

UNIVERSIDAD DE MEDELLÍN
FACULTAD DE INGENIERÍA



**VERIFICACIÓN DE CAPACIDAD DE CARGA PARA PILOTES HINCADOS EN
SUELOS BLANDOS**

WILLIAM FERNANDO HINCAPIÉ QUINTERO
EDWING ALEXANDER NIÑO MANRIQUE

MEDELLÍN

2014

CONTENIDO

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
2. JUSTIFICACIÓN	8
3. OBJETIVOS	9
3.1 Objetivo general	9
3.2 Objetivos específicos	9
4. MARCO TEÓRICO	10
4.1 Conceptos básicos de cimentación	10
4.2 Tipología de cimentación	11
4.3 Cimentaciones profundas y diseño	12
4.3.1 Capacidad de carga de pilotes y grupos de pilotes	13
4.3.2 Método Alfa.....	15
4.3.3 Método Beta	16
4.3.4 Capacidad de carga de carga admisible de un pilote.	16
4.3.5 Fricción negativa	17
4.3.6 Capacidad de carga de grupo de pilotes	18
4.4 Tipos cimentaciones profundas	18
4.4.1 Pilas	18
4.4.2 Pilotes	19
4.4.3 Pilotes de madera.....	20
4.4.4 Pilotes metálicos.....	21
4.4.5 Pilotes de perfil H.....	21

4.4.6 Pilotes tubulares.....	21
4.4.7 Pilotes tablestaca	22
4.4.8 Pilotes de concreto.....	22
4.4.9 Pilotes prefabricados en concreto e hincado	23
4.5 Proceso constructivo para pilotes hincados	25
4.6 Pruebas y verificación de capacidad de carga para pilotes.....	27
4.6.1 Fórmulas de hinca.....	27
4.6.2 Pruebas de carga	28
4.6.3 Pruebas estáticas	29
4.7 Ensayo penetración estándar SPT	34
5. MÉTODO ALTERNO PARA VERIFICACIÓN DE CAPACIDAD DE CARGA.....	41
5.1 Variables presentes en el proceso de hincado	41
6. PROYECTO SEDE LOS KUNAS UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA.....	43
6.1 Presentación del Proyecto Sede los Kunas.....	43
6.2 Estudio de suelos e informe de geotecnia.....	44
6.2.1 Exploración del subsuelo.....	45
6.2.2 Geomorfología de la zona.....	46
6.2.3 Análisis Geotécnico.....	48
7. PRUEBAS DINÁMICAS PDA Y RESULTADOS OBTENIDOS	51
7.1 Secuencia de las Pruebas	52
7.2 Detalles del Sistema de Hinca	54
7.3 Resultados y análisis.....	54
7.4 Discusión de resultados	55
7.5 Capacidad Portante	58

8. INFORMACIÓN Y METODOLOGÍA DE ANÁLISIS.....	61
8.1 Información	61
8.2 Metodología de análisis.....	62
8.3 Variables a cuantificar a partir de la hinca de pilotes.....	63
8.4 Grupos de estudio y criterios de selección	67
8.5 Curvas para verificación de capacidad de carga.....	69
9. EJEMPLO ILUSTRATIVO	76
9.1 Etapa de exploración, a partir de los sondeos (SPT) realizados en campo para estudios de suelos	76
9.2 Etapa de ejecución, hincado de pilotes.....	79
10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	81
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83
ANEXOS.....	85

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Formulas básicas de hincado de pilotes.....	27
Tabla 2. Propuestas para factor de corrección.....	37
Tabla 3. Valores típicos de ERR	38
Tabla 4. CE Típicos según la relación de energía dependiendo del tipo de martillo usado en la prueba SPT	39
Tabla 5. Correcciones de la prueba SPT	40
Tabla 6. Capacidades de carga para los tres casos evaluados	49
Tabla 7. Características de los pilotes octogonales de 0.40m de ancho para las pruebas PDA	52
Tabla 8. Números acumulados de golpes y energías/m ² acumulados para pilotes hincados. ...	66
Tabla 9. Grupos de análisis con sus respectivos SPT, PDA y pilotes asociados.....	68
Tabla 10. Tabla de N corregido acumulado vs Energía/m ² acumulada para SPT	71
Tabla 11. Resultados	78
Tabla 12. Resultados	78

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sistema de marco de reacción para pilotes de anclaje	30
Figura 2. Prueba de carga con anclajes enterrados	31
Figura 3. Animación general del proyecto	44
Figura 4. Planta de localización del proyecto.....	44
Figura 5. Planta localización perforaciones.....	46
Figura 6. Mapa geológico de Antioquia, Depósitos aluviales resientes en el municipio de Aparatadó y zonas aledañas.....	48
Figura 7. Grupos de análisis	69
Figura 8. “a” Curvas SPT corregida y PDA Energías acumulada vs Número de golpes acumulados	72
Figura 9. Línea de tendencias según grupos de análisis, Energía acumulada Kj/m2 vs Número acumulado de golpes	73
Figura 10. “b” Curvas Energía acumulada vs Número de golpes acumulados.....	74
Figura 11. b1” Curvas Energía acumulada vs longitud acumulada.....	74
Figura 12. “c” Curva Número de golpes acumulados vs capacidad de carga pilotes por pruebas PDA	75

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Colombia se ha venido generalizando la utilización de pilotes hincados como sistema de cimentación profunda, los cuales garantizan la adecuada transferencia de cargas de sollicitación de las edificaciones en suelos blandos, haciendo uso de la fricción que se genera entre el terreno y las caras del pilote.

La Norma Colombiana de Construcciones Sismo Resistentes (NSR-10), ha considerado aumentar los factores de diseño de las edificaciones, generando mayores volúmenes de concreto y acero que se traducen en mayores cargas transmitidas por la cimentación hacia el terreno. A la par, la NSR-10 determina los parámetros de diseño y de verificación de capacidad de carga mediante ensayos de carga apoyándose en las normas ASTM, específicamente en: ASTM D3689-7 Ensayo para pilotes individuales bajo carga axial, ASTM D4945-08 Ensayo para pilotes bajo altas deformaciones en cargas dinámicas y la norma ASTM D5882 Ensayo a bajas deformaciones para integridad de pilotes. Los anteriores ensayos no son propios de la norma Colombiana, la no reglamentación del proceso constructivo y de hincado para los pilotes, genera diferencias conceptuales, que pueden llevar a prácticas inadecuadas e ineficientes generando reproceso en su ejecución debido a que no se cuenta con una herramienta que permita estimar la capacidad de carga de los pilotes en tiempo real, la ausencia de ésta puede comprometer la integridad del pilote o generar mayores costos derivados del uso de factores de seguridad altos debido al grado de incertidumbre generado por la heterogeneidad del suelo.

Con base en lo anterior es pertinente pensar ¿Cuáles son las herramientas empleadas en campo que permitan hacer una valoración aproximada de la capacidad de carga de los pilotes hincados?

2. JUSTIFICACIÓN

La ausencia de métodos de chequeo que permitan tener un control aproximado de la capacidad de carga en campo, en tiempo real, que permita disminuir el grado de incertidumbre en las cimentaciones profundas en suelos blandos, da pie para proponer un método alternativo que ayude a comprobar las hipótesis de diseño (longitud de pilotes y capacidad de carga) y a su vez, validar los resultados obtenidos en campo con respecto a las pruebas de carga PDA.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Plantear un método alternativo que permita la verificación inmediata en campo de las condiciones iniciales de diseño (longitud de pilote y capacidad de carga).

3.2 Objetivos específicos

Recopilar la información existente relacionada con los procesos de hincado, rehincado y verificación de capacidad de carga para pilotes prefabricados en concreto, con el fin de establecer el estado del arte.

Definir las variables que afectan el procedimiento de hincado de pilotes y seleccionar las que soportan el método alternativo para la verificación de la capacidad de carga de pilotes hincados.

Procesar la información resultante del estudio de suelos, pruebas PDA, hincado y rehincado de los pilotes utilizados para el sistema de cimentación profunda en la sede Los Kunas de la Universidad de Antioquia, Seccional Apartadó, con el fin de detectar relaciones entre las variables que intervienen en el proceso de hincado de pilotes.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 Conceptos básicos de cimentación

La cimentación se entiende como el elemento constructivo primario, constituido por dos sub-componentes: el elemento estructural y el terreno.

El elemento estructural o cimiento tiene como función principal transmitir al terreno, los esfuerzos que las acciones directas o indirectas (cargas muertas de las edificaciones), permanentes o variables (cargas vivas), accidentales y/o fortuitas, que se ejercen sobre la estructura, originan en ella o en el propio cimiento.

El suelo circundante a los pilotes o la roca sobre el cual se desplantan, son los sub-componentes que han de soportar y dar respuesta a los esfuerzos que les transmite el cimiento durante toda la vida prevista para la construcción y posterior puesta en servicio. La capacidad portante, o de cálculo, del terreno será función de su carga de hundimiento afectada por un coeficiente de seguridad o de la carga límite que origina asentamientos iguales o menores que los admisibles para el tipo de edificación que se trate.

El cimiento, en conjunto, debe cumplir su función durante toda la vida prevista para la construcción (vida útil), con el grado de confiabilidad que las normas señalan, sin que las variaciones previsibles puedan ser causa de fenómenos patológicos en aquella.

Dichas alteraciones pueden afectar a cualquiera de los dos subcomponentes y provocar daños importantes en elementos constructivos y estructurales, que puedan alcanzar los estados límites de servicio, o el estado límite último, produciéndose una falla estructural que afecta su estabilidad.

En cualquier caso, hay que tener en cuenta las responsabilidades de tipo administrativo, civiles y penales a que puedan dar lugar estas afectaciones, las cuales son siempre susceptibles de mitigarse o eliminarse con un estudio de cimientos bien definido y una cimentación construida correctamente.

4.2 Tipología de cimentación

La clasificación general de los cimientos se realiza en función de la relación:

$$\frac{D_f}{B} = \frac{\text{Profundidad de desplante del cimiento}}{\text{Ancho del cimiento}} \quad (1)$$

$$\frac{D_f}{B} < 4 \quad \text{Cimentación superficial.} \quad (2)$$

$$4 \leq \frac{D_f}{B} \leq 10 \quad \text{Cimentación semiprofunda.} \quad (3)$$

$$\frac{D_f}{B} > 10 \quad \text{Cimentación profunda.} \quad (4)$$

4.3 Cimentaciones profundas y diseño

Los cimientos profundos son los que las cargas actuantes son trasladadas al terreno a través de uno o de varios estratos de gran espesor (transmisión por fuste) o a un estrato profundo que las resiste en su totalidad (transmisión de carga por punta).

Normalmente, un cimiento profundo se realiza a través de pilotes, aunque pueden emplearse sistemas alternativos como los que se citan a continuación.

Los sistemas constructivos para los cimientos profundos adoptan actualmente los siguientes tipos:

- Pilotes
- Caissons (pilas)
- Muros Pantalla
- Columnas de grava
- Columnas de suelo-cemento (“jet grouting”), son formadas con la inyección a presión

de mortero dentro del terreno mediante equipo mecánico.

La manera de soportar las cargas transmitidas por determinada estructura al subsuelo, recurriendo al uso de cimentaciones profundas, básicamente se desarrolla a partir de tres situaciones fundamentales:

- Trabajo por punta Q_p

Lo que se busca es transferir cargas generadas por determinada estructura, a través de estratos débiles o compresibles, a través de agua o aire, hasta estratos inferiores con suficiente capacidad de carga que garanticen soporte a la estructura.

$$Q_U = Q_P \quad (5)$$

Q_U = Capacidad de carga ultima.

Q_P = Trabajo por punta.

- Trabajo por Fuste Q_f (Fricción lateral).

A diferencia del trabajo por punta, lo que se pretende es repartir la carga sobre estratos relativamente sueltos a través de la fricción entre el pilote y el suelo, esta fricción se puede dar en suelos de grano grueso permeable y en suelos de grano fino de baja permeabilidad según Terzaghi.

$$Q_u = Q_f \quad (6)$$

Q_u = Capacidad de carga ultima.

Q_f = Trabajo por fuste o fricción.

- Trabajo combinado (Punta y Fuste).

$$Q_u = Q_f + Q_p \quad (7)$$

Q_u = Capacidad de carga ultima.

Q_f = Trabajo por fuste o fricción.

Q_p = Trabajo por punta.

4.3.1 Capacidad de carga de pilotes y grupos de pilotes

El primer paso para diseñar pilotes es calcular la capacidad de carga última de estos individualmente, una vez determinada la capacidad de carga última del pilote se procede a calcular la capacidad admisible de este.

Durante la etapa de diseño es importante tener presente que en ciertas condiciones del terreno, el suelo que rodea la parte superior del pilotes se puede asentar con relación al pilote, cambiando la dirección de las fuerzas de fricción en la superficie del pilote dando como resultado fricción negativa la cual trata de jalar el pilote hacia abajo, de modo que reduce su capacidad de carga.

4.3.1.1 Capacidad de carga última de un pilote en suelo cohesivo. La capacidad de carga última de un pilote está compuesta por la resistencia a la fricción y la resistencia en la punta.

Para los suelos de carácter cohesivo la resistencia por fuste (Fricción) es mucho mayor que la resistencia por punta.

Para este caso la resistencia por la fricción lateral en un pilote está dada por:

$$Q_f = \alpha \tau A_s \quad (8)$$

τ = Resistencia a esfuerzo cortante no drenada promedio a lo largo de los lados del pilote.

A_s = Superficie lateral empotrada del pilote.

α = Coeficiente de adherencia suelo pilote o factor de adhesión.

Para este caso la resistencia por punta en un pilote está dada por:

$$Q_p = N_c \tau A_b \quad (9)$$

τ = Resistencia a esfuerzo cortante inalterada en la base del pilote.

A_b = Área de la base del pilote.

N_c = Factor de capacidad de carga.

4.3.1.2 Capacidad de carga última de un pilote en suelo granular. En los suelos granulares la resistencia por punta es generalmente mayor que la resistencia por fuste.

Para este caso la resistencia por la fricción lateral en un pilote está dada por:

$$Q_f = \frac{1}{2} K_s \sigma_n \tan \varphi A_s \quad (10)$$

K_s = Coeficiente lateral de tierra (Relación de presión lateral a vertical en los lados del pilote.)

σ_n = Esfuerzo efectivo vertical a la profundidad z .

φ = Angulo de fricción entre el pilote y el suelo.

A_s = Superficie lateral empotrada del pilote.

Para este caso la resistencia punta en un pilote está dada por:

$$Q_p = \sigma_n * A_b \quad (11)$$

σ_n = Esfuerzo efectivo de sobrecarga en la base del pilote.

A_b = Área de la base del pilote.

4.3.2 Método Alfa

De acuerdo con éste, la resistencia unitaria superficial en suelos arcillosos se representa por la ecuación $f = \alpha c_u$, donde α es el factor empírico de adhesión (Instituto Nacional de Vías (INVIAS), 2012) (Hidalgo, 2014).

Para arcillas normalmente consolidadas con $c_u \leq$ aprox. 1 klb/pie² (50 kN/m²), $\alpha =$

1. Entonces:

$$Q_f = \sum \alpha C_{up} \Delta L \quad (12)$$

4.3.3 Método Beta

Cuando los pilotes se hincan en arcillas saturadas, la presión de poros en el suelo alrededor de los pilotes aumenta; este exceso de presión de poros en arcillas normalmente consolidadas es de 4 a 6 veces C_u . Sin embargo, en aproximadamente un mes, esta presión se disipa gradualmente (Hidalgo, 2014). Por consiguiente, la resistencia unitaria por fricción en el pilote se determina con base en los parámetros de esfuerzo efectivo de la arcilla en un estado remoldeado ($c=0$). Entonces, a cualquier profundidad:

$$f = \beta \sigma'_v, \quad \beta = K \tan \phi \quad (13)$$

4.3.4 Capacidad de carga de carga admisible de un pilote.

La capacidad admisible se obtiene dividiendo la carga última por un factor de seguridad.

Los Factores de seguridad se pueden aplicar a la capacidad de carga última o a las capacidades de carga por fuste (fricción) y por punta separadamente. La capacidad de carga admisible se toma como la menor de:

$$Q_{adm} = \frac{Q_u}{2,5} \quad (14)$$

$$Q_{adm} = \frac{Q_f}{1,5} + \frac{Q_p}{3} \quad (15)$$

Las anteriores ecuaciones para calcular la capacidad de carga admisible para un pilote solo presentan un rango aproximado de la capacidad de carga última. Excepto cuando se hincan pilotes hasta el rechazo, es usual realizar por lo menos un ensayo de carga en cada sitio.

Se pueden hincar pilotes de prueba y ensayarlos hasta la falla, en base a los resultados alcanzados, el ingeniero puede decidir la modificación de las longitudes requeridas.

4.3.5 Fricción negativa

El fenómeno de la fricción negativa puede presentarse en los siguientes casos:

- Cuando se hince un pilote a través de un estrato arcilla blanda de origen marino o de estuario y se llega a un estrato relativamente incompresible, el remoldeo que sufre el estrato blando puede desarrollar asentamientos que generan fricción negativa en el pilote.
- Cuando se hince un pilote a través de un estrato de arcilla blanda que llega a un estrato relativamente incompresible con sobrecarga en la superficie. Es decir una arcilla blanda que supra yace a una arcilla dura no tiene problemas pero en el caso que se tenga una sobrecarga en la superficie producirá un asentamiento que puede generar fricción negativa al pilote (El drenaje de aéreas pantanosas puede tener un efecto similar).
- Cuando se hincan pilotes a través de llenos recientes que llegan a estratos compresibles o relativamente incompresibles, la fricción negativa se generará por el proceso de consolidación del lleno, en llenos antiguos la fricción negativa tiende a cero.

Estimar con precisión la magnitud de la fricción negativa en un pilote es complejo. Sin embargo esta se puede calcular si se asume distribución de esfuerzos por fricción propuesta por (TOMILSON, 1987).

Cuando se calcula la longitud requerida del pilote, la fricción negativa debe restarse a la carga permisible.

4.3.6 Capacidad de carga de grupo de pilotes

La capacidad de asumir cargas verticales como un grupo de pilotes, se considera mejor que la capacidad individual de un pilote, para que los pilotes sean considerados como grupo de pilotes deben considerarse próximos, distanciados entre 2,5 y 3,5 veces su diámetro de manera que la intensidad de carga de cada pilote disminuye, a medida de que la distancia entre ellos decrece hasta la separación óptima “s” La eficiencia del grupo está definida por:

$$E_f = \frac{\text{Carga promedio en pilote en grupo de familia}}{\text{Carga de falla en pilote individual}} \quad (16)$$

4.4 Tipos cimentaciones profundas

4.4.1 Pilas

Las pilas son elementos de cimentación profunda con secciones mayores que la de los pilotes, las cuales también transmiten al subsuelo las cargas provenientes de una estructura y de la misma cimentación con el propósito de lograr la estabilidad del conjunto.

Las pilas se fabrican directamente en el subsuelo por lo que se les conoce como elementos fabricados in situ, las pilas pueden fabricarse prácticamente de cualquier material,

siendo los más utilizados la grava, la cal, el mortero y el concreto reforzado. Siendo las características de los estratos del subsuelo, así como las condiciones del agua subterránea, las que definirán el material que deberá emplearse para la fabricación de las pilas.

La sección con mayor frecuencia utilizada es la circular, cuyo diámetro no debe ser menor de 60 cm, también se diseñan pilas con forma de T y H.

4.4.2 Pilotes

Los pilotes se definen como elementos estructurales de gran longitud, de pequeña sección relativa y esbeltez ilimitada, ejecutado a través del terreno, al que transfiere los esfuerzos que actúan sobre él, mediante la interacción fuste-terreno, punta-terreno o por ambos procedimientos.

En el medio de la construcción existen diversos subsistemas constructivos de cimientos profundos, los más utilizados son el pilotaje y en casos especiales, el micropilotaje. El “jet-grouting” se presenta como una alternativa que cada vez gana más adeptos en su utilización.

Se denomina en el medio al “pilote” como todo elemento lineal de cimiento cuya longitud es igual o superior a ocho veces la dimensión menor de su sección.

Los pilotes hincados más antiguos se construían en madera y se tiene registro histórico de la utilización de estos desde el año 59 D.C (Poblado de palafitos).

Se opta por la utilización de pilotes en los siguientes casos:

- Cuando el estrato situado que subyace a la edificación no tiene la capacidad portante suficiente, el estrato portante se encuentra a una profundidad considerable y cuando los asentamientos predecibles son excesivos.

- Cuando se tienen estratos de suelos muy blandos, suelos permeables y presencia de niveles freáticos altos, debido a que se logra transmitir la carga a través de los estratos no aptos hasta una profundidad donde se garantice que este es capaz de resistir los esfuerzos que el pilote transmite por punta (trabajo por punta) o a través del fuste (trabajo por fricción)
- Cuando se construyen edificios altos o en aquellos proyectos donde existan cargas concentradas muy altas.

4.4.3 Pilotes de madera

Los pilotes de madera están formados por madera rolliza. Su diámetro varía de 8 a 15 cm y rara vez su longitud es superior a seis metros. La cabeza es protegida con un aro de chapa metálica que previene su daño y posterior rotura por la acción del golpe de mazo durante el hincado. Se utiliza un mazo de 100 a 200 N (excepcionalmente llega a 500 N) colgada de una cabria, normalmente formada por tres rollizos de madera. El mazo se deja caer libremente (usualmente su accionamiento es manual) sobre la cabeza del pilote desde una altura de 0.60 a 1 m.

Se usan como sistema de mejoramiento del terreno (disminución en la relación de vacíos), hincándolos muy próximos entre sí como apoyo de losas de cimentación, cimientos de canales de riego y en toda construcción de importancia baja.

Antes de fundir el concreto, las cabezas de los pilotes se protegen con una chapa de zinc, pintadas con pintura o plomo o también se envuelven con un tejido sobre el cual se vierte breá.

4.4.4 Pilotes metálicos

Los pilotes metálicos más empleados son los siguientes: de perfil H, tubulares y tablestacas en línea o unidas en forma de cajón.

4.4.5 Pilotes de perfil H.

Son de acero laminado. Las cabezas y el fuste tienen el mismo espesor. El espesor mínimo del acero es de 10 mm y el canto suele ser igual o mayor de 20 cm. La cabeza del pilote se remata con un macizo de concreto. Se colocan en obra por golpeo o vibración y en su dimensionamiento hay que tener en cuenta los riesgos de corrosión.

4.4.6 Pilotes tubulares

Los pilotes tubulares están formados por tubos estirados en frío sin soldadura o soldados. Resisten muy bien la flexión y a la vez son muy flexibles.

Se pueden hincar con la punta abierta o cerrada: Los pilotes abiertos pueden ser hincados a la profundidad requerida tras lo cual se extrae el terreno; a los pilotes cerrados se les coloca en la punta un azuche que puede ser cónico, plano o piramidal.

Habitualmente, los pilotes tubulares tienen un diámetro mínimo de 25 cm y un espesor de pared de 8 mm. Cuando tienen la punta abierta, pueden hincarse a mayor profundidad extrayendo el terreno a medida que avanza la hinca. Si al profundizar se alcanzan bloques de piedra u otros obstáculos, éstos se pueden demoler con explosivos.

4.4.7 Pilotes tablestaca

Los pilotes tablestaca son pilotes tubulares con sección en forma de cajón. Están compuestos por varias tablestacas soldadas longitudinalmente. Existe la posibilidad de rellenarlos con concreto, total o parcialmente.

4.4.8 Pilotes de concreto.

Existen varios tipos de pilotes de hormigón armado; con objeto de simplificar su estudio pueden clasificarse en cuatro grupos:

- Pilotes prefabricados: se realizan en instalaciones fijas, situadas normalmente fuera de la obra y se hincan mediante golpeo. También suelen prefabricarse en la propia obra; en este caso es normal que sean de longitud fija.

- Pilotes “in situ” con desplazamiento: se introduce una tubería mediante hinca y se rellena el hueco interior con concreto reforzado. Durante el proceso de hincado se produce desplazamiento del terreno. La tubería cuenta en su extremo con un azuche o un tapón de gravas. En el primer caso el azuche se pierde; en el segundo al llegar a la profundidad prevista, el golpe directo sobre el tapón de gravas permite formar un bulbo que queda completamente configurado al verter el concreto. En ambos casos, la tubería puede ser recuperable o resultar perdida.

- Pilotes “in situ” con extracción: en todos los sistemas de este tipo se produce el vaciado del terreno que ocupará el pilote sin que exista desplazamiento del mismo. La extracción del terreno puede llevarse a cabo mediante alguno de los siguientes procedimientos. Sin entubación perdida o recuperable (usando cucharas y trépanos) y sin entubación (utilizando lodos bentónicos que aseguren la estabilidad del hueco durante el proceso de

excavación). En éste último caso pueden utilizarse diferentes herramientas dependiendo de las características del terreno.

- Micropilotes: se trata de pilotes de pequeña sección, generalmente de forma circular, que tienen diámetros que en general varían entre 75 y 290 mm.

4.4.9 Pilotes prefabricados en concreto e hincado

Los pilotes prefabricados de concreto reforzado son normalmente de sección cuadrada de 30 a 50 cm de lado aunque, en ocasiones, también se fabrican hexagonales u octogonales.

Pueden ser fabricados en la propia obra o en plantas de prefabricación.

De acuerdo con las técnicas de funcionamiento y puesta en obra se clasifican en dos grupos:

- Pilotes de longitud fija.
- Pilotes de longitud variable.

Los pilotes fabricados en obra suelen ser de magnitud fija, sin posibilidad de empalme. Pueden recrecerse después de la hincada con dificultad y con la exigencia del correspondiente plazo de fraguado y endurecimiento del concreto. Los pilotes de longitud variable se fabrican en tramos empalmables cuyas juntas suelen ser objeto de patente; tienen secciones que varían entre 400 cm² y 1300 cm². (Valcarse., 2003).

Se utiliza concreto con resistencia característica igual o superior a 40 MPa. El recubrimiento de armaduras debe ser suficiente y controlado y deben utilizarse cementos especiales para resistir los agentes agresivos externos. Se suele admitir que en este tipo de pilotes, una vez hincados, el concreto trabaje a 12,5 MPa, mientras que en los pilotes pre

excavados se considera una resistencia de cálculo del orden de la tercera parte de la resistencia característica.

Las juntas de empalme, que se suelen disponer cada 12 m, tienen mayor resistencia que la sección típica del pilote. El hecho de disponer las juntas a tales intervalos, se debe fundamentalmente a que se hace posible el transporte de las piezas en camiones sin necesidad de obtener permisos especiales.

En el extremo inferior, los pilotes están dotados de un azuche plano o en punta cuando se trabaja en terrenos normales. Cuando se prevé que el pilote alcanzará un substrato rocoso se dispone de un azuche especial, conocido como “punta de Oslo”, de acero de alta resistencia. La hinca se completa cuando se alcanza la capa resistente prevista, o en los pilotes flotantes en función del rechazo definido.

