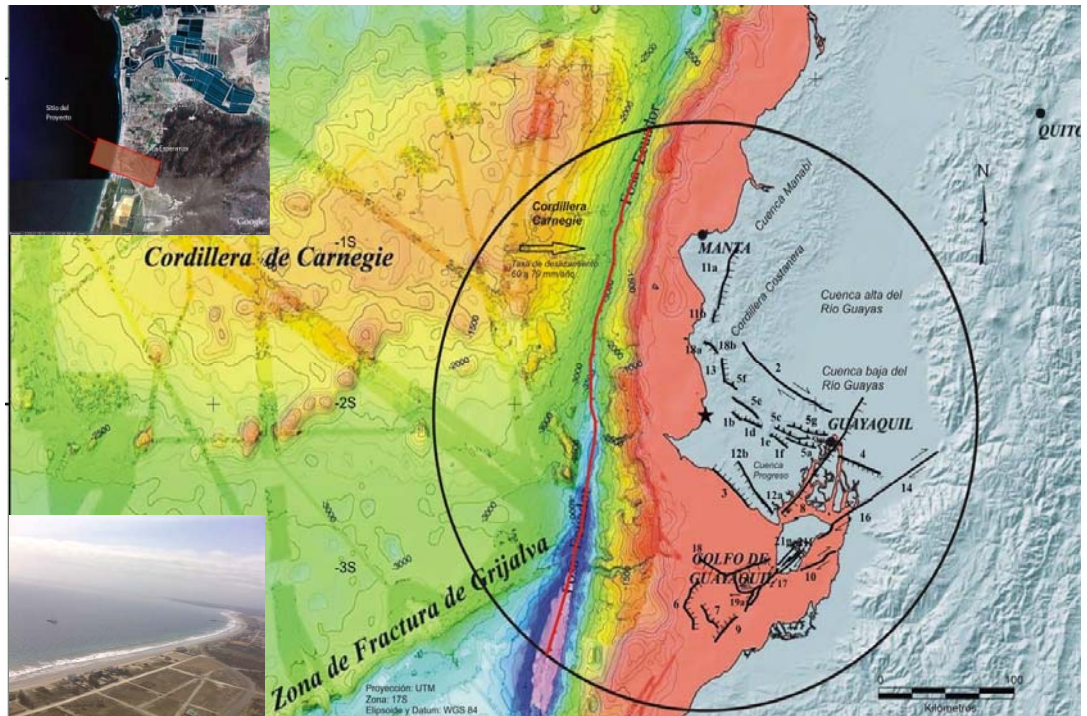


INFORME PRELIMINAR DE FASE III

Estudios Geológicos, Geotécnicos y de Riesgo Sísmico para el proyecto: **“TERMINAL MARÍTIMO Y PLANTA DE ALMACENAMIENTO DE GLP EN MONTEVERDE, PROVINCIA DE SANTA ELENA”**



INFORME PRELIMINAR DE LA EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA Y GEOLÓGICA (ENSAYOS DE CAMPO Y LABORATORIO) PARA LA ESTRUCTURA DEL MUELLE Y ATRAQUES (EN AGUA)

Preparado para:

FLOPEC Flota Petrolera Ecuatoriana

Guayaquil-Ecuador

Noviembre 7, del 2008



UNIVERSIDAD NAVAL "COMANDANTE RAFAEL MORAN VALVERDE"

1. TABLA DE CONTENIDOS. Informe de la exploración geotécnica y geológica (ensayos de campo y laboratorio) para la estructura del muelle y atraques (en agua).



