

TRABAJO DE AUSCULTACIÓN Y VERIFICACIÓN GEOTÉCNICA
Terminal de contenedores de Buenaventura (fase 1) proyecto TCBUEN



INFORME FINAL DE PASANTIA COMO TRABAJO DE GRADO PARA ASPIRAR AL
TITULO DE INGENIERO CIVIL

JUAN DAVID PARRA ACOSTA

Cód. 04051125

UNIVERSIDAD DEL CAUCA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

POPAYÁN

2010

TRABAJO DE AUSCULTACIÓN Y VERIFICACIÓN GEOTÉCNICA
Terminal de contenedores de Buenaventura (fase 1) proyecto TCBUEN



JUAN DAVID PARRA ACOSTA

Cód. 04051125

Director de Pasantía:

Ing. Margarita Polanco de Hurtado

Departamento de Geotecnia

Facultad de Ingeniería Civil

UNIVERSIDAD DEL CAUCA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

POPAYÁN

2010

Nota de aceptación:

Firma del director del trabajo de grado

Firma del jurado

Firma del jurado

Popayán, septiembre de 2010

AGRADECIMIENTOS

A MI FAMILIA por estar siempre a mi lado y confiar en mí en todo momento.

A LA UNIVERSIDAD DEL CAUCA, por estos 5 años de aprendizaje y alegría.

A la profesora Ing. MARGARITA POLANCO DE HURTADO, por su profesionalismo, integridad y amistad.

Al profesor Ing. HUGO ALDEMAR COSME VARGAS, por su profesionalismo, capacidad de trabajo y análisis, enseñanzas y amistad.

Al Ing. CARLOS ESCOBAR, por su experiencia y orientación.

A MIS COMPAÑEROS DE TRABAJO, por su lealtad y trabajo a la perfección.

Al Ing. RICARDO MUÑOZ, por su capacidad de liderazgo y siempre brindándome su colaboración.

Al Arq. IVAN CASTILLO, por su fortaleza y perseverancia.

Al Ing. LUIS ANTONIO ESCOBAR, por sus enseñanzas y dedicación.

Al Ing. JORGE EDUARDO VILLAMARIN, por su nobleza, capacidad de trabajo y análisis.

A la EMPRESA ESTUDIO DE SUELOS LTDA.

A la CONSTRUCTORA COLPATRIA y proyecto TC BUEN.

DEDICADO A:
MIS PADRES
EDGAR Y MARIA PIEDAD

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCION.....	1
2. DATOS BASICOS.....	2
3. OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	3
3.1 Objetivo general.....	3
3.2 Objetivos específicos.....	3
4. DESCRIPCION DEL PROYECTO Y ZONAS EVALUADAS.....	5
5. ALCANCES.....	7
6. TRABAJO DE AUSCULTACION GEOTECNICA.....	11
6.1 Sondeos.....	11
6.2 Procedimientos de muestreo.....	13
6.3 Registros de perfil de suelos.....	19
6.4 Selección, empaque y envío de muestras para ensayos de laboratorio.....	21
6.5 Ensayos de laboratorio.....	21
6.5.1 Resultados de laboratorio.....	27
6.6 Características del subsuelo en las zonas del muelle y patio de contenedores.....	30
7. TRABAJO DE VERIFICACION GEOTECNICA.....	32
7.1 Cimentación de las estructuras en las zonas del muelle y patio de contenedores.....	33
7.2 Proceso constructivo de un pilote in-situ de extracción de sección circular con camisa perdida.....	35
7.3 Profundidad de inicio de la roca y chequeo de la profundidad de cimentación en los puntos de verificación geotécnica.....	41
7.4 Chequeo de la capacidad ultima vertical de la cimentación en los puntos de chequeo de carga.....	43
7.4.1 Cálculos chequeo.....	45
7.4.2 Ensayos en pilotes.....	48
7.4.3 Prueba de carga dinámica.....	50
7.4.4 Resultados de pruebas de carga dinámica a la cimentación en los puntos de chequeo de carga.....	54
8. ESTADO DEL PROYECTO (hasta la fecha de finalización de la pasantía).....	58
9. ANALISIS DE RESULTADOS.....	61

10. CONCLUSIONES.....	64
11. BIBLIOGRAFIA.....	66
12. ANEXOS.....	68

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Dimensiones del muelle

Cuadro 2. Dimensiones del patio de contenedores

Cuadro 3. Clasificación de los puntos de análisis

Cuadro 4. Detalle alcances **a)**, **b)**, **c)** y **d)** para cada punto

Cuadro 5. Índice de calidad de la roca (RQD)

Cuadro 6. Ensayos de laboratorio

Cuadro 7. Resultados del ensayo de carga puntual

Cuadro 8. Resultados del ensayo de compresión inconfina

Cuadro 9. Chequeo profundidad de cimentación de los pilotes

Cuadro 10. Parámetros de carga de diseño

Cuadro 11. Parámetros geomecánicos de diseño

Cuadro 12. Norma Din 4014

Cuadro 13. Resultados del ensayo de compresión inconfina para los puntos de chequeo

Cuadro 14. Puntos de chequeo de carga – pilotes analizados

Cuadro 15. Resistencia de la roca

Cuadro 16. Parámetros de carga de verificación

Cuadro 17. Verificación de la carga movilizad

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Vista en planta del muelle

Figura 2. Vista en planta del patio de contenedores

Figura 3. Configuraciones de carga y requerimientos de acuerdo a la forma de los especímenes para (A) Prueba diametral, (B) Prueba axial, (C) Prueba de bloque, y (D) Prueba de masas irregulares.

Figura 4. Modos típicos de falla para pruebas validas e invalidas

Figura 5. Método constructivo para pilotes in-situ

LISTA DE GRAFICAS

Graficas 1 a 7. Curva simulada de una prueba de carga

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 1 a 3. Alcances

Fotografía 4. Equipo de perforación

Fotografía 5. Broca de revestimiento (tubería NW)

Fotografía 6. Broca de Barrena (tubería NQ)

Fotografía 7. Procedimientos de muestreo (frente)

Fotografía 8. Procedimientos de muestreo (planta)

Fotografía 9. Cuchara partida desacoplada

Fotografía 10. Cuchara partida acoplada

Fotografía 11. Calculo de N (muestra sin manipular)

Fotografía 12. Calculo de N (muestra manipulada)

Fotografía 13 a 20. Principales tipos de suelo encontrados en las zonas del muelle y patio de
contenedores

Fotografía 21. Núcleo de arenisca en barril de tubo simple

Fotografía 22. Extracción de núcleos

Fotografía 23. Núcleos de limolita

Fotografía 24. Núcleos de arenisca

Fotografía 25. Índice de calidad de la roca (RQD)

Fotografía 26 a 29. Principales tipos de roca existentes en las zonas del muelle y patio de
contenedores

Fotografía 30. Modelos de etiquetas para referenciar muestras

Fotografía 31. Prueba diametral

Fotografía 32. Prueba axial

Fotografía 33. Especímenes fallados mediante pruebas axiales

Fotografía 34. Aplicación de carga

Fotografía 35. Momento de falla

Fotografía 36 a 39. Puntos de verificación geotécnica

Fotografía 40 a 68. Proceso constructivo de un pilote in-situ de extracción de sección circular con
camisa perdida

Fotografía 69 a 76. Piloteadoras

Fotografía 77 y 78. Prueba de carga dinámica

Fotografía 79 a 96. Estado de la obra

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Descripción empresa receptora (plegable)

Anexo 2. Descripción del proyecto (grafica)

Anexo 3. Registros de perfil de suelos

Anexo 4. Reporte modelo del ensayo de carga puntual

Anexo 5. Reporte modelo del ensayo de compresión inconfiada

Anexo 6. Panorámica del proyecto TC BUEN a través del tiempo

Anexo 7. Vista en planta de las zonas del muelle y patio de contenedores

(sondeos - pruebas de carga - avance de placa)

Anexo 8. Vista en planta de las zonas del muelle y patio de contenedores (sondeos) (plano)

1. INTRODUCCIÓN

“Para diseñar una cimentación que soporte adecuadamente una estructura, un ingeniero debe conocer el tipo de depósitos de suelo que la soportan. Además, los especialistas de cimentaciones deben recordar que el suelo, en cualquier sitio, con frecuencia no es homogéneo, es decir, el perfil de suelo puede variar.”

*Principios de ingeniería de cimentaciones.
Braja M Das.*

El informe final de pasantía correspondiente al *Trabajo de auscultación y verificación geotécnica*, llevado a cabo en el terminal de contenedores de Buenaventura (fase 1) Proyecto TC BUEN, en las zonas del muelle y patio de contenedores, se divide en dos partes: La primera es el trabajo de auscultación geotécnica, en el cual se identifican las capas o estratos de depósitos que subyacen bajo las estructuras en las zonas evaluadas y la segunda es el trabajo de verificación geotécnica, en donde se chequea la cimentación de las estructuras.

El trabajo de auscultación geotécnica, se desarrolló en conjunto con la empresa receptora Estudio de Suelos Ltda., e incluyó la realización de 27 sondeos de exploración (perforaciones), recolectando muestras de suelo y núcleos de roca para subsecuentes observaciones y ensayos de laboratorio, evaluando de manera inteligente las condiciones de cada zona y de los parámetros del suelo y roca.

El trabajo de verificación geotécnica se pudo desarrollar gracias a la colaboración de la constructora del proyecto Colpatria, quien suministró material informativo relacionado con estudios estructurales y geotécnicos de las zonas evaluadas.

Considero este trabajo como el inicio de mi acercamiento hacia la ingeniería geotécnica presentando en él las bases fundamentales necesarias para una buena exploración del subsuelo e incluyendo algunos métodos de chequeo utilizados para evaluar cimentaciones con pilotes.

“El buen juicio profesional constituye una parte esencial de la ingeniería geotécnica y este se adquiere solo con la práctica”

*Principios de ingeniería de cimentaciones.
Braja M Das.*

2. DATOS BÁSICOS

Nombre del pasante

Juan David Parra Acosta

Título de la pasantía o práctica empresarial

Trabajo de auscultación y verificación geotécnica

Localización de la pasantía o práctica empresarial

Terminal de contenedores de Buenaventura (Fase 1) Proyecto TC BUEN

Cargo que el pasante desempeña

Auxiliar de ingeniería

Constructora del proyecto TC BUEN

Colpatria

Diseñadores estructurales y geotécnicos del proyecto TC BUEN

C.I.C. Consultores de Ingeniería y Cimentaciones S.A.

Tutor por parte de la Universidad del Cauca

Ing. Margarita Polanco de Hurtado

Entidad o empresa receptora

Estudio de Suelos Ltda.

Tutor por parte de la entidad o empresa receptora

Ing. Hugo Aldemar Cosme Vargas

Cargo que el tutor desempeña en la entidad o empresa receptora

Director de estudios y diseños.

Lapso de realización de la pasantía o práctica empresarial

640 horas

Dedicación por parte del pasante

8 horas diarias los 7 días de la semana, para un total de 56 horas semanales dedicadas al Trabajo de auscultación y verificación geotécnica.

Fecha de inicio de la pasantía o práctica empresarial

17/Febrero/2010

Fecha de finalización de la pasantía o práctica empresarial

31/Mayo/2010

3. OBJETIVOS DEL PROYECTO

3.1 Objetivo general

- Exponer el trabajo de auscultación y verificación geotécnica realizado por la empresa Estudio de Suelos Ltda. en el tiempo de duración de la pasantía o práctica empresarial, llevada a cabo en el proyecto TC BUEN terminal de contenedores de Buenaventura (Fase 1), aplicando todo el conocimiento adquirido en la formación académica y personal buscando la excelencia en el trabajo.

3.2 Objetivos específicos

- Describir y analizar el trabajo de auscultación geotécnica llevado a cabo en las zonas de muelle y patio de contenedores del proyecto TC BUEN.
- Examinar la investigación del sitio correspondiente al trabajo de auscultación geotécnica-Estero marino el Aguacate-, realizada gracias a la implementación de sondeos de exploración y recolección de muestras de suelo y núcleos de roca para observaciones y ensayos de laboratorio, en puntos de análisis pre-establecidos por la constructora Colpatria en las zonas evaluadas del proyecto. Para ello se deberá clasificar cada punto de análisis, de acuerdo a sus características y limitaciones de estudio.
- Describir el procedimiento utilizado para la ejecución de los sondeos de exploración y recolección de muestras.
- Comparar y analizar los registros de perfil de suelos correspondientes a los sondeos de exploración que se hayan ejecutado.
- Efectuar el análisis de la información proveniente de los ensayos de laboratorio, registrando y comparando los resultados de las muestras evaluadas y verificando la validez de estos ensayos como métodos de evaluación de la resistencia del suelo y núcleos de roca.
- Corroborar la descripción y observaciones que se tengan de las muestras mediante el registro fotográfico de las mismas.
- Caracterizar el subsuelo de las zonas evaluadas con base al trabajo de auscultación geotécnica realizado.
- Verificar el uso de pilotes in-situ de extracción de sección circular con camisa perdida, como tipo de cimentación en las zonas del muelle y patio de contenedores, seleccionada por la firma C.I.C. diseñadores estructurales y geotécnicos del proyecto.
- Describir el proceso constructivo de un pilote in-situ de extracción de sección circular con camisa perdida.

- Realizar el trabajo de verificación geotécnica en las zonas del muelle y patio de contenedores del proyecto TC BUEN, mediante el uso de tablas comparativas, además del cálculo de la capacidad última vertical de la cimentación y efectuando el análisis de la información proveniente de pruebas de carga dinámica a la cimentación.
- Mostrar el estado de la obra hasta la fecha de finalización de la pasantía, demostrando la magnitud e importancia del proyecto a nivel nacional.
- Presentar el análisis de los resultados y las conclusiones con base al trabajo de auscultación y verificación geotécnica realizado en el marco del presente informe.

4. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO Y ZONAS EVALUADAS

El proyecto TC BUEN Terminal de Contenedores de Buenaventura se encuentra localizado en la zona continental de Buenaventura con acceso marítimo sobre el Estero el Aguacate. Este proyecto tiene como objetivo adelantar la construcción de la fase 1 del Nuevo Terminal Marítimo que consta de 140.000 m² de construcción e incluye: muelle, plataforma o patio de contenedores, zona de maniobras, nuevos patios, edificaciones, bodegas de almacenamiento, cerramiento, vía entre meseta central y meseta norte, y vía de acceso vehicular.

El trabajo de auscultación y verificación geotécnica realizado en el tiempo de duración de la pasantía, se desarrollo exclusivamente en las zonas del muelle y patio de contenedores del proyecto. Estas dos zonas se clasifican entonces como *zonas evaluadas* y sus estructuras como *estructuras evaluadas*.

A continuación se presentan algunas características constructivas de las *estructuras evaluadas*.

- Muelle

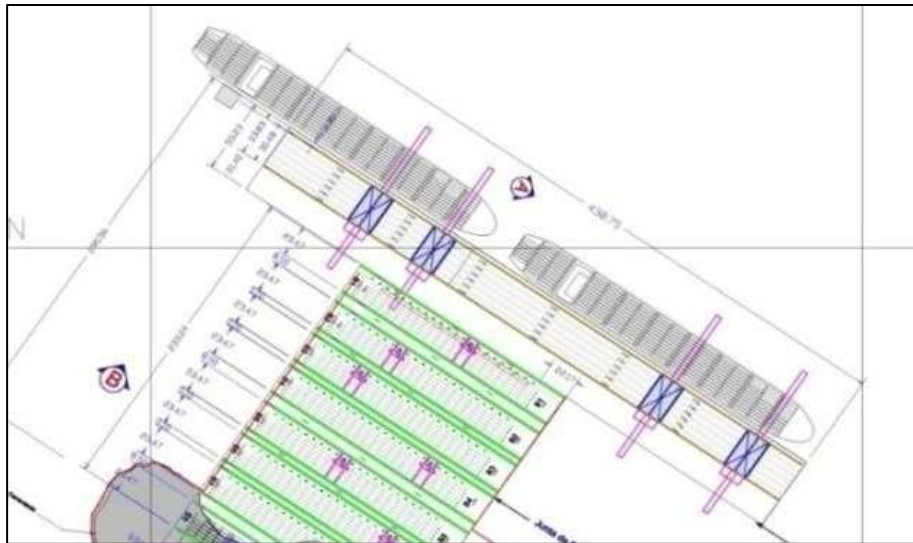


Figura 1 Vista en planta del muelle

Las dimensiones estipuladas en el diseño para los elementos estructurales se presentan en el cuadro 1.

Cuadro 1 Dimensiones muelle

<i>ELEMENTO</i>	<i>ANCHO (m)</i>	<i>LARGO (m)</i>	<i>DIÁMETRO (m)</i>	<i>ESPESOR (m)</i>
Placa	55.15	438.75	-	0.35
Vigas	1	0.8	-	-
Vigas Carrilera (Ejes B y H)	1	0.8	-	-
Pilotes	-	-	0.8	-

Las vigas carrilera, son vigas longitudinales diseñadas mediante una sección transversal igual a las vigas que sostienen la placa en ambas direcciones, pero con apoyos cada 3.0m. Su propósito es soportar las cargas inducidas por la grúa pórtico.

El número de pilotes contemplado es:

$$\text{Numero de pilotes} = 77 \text{ pilotes/fila} * 10 \text{ filas} + 154 \text{ pilotes/fila} * 2 = 1078 \text{ pilotes}$$

- Patio de contenedores



Figura 2 Vista en planta del patio de contenedores

Las dimensiones estipuladas en el diseño existente para los elementos estructurales se presentan en el cuadro 2.

Cuadro 2 Dimensiones patio de contenedores

<i>ELEMENTO</i>	<i>ANCHO (m)</i>	<i>LARGO (m)</i>	<i>DIÁMETRO (m)</i>	<i>ESPESOR (m)</i>
Placa	174.3	235.34	-	0.35
Vigas	1	0.8	-	-
Pilote	-	-	0.7	-

El número de pilotes contemplado es:

$$\text{Numero de pilotes} = 31 \text{ pilotes/fila} * 45 \text{ filas} + 4 \text{ pilotes/fila} * 7 \text{ filas} = 1423 \text{ pilotes}$$



Número total de pilotes en las zonas evaluadas = 1078 + 1423 = 2501 pilotes

5. ALCANCES

Hasta la fecha de finalización de la pasantía o practica empresarial, la empresa receptora Estudio de suelos Ltda. había realizado 38 sondeos de exploración correspondientes a la investigación de las zonas del muelle y patio de contenedores del proyecto TC BUEN. De estos 38 sondeos, 24 se realizaron en el tiempo de duración de la pasantía.

Para el trabajo de auscultación geotécnica, se tienen en cuenta los 24 sondeos realizados en el tiempo de duración de la pasantía y adicionalmente se incluyen otros 3 sondeos (sondeo 4, sondeo 13 y sondeo 16, ver cuadro 4), los cuales serán de gran ayuda para el trabajo de verificación geotécnica. Estos 27 sondeos de exploración representan entonces 27 puntos de análisis diferentes localizados en las *zonas evaluadas* del proyecto, los cuales se clasifican como *puntos de auscultación geotécnica*.

Para el trabajo de verificación geotécnica es indispensable que se halla construido ya algún tipo de cimentación, por lo tanto este trabajo solo se realiza en 13 de los 27 puntos definidos anteriormente en el trabajo de auscultación geotécnica. Estos 13 puntos se clasifican entonces como *puntos de verificación geotécnica*.

Una vez definidos los *puntos de auscultación y verificación geotécnica*, se analiza cada punto por separado cumpliendo con ciertos alcances establecidos para un mejor entendimiento y desarrollo del tema.

A continuación se exponen de manera general los alcances y luego mediante la ayuda del cuadro 4 se detallan para cada punto los alcances a desarrollar.

- a) Definir la estratigrafía existente, mediante el registro del perfil de suelos.
- b) Identificar la profundidad de inicio de la roca (consistencia alta, SPT > 50), lo cual es esencial en el momento de definir la profundidad de diseño para la cimentación.
- c) Chequear la profundidad de cimentación de la estructura, verificando que esta concuerde con la profundidad de diseño.
- d) Chequear la capacidad de carga vertical de la cimentación, comprobando su capacidad última de carga mediante su cálculo y análisis de resultados de pruebas de carga dinámica.

En los 13 *puntos de verificación geotécnica* una vez desarrollados los alcances **a)** y **b)**, se realiza el chequeo de la profundidad de cimentación de la estructura. Posteriormente se hace el chequeo de la capacidad de carga vertical de la cimentación en 5 de los 13 *puntos de verificación geotécnica*, en razón que a pesar de las muchas pruebas de carga dinámica efectuadas en las *zonas evaluadas* (71 pruebas hasta la fecha de finalización de la pasantía), solo 5 pruebas corresponden o están muy cerca a 5 de los 13 *puntos de verificación geotécnica*. Estos 5 puntos se clasifican entonces como *puntos de chequeo de carga*.

En el cuadro 3 se presenta la clasificación de los puntos de análisis mencionados anteriormente. Y adicionalmente se ilustran 3 fotografías las cuales permiten visualizar el desarrollo de los alcances hasta donde las características de la ubicación del punto lo permitan.

