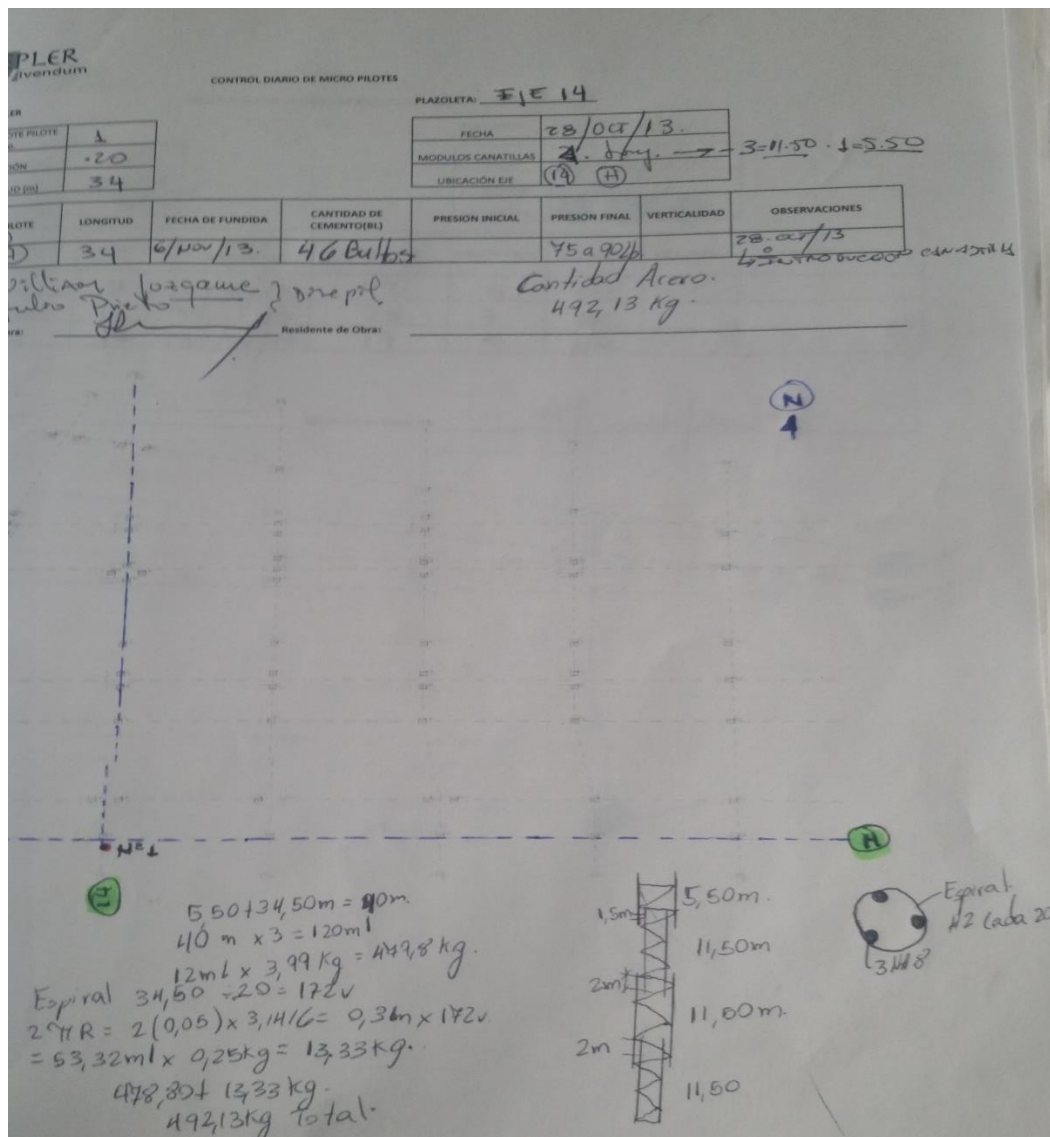
Tabla 7. Tabla de cálculo para micropilotes.

Prof, Z(m)	Sul	Le1	Le2	L efectiva del pilote (m)	Capacidad ultima del pilote pa, ton.	Capacidad admisible del pilote, pa, ton	Capacidad portante del especifica CPE Ton/m3
20	3,00		51,00	19	28	14	23,5
21	3,15	3,15	54,15	20	29	15	23,1
22	3,30	3,45	57,45	21	31	16	23,5
23	3,45	9,90	60,90	22	33	17	23,90
24	3,60	13,50	64,50	23	35	18	24,2
25	3,75	17,25	68,25	24	37	19	24,5
26	3,90	21,15	72,15	25	39	20	24,8
27	4,05	25,20	76,20	26	41	21	25,1
28	4,20	29,40	80,40	27	44	22	25,9
29	4,35	33,75	84,75	28	46	23	26,1
30	4,50	38,25	89,25	29	49	25	26,9
31	4,65	42,90	93,90	30	51	26	27,1
32	4,80	47,70	98,70	31	54	27	27,1
33	4,95	52,65	103,65	32	56	28	27,9
34	5,10	57,75	108,75	33	59	30	28,5

35	5,25	63,00	114,00	34	62	31	29,0
36	5,40	68,40	119,40	35	65	33	29,6
37	5,55	73,95	124,95	36	68	34	30,1
38	5,70	70,65	130,65	37	71	36	30,5
39	5,85	85,50	136,50	38	75	38	51,4
40	6,00	91,50	142,50	39	78	39	31,8

Por cada micropilote el calculista propuso tres varillas de pulgada y refuerzo en fleje redondo de cuarto de pulgada cada veinte centímetros como se muestra en la (figura 20), según formatos realizados en obra.

Figura 20. Plano micropilotes.



Lechada secundaria: se considera ahora que a cada manguito o válvula machete se le inyecte un volumen de 30 litros y que se tiene un total de 8 manguitos para inyectar tomando en cuenta que el primero se ubica a .2,00 m y el ultimo a los -9,00 m, necesitamos un volumen para la lechada secundaria de:

30 litros por 23 manguitos = 690 litros.

#### DISEÑO CÁLCULO DE LA CAPACIDAD ÚLTIMA DE SOPORTE METODO $\alpha$ .

La capacidad de soporte de los pilotes hundidos en arcillas y limos arcillosos es igual a la suma de la resistencia última de carga con la fricción superficial de la parte del pilote en contacto con el suelo. La resistencia última se obtiene con la ecuación:

$$Q_u = Q_b * Q_s$$

Y la capacidad de punta se obtiene:

$$Q_b = N_c * C_b * A_b$$

Donde:

$C_b$  = La fuerza del cortante no alterada en la base.

$A_b$  = área de la punta.

$N_c$  = factor del suelo.

El factor de capacidad de carga  $N_c$  se puede considerar igual a 9 siempre y cuando el pilote sea hundido al menos cinco diámetro dentro del estrato de carga.

La capacidad de fricción se obtiene con la ecuación:

$$Q_s = \alpha * C_u * A_s$$

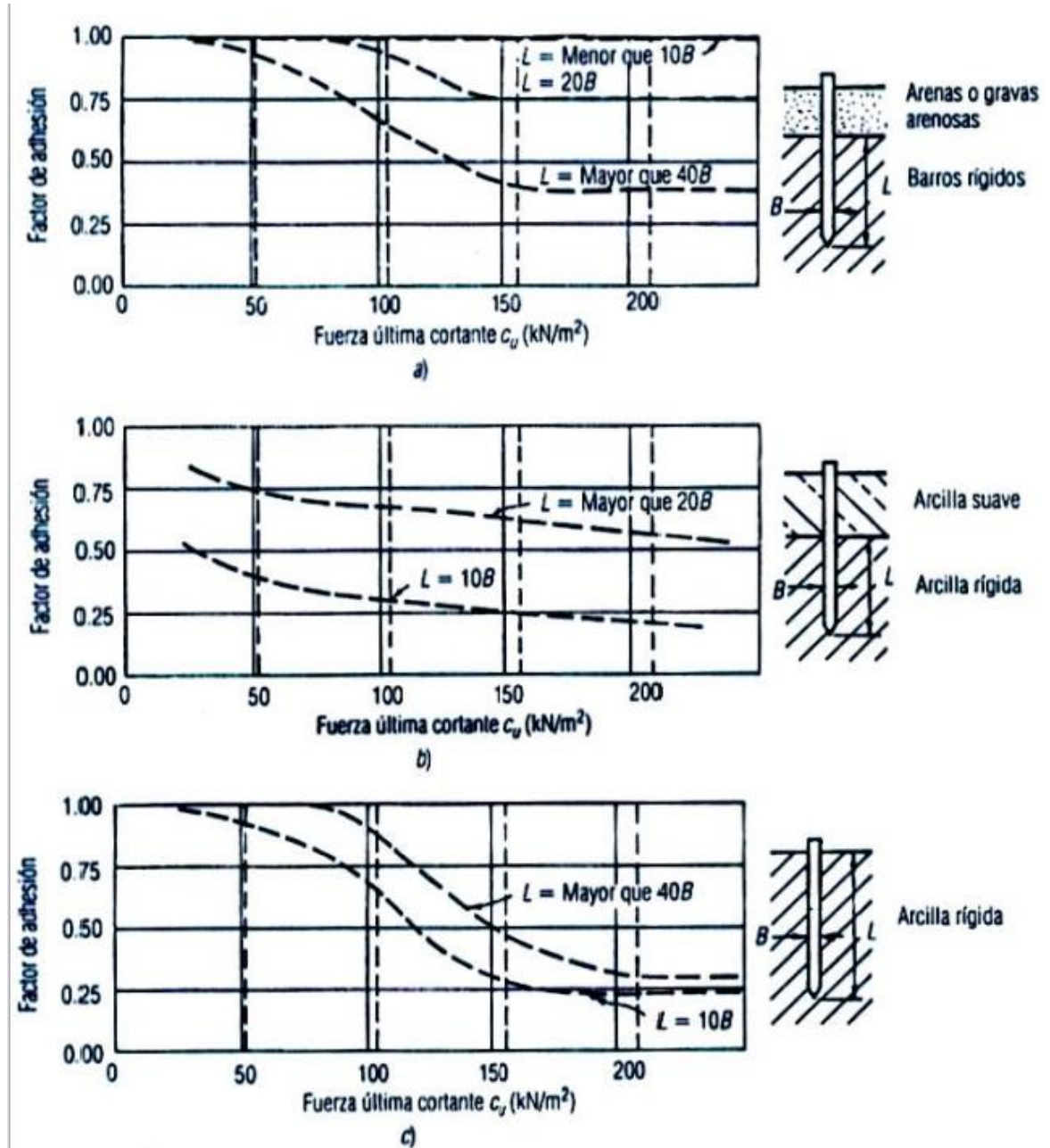
Donde:

$A$  = factor de adhesión se obtiene de la (Figura 20.1).

$C_u$  = promedio de la fuerza cortante no alterada de la arcilla adyacente al cuerpo del pilote.