Sección	Página
1. Introducción y Alcance	1-1
1.1 Antecedentes del Proyecto	1-1
1.2 Objetivo de la Investigación	1-1
1.3 Alcance	1-1
1.3.1 Lista de Sondeos	1-1
1.4 Datos geotécnicos existentes	1-2
2. Métodos de Exploración de Campo y Ensayos de Laboratorio	2-1
2.1 Métodos de trabajos de campo y sondeos	2-1
2.2 Métodos de Ensayos en Laboratorio	2-6
3. Caracterización Geotécnica de los Suelos	3-1
3.1 Caracterización geotécnica de los suelos	3-1
3.2 Resistencia de los suelos y rocas arcillosas meteorizadas en Monteverde	3-1
3.3 Prueba de Penetración estándar en los geomateriales y factor de corrección por energía y esfuerzo vertical	3-1
3.4 Determinación de la Densidad Relativa	3-3
3.5 Angulo de fricción ϕ para arenas, gravas y rocas	3-3
3.6 Resistencia al corte no drenada, S_u	3-4
3.7 Propiedades físicas de los suelos	3-4
3.8 Resumen de la variación espacial de las características geotécnicas por zonas	3-5
4. Caracterización Geológica de los Suelos	4-1
4.1 Metodología	4-1
4.2 Geología Regional	4-1
4.3 Estratigrafía Local	4-1
4.3.1 Cuña de Sedimentos bajo el fondo marino	4-1
4.3.2. Formacion Socorro bajo la cuña de sedimentos cuaternarios	4-3
5. Conclusiones	5-1
6. Referencias	6-1
ANEXOS	
Figuras	
Reporte Fotográfico	

1. TABLA DE CONTENIDOS. Informe de la exploración geotécnica y geológica (ensayos de campo y laboratorio) para la estructura del muelle y atraques (en agua).



Logs de sondeos en agua	
-------------------------	--

1. INTRODUCCIÓN Y ALCANCE

1.1 Antecedentes del Proyecto

El presente informe de la exploración geotécnica y geológica (ensayos de campo y laboratorio) para la estructura del muelle y atraques (en agua) del proyecto “Terminal Marítimo y planta de almacenamiento de GLP”, forma parte y complementa dicho proyecto, definiendo las alternativas de diseño técnico económicas más adecuadas para la cimentación e implantación de las estructuras mencionadas.

La estructura del muelle y atraques (en agua) del proyecto “Terminal Marítimo y planta de almacenamiento de GLP” está ubicado en Monteverde-Santa Elena y contempla un área de estudio que se extiende desde la línea de costa hasta el sitio donde se construirá el muelle de la terminal de GLP, ubicado a 1400m mar adentro donde se construirá la estructura de muelle, en este sector el lecho marino llega a tener una profundidad de 20m aproximadamente, medidos a partir del MSL (Mean Sea Level)

1.2 Objetivo de la Investigación

El objetivo del presente Estudio de Investigación geotécnica tiene como finalidad establecer y caracterizar los principales parámetros Geotécnicos y Geológicos para la cimentación e implantación de la estructura del muelle y atraques (en agua) del proyecto “Terminal Marítimo y planta de almacenamiento de GLP”.

1.3 Alcance

Dentro del alcance del proyecto, el estudio incluye **(a)** 8 sondeos geotécnicos PA de 19 a 35 metros de profundidad (PA1, PA2, PA3, PA4, PA5, PA6, PA8, PA10), las perforaciones fueron del tipo percusión con ensayo de penetración estándar (SPT) en geomateriales tipo arenas compactas, arcillas duras a rígidas y arcillolitas, entre los materiales más competentes se obtuvieron muestras con denison o barril con el método rotatorio con recuperación de núcleos. Todas las muestras resultantes de las perforaciones fueron clasificadas y analizadas en su respuesta geomecánica. **(b)** 6 ensayos de veleta de campo a diferentes profundidades **(c)** 2 Downhole para medir la velocidad de la onda cortante. **(d)** ensayos de sísmica de refracción a lo largo del eje de la tubería (en agua) y sitio de la estructura del muelle y atraques; **(e)** ejecución de ensayos de laboratorio en muestras de suelo y roca seleccionadas; y **(f)** documentación de los resultados de la investigación y la preparación de un informe de los datos obtenidos.

1.3.1 Lista de Sondeos

Las coordenadas corresponden al Datum Horizontal WGS 84. Las cotas están referenciadas al MSL (nivel medio de marea) en el sitio de Monteverde.