Cuadro 3 Clasificación de los puntos de análisis

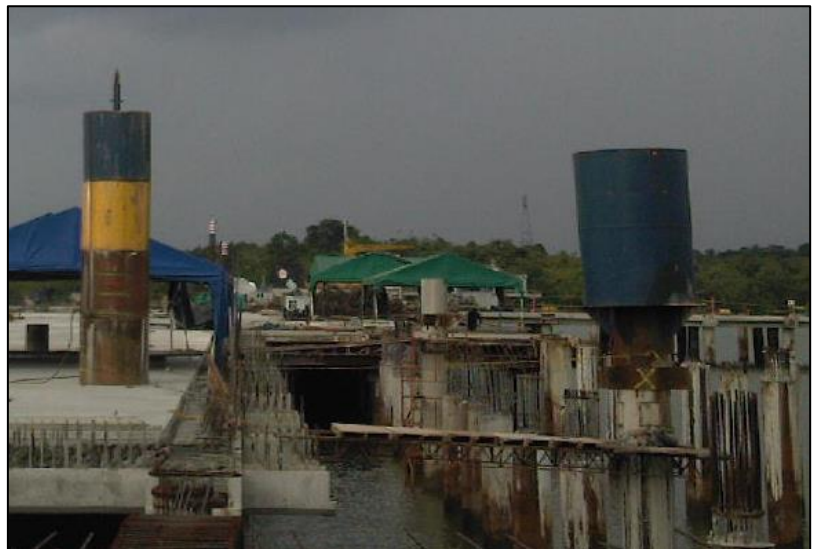
<i>PUNTOS DE ANALISIS</i>	<i>CANTIDAD</i>
<i>Auscultación geotécnica</i>	27
<i>Verificación geotécnica</i>	13 de los 27
<i>Chequeo de carga</i>	5 de los 13
Total	27



Alcances a) y b)






Alcances a), b) y c)





Alcances a), b), c) y d)

Fotografías 1 a 3 Alcances

En el cuadro 4 se distingue mediante colores la clasificación de los 27 puntos de análisis detallando para cada uno los alcances a desarrollar.

Puntos de auscultación geotécnica   

Puntos de verificación geotécnica  

Puntos de chequeo de carga 

Cuadro 4 Detalle alcances a), b), c) y d) para cada punto. (La numeración de los sondeos corresponde al orden llevado por la empresa Estudio de Suelos Ltda. desde el inicio de su participación en el proyecto)

PUNTO	SONDEO	REFERENCIA TOPOGRAFICA (Ubicación)	PROFUNDIDAD FINAL DEL SONDEO (m)	ALCANCES
1	4	I-19 (Muelle)	27.25	a) Definir la estratigrafía existente b) Identificar la profundidad de inicio de la roca c) Chequear la profundidad de cimentación de la estructura d) Chequear la capacidad de carga vertical de la cimentación
2	13	T-21 (Patio)	32.35	a) Definir la estratigrafía existente b) Identificar la profundidad de inicio de la roca c) Chequear la profundidad de cimentación de la estructura d) Chequear la capacidad de carga vertical de la cimentación
3	14	A-7 (Muelle)	28.30	a) Definir la estratigrafía existente b) Identificar la profundidad de inicio de la roca
4	15	A-51 (Muelle)	28.45	a) Definir la estratigrafía existente b) Identificar la profundidad de inicio de la roca
5	16	AM-AN-19 (Patio)	23.30	a) Definir la estratigrafía existente b) Identificar la profundidad de inicio de la roca c) Chequear la profundidad de cimentación de la estructura d) Chequear la capacidad de carga vertical de la cimentación
6	17	A-20 (Muelle)	28.35	a) Definir la estratigrafía existente b) Identificar la profundidad de inicio de la roca
7	18	OP-42 (Patio)	27.07	a) Definir la estratigrafía existente b) Identificar la profundidad de inicio de la roca c) Chequear la profundidad de cimentación de la estructura d) Chequear la capacidad de carga vertical de la cimentación
8	19	PQ-42 (Patio)	30.85	a) Definir la estratigrafía existente b) Identificar la profundidad de inicio de la roca c) Chequear la profundidad de cimentación de la estructura d) Chequear la capacidad de carga vertical de la cimentación
9	20	K-65 (Muelle)	25.65	a) Definir la estratigrafía existente b) Identificar la profundidad de inicio de la roca c) Chequear la profundidad de cimentación de la estructura
10	21	A-62 (Muelle)	29.50	a) Definir la estratigrafía existente b) Identificar la profundidad de inicio de la roca
11	22	A-66 (Muelle)	27.70	a) Definir la estratigrafía existente b) Identificar la profundidad de inicio de la roca
12	23	A-70 (Muelle)	27.15	a) Definir la estratigrafía existente b) Identificar la profundidad de inicio de la roca
13	24	A-74 (Muelle)	28.60	a) Definir la estratigrafía existente b) Identificar la profundidad de inicio de la roca
14	25	F-75 (Muelle)	28.50	a) Definir la estratigrafía existente b) Identificar la profundidad de inicio de la roca
15	26	C-1 (Muelle)	36.00	a) Definir la estratigrafía existente b) Identificar la profundidad de inicio de la roca

16	27	L-7 (Muelle)	25.20	a) Definir la estratigrafía existente b) Identificar la profundidad de inicio de la roca c) Chequear la profundidad de cimentación de la estructura
17	28	L-35-36 (Muelle)	29.50	a) Definir la estratigrafía existente b) Identificar la profundidad de inicio de la roca c) Chequear la profundidad de cimentación de la estructura
18	29	L-22-23 (Muelle)	26.5	a) Definir la estratigrafía existente b) Identificar la profundidad de inicio de la roca c) Chequear la profundidad de cimentación de la estructura
19	30	QR-18 (Patio)	34.60	a) Definir la estratigrafía existente b) Identificar la profundidad de inicio de la roca c) Chequear la profundidad de cimentación de la estructura
20	31	XY-21 (Patio)	29.50	a) Definir la estratigrafía existente b) Identificar la profundidad de inicio de la roca c) Chequear la profundidad de cimentación de la estructura
21	32	Z-18 (Patio)	29.00	a) Definir la estratigrafía existente b) Identificar la profundidad de inicio de la roca c) Chequear la profundidad de cimentación de la estructura
22	33	AH-18 (Patio)	22.10	a) Definir la estratigrafía existente b) Identificar la profundidad de inicio de la roca c) Chequear la profundidad de cimentación de la estructura
23	34	H-11 (Muelle)	39.50	a) Definir la estratigrafía existente b) Identificar la profundidad de inicio de la roca
24	35	B-11 (Muelle)	45.25	a) Definir la estratigrafía existente b) Identificar la profundidad de inicio de la roca
25	36	F-10 (Muelle)	43.30	a) Definir la estratigrafía existente b) Identificar la profundidad de inicio de la roca
26	37	F-4 (Muelle)	42.50	a) Definir la estratigrafía existente b) Identificar la profundidad de inicio de la roca
27	38	A-16 (Muelle)	43.50	a) Definir la estratigrafía existente b) Identificar la profundidad de inicio de la roca

NOTA: Las profundidades van con respecto del nivel de placa

6. TRABAJO DE AUSCULTACIÓN GEOTÉCNICA

El propósito del trabajo de auscultación geotécnica para este proyecto es identificar las capas o estratos de depósitos que subyacen bajo las *estructuras evaluadas* en la zonas del muelle y patio de contenedores y sus características físicas; Permitiendo seleccionar el tipo y profundidad de la cimentación adecuada para las estructuras, establecer métodos de construcción para condiciones cambiantes del subsuelo, detectar problemas potenciales de la cimentación y evaluar la capacidad de carga de esta.

6.1 Sondeos

El sondeo es un tipo de exploración manual o mecánica perteneciente a las técnicas de auscultación geotécnica llevadas a cabo para conocer las características del terreno. Se trata de perforaciones de pequeño diámetro (entre 6,5 y 14 cm) que aunque no permiten la visión "in situ" del terreno, de ellos se pueden obtener testigos del terreno perforado, así como muestras para realizar determinados ensayos de laboratorio.

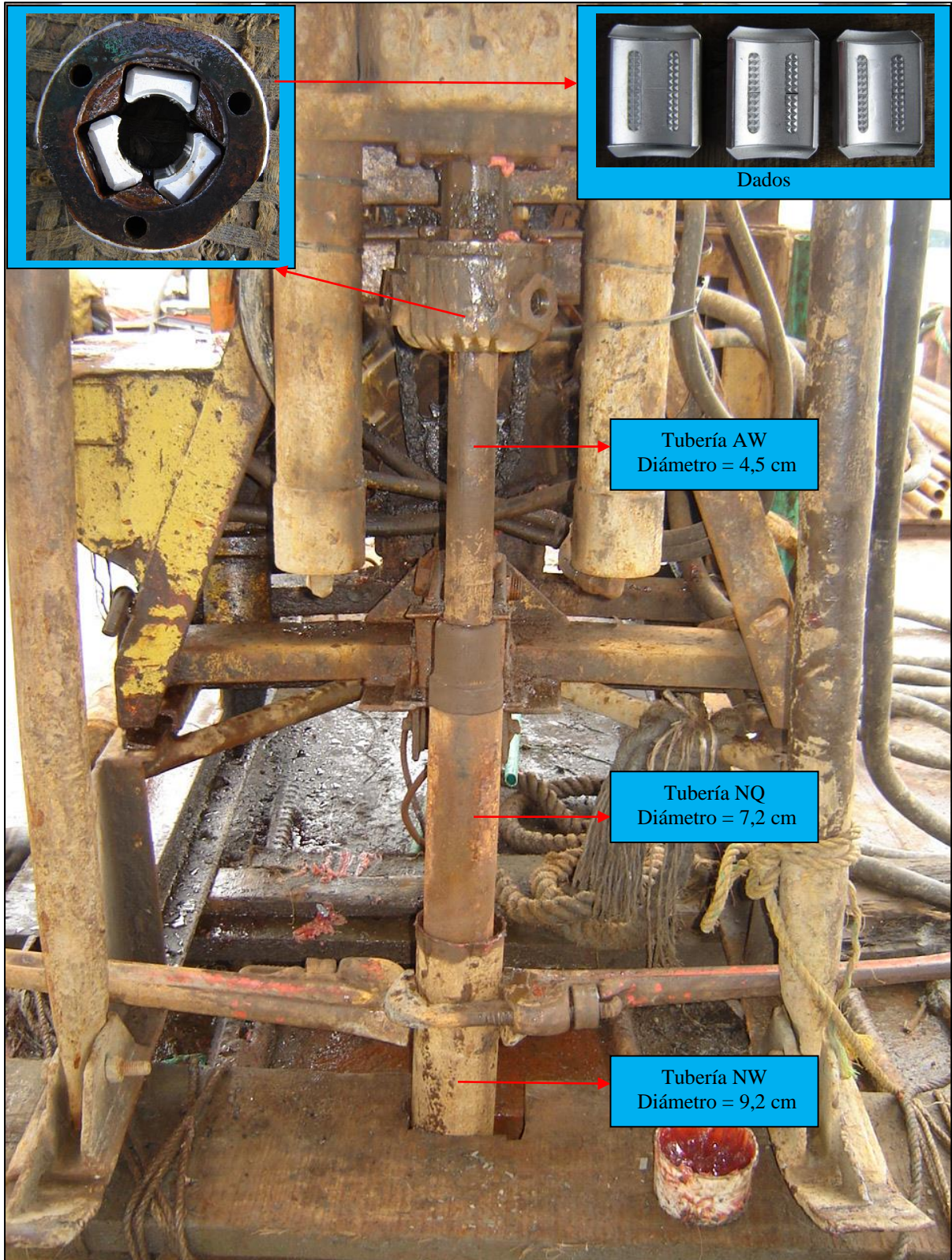
En las *zonas evaluadas* del proyecto, los sondeos se hacen mediante perforaciones con equipo mecánico, marca Acker, modelo AC-5W, provisto de un motor de 55 HP, capaz de perforar hasta 100 m de profundidad, que avanza por los sistemas de percusión, rotación y lavado, montado sobre un planchón navegable y llegando hasta profundidades variables.

Una vez montado el equipo encima del planchón, se inician las perforaciones sumergiendo en el agua la tubería de revestimiento con broca de tungsteno y diamante negro de diámetro NW y se avanza con esta tubería algunos metros hasta encontrar un estrato capaz de soportar su peso, sobrepasando el suelo blando o suelto que ha sido depositado por las corrientes. A continuación se sigue con la perforación utilizando los sistemas de percusión y lavado con tubería de diámetro AW, realizando pruebas de penetración estándar (SPT) con la cuchara partida propia del ensayo y al llegar a los estratos duros rocosos, se rota y lava con broca de tungsteno y diamante negro de diámetro NQ, recuperando núcleos de roca cuando se puede en la respectiva barrena y realizando pruebas de verificación de resistencia SPT.

Se debe resaltar que el avance se hace siempre protegiendo la perforación con la tubería de revestimiento NW sumergiéndola hasta donde sea necesario para prevenir derrumbes y obtener las muestras correspondientes a la profundidad perforada.

La perforación se da por terminada una vez se haya identificado con claridad la estratigrafía del suelo, localizando la cota de inicio del basamento rocoso de consistencia alta, obteniendo valores en la prueba de penetración estándar (SPT) mayores a 50 golpes/pie o cuando presente rechazo y deba ser continuada la perforación con el procedimiento de rotación y lavado con broca de tungsteno y diamante negro.

El equipo de trabajo junto con los tipos de tubería y brocas utilizadas en las perforaciones, se ilustran en las fotografías 4, 5 y 6.



Fotografía 4 Equipo de perforación

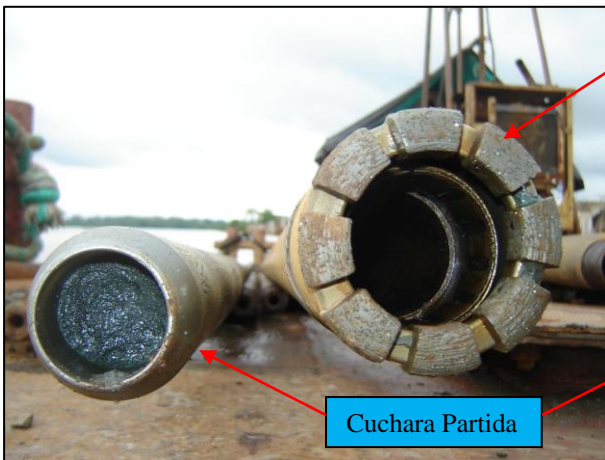


Fotografía 5 Broca de revestimiento (tubería NW)

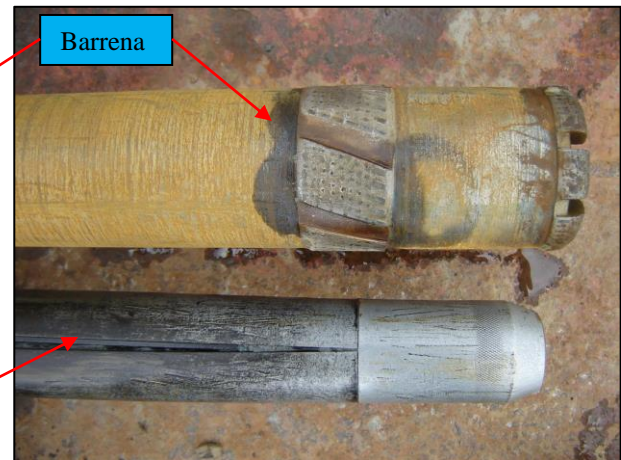


Fotografía 6 Broca de Barrena (tubería NQ)

6.2 Procedimientos de muestreo



Fotografía 7 Procedimientos de muestreo (frente)



Fotografía 8 Procedimientos de muestreo (planta)

a) Cuchara partida o Prueba de penetración estándar (SPT): Estratos blandos y duros rocosos

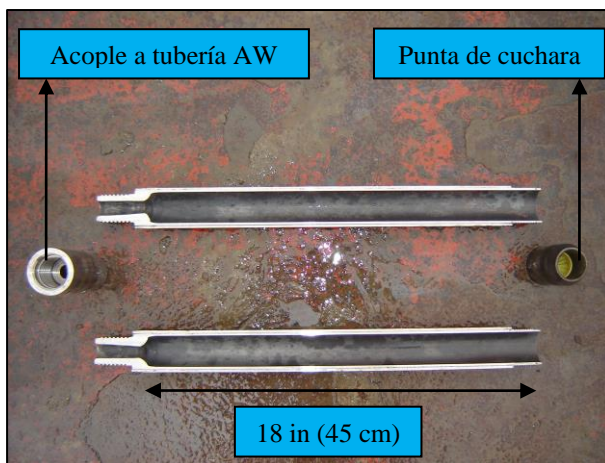
El objetivo de este procedimiento de muestreo, es recolectar muestras de suelo alteradas pero representativas que puedan ser evaluadas en los siguientes ensayos de laboratorio: Análisis granulométrico, determinación de los límites líquido y plástico, peso específico, determinación del contenido orgánico y clasificación del suelo.

Además de la recolección de muestras, la prueba de penetración estándar (SPT) también permite determinar el número de penetración estándar (N), el cual proporciona una buena evaluación de las propiedades de los suelos estimando la resistencia de estos.

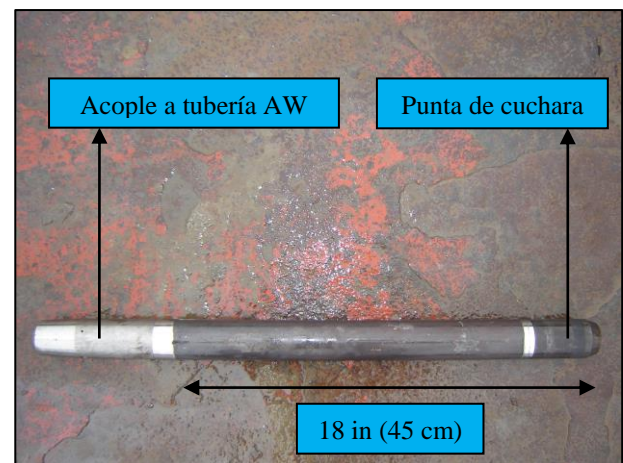
El procedimiento de muestreo con la cuchara partida o prueba de penetración estándar (SPT) se inicia hincando el penetrómetro en el suelo por golpes de un martinete en la parte superior de la

barra de perforación (tubería de diámetro AW). El peso estándar del martinete es de 140 lb (63 kg) y para cada golpe la altura de caída del martinete es de 30 in (76 cm). El número de golpes requerido para la penetración del penetrómetro de tres intervalos de 6 in (15 cm) es registrado. El número de golpes requeridos para los dos últimos intervalos se suman para dar el número de penetración estándar (N) a esa profundidad. Si en alguno de los tres intervalos el número de golpes excede los 50, la prueba se da por terminada presentando rechazo.

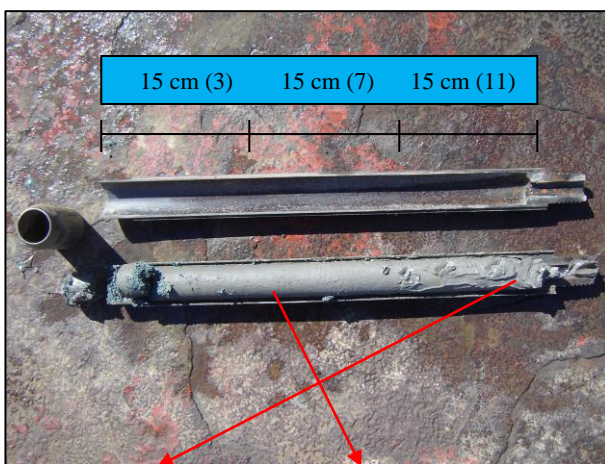
Las partes y características de la cuchara partida se ilustran en las fotografías 9 y 10. Seguidamente en las fotografías 11 y 12, se presenta un ejemplo de cálculo del número de penetración estándar (N).



Fotografía 9 Cuchara partida desacoplada



Fotografía 10 Cuchara partida acoplada



Limos arcillosos, luego limos compactos, luego arena de grano grueso color verdoso (SPT = 3-7-11, N = 18)

Fotografía 11 Cálculo de N (muestra sin manipular)



Fotografía 12 Cálculo de N (muestra manipulada)

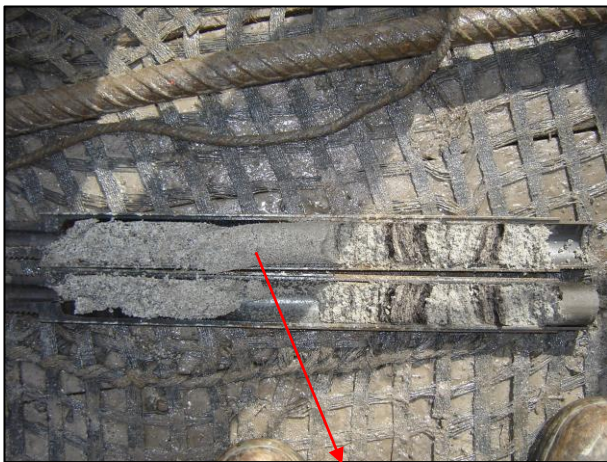
En las siguientes 8 fotografías se ilustran los principales tipos de suelo encontrados en las zonas evaluadas, presentando su clasificación y su valor aproximado del número de penetración estándar (N).