$A_s$  = área de la superficie del cuerpo del pilote.

Figura 20.1. Factores de adhesión para los pilotes hundidos en arcilla. a) Caso 1: Pilotes hundidos a través de las arenas sobre gravas arenosas. b) Caso 2: Pilotes hundidos a través de una capa superior de arcilla débil. Caso 3: Pilotes sin una capa superior diferente.



## CALCULO DE CAPACIDAD ULTIMA DE SOPORTE PARA PILOTES CON LADO DE 0.35 m

**Estrato arcilla de la profundidad 25 a la 35 ( Longitud del estrato 10m )**

L=	10.00	m	L=	10.00	m	L=	10.00	m	L=	10.00	m
Cu=	50.00	KN/m <sup>2</sup>	Cu=	100.00	KN/m <sup>2</sup>	Cu=	150.00	KN/m <sup>2</sup>	Cu=	200.00	KN/m <sup>2</sup>
Cb=Su=	50.00	KN/m <sup>2</sup>	Cb=Su=	200.00	KN/m <sup>2</sup>	Cb=Su=	500.00	KN/m <sup>2</sup>	Cb=Su=	637.00	KN/m <sup>2</sup>
Ab=	0.12	m <sup>2</sup>	Ab=	0.12	m <sup>2</sup>	Ab=	0.12	m <sup>2</sup>	Ab=	0.12	m <sup>2</sup>
Nc=	9.00		Nc=	9.00		Nc=	9.00		Nc=	9.00	
α =	0.75		α =	0.70		α =	0.63		α =	0.55	
As=	0.12	m <sup>2</sup>	As=	0.12	m <sup>2</sup>	As=	0.12	m <sup>2</sup>	As=	0.12	m <sup>2</sup>
Qb=	55.13	KN	Qb=	220.50	KN	Qb=	551.25	KN	Qb=	702.29	KN
Qs=	4.594	KN	Qs=	8.575	KN	Qs=	11.484	KN	Qs=	13.475	KN
Qu=	59.72	KN	Qu=	229.08	KN	Qu=	562.73	KN	Qu=	715.77	KN
Qu=	6.08	TON	Qu=	23.36	TON	Qu=	57.38	TON	Qu=	72.99	TON

## CALCULO DE CAPACIDAD ULTIMA DE SOPORTE PARA MICROPILOTES DE CIAMETRO 0.20 m

L=	10.00	m	L=	10.00	m	L=	10.00	m	L=	10.00	m
Cu=	50.00	KN/m <sup>2</sup>	Cu=	100.00	KN/m <sup>2</sup>	Cu=	150.00	KN/m <sup>2</sup>	Cu=	200.00	KN/m <sup>2</sup>
Cb=Su=	50.00	KN/m <sup>2</sup>	Cb=Su=	200.00	KN/m <sup>2</sup>	Cb=Su=	500.00	KN/m <sup>2</sup>	Cb=Su=	637.00	KN/m <sup>2</sup>
Ab=	0.04	m <sup>2</sup>	Ab=	0.04	m <sup>2</sup>	Ab=	0.04	m <sup>2</sup>	Ab=	0.04	m <sup>2</sup>
Nc=	9.00		Nc=	9.00		Nc=	9.00		Nc=	9.00	
α =	0.75		α =	0.70		α =	0.63		α =	0.55	
As=	0.04	m <sup>2</sup>	As=	0.04	m <sup>2</sup>	As=	0.04	m <sup>2</sup>	As=	0.04	m <sup>2</sup>
Qb=	18.00	KN	Qb=	72.00	KN	Qb=	180.00	KN	Qb=	229.32	KN
Qs=	1.500	KN	Qs=	2.800	KN	Qs=	3.750	KN	Qs=	4.400	KN
Qu=	19.50	KN	Qu=	74.80	KN	Qu=	183.75	KN	Qu=	233.72	KN
Qu=	1.98	TON	Qu=	7.62	TON	Qu=	18.73	TON	Qu=	23.83	TON



## 8. VARIABLES E INDICADORES.

En el presente trabajo encontramos variables las cuales son las que se van a estudiar y observar durante todo el proceso de acuerdo a sus indicadores como se observa en la (tabla 8).

Tabla 8. Variables e indicadores.

VARIABLES	INDICADORES
Diseños.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Empíricos.</li><li>• Medición.</li><li>• Procesos.</li><li>• Métodos.</li><li>• Normas.</li></ul>
Sistema constructivo.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Malos hábitos.</li><li>• Ejecución del sistema.</li><li>• Perforación.</li><li>• Terreno.</li><li>• Personal de obra.</li><li>• Materiales apropiados.</li><li>• Equipo apropiado.</li><li>• Especificaciones requeridas.</li><li>• Colocación armadura del micropilote.</li></ul>
Ensayos lechadas.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Resultados esperados.</li><li>• Homogeneidad de la mezcla.</li><li>• Materiales adecuados.</li></ul>
Pruebas de carga	<ul style="list-style-type: none"><li>• Asentamientos del micropilote.</li><li>• Desplazamientos.</li><li>• Cargas aplicadas.</li><li>• Gráficos esperados.</li><li>• Equipos adecuados.</li></ul>

## 9. PROCESOS Y PROCEDIMIENTOS.

En el proceso de diseño de micropilotes se observó que este quedo de 9,00 metros de longitud según el sistema escogido por (Leoni, 2009), también se determinó el diámetro y los materiales a utilizar en la construcción del micropilote para soportar una carga de 40 tn.

### 12.1 Procesos de ejecución según lo visto en una obra en Bogotá:

1. Lo primero que se ejecuto fue la instalación de los equipos en obra, cabe aclarar que anteriormente se había realizado el replanteo y localización de los puntos donde se iban a realizar el micro pilotes.
2. Se realizó la preparación de la tubería de llenado (tubería PVC, para agua tipo liviana o pesado de 1" de diámetro, perforado cada .35 metros. A la que se le instalaron sellos de caucho para evitar que se llene de lodos o con la lechada que se coloca externamente por gravedad estos sellos serán expulsados en el momento de realizar el proceso de inyección a presión.
3. A la tubería pvc se le colocaron separadores metálicos espaciados cada tres metros para fijar con amarres las varillas número 8 que son las que se diseñaron para el caso de la empresa a la que se está realizando este proceso, en un solo paquete o estructura posteriormente, se le coloco el espiral con varilla #2 con paso cada .10 metros.
4. Las canastillas se armaron en tramos de 10 metros y traslapos de .85m.
5. La excavación se adelantó con equipo hidráulico, rotación y lavado de referencia Year 34 y con una bomba de presión Mfo, la cual tenía capacidad de perforación de 40 metros, se debió que requerir de una acometida de agua la cual estuvo constante y durante la ejecución, también se dejó una acometida de agua y luz durante todo el proceso, no se tuvieron tanques para almacenamiento de lodos bentónicos.
6. Luego de finalizada la perforación se retira la tubería y se produce la instalación de refuerzo total, esta se realizó mediante tregua la cual ayudo a garantizar una verticalidad aunque no es total, pero es de gran ayuda para la instalación del refuerzo.
7. Para la realización de la lechada de cemento se optó por definís que por cada metro linear se debería mezclar 75 kg de cemento esto con el fin de garantizar las resistencias exigidas según los procesos estudiados.

8. Una vez instalada las canastillas de refuerzo se da inicio a la primera etapa de llenado por gravedad. Este proceso se realiza con el fin de sementar o recubrir las paredes de la excavación, se hace llenado externo con la ayuda de una bomba de presión en mínima, se utiliza para este fin tubería galvanizada de media.

9. La segunda etapa se realizó después de 72 horas para permitir que la primera tenga algún tipo de fraguado y así evitar la pérdida de filtraciones entre capas de material inyectado.

Esta segunda etapa consistió en la inyección a presión, se instala un accesorio con sellos de presión “flauta”, se procedió a bajar la tubería galvanizada por dentro de la de PVC hasta el final de la misma y se procede al vaciado de la lechada con una presión promedio de 5 atmósferas ( 75 libras) y se inyecta el promedio de cemento que se propuso según el tipo de micropilote mientras tanto se va extrayendo la tubería al paso que se va llenando, según los constructores inyectar a esta presión permite crear bulbos perimetrales a lo largo del micropilote y estos a lo largo generan una reacción a lo largo de la carga aplicada.

1. Se procedió a realizar una tercera inyección la cual se hizo a los 3 días de haber realizado la inyección secundaria.
2. Finalmente se realizó la el lavado de la tubería con agua limpia y aire a presión, en donde a los tubos de PVC se colocaron tapones que pueden ser retirados si en algún momento se requiere alguna reinyección.

### **9.1. Muestra de mezcla de cemento agua.**

Para esta muestra se procedió a realizar dos cilindros las cuales fueron falladas a 28 días por el laboratorio concreservicios, en el cual se muestra la resistencia a la compresión.

### **9.2. Prueba de carga axial en micropilotes.**

Con esta prueba se determinara la capacidad de carga real admisible para el micropilote, aplicando una fuerza puntal hasta llegar a la carga de diseño, la cual fue de 42Tn.

Para realizar la prueba se instalaron dos vigas metálicas tipo (HEM) IPE40 de 8.00 de 8.00 m de longitud ubicados en cruz, el pilote que se probó quedo ubicado bajo el cruce de las vigas y los extremos de estas se fijaron a cuatro pilotes adyacentes los cuales fueron realizados para poder realizar la prueba, con varillas del mismo calibre del pilote inicial, estas barrillas se figuraron en u en la parte superior y posteriormente se soldaron como se indica en la (figura 21), sobre el micropilote principal se instaló una platina para la protección del micropilote y se procedió a instalar un gato hidráulico con capacidad de 100 ton.

Figura 21. Construcciones estructura para pruebas de carga en micro pilotes



Cortesía (Disepil, 2014).

La prueba consistió en determinar el comportamiento del micropilote al aplicar como carga mínima la de diseño y así se le fue aplicando más carga hasta aplicar la carga ultima admisible que fue de (79,3 ton), ya que se considera falla cuando el suelo perimetral se fisura o marca con la carga aplicada y se deteriora la superficie de concreto que en este caso no sucedió.

Se realizó la preparación de la cabeza del micropilote en el cual se cortó para así dejar una superficie plana, encontrando el material sano ya que el de la superficie está contaminado, esta superficie del pilote se dejó perfectamente nivelada, se dejaron las varillas del micropilote libres 80 centímetros, bajo la viga se dejaron

cilindros hidráulicos conectados a la bomba principal, la carga se aplicó por etapas en periodos de tiempos específicos esto con el fin de no deteriorar los elementos que intervienen.

Para determinar cuál fue el curvamiento a flexión de la viga se colocaron unos elementos de medida horizontal y otros verticales paralelos al micropilote, el cual muestra la inclinación o deformación que este pudo presentar durante el ensayo como se muestra en la (figura 22), estos elementos son mecánicos.