1. INTRODUCCION Y ALCANCE. Informe de la exploración geotécnica y geológica (ensayos de campo y laboratorio) para la estructura del muelle y atraques (en agua).



Tabla 1-1 Lista de Coordenadas de Sondeos en agua de 19.00 a 35.00 metros de profundidad.

SONDEO	COORDENADAS		
	ESTE	NORTE	COTA
PA1	527891.13	9771514.90	-22.84
PA2	527960.67	9771542.79	-22.40
PA3	528026.79	9771568.27	-22.18
PA4	528131.17	9771605.17	-21.46
PA5	528311.56	9771616.00	-20.27
PA6	528453.60	9771583.59	-19.58
PA8	528731.38	9771500.03	-15.89
PA10	529214.94	9771391.06	+2.49

1.4 Datos geotécnicos existentes

En el sitio del proyecto, existen datos obtenidos de los sondeos de la exploración geotécnica ejecutada en agua por FUGRO GULF, INC., para CEPE en el año 1982.

2. METODOS DE EXPLORACIÓN DE CAMPO Y ENSAYOS DE LABORATORIO. Informe de la exploración geotécnica y geológica (ensayos de campo y laboratorio) para la estructura del muelle y atraques (en agua)



2.1 Métodos de trabajos de campo y sondeos

Utilizando la batimetría proporcionada por el INOCAR, la información cartográfica de la zona y mediante un levantamiento topográfico del sitio con estación total y GPS, se determinó la ubicación exacta de los sondeos, comprobándose la posición final de los mismos. Adicionalmente se verificó la verticalidad del ademe previo inicio de la perforación. Se trabajó con el Datum horizontal WGS 84.

Sondeos de exploración

Estos fueron ejecutados usando un equipo de perforación a percusión y rotación (cabo y malacate). Se ejecutó el ensayo de penetración estándar SPT, usando el martillo de seguridad (63.5Kg, 0.76m altura de caída y varillas AW), Vera Grunauer, X et. Al 2006.

Los sondeos exploratorios en agua comenzaron en julio 21 de 2008, finalizando en octubre 17 de 2008, cabe mencionar que las condiciones climáticas durante la campaña de exploración fueron severas, con fuertes vientos y oleaje.

Las condiciones del lecho marino fueron caracterizadas en este estudio por 8 sondeos de exploración incluido muestreo (8 perforaciones de 19.00 a 35.00 metros de profundidad a lo largo de la línea de tubería y estructura de muelle y atraques (en agua), con una longitud total de perforación de 229.00 m). Adicionalmente se realizaron 6 ensayos de veleta de campo a diferentes profundidades y dos Downhole para medir la velocidad de la onda cortante.

Las muestras de SPT fueron tomadas cada metro cincuenta desde el comienzo del muestreo hasta obtener el rechazo. Para el muestreo en roca, se utilizó un barril de broca de diamante para las areniscas y para las arcillolitas y limolitas muy blandas se utilizó el muestreador tipo Denison. Durante la ejecución de los sondeos y operaciones de muestreo, el personal de campo mantenía un registro de las actividades realizadas in situ; anotando la clasificación de suelo preliminar y roca para las muestras y preparando un registro continuo para cada sondeo.