Arcilla blanca consistencia muy blanda ($N \approx 2$)



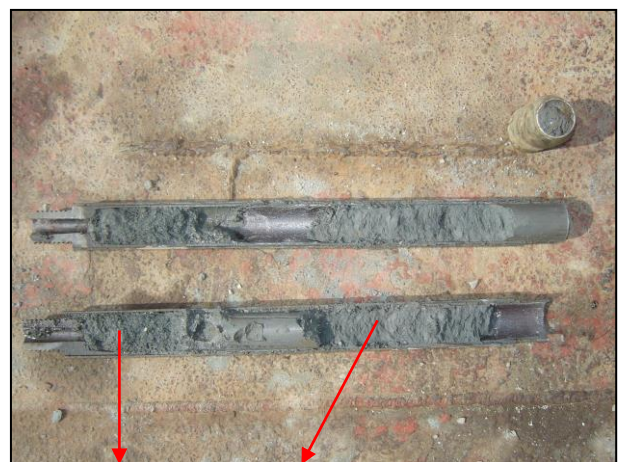
Arcilla con turba consistencia blanda ($N \approx 5$)



Arena blanca suelta, luego arena con lentes de turba ($N \approx 15$)



Lodos consistencia muy blanda ($N \approx 2$)



Arenisca y luego limolita de const. alta ($N > 50$)



Limolita consistencia blanda a media ($N \approx 25$)



Limolita consistencia alta ($N > 50$)

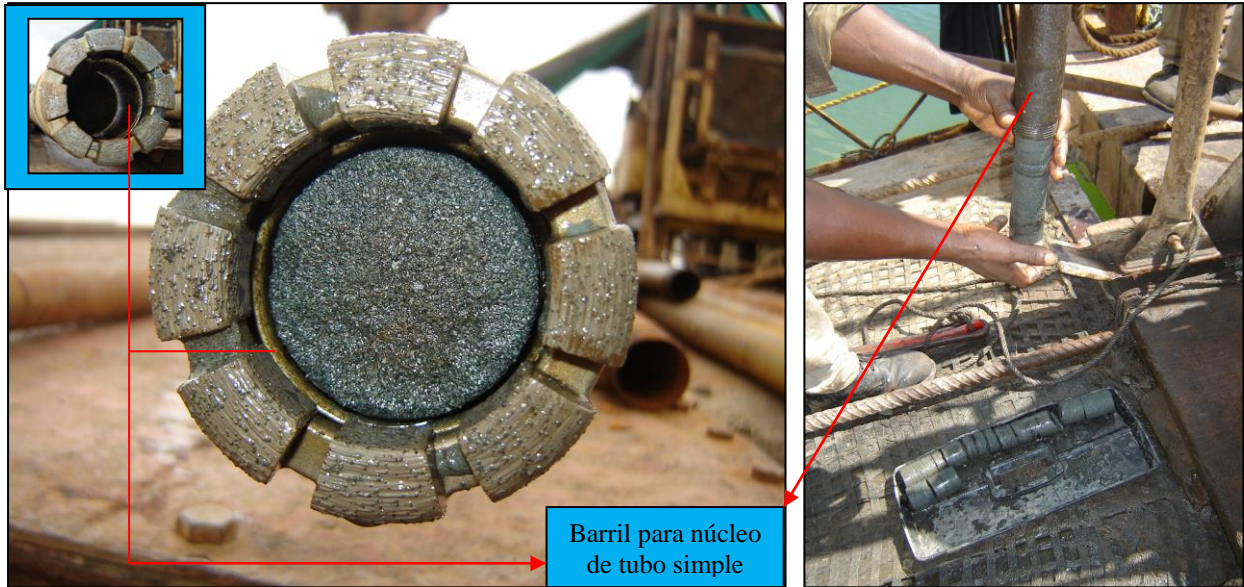
Fotografías 13 a 20 Principales tipos de suelo encontrados en las zonas del muelle y patio de contenedores

b) Barrena: Estratos duros rocosos

El basamento rocoso está caracterizado en este lugar del Pacífico colombiano, por rocas sedimentarias tipo limolita, arcillolita ó arenisca. En estos estratos duros de roca se hace casi imposible perforar con los métodos de percusión y lavado, por lo que se utiliza la rotación como método adicional de perforación acompañado nuevamente del método de lavado.

Para los sondeos efectuados en las *zonas evaluadas*, se utilizo la barrena como elemento de rotación. Esta consiste de una barra perforadora hueca de 4 m de longitud unida en su interior con un barril para núcleo de tubo simple, el cual permite recolectar núcleos de roca de longitudes variables, alcanzando muestreos de hasta 3 m de longitud (los núcleos de roca obtenidos con barriles de tubo simple podrán estar sumamente alterados y fracturados debido a la torsión). En su punta, la barrena está conectada a una broca de tungsteno y diamante negro cuya función es cortar la formación rocosa durante el proceso de perforación rotatoria.

La ubicación de la muestra en el interior de la barrena y el proceso de extracción de esta, se ilustran en las fotografías 21 y 22 respectivamente.



Fotografía 21 Núcleo de arenisca en barril de tubo simple

Fotografía 22 Extracción de núcleos

A continuación, se ilustran los principales tipos de roca encontrados en las zonas evaluadas.



Fotografía 23 Núcleos de limolita



Fotografía 24 Núcleos de arenisca

Con base en la longitud del núcleo de roca recuperado en cada avance de la barrena, se calcula el valor de RQD para una evaluación general de la calidad de roca encontrada (ver cuadro 5). RQD: Índice de calidad de la roca (Rock Designation Quality), se define como el porcentaje de recuperación de pedazos de núcleos de rocas mayores o iguales a 10 cm de longitud con respecto a la longitud del avance.

$$RQD (\%) = \frac{\sum \text{Longitudes de núcleos} \geq a \text{ 10cm}}{\text{longitud del avance}}$$

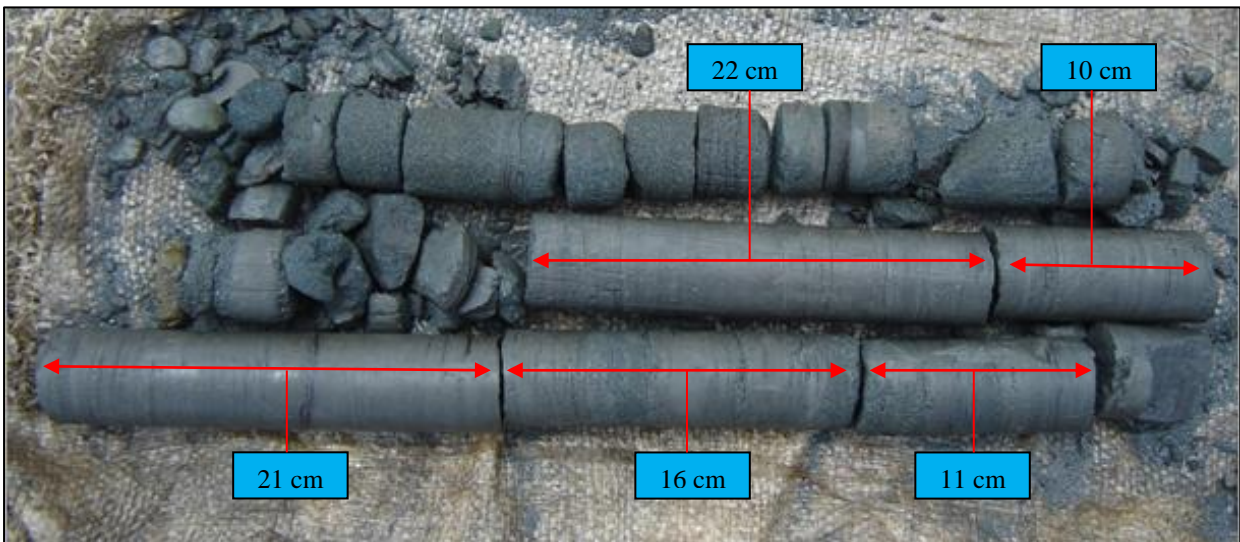
Ecuación 1 Índice de calidad de la roca (RQD)

Cuadro 5 Índice de calidad de la roca (RQD)

<i>CALIDAD DE LA ROCA</i>	<i>RQD (%)</i>
Muy mala	0 – 25
Mala	25 – 50
Regular	50 – 75
Buena	75 – 90
Excelente	90 – 100

Finalmente, solo aquellos núcleos de roca que cumplan con ciertos requerimientos podrán ser evaluados en los siguientes ensayos de laboratorio: Compresión inconfiada, Carga puntual, Corte directo y Triaxial.

A continuación se presenta un ejemplo de cálculo del índice de calidad de la roca (RQD).



Fotografía 25 Índice de calidad de la roca (RQD)

$$RQD (\%) = \frac{\sum \text{Longitudes de núcleos} \geq 10 \text{ cm}}{\text{longitud del avance}} \quad \longrightarrow \quad RQD (\%) = \frac{11+16+21+22+10}{270 \text{ cm}} = 29.6\%$$

Índice de calidad de la roca = mala (25% – 50%)

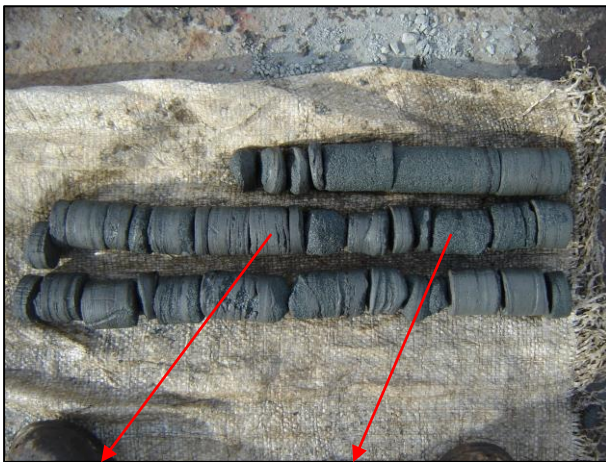
En las fotografías 27 a 30, se ilustran algunas de las muestras recolectadas de roca limolita y arenisca, presentando una descripción de estas y su valor de índice de calidad (RQD).



Limolita con lentes arenosos (RQD=19.6%)



Limolita con lentes arenosos, luego arenisca con lentes de limolita (RQD=17.1%)



Limolita intercalada con arenisca (RQD=4,1%)



Limolita con lentes de arena fina (RQD=0%)

Fotografías 26 a 29 Principales tipos de roca existentes en las zonas del muelle y patio de contenedores

6.3 Registros de perfil de suelos

El propósito de los registros de perfil de suelos es registrar detalladamente la información proveniente de los sondeos, estableciendo para cada perforación la estratificación del subsuelo mediante la descripción de las principales características físicas y mecánicas de los suelos encontrados.

En el anexo 2, se presentan los 27 registros de perfil de suelos correspondientes a los sondeos realizados que se introducen a continuación. En cada uno de los registros se indican las fechas de realización de los sondeos, su localización, la forma de avance, la longitud del revestimiento metálico instalado, el tipo de suelo y roca detectada, los valores del ensayo de penetración estándar e índice de calidad de la roca y la profundidad alcanzada en cada uno.

- 1) Sondeo 4, localizado en I-19, hasta 27.25 m de profundidad.....(3 páginas)
- 2) Sondeo 13, localizado en T-21, hasta 32.35 m de profundidad.....(4 páginas)
- 3) Sondeo 14, localizado en A-7, hasta 28.30 m de profundidad.....(3 páginas)
- 4) Sondeo 15, localizado en A-51, hasta 28.45 m de profundidad.....(3 páginas)
- 5) Sondeo 16, localizado en AM-AN-19, hasta 23.3 m de profundidad.....(3 páginas)
- 6) Sondeo 17, localizado en A-20, hasta 28.35 m de profundidad.....(3 páginas)
- 7) Sondeo 18, localizado en OP-42, hasta 27.07 m de profundidad.....(3 páginas)
- 8) Sondeo 19, localizado en PQ-42, hasta 30.85 m de profundidad.....(4 páginas)
- 9) Sondeo 20, localizado en K-65, hasta 25.65 m de profundidad.....(3 páginas)
- 10) Sondeo 21, localizado en A-62, hasta 29.50 m de profundidad.....(3 páginas)
- 11) Sondeo 22, localizado en A-66, hasta 27.70 m de profundidad.....(3 páginas)
- 12) Sondeo 23, localizado en A-70, hasta 27.15 m de profundidad.....(3 páginas)
- 13) Sondeo 24, localizado en A-74, hasta 28.60 m de profundidad.....(3 páginas)
- 14) Sondeo 25, localizado en C-75, hasta 28.50 m de profundidad.....(3 páginas)
- 15) Sondeo 26, localizado en C-1, hasta 36.00 m de profundidad.....(4 páginas)
- 16) Sondeo 27, localizado en L-7, hasta 25.20 m de profundidad.....(3 páginas)
- 17) Sondeo 28, localizado en L-35-36, hasta 29.50 m de profundidad.....(3 páginas)
- 18) Sondeo 29, localizado en L-22-23, hasta 26.55 m de profundidad.....(3 páginas)
- 19) Sondeo 30, localizado en QR-18, hasta 34.60 m de profundidad.....(4 páginas)
- 20) Sondeo 31, localizado en XY-21, hasta 29.50 m de profundidad.....(3 páginas)
- 21) Sondeo 32, localizado en Z-18, hasta 29.00 m de profundidad.....(3 páginas)
- 22) Sondeo 33, localizado en AH-18, hasta 22.10 m de profundidad.....(3 páginas)
- 23) Sondeo 34, localizado en H-11, hasta 39.50 m de profundidad.....(4 páginas)

- 24) Sondeo 35, localizado en B-11, hasta 45.25 m de profundidad.....(5 páginas)
- 25) Sondeo 36, localizado en F-10, hasta 43.30 m de profundidad.....(5 páginas)
- 26) Sondeo 37, localizado en F-4, hasta 42.5 m de profundidad.....(5 páginas)
- 27) Sondeo 38, localizado en A-16, hasta 43.5 m de profundidad.....(5 páginas)

6.4 Selección, empaque y envió de muestras para ensayos de laboratorio



Muestra cuchara partida
 Sondeo #.....
 Localización.....
 Profundidad.....
 SPT.....
 Descripción de la muestra....
 Fecha.....

Muestra barrena
 Sondeo #.....
 Localización.....
 Profundidad.....
 Recobro.....
 RQD.....
 Descripción de la muestra....
 Fecha.....

Fotografía 30 Modelos de etiquetas para referenciar muestras

6.5 Ensayos de laboratorio

De acuerdo a las exigencias de la firma C.I.C Consultores de ingeniería y Cimentaciones S.A quienes realizaron los diseños estructurales y geotécnicos de las *estructuras evaluadas*. Los ensayos de laboratorio de mecánica de rocas exigidos inicialmente para las muestras recolectadas por los procedimientos de muestreo, son los que se presentan en el cuadro 6.

Cuadro 6 Ensayos de laboratorio

CUCHARA PARTIDA Y BARRENA	
Compresión inconfiada	Carga puntual
Parámetro de diseño	Método de verificación y correlación de resultados

Una vez presentado el primer informe con los resultados de ambos ensayos, se verificó la validez de estos observando una correlación similar entre los resultados. Es por ello que la firma C.I.C decidió continuar solamente con el ensayo de compresión inconfiada y descartar el ensayo de carga puntual.

A diferencia del ensayo de compresión inconfiada, el ensayo de carga puntual no ha sido muy utilizado en Colombia, y por tanto la mayoría de laboratorios dedicados al estudio de rocas no se encuentran familiarizados con el método y no conocen la aplicación ni procedimiento de este. Es por ello, que se explicara de forma especial este ensayo de laboratorio.

a) Carga puntual (Norma ASTM Designación: D 5731 – 95)

Alcance

El ensayo de carga puntual es un método de clasificación y caracterización de rocas, el cual permite evaluar núcleos y bloques de roca de forma regular e irregular. Con este ensayo se determina el índice $I_{s(50)}$ y se correlaciona con otros parámetros como la resistencia a la compresión inconfiada o uniaxial.

Resumen

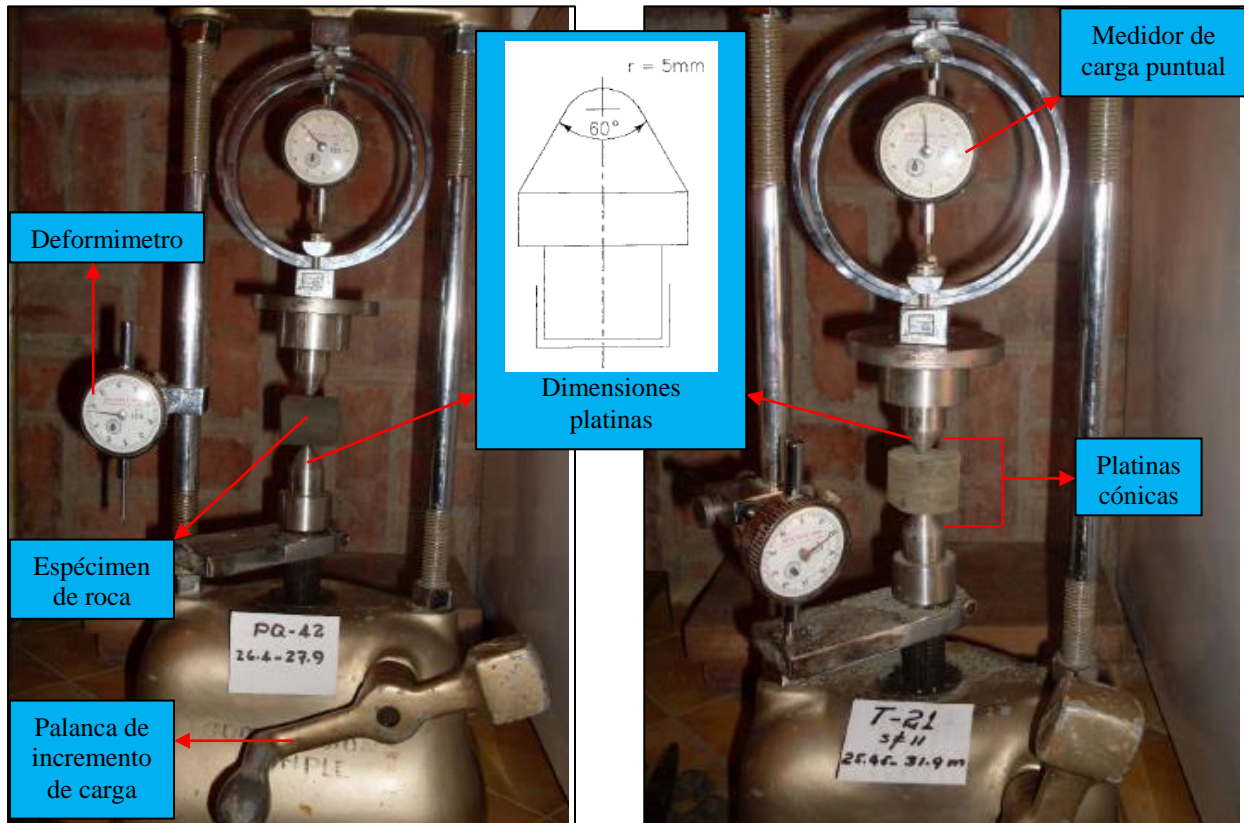
El método consiste en someter un espécimen de roca a un incremento continuo de carga puntual aplicada a través de un par de platinas cónicas opuestas situadas a lado y lado del espécimen hasta que la falla ocurra logrando la fragmentación de este. La carga correspondiente al momento de falla, es utilizada para calcular el índice de carga puntual ($I_{s(50)}$) y estimar la resistencia máxima del espécimen de roca sometido a una tensión normal en una sola dirección o resistencia a la compresión inconfiada (τ_c).

Significado y uso

- El ensayo de carga puntual se utiliza como método de clasificación y caracterización de rocas, mientras que sus resultados no deberán ser empleados para diseños o cálculos analíticos.
- Cuando se hace necesario el uso de ensayos de compresión inconfiada con el fin de obtener información preliminar y de reconocimiento, métodos alternos como el ensayo de carga puntual pueden ser utilizados en reemplazo.
- Los especímenes de roca de forma regular, bien sean núcleos (prueba diametral y axial) o bloques cortados (prueba de bloque), e irregular (prueba de masas irregulares) serán probados mediante la aplicación de una carga puntual a través de un par de platinas cónicas opuestas.

Aparato

Las características y partes principales del sistema se muestran en la fotografías 31 y 32.

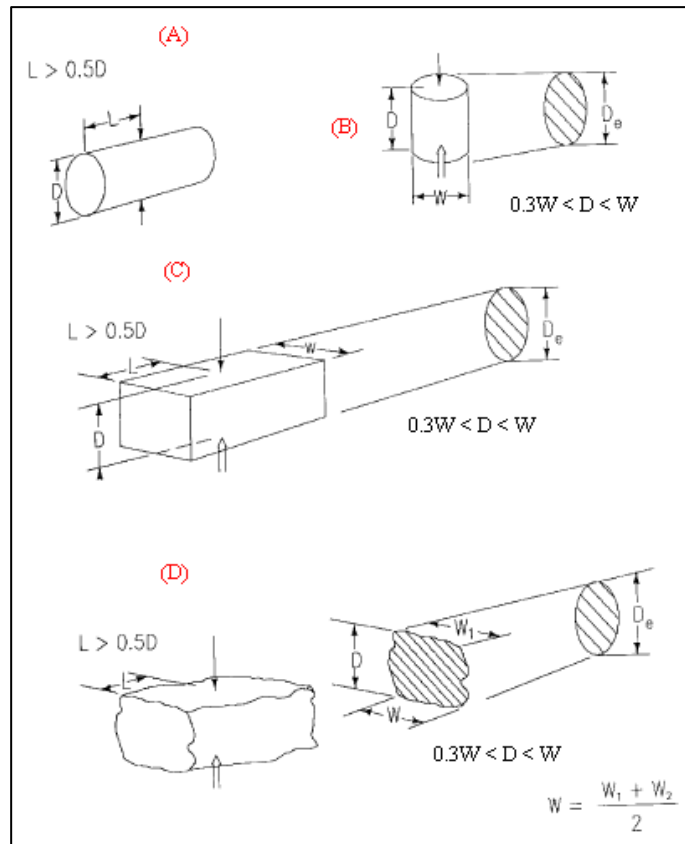


Fotografía 31 Prueba diametral

Fotografía 32 Prueba axial

Especímenes de prueba

- Muestreo: Si se desea determinar el valor de carga puntual para un tipo de roca y posterior clasificación de esta, se necesitaran al menos 10 especímenes de forma regular o 20 especímenes de forma irregular.
- Dimensiones: Las dimensiones externas de los especímenes (entre platina y platina) no deberán ser menor de 30 mm y mayor que 85 mm, con una dimensión recomendada de 50.
- Tamaño y forma: Los requerimientos de tamaño y forma para las pruebas: diametral, axial, de bloque o de masas irregulares, deberán ajustarse a las recomendaciones mostradas en la figura 1. Los lados de los especímenes deberán estar libres de irregularidades abruptas que generen concentraciones de esfuerzos.