Figura 22. Proceso instalación para ensayo de micropilote cortesía.



(Disepil, 2014).

## **10. RESULTADOS.**

### **10.1. Diseño del micropilote.**

Realizar este diseño es de cuidado ya que los datos son esenciales según estudio de suelos para realizarlo de la manera adecuada, para un micropilote de 30 metros resistir una carga admisible de 73 ton, resulta poco adecuada pues uno solo no alcanza para que pueda soportar esta, resulta más seguro construir varios en grupos para que estos actúen de manera que transmitan las cargas en grupo, por cada pilote es necesario hacer hasta tres micropilotes para alcanzar a tener seguridad de que la estructura va a ser segura.

### **10.2. Procesó constructivo.**

El proceso que llevo a cabo esta dentro de los parámetros ejidos aunque se salta algunas pasos que se deben de llevar igual que los métodos que se han realizado, el método que se guía fue el de inyección repetitiva en el cual se pudo obtener los siguientes resultados.

- Para la excavación se observó que no se tuvo cuidado al momento de extraer el lodo ya que este al ser fluido y extraído con bastante agua no se llevó el respectivo cuidado a momento de contratar el tanque para recaudar los lodos como se muestra en la (figura 23).

Figura 23. Perforación y extracción de lodos.



- Al colocar la armadura del micropilote se observa cómo se caen en el área perimetral tramos de tierra las cuales al ir sumergiendo la armadura se van con esta como se muestra en la (figura 24).

Figura 24. Instalación de la armadura.



- La mezcla de cemento y agua no se realizó con los equipos necesarios, técnicamente y estos no se le llevo un control de los procesos ejecutados ver (figuras 25 y 26).

Figura 25. Equipos necesarios para inyección.



Figura 26. Equipos que fueron utilizados para la inyección y fabricación de la lechada de micropilotes.



- Al momento de excavar para realizar las vigas que amarren los micropilotes se observó que el material de la parte superior no era consistente y no tenía rigidez, este proceso se llevó a cabo 15 días después del proceso final se muestra en la (figura 27).



Figura 27. Micropilotes excavados.



- Los traslapes no se respetaron quedando en ocasiones alta la armadura y no cumpliendo con la profundidad requerida de acuerdo al diseño (figura 27).

Figura 28. Traslapes micropilotes.




### 10.3. Mezcla de cemento.

Al realizar los ensayos de laboratorio a los se obtuvieron los siguientes resultado, las muestras fueron falladas a 28 días para determinar las cargas y saber el porcentaje de desarrollo que tienen este material a esta edad como se muestra en la (figura 28) y (Tabla 9)

Figura 29. Registró fotográfico falla de cilindros mezcla de cemento y agua.



Tabla 9. Resultados de laboratorio Mezcla de cemento y agua.

 Laboratorio de Ensayo de Materiales Cile 22C-130-51 ONAC 09-LAB-021 Tel:		INFORME DE ENSAYO A COMPRESIÓN EN CILINDROS DE GROUTING (NTC 673/2010/ 4043/2000)										Código: FL006/03 CR: 1527 Inf. N°: 358341			
<b>Observaciones:</b> Los resultados corresponden exclusivamente a las muestras ensayadas.   N=Normal B=Bajo															
Cilindro N°	Localización	Fecha de toma	Fecha de ensayo	Sección	Edad (Días)	Peso (g)	Densidad (g/cm³)	Carga Máxima (kN)	Esfuerzo (kg/cm²)	Esfuerzo (P.S.I.)	Esfuerzo (MPa)	fc (MPa)	% Desarrollo	Forma de falla	OBS
0001	LECHADA MICROPILOTES.	2013-12-13	2014-01-11	4" G	29	2672	1.62	57.5	72	1033	7.0	21.0	34	Cono y c	B
0001	LECHADA MICROPILOTES.	2013-12-13	2014-01-11	4" G	29	2636	1.60	51.4	65	924	6.0	21.0	31	Cono y c	B
0165	TORRE 9 CUBIERTA.	2013-12-16	2014-01-13	4" G	28	3463	2.10	138.6	174	2490	17.0	14.0	125	Column ar	N
0165	TORRE 9 CUBIERTA.	2013-12-16	2014-01-13	4" G	28	3551	2.16	134.9	170	2424	17.0	14.0	121	Cono	N
0166	LA PLAZA TORRE 2 PISOS 8 Y 9 OCCIDENTAL.	2014-01-02	2014-01-16	4" G	14	3676	2.23	171.4	216	3080	22.0	13.9	155	Column ar	N
0166	LA PLAZA TORRE 2 PISOS 8 Y 9 OCCIDENTAL.	2014-01-02	2014-01-16	4" G	14	3624	2.20	173.5	218	3118	22.0	13.9	157	Column ar	N
0167	LA PLAZA TORRE 2 PISO 10 OCCIDENTAL.	2014-01-09	2014-01-16	4" G	7	3594	2.18	88.4	111	1588	11.0	14.0	79	Cono y c	N
0167	LA PLAZA TORRE 2 PISO 10 OCCIDENTAL.	2014-01-09	2014-01-16	4" G	7	3595	2.18	88.4	111	1588	11.0	14.0	79	Cono	N

### 10.3. Pruebas de carga.

Se realizaron las pruebas de carga a un micropilote, con esta prueba en distintos intervalos de tiempo y diferentes cargas se pueden obtener los siguientes gráficos.

Pruebas realizadas a un micropilote de .20 m, la carga de referencia fue de 42 ton, y la longitud del micropilote fue de 17m, a continuación se encuentran las tablas de cálculo de acuerdo a los datos tomados con flexometro y deformímetros en distintos tiempos, distintas cargas y también los gráficos de las mismas se muestra en la (tabla 10):

Tabla 10. Resultados ensayos de carga.

Fecha	HO RA	TIEM PO	CIC LO	MANOM ETRO (PSI)	CARGA (Ton)	Carga (%)	DEFLEXIONES VERTICALES(mm) – DEFORMIMETROS					
							Def. D1		Def. D2		Def. D3	
							sign:	0.0254	sign:	0.0254	sign:	0.0254
							Lect.	Calc	Lect.	Calc	Lect.	Calc
03/12/2014	17:05	0	0	700	6.6	15.6	1647	0.00	1707	0.00	1662	0.00
03/12/2014	17:25	0	1	1350	12.7	30.1	1636	0.28	1694	0.33	1659	0.08
03/12/2014	17:28	3	1	1350	12.7	30.1	1635	0.30	1694	0.33	1659	0.08
03/12/2014	17:31	6	1	1350	12.7	30.1	1635	0.30	1693	0.36	1659	0.08
03/12/2014	17:34	9	1	1350	12.7	30.1	1635	0.30	1693	0.36	1659	0.08
03/12/2014	17:37	12	1	1350	12.7	30.1	1635	0.30	1693	0.36	1659	0.08
03/12/2014	17:40	15	1	1350	12.7	30.1	1635	0.30	1693	0.36	1659	0.08
03/12/2014	18:05	0	2	2000	18.8	44.7	1620	0.69	1676	0.79	1651	0.28
03/12/2014	18:08	3	2	2000	18.8	44.7	1620	0.69	1675	0.81	1651	0.28
03/12/2014	18:11	6	2	2000	18.8	44.7	1619	0.71	1674	0.84	1651	0.28
03/12/2014	18:14	9	2	2000	18.8	44.7	1619	0.71	1674	0.84	1651	0.28
03/12/2014	18:17	12	2	2000	18.8	44.7	1619	0.71	1674	0.84	1651	0.28
03/12/2014	18:20	15	2	2000	18.8	44.7	1619	0.71	1674	0.84	1651	0.28
03/12/2014	18:34	0	3	2700	25.3	60.3	1600	1.19	1652	1.40	1640	0.56
03/12/2014	18:37	3	3	2700	25.3	60.3	1600	1.19	1652	1.40	1640	0.56
03/12/2014	18:40	6	3	2700	25.3	60.3	1598	1.24	1651	1.42	1640	0.56
03/12/2014	18:43	9	3	2700	25.3	60.3	1596	1.30	1650	1.45	1640	0.56
03/12/2014	18:47	12	3	2700	25.3	60.3	1596	1.30	1648	1.50	1640	0.56

03/12/2014	18:50	15	3	2700	25.3	60.3	1594	1.35	1648	1.50	1640	0.56
03/12/2014	19:03	0	4	3350	31.4	74.8	1581	1.68	1631	1.93	1627	0.89
03/12/2014	19:06	3	4	3350	31.4	74.8	1580	1.70	1630	1.96	1626	0.91
03/12/2014	19:09	6	4	3350	31.4	74.8	1579	1.73	1629	1.98	1626	0.91
03/12/2014	19:12	9	4	3350	31.4	74.8	1578	1.75	1628	2.01	1626	0.91
03/12/2014	19:15	12	4	3350	31.4	74.8	1578	1.75	1628	2.01	1625	0.94
03/12/2014	19:18	15	4	3350	31.4	74.8	1578	1.75	1627	2.03	1625	0.94
03/12/2014	19:28	0	5	4000	37.5	89.3	1558	2.26	1605	2.59	1606	1.42
03/12/2014	19:31	3	5	4000	37.5	89.3	1558	2.26	1605	2.59	1606	1.42
03/12/2014	19:34	6	5	4000	37.5	89.3	1558	2.26	1605	2.59	1606	1.42
03/12/2014	19:37	9	5	4000	37.5	89.3	1554	2.36	1601	2.69	1605	1.45
03/12/2014	19:40	12	5	4000	37.5	89.3	1554	2.36	1601	2.69	1604	1.47
03/12/2014	19:43	15	5	4000	37.5	89.3	1553	2.39	1600	2.72	1604	1.47
03/12/2014	19:56	0	6	4700	44.1	104.9	1519	3.25	1565	3.61	1574	2.24
03/12/2014	19:59	3	6	4700	44.1	104.9	1518	3.28	1564	3.63	1574	2.24
03/12/2014	20:02	6	6	4700	44.1	104.9	1518	3.28	1563	3.66	1574	2.24
03/12/2014	20:05	9	6	4700	44.1	104.9	1516	3.33	1562	3.68	1574	2.24
03/12/2014	20:08	12	6	4700	44.1	104.9	1516	3.33	1562	3.68	1572	2.29
03/12/2014	20:11	15	6	4700	44.1	104.9	1515	3.35	1561	3.71	1571	2.31
03/12/2014	21:10	0	7	5400	50.6	120.6	1482	4.19	1527	4.57	1540	3.10
03/12/2014	21:13	3	7	5400	50.6	120.6	1480	4.24	1526	4.60	1539	3.12
03/12/2014	21:16	6	7	5400	50.6	120.6	1478	4.29	1524	4.65	1538	3.15
03/12/2014	21:19	9	7	5400	50.6	120.6	1478	4.29	1523	4.67	1538	3.15
03/12/2014	21:22	12	7	5400	50.6	120.6	1478	4.29	1523	4.67	1536	3.20
03/12/2014	21:25	15	7	5400	50.6	120.6	1477	4.32	1522	4.70	1535	3.23
03/12/2014	21:35	0	8	6050	56.7	135.1	1439	5.28	1482	5.72	1495	4.24
03/12/2014	21:38	3	8	6050	56.7	135.1	1435	5.38	1476	5.87	1490	4.37
03/12/2014	21:41	6	8	6050	56.7	135.1	1427	5.59	1469	6.05	1483	4.55
03/12/2014	21:44	9	8	6050	56.7	135.1	1424	5.66	1466	6.12	1479	4.65
03/12/2014	21:47	12	8	6050	56.7	135.1	1422	5.72	1464	6.17	1478	4.67
03/12/2014	21:50	15	8	6050	56.7	135.1	1419	5.79	1462	6.22	1478	4.67
03/12/2014	21:55	20	8	6050	56.7	135.1	1412	5.97	1452	6.48	1473	4.80