En términos generales, en la actualidad, los aspectos en los que se están produciendo mayores avances son los siguientes (Valcarse., 2003):

- Empleo de materiales de alta resistencia: concreto de $f'c \geq 40$ Mpa y acero de $f_y=400$ Mpa-
- Mejoras en los procesos de fabricación y curado.
- Empleo de equipos automáticos de hinca, que permitan garantizar la altura de caída y la cadencia de la hinca, con aprovechamiento casi total de la energía.
- Empleo de equipos electrónicos analizadores del proceso, combinados con fórmulas dinámicas.

4.5 Proceso constructivo para pilotes hincados

La localización juega un papel importante, se sugiere que sea realizada mediante comisión topográfica, la cual tiene la función de ubicar los ejes exactos de los pilotes, con esto se asegura que la cimentación sea ubicada en el sitio indicado y que en el caso de hacer parte de un dado de cimentación o que sobre el pilote se genere una columna, las cargas transmitidas al pilote sean axiales, evitándose excentricidades que generan daños a la cara a tensión en los pilotes de concreto reforzado.

La operación de introducir el pilote en el terreno se llama hinca del pilote. En la construcción existen muchas operaciones que requieren un completo dominio del proceso, hasta el punto de señalarse que es un “arte” por tal motivo, su éxito depende de la habilidad e ingeniosidad de los que la realizan; sin embargo, no es un “arte” ajeno a la ciencia de la Ingeniería pues cada vez se observa más la presencia de la tecnología, aportando eficiencia en el proceso.

Aún más importante que el arte y la ingeniería mecánica envueltos en la construcción, resultan otros factores (propiedades mecánicas del suelo, disposición geométrica de los pilotes, proximidad entre pilotes, etc.) que aseguran el buen funcionamiento de los pilotes una vez han sido terminados. Por lo tanto, se necesita que el ingeniero que proyecta la cimentación deba finalmente intervenir en la construcción y que el ingeniero constructor intervenga más activamente en el proyecto dando sus sugerencias a partir de lo observado en obra. El método más antiguo y uno de los más ampliamente usados actualmente es por medio de una maza, siendo los más eficientes los de doble acción, pues ellos trabajan con cámaras herméticas que generan una acción contraria al rebote del mazo acelerándolo con la consecuente ganancia en

la transferencia de energía al pilote, a diferencia de las de acción simple que solo aprovechan la gravedad para acelerar el mazo.

La capacidad para guiar el pilote adecuadamente es la característica más importante de un equipo para la hinca de pilotes, desde el punto de vista del ingeniero. El equipo debe ser lo suficientemente fuerte y rígido para mantener el pilote y el martillo en su posición y con la inclinación fijada si así se hace necesario, sin importar las acciones del viento, las obstrucciones bajo el terreno (piedras) y el movimiento del martillo.

4.5.1 Comportamiento Del Pilote Durante La Hinca.

En suelos muy blandos, El pilote puede ser hincado fácilmente con los primeros golpes del martillo, alcanzando profundidades de varios metros; de hecho el pilote puede introducirse en el terreno bajo el peso del martillo solamente; En suelos duros, cada golpe del martillo produce una respuesta del pilote, como lo es la deformación del mismo, lo que ocasiona una pérdida de energía.

El golpe del martillo ocasiona un movimiento vertical de hincado en el pilote, el cual es rechazado inicialmente por el suelo y en parte por el pilote, mediante un pequeño rebote el cual representa una compresión elástica temporal del pilote. La penetración promedio para varios golpes se puede hallar de la resistencia a la hinca, que es el número de golpes necesarios para hincar el pilote una distancia determinada, generalmente es 20 o 30 cm.

El comportamiento dinámico del pilote se vuelve aún más complejo cuando el pilote es muy largo y la hinca difícil. En el momento del impacto la parte superior del pilote se mueve hacia abajo; la parte inmediatamente debajo se comprime elásticamente y la punta del pilote permanece momentáneamente fija. La zona de compresión se mueve rápidamente hacia abajo y alcanza la punta del pilote una fracción de segundo después de producirse el impacto. Como

resultado de esta onda de compresión, la totalidad del pilote no se mueve hacia abajo en un instante, sino que lo hace en segmentos más cortos.

4.6 Pruebas y verificación de capacidad de carga para pilotes

4.6.1 Fórmulas de hinca

Las fórmulas de hinca tratan de relacionar la capacidad portante de un pilote con su resistencia al hincado, es importante aclarar que estas no se deben utilizar para el diseño de pilotes pero si pueden servir como herramienta que permita al ingeniero responsable del proceso de hincado en campo verificar las hipótesis de diseño y a su vez poder comprender como se está comportando el terreno durante el hincado y poder detectar variaciones que no se consideraron en los diseños.

Dentro de las fórmulas de hincado la más utilizada es la propuesta por Engineering News Record Tabla 1 de US Navy (1982) la cual recomienda el empleo de fórmulas de hinca según el martillo a ser utilizado, estas fórmulas se utilizan como guía para estimar capacidades admisibles de los pilotes y como control de construcción cuando se complementan con ensayos de carga.

Tabla 1. Formulas básicas de hincado de pilotes (US Navy, 1982).

PARA MARTILLOS EN CAIDA LIBRE.	PARA MARTILLOS DE ACCIÓN SIMPLE.	PARA MARTILLOS DE DOBLE ACCIÓN DIFERENCIAL.
$(Q_v)_{ad}^c = \frac{2 W H}{S + 1}$	$(Q_v)_{ad}^{a,c} = \frac{2 W H}{S + 0,1}$	$(Q_v)_{ad}^a = \frac{2 E}{S + 0,1}$
	$(Q_v)_{ad}^{b,c} = \frac{2 W H}{S + 0,1 \frac{W_D}{W}}$	$(Q_v)_{ad}^b = \frac{2 E}{S + 0,1 \frac{W_D}{W}}$

a= Usar cuando los pesos hincados son menores que los pesos del martillo.

b= Usar cuando los pesos hincados son mayores que los pesos del martillo.

C= Formula de hincado de pilotes basada en la formula Engineering News.

$(Qv)_{ad}$ = Carga del pilote admisible en libras.

W= Peso del martillo en libras.

H= Altura efectiva de caída en pies.

E= energía real liberada por el martillo por golpe en Pie-Libra.

S= Promedio neto de penetración en pulgadas por golpe para las últimas 6 pulgadas del hincado.

W_D = Pesos hincados incluyendo el pilote.

La relación de los pesos $\frac{W_D}{W} < 3$

$$Qv_{ad} = \frac{2WH}{S+1} \quad (17)$$

4.6.2 Pruebas de carga

La manera más adecuada para estimar si un pilote es capaz de soportar la carga requerida es mediante la ejecución de un ensayo de carga estático o dinámico. A su vez este ensayo se puede emplear para medir las características de carga deformación del pilote.

Las pruebas de carga se realizan por las siguientes razones (VESIC, 1977):

- Verificar experimentalmente que la respuesta del pilote a la carga (Reflejada en la relación carga – asentamiento) corresponde a la respuesta sumida por el diseñador.

- Que la carga última del pilote no es menor que la carga última calculada que fue usada como base para el diseño de la cimentación.
- Obtener datos del suelo deformado y facilitar así el diseño de otro pilote.
- Determinar el comportamiento carga - asentamiento de un pilote.
- Para verificar el comportamiento estructural de pilote.

4.6.3 Pruebas estáticas

Los equipos para aplicar la carga a compresión pueden ser los de la norma ASTM-D-1143-81

"Pilotes bajo Carga Axial Estática de Compresión", u otros de tal forma que se garantice la aplicación de la carga en el eje central y longitudinal del pilote, el sistema debe contar con: Un gato hidráulico, bomba hidráulica y manómetros.

La Norma ASTM menciona los siguientes arreglos o dispositivos para aplicar la carga al pilote:

Carga aplicada al pilote o grupo de pilotes con gato hidráulico actuando frente a un marco de reacción anclado, se puede ejecutar de dos formas mediante el uso de pilotes de anclados o anclaje enterrado.

Pilote de anclaje: Se instala un número suficiente de pilotes de anclaje a cada lado de pilote de prueba de tal manera que garanticen una adecuada capacidad de reacción, estos se ubicaran a una distancia libre del pilote de prueba de la menos 5 veces el mayor diámetro del pilote de prueba, pero no menor de dos metros, sobre los pilotes se ancla una viga de prueba de sección y resistencia suficiente para impedir una deflexión excesiva, esta viga. Entre la parte inferior de la viga y la cabeza del pilote se debe dejarse una luz suficiente que garantice

la altura y espacio para colocar el gato hidráulico y dos planchas de acero de espesor mínimo de 2 pulgadas, el sistema trabaja como un puente de reacción.

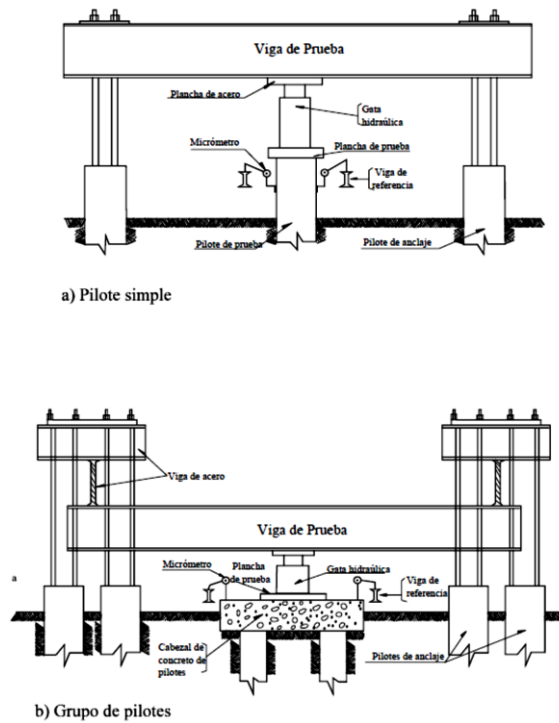


Figura 1. Sistema de marco de reacción para pilotes de anclaje (Das, 2001)

Anclaje enterrado: usualmente transfiere la reacción a estratos más duros debajo del nivel de la punta del pilote, pudiendo colocarse más cerca del pilote de prueba.

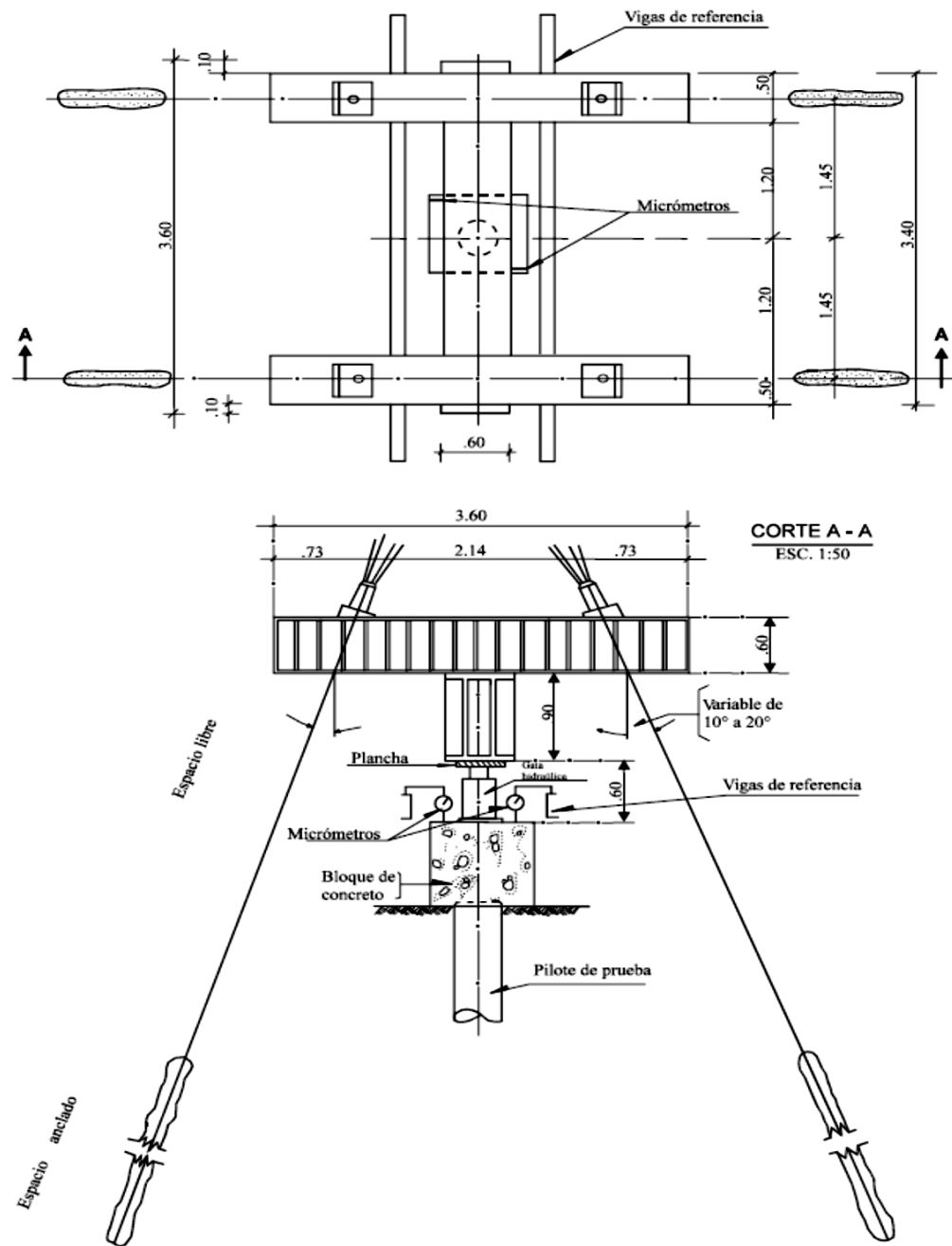


Figura 2. Prueba de carga con anclajes enterrados (Das, 2001)

4.6.4.1 Pruebas dinámicas (PDA). El ensayo Dinámico se basa en la teoría de la onda, que se propaga a través de un pilote en el instante que se aplica un golpe a este en su cabeza con una velocidad fija dependiente apenas del material que lo conforma. La ecuación de onda es una idealización más real de conjunto martillo, amortiguador, pilote y suelo (Lujan & Alva, 2003). En la década de 1960 se da inicio a la aplicación de esta teoría con los trabajos plateados por E. A. Smith (1960), más adelante con los adelantos tecnológicos las investigaciones empiezan a apuntar al desarrollo de las pruebas dinámicas para pilotes con altas deformaciones Pile Driving Analyzer (PDA) trabajos liderados y propuestos por el Prof George G. Globe, en la Universidad Case Western, EUA.

Con esta prueba se busca realizar mediciones de fuerza y velocidad durante la propagación de una onda de impacto que refleja información referente a: Capacidad de carga (Distribución por fricción y punta), esfuerzos de compresión y tensión, evaluación de la integridad y energía transmitida por el impacto a lo largo del pilote durante el proceso de hinca.

La Norma Colombiana para Construcciones Sismo Resistente NSR-2010 en su título C.15, C15.11 remite a la ASTM D4945-89 Ensayo Altas Deformaciones en Cargas Dinámicas. Básicamente la prueba consiste en dejar caer libremente una masa, cuyo peso está en función de la carga a movilizar y la geometría del pilote, para obtener mediante instrumentación electrónica (acelerómetros y deformímetros) la respuesta del sistema. Con modelos de interacción suelo/estructura es posible estimar parámetros como: Capacidad de carga, esfuerzos de compresión y tensión, evaluación de la integridad y energía transmitida por el impacto a lo largo del pilote durante el proceso de hinca.

Para realizar las pruebas de carga se requiere el uso del martillo hincador, una grúa de izaje con las cuales se pueda manipular una masa colgada para accionarla en caída libre sobre

el pilote, se realiza directamente el golpe sobre la cabeza del pilote, con el martillo hincador o la masa manipulada por la grúa, solamente se requiere colocar tablas de madera (del orden de 5 cm de espesor sobre el pilote) para amortiguar el golpe. Es necesario tener acceso a más o menos 1.0 m libre del pilote cerca de la cabeza del mismo, para la colocación de los sensores (acelerómetros y deformímetros), se debe contar con acceso de forma segura a la cabeza del pilote a ensayar.

Los sensores son instalados antes de dar inicio al hincado, el martillo o masa se debe colocar sobre el pilote y enseguida se aplican algunos pocos golpes, una vez es posible controlar la altura de caída del martillo se inicia el hincado del pilote aumentando gradualmente la energía aplicada, hasta que se verifique la movilización de toda la resistencia en el suelo, o cuando el software indique tensiones que pongan en riesgo la integridad del material del pilote.

La movilización de la resistencia total del suelo en el pilote o lo que se conoce como carga última generalmente se caracteriza cuando la resistencia deja de aumentar (o muchas veces disminuye) con el aumento de la altura de caída o cuando se alcanza desplazamientos totales irreversibles en la cabeza del pilote mayores del diámetro/ (60-120) en centímetros. Por lo que durante cada uno de los ensayos, debe existir una comisión topográfica que mida el desplazamiento de la cabeza del pilote una vez realizada la prueba. El martillo o masa que se debe utilizar para la prueba debe tener un peso igual entre el 2% y el 3% de la carga diseño del pilote, indicada por el diseñador. Se debe tener claro hasta que carga se quiere movilizar el pilote durante la prueba, para saber que masa (peso) utilizar (Lujan & Alva, 2003).

- Procedimiento en campo. Inicialmente se colocan dos sensores de deformación y dos acelerómetros en el fuste del pilote, cerca de la cabeza aproximadamente dos veces su diámetro, o en una localización conveniente, si los ensayos son durante la rehinca. Los sensores se conectan por cable con el analizador electrónico de hinca, situado a una distancia segura del pilote, habitualmente no mayor que 25 m. Para la colocación adecuada de los sensores se debe tener presente:

- Antes de izar el pilote tubular, se hace necesario hacer los orificios para la colocación de los sensores.
- Posteriormente se colocarán los sensores en los orificios.
- Se requiere tener suficiente cable que conectan a los sensores, con el capturador de señales (método CASE, ecuación general de onda).
- Una vez colocados los sensores se procederá a realizar el procedimiento normal de construcción (de hinca del pilote).
- Por último se recopilan y procesan los datos obtenidos en el PDA y se estima las variables concernientes a: Capacidad de carga (Distribución por fricción y punta), esfuerzos de compresión y tensión, evaluación de la integridad y energía transmitida por el impacto a lo largo del pilote durante el proceso de hinca (se utiliza software que permita estimar dichas variables, CAPWAP).

4.7 Ensayo penetración estándar SPT

Los primeros registros de la prueba de Penetración Estándar SPT, se remontan a inicios de la década de 1920 con los trabajos del Coronel Chares R. Gow. A finales de los años veinte

e inicio de los treinta, el procedimiento fue estandarizado por Harry Mohr para finalmente ser ajustado en 1947 por Karl Terzaghi.

El ensayo de penetración estándar consiste en hincar a percusión un tubo de dimensiones normalizadas. El tubo es de pared gruesa partido longitudinalmente, provisto en sus extremos de dos piezas roscadas; la pieza inferior es una zapata afilada de acero endurecido y la superior es la cabeza que sirve para unir el muestreador con la columna de barras huecas de acero que se utilizan para hincarlo hasta el fondo de la perforación. El tubo muestreador estándar tiene una longitud de 60 cm, diámetro interior de 3.5 cm y diámetro exterior de 5.0 cm; la longitud total del muestreador es de 75 cm.

Para hincar el tubo muestreador se usa una masa de acero de 64 kg, con guía de caída libre de 75 cm y barras de perforación. La masa golpeadora se levanta con un malacate de fricción y se deja caer hasta que golpea la barra de perforación, a la par se cuenta el número de golpes para hincar cada tramo de 15 cm hasta completar 45 cm. Se define como resistencia a la penetración estándar, al número de golpes N necesarios para hincar el muestreador los dos últimos tramos de 15 cm. Cuando debido a la dureza del suelo no se puede penetrar los 45 cm, se define N por extrapolación.

Después del hincado se saca el muestreador a la superficie para recuperar la muestra alterada, que se coloca en un recipiente hermético, y se registra la información del hincado y clasificación del suelo. Con la interpretación de los resultados obtenidos de esta prueba se pueden definir:

- La estratigrafía del sitio.
- La compacidad relativa de suelos granulares y la consistencia de suelos cohesivos mediante correlaciones.

- Se obtienen muestras alteradas para su uso en laboratorio.

Los factores que afectan el valor de N están relacionados con las condiciones del equipo usado en la prueba, el procedimiento de montaje y operación. A continuación se discuten algunas correcciones que toman en cuenta la influencia de diversos agentes externos a la prueba para uniformizar resultados SPT en términos de N .

Factor de corrección por esfuerzo efectivo (C_N). Al aumentar la profundidad de la prueba SPT se presenta un incremento de la presión del suelo sobre el tubo muestreador, por lo que a mayor profundidad se incrementa la energía potencial (mayor número de golpes) necesaria para efectuar la prueba SPT.

El factor de corrección C_N normaliza los valores de N medidos en el campo debido al incremento de esfuerzos efectivos con la profundidad. Este factor afecta directamente a N y crece de forma inversa a la profundidad de la prueba:

$$N_1 = C_N N \quad (18)$$

Dónde:

N_1 : Número de golpes normalizado por esfuerzo vertical efectivo.

C_N : Factor de corrección por esfuerzo vertical efectivo.

N : Datos de campo de la prueba SPT.

Tabla 2. Propuestas para factor de corrección C_N (Das, 2001)

AUTOR	Factor de corrección C_N	UNIDADES DE σ'_v
Teng (1962)	$C_N = \frac{50}{10 + \sigma'_v}$	psi
Bazaraa (1967)	$C_N = \begin{cases} \frac{4}{1 + 2\sigma'_v} & \sigma'_v \leq 5 \\ \frac{4}{3.25 + 0.5\sigma'_v} & \sigma'_v > 1.5 \end{cases}$	Ksf
Peck, Hansen, and Thornburn (1974)	$C_N = 0.77 \log_{10} \frac{20}{\sigma'_v}$	tsf
Seed (1976)	$C_N = 1 - 1.25 \log_{10} \sigma'_v$	tsf
Tokimatso and Yoshimi (1983)	$C_N = \frac{1.7}{0.7 + \sigma'_v}$	kg/cm ²
Liao and Whitman (1986)	$C_N = \sqrt{\frac{1}{\sigma'_v}}$	tsf o kg/cm ²

Factor de corrección por eficiencia (C_E). Este factor se relaciona con la energía que imprime el martillo en caída libre al tubo muestreador estándar durante la ejecución de la prueba de penetración estándar, la cual se disipa principalmente por la presencia de fricción en los mecanismos de movimiento (poleas, engranajes, etc.) y excentricidad en la caída del martillo.

El factor C_E pretende normalizar los valores N medidos en el campo considerando la razón de energía entregada por el martillo al tubo muestreador respecto a la energía teórica.

La energía potencial teórica de la prueba SPT está dada por:

$$E_{Teórica} = W h \quad (19)$$

$$E_{Teórica} = 64\text{kg} * 75\text{cm} = 4800\text{kg-cm}$$

La energía aplicada a la prueba difiere para diferentes partes del mundo, variando entre 40% y 90% de la energía teórica (Schmertmann 1976).

$$E_R = \frac{E_{Real}}{E_{Teórica}} \quad (20)$$

E_R Es la razón de energía entregada por el martillo al tubo muestreador estándar.

Como aplicación (especialmente a la evaluación del potencial de licuefacción de suelos)

la razón E_R se normaliza para un valor del 60%, propuesto por Seed et al (1984).

$$N_{60} = \frac{E_{Rr}}{60} \quad (21)$$

E_{Rr} Es la razón E_R normalizada para el 60%.

El valor E_{Rr} se puede obtener mediante calibraciones (ASTM D4633) o asumiendo un valor típico para cada región según el tipo de equipo utilizado.

Tabla 3. Valores típicos de E_{Rr} (Skempton, 1986)

PAÍS	TIPO DE MARTILLO	MECANISMO ELEVADOR	ER _r (%)	C _E = ER _r (%)/60
USA	De seguridad Cilíndrico	2 giros de la sog a en el torno	55	0.92
			45	0.75
Japón	Automático Cilíndrico	2 giros de la sog a en el torno	78-85	1.30-1.42
			65-67	1.08-1.12
China	Automático Cilíndrico	Transportador o relevador Manual	60	1.00
			55	0.92
UK	Automático	Transportador o relevador	73	1.22

Para y algunos países latinoamericanos es frecuente el uso del martillo de seguridad; desafortunadamente no se cuentan con mediciones de su eficiencia. Es común determinar el factor C_E en función del tipo de martillo usado en la prueba SPT.

Tabla 4. C_E Típicos según la relación de energía dependiendo del tipo de martillo usado en la prueba SPT (Youd e Idriss, 1997)

TIPO DE MARTILLO	FACTOR DE CORRECCIÓN C_E
Martillo cilíndrico	0.5-1.0
Martillo de seguridad	0.7-1.2
Martillo automático cilíndrico	0.8-1.3

Factores de corrección adicionales: Un aumento en el diámetro de perforación disminuye el confinamiento in situ y aunque en arcillas, debido a la cohesión, no se generan cambios apreciables en la obtención de N y se puede omitir el efecto, en arenas se pueden obtener valores relativamente bajos.

El peso y la rigidez del sistema de varillaje generan efectos en la obtención del valor N . Al aumentar la longitud de este sistema, la razón de la energía entregada al muestreador estándar respecto a la energía teórica aumenta con la profundidad.

Un muestreador estándar con guías requiere aumentar el número de impactos en aproximadamente 20% respecto al muestreador estándar sin guías, aumentando en arenas densas.

Variabes como el diámetro de perforación en la prueba, la longitud del varillaje y el tipo de muestreador son factores que afectan la medición de N en la prueba SPT

Tabla 5. Correcciones de la prueba SPT (Skempton, 1986)

FACTOR DE CORRECCIÓN	VARIABLE DEL EQUIPO	CORRECCIÓN
Diámetro de perforación C_B	65 – 115 mm	1.00
	150 mm	1.05
	200 mm	1.15
Longitud del varillaje C_R	3 - 4 m	0.75
	4 - 6 m	0.85
	6 - 10 m	0.95
	10 - 30 m	1.0
	> 30 m	<1.0
Tipo de muestreador C_S	Muestreador estándar	1.0
	Muestreador sin guías	1.1 – 1.3

Finalmente el valor normalizado de la penetración estándar será resultado de multiplicar el valor N obtenido en el campo por los factores de corrección correspondientes:

$$N_{160} = C_N C_E C_B C_S C_R N \quad (22)$$

5. MÉTODO ALTERNO PARA VERIFICACIÓN DE CAPACIDAD DE CARGA.

5.1 Variables presentes en el proceso de hincado

En el proceso de hincado de pilotes, se presentan diversas variables que afectan la capacidad de carga de estos, entre las que se destacan:

- El suelo en su calidad de material heterogéneo es la más importante, dada la variabilidad de la configuración de estratos que los componen, características como humedad, nivel freático, cohesión, esfuerzo cortante, ángulo de fricción, límites de Atterberg, presión de poros, peso específico, entre otros.