L = longitud al punto de aplicación de la carga, W = ancho, D = profundidad o diámetro, D_e = diámetro de núcleo equivalente

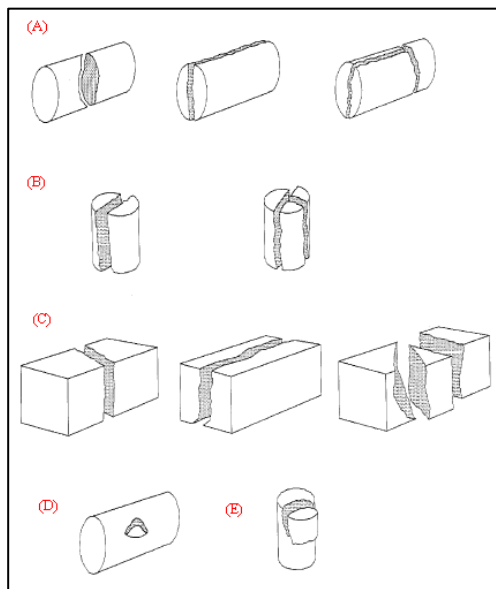
Figura 3 Configuraciones de carga y requerimientos de acuerdo a la forma de los especímenes para (A) Prueba diametral, (B) Prueba axial, (C) Prueba de bloque, y (D) Prueba de masas irregulares.

- Prueba diametral: Especímenes con forma de núcleo y tamaño $\text{largo}/D > 1$, son adecuados para esta prueba.
- Prueba axial: Especímenes con forma de núcleo y tamaño $0.3W < D < W$, son adecuados para esta prueba.
- Prueba de bloque y masas irregulares: Especímenes con forma de bloque y tamaño $0.3W < D < W$ preferiblemente cercano a W , son adecuados para estas pruebas.
- Prueba en rocas anisótropas: El espécimen al presentar propiedades variables según la dirección en que se mida, deberá ser probado paralela y perpendicularmente a los planos de anisotropía encontrando el mayor y menor valor de carga.
- Contenido de agua: Mediante el método de prueba D 2216, se deberá determinar el contenido de agua de cada espécimen después de probarlo, evitando que este afecte los valores de carga puntual.

Procedimiento

Una vez seleccionadas las muestras de ensayo para cualquiera de las pruebas anteriores, se coloca cada espécimen por separado en el aparato de prueba cerrando ambas platinas hasta hacer contacto con el espécimen, y se miden las distancias L, D y W verificando que estas cumplan con los requerimientos especificados para cada prueba. Se empieza a incrementar continuamente la carga puntual haciendo girar la palanca a velocidad constante hasta que la falla ocurra dentro de un rango de 10 a 60 s registrando la carga de falla (P).

La figura 2 presenta los modos típicos de falla utilizados como criterio para la validez o invalidez de las pruebas, mientras que la fotografía 33 ilustra 10 ejemplos validos de modos de falla para la prueba axial.



(A) P. diametral valida; (B) P. axial valida; (C) P. de bloque valida; (D) P. en núcleos inválida; y (E) P. axial inválida

Figura 4 Modos típicos de falla para pruebas validas e invalidas



Fotografía 33 Especímenes fallados mediante pruebas axiales

Cálculos

- Índice de carga puntual sin corregir (I_s) en Kg/cm^2

$$I_s = \frac{P}{De^2}$$

P = carga puntual de falla (Kg)

De = diámetro de núcleo equivalente = D para pruebas diametrales

De² = D² para pruebas diametrales (mm²)

De² = 4A/π para pruebas axiales, de bloque y masas irregulares (mm²)

A = WD = mínima sección de área de contacto en sentido de las platinas (ver figura 1).

- Factor de corrección de tamaño (F)

$$F = \left(\frac{De}{50}\right)^{0.45}$$

Is varía en función de D en las pruebas diametrales y en función de De en las pruebas axiales, de bloque y masas irregulares, por ello un factor de corrección deberá ser empleado obteniendo un valor único de carga puntual para un tipo de roca y un valor único que pueda ser utilizado para propósitos de clasificación.

- Índice de carga puntual corregido ($I_{s(50)}$) en Kg/cm^2

$$I_{s(50)} = I_s * F$$

Correspondiente a D = 50 mm para pruebas diametrales y De ≈ 50 mm para pruebas axiales, de bloque y masas irregulares.

- Resistencia a la tracción inconfiada o uniaxial (τt) en Kg/cm^2 .

$$\tau t = \frac{I_{s(50)}}{0.8}$$

- Resistencia a la compresión inconfiada o uniaxial (τc) en Kg/cm^2 .

$$\tau c = 15 * \tau t$$

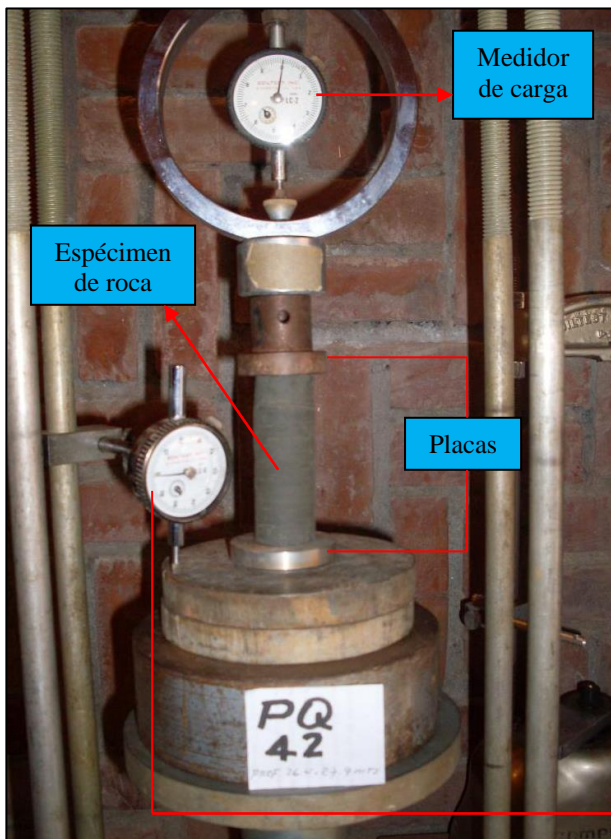
b) Compresión inconfiada (Norma I.N.V.E 152 – 07)

El ensayo de compresión inconfiada o uniaxial es ampliamente utilizado, ya que constituye un método rápido, económico y confiable para evaluar la resistencia de muestras de suelo y núcleos de roca. Básicamente, consiste en un ensayo uniaxial en donde se coloca una muestra de longitud adecuada, en este caso un núcleo de roca con dimensiones $2d < L < 3d$ (L = longitud del núcleo y

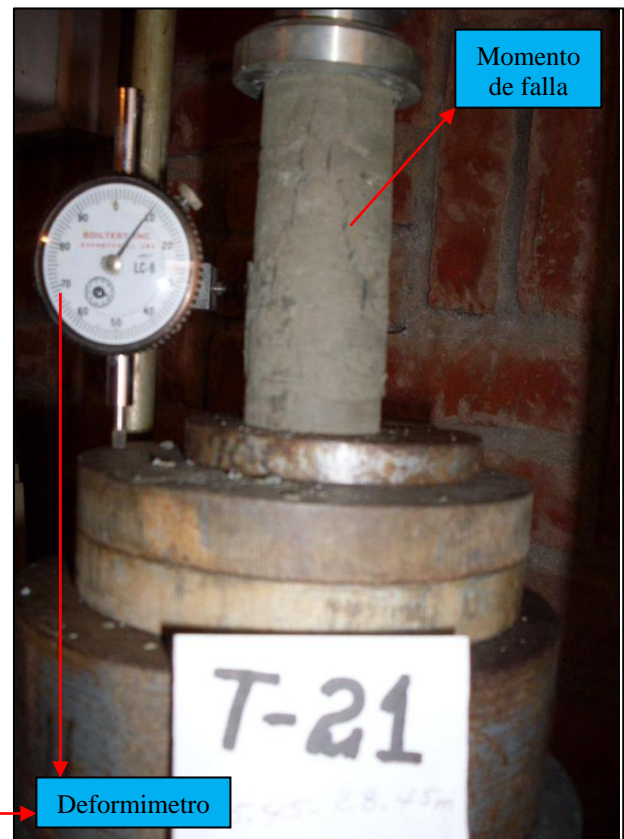
d = diámetro del núcleo), entre dos placas sin soporte lateral encargadas de aplicar la carga axial al núcleo de roca en condiciones no drenadas.

Normalmente, el ensayo se realiza mediante un control de deformación, controlando la velocidad de avance de las placas y registrando las cargas correspondientes a las deformaciones establecidas, hasta que la carga en dicha muestra comience a decrecer presentándose la falla o hasta que por lo menos se haya desarrollado una deformación unitaria del 20%. Los datos registrados, se utilizan para calcular las áreas corregidas y posteriormente la resistencia a la compresión inconfiada del núcleo de roca.

Las características y partes principales del sistema se muestran en la fotografías 34 y 35.



Fotografía 34 Aplicación de carga



Fotografía 35 Momento de falla

6.5.1 Resultados de laboratorio

a) Carga puntual

En el cuadro 7 se presentan los resultados del ensayo correspondientes a 8 de los puntos de análisis. Para un total de 10 ensayos realizados.

Cuadro 7 Resultados del ensayo de carga puntual

<i>PUNTO</i>	<i>REFERENCIA TOPOGRAFICA</i>	<i>MUESTRA</i>	<i>PROFUNDIDAD (m)</i>	$I_{s(50)}$ (Kg/cm ²)	τ_c (prueba diametral) (Kg/cm ²)	<i>TIPO DE ROCA</i>
1	I-19	Barrena	25.35-27.5	1.44	26.99	Limolita CA
2	T-21	Barrena	25.45-28.45	2.91	54.56	Limolita CA
3	A-7	Barrena	25.45-27.95	1.91	35.78	Limolita CA
4	A-51	Barrena	22.3-25.0	1.92	36.04	Limolita CA
5	AM-AN-19	Barrena	19.4-22.85	2.26	42.39	Limolita CA
6	A-20	Barrena	24.9-27.9	1.61	30.13	Limolita CA
7	OP-42	Barrena	21.5-24.5	1.48	27.68	Limolita
8	PQ-42	Barrena	22.95-25.95	1.37	25.77	Limolita
8	PQ-42	Barrena	26.4-27.9	1.49	27.99	Limolita CA
8	PQ-42	Barrena	27.9-30.4	2.01	37.6	Limolita CA

NOTA: Las profundidades van con respecto del nivel de placa

CA = consistencia alta (ver anexo 2 registros de perfil de suelos), N = no aptos para diseño o cálculos analíticos

b) Compresión inconfínada

En el cuadro 8 se presentan los resultados del ensayo correspondientes a los 27 puntos de análisis. Para un total de 90 ensayos realizados.

Cuadro 8 Resultados del ensayo de compresión inconfínada

<i>PUNTO</i>	<i>REFERENCIA TOPOGRAFICA</i>	<i>MUESTRA</i>	<i>PROFUNDIDAD (m)</i>	q_u (Kg/cm ²)	<i>TIPO DE ROCA</i>
1	I-19	No hay	-----	----	-----
2	T-21	Barrena	25.45-28.45	25.8	Limolita CA
3	A-7	Barrena	24.2-25.0	20.8	Limolita CA
4	A-51	No hay	-----	----	-----
5	AM-AN-19	Barrena	19.4-22.85	25.4	Limolita CA
6	A-20	No hay	-----	----	-----
7	OP-42	Barrena	21.5-24.5	12.3	Limolita
8	PQ-42	Barrena	26.4-27.9	11.9	Limolita
9	K-65	Barrena	21.0-22.65	26.6	Limolita CA
9	K-65	Barrena	21.0-22.65	23.1	Limolita CA
9	K-65	Barrena	22.65-24.15	17.2	Limolita CA
9	K-65	Barrena	24.15-25.65	19.8	Limolita CA
9	K-65	Barrena	24.15-25.65	27.8	Limolita CA
10	A-62	No hay	-----	----	-----
11	A-66	No hay	-----	----	-----
12	A-70	No hay	-----	----	-----
13	A-74	No hay	-----	----	-----
14	F-75	Cuchara	22.0-22.45	4.1	N
14	F-75	Barrena	26.5-28.5	21.3	Limolita CA
14	F-75	Barrena	26.5-28.5	16.5	Limolita CA
14	F-75	Barrena	26.5-28.5	25.7	Limolita CA
15	C-1	Cuchara	20.9-21.35	2.7	N
15	C-1	Barrena	21.35-23.5	17.3	Limolita CA

15	C-1	Barrena	21.35-23.5	23.9	Limolita CA
15	C-1	Cuchara	23.50-23.95	5.7	N
15	C-1	Barrena	29.25-30.75	23.4	Arenisca CA
15	C-1	Barrena	29.25-30.75	13.4	Arenisca CA
15	C-1	Barrena	34.0-36.0	19.9	Limolita CA
16	L-7	Barrena	20.0-21.5	13.7	Limolita
16	L-7	Barrena	22.0-25.0	18.5	Limolita CA
17	L-35-36	Cuchara	14.2-14.65	5.0	N
17	L-35-36	Barrena	19.0-20.25	13	Limolita
17	L-35-36	Barrena	25.1-26.3	23.8	Limolita CA
17	L-35-36	Barrena	28.0-29.5	29.2	Limolita CA
18	L-22-23	Barrena	17.6-19.0	7.7	Limolita
18	L-22-23	Cuchara	19.0-19.45	0.53	N
18	L-22-23	Cuchara	20.85-21.15	2.25	N
18	L-22-23	Barrena	21.15-22.65	21.4	Limolita CA
18	L-22-23	Barrena	21.15-22.65	18.52	Limolita CA
18	L-22-23	Barrena	22.9-25.2	18.8	Limolita CA
18	L-22-23	Barrena	25.5-26.5	11.4	Arenisca CA
19	QR-18	Cuchara	20.1-20.55	2.22	N
20	XY-21	Cuchara	15.0-15.45	3.1	N
20	XY-21	Barrena	19.8-21.4	14.81	Limolita
20	XY-21	Barrena	19.8-21.4	23.35	Limolita CA
20	XY-21	Barrena	21.55-24.0	16.2	Limolita CA
20	XY-21	Barrena	21.55-24.0	15.1	Limolita CA
20	XY-21	Barrena	28.0-29.5	16.9	Limolita CA
21	Z-18	Cuchara	21.0-21.45	2.54	N
21	Z-18	Barrena	21.45-23.85	12.68	Limolita
21	Z-18	Barrena	24.15-26.85	17.25	Limolita CA
21	Z-18	Barrena	27.3-29.0	16.37	Limolita CA
21	Z-18	Barrena	27.3-29.0	17.84	Limolita CA
22	AH-18	Cuchara	12.5-12.95	1.12	N
22	AH-18	Barrena	20.1-22.1	12.92	Limolita CA
22	AH-18	Barrena	20.1-22.1	12.15	N
22	AH-18	Barrena	20.1-22.1	14.5	Limolita CA
23	H-11	Barrena	24.85-26.6	21.18	Arenisca CA
23	H-11	Barrena	26.75-28.4	18.6	Arenisca CA
23	H-11	Barrena	26.75-28.4	17.1	Arenisca CA
23	H-11	Barrena	28.55-30.8	21.6	Arenisca CA
23	H-11	Barrena	31.1-34.1	16.34	Arenisca CA
23	H-11	Barrena	34.55-36.5	19.11	Arenisca CA
23	H-11	Barrena	34.55-36.5	16.0	Arenisca CA
23	H-11	Barrena	36.65-39.5	16.8	Limolita CA
23	H-11	Barrena	36.65-39.5	15.4	Limolita CA
24	B-11	Barrena	20.7-22.35	16.0	Limolita CA
24	B-11	Barrena	20.7-22.35	15.4	Limolita CA
24	B-11	Barrena	26.45-28.0	13.6	Arenisca CA
24	B-11	Barrena	26.45-28.0	17.8	Arenisca CA
24	B-11	Barrena	29.6-31.45	11.51	Arenisca CA
24	B-11	Barrena	31.6-33.6	12.3	Arenisca CA
24	B-11	Barrena	31.6-33.6	10.2	N
24	B-11	Barrena	31.6-33.6	20.5	Arenisca CA
24	B-11	Barrena	33.9-35.65	17.9	Arenisca CA

24	B-11	Barrena	33.9-35.65	6.2	N
24	B-11	Barrena	33.9-35.65	21.5	Arenisca CA
24	B-11	Barrena	37.3-39.2	15.3	Limolita CA
25	F-10	Barrena	26.75-28.95	19.3	Arenisca CA
25	F-10	Barrena	26.75-28.95	16.4	Arenisca CA
25	F-10	Barrena	29.1-30.9	12.6	Arenisca CA
25	F-10	Barrena	29.1-30.9	13.6	Arenisca CA
25	F-10	Barrena	31.0-32.25	13.1	Arenisca CA
25	F-10	Barrena	32.5-34.95	18.3	Arenisca CA
25	F-10	Barrena	35.05-37.3	15.3	Limolita CA
25	F-10	Barrena	37.4-39.65	14.0	Limolita CA
25	F-10	Barrena	37.4-39.65	13.0	Limolita CA
25	F-10	Barrena	40.1-43.3	12.1	N
26	F-4	Barrena	20.4-22.55	11.1	Limolita
26	F-4	Barrena	25.5-27.85	18.7	Arenisca CA
26	F-4	Barrena	25.5-27.85	17.8	Arenisca CA
26	F-4	Barrena	28.0-29.8	17.1	Arenisca CA
26	F-4	Barrena	28.0-29.8	14.4	Arenisca CA
26	F-4	Barrena	29.95-32.3	21.1	Arenisca CA
26	F-4	Barrena	29.95-32.3	23.0	Arenisca CA
26	F-4	Barrena	32.45-34.7	14.9	Arenisca CA
27	A-16	Barrena	37.75-40.25	25.0	Limolita CA
# total de ensayos				90	
qu promedio para limolita CA (38 muestras)				19.4 Kg/cm ²	
qu promedio para arenisca CA (30 muestras)				17.1 Kg/cm ²	

NOTA: Las profundidades van con respecto del nivel de placa

CA = consistencia alta, SPT > 50 (ver anexo 2 registros de perfil de suelos), N = no aptos para diseño o cálculos analíticos

6.6 Características del subsuelo en las zonas del muelle y patio de contenedores

Acorde con el trabajo de auscultación geotécnica, realizado en el tiempo de duración de la pasantía con la empresa Estudio de Suelos Ltda. (27 perforaciones), los suelos en las zonas del muelle y patio de contenedores son de origen sedimentario y se estratifican de la siguiente manera:

Estrato 1: Está compuesto por lodos y sedimentos, conformados por limos arcillosos color gris oscuro (SPT, $N \approx 2$) con presencia de materia orgánica (turba) color café oscuro (SPT, $N \approx 4$). Este estrato podrá tener un espesor de hasta 8 m en la zona inicial del patio de contenedores (eje BE), e irá disminuyendo hasta casi desaparecer a medida que nos acerquemos hacia la zona del muelle (eje A).

Estrato 2: Por debajo de los depósitos de lodos, se presenta una capa de limos arenosos color gris oscuro (SPT, $N \approx 8$) con presencia de materia orgánica (turba) color café oscuro (SPT, $N \approx 8$). Este estrato tiene un espesor aproximado de 5 m. Algunas veces, el estrato está conformado por mantos de arena suelta con o sin presencia de materia orgánica presentando un espesor de hasta 1 m. (SPT, $N \approx 15$)

Estrato 3: Subyaciendo los depósitos de suelos (profundidad promedio = 20 m, con respecto al nivel de la placa), se encuentra una roca identificada como limolita arenosa de color gris oscuro, que se origina de la compactación y cementación de partículas sólidas de tamaño limo, procedentes de la meteorización física de rocas que han sido transportadas por agentes erosivos. Este tipo de roca, presenta una laminación (limolita - lente de arena - limolita) que ha sido producto de su origen sedimentario generando capas depositadas en diferentes épocas geológicas.

A medida que aumenta la profundidad, la roca limolita incrementa su nivel de consistencia en un espesor aproximado de 3 m, pasando de consistencia blanda (SPT, $15 < N < 25$), a consistencia media (SPT, $25 < N < 49$ y $q_u \approx 13 \text{ kg/cm}^2$), hasta alcanzar el estrato duro rocoso de consistencia alta (SPT, $N \geq 50$ y $q_u \approx 20 \text{ kg/cm}^2$), para el cual se hace necesario el uso del método de rotación con corona de diamante en el proceso de perforación.

Debido a su estructura laminada y por sus características de roca blanda (ver análisis de resultados), la limolita arenosa se fractura por los planos pre-establecidos de debilidad (lentes de arena), por lo cual, en la mayoría de las veces durante el proceso de perforación no se obtienen núcleos continuos de longitud considerable aptos para ensayos de laboratorio. Por la misma razón, el RQD en la mayoría de las perforaciones se encuentra entre 0 – 25% presentando un índice de calidad de la roca muy malo.