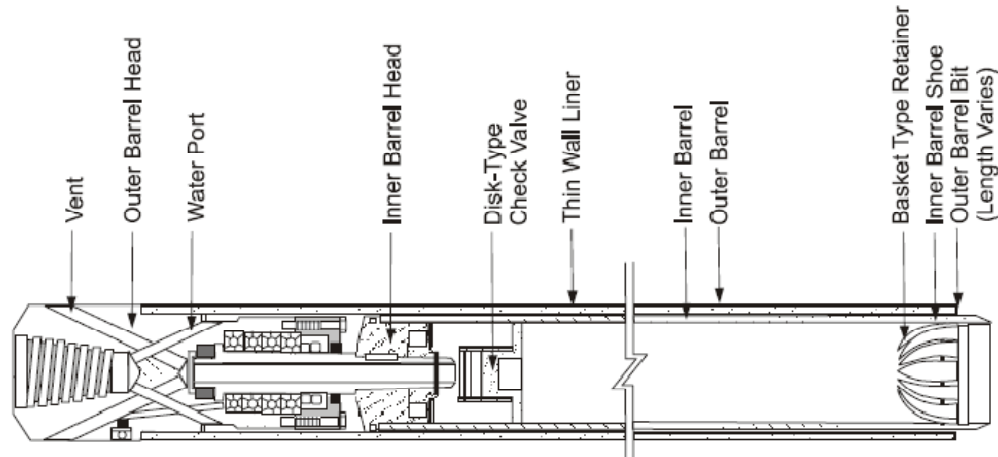
Las muestras fueron recogidas de cada sondeo para caracterizar las condiciones del subsuelo y consecuentemente realizar los ensayos en el laboratorio. Luego de que el muestreador era retirado del sondeo, las muestras eran observadas, registradas, etiquetadas y selladas para muestrearlas en el laboratorio. Las muestras del SPT (cuchara partida) eran generalmente recogidas y selladas en fundas plásticas. Se realizó una clasificación visual preliminar de suelos en el campo, de acuerdo con la norma ASTM D 2488 (Sistema de clasificación de suelos unificada). La clasificación de las muestras de suelo fue verificada por una inspección posterior en el laboratorio de cada muestra y por los resultados de los ensayos, la inspección fue realizada por el especialista en geología y geotecnia del proyecto. En el anexo se presenta una hoja explicativa para cada sondeo y los registros finales de perforación, desarrollados a partir de los resultados de laboratorio, mostrado en los datos de campo y laboratorio.

2. METODOS DE EXPLORACIÓN DE CAMPO Y ENSAYOS DE LABORATORIO. Informe de la exploración geotécnica y geológica (ensayos de campo y laboratorio) para la estructura del muelle y atraques (en agua)



Las muestras de suelo fueron obtenidas usando los siguientes muestreadores:

- a) Muestreador Denison en suelos duros, los tubos de pared delgada sencillos se doblan y alteran la zona en la que se hincan. Se recurre, entonces a muestreadores más elaborados. Si el material no contiene grava y presenta cierta cohesión, se



emplea, generalmente, el muestreador Denison.

Este muestreador consta de dos tubos concéntricos. El exterior dispone de una zapata dentada que corta el material por rotación. El interior lleva, en su parte inferior, una zapata cortante que sobresale del tubo exterior y está montado sobre baleros, de tal forma que pueda permanecer fijo al girar el tubo exterior. Dentro del tubo interior, se aloja una camisa donde la muestra queda retenida. Una trampa de hojas metálicas dificulta la salida de la muestra una vez que se ha introducido.

El muestreador Denison fue fundamental para el éxito en obtener muestras inalteradas en las arcillolitas muy blandas o geomateriales intermedios.

- b) Muestreador del ensayo de penetración estándar (SPT) de 2 pulg de diámetro exterior DE, y 1.375 pulg de diámetro interior DI.

El muestreador del SPT fue introducido en el suelo con un martillo de seguridad 140 libras y una caída de 30 pulg. El muestreador fue introducido hasta 50 golpes en los primeros 15 cm o 100 golpes en los últimos 30 cm, cualesquiera que ocurra primero. El número de golpes fue registrado en golpes por pie para los sondeos actuales.

2. METODOS DE EXPLORACIÓN DE CAMPO Y ENSAYOS DE LABORATORIO. Informe de la exploración geotécnica y geológica (ensayos de campo y laboratorio) para la estructura del muelle y atraques (en agua)



El equipo auxiliar para el hincado es una masa golpeadora de acero de 64Kg con guía de caída libre de 75cm y barras de perforación AW o BW (4.44 y 5.4cm de diámetro y 6.53 y 6.23 kg/m de peso, respectivamente) con un yunque de golpeo incorporado a la columna de barras. La masa golpeadora usualmente se levanta con un malacate de fricción (cabeza de gato). En la figura 1 se observa una ejecución del ensayo SPT en Monteverde, con equipo ACKER, utilizando el martillo Safety.