- La geometría del pilote de concreto, se presentan de diversas formas en planta (circulares, hexagonales y cuadrados), de la selección adecuada de la geometría en planta se puede decir que se generaran esfuerzos mejor distribuidos en el perímetro del mismo, en cuanto a la longitud del pilote se afirma que la capacidad de carga, es directamente proporcional a la longitud hincada del pilote.

- La proximidad entre pilotes, este caso se presenta cuando se construyen grupos de cimentación que incluyen dos o más pilotes hincados, se observa que luego del primer pilote hincado el suelo circundante presenta mayor rechazo a los siguientes pilotes, como consecuencia de la disminución en la relación de vacíos del suelo, aclarando que existe una separación mínima obligatoria donde se asegura que en el proceso de hincado no se induzca en el suelo fallas cortantes.

- La resistencia a compresión del concreto reforzado de los pilotes.
- El número de golpes por m (metro) de empotramiento durante la hinca.

- El esfuerzo máximo a compresión en la cabeza del pilote durante la hinca.
- El esfuerzo máximo a compresión en la punta del pilote durante la hinca.
- La energía transmitida al pilote durante la hinca del pilote (peso del martillo, altura de caída o stroke, sistema de aprovechamiento de energía (equipo)).
- El ángulo de inclinación de hincado del pilote.
- El transporte e Izado del pilote, un mal procedimiento ocasiona fallas dentro de la masa de concreto, ocasionando la disminución de la capacidad de carga.

6. PROYECTO SEDE LOS KUNAS UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA.

6.1 Presentación del Proyecto Sede los Kunas.

El proyecto Sede Los Kunas de la Universidad de Antioquia, ubicado en el municipio de Apartadó (Región Urabá Antioqueño), hace parte del proyecto de regionalización que adelanta la Universidad, con el fin de dar servicio a 2000 estudiantes aproximadamente.

En la época que se desarrolló el estudio se estaba construyendo la etapa de cimentación. El proyecto se está desarrollando en 4.8 ha, en donde se otorgan 13183,34 m² para vías públicas, quedando un área neta de 34816,66 m².

Dentro del área neta del proyecto se construirán 3 bloques de aulas (12 x 54 m), éstos contarán con 12 aulas de pregrado y 3 para posgrados, un bloque de laboratorios (12 x 54 m) con capacidad para 3 laboratorios de ciencias básicas, un bloque administrativo, cafetería, bloque técnico, bloque de artes (12 x 54m), con salas de música, danza y teatro, Auditorio con capacidad para 230 personas, bloque de informática (12 x 54 m) para 5 salas de cómputo, placa polideportiva con piscina y una planta de tratamiento de residuos.

El proyecto se construirá en dos etapas, la primera corresponde a la adecuación del lote, explanación, excavaciones, llenos y cimentación (hincado de pilotes) y dos bloques de aulas y bloque de laboratorios, posteriormente una segunda etapa en la que se pretende terminar el proyecto en su totalidad.



Figura 3. Animación general del proyecto (Universidad de Antioquia, 2013)

6.2 Estudio de suelos e informe de geotecnia

La Sede Académico-Administrativa del municipio de Apartadó está localizada a la entrada suroccidental de Apartadó, Departamento de Antioquia, al margen derecho sobre la vía a Carepa y en el cruce con la vía que conduce al Churidó.

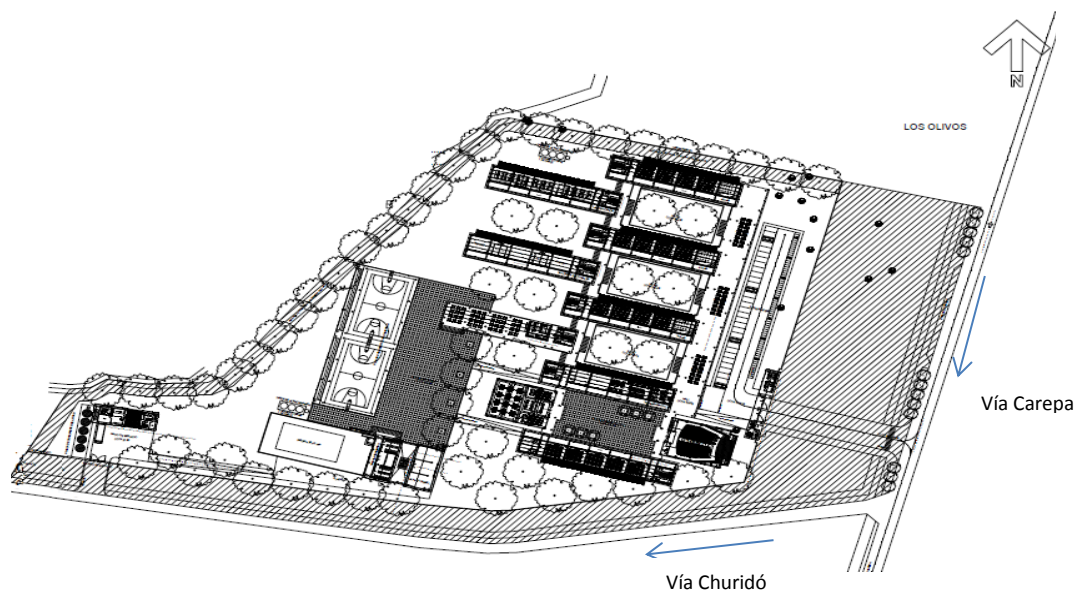


Figura 4. Planta de localización del proyecto (Universidad de Antioquia, 2013)

6.2.1 Exploración del subsuelo

Se tuvo acceso a la información generada en los estudios geotécnicos realizados para este proyecto. Durante la exploración del subsuelo se realizaron las siguientes actividades por parte de la empresa Labsuelos Ltda:

- Se realizaron sondeos SPT (Ensayo de Penetración Estándar) con toma de muestras para observación directa de las características del subsuelo y ensayos de laboratorio. Inicialmente, se realizaron seis (6) perforaciones hasta una profundidad de 6 metros y posteriormente se realizaron otras seis (6) perforaciones hasta profundidades que oscilan entre 15 y 20 metros. Las segundas perforaciones se hicieron necesarias para identificar, a mayor profundidad y con mayor detalle, el tipo de suelo que soportaría las edificaciones.

- Las perforaciones se adelantaron con ensayos de penetración estándar y se tomaron muestras tipo cuchara cada dos metros aproximadamente para hacer identificación de suelos. Se tomaron adicionalmente 18 muestras tipo “Shelby”.

- Las muestras obtenidas en la exploración de campo se describieron visualmente y se sometieron a ensayos de granulometría, límites de Atterberg, humedad natural, gravedad específica y pesos unitarios. Se hicieron tres ensayos de corte directo (uno no drenado, uno consolidado no drenado y uno consolidado drenado) y dos de consolidación.

- Se determinó el nivel freático en todos los sondeos y se encontraron a una profundidad de 1.5 m aproximadamente.

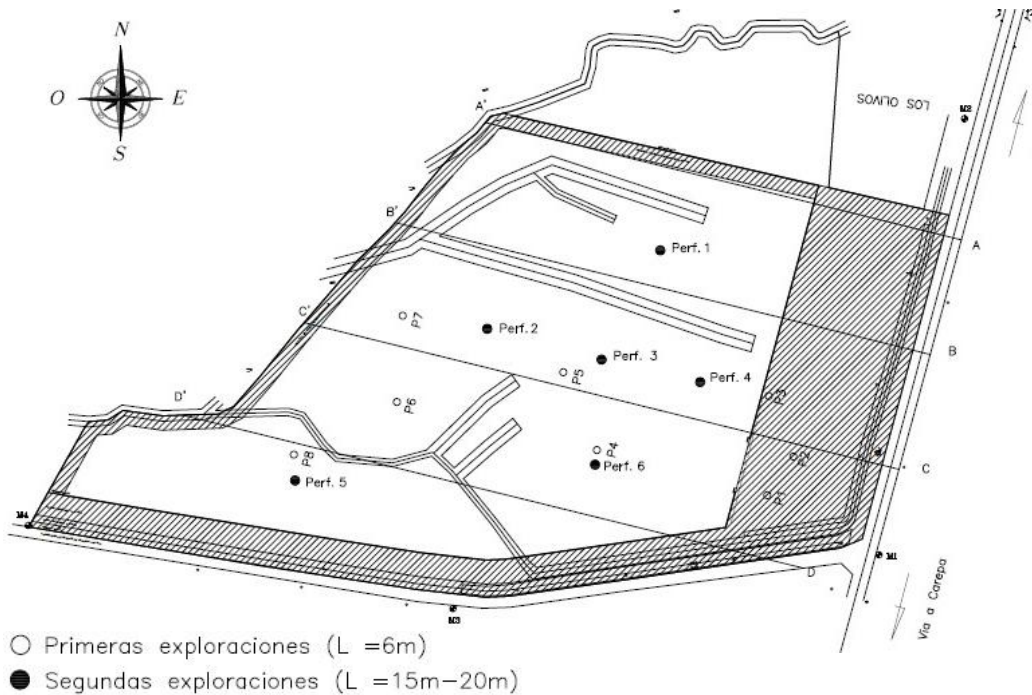


Figura 5. Planta localización perforaciones (Universidad de Antioquia, 2013)

6.2.2 Geomorfología de la zona

Thomas et al. (2007) describen: "El área del golfo de Urabá está enmarcado dentro de una región inestable o geosinclinal con tres elementos estructurales principales: el cinturón del Sinú, un fragmento del bloque Chocó y el Arco de Dabeiba". La geomorfología del área donde se ubica el lote ha sido cartografiada como un abanico, es una zona plana, con diferencias de 3 m entre las zonas más alta y más baja. Su geología corresponde a depósitos aluviales recientes (Ingeominas, 2001); allí, han sido reportados depósitos aluviales no consolidados, compuestos por grava, arena y limo con coluvios y derrubios. El depósito en el área a construir es altamente heterogéneo y no presenta una estructura estratificada definida. Al suroccidente del municipio de Apartadó (zona del lote a construir) la unidad geológica predominante corresponde a una unidad de sedimentos marinos y transicionales mezclado con

conglomerado, areniscas, arcillolitas y calizas (edad Eoceno Superior a Plioceno), por lo cual se asume, que parte de los clastos que componen los depósitos aluviales del lote provienen de esta unidad, pues corresponden a la litología que drenan los ríos que llegan a esta zona. La figura 6 presenta el mapa geológico de Antioquia y la localización general del proyecto. Según la clasificación de los suelos encontrados, se trata fundamentalmente de arcillas de baja compresibilidad (CL), con límites plásticos cercanos al 20%, índices plásticos por encima de la línea A, en la carta de plasticidad de Casagrande, y contenidos de agua por encima de los límites líquidos, lo que indica que corresponden a suelos normalmente consolidados. Adicionalmente, las arenas existentes que se encuentran saturadas, tienen un valor de penetración bajo, indicando un grado alto de susceptibilidad a licuación.

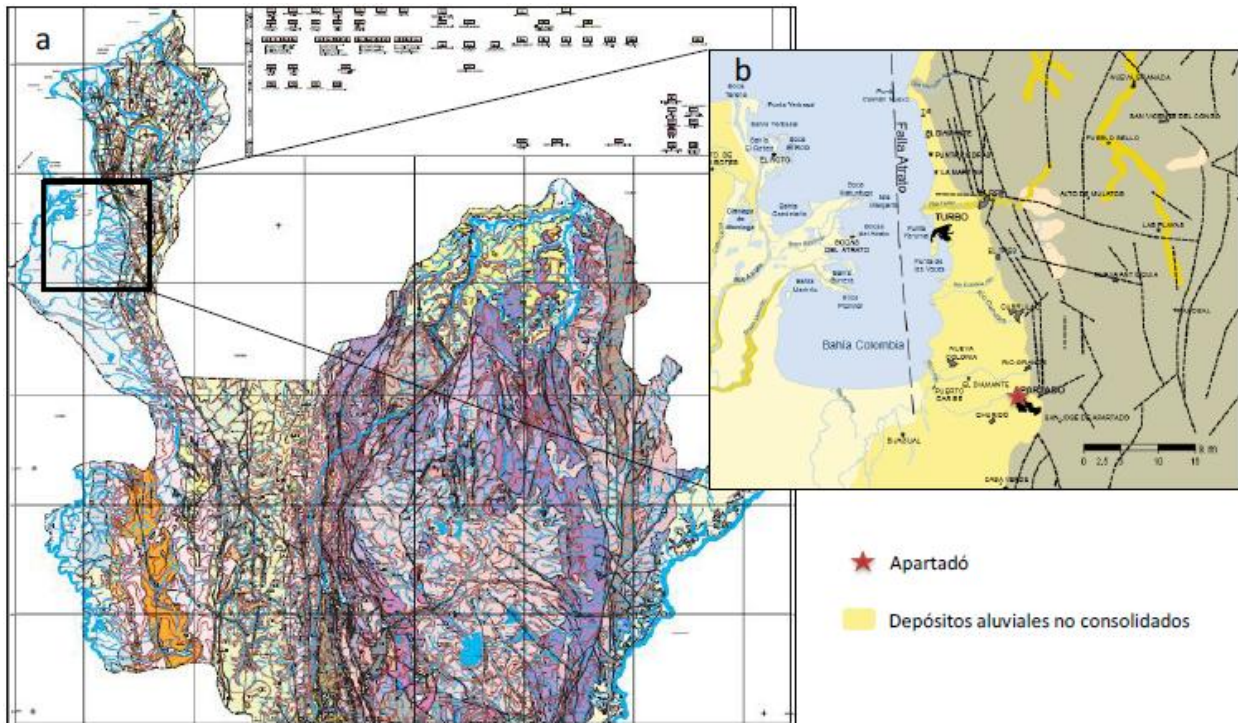


Figura 6. Mapa geológico de Antioquia (Ingeominas, 2001), Depósitos aluviales resientes en el municipio de Aparatadó y zonas aledañas (Thomas, 2007)

6.2.3 Análisis Geotécnico

Los perfiles de suelos y ensayos de laboratorio muestran un material de baja resistencia y alta compresibilidad, con mezclas de suelos arenosos. El ensayo SPT se realizó con un trípode de perforación y aunque, de acuerdo a los resultados se detectó un estrato duro a profundidades entre 15 y 20 metros. De acuerdo al tipo de suelo y a las recomendaciones de los Ingenieros Geotécnicos responsables del diseño, se planteó como la opción de cimentación más conveniente el empleo de pilotes prefabricados e hincados a percusión. Para determinar la capacidad del pilote a utilizar se analizaron tres casos, así:

- Caso 1: Se analizó un suelo homogéneo, arcilloso blando en condiciones no drenadas (Método Alfa). Se tuvo en cuenta el aporte por fuste y de la punta.
- Caso 2: Se analizó un suelo granular, arenoso en condiciones drenadas (Método Beta). Se tuvo en cuenta el aporte sólo por fuste.
- Caso 3: Se analizó un suelo granular, arenoso en condiciones drenadas, sin incluir los primeros 5 metros y considerando el aporte por fuste y punta. La decisión de no considerar los primeros 5 metros se hace para tener en cuenta unas condiciones de potencial licuación que llevarían a que el aporte por fricción de la parte superior del pilote fuera nulo.

Basados en los tres casos anteriores y teniendo en cuenta diámetros de pilotes de 0.30, 0.35 y 0.40 m y longitud de 16 m, se obtuvieron las siguientes capacidades de carga:

Tabla 6. Capacidades de carga para los tres casos evaluados (Universidad de Antioquia Facultad de ingeniería, 2013)

Diámetro (m)	Caso 1 (kN)	Caso 2 (kN)	Caso 3 (kN)
0.30	220	150	160
0.35	260	180	200
0.40	290	200	250

Recomendaciones de diseño. Con base en los resultados de la exploración del suelo y de los cálculos realizados los Ingenieros Geotécnicos responsables del diseño de cimentación, realizaron las siguientes recomendaciones:

Utilizar pilotes de 0,4 metros de diámetro con una capacidad de carga de 200 kN en condiciones estáticas. Los pilotes se deben distribuir bajo los dados de cimentación, los cuales

se encargarán de transmitir las cargas de las columnas hacia los pilotes. En el caso de que sean necesarios varios pilotes para una columna, se deben colocar a una separación mínima entre centros de 3 veces el diámetro del pilote. Adicionalmente, la capacidad de carga anotada en la Tabla 6 (Capacidades individuales de carga para pilotes de 16 m), debe reducirse hasta un 80% cuando los pilotes son colocados en grupo.

Hacer pruebas de carga de pilotes en campo, tal como lo recomienda la NSR-10, en su título H (H-4-7-3). Esta prueba de carga se haría después de haber ejecutado los llenos y antes del proceso de construcción de las estructuras. Las pruebas de carga a pilotes deberán ser localizadas cercanas a los sondeos exploratorios para así disponer de un modelo certero de las características del perfil de suelos, y eventualmente ajustar las capacidades de carga recomendadas.

Debido a que los suelos que componen el sitio de la construcción corresponden a suelos entre arcillas y arenas, es de esperarse que la permeabilidad sea relativamente baja, por lo tanto la capacidad obtenida en el momento de la hincada de los pilotes y a corto plazo es más baja que la calculada, debido al incremento de presiones de poros que reducen la resistencia al corte. Sólo después de un proceso de consolidación, que puede tomar más de 3 meses, se logra la capacidad calculada.

7. PRUEBAS DINÁMICAS PDA Y RESULTADOS OBTENIDOS

En este reporte se presentan los resultados de las pruebas de carga dinámica realizadas el 17 de Septiembre del año 2013, para ocho pilotes de prueba hincados con las características que se muestran en la Tabla N°7. Las pruebas fueron realizadas por la firma JEOPROBE con el apoyo de la firma GRL Inc., en California, USA.

El objetivo principal de estas pruebas es el de monitorear la hinca o rehinca del elemento para establecer la carga última del pilote. Sin embargo, en dicho monitoreo, se revisaron también los esfuerzos de compresión y tensión para que no sobrepasaran los valores máximos permisibles durante la hinca o rehinca, se establecieron los valores de la energía máxima transferida del martillo y se evaluó la integridad de cada pilote ensayado. Estos objetivos se lograron por medio del analizador de pilotes PDA modelo PAX. Mientras que para la obtención de carga última de los elementos fue necesario utilizar adicionalmente el programa CAPWAP.

Las medidas dinámicas de deformación y aceleración, fueron tomadas por debajo de la cabeza de cada pilote. Dos deformímetros y dos acelerómetros piezoeléctricos fueron colocados en lados opuestos a una distancia de 0.9m desde la cabeza del pilote, para registrar aceleraciones y deformaciones y así obtener resultados de capacidad de carga axial promedios en el pilote. Las señales fueron condicionadas y convertidas a velocidad y fuerza respectivamente, y almacenadas digitalmente por el PDA- Modelo PAX para su posterior proceso. Los resultados de campo obtenidos en el equipo PDA son la base de los análisis que se presentan en este trabajo de grado.

Tabla 7. Características de los pilotes octogonales de 0.40m de ancho para las pruebas PDA

Pilote No	Longitud (m)	Fecha de Fabricación	Fecha de Hinca	Cota del terreno al momento de la hinca
PRUEBA 1	14	23/01/2013	07/09/2013	26.88
PRUEBA 2	16	20/09/2012	07/09/2013	27.84
PRUEBA 3	16	20/09/2012	08/09/2013	27.98
PRUEBA 4	14	24/01/2012	08/09/2013	27.58
PRUEBA 5	14	23/01/2013	10/09/2013	27.36
PRUEBA 6	14	23/01/2013	17/09/2013	28.22
PRUEBA 7	16	20/09/2012	17/09/2013	27.00
PRUEBA 8	16	10/09/2012	17/09/2013	28.09

7.1 Secuencia de las Pruebas

Se ensayaron en total ocho (8) pilotes de los cuales en cinco (5) fue monitoreada la rehinca del elemento y en los tres (3) restantes fue monitoreada parte de la hinca del elemento. Sin embargo debido a las condiciones del terreno y de los elementos, cada pilote tuvo una longitud de monitoreo distinta:

Pilote Prueba 1: Este pilote fue hincado el día 07/09/2013 hasta una profundidad de empotramiento en el terreno de 12m. 10 días después, el día 17/09/2013, se rehincó el pilote monitoreando una longitud de 1m desde un empotramiento de 12m hasta los 13m medidos desde el nivel del terreno al momento de realizar la prueba. Una vez retirados los sensores de medición, el pilote siguió hincándose hasta que la punta del elemento alcanzó una profundidad de 13.2m.

Pilote Prueba 2: Este pilote fue hincado el día 07/09/2013 hasta una profundidad de empotramiento en el terreno de 14.4m. 10 días después, el día 17/09/2013, se rehincó el pilote monitoreando una longitud de 1m desde un empotramiento de 14.4m hasta los 15.4m medidos

desde el nivel del terreno al momento de realizar la prueba. Una vez retirados los sensores de medición, el pilote siguió hincándose hasta que la punta del elemento alcanzó una profundidad de 16.4m.

Pilote Prueba 3: Este pilote fue hincado el día 08/09/2013 hasta una profundidad de empotramiento en el terreno de 14.6m. 9 días después, el día 17/09/2013, se rehincó el pilote monitoreando una longitud de 1m desde un empotramiento de 14.6m hasta los 15.6m medidos desde el nivel del terreno al momento de realizar la prueba. Una vez retirados los sensores de medición, el pilote siguió hincándose hasta que la punta del elemento alcanzó una profundidad de 16.4m.

Pilote Prueba 4: Este pilote fue hincado el día 08/09/2013 hasta una profundidad de empotramiento en el terreno de 12.6m. 9 días después, el día 17/09/2013, se rehincó el pilote monitoreando una longitud de 0.6m desde un empotramiento de 12.6m hasta los 13.2m medidos desde el nivel del terreno al momento de realizar la prueba. Una vez retirados los sensores de medición, el pilote siguió hincándose hasta que la punta del elemento alcanzó una profundidad de 13.8m.

Pilote Prueba 5: Este pilote fue hincado el día 10/09/2013 hasta una profundidad de empotramiento en el terreno de 13.2m. 7 días después, el día 17/09/2013, se rehincó el pilote monitoreando una longitud de 0.4m desde un empotramiento de 13.2m hasta los 13.6m medidos desde el nivel del terreno al momento de realizar la prueba. Una vez retirados los sensores de medición, el pilote siguió hincándose hasta que la punta del elemento alcanzó una profundidad de 14m.

Pilote Prueba 6: Este pilote fue hincado el 17/09/2013 hasta una profundidad de empotramiento de la punta, respecto al nivel del terreno, de 14.6m. La longitud monitoreada

de hinca fue de 6m desde un empotramiento de 7m hasta los 13m medidos desde el nivel del terreno al momento de realizar la prueba.

Pilote Prueba 7: Este pilote fue hincado el 17/09/2013 hasta una profundidad de empotramiento de la punta, respecto al nivel del terreno, de 15.2m. La longitud monitoreada de hinca fue de 3.6m desde un empotramiento de 11.6m hasta los 15.2m medidos desde el nivel del terreno al momento de realizar la prueba.

Pilote Prueba 8: Este pilote fue hincado el 17/09/2013 hasta una profundidad de empotramiento de la punta, respecto al nivel del terreno, de 16.4m. La longitud monitoreada de hinca fue de 2.8m desde un empotramiento de 12.2m hasta los 15.0m medidos desde el nivel del terreno al momento de realizar la prueba.

7.2 Detalles del Sistema de Hinca

Las pruebas de carga dinámica fueron realizadas con el martillo Junttan HHK 5. De acuerdo con la literatura del fabricante, este modelo de martillo tiene un peso de 5 Ton y una energía máxima de 6 Ton-m

7.3 Resultados y análisis

El PDA interpreta los datos de las pruebas dinámicas durante el registro de hinca/rehinca de los pilotes de acuerdo con las ecuaciones del método Case, por lo que define: El comportamiento del sistema martillo/pilote en el momento de hincado, mide los esfuerzos máximos en el momento de la hinca, determina daños y la ubicación de los mismos y estima la carga última rápidamente en campo.

7.4 Discusión de resultados

Como resultado del estudio realizado por la firma JEOPROBE, se concluyó lo siguiente:

Esfuerzos e Integridad del Pilote

- Pilote Prueba 1: Los esfuerzos máximos a compresión del pilote (CSX) medidos por el PDA alcanzaron valores máximos de 11 MPa durante la rehinca monitoreada del pilote. Mientras que los valores de esfuerzos a compresión en la punta del pilote (CSB) alcanzaron valores máximos de 8 MPa. Ambos esfuerzos se encuentran por debajo de los 30 MPa recomendados por la AASHTO (85% del f'_c). Durante la rehinca del pilote los esfuerzos máximos a tensión (TSX) medidos fueron menores a 1 MPa, valor inferior menor al admisible recomendado. Durante el monitoreo no se evidenció algún daño estructural a lo largo del pilote.

- Pilote Prueba 2: Los esfuerzos máximos a compresión del pilote (CSX) medidos por el PDA alcanzaron valores máximos de 11 MPa durante la rehinca monitoreada del pilote. Mientras que los valores de esfuerzos a compresión en la punta del pilote (CSB) alcanzaron valores máximos de 7 MPa. Ambos esfuerzos se encuentran por debajo de los 30 MPa recomendados por la AASHTO (85% del f'_c). Durante la rehinca del pilote los esfuerzos máximos a tensión (TSX) medidos fueron menores a 1 MPa, valor inferior menor al admisible recomendado. Durante el monitoreo no se evidenció algún daño estructural a lo largo del pilote.

- Pilote Prueba 3: Los esfuerzos máximos a compresión del pilote (CSX) medidos por el PDA alcanzaron valores máximos de 13 MPa durante la rehinca monitoreada del pilote.

Mientras que los valores de esfuerzos a compresión en la punta del pilote (CSB) alcanzaron valores máximos de 11 MPa. Ambos esfuerzos se encuentran por debajo de los 30 MPa recomendados por la AASHTO (85% del $f'c$). Durante la rehinca del pilote los esfuerzos máximos a tensión (TSX) medidos fueron menores a 1 MPa, valor inferior menor al admisible recomendado. Durante el monitoreo no se evidenció algún daño estructural a lo largo del pilote.

- Pilote Prueba 4: Los esfuerzos máximos a compresión del pilote (CSX) medidos por el PDA alcanzaron valores máximos de 13 MPa durante la rehinca monitoreada del pilote. Mientras que los valores de esfuerzos a compresión en la punta del pilote (CSB) alcanzaron valores máximos de 9 MPa. Ambos esfuerzos se encuentran por debajo de los 30 MPa recomendados por la AASHTO (85% del $f'c$). Durante la rehinca del pilote los esfuerzos máximos a tensión (TSX) medidos fueron menores a 1 MPa, valor inferior menor al admisible recomendado. Durante el monitoreo no se evidenció algún daño estructural a lo largo del pilote.