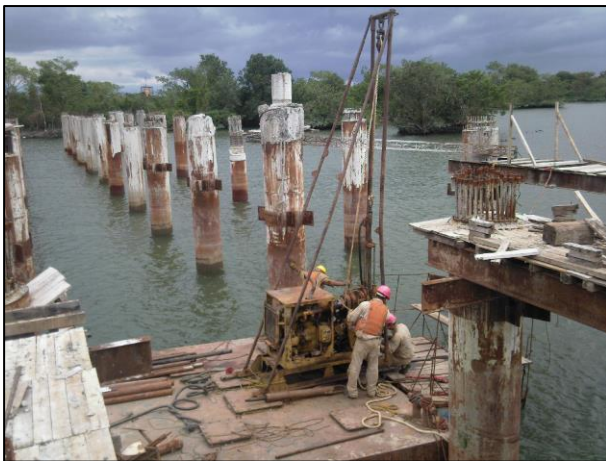
Estrato 4: A partir del inicio del estrato duro rocoso (profundidad promedio = 23 m, con respecto al nivel de la placa), la roca limolita se encuentra intercalada por mantos de roca arenisca de color gris oscuro y de consistencia alta (SPT, $N \geq 50$ y $q_u \approx 17 \text{ kg/cm}^2$). La arenisca, también es una roca de origen sedimentario que se origina de la compactación y cementación de partículas sólidas de tamaño arena (grano fino, mediano o grueso), procedentes de la meteorización física de rocas que han sido transportadas por agentes erosivos. Estos mantos de arenisca, al igual que la limolita podrán tener un espesor de hasta 10 m con un espesor promedio de roca sana = 6 m.

La razón por la cual estas dos rocas se intercalan continuamente es muy sencilla. Cada vez que ocurre cualquier fenómeno erosivo capaz de transportar grandes cantidades de partículas sólidas, tales como limos y arenas hacia las *zonas evaluadas*, estas deberán empezar nuevamente su proceso de sedimentación. Inicialmente, las partículas de tamaño arena al ser más pesadas que las partículas de tamaño limo, se sedimentaran más rápido y quedaran ubicadas en la parte inferior del nuevo estrato. Con el paso del tiempo, nuevos fenómenos erosivos ocurrirán y el ciclo se repetirá nuevamente, aumentando cada vez más la cantidad de partículas sólidas en las *zonas evaluadas*. Estas nuevas partículas, se ubicaran sobre las antiguas y debido a su peso comenzaran a ejercer presión sobre los limos y arenas generando la compactación y cementación de estos, hasta formar las rocas conocidas como limolita y arenisca.

7. TRABAJO DE VERIFICACIÓN GEOTÉCNICA

El propósito del trabajo de verificación geotécnica para este proyecto es chequear la cimentación de las estructuras en las zonas del muelle y patio de contenedores, realizada con pilotes in-situ de extracción de sección circular con camisa perdida, verificando los cálculos y diseños tanto estructurales como geotécnicos realizados.

Las siguientes 4 fotografías representan algunos de los *puntos de verificación geotécnica*, ilustrando las ubicaciones y dificultades al momento del traslado y realización de las perforaciones.



Punto Z-18



Punto AH-18



Punto OP-42 (marea baja 0 m)



Punto OP-42 (marea alta 6 m)

Fotografías 36 a 39 Puntos de verificación geotécnica

7.1 Cimentación de la estructuras en las zonas del muelle y patio de contenedores

Definición cimentación

Conjunto de elementos estructurales cuya misión es transmitir las cargas provenientes de la superestructura al suelo de fundación.

La elección del tipo de cimentación depende especialmente de las características mecánicas del terreno, como su cohesión, su ángulo de rozamiento interno, posición del nivel freático y también de la magnitud de las cargas existentes. A partir de todos estos datos se calcula la capacidad de carga de la cimentación, que junto con la homogeneidad del terreno aconsejan usar un tipo de cimentación, bien sea: superficial, semi-profunda o profunda, la cual me permita garantizar la seguridad estructural.

Características de la cimentación en las zonas evaluadas

- La cimentación en la zona del muelle está constituida por pilotes in-situ de extracción con camisa pérdida de 0.8 m de diámetro, hasta lograr una profundidad mínima de empotramiento de 5 m en roca limolita (consistencia alta, SPT > 50). Su mecanismo de transferencia de carga será por punta y fricción en roca.
- La cimentación en la zona del patio de contenedores está constituida por pilotes in-situ de extracción con camisa pérdida de 0.7 m de diámetro, hasta lograr una profundidad mínima de empotramiento de 4 m en roca limolita (consistencia alta, SPT > 50). Su mecanismo de transferencia de carga será por punta y fricción en roca.

Con estos empotramientos, los pilotes presentan un comportamiento adecuado frente a cargas laterales.

Definición pilote

Los pilotes son miembros estructurales hechos con acero, concreto y/o madera y son usados para construir cimentaciones. Los pilotes permiten transmitir las cargas hasta un estrato duro rocoso cuando este se encuentra a una profundidad tal que, se hace inviable técnica o económicamente una cimentación de tipo superficial o semi-profunda.

Definición pilotes in-situ

La denominación in-situ se aplica cuando el método constructivo consiste en realizar una perforación en suelo o roca (1 y 2), a la cual, una vez terminada se le colocará un armado en su interior (3) y posteriormente se rellenará con hormigón (4); tal como se muestra en la figura 3.

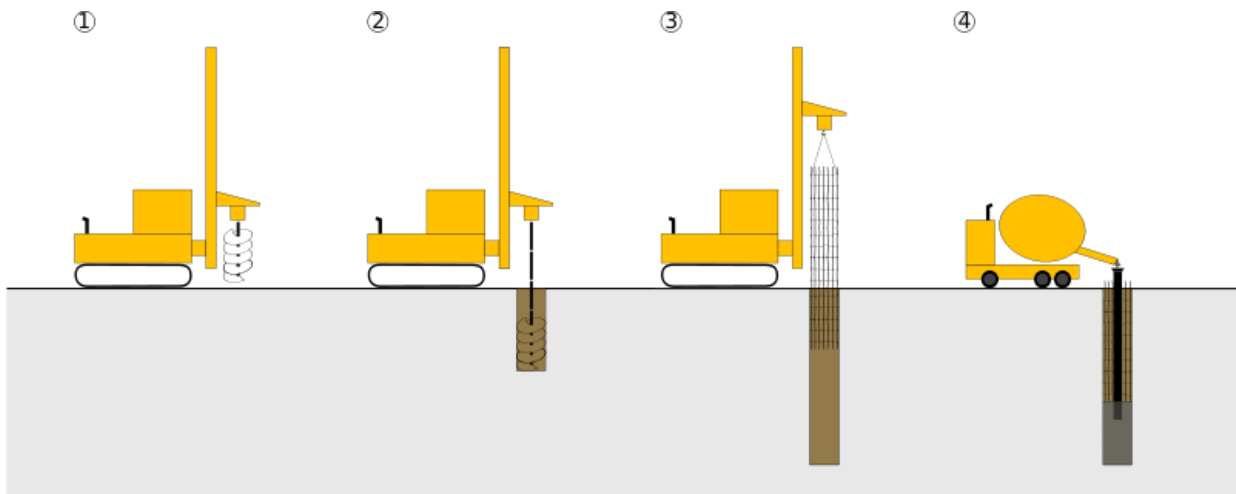


Figura 5 Método constructivo para pilotes in-situ

En ocasiones, el suelo en el que se está cimentando, es un material inestable como son agregados gruesos, arenas y limos, los cuales al poseer una estructura cohesiva tan frágil, cualquier movimiento como el que produce la broca al perforar o la simple presencia de agua, entre otros, hace que se rompa dicha cohesión generando derrumbamientos de las paredes en el interior de la perforación o fenómeno de “caídos”. Es por ello que se recurre a diversos métodos constructivos como el uso de una camisa de protección para evitar posibles derrumbamientos.

Definición pilotes in-situ de extracción con camisa perdida

Una vez realizada la perforación en el suelo, se coloca una camisa de protección de paredes delgadas (tubo metálico a modo de encofrado) en su interior, la cual queda unida definitivamente al pilote evitando que se derrumbe la excavación.

Condiciones para el uso de pilotes como tipo de cimentación en las zonas evaluadas

- Debido a la localización geográfica del proyecto, las *estructuras evaluadas* se encuentran ubicadas en zona costera con fluctuaciones de marea de hasta 6 m, lo que implica que la cimentación deberá atravesar varios metros de agua antes de internarse en el suelo.
- La profundidad de la roca sobre la cual ira la cimentación es de profundidad variable.
- Los estratos superiores de suelo son altamente compresibles y de baja capacidad portante para soportar la carga transmitida por la superestructura. Por lo tanto el uso de pilotes permitirá tanto la transmisión de la carga a la roca trabajando por punta, como la transmisión de la carga gradualmente a la roca en la interfaz roca-pilote trabajando por fricción.
- Debido a la presencia de grandes cargas y concentradas. Por lo tanto en algunos sectores si los pilotes son de igual tamaño, sección, inclinación y penetración, puede suponerse hasta cierto punto que cada uno soportará la misma carga facilitando los cálculos de diseño.

- La estructura deberá estar diseñada para soportar cargas laterales debidas al impacto de los buques en el atraque, en el caso particular del muelle y a la posibilidad alta de sismos, ya que de acuerdo a la norma NSR-98 la zona del proyecto es clasificada como de alta sismicidad, con una aceleración máxima $a=0.4g$. Por lo tanto, estructuralmente se concluye que el uso de pilotes como tipo de cimentación permite una mayor eficiencia frente a sollicitaciones sísmicas ya que estos podrán resistir por flexión las cargas laterales mientras soportan aun la carga vertical transmitida por la superestructura.

Condiciones para el uso de pilotes in-situ de extracción de sección circular con camisa perdida como tipo de pilotaje en las zonas evaluadas

- El método constructivo de este tipo de pilotes permite generar un mejor empotramiento en la roca, alcanzando sin mayores dificultades la profundidad mínima de empotramiento necesaria para desarrollar la carga ultima de los pilotes y requerida para el control de las deformaciones horizontales, a diferencia de los pilotes de concreto hincados en donde esto es difícil de alcanzar. Adicionalmente se considero este método constructivo debido a los equipos disponibles en el proyecto para la construcción de los pilotes.
- La camisa de protección es fácil de cortar, si resulta larga o aumentar su longitud durante la colocación soldándole otro tubo.
- La camisa de protección evita posibles derrumbamientos de las paredes en el interior de la perforación y además impide que el suelo y agua se mezclen con el concreto fresco.
- Este tipo de pilotes da la posibilidad de inspección antes de verter el concreto.

7.2 Proceso constructivo de un pilote in-situ de extracción de sección circular con camisa perdida

1) Localización





2) Colocación de revestimiento



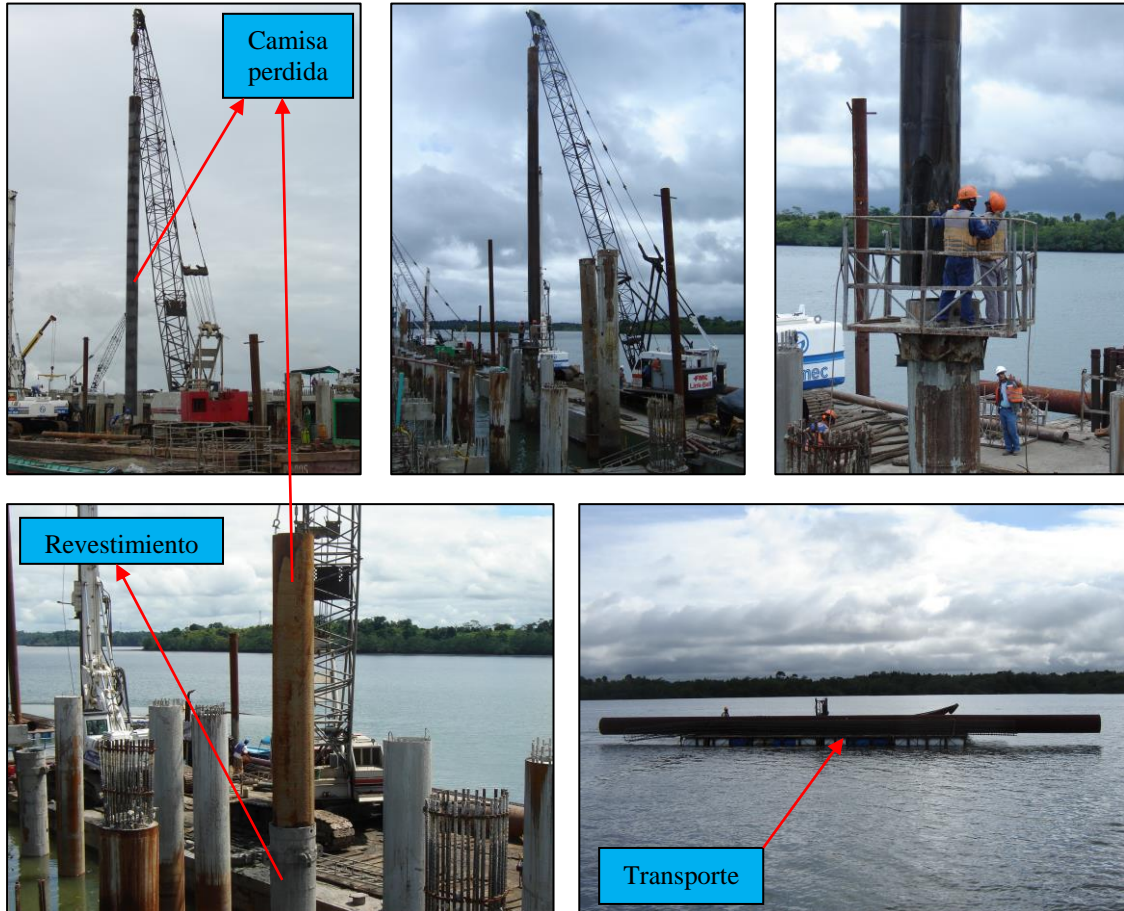
3) Perforación y extracción del material



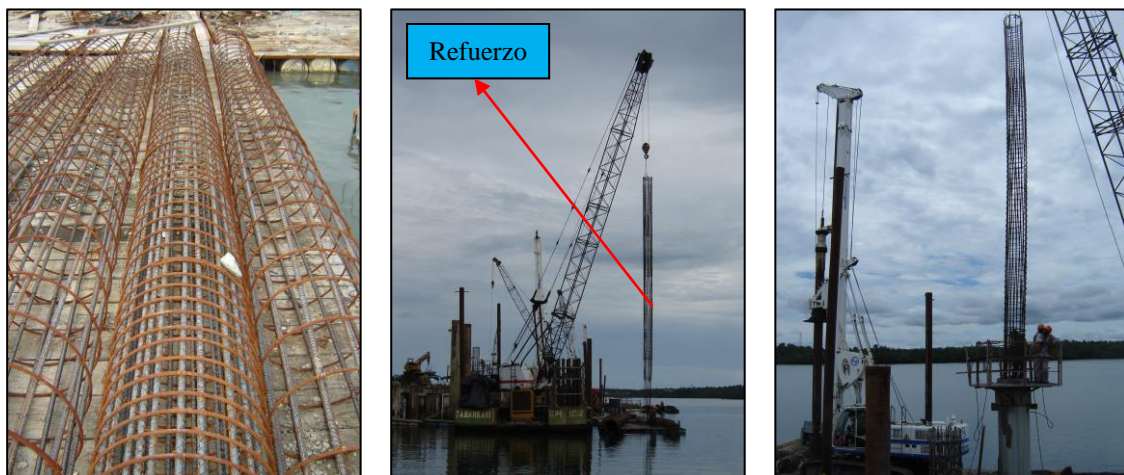
4) Lavado de residuos: Este paso no se incluyó dentro del proceso constructivo sino hasta la construcción del eje I de la zona del muelle.



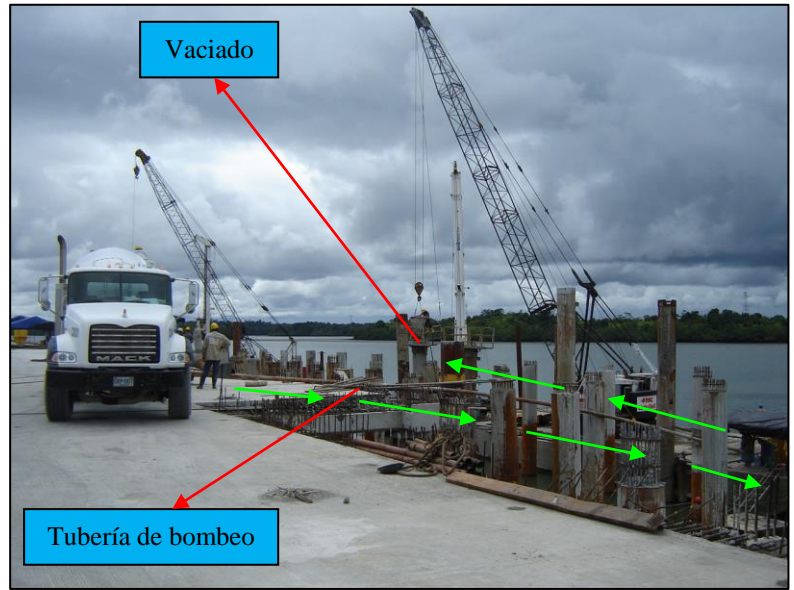
5) Colocación de camisa perdida: Esta se colocara dentro del revestimiento y su longitud dependerá de la estratigrafía del suelo.



6) Colocación del refuerzo: Este se colocara dentro de la camisa pérdida y su longitud dependerá de la cota de cimentación del pilote.



7) Vaciado del concreto

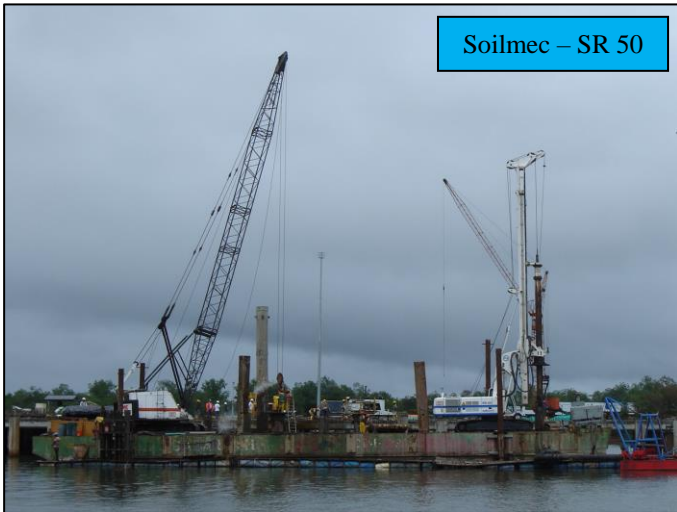


Fotografías 40 a 68 Proceso constructivo de un pilote in-situ de extracción de sección circular con camisa perdida

Maquinaria pesada de perforacion (Piloteadoras)



Soilmec - SR 40

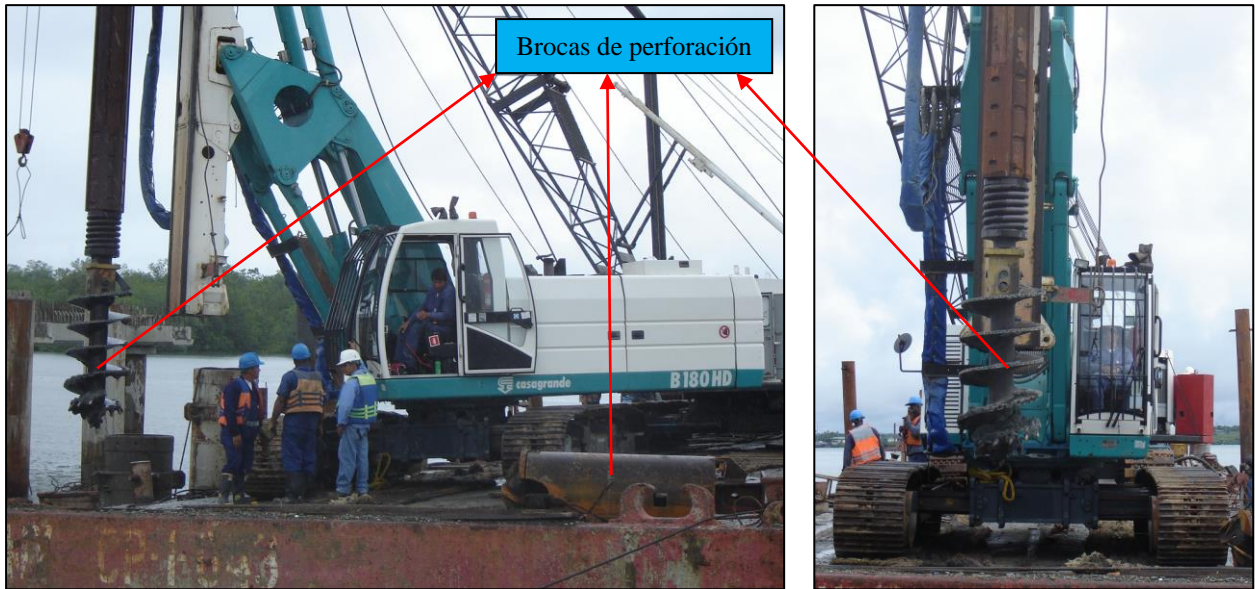


Soilmec - SR 50



Casa grande - B 180 HD





Fotografías 69 a 76 Piloteadoras

7.3 Profundidad de inicio de la roca y chequeo de la profundidad de cimentación en los puntos de verificación geotécnica.

En los informes presentados a la constructora del proyecto Colpatria, la empresa receptora Estudio de Suelos Ltda. hizo entrega de los registros de perfil de suelos y los reportes de los ensayos de laboratorio, correspondientes a los puntos analizados en el trabajo de auscultación geotécnica. De acuerdo a esta investigación, la empresa receptora indico a la constructora la profundidad de inicio de la roca en cada sondeo realizado. En el cuadro 9, con base a estas profundidades indicadas, se hará el chequeo de la profundidad de cimentación del pilote implicado para cada *punto de verificación geotécnica*, comparando su valor con la profundidad de diseño para cimentación del pilote.