03/12/2014	22:00	25	8	6050	56.7	135.1	1406	6.12	1449	6.55	1465	5.00
03/12/2014	22:20	45	8	6050	56.7	135.1	1394	6.43	1436	6.88	1452	5.33
03/12/2014	22:50	75	8	6050	56.7	135.1	1381	6.76	1424	7.19	1440	5.64
03/12/2014	23:05	0	7	5400	50.6	120.6	1380	6.78	1424	7.19	1440	5.64
03/12/2014	23:08	3	7	5400	50.6	120.6	1381	6.76	1424	7.19	1440	5.64
03/12/2014	23:11	6	7	5400	50.6	120.6	1381	6.76	1424	7.19	1440	5.64
03/12/2014	23:14	9	7	5400	50.6	120.6	1381	6.76	1424	7.19	1442	5.59
03/12/2014	23:17	12	7	5400	50.6	120.6	1381	6.76	1424	7.19	1442	5.59
03/12/2014	23:20	15	7	5400	50.6	120.6	1381	6.76	1425	7.16	1442	5.59
03/12/2014	23:30	0	6	4700	44.1	104.9	1389	6.55	1434	6.93	1451	5.36
03/12/2014	23:33	3	6	4700	44.1	104.9	1390	6.53	1434	6.93	1451	5.36
03/12/2014	23:36	6	6	4700	44.1	104.9	1390	6.53	1434	6.93	1451	5.36
03/12/2014	23:39	9	6	4700	44.1	104.9	1390	6.53	1434	6.93	1451	5.36
03/12/2014	23:42	12	6	4700	44.1	104.9	1390	6.53	1434	6.93	1451	5.36
03/12/2014	23:45	15	6	4700	44.1	104.9	1390	6.53	1434	6.93	1452	5.33
03/12/2014	23:55	0	5	4000	37.5	89.3	1398	6.32	1441	6.76	1461	5.11
03/12/2014	23:58	3	5	4000	37.5	89.3	1398	6.32	1441	6.76	1461	5.11
04/12/2014	0:01	6	5	4000	37.5	89.3	1398	6.32	1441	6.76	1461	5.11
04/12/2014	0:04	9	5	4000	37.5	89.3	1398	6.32	1441	6.76	1461	5.11
04/12/2014	0:07	12	5	4000	37.5	89.3	1398	6.32	1442	6.73	1461	5.11
04/12/2014	0:10	15	5	4000	37.5	89.3	1395	6.40	1442	6.73	1461	5.11
04/12/2014	0:20	0	4	3350	31.4	74.8	1406	6.12	1451	6.50	1470	4.88
04/12/2014	0:23	3	4	3350	31.4	74.8	1406	6.12	1451	6.50	1470	4.88
04/12/2014	0:26	6	4	3350	31.4	74.8	1406	6.12	1451	6.50	1470	4.88
04/12/2014	0:29	9	4	3350	31.4	74.8	1406	6.12	1452	6.48	1470	4.88
04/12/2014	0:32	12	4	3350	31.4	74.8	1406	6.12	1452	6.48	1470	4.88
04/12/2014	0:35	15	4	3350	31.4	74.8	1407	6.10	1452	6.48	1471	4.85
04/12/2014	0:45	0	3	2700	25.3	60.3	1418	5.82	1461	6.25	1481	4.60
04/12/2014	0:48	3	3	2700	25.3	60.3	1418	5.82	1461	6.25	1481	4.60
04/12/2014	0:51	6	3	2700	25.3	60.3	1418	5.82	1461	6.25	1481	4.60
04/12/2014	0:54	9	3	2700	25.3	60.3	1418	5.82	1461	6.25	1481	4.60
04/12/2014	0:57	12	3	2700	25.3	60.3	1418	5.82	1462	6.22	1481	4.60

04/12/2014	1:00	15	3	2700	25.3	60.3	1418	5.82	1463	6.20	1481	4.60
04/12/2014	1:10	0	2	2000	18.8	44.7	1430	5.51	1473	5.94	1497	4.19
04/12/2014	1:13	3	2	2000	18.8	44.7	1430	5.51	1473	5.94	1497	4.19
04/12/2014	1:16	6	2	2000	18.8	44.7	1430	5.51	1473	5.94	1497	4.19
04/12/2014	1:19	9	2	2000	18.8	44.7	1430	5.51	1473	5.94	1497	4.19
04/12/2014	1:22	12	2	2000	18.8	44.7	1430	5.51	1473	5.94	1497	4.19
04/12/2014	1:25	15	2	2000	18.8	44.7	1432	5.46	1474	5.92	1497	4.19
04/12/2014	1:35	0	1	1350	12.7	30.1	1447	5.08	1489	5.54	1513	3.78
04/12/2014	1:38	3	1	1350	12.7	30.1	1447	5.08	1489	5.54	1513	3.78
04/12/2014	1:41	6	1	1350	12.7	30.1	1447	5.08	1489	5.54	1513	3.78
04/12/2014	1:44	9	1	1350	12.7	30.1	1447	5.08	1489	5.54	1513	3.78
04/12/2014	1:47	12	1	1350	12.7	30.1	1447	5.08	1489	5.54	1513	3.78
04/12/2014	1:50	15	1	1350	12.7	30.1	1447	5.08	1489	5.54	1513	3.78
04/12/2014	2:00	0	0	700	6.6	15.6	1470	4.50	1512	4.95	1530	3.35
04/12/2014	2:03	3	0	700	6.6	15.6	1470	4.50	1512	4.95	1530	3.35
04/12/2014	2:06	6	0	700	6.6	15.6	1470	4.50	1512	4.95	1530	3.35
04/12/2014	2:09	9	0	700	6.6	15.6	1470	4.50	1513	4.93	1530	3.35
04/12/2014	2:12	12	0	700	6.6	15.6	1470	4.50	1515	4.88	1533	3.28
04/12/2014	2:15	15	0	700	6.6	15.6	1475	4.37	1515	4.88	1533	3.28

Valor máximo registrado
% Recuperación

6.8
35.6

7.2
32.2

5.6
41.9

+ = El micropilote de prueba se comprime	
--	--

							FLEXOMETROS CONTROL DESPLAZAMIENTO VERTICAL EN P. PRUEBA						PROM (mm)
Fecha	HORA	TIEMPO	CICLO	MANOMETRO (PSI)	CARGA (Ton)	Carga (%)	F1		F2		F3		
							Lect.(cm)	Calc (mm)	Lect.(cm)	Calc (mm)	Lect.(cm)	Calc (mm)	
03/12/2014	17:05	0	0	700	6.6	15.6	6.0	0	5.6	0	6.5	0	0.0
03/12/2014	17:25	0	1	1350	12.7	30.1	6.0	0	5.6	0	6.5	0	0.0
03/12/2014	17:28	3	1	1350	12.7	30.1	6.0	0	5.6	0	6.5	0	0.0
03/12/2014	17:31	6	1	1350	12.7	30.1	6.0	0	5.6	0	6.5	0	0.0
03/12/2014	17:34	9	1	1350	12.7	30.1	6.0	0	5.6	0	6.5	0	0.0
03/12/2014	17:37	12	1	1350	12.7	30.1	6.0	0	5.6	0	6.5	0	0.0
03/12/2014	17:40	15	1	1350	12.7	30.1	6.0	0	5.6	0	6.5	0	0.0
03/12/2014	18:05	0	2	2000	18.8	44.7	6.1	1	5.7	1	6.6	1	1.0
03/12/2014	18:08	3	2	2000	18.8	44.7	6.1	1	5.7	1	6.6	1	1.0
03/12/2014	18:11	6	2	2000	18.8	44.7	6.1	1	5.7	1	6.6	1	1.0
03/12/2014	18:14	9	2	2000	18.8	44.7	6.1	1	5.7	1	6.6	1	1.0
03/12/2014	18:17	12	2	2000	18.8	44.7	6.1	1	5.7	1	6.6	1	1.0
03/12/2014	18:20	15	2	2000	18.8	44.7	6.1	1	5.7	1	6.6	1	1.0
03/12/2014	18:34	0	3	2700	25.3	60.3	6.1	1	5.7	1	6.6	1	1.0
03/12/2014	18:37	3	3	2700	25.3	60.3	6.1	1	5.7	1	6.6	1	1.0
03/12/2014	18:40	6	3	2700	25.3	60.3	6.1	1	5.7	1	6.6	1	1.0
03/12/2014	18:43	9	3	2700	25.3	60.3	6.1	1	5.7	1	6.6	1	1.0
03/12/2014	18:47	12	3	2700	25.3	60.3	6.1	1	5.7	1	6.6	1	1.0
03/12/2014	18:50	15	3	2700	25.3	60.3	6.1	1	5.7	1	6.6	1	1.0
03/12/2014	19:03	0	4	3350	31.4	74.8	6.2	2	5.8	2	6.7	2	2.0
03/12/2014	19:06	3	4	3350	31.4	74.8	6.2	2	5.8	2	6.7	2	2.0
03/12/2014	19:09	6	4	3350	31.4	74.8	6.2	2	5.8	2	6.7	2	2.0
03/12/2014	19:12	9	4	3350	31.4	74.8	6.2	2	5.8	2	6.7	2	2.0
03/12/2014	19:15	12	4	3350	31.4	74.8	6.2	2	5.8	2	6.7	2	2.0
03/12/2014	19:18	15	4	3350	31.4	74.8	6.2	2	5.8	2	6.7	2	2.0
03/12/2014	19:28	0	5	4000	37.5	89.3	6.2	2	5.8	2	6.7	2	2.0