- Pilote Prueba 5: Los esfuerzos máximos a compresión del pilote (CSX) medidos por el PDA alcanzaron valores máximos de 15 MPa durante la rehinca monitoreada del pilote. Mientras que los valores de esfuerzos a compresión en la punta del pilote (CSB) alcanzaron valores máximos de 10 MPa. Ambos esfuerzos se encuentran por debajo de los 30 MPa recomendados por la AASHTO (85% del $f'c$). Durante la rehinca del pilote los esfuerzos máximos a tensión (TSX) medidos fueron menores a 1 MPa, valor inferior menor al admisible recomendado. Durante el monitoreo no se evidenció algún daño estructural a lo largo del pilote.

- Pilote Prueba 6: Los esfuerzos máximos a compresión del pilote (CSX) medidos por el PDA alcanzaron valores máximos de 9 MPa durante la hinca monitoreada del pilote. Mientras que los valores de esfuerzos a compresión en la punta del pilote (CSB) alcanzaron valores máximos de 5 MPa. Ambos esfuerzos se encuentran por debajo de los 30 MPa recomendados por la AASHTO (85% del f'_c). Durante la hinca del pilote los esfuerzos máximos a tensión (TSX) medidos fueron menores a 1 MPa, valor inferior menor al admisible recomendado. Durante el monitoreo no se evidenció algún daño estructural a lo largo del pilote.

- Pilote Prueba 7: Los esfuerzos máximos a compresión del pilote (CSX) medidos por el PDA alcanzaron valores máximos de 11 MPa durante la hinca monitoreada del pilote. Mientras que los valores de esfuerzos a compresión en la punta del pilote (CSB) alcanzaron valores máximos de 10 MPa. Ambos esfuerzos se encuentran por debajo de los 30 MPa recomendados por la AASHTO (85% del f'_c). Durante la hinca del pilote los esfuerzos máximos a tensión (TSX) medidos fueron menores a 1 MPa, valor inferior menor al admisible recomendado. Durante el monitoreo no se evidenció algún daño estructural a lo largo del pilote.

- Pilote Prueba 8: Los esfuerzos máximos a compresión del pilote (CSX) medidos por el PDA alcanzaron valores máximos de 28 MPa durante la hinca monitoreada del pilote. Mientras que los valores de esfuerzos a compresión en la punta del pilote (CSB) alcanzaron valores máximos de 29 MPa. Ambos esfuerzos se encuentran por debajo de los 30 MPa recomendados por la AASHTO (85% del f'_c). Durante la hinca del pilote los esfuerzos máximos a tensión (TSX) medidos fueron menores a 2 MPa, valor inferior menor al admisible

recomendado. Durante el monitoreo no se evidenció algún daño estructural a lo largo del pilote.

7.5 Capacidad Portante

Una vez obtenida la información en campo por el PDA-W se analizan en el programa CAPWAP TM. Dicho análisis indica la resistencia total del suelo (R_u), y la divide en la carga de fricción a lo largo del pilote (R_s) y la carga en la punta del pilote (R_b).

Debido a los desplazamientos obtenidos durante el monitoreo de la hinca y rehinca y a las señales recolectadas, la capacidad última de los elementos sí fue alcanzada. Los resultados resumidos se presentan a continuación y en la Tabla 3, mientras que los resultados completos se adjuntan en el Anexo B.

Es importante aclarar que el golpe tomado para el cálculo de la capacidad portante en el software CAPWAP está en función de si el pilote se está hincando o rehincando, ya que para las hincas se toman usualmente los últimos golpes (End Of Initial Driving), mientras que para las rehincas se toman los primeros golpes (Beginning of Restrike).

- Prueba 1: La carga total movilizada (carga última) en el pilote, para un empotramiento (desde la superficie del terreno al momento de realizar la prueba) de 12m, es de 65 toneladas: 28 toneladas registradas por fricción a lo largo del fuste del pilote y las restantes 37 toneladas en la punta.

- Prueba 2: La carga total movilizada (carga última) en el pilote, para un empotramiento (desde la superficie del terreno al momento de realizar la prueba) de 14.5m, es

de 53 toneladas: 27 toneladas registradas por fricción a lo largo del fuste del pilote y las restantes 26 toneladas en la punta.

- Prueba 3: La carga total movilizada (carga última) en el pilote, para un empotramiento (desde la superficie del terreno al momento de realizar la prueba) de 14.6m, es de 72 toneladas: 42 toneladas registradas por fricción a lo largo del fuste del pilote y las restantes 30 toneladas en la punta.

- Prueba 4: La carga total movilizada (carga última) en el pilote, para un empotramiento (desde la superficie del terreno al momento de realizar la prueba) de 12.6m, es de 82 toneladas: 41 toneladas registradas por fricción a lo largo del fuste del pilote y las restantes 41 toneladas en la punta.

- Prueba 5: La carga total movilizada (carga última) en el pilote, para un empotramiento (desde la superficie del terreno al momento de realizar la prueba) de 13.2m, es de 60 toneladas: 36 toneladas registradas por fricción a lo largo del fuste del pilote y las restantes 24 toneladas en la punta.

- Prueba 6: La carga total movilizada (carga última) en el pilote, para un empotramiento (desde la superficie del terreno al momento de realizar la prueba) de 13.0m, es de 20 toneladas: 9 toneladas registradas por fricción a lo largo del fuste del pilote y las restantes 11 toneladas en la punta.

- Prueba 7: La carga total movilizada (carga última) en el pilote, para un empotramiento (desde la superficie del terreno al momento de realizar la prueba) de 15.2m, es de 39 toneladas: 20 toneladas registradas por fricción a lo largo del fuste del pilote y las restantes 19 toneladas en la punta.

- Prueba 8: La carga total movilizada (carga última) en el pilote, para un empotramiento (desde la superficie del terreno al momento de realizar la prueba) de 15.0m, es de 45 toneladas: 15 toneladas registradas por fricción a lo largo del fuste del pilote y las restantes 30 toneladas en la punta.

8. INFORMACIÓN Y METODOLOGÍA DE ANÁLISIS

8.1 Información

Básicamente la información recopilada es la siguiente:

- Informe de las perforaciones SPT realizadas para el estudio de suelos (LAB SUELOS. SAS).
- Perfiles estratigráficos de los 12 sondeos realizados (LAB SUELOS. SAS).
- Capacidad de carga admisible y longitud del pilote recomendada por los Ingenieros Geotecnistas diseñadores del proyecto (Ingenieros Geotecnistas diseñadores del proyecto)
- Reporte de campo y posterior análisis matemático para las pruebas de carga dinámicas bajo altas deformaciones PDA (suministrada por la firma JEOPROBE).
- Información de resultados de capacidad de carga para pilotes bajo altas deformaciones (aporte por fuste y aporte por punta), esfuerzos de compresión y tensión, evaluación de la integridad y energía transmitida por el impacto a lo largo del pilote durante el proceso de hinca (suministrada por la firma JEOPROBE).
- Hoja de vida de cada pilote hincado (fecha de fabricación, resistencia a compresión del concreto $f'c$ en Mpa, tiempo de fraguado, fecha de transporte, geometría, fecha de hinca, equipo usado para la hincada del pilote, peso del martinete empleado, hora inicio proceso de hincado, hora de terminación proceso de hincado, profundidades alcanzadas, número de golpes, altura de caída del martinete, penetración, cota del terreno al inicio de la hinca, cota del terreno una vez se termina la hinca, observaciones y situaciones especiales (CONINTEC. SAS, ANDINA DE CONSTRUCCIONES. S.A, PRECOMPRIMIDOS. S.A).

8.2 Metodología de análisis

Una vez consultado el estado del arte, haber estudiado el tipo de cimentación propuesto en la etapa de diseño y recopilado la información de campo, se define como utilizar y procesar dicha información, para poder así plantear un método alternativo que ayude a comprobar las hipótesis de diseño (longitud de pilotes y capacidad de carga) y a su vez, validar los resultados obtenidos en campo con respecto a las pruebas de carga PDA.

Se plantean cuatro etapas metodológicas que permitan alcanzar el objetivo general y los tres objetivos específicos planteados, dentro de estas etapas se tiene:

- Etapa de Revisión: en esta etapa se revisará la documentación relacionada dentro del marco teórico, clasificando la información aportante acerca de la verificación de la capacidad de carga para Pilotes hincados.
- Etapa de Estudio: una vez sea estudiada la información en la etapa de revisión, se identificarán las variables que determinan el proceso de hincado de los pilotes y adicionalmente se seleccionarán las variables que sean fácilmente cuantificables dentro de la información recopilada durante la hincada del pilote, para poder así estructurar el método alternativo a plantear.
- Etapa de Observación y Verificación en campo: a la par de la etapa de revisión y de estudio, se seleccionará un proyecto que involucre el hincado de pilotes como método de cimentación, para el presente caso se harán visitas al proyecto “Sede Los Kunas, Universidad de Antioquia Seccional Apartadó” para constatar el proceso de PDA (Prueba dinámica para pilotes) e hincado de los pilotes y a la par, tomar información que ayude a fundamentar el método alternativo encaminado a verificar la capacidad de carga de los pilotes en suelos blandos.

- Etapa de Formulación: una vez identificadas las variables que soportarán el método alternativo de verificación de capacidad de carga se procesará la información obtenida en campo durante los procedimientos de PDA, hinca y rehinca de pilotes de la sede Los Kunas de la Universidad de Antioquia, seccional Apartadó.

8.3 Variables a cuantificar a partir de la hinca de pilotes

La asociación adecuada por grupos de análisis de cada una de las variables a cuantificar a partir de la información recopilada en campo es fundamentales para poder generar el método alternativo de verificación que permita:

- Estimar las posibles capacidades de carga y de longitud del pilote desde los resultados obtenidos en los ensayos de penetración estándar (SPT), durante la fase de estudio de suelos y que permita al diseñador hacer un pre dimensionamiento de los pilotes, antes de iniciar la etapa de diseño.
- Llevar un control durante el proceso de hinca el cual ayude a corroborar la capacidad de carga y la longitud propuesta en la etapa de diseño y poder así informar oportunamente al diseñador para que realice ajustes por defecto o por exceso al dimensionamiento planteado en la etapa de diseño.
- Identificar el instante adecuado en el que se confirme una mayor o menor capacidad de carga para corroborar una de estas dos condiciones mediante el uso de una PDA (Prueba dinámica).

Las variables que soportan el método planteado son las siguientes:

- Peso del martillo a utilizar para el proceso de hinca del pilote.

- Altura de caída del martillo, desde el instante “0” al momento que golpea la cabeza del pilote a hincar. (Stroke)

- Número de golpes necesarios para hincar el pilote 0,20m en el suelo.

Las variables antes mencionadas son las que soportan el principio de Energía Potencial.

$$E_p = m g H \quad (23)$$

E_p = Energía potencial.

m = Masa.

g = Aceleración gravitacional.

$W = m g$ = Peso.

H = Altura de caída.

Estas se seleccionaron debido a que son fáciles de controlar, medir y cuantificar en campo, por el Ingeniero que controla el proceso de hincado de los pilotes.

Se realizaron tablas de cálculo de Energía potencial para cada pilote involucrado en su respectivo grupo de análisis, la siguiente es la tabla que se usó para procesar la información recopilada en campo.

En ella se encuentran los datos de información general referentes a fecha de hinca, rehinca, localización, equipo de hinca y peso del martillo.

En las columnas se encuentra la información de profundidad, del pilote la cual está asociada a un número determinado de golpes para que se generara un desplazamiento de 20 cm al pilote, también se encuentra la altura de caída o stroke del martillo, con éstos datos se calcula la energía impuesta al pilote, posteriormente se divide en el área de contacto del pilote

con el suelo para obtener la energía impuesta por m^2 por cada tramo de 20 cm de hincado del pilote, en la columna Energía/ m^2 acumulada, desarrolla una sumatoria de energías por tramos de 20 cm del pilote, por lo tanto el último valor de esta columna totaliza la energía/ m^2 impuesta al pilote y finalmente la última columna acumula el número de golpes impuestos a cada pilote hasta que se produce el rechazo.

Tabla 8. Números acumulados de golpes y energías/m² acumulados para pilotes hincados.

C25 I						
FECHA DE HINCA				FECHA DE REHINCA		
15/11/2013				26/11/2013		
LOCALIZACIÓN				Aula 2 C25 Izquierdo		
HORA INICIO				HORA TERMINACIÓN		
8:00 AM				8:30 AM		
GRÚA				JUNTTAN PM 20 N°1		
MARTILLO				JUNTTAN HK-5		
PESO DE MARTILLO				5 ton		
Longitud hincada (m)	N° golpes / 20 cm	Altura de caída (cm)	Energía impuesta (kN.m)	Energía/m2 (kJ/m2)	Energía/m2 acumulada (kJ/m2)	N° golpes acumulados
-7,20	2	20	19,6	77,99	77,99	2
-7,40	2	20	19,6	77,99	155,98	4
-7,60	2	20	19,6	77,99	233,97	6
-7,80	2	20	19,6	77,99	311,96	8
-8,00	2	20	19,6	77,99	389,95	10
-8,20	2	20	19,6	77,99	467,94	12
-8,40	2	20	19,6	77,99	545,93	14
-8,60	3	20	29,4	116,98	662,91	17
-8,80	4	20	39,2	155,97	818,88	21
-9,00	4	40	78,4	311,94	1130,82	25
-9,20	4	40	78,4	311,94	1442,76	29
-9,40	3	40	58,8	233,96	1676,72	32
-9,60	3	40	58,8	233,96	1910,68	35
-9,80	3	40	58,8	233,96	2144,64	38
-10,00	4	40	78,4	311,94	2456,58	42
-10,20	4	40	78,4	311,94	2768,52	46
-10,40	4	40	78,4	311,94	3080,46	50
-10,60	4	40	78,4	311,94	3392,40	54
-10,80	4	40	78,4	311,94	3704,34	58
-11,00	4	40	78,4	311,94	4016,28	62
-11,20	5	40	98	389,93	4406,21	67
-11,40	5	40	98	389,93	4796,14	72
-11,60	5	40	98	389,93	5186,07	77
-11,80	5	40	98	389,93	5576	82
-12,00	6	40	117,6	467,91	6043,91	88
-12,20	6	40	117,6	467,91	6511,82	94
-12,40	8	60	235,2	935,83	7447,65	102
-12,60	6	60	176,4	176,4	8149,52	108
-12,80	6	60	176,4	176,4	8851,39	114
-13,00	6	60	176,4	176,4	9553,26	120
-13,20	6	60	176,4	176,4	10255,13	126
-13,40	6	60	176,4	176,4	10957	132
-13,60	6	60	176,4	176,4	11658,87	138
-13,80	7	60	205,8	818,85	12477,72	145
-14,00	7	60	205,8	818,85	13296,57	152
-14,20	7	60	205,8	818,85	14115,42	159
-14,40	8	60	235,2	935,83	15051,25	167
-14,60	10	60	294	1169,79	16221,04	177
-14,80	11	60	323,4	1286,76	17507,80	188
-15,00	11	60	323,4	1286,76	18794,56	199
-15,20	22	80	862,4	3431,37	22225,93	221
-15,40	30	80	1176	4679,14	26905,07	251
-15,60	17	80	666,4	2651,52	29556,59	268

8.4 Grupos de estudio y criterios de selección

Teniendo presente que el suelo es un medio totalmente heterogéneo es necesario plantear criterios de selección para cada grupo de análisis que ayuden disminuir la incertidumbre asociada a la variabilidad de las características físico mecánicas del suelo, producto de la no homogeneidad del medio al que se le están transmitiendo las cargas de la edificación en cuestión.

La selección de los grupos de análisis se soporta de la siguiente manera:

- Se identifica la ubicación de cada uno de los sondeos (SPT) realizados en la exploración preliminar y se estudia cada uno de los perfiles estratigráficos descritos en el estudio de suelos.
- Se identifica ubicación de cada prueba dinámica de (PDA) realizadas antes de iniciar proceso de hincado de los pilotes, a la par se estudia cada uno de los reportes de la prueba.
- Se asocia a cada PDA un perfil estratigráfico (sondeo SPT) que no se encuentren distanciados entre si entre; 25-30m.
- Una vez identificada dicha asociación (PDA y SPT) se toma como centro cada uno de los SPT seleccionados y cada una de las PDA seleccionadas, para posteriormente trazar circunferencias en planta de radio de 20m.
- De la intersección en planta para cada una de las circunferencias dibujadas correspondientes a cada una de las asociaciones planteadas, se seleccionan los pilotes a estudiar que respaldan cada grupo.
- Del anterior planteamiento se definen seis grupos de análisis para los cuales se graficarán curvas de energía acumulada Vs número de golpes acumulados (grafico “**b**”).

- De igual manera se graficará energía acumulada vs longitud acumulada (gráfico “ b_1 ”).
- A la par se grafican curvas correspondiente a energía acumulada Vs número de golpes acumulados para “PDA” y “SPT” correspondientes a los seis grupos de análisis, se corrige el número de golpes para el SPT de acuerdo al planteamiento realizado por Liao and Withman (gráfico “ a ”).
- Por último se grafica curva correspondiente al número de golpes acumulados vs capacidad de carga, se obtiene de las PDA (gráfico “ c ”).

Tabla 9. Grupos de análisis con sus respectivos SPT, PDA y pilotes asociados.

GRUPOS DE ANALISIS	GRUPO 1	GRUPO 2	GRUPO 3	GRUPO 4	GRUPO 5	GRUPO 6
SPT	3	6	2	1	1	6
PDA	1	2	3	4	8	6
Cantidad de pilotes asociados al grupo	36	3	10	14	20	2

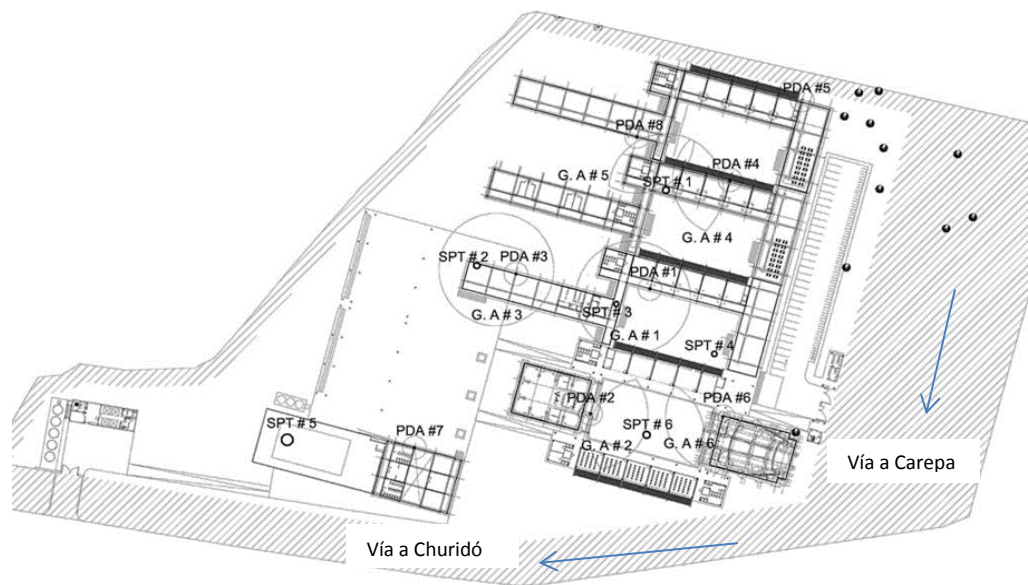


Figura 7. Grupos de análisis

8.5 Curvas para verificación de capacidad de carga

Es de conocimiento generalizado que los números de golpes usados dentro del ensayo de penetración estándar (SPT), se ven afectados por variables que deben ser consideradas con el ánimo de precisar la cantidad de golpes que en condiciones ideales implicaría generar el movimiento considerado en el SPT.

Por lo tanto se utilizó la información recopilada en el campo y presentada mediante el estudio de suelos (elaborado por LABSUELOS. SAS), el cual contiene básicamente número de golpes asociados a las profundidades alcanzadas.

Para considerar acertados los números de golpes es necesario corregir por factores que modifican el valor inicial de los números de golpes.

Los factores que corrigieron el ensayo SPT son los siguientes:

- CN (Corrección por esfuerzo efectivo) Liao and Withman 1986 $CN = 1/\sqrt{\sigma}$, donde σ en unidades de kg/cm².

$$C_{N=\frac{1}{\sigma}} \quad (24)$$

$$\sigma = H \gamma \quad (25)$$

H= Profundidad.

γ = Peso unitario.

- CE factor de corrección por eficiencia del equipo (0.75 en Colombia).

Se utilizaron tablas que corregían el número de golpes (N corregido) y a su vez se calculan las energías/m² acumuladas. La siguiente es la tabla modelo, con las cuales se hicieron los cálculos, Tabla N corregido y Energía/m² acumulado.

Tabla 10. Tabla de N corregido acumulado vs Energía/m² acumulada para SPT

ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR SPT# 002										
Longitud hincada (m)	Nº golpes/30 cm	CN (corrección por esfuerzo efectivo) Liao & Whitman 1986 $CN=1/\sqrt{\sigma}$, donde σ está en kg/cm ²	CE (Factor de corrección por eficiencia del equipo)	σ normal (kg/cm ²)	Peso unitario (kg/m ³)	N corregido= CN esfuerzo*CN eficiencia* N campo	Altura de caída (m)	Energía a kJ*m/m ²	Energía kJ*m/m ² acumulada	N corregido acumulado
0,00	0	0,00	0,75	0,00	1800	0	0,75	0	0	0
0,50		3,33		0,09		10		97,48	97,48	10
0,50		3,33		0,09		4		6,74	65,70	163,18
1,10	2,24	0,19		4				4,22	41,14	204,32
1,10	2,24	0,19				3		6,10	59,46	263,78
1,58	1,87	0,28		3				7,62	74,28	338,06
1,58	1,87	0,28				5		3,97	38,70	376,76
2,10	1,62	0,37		5				2,95	26,81	403,57
2,10	1,62	0,37				7		2,57	25,05	428,62
2,64	1,45	0,47		7				3,25	31,68	460,30
2,64	1,45	0,47				4		4,63	45,13	505,43
3,17	1,32	0,57		4				11,82	115,22	620,65
3,17	1,32	0,57				3		4,97	48,45	669,10
3,72	1,22	0,66		3				7,53	73,40	742,50
3,72	1,22	0,66				3		10,61	103,43	845,93
4,28	1,13	0,77		3				14,14	137,84	983,77
4,28	1,13	0,77				4		12,45	121,37	1105,14
4,74	1,08	0,85		4				10,88	106,60	1211,20
4,74	1,08	0,85				6		14,13	137,74	1348,94
5,25	1,02	0,94		6				8,60	83,83	1432,77
5,25	1,02	0,94				16		10,07	98,16	1530,93
5,73	0,98	1,03		16				12,62	123,02	1653,95
5,73	0,98	1,03				7		8,59	83,74	1737,69
6,20	0,94	1,11		7				9,42	91,83	1829,52
6,20	0,94	1,11				11		7,16	69,80	1899,32
6,66	0,91	1,19		11				15,05	146,71	2046,03
6,66	0,91	1,19				18		26,61	259,4	2305,43
7,10	0,88	1,27		18				31,46	306,68	2612,11
7,10	0,88	1,27				22				
7,57	0,85	1,36		22						
7,57	0,85	1,36	20							
8,07	0,82	1,45		20						
8,07	0,82	1,45	18							
8,56	0,80	1,54		18						
8,56	0,80	1,54	18							
9,02	0,78	1,62		18						
9,02	0,78	1,62	24							
9,51	0,76	1,71		24						
9,51	0,76	1,71	15							
9,99	0,74	1,79		15						
9,99	0,74	1,79	18							
10,38	0,73	1,86		18						
10,38	0,73	1,86	18							
10,84	0,71	1,95		23						
10,84	0,71	1,95	16							
11,41	0,69	2,05		16						
11,41	0,69	2,05	18							
11,94	0,68	2,14		18						
11,94	0,68	2,14	18							
12,41	0,66	2,23		14						
12,41	0,66	2,23	30							
12,87	0,65	2,31		30						
12,87	0,65	2,31	54							
13,34	0,64	2,40		54						
13,34	0,64	2,40	65							
13,82	0,63	2,48		65						

Para el método alternativo de verificación para evaluar la capacidad de carga se proponen las siguientes curvas:

Se asociaron las curvas de los ensayos SPT y PDA en una sola gráfica denominada gráfica “a”

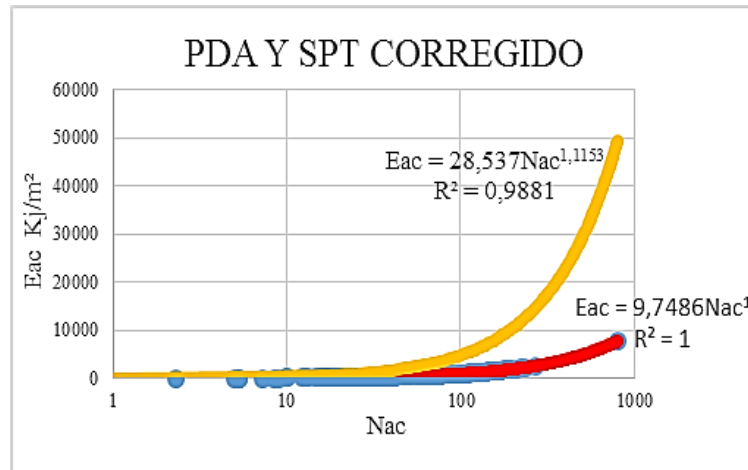


Figura 8. “a” Curvas SPT corregida y PDA Energías acumulada vs Número de golpes acumulados

La curva correspondiente “a” PDA la define:

$$E_{ac=28,537 N_{ac}^{1,1153}} \quad (26)$$

La curva correspondiente “a” SPT la define:

$$E_{ac=9,7486 N_{ac}^1} \quad (27)$$

Luego de calcular las energías invertidas acumuladas con los números de golpes acumulados por pilote, se procedió a trabajar por grupos de análisis involucrando cada pilote

dentro del respectivo grupo de análisis de acuerdo a los criterios anteriormente expuestos. Seguidamente se graficaron todos los pilotes de cada grupo de análisis con su respectiva línea de tendencia, como aparece en el siguiente gráfico.