Cuadro 9 Chequeo profundidad de cimentación de los pilotes

PUNTO	REFERENCIA TOPOGRAFICA (Ubicación)	PROFUNDIDAD DE INICIO DE LA ROCA (m) (consistencia alta) (Tipo de roca)	PROFUNDIDAD DE DISEÑO PARA CIMENTACION DEL PILOTE (m) (Empotramiento exigido)	PROFUNDIDAD DE CIMENTACION DEL PILOTE (m)	CHEQUEA?
1 ★	I-19 (Muelle)	-22.00 (Limolita)	-27.00 (Empotramiento 5 m)	Pilote I-19: -28.00	SI
2 ★	T-21 (Patio)	-25.00 (Limolita)	-29.00 (Empotramiento 4 m)	Pilote T-21: -21.00	NO
3	A-7 (Muelle)	-23.00 (Limolita)	-----	-----	---
4	A-51 (Muelle)	-22.50 (Limolita)	-----	-----	---
5 ☉	AM-AN-19 (Patio)	-16.00 (Limolita)	-20.00 (Empotramiento 4 m)	Pilote AM-19: -18.00 Pilote AN-19: -17.50	NO

6	A-20 (Muelle)	-25.00 (Limolita)	-----	-----	---
7	OP-42 (Patio)	-25.00 (Limolita)	-29.00 (Empotramiento 4 m)	Pilote O-42: -27.00 Pilote P-42: -27.00	NO
8	PQ-42 (Patio)	-26.00 (Limolita)	-30.00 (Empotramiento 4 m)	Pilote P-42: -27.00 Pilote Q-42: -26.50	NO
9	K-65 (Muelle)	-21.00 (Limolita)	-26 (Empotramiento 5 m)	Pilote K-65: -21.00	NO
10	A-62 (Muelle)	-29.00 (Limolita)	-----	-----	---
11	A-66 (Muelle)	-27.25 (Limolita)	-----	-----	---
12	A-70 (Muelle)	-26.70 (Limolita)	-----	-----	---
13	A-74 (Muelle)	-27.50 (Limolita)	-----	-----	---
14	F-75 (Muelle)	-22.45 (Limolita)	-----	-----	---
15	C-1 (Muelle)	-23.50 (Limolita)	-----	-----	---
16	L-7 (Muelle)	-20.00 (Limolita)	-25.00 (Empotramiento 5 m)	Pilote L-7: -22.00	NO
17	L-35-36 (Muelle)	-19.00 (Limolita)	-24.00 (Empotramiento 5 m)	Pilote L-35: -27.50 Pilote L-36: -27.50	SI
18	L-22-23 (Muelle)	-18.00 (Limolita)	-23.00 (Empotramiento 5 m)	Pilote L-22: -23.00 Pilote L-23: -23.50	SI
19	QR-18 (Patio)	-32.30 (Limolita)	-36.30 (Empotramiento 4 m)	Pilote Q-18: -20.50 Pilote R-18: -20.50	NO
20	XY-21 (Patio)	-21.55 (Limolita)	-25.55 (Empotramiento 4 m)	Pilote X-21: -21.00 Pilote Y-21: -21.00	NO
21	Z-18 (Patio)	-27.30 (Limolita)	-31.30 (Empotramiento 4 m)	Pilote Z-18: -20.00	NO
22	AH-18 (Patio)	-18.70 (Limolita)	-22.70 (Empotramiento 4 m)	Pilote AH-18: -19.50	NO
23	H-11 (Muelle)	-22.00 (Limolita)	-----	-----	---
24	B-11 (Muelle)	-24.20 (Arenisca)	-----	-----	---
25	F-10 (Muelle)	-22.60 (Limolita)	-----	-----	---
26	F-4 (Muelle)	-25.50 (Arenisca)	-----	-----	---
27	A-16 (Muelle)	-24.15 (Limolita)	-----	-----	---

NOTA: Las profundidades van con respecto del nivel de placa

★ Para el análisis de la prueba de carga dinámica en este punto, se selecciono el pilote I-20 con *PROFUNDIDAD DE DISEÑO PARA CIMENTACION DEL PILOTE* = -27.00 m y *PROFUNDIDAD DE CIMENTACION DEL PILOTE* = -28.00 m. R/ SI

★ Para el análisis de la prueba de carga dinámica en este punto, se seleccionaron los pilotes S-21 y U-21 con *PROFUNDIDAD DE DISEÑO PARA CIMENTACION DEL PILOTE* = -29.00 m para ambos, y *PROFUNDIDAD DE CIMENTACION DEL PILOTE* = -21.20 m y -21.10 m respectivamente. R/ NO

☉ Para el análisis de la prueba de carga dinámica en este punto, se selecciono el pilote AN-19 con *PROFUNDIDAD DE DISEÑO PARA CIMENTACION DEL PILOTE* = -20.00 m y *PROFUNDIDAD DE CIMENTACION DEL PILOTE* = -17.50 m. R/ NO

7.4 Chequeo de la capacidad ultima vertical de la cimentación en los puntos de chequeo de carga.

El diseñador geotécnico en su estudio de mecánica de rocas, calculo acorde con los parámetros de resistencia de la roca limolita (consistencia alta, SPT > 50) encontrada en las *zonas evaluadas*, una resistencia de la roca en la punta del pilote y una resistencia de la roca por fricción a lo largo de la longitud de empotramiento del pilote. De esta manera en función del perfil de suelos, de la longitud del pilote, de su diámetro y de los parámetros de resistencia de la roca limolita a lo largo del pilote, el diseñador determino la capacidad última vertical del pilote o carga ultima de diseño. Ver parámetros de diseño en los cuadros 10 y 11 para las *estructuras evaluadas*.

Cuadro 10 Parámetros de carga de diseño

qu de diseño limolita CA = 20.52 kg/cm ²					
CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE PILOTES					
MUELLE			PATIO DE CONTENEDORES		
Empotramiento 5 m			Empotramiento 4 m		
Diámetro 0.8 m	Perímetro 2.5133 m	Área base 0.5027 m ²	Diámetro 0.7 m	Perímetro 2.1991 m	Área base 0.3848 m ²
393 T			291 T		
CAPACIDAD ULTIMA PILOTES					
MUELLE		Factor de seguridad		PATIO DE CONTENEDORES	
786 T		2		582 T	
ASENTAMIENTO ADMISIBLE					
2 cm					

Con el objeto de verificar las condiciones del subsuelo establecidas en los estudios originales del suelo en las zonas del muelle y patio de contenedores, fue contratada por Colpatria la realización de 15 perforaciones complementarias con la firma PSI Ltda. entre octubre y noviembre de 2008. Es importante recalcar que las perforaciones se hicieron en iguales condiciones y con los mismos procedimientos de muestreo que la empresa receptora Estudio de suelos Ltda.

Los parámetros geomecánicos de diseño que se muestran en el cuadro 11, fueron tomados a partir de los ensayos de campo y laboratorio realizados por los estudios originales del suelo al igual que a partir de los ensayos realizados por las perforaciones complementarias, al igual que tomando como base valores típicos reportados en la literatura y los basados en la experiencia de la firma C.I.C. con suelos similares.

Cuadro 11 Parámetros geomecánicos de diseño

<i>ESTRATO</i>	<i>PESO UNITARIO</i> γ (g/cm ³)	<i>ANGULO DE FRICCION</i> ϕ (°)	<i>COHESION</i> <i>C</i> (Kg/cm ²)	<i>MODULO DE ELASTICIDAD</i> <i>E</i> (Kg/cm ²)
Limos arenosos y arcillosos consistencia blanda	1.6	18	0	-----
Limos arenosos y arcillosos consistencia media	1.6	20	0.1	30
Limolita consistencia alta	2.1	35	0.4	500

Capacidad de carga vertical

a) Pilote trabajando por punta

- ✓ Resistencia ultima por punta

Para el cálculo de la resistencia por punta de los pilotes en las limolitas fue empleada la metodología propuesta por Goodman (1980), la cual está representada en las siguientes ecuaciones:

$$N\phi = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right)$$

$$qf = qu(N\phi + 1)$$

qf = Resistencia ultima por punta (T/m²)

qu = Resistencia a la compresión inconfiada de la roca (T/m²)

Nφ = Parámetro de capacidad de carga

φ = Angulo de fricción interno de la roca (°)

- ✓ Capacidad ultima por punta

$$Pult = qf * A$$

$$Padm = \frac{qf}{FS}$$

Pult = Capacidad ultima por punta (T)

A = Área de contacto (m²)

Padm = Capacidad de carga admisible por punta (T)

FS = Factor de seguridad

b) Pilote trabajando por fricción

- ✓ Resistencia ultima por fricción

Para el cálculo de la resistencia por fricción en el fuste en contacto con la limolita fue empleado el criterio definido en la norma DIN 4014, ver cuadro 12, la cual relaciona la resistencia a la compresión inconfiada de la roca con la resistencia cortante que se desarrolla en la interface entre el fuste del pilote y la roca.

Cuadro 12 Norma DIN 4014

<i>RESISTENCIA A LA COMPRESION INCONFINADA (qu)</i> <i>(Mpa)</i>	<i>RESISTENCIA ULTIMA POR FUSTE (τult)</i> <i>(Mpa)</i>
0.5	0.08
5	0.5
20	0.5

NOTA: Para el tramo 0.5 – 5 Mpa la mejor aproximación se obtiene considerando los parámetros $\alpha = 0.14$ y $\beta = 0.8$ para la ecuación de la curva: $\tau_{ult} = \alpha * qu^\beta$ (Mpa)

$$1 \text{ Mpa} = 100 \text{ T/m}^2$$

$$1 \text{ T/m}^2 = 0.1 \text{ kg/cm}^2$$

$$1 \text{ kg/cm}^2 = 0.1 \text{ Mpa}$$

- ✓ Capacidad ultima por fricción

$$P_{ult} = \tau_{ult} * A$$

$$P_{adm} = \frac{qf}{FS}$$

P_{ult} = Capacidad ultima por fricción (T)

A = Área de contacto (m²)

P_{adm} = Capacidad de carga admisible por fricción (T)

FS = Factor de seguridad

7.4.1 Cálculos de chequeo

Para los cálculos de chequeo de la capacidad de carga vertical de la cimentación en los *puntos de chequeo de carga*, se requieren los valores de resistencia a la compresión inconfiada (qu) de la roca limolita, correspondientes a las muestras de ensayo de estos 5 puntos. Estos valores se presentan en el cuadro 13.

Cuadro 13 Resultados del ensayo de compresión inconfiada para los puntos de chequeo

PUNTO	LOCALIZACION (ubicación)	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	qu (Kg/cm²)	TIPO DE ROCA
1	I-19 (Muelle)	No hay	-----	----	-----
2	T-21 (Patio)	Barrena	25.45-28.45	25.8	Limolita CA
5	AM-AN-19 (Patio)	Barrena	19.4-22.4	25.4	Limolita CA
7	OP-42 (Patio)	Barrena	21.5-24.5	12.3	Limolita
8	PQ-42 (Patio)	Barrena	26.4-27.9	11.9	Limolita

CA = consistencia alta (ver anexo 2 registros de perfil de suelos)

Acorde con los parámetros de resistencia utilizados por el diseñador geotécnico para el cálculo de la capacidad última vertical del pilote, solo se tendrán en cuenta los resultados de los *puntos de chequeo* 2 y 5, ya que son las únicas muestras de roca limolita que sobrepasan la profundidad de inicio de la roca (ver cuadro 9), presentando una consistencia alta necesaria para el empotramiento.

Punto 2, pilote T-21

a) Pilote trabajando por punta

✓ Resistencia última por punta

$$N\phi = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) = \tan^2 \left(45 + \frac{35}{2} \right) = 3.6902$$

$$\phi = 35 \text{ (Ver cuadro 11)}$$

$$qf = qu(N\phi + 1) = 258 (3.6902 + 1) = 1210.1 \text{ T/m}^2$$

$$qu = 25.8 \text{ kg/cm}^2 \text{ (Ver cuadro 13)} = 258 \text{ T/m}^2$$

✓ Capacidad última por punta

$$Pult = qf * A = 1210.1 * 0.3848 = 465.6 \text{ T}$$

$$\text{Diámetro} = 0.7 \text{ m, área base} = 0.3848 \text{ m}^2 \text{ (Ver cuadro 10)}$$

b) Pilote trabajando por fricción

✓ Resistencia ultima por fricción

$$\tau_{ult} = \alpha * qu^{\beta} = 0.14 * 2.58^{0.8} = 0.2988 \text{ Mpa} = 29.88 \text{ T/m}^2$$

$0.5 < 2.58 \text{ Mpa} < 5$ (ver cuadro 12)

✓ Capacidad ultima por fricción

$$P_{ult} = \tau_{ult} * A = 29.88 * 2.1991 * 4 = 262.8 \text{ T}$$

Diámetro = 0.7 m, perímetro = 2.1991 m, empotramiento = 4 m (Ver cuadro 10)

Capacidad ultima del pilote = Pult punta + Pult fricción

$$= 465.6 + 262.8 = 728.4 \text{ T}$$


Capacidad de carga admisible del pilote = Capacidad ultima del pilote / FS

$$= 728.4 / 2 = 364.2 \text{ T}$$

Factor de seguridad (FS) = 2 (Ver cuadro 10)

Capacidad ultima de diseño del pilote = 582 T (Ver cuadro 10)

Capacidad ultima del pilote = 728.4 T

Capacidad ultima del pilote > Capacidad ultima de diseño  SI chequea

Punto 5, Pilotes AM-19 y AN-19

a) Pilote trabajando por punta

✓ Resistencia por punta

$$N\phi = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) = \tan^2 \left(45 + \frac{35}{2} \right) = 3.6902$$

$\phi = 35$ (Ver cuadro 11)

$$qf = qu(N\phi + 1) = 254 (3.6902 + 1) = 1191.31 \text{ T/m}^2$$

$qu = 25.4 \text{ kg/cm}^2$ (Ver cuadro 13) = 254 T/m²

✓ Capacidad ultima por punta

$$Pult = qf * A = 1191.31 * 0.3848 = 458.4 \text{ T}$$

Diámetro= 0.7 m, área base = 0.3848 m² (Ver cuadro 10)

b) Pilote trabajando por fricción

✓ Resistencia por fricción

$$\tau_{ult} = \alpha * qu^{\beta} = 0.14 * 2.54^{0.8} = 0.2951 \text{ Mpa} = 29.51 \text{ T/m}^2$$

0.5 < 2.54 Mpa < 5 (ver cuadro 12)

✓ Capacidad ultima por fricción

$$Pult = \tau_{ult} * A = 29.51 * 2.1991 * 4 = 259.6 \text{ T}$$

Diámetro = 0.7 m, perímetro = 2.1991 m, empotramiento = 4 m (Ver cuadro 10)

Capacidad ultima del pilote = Pult punta + Pult fricción

$$= 458.4 + 259.6 = 718 \text{ T}$$


Capacidad de carga admisible del pilote = Capacidad ultima del pilote / FS

$$= 718 / 2 = 359 \text{ T}$$

Factor de seguridad (FS) = 2 (Ver cuadro 10)

Capacidad ultima de diseño del pilote = 582 T (Ver cuadro 10)

Capacidad ultima del pilote = 718 T

Capacidad ultima del pilote > Capacidad ultima de diseño  SI chequea

7.4.2 Ensayos en pilotes

Los ensayos en cimentaciones profundas tienen como finalidad comprobar la resistencia y deformabilidad de los pilotes ejecutados e investigar su integridad estructural. La figura 4, se presentan las dos grandes divisiones de los ensayos en pilotes.

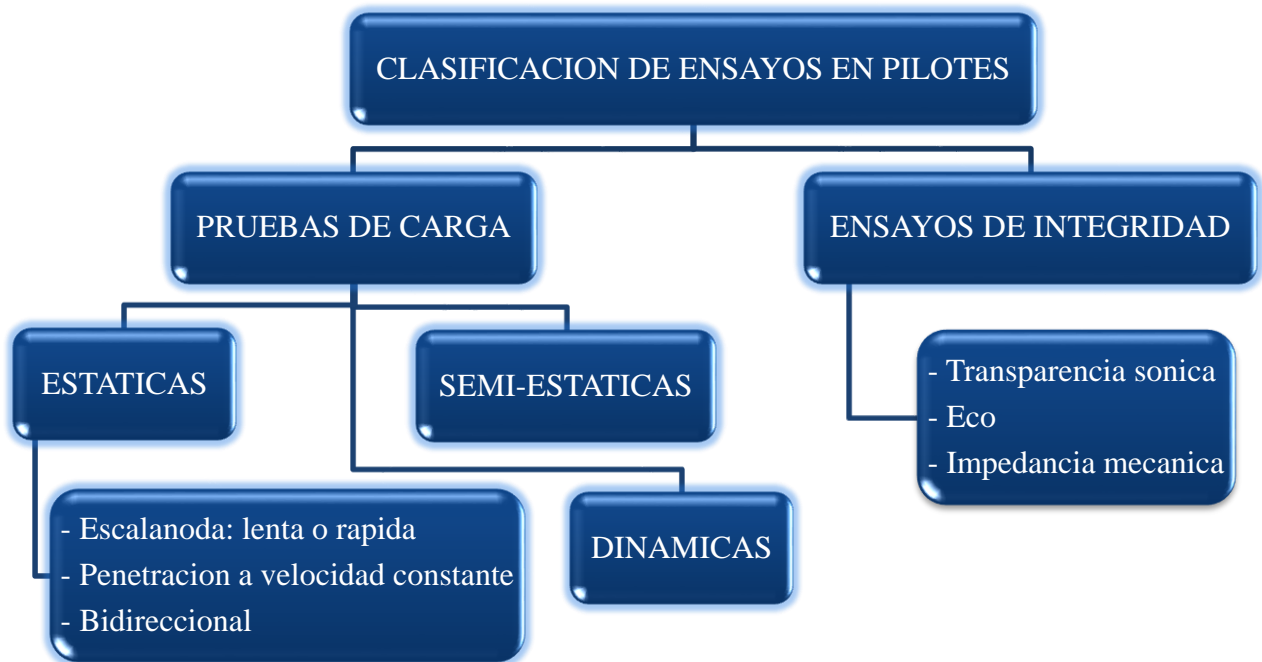


Figura 4 Clasificación de ensayos en pilotes

Los métodos de ensayo se caracterizan por la fuerza aplicada al pilote (magnitud y tiempo de aplicación) y por la deformación inducida. Los ensayos que desarrollan fuerzas elevadas durante largos periodos de tiempo, tales como los ensayos de carga estática, se utilizan para obtener la capacidad de carga, mientras que los ensayos de pequeña energía y baja deformación se emplean para determinar la integridad del pilote. En ensayos de alta deformación semi-estáticos y dinámicos, aunque la fuerza desarrollada es comparable a la correspondiente a ensayos de carga estáticos, el tiempo de aplicación es mucho más corto.

Pruebas de carga

El método más seguro para determinar la capacidad última de carga de un pilote (resistencia por punta + resistencia por fuste), y establecer si el pilote analizado es capaz de soportar una carga sin asentamiento excesivo o continuo en la mayoría de los lugares, es la prueba de carga.

En los grandes proyectos, un número específico de pruebas de carga debe llevarse a cabo como método de verificación o cuando exista falta de confiabilidad en los métodos de predicción y/o incertidumbre excesiva sobre las propiedades de los materiales involucrados sobre pilotes.

En la figura 5, se presentan las características principales de los diferentes tipos de prueba de carga, deteniéndome de manera especial en las denominadas pruebas dinámicas, de las que se hace una descripción más detallada por ser el tipo de prueba utilizada en la cimentación de las *estructuras evaluadas*.