Previo a los trabajos mencionados, el mismo martillo de seguridad fue calibrado, mediante un sistema de varillas instrumentadas, Vera Grunauer, X et al. 2006. El sistema incluía dos acelerómetros piezo resistente diametralmente opuesto, sobre un bloque de acero soldados a la barra y dos medidores de deformación (Strain Gages) los cuales consistían en un puente tipo Wheastone de 350 Ohm pegado en una barra de 60cms de longitud tipo AWJ, estos instrumentos fueron conectados en un Analizador de señales, SPT AnalyzerTM (Pile Dynamics Inc.2000) el cual es similar al analizador de pilotes, Pile Driving Analyzer (PDA) PAL pero adaptado para medir la energía en pruebas SPT. Los resultados de esta calibración obtenidos con el martillo de seguridad tuvieron una eficiencia de energía ER de 61% a 63% y una eficiencia de martillo CE ($CE=ER/60$) de 1.02 a 1.04.



Figura 1. Equipo de percusión y rotación durante el ensayo SPT

2. METODOS DE EXPLORACIÓN DE CAMPO Y ENSAYOS DE LABORATORIO. Informe de la exploración geotécnica y geológica (ensayos de campo y laboratorio) para la estructura del muelle y atraques (en agua)



La Sísmica de Refracción y ensayo de Down Hole

Los informes de sísmica de refracción se presentarán en el informe final ya que se están ejecutando en estos momentos.

Principio Físico del método.- El método se utiliza para determinar los contactos -llamados *reflectores*- entre los diferentes estratos geológicos que presentan velocidades sísmicas diferentes. Dichos estratos varían en sus propiedades físicas debido a su textura y compactación, dando como consecuencia un cambio en la velocidad sísmica de los materiales, posibilitando de esta manera la determinación de dichos contactos o reflectores, siempre que se produzca el fenómeno de la refracción a lo largo de dichos planos, lo que constituye el principio físico del método.

El método se basa en la generación de las ondas sísmicas, mediante la explosión de una pequeña carga colocada a una profundidad entre 0.50 y 0.80m y la detección y medición de la llegada de dichas ondas a pequeños receptores conocidos como *geófonos* convenientemente distribuidos a lo largo del perfil sísmico cada 10m de distancia.

Interpretación.- Luego de obtenidos los *sismogramas* o datos de campo, se procedió a la interpretación de la siguiente manera:

- Determinación de las primeras llegadas de las ondas refractadas a partir de los sismogramas.
- Se grafican los tiempos T (o primeras llegadas de las ondas) empleados por las ondas refractadas para llegar a los *geófonos* *versus* la distancia a la que se encuentran los mismos con respecto al punto de disparo, obteniendo una curva tiempo-distancia conocida como *dromocrona*, que constituye la base de la interpretación.
- Correlación entre dromocronas.
- Cálculo de velocidades de las diferentes capas utilizando el método ABEM y plus-minus (más-menos) y software Seis Imager.
- Cálculo y determinación de las profundidades de los diferentes estratos mediante los métodos de la distancia crítica, tiempo de intercepción y tiempo de retardo.

Equipo.- El equipo utilizado en el presente estudio fue:

- Un sismógrafo GEOMETRICS SMARTSEIS de 12 canales y 12 *geófonos*.
- Cable de *geófonos* y *geófonos* verticales de 14 Hz.
- Equipo complementario y material como explosivos (se utilizó una placa metálica en el fondo marino, con un equipo de buzos)

2. METODOS DE EXPLORACIÓN DE CAMPO Y ENSAYOS DE LABORATORIO. Informe de la exploración geotécnica y geológica (ensayos de campo y laboratorio) para la estructura del muelle y atraques (en agua)