03/12	19:												
/2014	31	3	5	4000	37.5	89.3	6.2	2	5.8	2	6.7	2	2.0
03/12	19:												
/2014	34	6	5	4000	37.5	89.3	6.2	2	5.8	2	6.7	2	2.0
03/12	19:												
/2014	37	9	5	4000	37.5	89.3	6.2	2	5.8	2	6.7	2	2.0
03/12	19:												
/2014	40	12	5	4000	37.5	89.3	6.2	2	5.8	2	6.7	2	2.0
03/12	19:												
/2014	43	15	5	4000	37.5	89.3	6.2	2	5.8	2	6.7	2	2.0
03/12	19:												
/2014	56	0	6	4700	44.1	104.9	6.3	3	5.9	3	6.7	2	2.7
03/12	19:												
/2014	59	3	6	4700	44.1	104.9	6.3	3	5.9	3	6.7	2	2.7
03/12	20:												
/2014	02	6	6	4700	44.1	104.9	6.3	3	5.9	3	6.8	3	3.0
03/12	20:												
/2014	05	9	6	4700	44.1	104.9	6.3	3	5.9	3	6.8	3	3.0
03/12	20:												
/2014	08	12	6	4700	44.1	104.9	6.3	3	5.9	3	6.8	3	3.0
03/12	20:												
/2014	11	15	6	4700	44.1	104.9	6.3	3	5.9	3	6.8	3	3.0
03/12	21:												
/2014	10	0	7	5400	50.6	120.6	6.4	4	6.0	4	6.8	3	3.7
03/12	21:												
/2014	13	3	7	5400	50.6	120.6	6.4	4	6.0	4	6.8	3	3.7
03/12	21:												
/2014	16	6	7	5400	50.6	120.6	6.4	4	6.0	4	6.8	3	3.7
03/12	21:												
/2014	19	9	7	5400	50.6	120.6	6.4	4	6.0	4	6.8	3	3.7
03/12	21:												
/2014	22	12	7	5400	50.6	120.6	6.4	4	6.0	4	6.8	3	3.7
03/12	21:												
/2014	25	15	7	5400	50.6	120.6	6.4	4	6.0	4	6.8	3	3.7
03/12	21:												
/2014	35	0	8	6050	56.7	135.1	6.5	5	6.1	5	6.9	4	4.7
03/12	21:												
/2014	38	3	8	6050	56.7	135.1	6.5	5	6.1	5	6.9	4	4.7
03/12	21:												
/2014	41	6	8	6050	56.7	135.1	6.5	5	6.2	6	7.0	5	5.3
03/12	21:												
/2014	44	9	8	6050	56.7	135.1	6.5	5	6.2	6	7.0	5	5.3
03/12	21:												
/2014	47	12	8	6050	56.7	135.1	6.5	5	6.2	6	7.0	5	5.3
03/12	21:												
/2014	50	15	8	6050	56.7	135.1	6.5	5	6.2	6	7.0	5	5.3
03/12	21:												
/2014	55	20	8	6050	56.7	135.1	6.6	6	6.2	6	7.0	5	5.7
03/12	22:												
/2014	00	25	8	6050	56.7	135.1	6.6	6	6.2	6	7.0	5	5.7
03/12	22:												
/2014	20	45	8	6050	56.7	135.1	6.6	6	6.2	6	7.0	5	5.7
03/12	22:												
/2014	50	75	8	6050	56.7	135.1	6.6	6	6.2	6	7.0	5	5.7
03/12	23:												
/2014	05	0	7	5400	50.6	120.6	6.6	6	6.2	6	7.0	5	5.7
03/12	23:												
/2014	08	3	7	5400	50.6	120.6	6.6	6	6.2	6	7.0	5	5.7
03/12	23:												
/2014	11	6	7	5400	50.6	120.6	6.6	6	6.2	6	7.0	5	5.7
03/12	23:												
/2014	14	9	7	5400	50.6	120.6	6.6	6	6.2	6	7.0	5	5.7
03/12	23:												
/2014	17	12	7	5400	50.6	120.6	6.6	6	6.2	6	7.0	5	5.7

03/12 /2014	23: 20	15	7	5400	50.6	120.6	6.6	6	6.2	6	7.0	5	5.7
03/12 /2014	23: 30	0	6	4700	44.1	104.9	6.6	6	6.2	6	7.0	5	5.7
03/12 /2014	23: 33	3	6	4700	44.1	104.9	6.6	6	6.2	6	7.0	5	5.7
03/12 /2014	23: 36	6	6	4700	44.1	104.9	6.6	6	6.2	6	7.0	5	5.7
03/12 /2014	23: 39	9	6	4700	44.1	104.9	6.6	6	6.2	6	7.0	5	5.7
03/12 /2014	23: 42	12	6	4700	44.1	104.9	6.6	6	6.2	6	7.0	5	5.7
03/12 /2014	23: 45	15	6	4700	44.1	104.9	6.6	6	6.2	6	7.0	5	5.7
03/12 /2014	23: 55	0	5	4000	37.5	89.3	6.6	6	6.2	6	7.0	5	5.7
03/12 /2014	23: 58	3	5	4000	37.5	89.3	6.6	6	6.2	6	7.0	5	5.7
04/12 /2014	0:0 1	6	5	4000	37.5	89.3	6.6	6	6.2	6	7.0	5	5.7
04/12 /2014	0:0 4	9	5	4000	37.5	89.3	6.6	6	6.2	6	7.0	5	5.7
04/12 /2014	0:0 7	12	5	4000	37.5	89.3	6.6	6	6.2	6	7.0	5	5.7
04/12 /2014	0:1 0	15	5	4000	37.5	89.3	6.6	6	6.2	6	7.0	5	5.7
04/12 /2014	0:2 0	0	4	3350	31.4	74.8	6.6	6	6.2	6	7.0	5	5.7
04/12 /2014	0:2 3	3	4	3350	31.4	74.8	6.6	6	6.2	6	6.9	4	5.3
04/12 /2014	0:2 6	6	4	3350	31.4	74.8	6.6	6	6.2	6	6.9	4	5.3
04/12 /2014	0:2 9	9	4	3350	31.4	74.8	6.6	6	6.2	6	6.9	4	5.3
04/12 /2014	0:3 2	12	4	3350	31.4	74.8	6.6	6	6.2	6	6.9	4	5.3
04/12 /2014	0:3 5	15	4	3350	31.4	74.8	6.6	6	6.2	6	6.9	4	5.3
04/12 /2014	0:4 5	0	3	2700	25.3	60.3	6.6	6	6.2	6	6.9	4	5.3
04/12 /2014	0:4 8	3	3	2700	25.3	60.3	6.6	6	6.2	6	6.9	4	5.3
04/12 /2014	0:5 1	6	3	2700	25.3	60.3	6.6	6	6.2	6	6.9	4	5.3
04/12 /2014	0:5 4	9	3	2700	25.3	60.3	6.6	6	6.2	6	6.9	4	5.3
04/12 /2014	0:5 7	12	3	2700	25.3	60.3	6.6	6	6.2	6	6.9	4	5.3
04/12 /2014	1:0 0	15	3	2700	25.3	60.3	6.6	6	6.2	6	6.9	4	5.3
04/12 /2014	1:1 0	0	2	2000	18.8	44.7	6.5	5	6.2	6	6.9	4	5.0
04/12 /2014	1:1 3	3	2	2000	18.8	44.7	6.5	5	6.2	6	6.9	4	5.0
04/12 /2014	1:1 6	6	2	2000	18.8	44.7	6.5	5	6.2	6	6.9	4	5.0
04/12 /2014	1:1 9	9	2	2000	18.8	44.7	6.5	5	6.2	6	6.9	4	5.0
04/12 /2014	1:2 2	12	2	2000	18.8	44.7	6.5	5	6.2	6	6.9	4	5.0
04/12 /2014	1:2 5	15	2	2000	18.8	44.7	6.5	5	6.1	5	6.9	4	4.7
04/12 /2014	1:3 5	0	1	1350	12.7	30.1	6.5	5	6.1	5	6.9	4	4.7

04/12/2014	1:3 8	3	1	1350	12.7	30.1	6.5	5	6.1	5	6.9	4	4.7
04/12/2014	1:4 1	6	1	1350	12.7	30.1	6.5	5	6.0	4	6.9	4	4.3
04/12/2014	1:4 4	9	1	1350	12.7	30.1	6.5	5	6.0	4	6.9	4	4.3
04/12/2014	1:4 7	12	1	1350	12.7	30.1	6.5	5	6.0	4	6.9	4	4.3
04/12/2014	1:5 0	15	1	1350	12.7	30.1	6.4	4	6.0	4	6.8	3	3.7
04/12/2014	2:0 0	0	0	700	6.6	15.6	6.4	4	6.0	4	6.8	3	3.7
04/12/2014	2:0 3	3	0	700	6.6	15.6	6.4	4	6.0	4	6.8	3	3.7
04/12/2014	2:0 6	6	0	700	6.6	15.6	6.4	4	6.0	4	6.8	3	3.7
04/12/2014	2:0 9	9	0	700	6.6	15.6	6.4	4	6.0	4	6.8	3	3.7
04/12/2014	2:1 2	12	0	700	6.6	15.6	6.4	4	6.0	4	6.8	3	3.7
04/12/2014	2:1 5	15	0	700	6.6	15.6	6.4	4	6.0	4	6.8	3	3.7

Valor máximo registrado
% Recuperación

8.3
77.5

8.3
77.5

8.3	8.3
77.5	77.5

+ = El micropilote de prueba se comprime

Grafico 1. Desplazamiento de la cabeza del micropilote deformimetro D1.

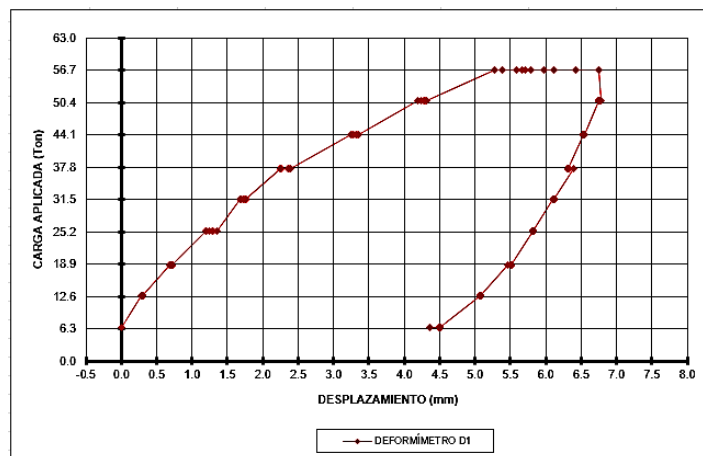
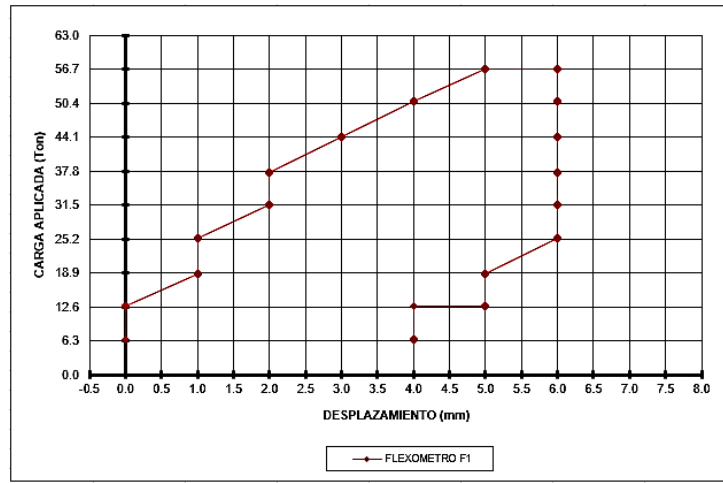


Grafico 2. Desplazamiento de la cabeza del micropilote flexometro F1.