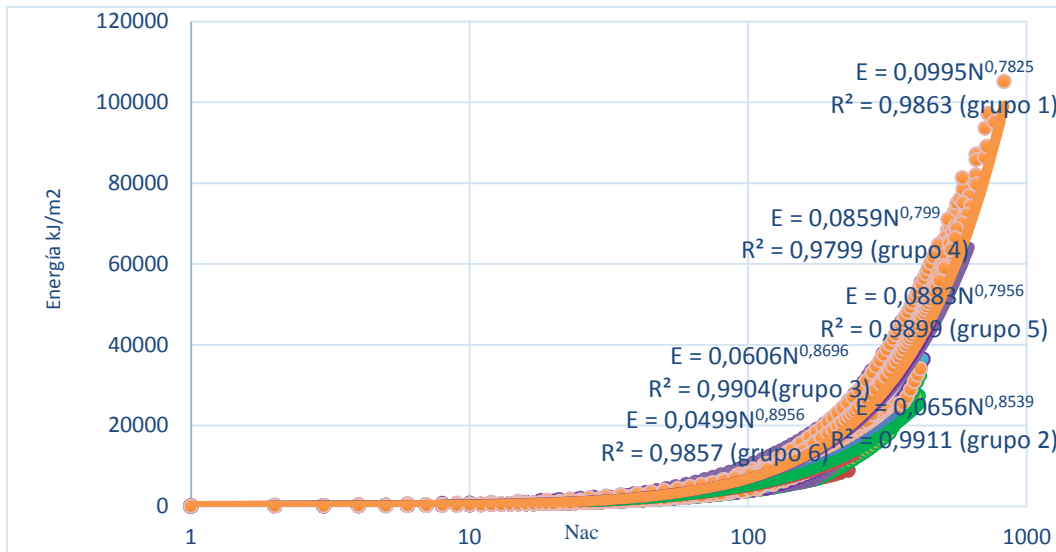


Figura 9. Línea de tendencias según grupos de análisis, Energía acumulada Kj/m² vs Número acumulado de golpes

Claramente se establecen dos líneas de tendencia, donde se densifican las nubes de datos marcando dos tendencias, que generan un límite inferior y un límite superior. Por lo tanto se asocian los grupos de análisis de acuerdo a sus tendencias (límite inferior o superior) y se genera una sola línea de tendencia asociada al límite superior o inferior, como se muestra en la siguiente gráfica (Gráfica “b”).

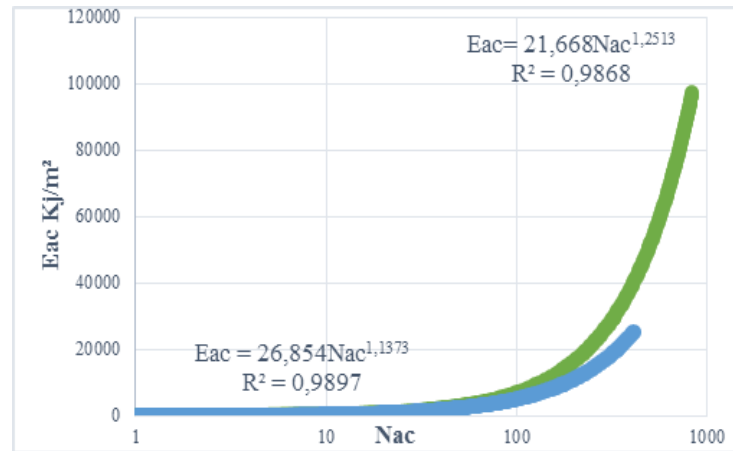


Figura 10. “b” Curvas Energía acumulada vs Número de golpes acumulados.

La curva correspondiente “b” el límite inferior lo define:

$$E_{ac} = 21,668 N_{ac}^{1,2513} \quad (28)$$

La curva correspondiente “b” el límite superior lo define:

$$E_{ac} = 26,854 N_{ac}^{1,1373} \quad (29)$$

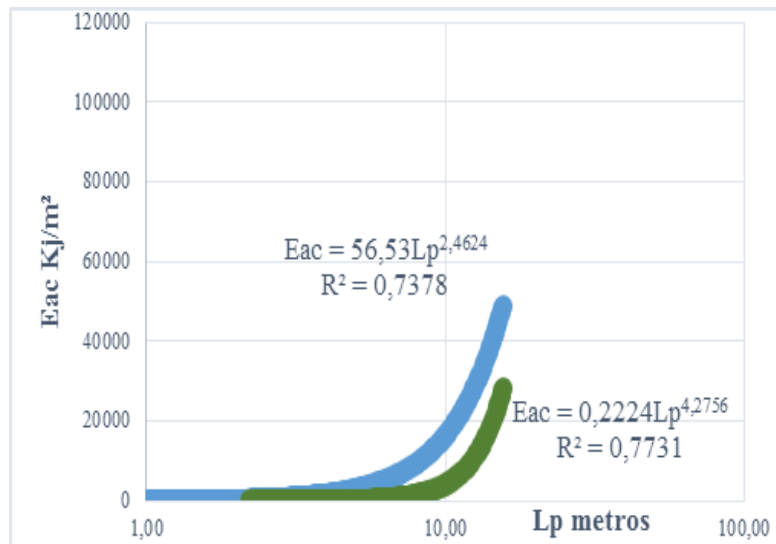


Figura 11. b1” Curvas Energía acumulada vs longitud acumulada

La curva correspondiente “b1” el límite inferior lo define:

$$E_{ac}=56,53 L_p^{2,4624} \quad (30)$$

La curva correspondiente “b1” el límite superior lo define:

$$E_{ac}=0,2224 L_p^{4,2756} \quad (31)$$

El gráfico “c” representa la curva de la capacidad de carga medida mediante las 7 pruebas (PDA), realizadas por JEOPROBE.

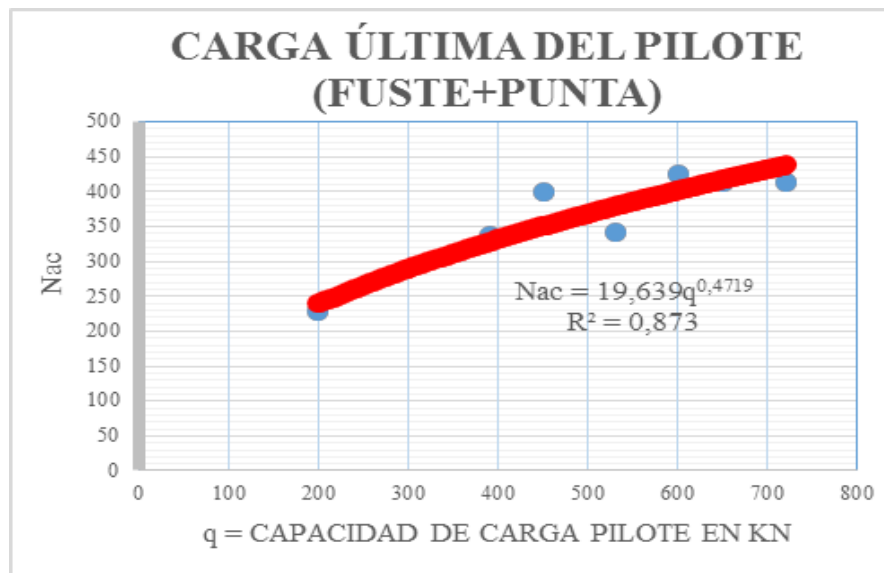


Figura 12. “c” Curva Número de golpes acumulados vs capacidad de carga pilotes por pruebas PDA

Para la curva correspondiente “c” se define:

$$N_{ac}=19,639 q^{0,4719} \quad (32)$$

9. EJEMPLO ILUSTRATIVO

9.1 Etapa de exploración, a partir de los sondeos (SPT) realizados en campo para estudios de suelos

De las perforaciones SPT realizadas para el proyecto se selecciona una que no hizo parte del grupo de análisis y que se encuentre dentro del área de referencia a una PDA realizada.

STP-4 y PDA-6

Para SPT-4 se obtiene un acumulado de 273,96 golpes corregidos para una profundidad de 16,06m (ubicación patio entre bloque administrativo y bloque aulas 3).

Utilizando el grafico “*a*” encuentro energía acumulada desarrollada para el pilote hincado con número de golpes acumulados en el ensayo SPT, para nuestro caso se obtienen una energía acumulada:

La curva correspondiente “*a*” PDA la define:

$$E_{ac}=28,537 N_{ac}^{1,1153} \quad (26)$$

$$E_{ac}=14933.47 \frac{K_j}{m^2}$$

Con este valor de energía acumulada utilizo el grafico “*b*₁” para hallar posibles longitudes de pilotes.

La curva correspondiente “*b*₁” el límite inferior lo define:

$$E_{ac}=56,53 L_p^{2,4624} \quad (30)$$

$$L_p=9,62m$$

La curva correspondiente “*b*₁” el límite superior lo define:

$$E_{ac}=0,2224 L_p^{4,2756} \quad (31)$$

$$L_p=13,45m$$

Recurriendo al gráfico “b” se calcula el límite superior e inferior para el número de golpes acumulados correspondientes a la energía calculada en (19) una vez son encontrados el número de golpes se recurre al gráfico “c” y se calcula la capacidad de carga.

La curva correspondiente “b” el límite inferior lo define:

$$E_{ac}=21,668 N_{ac}^{1,2513} \quad (28)$$

$$N_{ac}=185 \text{ golpes}$$

La curva correspondiente “b” el límite superior lo define:

$$E_{ac}=26,854 N_{ac}^{1,1373} \quad (29)$$

$$N_{ac}=259 \text{ golpes}$$

Utilizando el gráfico “c” se tiene:

$$N_{ac}=19,639 q^{0,4719} \quad (32)$$

$$q = 115.90 \text{ KN}$$

$$q = 236.46 \text{ KN}$$

Obteniéndose:

Tabla 11. Resultados

LONGITUD (metros)	NUMERO DE GOLPES ACUMULADOS	CAPACIDAD DE CARGA (KN)
9,62	185	115.90
13,45	259	236.46

De acuerdo a la información arrojada por el SPT N°4, para el suelo en cuestión se podría desarrollar capacidades para pilotes del orden de 236.46 KN con longitudes de 13,45.

Comparando este resultado con el obtenido en la PDA 6 se tiene:

Tabla 12. Resultados

VERIFICACIÓN	LONGITUD (metros)	CAPACIDAD DE CARGA (KN)
PDA 6	14	200
Exploración de campo SPT 4	13,45	236.46

Es importante aclarar que esta metodología no reemplaza los análisis tradicionales empleados para el diseño de pilotes, pero si determina valores estimativos que podrían orientar el predimensionamiento del pilote partiendo de la exploración de campo mediante los resultados obtenidos en el SPT.

9.2 Etapa de ejecución, hincado de pilotes

Para utilizar el método inicialmente se debe identificar la capacidad de carga planteada en el diseño, para nuestro caso específico 200 KN.

Utilizando el grafico “c” “se encuentra el número de golpes acumulados.

$$N_{ac}=19,639 q^{0,4719} \quad (32)$$

$$N_{ac} = 239.31 \text{ golpe}$$

Recurriendo al grafico “b” se calculan los límites de energía.

La curva correspondiente “b” el límite inferior lo define:

$$E_{ac}=21,668 N_{ac}^{1,2513} \quad (28)$$

$$E_{ac}=20540,57 \frac{Kj}{m^2}$$

La curva correspondiente “b” el límite superior lo define:

$$E_{ac}=26,854 N_{ac}^{1,1373} \quad (29)$$

$$E_{ac}=13633,30 \frac{Kj}{m^2}$$

Con estos dos límites el Ingeniero encargado de realizar el proceso de hincado en la obra podría tener una herramienta que le permite tener criterio para verificar si realmente se está llegando a la capacidad de carga especificada o por el contrario con la longitud planteada se está por debajo de la capacidad especificada.

Con esta herramienta se podría informar en tiempo real al Ingeniero Diseñador para que redimensione su propuesta o por el contrario verifique las hipótesis planteadas en su diseño, es importante aclarar que esta condición solo sería verificable ejecutando una prueba de carga en

el instante en que las energías acumuladas de hincado oscilen entre los límites establecidos por el método alterno.

Si se quisieran estimar las longitudes aproximadas donde se alcanzan las energías acumuladas, se utiliza el gráfico “ b_1 ” calculándose la longitud del pilote.

La curva correspondiente “b1” el límite inferior lo define:

$$E_{ac=56,53} L_p^{2,4624} \quad (30)$$

$$L_p=10,95m$$

La curva correspondiente “b1” el límite superior lo define:

$$E_{ac=0,2224} L_p^{4,2756} \quad (31)$$

$$L_p=13,17m$$

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El control aproximado de la capacidad de carga para un pilote en campo ayuda a disminuir el grado de incertidumbre en las cimentaciones profundas en suelos blandos y a la vez permite comprobar las hipótesis de diseño (longitud de pilotes y capacidad de carga) validándolas a través de resultados cuantificables (número de golpes acumulados y energías acumuladas) para ser verificadas posteriormente con pruebas de carga (estáticas o dinámicas).
- El método alternativo propuesto ayuda a proyectar y realizar chequeos permanentes de la capacidad de carga para un pilote, desde el momento que se realiza la exploración de campo a partir de los resultados obtenidos en el ensayo SPT, verificando hipótesis de diseño y controlando el proceso de hinca.
- El método alternativo propuesto permite predimensionamientos tentativos en cuanto a capacidad de carga y longitud del pilote a partir de los resultados obtenidos de la exploración de campo a través de un SPT, lo que permitiría estimar posibles costos que ayuden a soportar la viabilidad técnica y económica para un proyecto en su etapa de pre factibilidad.
- Controlar permanentemente el proceso de hinca ayuda a corroborar la capacidad de carga y la longitud del pilote soportando los resultados obtenidos mediante una prueba dinámica de carga PDA preferiblemente e informando oportunamente al diseñador los resultados se logra disminuir las incertidumbres en el diseño realizando ajustes por defecto o por exceso al dimensionamiento planteado inicialmente y a su vez optimización de los recursos necesarios para la instalación del pilote.
- La capacidad de carga recomendada en el diseño difiere de las capacidades de carga estimadas en la prueba PDA como se muestra en tabla 1, lo cual subestima considerablemente la capacidad real de los pilotes.

- El porcentaje de metros lineales descabezados representan aproximadamente entre el 8% al 10% del total de metros lineales de pilotes hincados para un proyecto, lo que implica sobrecostos debido al descabece de pilotes generados por el rechazo.
- En el instante en el que se crea que existe una mayor o menor capacidad de carga, se debe verificar dicha condición mediante un ensayo de carga preferiblemente una prueba dinámica PDA.
- Por medio de este método, se pueden establecer curvas para cada región del país donde se presenten suelos blandos, siempre y cuando las empresas encargadas del pilotaje, constructores y diseñadores, compartan la información con la que cuentan, de manera que se puedan calibrar las curvas con la información recopilada por cada empresa, mejorando la precisión de los intervalos en los que trabaja este procedimiento.
- El método propuesto no es aconsejable utilizarlo como herramienta de diseño, solo es un mecanismo más con el que podría contar el ingeniero encargado de realizar la exploración de campo mediante SPT y posteriormente en el hincado de pilotes para llevar un control adecuado del proceso.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Das, B. (2001). *Principios de Ingeniería de Cimentaciones*. Mexico: Prentice Hall.
- Design and construction of driven pile foundation- lessons learned on the central artery/tunnel project. publication no. fhwa-hrt-05-159 U.S Department of transportation. Federal Highway Administration . June 2006.
- FHWA/RD-86/160. (1986). *The performance of piles driving systems*. USA.
- Hidalgo, C. (2014). Cimientos Profundos. In C. Hidalgo. Medellín.
- García Valcarse, A. Manual de edificación. Mecánica de los terrenos y cimientos. Departamento de Edificación. E.T.S de Arquitectura. Universidad de Navarra. Editorial CIE Inversiones Editoriales Dossat 2000. Año 2003.
- Ingeominas. (2001). *Mapa geológico de Antioquia*.
- Instituto Nacional de Vias (INVIAS). (2012). *Manula de Diseño de Cimentaciones Superficiales y Profundas para Carreteras*. Bogotá, Colombia.
- Labsuelos Ltda. (2012). *Perfil*. Apartadó.
- Lujan, E., & Alva, J. (2003). Evaluación de la Capacidad de Carga Dinámica de Pilotes Usando Ecuación de Onda.
- Micropile design and construction guidelines (implementation manual). publication no. fhwa-sa-97-070. Department of transportation. Federal Highway Administration . June 2006.
- Normativa Sismoresistente Colombiana NSR-10, Capítulo C.15.11 Cimentaciones, capítulo H.4.4 Cimentación con Pilotes
- Precomprimidos S.A. (2013). *Registro de Hinca en campo*. Apartadó.
- Skempton. (1986).

The performance of pile driving systems. Report No. FHWA-RD-86/160. U.S Department of transportation. Federal Highway Administration. December 1986.

Thomas. (2007). et al.

TOMILSON. (1987).

UNAM. (n.d.). Exploración Geotécnica. (E. UNAM, Ed.)

Universidad de Antioquia. (2013). *Animación del Proyecto*. Medellín.

Universidad de Antioquia. (2013). *Planta de localización perforaciones*. Medellín.

Universidad de Antioquia Facultad de ingeniería. (2013). *Capacidades de carga para los tres casos evaluados*. Medellín.

US Navy. (1982). *Desing Manual DM-7.2*.

US Navy. (1982). *Engineering News Record*.

Valcarse., A. G. (2003). *Manual de Edificación Mecánica de los Terrenos y Cimientos*. Navarra, España: Inversiones Editoriales Dossal 2000.

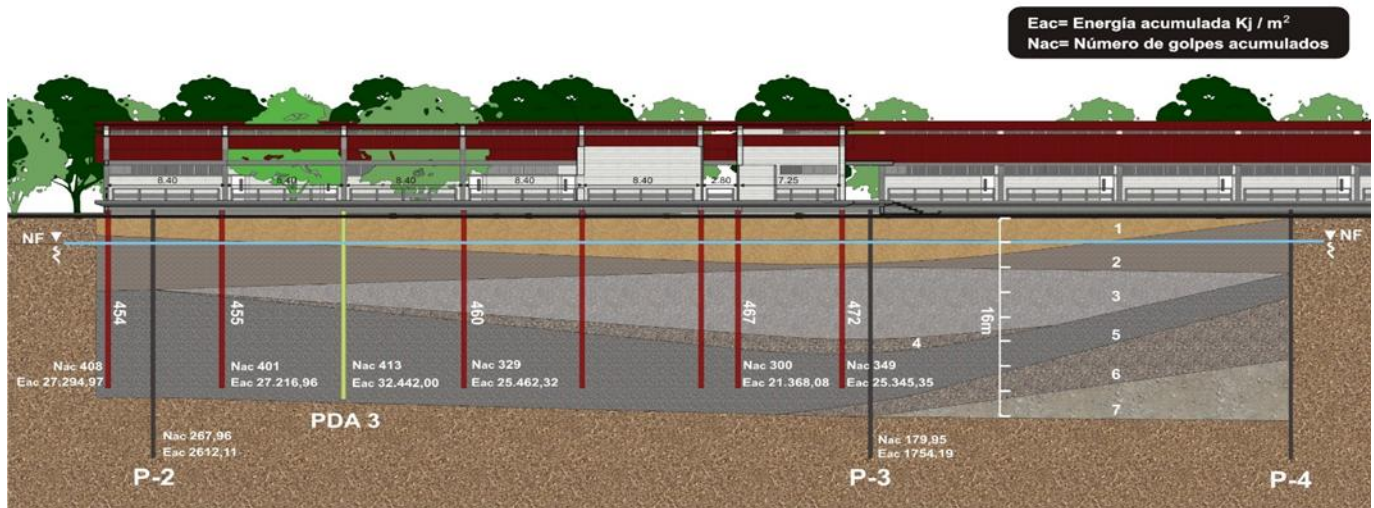
VESIC. (1977).

Verificación de capacidad de carga para pilotes hincados en suelos blandos. (2014). Medellín.

Youd e Idriss. (1997).

ANEXOS

ENERGÍA ACUMULADA Y NÚMERO DE GOLPES ACUMULADOS EN LA HINCA DE PILOTES



ARCILLA INORGÁNICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD COLOR CAFÉ

1

ARENA LIMOSA COLOR CAFÉ

2

ARCILLA INORGÁNICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD COLOR GRIS

3

ARENA ARCILLOSA COLOR GRIS CAFÉ

4

ARENA LIMOSA COLOR GRIS

5

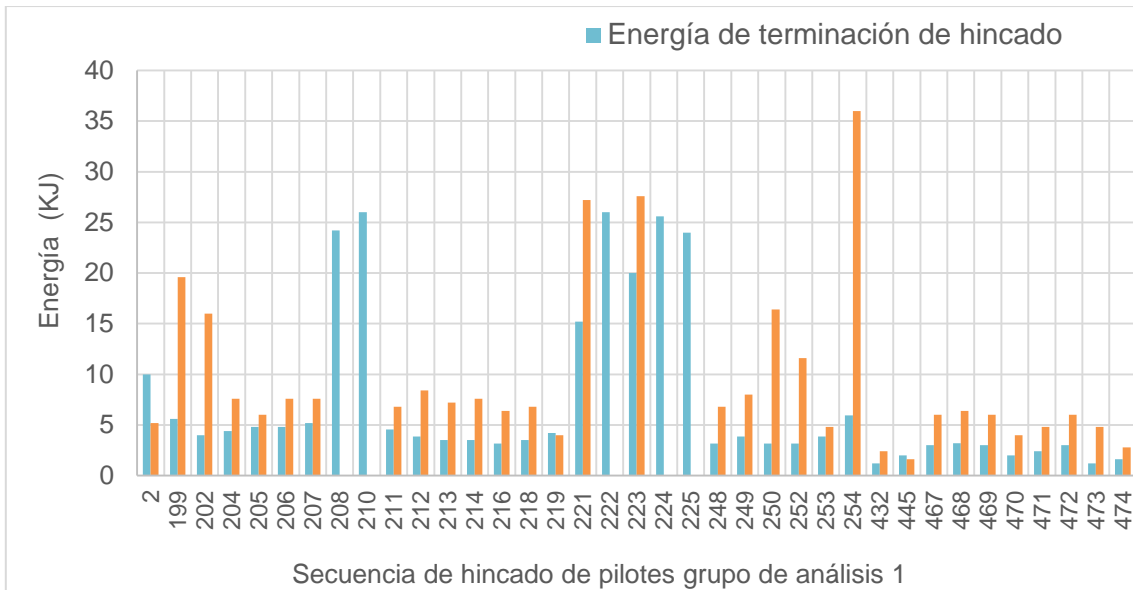
ARENA LIMOSA CON GRAVAS COLOR GRIS CAFÉ

6

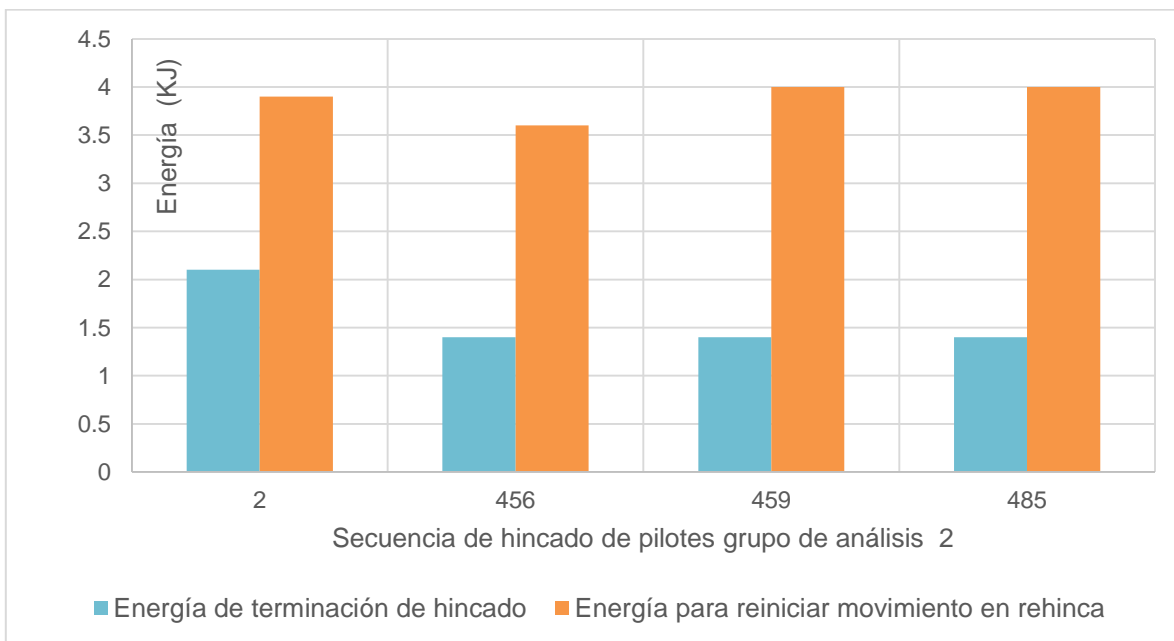
ARENA LIMOSA CON GRAVAS COLOR GRIS

7

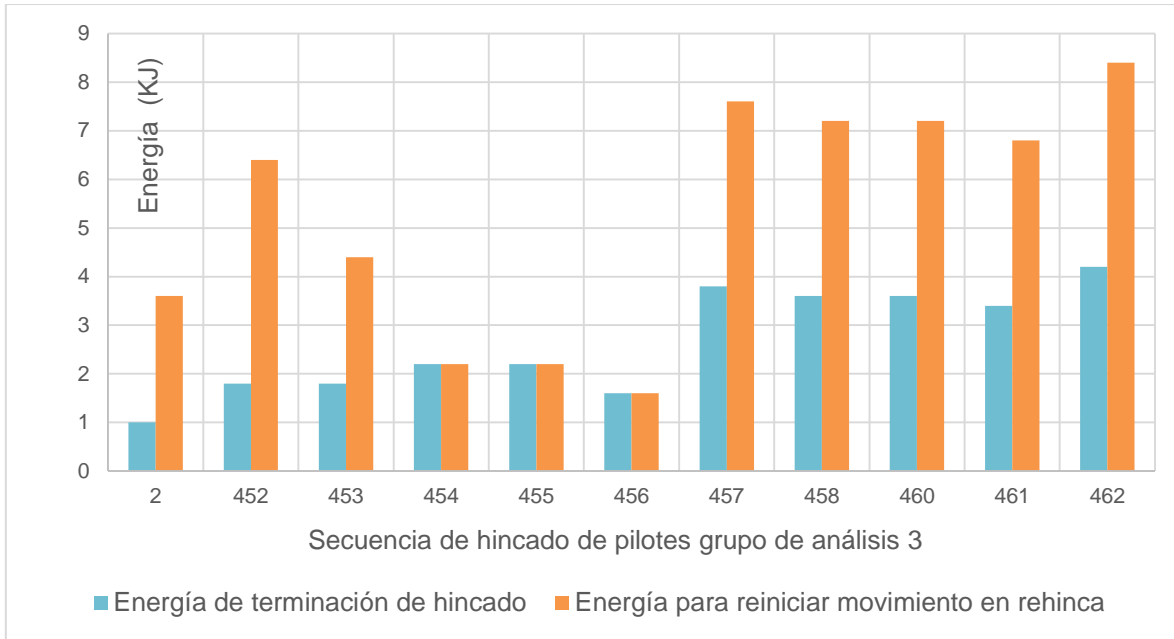
Energía acumulada y número de golpes acumulados en la hinca de pilotes (Verificación de capacidad de carga para pilotes hincados en suelos blandos, 2014).