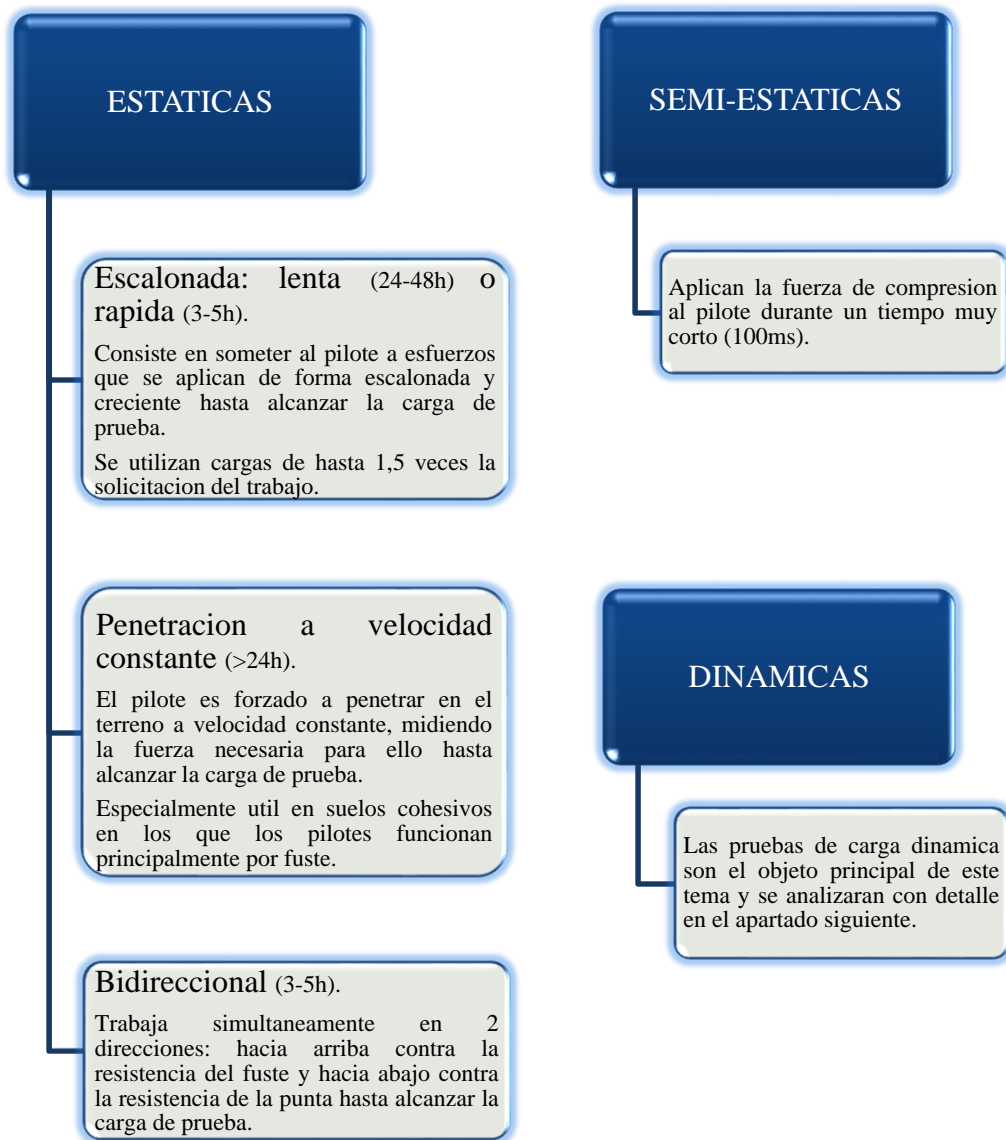


Figura 5 Características de las pruebas de carga

7.4.3 Prueba de carga dinámica

También conocido como ensayo dinámico de pilotes, la prueba de carga dinámica objetiva principalmente en determinar la capacidad ultima o la capacidad de ruptura de la interacción pilote – suelo y/o roca, para esfuerzos estáticos axiales. Este tipo de prueba difiere de las tradicionales pruebas de carga estáticas por el hecho de que la carga es aplicada dinámicamente, a través de golpes de un sistema de percusión adecuado. La medición se hace por medio de la instalación de sensores en el fuste del pilote, los cuales envían las señales por cable al equipo PDA (Pile Driving Analyzer), donde son almacenadas y procesadas.

Esta prueba se basa en la teoría de la onda. Desde hace mucho tiempo se sabe que una onda de tensión es generada cuando se le aplica un golpe a un pilote, esa onda recorre el pilote con una velocidad fija dependiente apenas de las características del material. Sin embargo, el inicio de la aplicación de esa teoría en la práctica data solamente de la década de 1960, con el progreso de los computadores y de la electrónica.

En la prueba son usados dos pares de sensores: Un transductor de deformación específica, que genera una tensión proporcional a la deformación sufrida por el material del pilote durante el golpe, y un acelerómetro, que genera una tensión proporcional a la aceleración de las partículas del pilote.

La señal de cada uno de los transductores de deformación instalados en posiciones opuestas con relación al eje de simetría del pilote, es multiplicada por el módulo de elasticidad del material del pilote y por el área de sección en la región de los sensores, obteniendo la variación de la fuerza respecto al tiempo. Por ello estos transductores suelen ser llamados de sensores de fuerza. El PDA saca el promedio de las dos señales de fuerza obtenidas, a fin de detectar y compensar los efectos de la excentricidad del golpe.

$$\tau = \frac{F}{A} \quad \tau = \varepsilon * E \quad F = \varepsilon * E * A$$

La señal de cada uno de los acelerómetros es integrada, obteniendo la variación de la velocidad de desplazamiento de la partícula con respecto al tiempo. Por ello esos transductores a veces son llamados de sensores de velocidad. De la misma forma que las señales de fuerza, el PDA también trabaja con el promedio de las dos señales de velocidad.

$$a = \frac{L}{t^2} \quad a = \frac{dv}{dt}$$

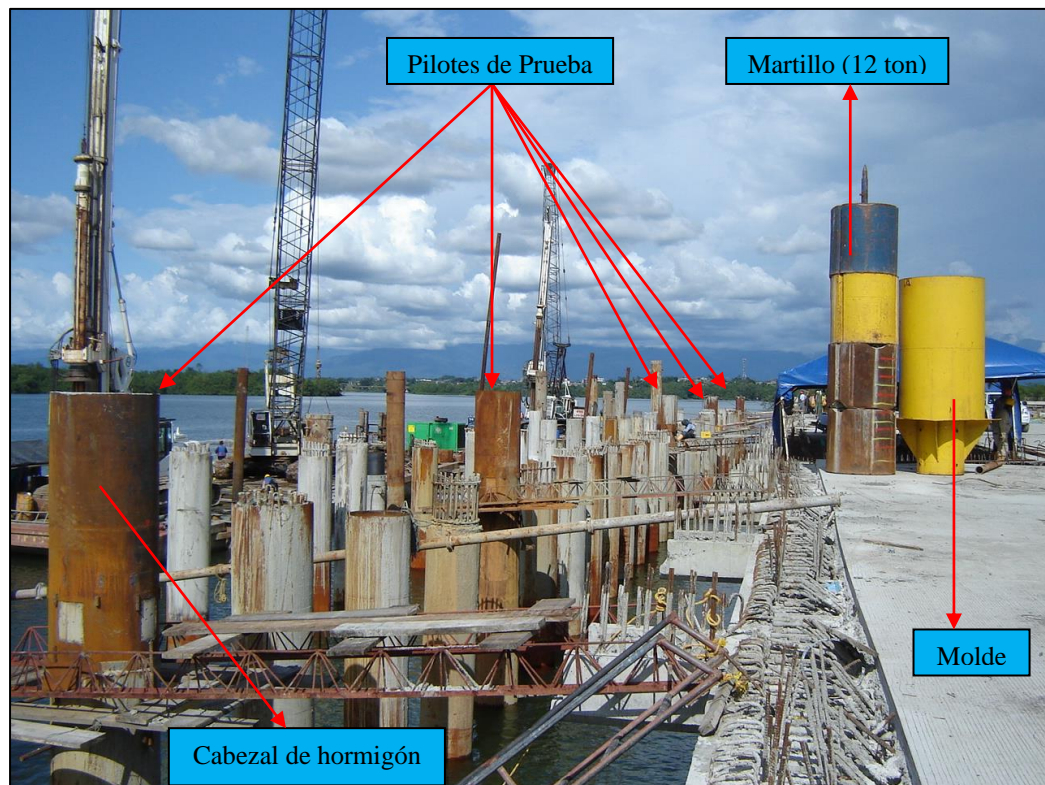
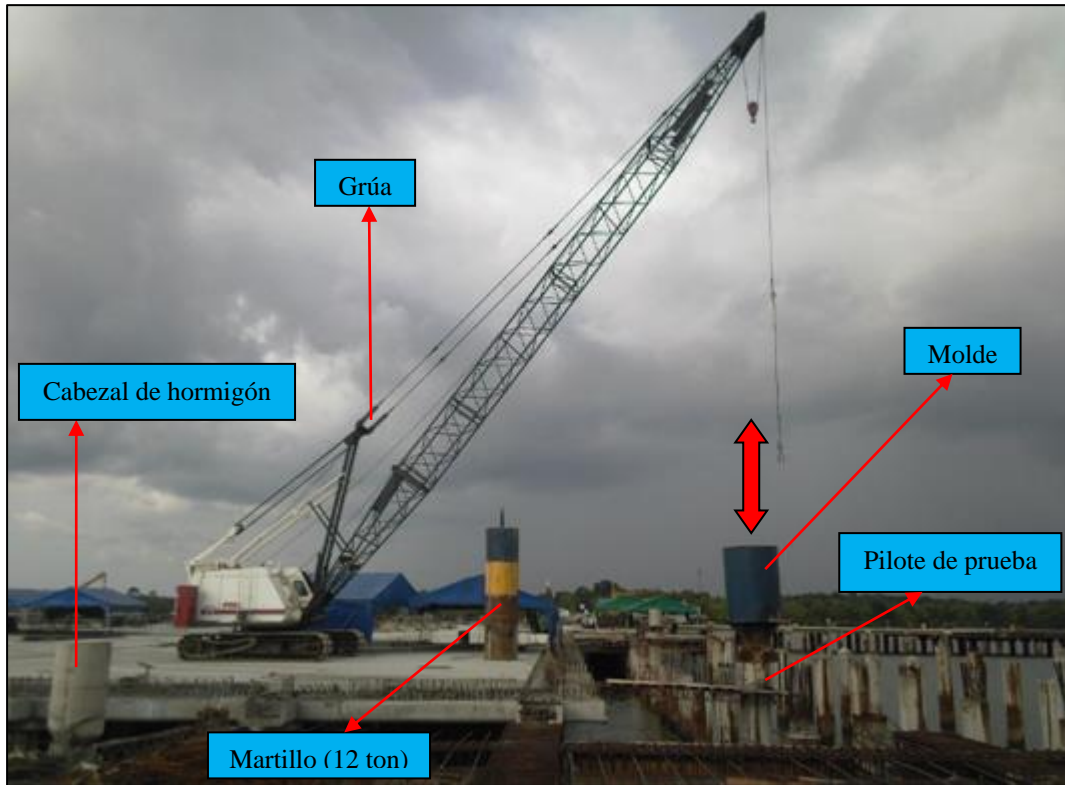
Para la ejecución de este tipo de pruebas en pilotes moldados "in situ", es recomendable hacer dos preparaciones previas:

1. Construcción de un cabezal de hormigón el cual recibirá los impactos generados por cualquier sistema capaz de liberar un peso en caída libre denominado "martillo" (para las pruebas realizadas en las *zonas evaluadas* se utilizo como martillo 4 cilindros de concreto unidos entre sí, de 3 toneladas cada uno para un peso total de 12 toneladas, el cual se movía gracias a la ayuda de una grúa).
2. Colocación de un molde al cabezal, permitiendo impactar al pilote de manera concéntrica. Una vez hechas estas dos preparaciones, el martillo es puesto sobre el pilote, los sensores son instalados y enseguida se aplican algunos pocos golpes controlando la altura de caída del martillo (aproximadamente cada 30 cm hasta una altura máxima de 120 cm). Es usual empezar con una altura baja e ir aumentando gradualmente la energía aplicada, hasta que se verifique la ruptura del

suelo o roca, o cuando el PDA indique tensiones que pongan en riesgo la integridad del material del pilote. La ruptura del suelo generalmente se caracteriza cuando la resistencia deja de aumentar (o a veces hasta disminuye) con el aumento de la altura de caída.




El equipo y las preparaciones previas necesarias para la ejecución de la prueba se ilustran en las fotografías 77 y 78.

Por otra parte, con las pruebas de PDA, igualmente se puede evaluar la integridad, continuidad y longitud de los pilotes.






Fotografías 77 y 78 Prueba de carga dinámica

7.4.4 Resultados de pruebas de carga dinámica en los *puntos de chequeo de carga*

En los puntos 1, 2 y 5, las pruebas de carga realizadas a pilotes no corresponden con la referencia topográfica de los sondeos realizados; por lo tanto, han sido seleccionados otros pilotes de análisis cuya ubicación se encuentra muy cerca (2.5 a 5 m). Ver cuadro 9    y cuadro 14.

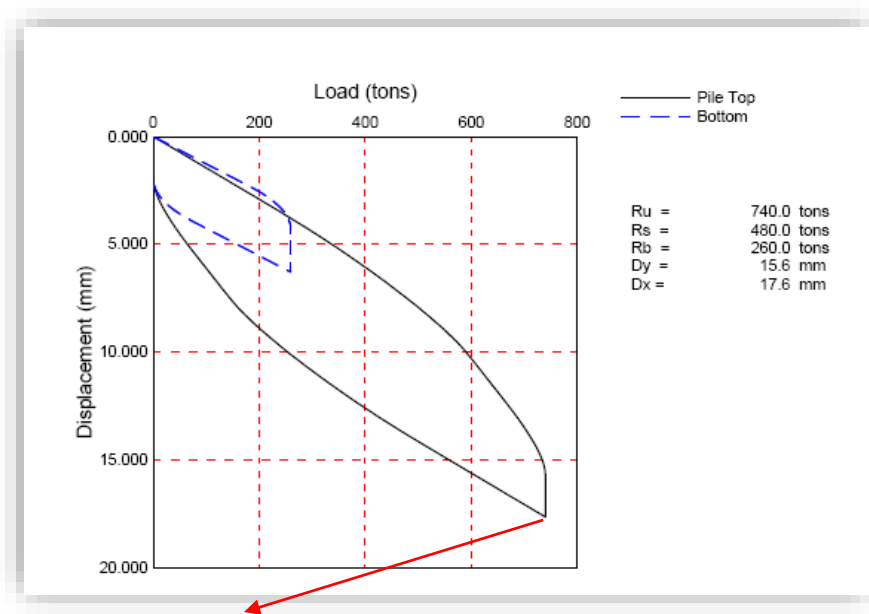
Cuadro 14 Puntos de chequeo de carga – pilotes analizados

<i>PUNTO</i>	<i>REFERENCIA TOPOGRAFICA</i>	<i>PILOTES ANALIZADOS</i>
1 	I-19	I-20
2 	T-21	S-21 y U-21
5 	AM-AN-19	AN-19
7	OP-42	O-42 y P-42
8	PQ-42	P-42 y Q-42

Los resultados de las pruebas de carga dinámica a los pilotes en los *puntos de chequeo de carga*, se indican a continuación en las graficas 1 a 7, ilustrando una curva simulada carga vs desplazamiento (simulando el resultado de una prueba de carga estática), para el pilote analizado.

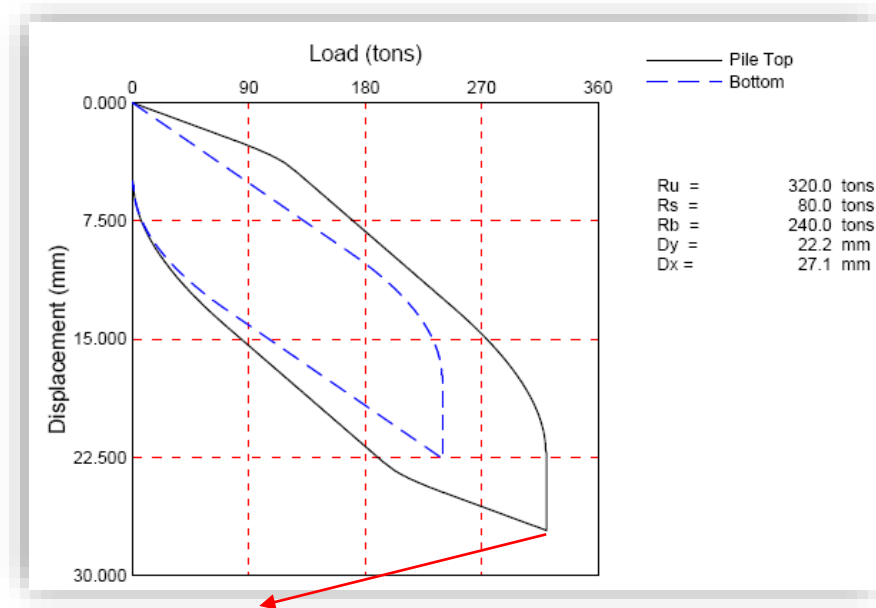
Graficas 1 a 7 Curva simulada de una prueba de carga

Pilote I-19



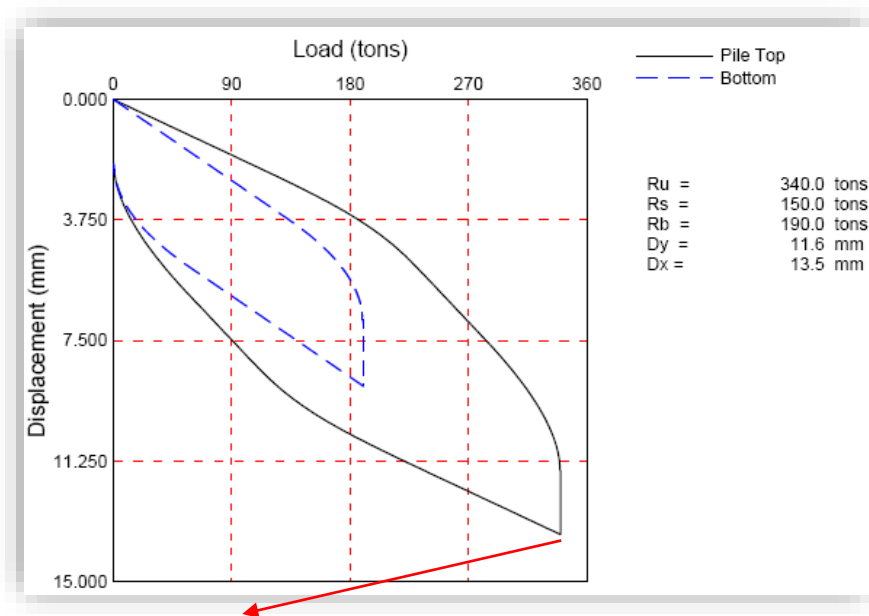
- El pilote alcanzó una carga de 740 T presentando apenas un asentamiento del orden de 1.7 cm.
- El pilote no presenta ningún tipo de problema de integridad, es continuo y de longitud esperada de acuerdo con los datos de profundidad de cimentación del pilote (cuadro 10).

Pilote S-21



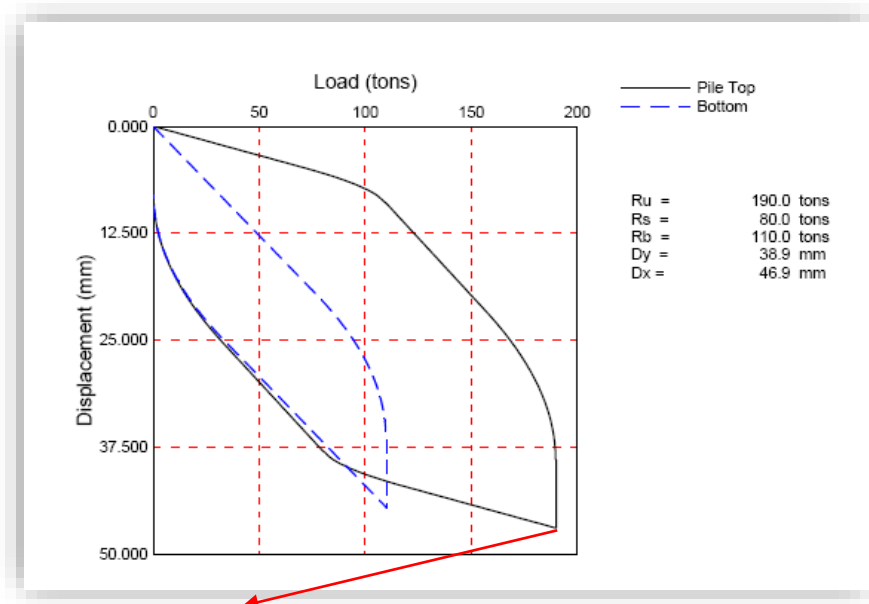
- El pilote alcanzó una carga de 320 T y presentaba un asentamiento del orden de 2.7 cm.
- El pilote no presenta ningún tipo de problema de integridad, es continuo y de longitud esperada de acuerdo con los datos de profundidad de cimentación del pilote (cuadro 10).

Pilote U-21



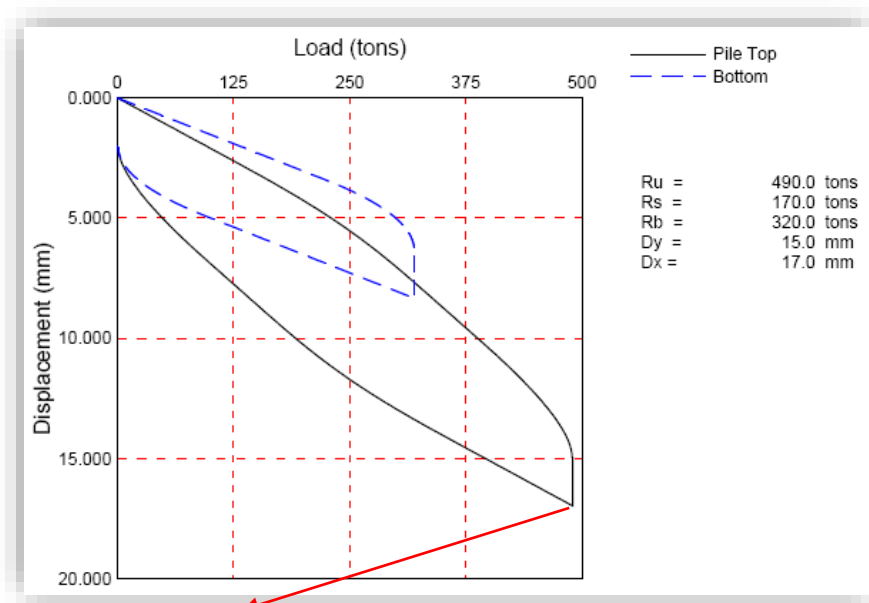
- El pilote alcanzó una carga de 340 T y ya presentaba un asentamiento del orden de 1.35 cm.
- El pilote no presenta ningún tipo de problema de integridad, es continuo y de longitud esperada de acuerdo con los datos de profundidad de cimentación del pilote (cuadro 10).