(+)= El micropilote se comprime

Grafico 3. Desplazamiento de la cabeza del micropilote deformimetro D2.

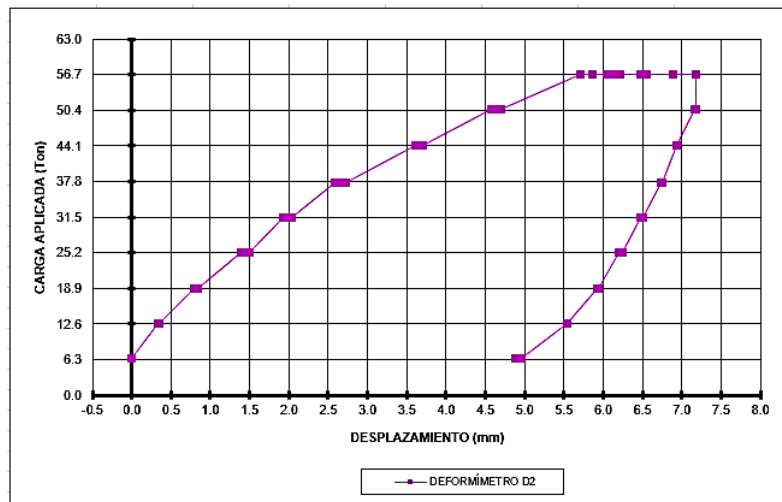


Grafico 4. Desplazamiento de la cabeza del micropilote flexometro F2.

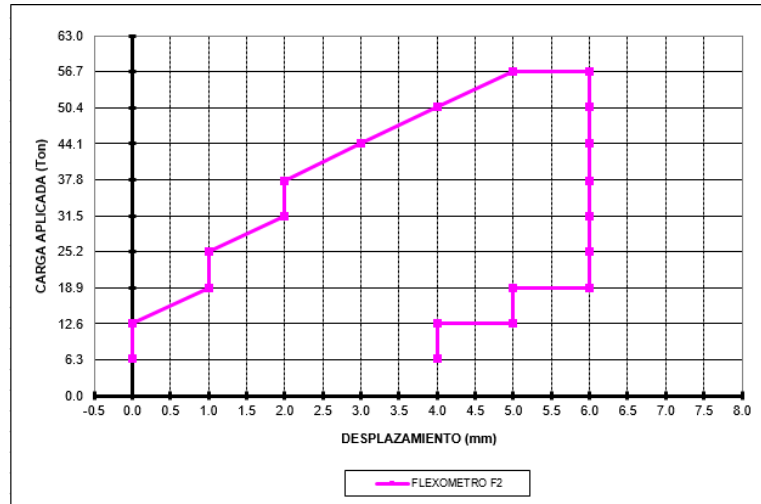


Grafico 5. Desplazamiento de la cabeza del micropilote deformimetro D3.

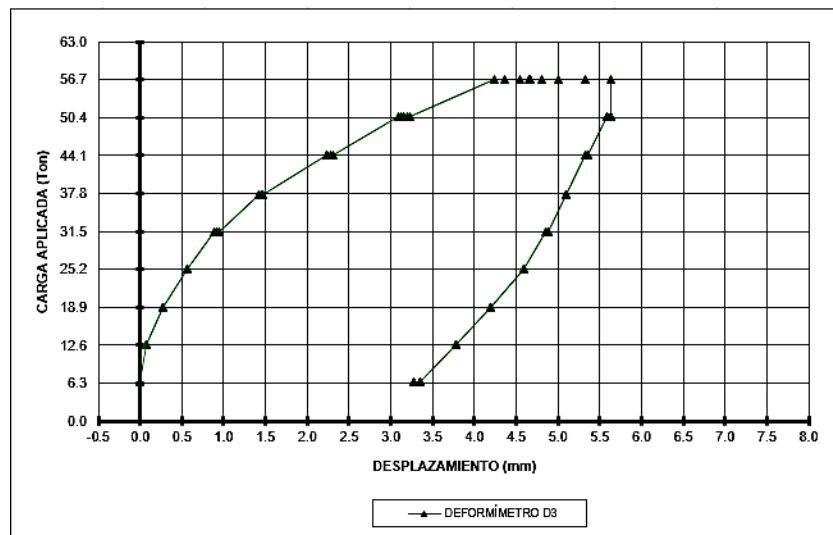


Grafico 6. Desplazamiento de la cabeza del micropilote flexometro F3.

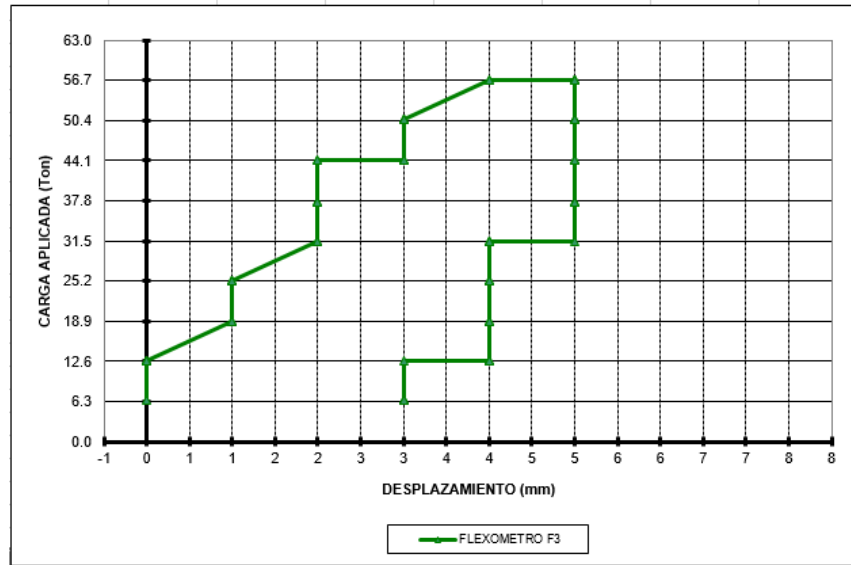


Grafico 7. Desplazamiento de la cabeza del micropilote, deformímetros D1, D2 y D3.

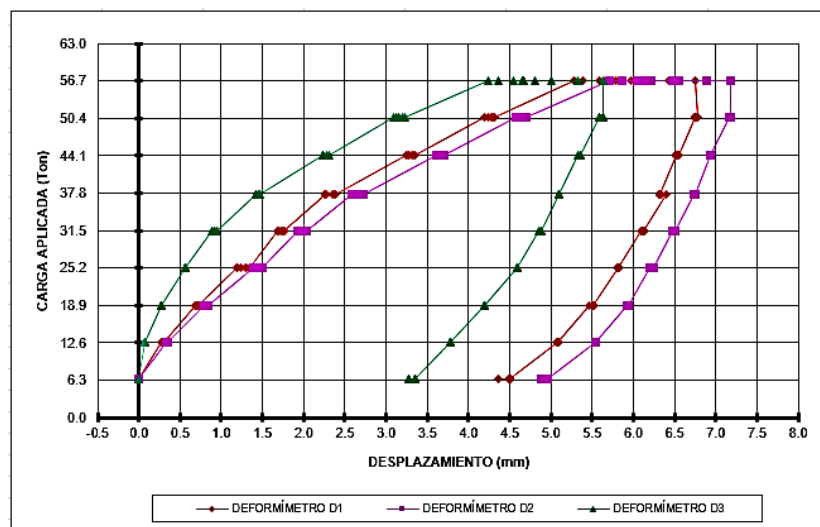


Grafico 8. Desplazamiento de la cabeza de micropilote flexómetros F1, F2 y F3.

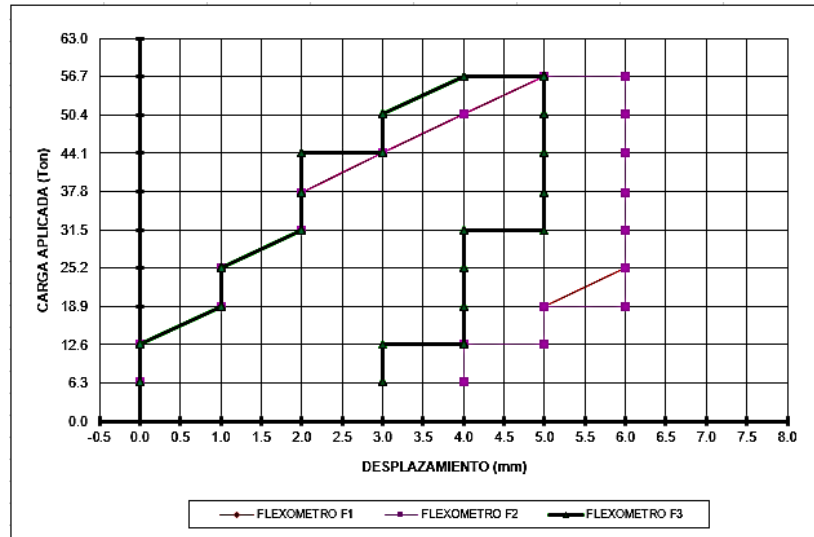


Grafico 9. Desplazamiento promedio la cabeza del micropilote, deformímetros D1, D2 y D3.

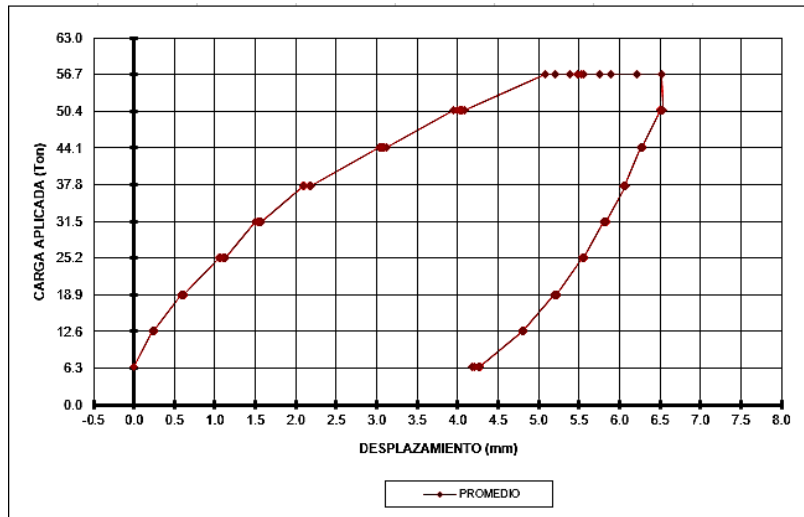


Grafico 10. Desplazamiento promedio la cabeza del micropilote, flexometro F1, F2 y F3.