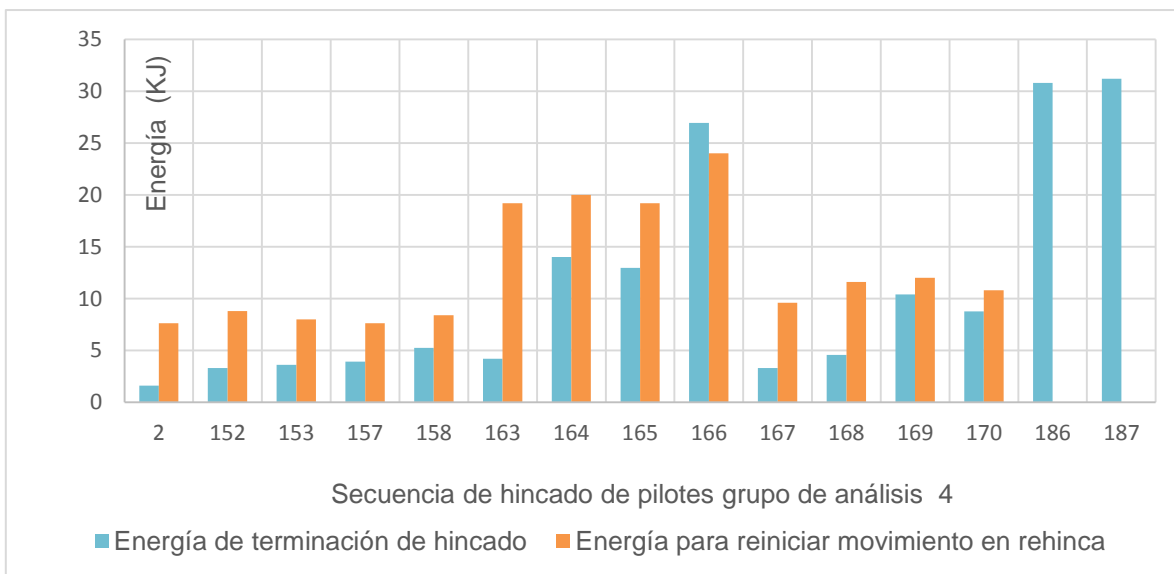
Energía al terminar hincado respecto energía para iniciar movimiento en la rehinca para grupo de análisis N°1 (Verificación de capacidad de carga para pilotes hincados en suelos blandos, 2014).



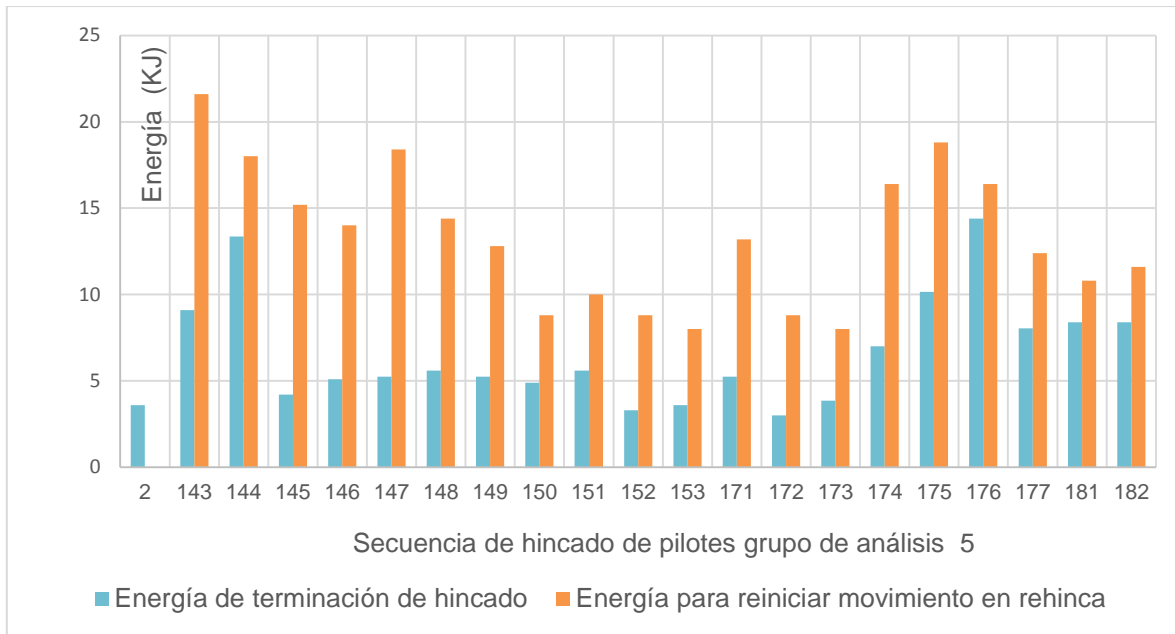
Energía al terminar hincado respecto energía para iniciar movimiento en la rehinca para grupo de análisis N°2 (Verificación de capacidad de carga para pilotes hincados en suelos blandos, 2014).



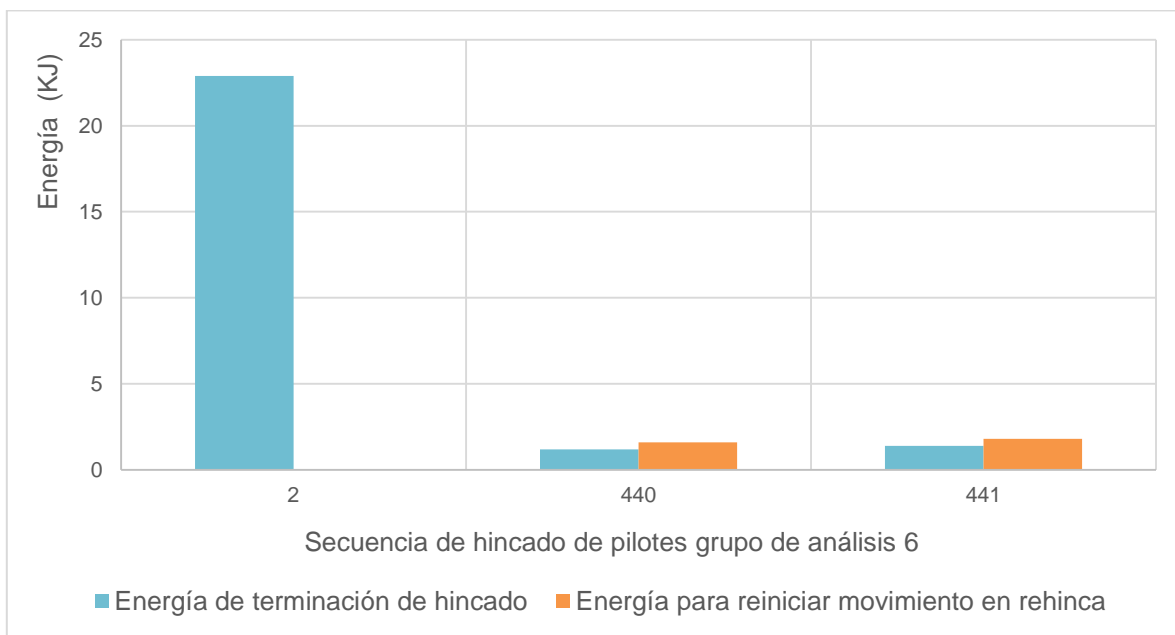
Energía al terminar hincado respecto energía para iniciar movimiento en la rehinca para grupo de análisis N°3 (Verificación de capacidad de carga para pilotes hincados en suelos blandos, 2014).



Energía al terminar hincado respecto energía para iniciar movimiento en la rehinca para grupo de análisis N°4 (Verificación de capacidad de carga para pilotes hincados en suelos blandos, 2014).



Energía al terminar hincado respecto energía para iniciar movimiento en la rehincia para grupo de análisis N°5 (Verificación de capacidad de carga para pilotes hincados en suelos blandos, 2014).



Energía al terminar hincado respecto energía para iniciar movimiento en la rehincia para grupo de análisis N°6 (Verificación de capacidad de carga para pilotes hincados en suelos blandos, 2014)

PDA N°1.
 Hincia 07/09/2012 ; Retundidad 12m;
 Rehincia 17/09/2012

Sector Aula 3.
 Se asigna Perfil estereográfica 3.

Distancia existente entre PDA y Perforación 3 = 13.14m.
 PDA y Perforación 4 = 21.79m

REGISTRO DE HINCADO DE ELEMENTOS


NOMBRE DE LA OBRA		CC 21872		FECHA DE HINCA							
PILOTAJE UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA - APARTADO				Día	Mes	Año					
				07	03	2013					
No consecutivo de hincado		Diámetro (cm)	Longitud (m)	FABRICACIÓN			GRUA	MARTILLO			
Pilota				Número	Día	Mes	Año	JUNTTAN			
001		0.4	14	80205	23	01	2013	PM 20 No1			
								JUNTTAN			
								HHK-5			
Longitud hincada (m)	No de golpes / 20cm	Altura de caída H (cm)	Longitud hincada (m)	No de golpes / 20cm	Altura de caída H (cm)	Longitud hincada (m)	No de golpes / 20cm	Altura de caída H (cm)	Longitud hincada (m)	No de golpes / 20cm	Altura de caída H (cm)
0.20	1	20	0.20	10		0.20	5		15.20		
0.40	1		0.40	11		0.40	5		15.40		
0.60	1		0.60	12		0.60	5		15.60		
0.80	1		0.80	15		0.80	4		15.80		
1.00	1		1.00	7	40	11.00	4		16.00		
1.20	1		1.20	8		11.20	5		16.20		
1.40	1		1.40	9		11.40	6		16.40		
1.60	1		1.60	11		11.60	6		16.60		
1.80	1		1.80	9		11.80	5		16.80		
2.00	1		2.00	9		12.00	5		17.00		
2.20	1		2.20	9		12.20			17.20		
2.40	1		2.40	10		12.40			17.40		
2.60	1		2.60	12		12.60			17.60		
2.80	1		2.80	12		12.80			17.80		
3.00	1		3.00	13		13.00			18.00		
3.20	1		3.20	13		13.20			18.20		
3.40	1		3.40	13		13.40			18.40		
3.60	1		3.60	12		13.60			18.60		
3.80	1		3.80	10		13.80			18.80		
4.00	1		4.00	10		14.00			19.00		
4.20	5		4.20	9		14.20			19.20		
4.40	4		4.40	9		14.40			19.40		
4.60	5		4.60	7		14.60			19.60		
4.80	6		4.80	6		14.80			19.80		
5.00	7		5.00	5		15.00			20.00		

UBICACION EN EL PLANO

Aula 3
 Columna 64 - C4

Comp. Plo. Ensayo 3

Dados



Columna C-4
 Cofre
 - Hincado 07/03/13
 - Rehincia

OBSERVACIONES:

Aula 3 Columna C4
 Columna C4
 1 Pilote - 1 Dado
 Se dejó con la topografía dejó el pilote 0,50m del nivel de terreno para la rehincia por exigencia libras para Rehincia 1,50m.
 Pilote para PDA Rehincia
 P.e pilote: 10,14Pa

Vo.Bo. RESIDENTE:

NOMBRE RESIDENTE: Jose Mesa T - Heron Ochoa.

NOMBRE OPERADOR: Jhon Fredy Mesa

Conveniones
 H: Altura de caída de la masa para el martillo hidráulico

Registro de campo para PDA N°001, hace parte del grupo de análisis N°001 (Precomprimidos S.A, 2013).


PDA N°2
 Hinca 07/09/2013; Profundidad: h=14.10m.
 Rehínea 17/09/2013

Sector Biblioteca
 Se Asigna Perfil Estadístico 6

Distancia existente entre PDA y Rehínea = 21.32m

REGISTRO DE HINCADO DE ELEMENTOS

NOMBRE DE LA OBRA										FECHA DE HINCA		UBICACIÓN EN EL PLANO			
PILOTAJE UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA - APARTADO										CC 21872		Día Mes Año		Circulación Biblioteca	
										07 09 13		Columna 16 - B6			
No consecutivo de hincado	Diámetro (cm)	Longitud (m)	FABRICACIÓN				GRUA		MARTELO						
			Numero	Día	Mes	Año	JUNTTAN	MARTELO							
002	0.4	16	28651	20	09	2012	JUNTTAN PM 20 No1	JUNTTAN	HHK-5						
Longitud hincada (m)	No de golpes / 20cm	Altura de cada H (cm)	Longitud hincada (m)	No de golpes / 20cm	Altura de cada H (cm)	Longitud hincada (m)	No de golpes / 20cm	Altura de cada H (cm)	Longitud hincada (m)	No de golpes / 20cm	Altura de cada H (cm)				
0.20	1	20	0.20	1		10.20	5		15.20						
0.40	1		0.40	1		10.40	4		15.40						
0.60	1		0.60	1		10.60	5		15.60						
0.80	1		0.80	1		10.80	4		15.80						
1.00	1		1.00	1		11.00	5		16.00						
1.20	1		1.20	2		11.20	5		16.20						
1.40	1		1.40	2		11.40	5		16.40						
1.60	1		1.60	2		11.60	5		16.60						
1.80	1		1.80	2		11.80	5		16.80						
2.00	1		2.00	2		12.00	5		17.00						
2.20	1		2.20	2		12.20	7		17.20						
2.40	1		2.40	2		12.40	6		17.40						
2.60	1		2.60	2		12.60	6		17.60						
2.80	1		2.80	2		12.80	7		17.80						
3.00	1		3.00	2		13.00	8		18.00						
3.20	2		3.20	3		13.20	6		18.20						
3.40	1		3.40	3		13.40	8		18.40						
3.60	1		3.60	4		13.60	10		18.60						
3.80	1		3.80	4		13.80	6	60	18.80						
4.00	1		4.00	4		14.00	6		19.00						
4.20	1		4.20	4		14.20	6		19.20						
4.40	1		4.40	4	40	14.40	7		19.40						
4.60	1		4.60	6		14.60			19.60						
4.80	1		4.80	6		14.80			19.80						
5.00	1		5.00	5		15.00			20.00						

Según plano Ensayo #5
 Columna 16.

 - Hincado 07/09/13
 - Rehínea

OBSERVACIONES:
 Trazo 5.
 Circulación Biblioteca
 Columna 16
 B-6
 libre para Rehínea
 1.60m.
 Pilote para PDA Rehínea
 P.e. pilote: 37.11Pa

NOMBRE RESIDENTE: Jose Mesa T - Herson Oporio
 NOMBRE OPERADOR: Jhon Fredy Mesa

Vo.Bo. RESIDENTE:

Convenciones
 H: Altura de caída de la masa para el martillo hidráulico

P0012-b - 220903

Registro de campo para PDA N°002, hace parte del grupo de análisis N°002 (Precomprimidos S.A, 2013).

PDA N° 003
 Hinc. 08/09/2013 h= 14.60m
 Rehínc. 17/09/2013.

Sector OutFeterior
 Se Asigna Perfil Estático 2.

DISTANCIA EXISTENTE entre Perforaciones PDA = 12.97m

REGISTRO DE HINCADO DE ELEMENTOS



NOMBRE DE LA OBRA				CC 21872				FECHA DE HINCA			
PILOTAJE UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA - APARTADO								Día Mes Año 08 09 13			
No consecutivo de Hincado Pueba 003	Diámetro (cm) 0.4	Longitud (m) 16	FABRICACIÓN				GRUA		MARTILLO		
			Número 22654	Día 20	Mes 09	Año 2012	JUNTTAN PM 20 No1		JUNTTAN HHK-5		
Longitud hincada (m)	No de golpes / 20cm	Altura de caída H (cm)	Longitud hincada (m)	No de golpes / 20cm	Altura de caída H (cm)	Longitud hincada (m)	No de golpes / 20cm	Altura de caída H (cm)	Longitud hincada (m)	No de golpes / 20cm	Altura de caída H (cm)
0,20	1	20	5,20	1		10,20	4		15,20		
0,40	1		5,40	1		10,40	4		15,40		
0,60	1		5,60	1		10,60	5		15,60		
0,80	1		5,80	3		10,80	4		15,80		
1,00	1		6,00	5		11,00	4		16,00		
1,20	1		6,20	5		11,20	5		16,20		
1,40	1		6,40	5		11,40	5		16,40		
1,60	1		6,60	5		11,60	5		16,60		
1,80	1		6,80	4		11,80	5		16,80		
2,00	1		7,00	4		12,00	5		17,00		
2,20	2		7,20	3		12,20	5		17,20		
2,40	4		7,40	3		12,40	5		17,40		
2,60	6		7,60	2		12,60	7		17,60		
2,80	7		7,80	3		12,80	9	40	17,80		
3,00	7		8,00	3		13,00	8		18,00		
3,20	7		8,20	3		13,20	7		18,20		
3,40	8		8,40	3		13,40	8		18,40		
3,60	4		8,60	3		13,60	8		18,60		
3,80	4		8,80	3		13,80	10		18,80		
4,00	4		9,00	3		14,00	10		19,00		
4,20	4		9,20	4		14,20	9		19,20		
4,40	4		9,40	5		14,40	9		19,40		
4,60	3		9,60	9		14,60	5		19,60		
4,80	1		9,80	8		14,80			19,80		
5,00	1		10,00	10		15,00			20,00		

UBICACION EN EL PLANO
 Columna C-12
 Eje D-13
 Según Plano Emportiz Camerinos
 Eje D-13
 Columna C12
 - Hincado 08/09/13
 - Rehínc. Rehínc.

OBSERVACIONES :
 Libre para la Rehínc. 1,50m
 Fie Pilot: 37,5 MPa
 10m

NOMBRE RESIDENTE : Jose Mesa T - *Hernán J. Osorio*
NOMBRE OPERADOR : Jhon Fredy Mesa

Vo.Bo. RESIDENTE :

Convenciones
 H. Altura de caída de la masa para el martillo hidráulico

Registro de campo para PDA N°003, hace parte del grupo de análisis N°003 (Precomprimidos S.A, 2013).

PDA N° 004.
 perforación asociada N° 001.
 Grupo Analisis A.

REGISTRO DE HINCADO DE ELEMENTOS														
NOMBRE DE LA OBRA: PILOTAJE UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA SEDE APARTADO										FECHA DE HINCA			UBICACIÓN EN EL PLANO	
										Día	Mes	Año	Columna C-42	
										08	09	13	EJE A-6	
No de consecutivo de hincado	Diámetro (cm)	Longitud (m)	FABRICACIÓN				GRUA	MARTILLO						
			Número	Día	Mes	Año								
Rocba 004	0.4	14	30206	24	01	2013	JUNTAN PM 20 No 1	JUNTAN HM-5	Según Plano ensayo #L 1					
Longitud hincada (m)	No golpes/20cm	Altura de cada h (cm)	Longitud hincada (m)	No golpes/20cm	Altura de cada h (cm)	Longitud hincada (m)	No golpes/20cm	Altura de cada h (cm)	Longitud hincada (m)	No golpes/20cm	Altura de cada h (cm)			
0.2	1	20	0.2	1		10.2	6	40	15.2					
0.4	1	20	0.4	1		10.4	6		15.4					
0.6	1	20	0.6	1		10.6	5		15.6					
0.8	1	20	0.8	1		10.8	5		15.8					
1	1	20	1	1		11	5		16					
1.2	1	20	1.2	2		11.2	6		16.2					
1.4	1	20	1.4	2		11.4	6		16.4					
1.6	1	20	1.6	2		11.6	6		16.6					
1.8	1	20	1.8	2		11.8	7		16.8					
2	1	20	2	2		12	7		17					
2.2	1	20	2.2	3		12.2	7		17.2					
2.4	1	20	2.4	4		12.4	8		17.4					
2.6	1	20	2.6	4		12.6	8	40	17.6					
2.8	1	20	2.8	4		12.8	17	20	17.8					
3	1	20	3	4		13	17	20	18					
3.2	1	20	3.2	4		13.2	16		18.2					
3.4	1	20	3.4	6		13.4	19		18.4					
3.6	1	20	3.6	6		13.6	23		18.6					
3.8	1	20	3.8	7		13.8	24	20	18.8					
4	1	20	4	9	20	14			19					
4.2	1	20	4.2	12	40	14.2			19.2					
4.4	1	20	4.4	13	40	14.4			19.4					
4.6	1	20	4.6	9	40	14.6			19.6					
4.8	1	20	4.8	6	40	14.8			19.8					
5	1	20	5	5	40	15			20					

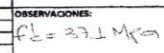
Observaciones:
 libro para hincado
 Rehnado: 1.20m
 Fc pilote = 39Mpa

NOMBRE DEL RESIDENTE: Heron Osorio	Vo.Bo. RESIDENTE:
NOMBRE DEL OPERADOR: Ivan Fiedy Mesa	

Registro de campo para PDA N°004, hace parte del grupo de análisis N°004 (Precomprimidos S.A, 2013).

Grupo analisis 5

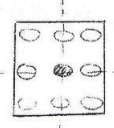
REGISTRO DE HINCADO DE ELEMENTOS											
NOMBRE DE LA OBRA: PILOTAJE UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA SEDE APARTADO						FECHA DE HINCA			UBICACIÓN EN EL PLANO columna C25 Eje F+19 Área laboratorios		
						Día	Mes	Año			
						7			09 2013		
No de consecutivo de Hincado	Dímetro (cm)	Longitud (m)	FABRICACIÓN				GRUJA	MARTILLO			
			Número	Día	Mes	Año	JUNTTAN PM 20 No 1	JUNTTAN HME-5			
Longitud hincada (m)	No golpes/ 20cm	Altura de cada h (cm)	Longitud hincada (m)	No golpes/ 20cm	Altura de cada h (cm)	Longitud hincada (m)	No golpes/ 20cm	Altura de cada h (cm)	Longitud hincada (m)	No golpes/ 20cm	Altura de cada h (cm)
0,2	1	20	5,2	1	10	20,2	5	40	15,2	13	80
0,4	1	20	5,4	2	10	20,4	5	40	15,4	15	80
0,6	1	20	5,6	3	10	20,6	5	40	15,6	11	80
0,8	1	20	5,8	4	10	20,8	5	40	15,8	9	80
1	1	20	6	5	10	21	5	40	16	9	80
1,2	1	20	6,2	5	10	21,2	5	40	16,2	10	80
1,4	1	20	6,4	4	10	21,4	5	40	16,4	9	80
1,6	1	20	6,6	5	10	21,6	5	40	16,6		
1,8	1	20	6,8	5	10	21,8	5	40	16,8		
2	1	20	7	5	10	22	5	40	17		
2,2	1	20	7,2	5	10	22,2	5	40	17,2		
2,4	1	20	7,4	5	10	22,4	5	40	17,4		
2,6	1	20	7,6	5	10	22,6	5	40	17,6		
2,8	1	20	7,8	5	10	22,8	5	40	17,8		
3	1	20	8	5	10	23	5	40	18		
3,2	1	20	8,2	5	10	23,2	5	40	18,2		
3,4	1	20	8,4	5	10	23,4	5	40	18,4		
3,6	1	20	8,6	5	10	23,6	5	40	18,6		
3,8	1	20	8,8	5	10	23,8	5	40	18,8		
4	1	20	9	5	10	24	5	40	19		
4,2	1	20	9,2	12	10	24,2	12	40	19,2		
4,4	1	20	9,4	12	10	24,4	14	40	19,4		
4,6	1	20	9,6	12	10	24,6	10	40	19,6		
4,8	1	20	9,8	14	10	24,8	12	40	19,8		
5	1	20	10	6	10	25	14	40	20		
NOMBRE DEL RESIDENTE: Heiby Fernando Fajó						Vo.Bo. RESIDENTE:					
NOMBRE DEL OPERADOR: Jhon Freddy Mesa											



OBSERVACIONES:
f_{ck} = 37,1 Mpa

Registro de campo para PDA N°008, hace parte del grupo de análisis N°005 (Precomprimidos S.A, 2013).

Grupo Analisis 6.

REGISTRO DE HINCADO DE ELEMENTOS													
NOMBRE DE LA OBRA: PILOTAJE UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA SEDE APARTADO										FECHA DE HINCA		UBICACIÓN EN EL PLANO	
										Día	Mes		Año
										17	09	2013	Archivo columna B Eje B-A 
No de consecutivo de hincado	Dímetro (cm)	Longitud (m)	FABRICACIÓN				GRUA	MARTILLO					
Pueden ser	0.4	14	Número	Día	Mes	Año	JUNTYAN PM 20 No 1	JUNTYAN HMCS					
Longitud hincada (m)	No golpes/20cm	Altura de cada h (cm)	Longitud hincada (m)	No golpes/20cm	Altura de cada h (cm)	Longitud hincada (m)	No golpes/20cm	Altura de cada h (cm)	Longitud hincada (m)	No golpes/20cm	Altura de cada h (cm)		
0.2	1	20	9.2	1	20	10.2	2	20	15.2				
0.4	1	4	9.4	1	20	10.4	2	20	15.4				
0.6	1	4	9.6	1	20	10.6	2	20	15.6				
0.8	1	4	9.8	1	20	10.8	2	20	15.8				
1	1	4	10	1	20	11	2	20	16				
1.2	1	4	10.2	1	20	11.2	2	20	16.2				
1.4	1	4	10.4	1	20	11.4	2	20	16.4				
1.6	1	4	10.6	1	20	11.6	2	20	16.6				
1.8	1	4	10.8	1	20	11.8	2	20	16.8				
2	1	4	11	1	20	12	2	20	17				
2.2	1	4	11.2	1	20	12.2	2	20	17.2				
2.4	1	4	11.4	1	20	12.4	2	20	17.4				
2.6	1	4	11.6	1	20	12.6	2	20	17.6				
2.8	1	4	11.8	1	20	12.8	2	20	17.8				
3	1	4	12	1	20	13	2	20	18				
3.2	1	4	12.2	1	20	13.2	2	20	18.2				
3.4	1	4	12.4	1	20	13.4	2	20	18.4				
3.6	1	4	12.6	1	20	13.6	2	20	18.6				
3.8	1	4	12.8	1	20	13.8	2	20	18.8				
4	1	4	13	1	20	14	2	20	19				
4.2	1	4	13.2	1	20	14.2	2	20	19.2				
4.4	1	4	13.4	1	20	14.4	2	20	19.4				
4.6	1	4	13.6	1	20	14.6	2	20	19.6				
4.8	1	4	13.8	1	20	14.8	2	20	19.8				
5	1	4	14	1	20	15	2	20	20				
NOMBRE DEL RESIDENTE: <i>Alejo Fernando Tapia</i>										Vo.Bo. RESIDENTE:			
NOMBRE DEL OPERADOR: <i>Jhon Freddy Mesa</i>													

Registro de campo para PDA N°006, hace parte del grupo de análisis N°006 (Precomprimidos

S.A, 2013).



PERFIL N° 1

INGENIERÍA Y LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS LIMITADA.