Pilote AN-19



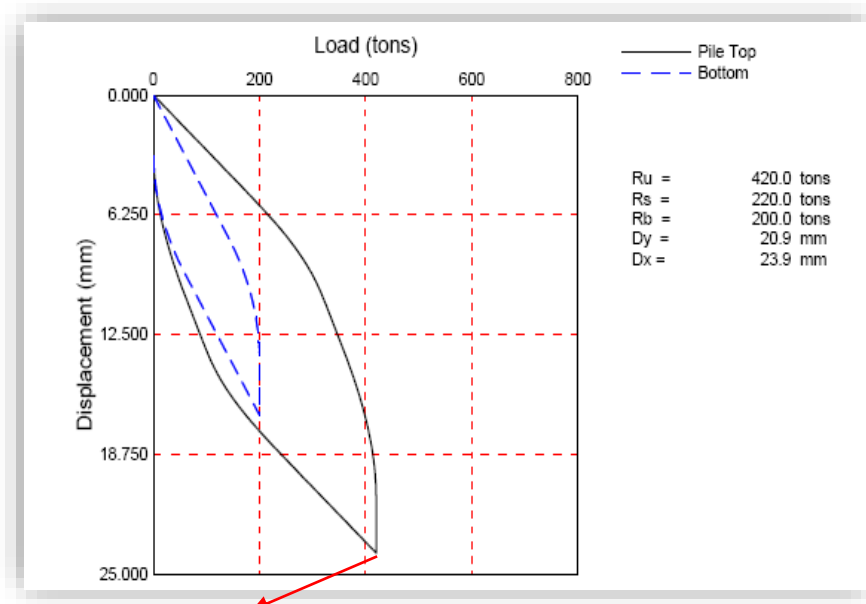
- El pilote alcanzó una carga de 190 T y presentaba un asentamiento del orden de 4.7 cm.
- El pilote no presenta ningún tipo de problema de integridad, es continuo y de longitud esperada de acuerdo con los datos de profundidad de cimentación del pilote (cuadro 10).

Pilote O-42



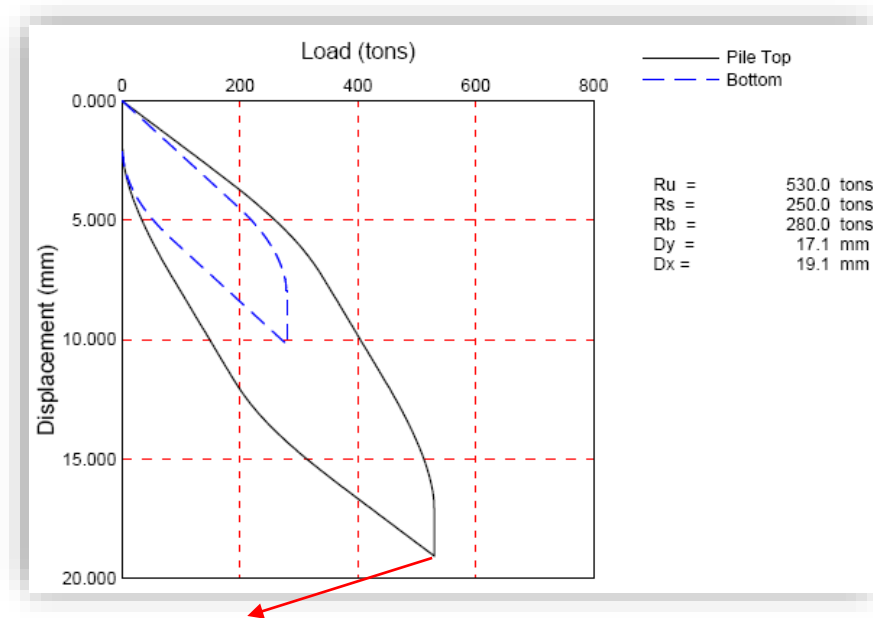
- El pilote alcanzó una carga de 490 T y ya presentaba un asentamiento del orden de 1.7 cm.
- El pilote no presenta ningún tipo de problema de integridad, es continuo y de longitud esperada de acuerdo con los datos de profundidad de cimentación del pilote (cuadro 10).

Pilote P-42



- El pilote alcanzó una carga de 420 T y presentaba un asentamiento del orden de 2.35 cm.
- El pilote no presenta ningún tipo de problema de integridad, es continuo y de longitud esperada de acuerdo con los datos de profundidad de cimentación del pilote (cuadro 10).

Q-42



- El pilote alcanzó una carga de 530 T y ya presentaba un asentamiento del orden de 1.85 cm.
- El pilote no presenta ningún tipo de problema de integridad, es continuo y de longitud esperada de acuerdo con los datos de profundidad de cimentación del pilote (cuadro 10).

8. ESTADO DEL PROYECTO (hasta la fecha de finalización de la pasantía)

A finales del mes de abril se dio por terminado el Dragado del estero el Aguacate, el cual estuvo a cargo de la Empresa Codralux, el cual contó con las dragas Francesco Di Giorgio, Filippo Brunelleschi y Hondius. El material removido se estima en (5.500.000 m³) cinco millones quinientos mil metros cúbicos, el cual ha sido trasladado hasta el botadero autorizado mar afuera.



1) El pavimento en la zona de patios, se encuentra en el 100 por ciento de construcción.



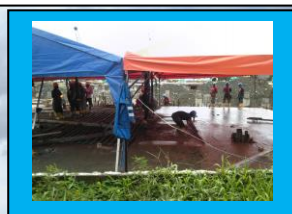
- 2) Las Edificaciones de la zona administrativa se encuentran en un 90% de avance.



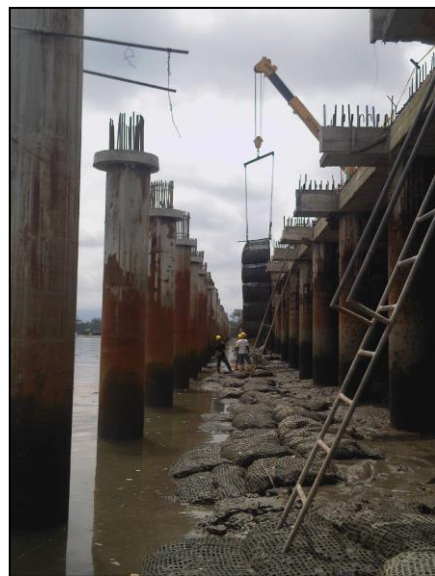
- 3) Las bodegas de almacenamiento se encuentran en un 80% de avance.



- 4) La loza de la zona de patios de contenedores (fundida en sitio y montada con acero instalado) se encuentra en un 76% de avance.



5) Los pilotes hincados a la fecha de finalización de la pasantía corresponden a 1423.



Fotografías 79 a 96 Estado de la obra

9. ANALISIS DE RESULTADOS

- 1) Gracias a la ayuda del cuadro 15 resistencia de la roca, y con base en los resultados obtenidos de resistencia a la compresión inconfiada, tanto en el ensayo de compresión inconfiada (q_u) como parámetro de diseño, como en el ensayo de carga puntual (τ_c) como método de verificación y correlación de resultados; se logro clasificar las rocas existentes en las *zonas evaluadas*, limolita y arenisca, como rocas muy suaves.

Cuadro 15 Resistencia de la roca

<i>TERMINO</i>	<i>ESTIMACION DE CAMPO DE LA DUREZA</i>	<i>RESISTENCIA A LA COMPRESION INCONFINADA (Kg/cm²)</i>
Roca muy dura	Requiere más de un golpe de martillo para romper la muestra de mano	1000
Roca dura	La muestra se rompe con un simple golpe de martillo	500 – 1000
Roca suave	Se logran hacer hoyos de 5 mm con el pico del martillo	125 – 500
Roca moderadamente suave	Muy duro de romperse con la mano un espaciamiento triaxial	50 – 125
Roca muy suave	El material se desmorona bajo golpes de martillo	12.5 – 50
Roca muy débil o suelo duro	Quebradizo o tenaz, se rompe con la mano con dificultad	6.0 – 12.5
Muy duro	Puede ser mellado con las uñas	3.0 – 6.0
Duro	No puede ser moldeado en los dedos	1.5 – 3.0
Firme	Puede ser moldeado solo por fuerte presión con los dedos	0.8 – 1.5
Suave	Fácilmente moldeado con los dedos	0.4 – 0.8
Muy suave	El suelo se escurre entre los dedos cuando se remueve en las manos	0.4

Geología aplicada a la ingeniería civil (Anonimo, 1977)

- 2) Con base en la información recolectada en los estudios originales de suelo y en las 15 perforaciones complementarias llevadas a cabo en las *zonas evaluadas*, la firma C.I.C elaboro a partir de interpolaciones, un mapa de isoclinas de profundidad de inicio de la roca limolita (consistencia alta, SPT > 50), el cual se puede observar en el anexo 7. Al comparar estas profundidades con las del cuadro 9, se observa una gran diferencia entre los valores. Por lo tanto, las profundidades correspondientes al mapa de isoclinas deberán considerarse como una aproximación y no representan el inicio del estrato portante.
- 3) Según las instrucciones de la constructora Colpatria, las primeras 22 perforaciones se hicieron hasta una profundidad promedio = 28 m, hasta identificar los 5 m de roca limolita necesarios para la cimentación del pilote y suponiendo la continuidad de esta al menos unos metros más.

Una vez revelados los resultados de las pruebas de carga dinámicas a pilotes, se observó que en algunos sectores los pilotes estaban generando asentamientos mayores al admisible (2 cm), lo cual produjo preocupación y nuevas instrucciones en las profundidades de perforación.

Las nuevas perforaciones se realizaron hasta alcanzar una profundidad mínima de 40 m, lo cual permitía identificar de forma precisa los espesores de los diferentes estratos y observar detalladamente la variación y composición de estos. Una vez hecho el análisis respectivo se detectó justo debajo de la profundidad de cimentación de los pilotes la presencia de la roca arenisca, la cual había sido fragmentada por las piloteadoras durante el proceso de perforación y extracción del material, y era entonces la causante de los asentamientos excesivos ya que en su estado suelto no era capaz de soportar la carga vertical que sobre ella recaía.

Identificado el problema, se incluyó dentro del proceso constructivo de los pilotes el procedimiento de lavado de residuos, expulsando todos los residuos remanentes de arenisca en la base de la perforación.

- 4) Con el valor de q_u promedio de la roca limolita $CA = 19.4 \text{ Kg/cm}^2$ (ver cuadro 8), obtenido a partir de los resultados de 38 ensayos de resistencia a la compresión inconfiada, se logró calcular el valor de la capacidad última vertical de los pilotes en las zonas del muelle y patio de contenedores, tal como se muestra en el cuadro 16. Al comparar estos resultados con los valores calculados por el diseñador geotécnico (ver cuadro 10), se encuentra una semejanza bastante buena, ratificando la validez de los parámetros de carga de diseño para los pilotes de las zonas evaluadas.

Cuadro 16 Parámetros de carga de verificación

qu de verificación limolita $CA = 19.4 \text{ Kg/cm}^2$					
CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE PILOTES					
MUELLE			PATIO DE CONTENEDORES		
Empotramiento 5 m			Empotramiento 4 m		
Diámetro	Perímetro	Área base	Diámetro	Perímetro	Área base
0.8 m	2.5133 m	0.5027 m ²	0.7 m	2.1991 m	0.3848 m ²
378 T			280 T		
CAPACIDAD ULTIMA PILOTES					
MUELLE		Factor de seguridad (FS)		PATIO DE CONTENEDORES	
756 T		2		560 T	
ASENTAMIENTO ADMISIBLE					
2 cm					

- 5) De acuerdo a las curvas simuladas carga vs desplazamiento provenientes del equipo de análisis PDA, para pruebas de carga dinámica en pilotes; solo la carga alcanzada durante la prueba en el punto 1, tal como se muestra en el cuadro 17, aun no corresponde a la carga ultima del pilote (asentamiento permanente < 2cm), es decir la roca puede movilizar aun más resistencia o el pilote es capaz de recibir más carga axial.

Cuadro 17 Verificación de la carga movilizada durante la prueba dinámica

<i>PUNTO</i>	<i>PILOTES ANALIZADOS</i>	<i>CARGA MOVILIZADA DURANTE LA PRUEBA (T)</i>			<i>ASENTAMIENTO PERMANENTE DEL PILOTE (carga ultima de diseño)</i>	<i>SE ALCANZO LA CAPACIDAD ULTIMA DEL PILOTE?</i>
		Fuste	Punta	Total		
1	I-20	480	260	740	< 2 cm	NO
2	S-21	80	240	320	> 2 cm	SI
	U-21	150	190	340	> 2 cm	SI
5	AN-19	80	110	190	> 2 cm	SI
7	O-42	170	320	490	> 2 cm	SI
	P-42	220	200	420	> 2 cm	SI
8	P-42	220	200	420	> 2 cm	SI
	Q-42	250	280	530	> 2 cm	SI

10. CONCLUSIONES

Con base en el trabajo de auscultación geotécnica realizado en el marco del presente informe, se concluye lo siguiente:

- 1) El subsuelo en las zonas del muelle y patio de contenedores está compuesto por depósitos de lodos y sedimentos limo arcillosos con presencia de materia orgánica, bajo los cuales se encuentra una capa de limos arenosos. Forma el basamento una roca de origen sedimentario, en este caso limolita de color gris oscuro. La limolita presenta diferentes grados de meteorización aumentando su nivel de consistencia con la profundidad, alcanzando su nivel de consistencia alta a una profundidad promedio = 23 m. Intercalando a la limolita se encuentran mantos de roca arenisca que al igual que la limolita podrán tener un espesor de hasta 10 m, con un espesor promedio de roca sana = 6 m. En las *zonas evaluadas*, el primer estrato de roca limolita se encuentra a profundidades que varían entre 23 y 29 m aproximadamente.
- 2) El número de sondeos a realizar nunca deberá estar limitado por el costo de ellos, ya que un pobre trabajo de auscultación geotécnica involucra inconvenientes constructivos y fallas futuras de la estructura, generando gastos inimaginables en comparación con el costo de los sondeos. Por lo tanto entre mayor sea el número de los sondeos, se tendrá una mejor claridad de la estratigrafía del lugar y mayor será la confiabilidad de los resultados de ensayos de campo y laboratorio. Se recomienda conservar la misma distancia entre los sondeos hasta cubrir la totalidad del lugar.
- 3) Cuando se perfora en roca se debe tener mucho cuidado con la profundidad predeterminada de perforación, exigiendo como profundidad mínima aproximada requerida de los sondeos en zonas con rocas de origen sedimentario igual a 8 m.
- 4) Durante el proceso de perforación con barrena en rocas de origen sedimentario, esta deberá retirarse a intervalos regulares no mayores a 2 m para efectuar cualquier tipo de prueba de verificación de resistencia de la roca. Este tipo de rocas, por su estructura laminada y por sus características de roca blanda además de la fuerza de torsión ejercida por la barrena, terminan fracturándose por los planos pre-establecidos de debilidad; por lo cual, en la mayoría de las veces durante el proceso de perforación no se obtienen núcleos continuos de longitud considerable aptos para ensayos de laboratorio, y algunas veces ni siquiera se obtienen muestras.
- 5) Los resultados de los ensayos de laboratorio de carga puntual y compresión inconfiada, expresan la confiabilidad de ellos, presentando una correlación similar entre los resultados. Claro está, que el ensayo de carga puntual es un método de clasificación y caracterización de rocas, que podrá ser utilizado en reemplazo del ensayo de compresión inconfiada cuando se necesite información preliminar y de reconocimiento.

Con base en el trabajo de verificación geotécnica realizado en el marco del presente informe, se concluye lo siguiente:

- 1) La selección de pilotes in-situ de extracción de sección circular con camisa perdida como tipo de cimentación en las *zonas evaluadas*, es correcta y se ha analizado anteriormente en el numeral 7.1.
- 2) De los 20 pilotes analizados en el cuadro 9, solo 5 de ellos (correspondientes a los puntos 1, 17 y 18 de verificación geotécnica), chequean con respecto a la profundidad de diseño para cimentación del pilote. Lo anterior demuestra una buena selección de los puntos de verificación pero poco control por parte de la(s) empresa(s) contratista(s) encargada(s) de la cimentación de estos pilotes. Se debe tener en cuenta que estos 5 pilotes solo representan el 1.1% de la totalidad de pilotes hincados (1423) hasta la fecha de finalización de la pasantía, aunque sus resultados podrían o no involucrar a muchos más. Es por ello que este trabajo se deberá continuar, comparando para cada pilote hincado la profundidad de diseño para cimentación del pilote vs la profundidad de cimentación del pilote.
- 3) Los valores de capacidad ultima vertical calculados por el diseñador geotécnico para los pilotes en las *zonas evaluadas*, concuerdan con los resultados obtenidos en los cálculos de chequeo, ratificando la validez de los parámetros de carga de diseño para los pilotes de estas zonas.
- 4) De los 7 pilotes analizados por medio de la prueba de carga dinámica a pilotes, solo la carga alcanzada durante la prueba en el pilote I-20 (correspondiente al punto 1), aun no corresponde a la carga última del pilote. Con la prueba también se puede analizar la integridad de los pilotes, demostrando que todos son íntegros, continuos y de longitud esperada de acuerdo con los datos de profundidad de cimentación de los pilotes (ver cuadro 9).
- 5) En razón a las conclusiones anteriores y analizando con especial cuidado el comportamiento de los pilotes correspondientes a los *puntos de chequeo de carga*, ya que sobre ellos recaen todos los chequeos y pruebas de verificación realizadas en el marco del presente informe, se detectó que solo el pilote I-20 (correspondiente al punto 1) pasa la verificación, ya que a diferencia de los demás, este se encuentra cimentado en la profundidad correcta cumpliendo con la profundidad mínima de empotramiento en roca limolita igual a 5 m, necesaria para desarrollar la carga ultima del pilote y requerida para el control de las deformaciones horizontales. Por lo tanto, si en el proyecto TC BUEN, deciden continuar con las mismas especificaciones y parámetros de carga para la construcción de los pilotes faltantes en las zonas del muelle y patio de contenedores, se recomienda prestar mucha atención en la profundidad mínima de empotramiento en roca limolita para cada pilote.
- 6) La prueba de carga dinámica a pilotes demostró ser un método seguro y rápido para determinar la capacidad ultima de carga de un pilote (resistencia por punta + resistencia por fuste), y establecer si el pilote analizado es capaz de soportar una carga sin asentamiento excesivo o continuo.

11. BIBLIOGRAFIA

- UNIVERSIDAD DEL CAUCA. Resolución No. 281. Reglamento para trabajos de Grado en la Facultad de Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería Civil. Popayán, 10 de Junio de 2005
- POLANCO. Margarita. Tutor de pasantía. Universidad del Cauca. Departamento de Geotecnia. Información personal. Popayán, febrero – junio de 2010.
- COSME V. Hugo Aldemar. Tutor de pasantía. Empresa Estudio de Suelos Ltda. Información personal. Popayán, febrero – junio de 2010.
- ESCOBAR. Carlos. Gerente de la empresa Estudio de Suelos Ltda. Información personal. Popayán, febrero – junio de 2010.
- MUÑOZ. Ricardo. Director Técnico proyecto TC BUEN. Colpatria. Información personal. Buenaventura, febrero – junio de 2010.
- ESCOBAR. Luis Antonio. Inspector geotécnico en las zonas del muelle y patio de contenedores proyecto TC BUEN. C.I.C. Consultores de ingeniería y Cimentaciones. Información personal. Buenaventura, febrero – junio de 2010.
- VILLAMARIN. Jorge Eduardo. Asesor geotécnico en las zonas del muelle y patio de contenedores proyecto TC BUEN. C.I.C. Consultores de ingeniería y Cimentaciones. Información personal. Buenaventura, febrero – junio de 2010.
- CASTILLO. Iván. Residente en las zonas del muelle y patio de contenedores proyecto TC BUEN. Colpatria. Información personal. Buenaventura, febrero – junio de 2010.
- C.I.C. Consultores de ingeniería y Cimentaciones. Diseño estructural del muelle multipropósito complejo portuario, industrial de Buenaventura. Informe geotécnico final. Muelle, patio de contenedores, viaducto y bodega de inspección # 1. Bogotá. 22 de Diciembre de 2008.
- C.I.C. Consultores de ingeniería y Cimentaciones. Diseño de la estructura frontal del muelle. Criterios de diseño. Bogotá. 11 de Febrero de 2009.
- C.I.C. Consultores de ingeniería y Cimentaciones. Diseño estructural de las plataformas para almacenamiento de contenedores. Criterios de diseño. Bogotá. 11 de Febrero de 2009.

- JEoprobe LTDA. Geotecnia especializada. Informes con los resultados de las pruebas de carga dinámica a pilotes. Bogotá. 16 de Diciembre de 2009. 29 de Enero de 2010. 5 de Febrero de 2010.
- TC BUEN. Terminal de Contenedores de Buenaventura. www.tcbuen.com
- BRAJA M. DAS. Principios de ingeniería de cimentaciones. International Thompson Editores. Cuarta edición. 2001. California State University, Sacramento.
- <http://www.monografias.com/trabajos/geologia/geologia.shtml>
- <http://www.mypfundaciones.com/index.php?s=preexcavado&ss=04c>
- <http://www.construaprende.com/t/03/>
- [http://es.wikipedia.org/wiki/Pilotes_in_situ_\(m%C3%A9todo_constructivo\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Pilotes_in_situ_(m%C3%A9todo_constructivo))
- <http://www.arquitectuba.com.ar/monografias-de-arquitectura/cimentaciones-3/>
- <http://www.scribd.com/doc/19414708/Brocas-de-Perforacion>
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Suelo>
- <http://www.construaprende.com/t/03/>
- <http://www.pdi.com.br/eccd-esp.htm>
- <http://www.pile.com/inthenews/ConstruccionPA/Construccion100.pdf>
- <http://www.alipso.com/monografias4/Cimentaciones-sobre-pilotes-en-Roca-Pruebas-de-hinca/Cimentaciones-sobre-pilotes-en-Roca-Pruebas-de-hinca.pdf>
- http://www.cimientosweb.com/documentos/CW030701_celula%20osterberg_gmr.pdf
- <http://www.marxist.com/Theory-old/dialectico/node3.html>

ANEXOS