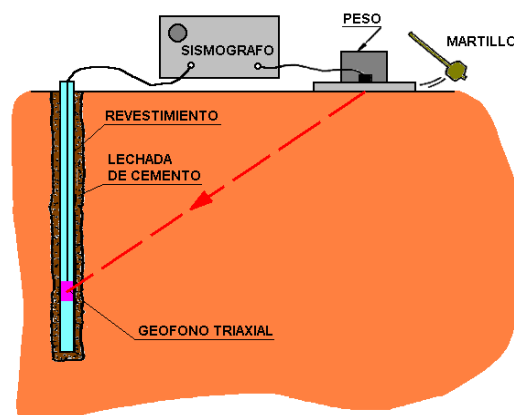


Figura. Ensayo Down-Hole

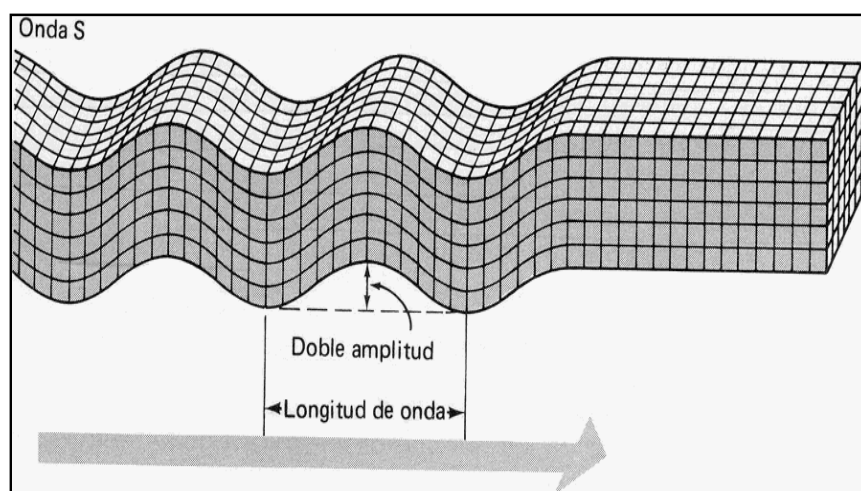


Figura. Propagación de la Onda Cortante

El ensayo de Down Hole tiene por objetivo determinar la velocidad de propagación de las ondas tangenciales S.

A continuación se resume en cuadro adjunto los ensayos realizados en campo:

ENSAYOS REALIZADOS EN CAMPO

CONCEPTO	Cantidad	Unidad de medida
MUESTREO DE BARRIL	30	u
MUESTREO DE DENISON	7	u
MUESTREO DE SPT	134	u
MUESTREO EN ROCA (RQD)	11	u
ENSAYO DE VELETA DE CAMPO	144	m

2. METODOS DE EXPLORACIÓN DE CAMPO Y ENSAYOS DE LABORATORIO. Informe de la exploración geotécnica y geológica (ensayos de campo y laboratorio) para la estructura del muelle y atraques (en agua)



2.2 MÉTODOS DE ENSAYOS EN LABORATORIO

Las muestras de suelo y roca fueron entregadas al laboratorio de la UNINAV para que sean examinados y muestreados para de esta manera evaluar sus características físicas y sus propiedades ingenieriles. Con las muestras seleccionadas considerando los procedimientos de la norma ASTM se realizó lo siguiente:

ENSAYOS REALIZADOS EN LABORATORIO

CONCEPTO	Cantidad	Unidad de medida
TOTAL GRANULOMETRÍA (TAMICES #4 - #200)	173	u
TOTAL LIMITES (WL,WP,IP)		
TOTAL HUMEDAD (%W)		
TOTAL MATERIA ORGANICA	47	u
TOTAL PH	47	u
TOTAL SULFATO	47	u
TOTAL CARBONATO DE CALCIO	47	u
ENSAYO DE VELETA DE LABORATORIO	64	u
COMPRESIÓN SIMPLE	18	u
POCKET PENETROMETRO (P.P) / q_u	3	u
TORVANE (S_u)	3	u

NORMAS ASTM UTILIZADAS:

- ✓ D1140-00(2006) Standard Test Methods for Amount of Material in Soils Finer than No. 200 (75- μ m) Sieve
- ✓ D4318-05 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils
- ✓ D854 Standard method for Specific Gravity of Soils
- ✓ D422 Standard test for Particle-Size Analysis of Soils
- ✓ D4648 Standard test Method for laboratory Miniature Vane Shear Test for Saturated Fine-Grained Clayey Soil
- ✓ D2166 Standard test for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil
- ✓ D4767-04 Standard Test Method for Consolidated Undrained Triaxial Compression Test for Cohesive Soils