MT. 900248006 - 1

OBRA: CONSTRUCCION SEDE UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA APARTADO ANTIOQUIA
 CLIENTE: UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
 RESPONSABLE: JUAN GUILLERMO OCHOA
 LOCALIZACIÓN: MUNICIPIO DE APARTADO ANTIOQUIA
 FECHA:

PROFUNDIDAD (m)	MUESTRA	Método	Círculo 30cm (Estandar)	Suelo	Nivel freático (m)	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	CURVA DE EVOLUCIÓN ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (Prof vs N° de Golpes)	N. Humedad	Peso Unitario Seco (kg/m³)	Compresión Simple (kg/cm²)	Límites Líquido	Índice Plástico	Límite de contracción (%)	Clasificación USC	Clasificación AASHTO	Índice de grupo	GRANULOMETRÍA que pasa (%)			
																	N° 4	N° 10	N° 40	N° 200
0.30	1	PALA				ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD DE COLOR CAFÉ														
0.90	2	SHELBY				ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD DE COLOR CAFÉ														
1.01	3	CUCHARA	3		5.40	ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD DE COLOR CAFÉ		31.6			26	12		CL	A-6	8	100	100	99.8	85.8
1.50	4	SHELBY				ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD DE COLOR CAFÉ														
2.39	5	CUCHARA	3			ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD DE COLOR CAFÉ		35.1			36	10	18.95	CL	A-6	10	100	100	99.5	70.8
2.70	6	CUCHARA	4			ARENA LIMOSA DE COLOR CAFÉ		26.9	2.050		NL	NP		SM	A-2-4	0	100	100	91.7	29.6
3.19	7	CUCHARA	3			NO SE RECUPERO MUESTRA														
3.88	8	CUCHARA	4			ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD DE COLOR CAFÉ Y GRIS														
4.24	9	CUCHARA	4			ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD DE COLOR CAFÉ Y GRIS		30.2			19	4		CL	A-4	5	100	100	96.4	60.4
4.78	10	CUCHARA	3			ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD DE COLOR CAFÉ Y GRIS														
5.26	11	SHELBY				ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD DE COLOR CAFÉ Y GRIS														
5.75	12	CUCHARA	4			ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD DE COLOR CAFÉ Y GRIS														
6.20	13	CUCHARA	4			ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD DE COLOR CAFÉ Y GRIS														
6.72	14	SHELBY				ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD DE COLOR CAFÉ Y GRIS		37			36	22	16.18	CL	A-6	13	100	99.8	96.9	84.8
7.15	15	CUCHARA	4			NO SE RECUPERO MUESTRA														
7.59	16	CUCHARA	6			ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD DE COLOR CAFÉ Y GRIS		35.7			29	18		CL	A-6	8	100	90.6	89.6	61.6
8.17	17	CUCHARA	5			ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD DE COLOR CAFÉ Y GRIS														
8.60	18	CUCHARA	13			ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD DE COLOR CAFÉ Y GRIS														
9.07	19	CUCHARA	21			ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD DE COLOR CAFÉ Y GRIS														
9.57	20	CUCHARA	11			ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD DE COLOR CAFÉ Y GRIS		37.0			23	11		CL	A-6	4	100	99.5	88.4	55.1
10.04	21	CUCHARA	9			ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD DE COLOR CAFÉ Y GRIS														
10.58	22	CUCHARA	7			ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD DE COLOR CAFÉ Y GRIS														
11.06	23	CUCHARA	7			ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD DE COLOR CAFÉ Y GRIS														
11.57	24	CUCHARA	8			ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD DE COLOR CAFÉ Y GRIS		40.4			31	17		CL	A-6	8	100	100	95.3	65.3
12.07	25	CUCHARA	8			NO SE RECUPERO MUESTRA														



PERFIL N° 1

INGENIERÍA Y LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS LIMITADA.

MT. 900248006 - 1

OBRA: CONSTRUCCION SEDE UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA APARTADO ANTIOQUIA
 CLIENTE: UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
 RESPONSABLE: JUAN GUILLERMO OCHOA
 LOCALIZACIÓN: MUNICIPIO DE APARTADO ANTIOQUIA
 FECHA:

PROFUNDIDAD (m)	MUESTRA	Método	Círculo 30cm (Estandar)	Suelo	Nivel freático (m)	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	CURVA DE EVOLUCIÓN ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (Prof vs N° de Golpes)	N. Humedad	Peso Unitario Seco (kg/m³)	Compresión Simple (kg/cm²)	Límites Líquido	Índice Plástico	Límite de contracción (%)	Clasificación USC	Clasificación AASHTO	Índice de grupo	GRANULOMETRÍA que pasa (%)			
																	N° 4	N° 10	N° 40	N° 200
12.96	26	CUCHARA	14			ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD DE COLOR CAFÉ Y GRIS		34.6			26	14		CL	A-6	7	100	100	95.6	65.6
13.01	27	CUCHARA	15			ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD DE COLOR CAFÉ Y GRIS														
13.50	28	CUCHARA	6			ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD DE COLOR CAFÉ Y GRIS														
13.97	29	CUCHARA	7			ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD DE COLOR CAFÉ Y GRIS														
14.49	30	CUCHARA	12			ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD DE COLOR CAFÉ Y GRIS														
14.97	31	CUCHARA	17			ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD DE COLOR CAFÉ Y GRIS														
15.50	32	CUCHARA	17			ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD DE COLOR CAFÉ Y GRIS														
16.04	33	CUCHARA	14			ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD DE COLOR CAFÉ Y GRIS		27.1			20	6		CL	A-4	4	100	100	95.2	53.4
16.50	34	CUCHARA	9			ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD DE COLOR CAFÉ Y GRIS														
17.09	35	CUCHARA	14			NO SE RECUPERO MUESTRA														
17.58	36	CUCHARA	34			ARENA LIMOSA DE COLOR CAFÉ Y GRIS														
18.06	37	CUCHARA	21			ARENA LIMOSA DE COLOR CAFÉ Y GRIS														
18.61	38	CUCHARA	40			ARENA LIMOSA DE COLOR CAFÉ Y GRIS														
19.08	39	CUCHARA	102			ARENA LIMOSA DE COLOR CAFÉ Y GRIS		23.1	2.251		NL	NP		SM	A-2-4	0	98.1	97.0	82.0	27.1

REALIZO: MARIO MONTENEGRO LABORATORISTA

REVISO: EDELIN PALACIOS MENA INGENIERO CIVIL

Registro de campo para SPT N°001 (Labsuelos Ltda, 2012).



PERFIL N° 2B

INGENIERÍA Y LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS LIMITADA.

NT. 9002/8006 - 1

OBRA: CONSTRUCCION SEDE UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA APARTADO ANTIOQUIA
 CLIENTE: UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
 RESPONSABLE: JUAN GUILLERMO OCHOA
 LOCALIZACIÓN: MUNICIPIO DE APARTADO ANTIOQUIA
 FECHA:

PROFUNDIDAD (m)	MUESTRA	Muestreador	Código SPTm Standard	Sondeo	Nivel (metros) (m)	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	CURVA DE EVOLUCIÓN ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (Prof vs Nº de Golpes)	% Humedad	Peso Unitario Seco (kg/m ³)	Composición SPTm (kg/cm ²)	Límite Líquido	Índice Plasticidad	Límite de contracción (%)	Clasificación USBC	Clasificación ASHTO	Índice de grupo	GRANULOMETRÍA que pasa (%)				
																	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 200	
0.30	1	PALA				ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD, DE COLOR CAFÉ		29.5			40.3	16	13.56	C L	A-7-6	10	100	100	100	86.1	
0.50	2	CUCHARA	4			ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD, DE COLOR CAFÉ															
1.10	3	CUCHARA	4			ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD, DE COLOR CAFÉ															
1.30	3	CUCHARA	4			ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD, DE COLOR CAFÉ															
1.50	4	CUCHARA	3			ARENA LIMOSA, DE COLOR CAFÉ		21.6	2.440		NL	NP		SM	A-2-4	0	100	100	74.0	7.4	
2.10	5	CUCHARA	5		2.25	ARENA LIMOSA, DE COLOR CAFÉ															
2.30	6	CUCHARA	7			ARENA LIMOSA, DE COLOR GRIS															
2.50	6	CUCHARA	7			ARENA LIMOSA, DE COLOR GRIS															
3.17	7	CUCHARA	4			ARENA LIMOSA, DE COLOR GRIS															
3.37	8	CUCHARA	3			ARENA LIMOSA, DE COLOR CAFÉ															
3.57	8	CUCHARA	3			ARENA LIMOSA, DE COLOR CAFÉ															
4.28	9	CUCHARA	3			ARENA LIMOSA, DE COLOR GRIS															
4.38	9	CUCHARA	3			ARENA LIMOSA, DE COLOR GRIS															
4.74	10	CUCHARA	4			ARENA LIMOSA, DE COLOR GRIS Y CAFÉ															
4.74	10	CUCHARA	4			ARENA LIMOSA, DE COLOR GRIS Y CAFÉ															
5.26	11	CUCHARA	8			ARENA LIMOSA, DE COLOR GRIS Y CAFÉ		24.0	2.511		N.L	N.P		SM	A-2-4	0	100	100	92.0	7.7	
6.73	12	CUCHARA	16			ARENA LIMOSA, DE COLOR GRIS															
6.73	12	CUCHARA	16			ARENA LIMOSA, DE COLOR GRIS															
6.93	13	CUCHARA	7			ARENA LIMOSA, DE COLOR GRIS															
6.93	13	CUCHARA	7			ARENA LIMOSA, DE COLOR GRIS															
7.10	14	CUCHARA	11			ARENA LIMOSA, DE COLOR GRIS															
7.10	14	CUCHARA	11			ARENA LIMOSA, DE COLOR GRIS															
7.30	15	CUCHARA	16			ARENA LIMOSA, DE COLOR GRIS		14.4			N.L	N.P		SM	A-2-4	0	98	89	46	15.3	
7.30	15	CUCHARA	16			ARENA LIMOSA, DE COLOR GRIS		14.4			N.L	N.P		SM	A-2-4	0	98	89	46	15.3	
8.07	16	CUCHARA	22			ARENA LIMOSA, DE COLOR GRIS															
8.07	16	CUCHARA	22			ARENA LIMOSA, DE COLOR GRIS															
8.07	17	CUCHARA	20			ARENA LIMOSA, DE COLOR GRIS															
8.07	17	CUCHARA	20			ARENA LIMOSA, DE COLOR GRIS															
8.96	18	CUCHARA	18			ARENA LIMOSA, DE COLOR GRIS															
8.96	18	CUCHARA	18			ARENA LIMOSA, DE COLOR GRIS															
9.02	19	CUCHARA	24			ARENA LIMOSA, DE COLOR GRIS															
9.02	19	CUCHARA	24			ARENA LIMOSA, DE COLOR GRIS															
9.51	20	CUCHARA	15			ARENA LIMOSA, DE COLOR GRIS															
9.51	20	CUCHARA	15			ARENA LIMOSA, DE COLOR GRIS															
9.90	21	CUCHARA	18			ARENA LIMOSA, DE COLOR GRIS															
9.90	21	CUCHARA	18			ARENA LIMOSA, DE COLOR GRIS															
10.39	22	CUCHARA	23			ARENA LIMOSA, DE COLOR GRIS		12.7			N.L	N.P		SM	A-2-4	0	97	88.0	41.0	13.3	
10.39	22	CUCHARA	23			ARENA LIMOSA, DE COLOR GRIS		12.7			N.L	N.P		SM	A-2-4	0	97	88.0	41.0	13.3	
10.84	23	CUCHARA	16			ARENA LIMOSA, DE COLOR GRIS															
10.84	23	CUCHARA	16			ARENA LIMOSA, DE COLOR GRIS															
11.41	24	CUCHARA	18			ARENA LIMOSA, DE COLOR GRIS															
11.41	24	CUCHARA	18			ARENA LIMOSA, DE COLOR GRIS															
11.84	25	CUCHARA	14			ARENA LIMOSA, DE COLOR GRIS		15.8			N.L	N.P		SM	A-2-4	0	99	94.0	73.0	20.1	
11.84	25	CUCHARA	14			ARENA LIMOSA, DE COLOR GRIS		15.8			N.L	N.P		SM	A-2-4	0	99	94.0	73.0	20.1	



PERFIL N° 2B

INGENIERÍA Y LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS LIMITADA.

NT. 9002/8006 - 1

OBRA: CONSTRUCCION SEDE UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA APARTADO ANTIOQUIA
 CLIENTE: UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
 RESPONSABLE: JUAN GUILLERMO OCHOA
 LOCALIZACIÓN: MUNICIPIO DE APARTADO ANTIOQUIA
 FECHA:

PROFUNDIDAD (m)	MUESTRA	Muestreador	Código SPTm Standard	Sondeo	Nivel (metros) (m)	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	CURVA DE EVOLUCIÓN ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (Prof vs Nº de Golpes)	% Humedad	Peso Unitario Seco (kg/m ³)	Composición SPTm (kg/cm ²)	Límite Líquido	Índice Plasticidad	Límite de contracción (%)	Clasificación USBC	Clasificación ASHTO	Índice de grupo	GRANULOMETRÍA que pasa (%)				
																	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 200	
12.41	26	CUCHARA	30			ARENA LIMOSA, DE COLOR GRIS															
12.67	27	CUCHARA	54			ARENA LIMOSA, DE COLOR GRIS															
13.34	28	CUCHARA	65			ARENA LIMOSA, DE COLOR GRIS		16.4			N.L	N.P		SM	A-2-4	0	99	96	79.0	30.9	
13.34	28	CUCHARA	65			ARENA LIMOSA, DE COLOR GRIS		16.4			N.L	N.P		SM	A-2-4	0	99	96	79.0	30.9	

REALIZO: MARIO MONTENEGRO
LABORATORISTA

REVISO: EDELIN PALACIOS MENA
INGENIERO CIVIL

Registro de campo para SPT N°002 (Labsuelos Ltda, 2012).



PERFIL Nº 3

INGENIERÍA Y LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS LIMITADA.

NIT. 900218008 - 1

OBRA: CONSTRUCCION SEDE UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA APARTADO ANTIOQUIA
 CLIENTE: UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
 RESPONSABLE: JUAN GUILLERMO OCHOA
 LOCALIZACIÓN: MUNICIPIO DE APARTADO ANTIOQUIA
 FECHA:

PROFUNDIDAD (m)	MUESTRA	Muestreador	Calibre Stem Standard	Brazo	Nivel (m sobre c/a)	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	CURVA DE EVOLUCIÓN ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (Prof vs Nº de Golpes)	% Humedad	Peso Líquido Seco (g/gram)	Compresión Simple (kg/cm²)	Límite Líquido	Índice Plástico	Límite de Contracción (%)	Clasificación USC	Clasificación ASHTO	Índice de grupo	GRANULOMETRÍA (% que pasa)				
																	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 200	
0.00	1	PALA				ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD, DE COLOR CAFÉ		30.4			32	18		C L	A-6	10	100	100	100	82.0	
0.50	2	SHELBY	2			ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD, DE COLOR CAFÉ															
1.15	3	CUCHARA	3			ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD, DE COLOR CAFÉ															
1.59	4	SHELBY	4		1.80	ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD, DE COLOR CAFÉ															
2.01	5	CUCHARA	2			ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD, DE COLOR CAFÉ															
2.59	6	SHELBY				ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD, DE COLOR CAFÉ		41.5	1.178	0.55	43	28	12.40	CL	A-7-6	15	100	100	100	99.5	
3.08	7	CUCHARA	2			ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD, DE COLOR CAFÉ															
3.50	8	CUCHARA	1			ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD, DE COLOR CAFÉ															
4.07	9	CUCHARA	3			ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD, DE COLOR GRIS		45.6			48	29		CL	A-7-6	18	100	100	100	97.5	
4.57	10	SHELBY				ARCILLA INORGANICA DE ALTA PLASTICIDAD, DE COLOR GRIS		57.6	1.209	0.30	59	37		CH	A-7-6	20	100	100	100	98.0	
5.05	11	CUCHARA	3			ARCILLA INORGANICA DE ALTA PLASTICIDAD, DE COLOR GRIS															
5.53	12	CUCHARA	4			ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD, DE COLOR GRIS															
6.01	13	CUCHARA	5			ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD, DE COLOR GRIS		58.2			32	12	23.18	CL	A-6	8	100	100	99.8	89.8	
6.52	14	CUCHARA	3			ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD, DE COLOR GRIS															
7.01	15	CUCHARA	6			ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD, DE COLOR GRIS															
7.57	16	SHELBY				ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD, DE COLOR GRIS															
8.07	17	CUCHARA	6			ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD, DE COLOR GRIS															
8.58	18	SHELBY				ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD, DE COLOR GRIS															
9.04	19	CUCHARA	15			ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD, DE COLOR GRIS															
9.50	20	CUCHARA	20			ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD, DE COLOR GRIS															
9.95	21	CUCHARA	19			ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD, DE COLOR GRIS															
10.43	22	CUCHARA	14			ARENA ARCILLOSA DE COLOR GRIS															
10.94	23	CUCHARA	20			ARENA ARCILLOSA DE COLOR GRIS		26.8			25	10		SC	A-4	1	100	100	98.2	40.5	
11.43	24	CUCHARA	14			ARENA ARCILLOSA DE COLOR GRIS															

PROFUNDIDAD (m)	MUESTRA	Muestreador	Calibre Stem Standard	Brazo	Nivel (m sobre c/a)	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	CURVA DE EVOLUCIÓN ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (Prof vs Nº de Golpes)	% Humedad	Peso Líquido Seco (g/gram)	Compresión Simple (kg/cm²)	Límite Líquido	Índice Plástico	Límite de Contracción (%)	Clasificación USC	Clasificación ASHTO	Índice de grupo	GRANULOMETRÍA (% que pasa)				
																	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 200	
11.80	25	CUCHARA	15			ARENA LIMOSA DE COLOR GRIS															
12.34	26	CUCHARA	18			ARENA LIMOSA DE COLOR GRIS															
12.86	27	CUCHARA	12			ARENA LIMOSA DE COLOR GRIS															
13.32	28	CUCHARA	15			ARENA LIMOSA DE COLOR GRIS		28.8			NL	NP		SM	A-2-4	0	100	100	98.3	32.8	
13.79	29	CUCHARA	12			ARENA LIMOSA DE COLOR GRIS															
14.25	30	CUCHARA	16			ARENA LIMOSA DE COLOR GRIS															
14.74	31	CUCHARA	29			ARENA LIMOSA DE COLOR GRIS		21.5	0.640		NL	NP		SM	A-2-4	0	100	100	90.8	32.0	
15.22	32	CUCHARA	80			ARENA LIMOSA DE COLOR GRIS		20.5	0.650		NL	NP		SM	A-2-4	0	100	99	87.7	17.5	

REALIZO: MARIO MONTENEGRO LABORATORISTA

REVISO:

EDELIN PALACIOS MENA INGENIERO CIVIL

Registro de campo para SPT N°003 (Labsuelos Ltda, 2012).



PERFIL N° 5

INGENIERÍA Y LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS LIMITADA.

NIT. 900548600 - 1

OBRA: CONSTRUCCIÓN SEDE UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA APARTADO ANTIOQUIA
 CLIENTE: UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
 RESPONSABLE: JUAN GUILLERMO OCHOA
 LOCALIZACIÓN: MUNICIPIO DE APARTADO ANTIOQUIA
 FECHA:

PROFUNDIDAD (m)	MUESTRA	Muestreador	Diámetro 30cm Standard	SPT (blows)	Nivel (metros) (m)	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	CURVA DE EVOLUCIÓN ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (Prof vs N° de Golpes)	% Humedad	Peso Unitario Seco (kg/m ³)	Compresión Simple (kg/cm ²)	Límite Líquido	Índice Plástico	Límite de contracción (%)	Clasificación USC	Clasificación AASHTO	Índice de grupo	GRANULOMETRÍA que pasa (%)			
																	N° 4	N° 10	N° 40	N° 200
0.00	1	PALA				LIMOS INORGÁNICOS ARENOSOS, DE COLOR CAFÉ		28.8			32.4	24		CL	A-4	8	100	100	99.8	75.2
0.20	2	CUCHARA	2			LIMOS INORGÁNICOS ARENOSOS, DE COLOR CAFÉ		29.1			26.5	20		CL	A-4	7	100	100	99.6	79.8
1.15	3	CUCHARA	4			LIMOS INORGÁNICOS ARENOSOS, DE COLOR CAFÉ														
1.80	4	CUCHARA	5			ARCILLA INORGÁNICA, DE COLOR CAFÉ														
2.00	5	CUCHARA	6		3.30	ARCILLA INORGÁNICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD, DE COLOR CAFÉ		43.6			49.6	28		CL	A-7-6	21	100	100	99.6	95.6
2.25	6	CUCHARA	2			ARCILLA INORGÁNICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD, DE COLOR CAFÉ														
2.70	7	CUCHARA	3			ARCILLA INORGÁNICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD, DE COLOR CAFÉ														
3.30	8	CUCHARA	2			NO SE RECUPERÓ MUESTRA														
3.90	9	CUCHARA	4			ARCILLA INORGÁNICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD DE COLOR CAFÉ Y GRIS														
4.20	10	CUCHARA	1			NO SE RECUPERÓ MUESTRA														
4.35	11	CUCHARA	4			ARCILLA INORGÁNICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD, DE COLOR CAFÉ Y GRIS		43.5			38	26	19.53	CL	A-6	12	100	100.0	99.7	94.9
4.50	12	SHELBY																		
4.50	13	CUCHARA	1			NO SE RECUPERÓ MUESTRA														
4.65	14	CUCHARA	8			ARCILLA INORGÁNICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD, DE COLOR CAFÉ														
4.90	15	SHELBY																		
5.25	16	CUCHARA	4			ARCILLA INORGÁNICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD, DE COLOR CAFÉ														
5.40	17	SHELBY																		
5.64	18	CUCHARA	9			ARCILLA INORGÁNICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD, DE COLOR CAFÉ														
5.90	19	SHELBY																		
6.40	20	CUCHARA	12			ARCILLA INORGÁNICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD, DE COLOR CAFÉ Y GRIS														
6.50	21	CUCHARA	5			ARENA ARCILOSA		38.8			41.4	23		SC	A-2-7	19	100	100.0	98.0	34.2
7.00	22	SHELBY																		
7.30	23	CUCHARA	6			ARCILLA INORGÁNICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD, DE COLOR CAFÉ Y GRIS														
7.35	24	SHELBY																		

PROFUNDIDAD (m)	MUESTRA	Muestreador	Diámetro 30cm Standard	SPT (blows)	Nivel (metros) (m)	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	CURVA DE EVOLUCIÓN ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (Prof vs N° de Golpes)	% Humedad	Peso Unitario Seco (kg/m ³)	Compresión Simple (kg/cm ²)	Límite Líquido	Índice Plástico	Límite de contracción (%)	Clasificación USC	Clasificación AASHTO	Índice de grupo	GRANULOMETRÍA que pasa (%)			
																	N° 4	N° 10	N° 40	N° 200
11.50	25	CUCHARA	14			LIMO ARENOSO, DE COLOR GRIS		26.5			NL	NP		ML	A-4	0	100	100	99.7	80.0
12.30	26	CUCHARA	16			LIMO ARENOSO, DE COLOR GRIS														
12.80	27	CUCHARA	13			LIMO ARENOSO, DE COLOR GRIS														
13.30	28	CUCHARA	20			ARENA LIMOSA, DE COLOR GRIS														
13.70	29	CUCHARA	12			ARENA LIMOSA, DE COLOR GRIS														
14.20	30	CUCHARA	20			ARENA LIMOSA, DE COLOR GRIS		25.6	0.626		NL	NP		SM	A-2-7	0	100	100	99.0	13.9
14.60	31	CUCHARA	25			ARENA LIMOSA, DE COLOR GRIS														
15.14	32	CUCHARA	33			ARENA LIMOSA, DE COLOR GRIS														
15.61	33	CUCHARA	45			LIMO INORGÁNICO, DE COLOR GRIS														
16.10	34	CUCHARA	80			LIMO INORGÁNICO, DE COLOR GRIS		27.4			NL	NP		ML	A-4	0	100	100	99.6	80.1

REALIZO: MARIO MONTENEGRO
 LABORATORISTA

REVISO: EDELIN PALACIOS MENA
 INGENIERO CIVIL

Registro de campo para SPT N°005 (Labsuelos Ltda, 2012).



PERFIL N° 6

INGENIERÍA Y LABORATORIO DE SIELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS LIMITADA.