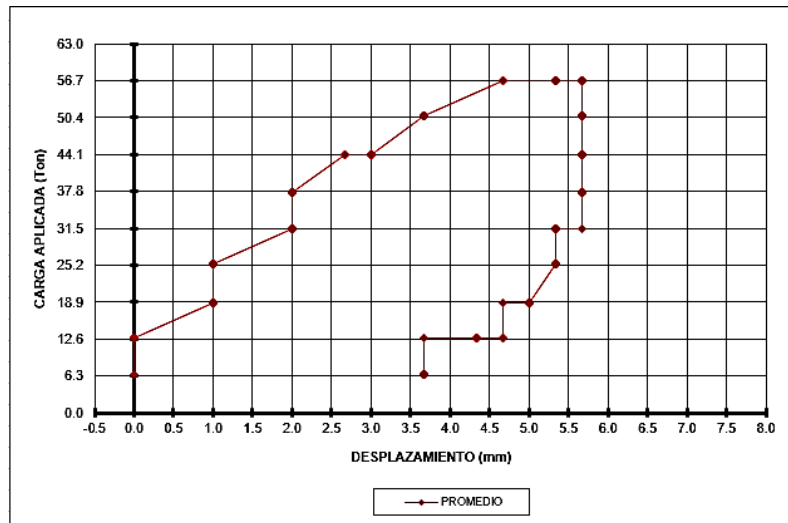


Grafico 11. Desplazamiento promedio la cabeza del micropilote deformímetros D1, D2 y D3.



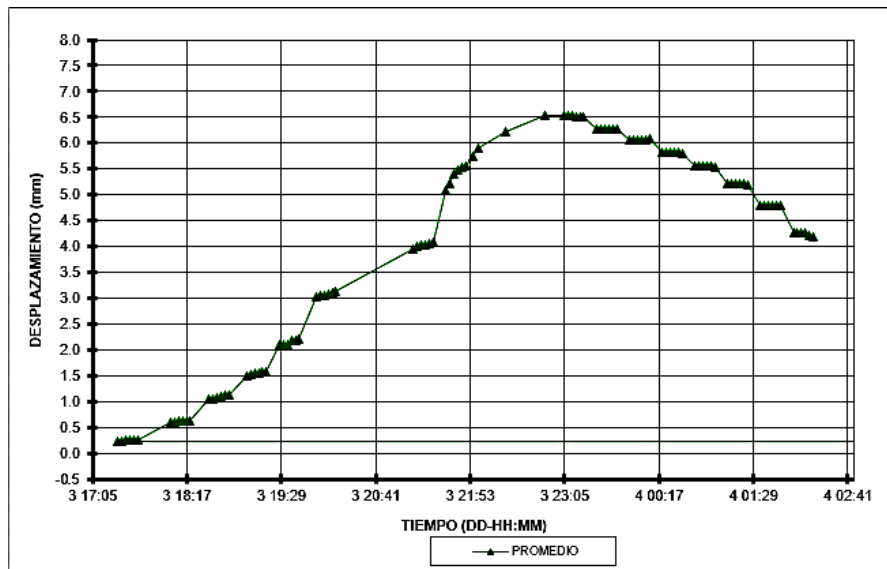


Figura 32. Instalación de gato y deformímetros con flexómetros para la prueba de micropilotes.



Figura 33. Prueba de cargas gradual.



## 11. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

Los métodos de diseño por lo general intentan definir una capacidad de carga admisible de los pilotes y micropilotes para soportar la estructura que se va a realizar, y para este proceso ya que no son métodos muy confiables se recomendó realizar pruebas de carga según la Norma ASTM 1143-81.

Ya que se obtuvieron unos resultados de acuerdo a estudios reales realizados, se puede decir que estos están dentro de los valores que obtuvo (Gouvenot, 1973), quien analizó resultados de ensayos de carga sobre estructuras de anclajes y micropilotes y obtuvo rangos de valores para la atención de fricción, en diferentes tipos de suelos.

A pesar de esto y para utilizar estos métodos de diseño se puede dirigir que una estructura soporte cargas de gran tamaño sobre micropilotes, ya que si bien son capaces de soportar no son completamente comparable los resultados de esfuerzo que pueden generar esas técnicas de diseño, como la estructura de un pilote Hincado con el tradicional tiene materiales superiores a las de los micropilotes además pueden llegar a ser capaces de soportar más carga.

Del método de cálculo de (Lizzi, 1985), el cual propuso una fórmula para calcular la capacidad de carga de los micropilotes y propone unos diámetros de acuerdo al tipo de suelos, no es tan profunda su propuesta ya que estos datos solo son supuestos de acuerdo a un estudio previo del terreno, cabe relacionar que los resultados que se obtuvieron en el diseño del micropilote fueron a partir de datos escogidos por el tipo de suelo el cual tiene un nivel freático alto y material que no es muy manejable para estructuras complejas de acuerdo al estrato de suelo.

Los materiales de los pilotes no son comparables con los utilizados en los micropilotes ya que estos son muy inferior y requieren de la iteración del suelo con este como es la mezcla de morero y agua.

Con el método de (Bustamante, 1985), quien considera estimar la capacidad de carga de un micropilote para poderlo diseñar, y relaciona ejecutar la primera inyección por gravedad como se muestra en el proceso seguido en obra, es el método que más se lleva a cabo en Bogotá y que sería el que se basa en la presión límite.

Se puede decir que de acuerdo a los métodos estudiados y para poder llevar a cabo una cimentación de cualquier edificación con micropilotes es necesario tener en cuenta los parámetros de diseño que dan los diferentes autores propietarios de sus métodos, los cuales están basados en pruebas experimentales que relacionan todas las variables, en el diseño realizado y a pesar de ser una manera común de

desarrollar se debe comparar con otros para así poder determinar la confiabilidad de los resultados obtenidos.

Los .20 m de diámetro propuesto aparentemente según el método y con relación a un pilote tradicional en este tipo de suelo se debe ajustar algo más para que este tenga más validez ya que con una longitud de 30,00 metros las probabilidades de que falle son en mayor cantidad.

La longitud que se obtuvo de acuerdo a las ecuaciones se presenta algo corta para lo que tiene que llegar a recibir el elemento en cuanto a cargas puntuales y al ser puestos, da la sensación que no es confiable los procesos, pero es de vital importancia la comprobación de estos procesos con casos que ya se hayan presentado.

Ya que la importancia del diseño de la mezcla de cemento y agua es fundamental al obtener el dato de los litros para la inyección no se evalúa cuanto cemento en kilogramos se debe ir por litro, ya que para los micropilotes inyectados solamente una poca fracción de presión de la inyección se transmite al terreno. Y para inyecciones realizadas en etapas el aumento en diámetro y la presión lateral es notablemente más alta según (Mascardi, 1982).

La mezcla de cemento y agua debe ser diseñada de modo que garantice los factores de seguridad que pide la norma para la ejecución de esta los resultados obtenidos no son los suficiente mente claros y los mismos autores aseguran los porcentajes agua cemento que se pueden obtener.

En el proceso de excavación ya en terreno, se obtuvo el resultado del mal implemento de la extracción de lodos este se realizado de forma que la los alrededores de donde se estaba ejecutando el micropilote estaba siendo contaminado y en ocasiones el mismo lodo acuoso se volvía a filtrar a la perforación según (González 2005), quien dice que se debe prever con antelación las técnicas necesarias para contrarrestar, la presión del agua y los posibles desmoronamientos de los taladros, tanto durante la propia perforación como durante la colocación de la armadura y la realización de la inyección, es aquí donde se encontró que en la ejecución de este sistema no se tiene en cuenta esta parte que resalta la forma adecuada de la ejecuciones la excavación del micropilote.

Como se resaltó en el párrafo anterior el desmoronamiento de la excavación del micropilote daña la continuidad de la sección de la lechada de cemento, se observó que durante la instalación de la armadura sucedió esto, en micropilotes no se realiza prueba de continuidad ya que por tener un diámetro tan pequeño y diámetros de acero mayores lo que sería más probable es que por el acero se valla la continuidad del pilote sin que esta prueba garantice la continuidad del elemento inyectado, en coso de no continuidad el micropilote fallaría en el fuste teniendo inclinaciones

verticales y realizando desplazamientos del terreno que pueden llegar a ocasionar la falladle la estructura.

En la mezcla de cementó se observó como este proceso se llevaba sin control, no se utilizaron los equipos necesarios para la regulación de este y así poder garantizar la resistencia promedio de la lechada de cemento, a pesar que se respetó la fluidez del elemento no se garantizó que los porcentajes agua / cemento se han los requeridos, según el diseño propuesto se debe de ir 75 kg de cemento por cada metro lineal y en los formatos de obra se observó que no se cumplió este porcentaje, al revisar y destapar lo pilotes para realizar la cimentación se desprendía la inyección que había sido realizada esto dio a que se tuvieron que recalzar los micropilotes y así poder realizar las vigas que marraban la fundación.

Al momento de instalar los micropilotes (su armadura), se vio que en la cabeza del pilote sobre salía más el acero constructivo, y se pudieron observar dos cosas.

1. Los traslapos necesarios para el amarre entre tramos de acero no eran los requeridos según la NRS-10 para varilla corrugada #8, se disminuyó al hacer esto la armadura quedo más expuesta en la cabeza.
2. Al introducir cada tramo de armadura de desmorono mucho el terreno dejando en la parte inferior de la punta gran cantidad de trozo de barro disminuyendo la longitud requerida de diseño.

A pesar de estas inconsistencias y observaciones quedaron realizados los micropilotes y se procedió al amarre de vigas de cimentación ya con los casos anteriormente expuestos.

Se realizaron pruebas de carga las cuales ayudaron a verificar los asentamientos y desplazamientos por la cabeza del pilote, este seguimiento se realizó con deformimetro y con flexometro.

En la gráfica número 1 se observa que al aplicar una carga sucesivamente en un intervalo de tiempo este va teniendo un desplazamiento y que al aplicar la carga de 12,6 ton este ya empieza a moverse, la carga máxima suministrada fue de 56,7 ton y su desplazamiento máximo se encontró en 6,75 mm, según (Oteo, 2001) en su grafico presente unas un desplazamiento máximo de 3,2 mm con una carga de 122 ton lo cual nos da entender que el pilote está fallando ya con Las cargas según lo expuesto. (Bustamante, 1986) muestra como los desplazamientos van hasta máximo 2,25 mm a lo largo del micropilote con la carga en la cabeza.