NET. 900248006 - 1

OBRA: CONSTRUCCION SEDE UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA APARTADO ANTIOQUIA
 CLIENTE: UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
 RESPONSABLE: JUAN GUILLERMO OCHOA
 LOCALIZACIÓN: MUNICIPIO DE APARTADO ANTIOQUIA
 FECHA:

PROFUNDIDAD (m)	MUESTRA	Muestrador	Diámetro, 30mm Standard	Espesor	Nivel freático (m)	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	CURVA DE EVOLUCIÓN ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (Prof vs N° de Golpes)	N° Hamada	Peso Unitario Base (kg/m ³)	Compresión Simple (kg/cm ²)	Límite Líquido	Índice Plástico	Límite de contracción (%)	Clasificación USC	Clasificación ASHTO	Índice de grupo	GRANULOMETRÍA que pasa (%)				
																	N° 4	N° 10	N° 40	N° 200	
0,00	1	PALA				ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD, DE COLOR AMARILLA		27,5			31	9		CL	A-4	8	100	100	100,0	91,6	
0,20	2	CUCHARA	2			ARENA ARCILLOSA, DE COLOR CAFÉ															
0,50	3	CUCHARA	2			ARENA ARCILLOSA, DE COLOR CAFÉ															
1,00	4	CUCHARA	1	1,70		ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD, DE COLOR CAFÉ			45,7			41	18		CL	A-6	12	100	100	98,8	96,5
1,50	5	CUCHARA	2			ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD, DE COLOR CAFÉ															
2,00	6	CUCHARA	2			NO SE RECUPERO MUESTRA															
2,50	7	CUCHARA	2			ARENA ARCILLOSA, DE COLOR CAFÉ															
3,00	8	CUCHARA	1			NO SE RECUPERO MUESTRA															
3,50	9	CUCHARA	2			ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD, DE COLOR CAFÉ Y GRIS			48,8			31	5		CL	A-6	8	100	100,0	99,5	97,9
4,00	10	CUCHARA	2			ARCILLA LIMOSA, DE COLOR CAFÉ															
4,50	11	CUCHARA	2			ARCILLA LIMOSA, DE COLOR CAFÉ															
5,00	12	CUCHARA	4			NO SE RECUPERO MUESTRA															
5,50	13	CUCHARA	5			ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD, DE COLOR CAFÉ			30,4			30	7		CL	A-6	8	100	100	100	83,0
6,00	14	CUCHARA	4			ARENA LIMOSA, DE COLOR CAFÉ			26,6	0,661		NL	NP		SM	A-2-4	0	100	100	94,8	34,1
6,50	15	CUCHARA	4			ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD, DE COLOR CAFÉ															
7,00	16	CUCHARA	6			ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD, DE COLOR CAFÉ															
7,50	17	CUCHARA	9			ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD, DE COLOR CAFÉ															
8,00	18	CUCHARA	10			ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD, DE COLOR CAFÉ Y GRIS															
8,50	19	CUCHARA	12			ARENA LIMOSA, DE COLOR CAFÉ			40,6			NL	NP		SM	A-2-4	0	100	100	92,3	35,0
9,00	20	CUCHARA	6			ARENA LIMOSA, DE COLOR CAFÉ															
9,50	21	CUCHARA	7			ARENA LIMOSA, DE COLOR CAFÉ															
10,00	22	CUCHARA	11			ARENA LIMOSA, DE COLOR CAFÉ Y GRIS															

PROFUNDIDAD (m)	MUESTRA	Muestrador	Diámetro, 30mm Standard	Espesor	Nivel freático (m)	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	CURVA DE EVOLUCIÓN ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (Prof vs N° de Golpes)	N° Hamada	Peso Unitario Base (kg/m ³)	Compresión Simple (kg/cm ²)	Límite Líquido	Índice Plástico	Límite de contracción (%)	Clasificación USC	Clasificación ASHTO	Índice de grupo	GRANULOMETRÍA que pasa (%)				
																	N° 4	N° 10	N° 40	N° 200	
11,20	23	CUCHARA	6			ARENA LIMOSA, DE COLOR CAFÉ Y GRIS		31,6			NL	NP		SM	A-2-4	0	100	100	94,7	33,2	
11,70	24	CUCHARA	5			ARENA LIMOSA, DE COLOR CAFÉ Y GRIS															
12,17	25	CUCHARA				NO SE RECUPERO MUESTRA															
12,67	26	SHELLEY				ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD, DE COLOR CAFÉ			28,8			31	9		CL	A-6	8	100	100	98,9	79,7
13,14	27	CUCHARA	18			ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD, DE COLOR CAFÉ															
13,60	28	CUCHARA	24			ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD, DE COLOR GRIS															
14,11	29	CUCHARA	16			ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD, DE COLOR CAFÉ Y GRIS															
14,60	30	CUCHARA	6			ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD, DE COLOR CAFÉ Y GRIS															
15,09	31	CUCHARA	14			ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD, DE COLOR CAFÉ Y GRIS															
15,54	32	CUCHARA	9			ARENA LIMOSA, DE COLOR CAFÉ Y GRIS			32,8			NL	NP		SM	A-2-4	0	100	100	91,3	26,7
16,00	33	CUCHARA	17			ARENA LIMOSA, DE COLOR CAFÉ Y GRIS															
16,46	34	CUCHARA	17			ARENA LIMOSA, DE COLOR CAFÉ Y GRIS															
16,95	35	CUCHARA	20			ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD, DE COLOR GRIS															
17,40	36	CUCHARA	9			ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD, DE COLOR GRIS															
17,89	37	CUCHARA	21			ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD, DE COLOR GRIS			31,9			27	13		CL	A-6	8	100	100,0	99,8	85,9
18,38	38	CUCHARA	30			ARENA LIMOSA CON GRAVA, DE COLOR GRIS															
18,86	39	CUCHARA	62			ARENA LIMOSA CON GRAVA, DE COLOR GRIS															
19,30	40	CUCHARA	64			ARENA LIMOSA CON GRAVA, DE COLOR GRIS			21,6	0,654		NL	NP		SM	A-2-4	0	100	94,0	81,0	11,5

REALIZO: MARIO MONTENEGRO LABORATORISTA

REVISO: _____

EDELIN PALACIOS MENA INGENIERO CIVIL

Registro de campo para SPT N°006 (Labsuelos Ltda, 2012).

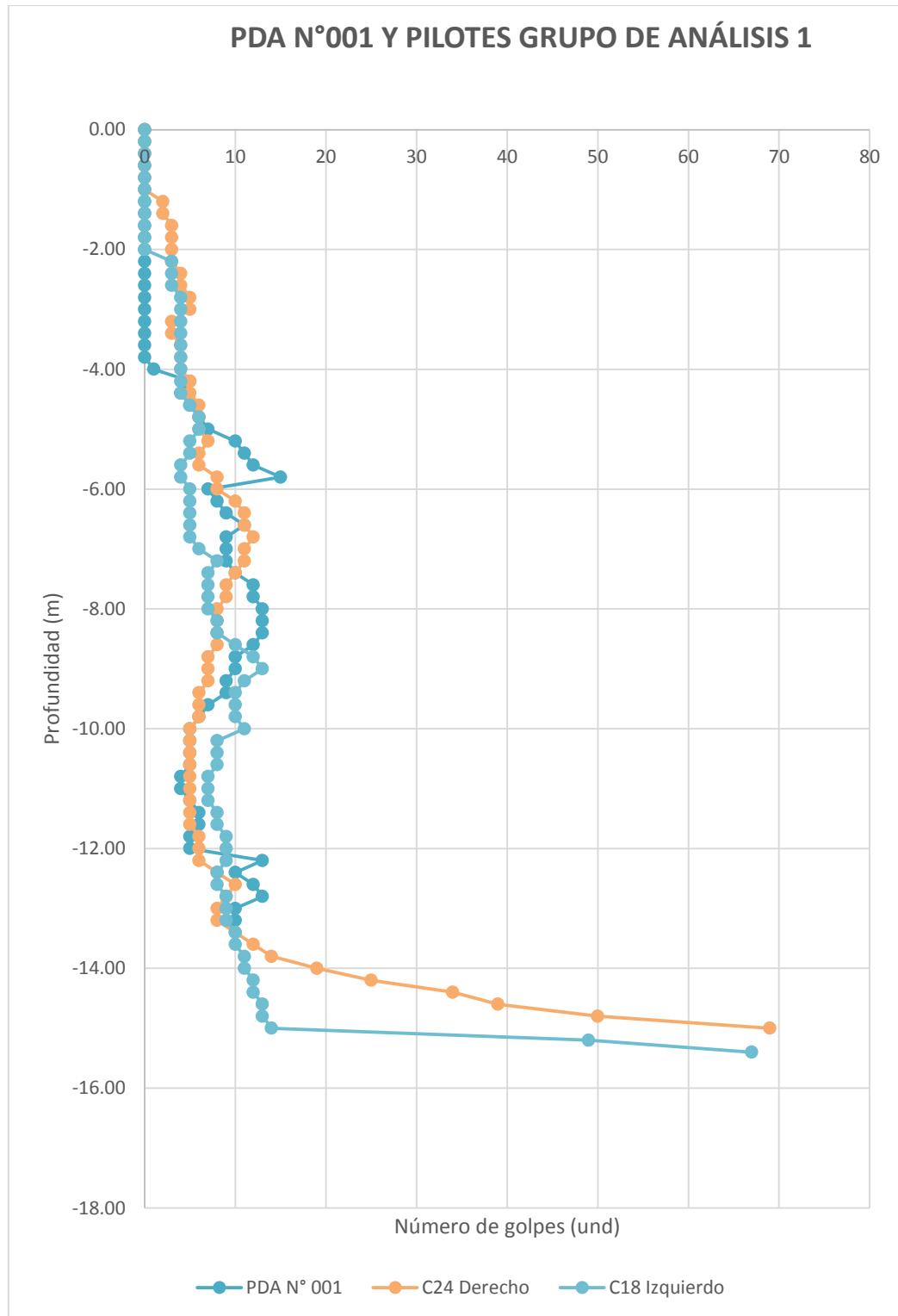


Diagrama de profundidad vs número de golpes grupo de análisis 1 (Verificación de capacidad de carga para pilotes hincados en suelos blandos, 2014)

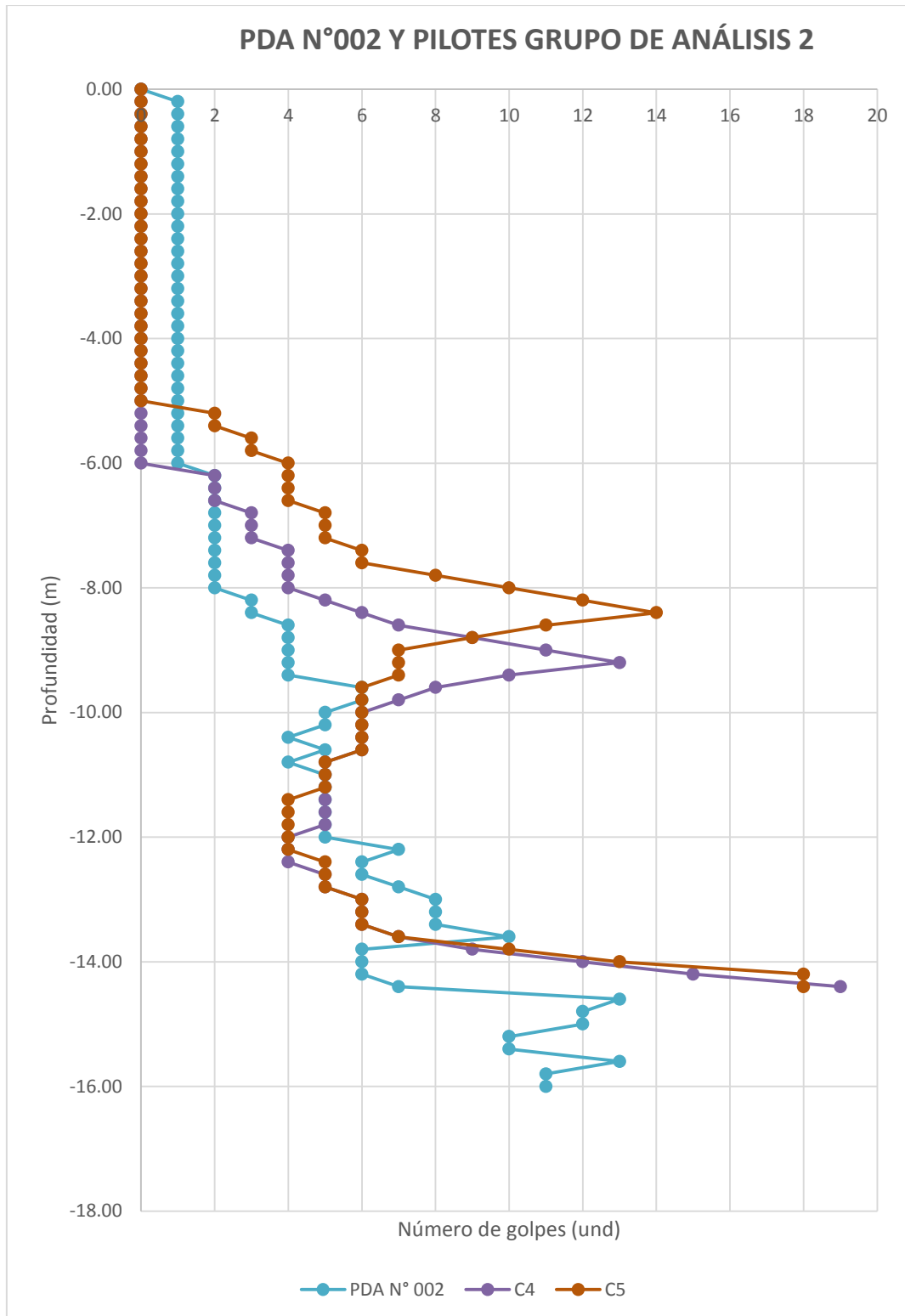


Diagrama de profundidad vs número de golpes grupo de análisis 2 (Verificación de capacidad de carga para pilotes hincados en suelos blandos, 2014)

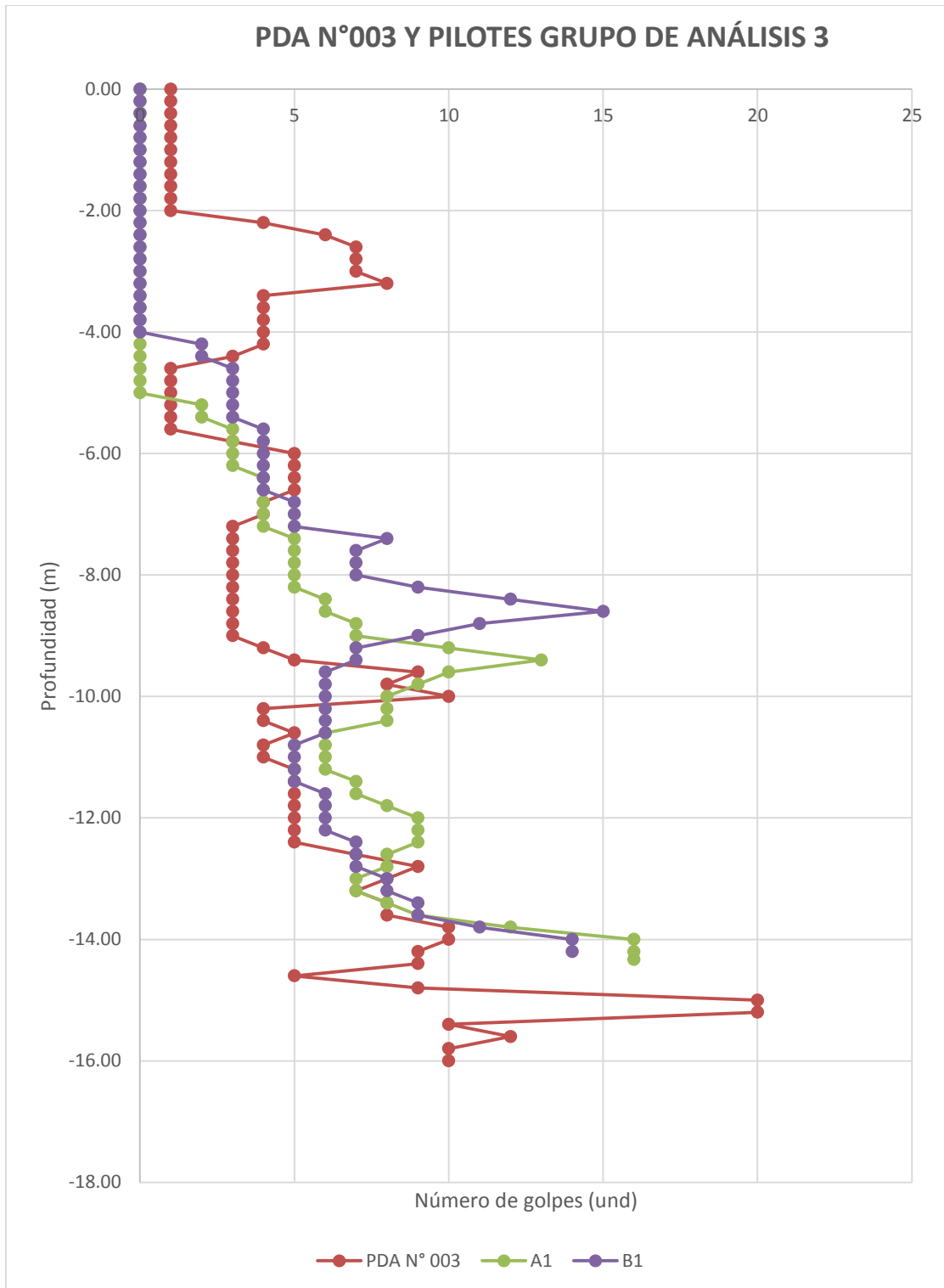


Diagrama de profundidad vs número de golpes grupo de análisis 3 (Verificación de capacidad de carga para pilotes hincados en suelos blandos, 2014).

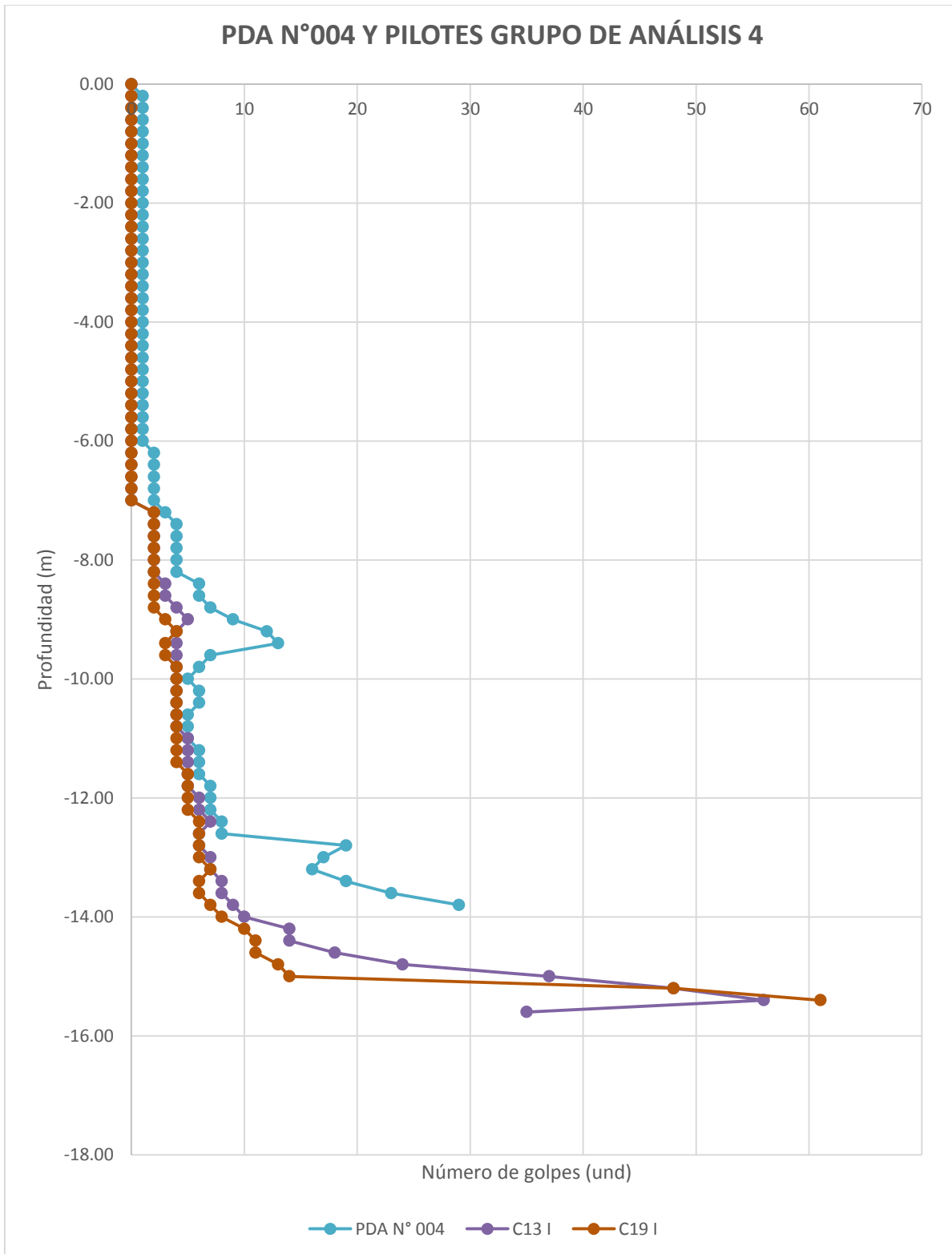


Diagrama de profundidad vs número de golpes grupo de análisis 4 (Verificación de capacidad de carga para pilotes hincados en suelos blandos, 2014).

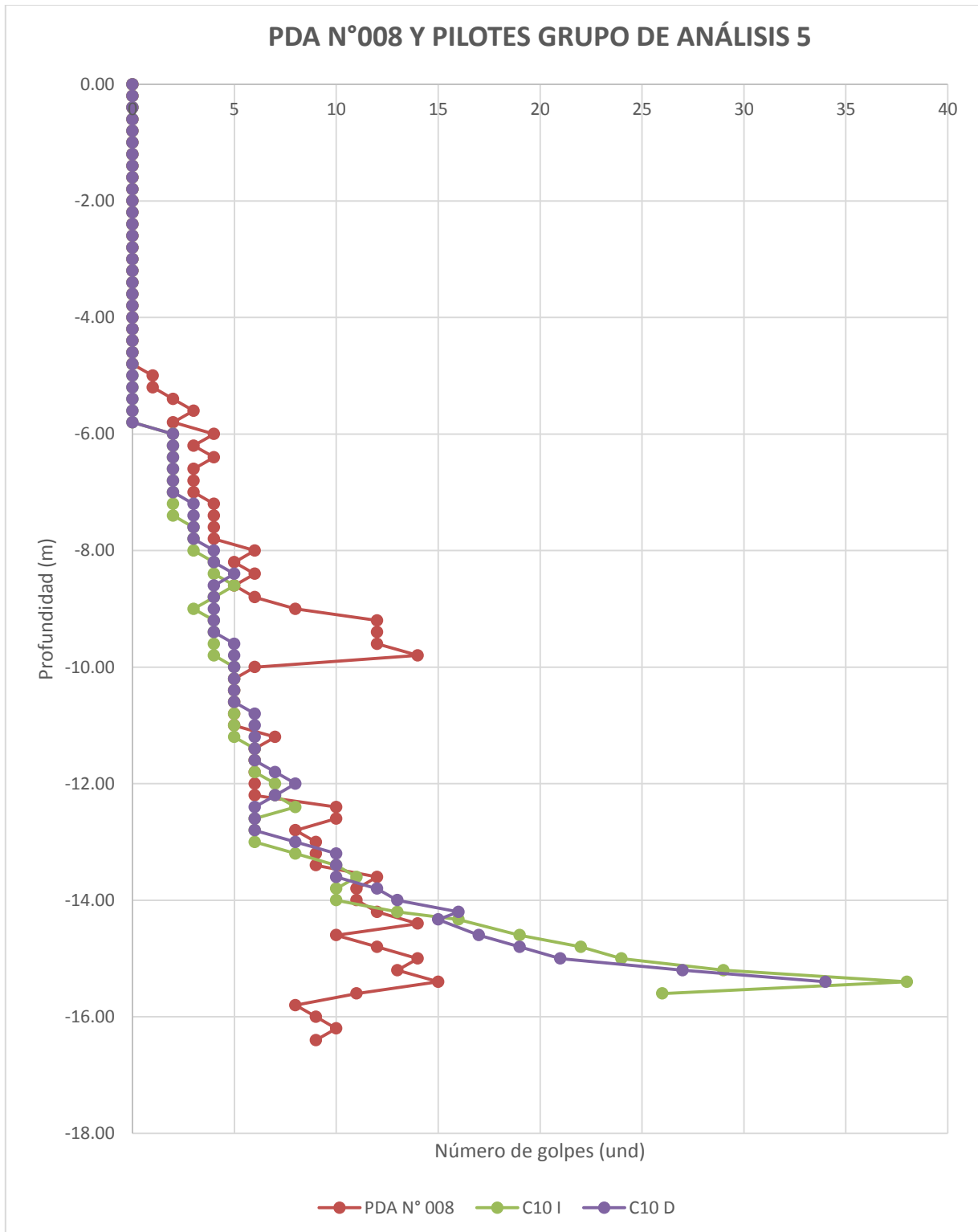


Diagrama de profundidad vs número de golpes grupo de análisis 5 (Verificación de capacidad de carga para pilotes hincados en suelos blandos, 2014).

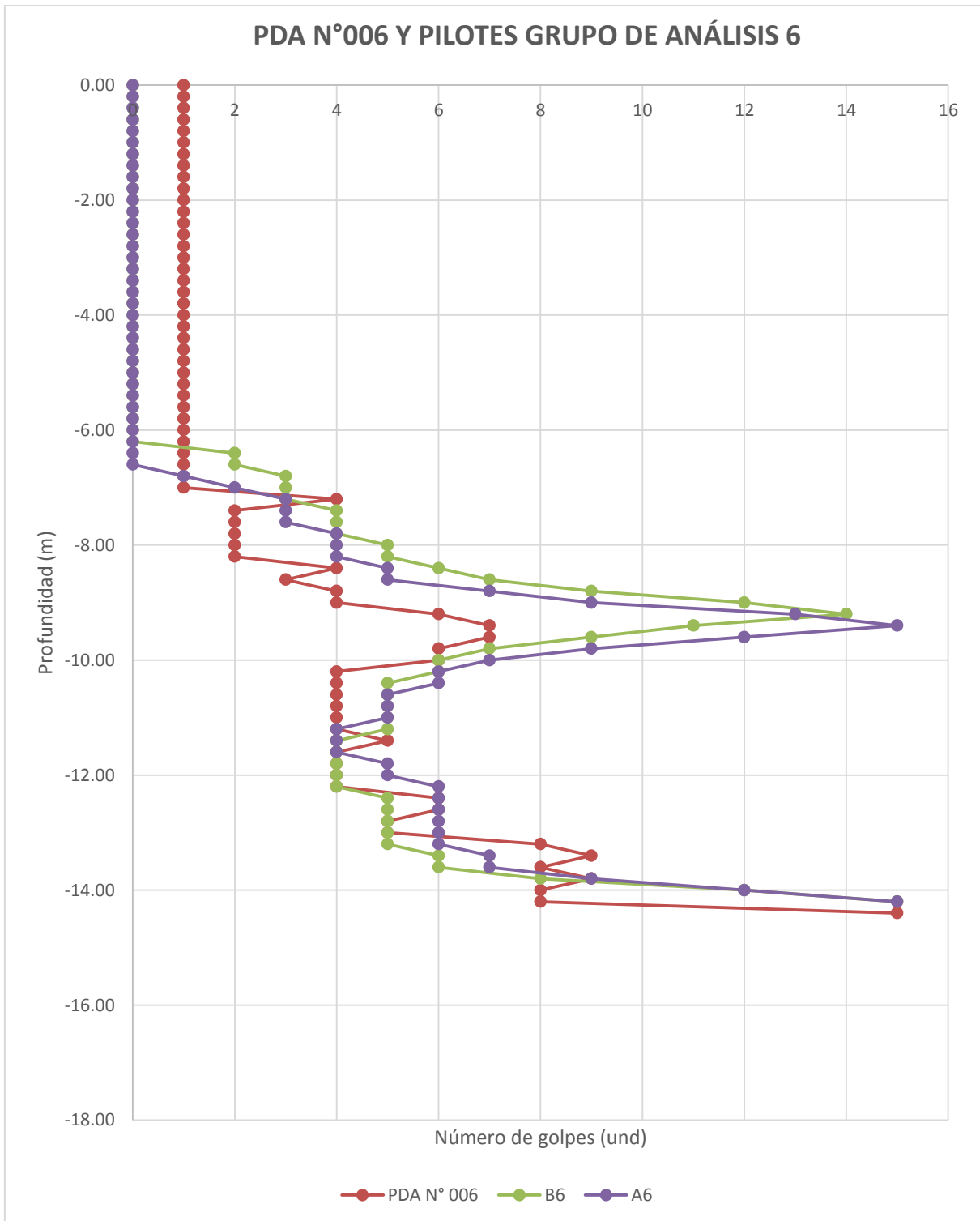


Diagrama de profundidad vs número de golpes grupo de análisis 6 (Verificación de capacidad de carga para pilotes hincados en suelos blandos, 2014).