En la gráfica número 2 de los datos tomados con flexómetro se observa un desplazamiento de 6.00 mm con una carga de 56,7 ton quedando en el mismo rango y orden del cual se partió con el grafico 1.

En el deformimetro del grafico 3 se observa la misma situación que con el deformimetro 1y con el flexometro 1 no siendo consecuentes con lo que dan los diferentes autores investigados.

En el grafico 5 se observa que el desplazamiento a pesar de tener la misma carga este bajo y no fue tan pronunciado como el de la gráfica 1, 2,3 y 4 este proceso se debe a las distintas colocaciones y ubicaciones del mismo con respecto a la cabeza del pilote.

Al revisar los promedios se observa lo dio en los anteriores párrafos y que según (Oteo, 2001) no concuerdan con los resultados que se deberían de obtener al realizar este tipo de pruebas.

En el último gráfico con el intervalo de tiempo estimado de acuerdo al ir subiendo las cargas progresivamente se observa que entre las 17:05 y las 23:05 en seis horas se obtuvo la deformación total del elemento y el desplazamiento obteniendo los resultado de la última grafica que dan un desplazamiento máximo de 6.00mm.

En los resultados de la mezcla de cemento y agua se observó que la carga máxima fue de 57.5 kn y de 51.4kn respectivamente esta carga es baja para lo que se quiere obtener según los casos estudiados donde a la mezcla de cemento colocan una resistencia de mínimo 21 mpa casi igual a la del concreto, estos porcentajes tan bajos de desarrollo encontrados en estos resultados enviados por el laboratorio se dan puesto que los procesos no fueron los adecuados como se mencionó anteriormente, el seguimiento al proceso de una manera no adecuada conlleva a que la ejecución de la obra no sea la esperada, es de fundamental importancia realizar los seguimientos y hacer ensayos previos para así garantizar la efectividad de los materiales a instalar en el terreno.

Al hacer observación visual y de tacto se puedo ver que el cilindro de la lechada de cemento estaba frágil, y que solo con la fuerza de una persona se partió en dos pedazos concluyendo que la mezcla no se realizó con las dosificaciones requeridas según el diseño de obra como se observa en la (figura 33).

Figura 33. Cilindro de mezcla agua cemento.



## 12. CONCLUSIONES

1. Este método es muy utilizado en obras y proyectos ya sea de pequeña o gran magnitud, su versatilidad hace que sea de gran uso en áreas como cimentaciones de edificaciones, recalces y estabilización de terrenos.
2. La maquinaria utilizada es de fácil acceso a zonas que no puede llegar la maquinaria común de pilotes, y además estos producen unos efectos colaterales inferiores a los pilotes tradicionales.
3. Los micropilotes trabajan a través del fuste, ya que al y tener una sección transversal pequeña esta no establece casi trabajo al micropilote, un solo no es capaz de soportar la misma carga del pilote tradicional, como podemos verificar según la comprobación de la capacidad ultima para cada uno de estos, para garantizar que la estructura funcione es necesario construir como mínimo dos pilotes por cada uno para equilibrar las cargas como observamos en los resultados de diseño.
4. La mezcla de cemento del micropilote es de vital importancia ya que gracias a esta es que el micropilote trabaja y se adhiere con el terreno creando una iteración que ayuda a densificar el terreno.
5. A la hora de escoger el método de diseño e inyección se debe tener mucho cuidado ya que estos son gran importancia para el desarrollo del buen funcionamiento de la estructura.
6. Ya que estos son de una esbeltez considerable se debe tener en cuenta su longitud ya que por ser grande esta tiende a tener efectos de pandeo que pueden llegar a darse en algún momento.
7. Estos elementos ayudan a densificar los terrenos y aumenta la capacidad de carga de la cimentación.
8. El método de inyección repetitiva es el más usado, ya que este asegura disminuir los vacíos en la longitud del sistema.
9. Colocando la inyección a la presión adecuada esta puede ayudar a densificar y aumentar la capacidad portante del terreno en el que está construyendo.
10. Los métodos de diseño son viables siempre y cuando estos tengan fundamentos de lo que se quiere llegar a soportar, es necesario realizar un estudio profundo para poder realizar el método adecuado.
11. Las pruebas que se pueden realizar para determinar si estos están realizados de la manera adecuada son muy complejas y en su mayoría no hay un factor de comparación que pueda ayudar a dar un buen concepto de los resultados que se debían obtener.



12. Las fallas en los procesos constructivos permiten dejar mal ejecutado el micro pilote, esto da para que la estructura falle y no se tengan las garantías necesarias para la ejecución y terminación de la obra.
13. Los resultados esperados no fueron favorables, en las pruebas de carga ni en los de los cilindros de lechada de cemento, esto ocasiono que al realizar una prueba la estructura del micropilote se comprimiera como se muestra en los resultados de carga realizados.
14. Un solo micropilote no puede remplazar un pilote tradicional ya que estos no tienen el mismo material de inyección como es concreto y mezcla de agua cemento, el concreto tiene mejores propiedades de resistencia, la mezcla de cemento debe ser más riguroso en su preparación y se deben de usar los equipos necesarios para su dosificación, si esto no se realiza sucede lo que se observó en las muestras que se realizaron en el seguimiento del proceso.
15. El personal de obra para realizar este tipo de trabajos debe ser calificado, ya que se observó que la rotación de personal en la ejecución de la obra fue una de las fallas para que no se llevara el debido proceso.
16. Este tipo de cimentación se puede realizar siempre y cuando se sigan el proceso y diseños dados por los respectivos autores e investigadores, ya que no tienen norma en Colombia que avale de una forma real este tipo de pilotes.
17. El proceso diseño y construcción de micropilotes no es tan económico como se muestra en libros y textos consultados de acuerdo al seguimiento este supero el valor con respecto a los pilotes racionales.
18. Los parqueaderos delos diseños presentados tienen dos niveles y la funcionalidad del pilote Hincado era soportar cargas de 70 ton, los micropilotes según diseño no son capaces de soportar esta carga por cada uno que realice y el terreno por tener bastante nivel freático disminuye las posibilidades de funcionamiento, fue necesario aumentar el número para que estos funcionen en conjunto y puedan ayudar a soportar las cargar, con ayuda de iteración del suelo y la estructura que lo rodea.

### **13. RECOMENDACIONES.**

1. Se debe realizar los estudios previos de suelos, de acuerdo a los resultados el diseñador se encargara de dar los parámetros del micropilote como es, diámetro, tipo de varilla y longitud, esto con el fin de asegurar que sea la persona especializada en el área quien del respectivo diseño.
2. En la contratación se debe estudiar la empresa constructora, verificar que esta cumpla con los equipos necesarios y adecuados, como también el personal calificado para la ejecución y construcción de la cimentación.
3. Llevar formatos de control en la ejecución, realizar pruebas permanentes y estar en comunicación con el calculista si en dado caso se llegase a presentar algún tipo de resultados no esperados.
4. Después de terminado la estructura colocar puntos referenciales los cuales ayuden a llevar un control de asentamiento para así poder mirar el comportamiento del pilote ya con las cargas sobre él.
5. Realizar informes de la supervisión que se lleva, ya que esta ayuda a determinar las fallas en los procesos constructivos.
6. Si en determinado caso ya muy necesario utilizar este sistema, si no es así seguir con los pilotes tradicionales ya que estos dan mayor seguridad en el tipo de cimentaciones profundas.
7. Es de gran importancia tener en cuenta el nivel freático, ya que este puede afectar los materiales, la capacidad portante y la vida útil del pilote.
8. Realizar un manual de procesos antes del inicio de la ejecución del sistema ya que por no ser muy común este puede ayudar a resolver inquietudes a las personas que los están realizando.

## 14. BIBLIOGRAFIA.

- Armijo, G. (2003). "*Micropilotes con inyecciones de desplazamiento*". *Jornadas Tecnicas*. Madrid: CEDES.
- Bruce, D. A. (1995). *Introduction to Micropiles*. New York: ASCE.
- Bustamante, M. (1985). *Cimentaciones superficiales y profundas*. Madrid.
- Bustamante, M. (1986). *Un metodo para el calculo de anclajes y micropilotes inyectados*. Paris: CEDEX.
- Cordero, F. (2012). *Estudio de pilotes y micropilotes enfocados al diseño y solucion de problemas de estructuras viales*. Cuenca: Universidad de cuenca.
- d, G. (1975). *Essais de chargement et de flambement de pieux*. Paris: Annales de l'I.T.B.T.P, .
- Donald A, B. (1995). Una cartilla en micropilotes. En B. DONALD A, *Ingenieria Civil* (págs. 51-54). California: FHWA y Caltrans.
- Gonzalez, O. (2005). *Geotecnia Industrial*. Sevilla.
- Hernandez, J. (2002). *Cimentaciones profundas procedimientos de jecucion y calculo*. Granada: E.T.S de ingenieros de caminos.
- Leoni, A. J. (2009). *Apuntes sobre micropilotes inyectados*. La Plata: Universidad Nacional de La Plata.
- Lizzi, F. (1980). El uso de Pali Radice. "*L'industrie delle costruzioni*", 85-86.
- Lizzi, F. (1985). Montones de Raiz. En F. Lizzi, *Micropilotes* (pág. 84). Londres: THORBURN S. y HUTCHINSON J.F.
- Lizzi, Fernando. (1982). *Reticulated Root Piles to correct Landslides*. Chicago: ASCE Conf.
- Mascardi, C. (1982). "Micropali di elevate capacità portante. *Rivista italiana di geotecnica*, 4.
- Ministerio de ambiente, v. y. (2010). *Reglamento Colombiano de construccion sismo resistente*. Bogota: SIS.
- Oteo, C. (2001). *Diseño de pilotes de estraccion*. Madrid: CEDEX.
- Oteo, C. (2003). *Criterios para el diseño de micropilotes*. Madrid: CEDES.
- Rodrigues, J. A. (2004). Evaluación de las Propiedades Dinámicas de los Suelos de Bogotá Para Análisis de Respuesta Dinámica. *MSCE, PhD*, 3 y 4.
- Rodriguez Ortiz, J. (1984). *La Cimentacion*. Madrid: COAM.
- Romana, M. (2000). *Aountes sobre Micripilotes*. Madrid: No editada.

Sampieri, R. h. (1998). *Metodologi de la inestigacion*. Mexico D.F: Interamericana Editores.

Uriel A., O. L. (1990). *Cimentaciones por medio de micropilotes en zonas kársticas*. Rio de Janeiro: Cong. Internacional de Mecánica del Suelo y Cimentaciones de Río de Janeiro. Agosto.

Villamizar, M. F. (2006). *Plan de inspeccion para controlar la calidad de durante la ejecucion de obras de concreto*. Maracaibo: Universdad Rafael Urdaneta.

Norma tecnica Colombiana NTC. 1486 de 2008 para Formatos de texto, Tablas y Figuras.

Normas Apa actualizada 2013, Para citas Tacnicas.