2. METODOS DE EXPLORACIÓN DE CAMPO Y ENSAYOS DE LABORATORIO. Informe de la exploración geotécnica y geológica (ensayos de campo y laboratorio) para la estructura del muelle y atraques (en agua)



- ✓ D2487-06 Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)
- ✓ D420-98(2003) Standard Guide to Site Characterization for Engineering, Design, and Construction Purposes
- ✓ D5434-03 Standard Guide for Field Logging of Subsurface Explorations of Soil and Rock
- ✓ D4972 Standard test Method for PH of Soils
- ✓ D4230 Standard test Method for Sulfate Content

3. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS SUELOS. Informe de la exploración geotécnica y geológica (ensayos de campo y laboratorio) para la estructura del muelle y atraques (en agua)



3.1 Caracterización geotécnica de los suelos.

La caracterización geotécnica del presente estudio se la efectuó en base a la exploración geotécnica realizada al fondo marino, la misma que confirma la continuidad de la formación Socorro, esta formación va desde zona de tierra - playa hasta la zona marítima, se comprobó la existencia de la formación mediante los sondeos geomecánicos realizados, detectando arcillolitas, limolitas y areniscas, subyaciendo a la capa de sedimentos marinos conformado por arenas limosas - arcillosas y un paleosuelo arcilloso residual que cubre a las rocas sumergidas de la formación Socorro.

3.2 Resistencia de los suelos y rocas arcillosas meteorizadas en Monteverde

Las rocas arcillosas de la formación eocena Socorro/Seca plantean una imprecisión en la definición del límite suelo-roca (*O'Neill & Reese en su publicación de 1999 lo definen como geomateriales intermedios*) ya que estos dos materiales son fáciles de separar en el campo por métodos visuales. El suelo paleosuelo residual arcilloso discordante que alcanza un espesor variable y por debajo del mismo aparecen en general (en pocos casos areniscas que son más competentes) las arcillolitas con un alto grado de meteorización que conservan la estructura rocosa original en forma relicta pero que tienen un grado de competencia muy bajo a causa del avanzado estado de meteorización.

Estas “rocas arcillosas” alteradas presentan una resistencia a la compresión simple muy inferior al de una roca extremadamente débil e igualmente son atravesadas por el ensayo SPT con un número de golpes inferior a 100 considerado comúnmente -en el concepto geotécnico- como el límite entre suelo y roca.

Entonces es necesario dejar en claro que la definición geológica de “arcillolita” que se expresa en la descripción de las muestras del subsuelo en las perforaciones PA de mayor profundidad es solamente en base a la estructura relicta y no corresponde a una definición de dureza o resistencia de roca.

3.3 Prueba de Penetración estándar en los geomateriales y factor de corrección por energía y esfuerzo vertical

En depósitos de arena, donde la obtención de muestras inalteradas ofrece algunas dificultades prácticas, la resistencia a la penetración estándar N , se utiliza para estimar, empíricamente, el ángulo de fricción interno efectivo ϕ' y la densidad relativa de estos suelos; valores que se emplean como base del diseño de cimentaciones y del procedimiento de construcción; sin embargo, en tales casos, los valores de la resistencia a la penetración N , deben emplearse con cautela, ya que, en ciertas condiciones, pueden conducir a errores substanciales.

Previo a los trabajos mencionados, se analizaron martillos tipo seguridad y donut fueron calibrados, mediante un sistema de varillas instrumentadas, Vera Grunauer, X et al. 2006. El sistema incluía dos acelerómetros piezo resistente diametralmente opuesto, sobre un bloque de acero soldados a la barra y dos medidores de deformación (Strain Gages) los cuales consistían en un puente tipo Wheastone de 350 Ohm pegado en una barra de 60 cms

3. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS SUELOS. Informe de la exploración geotécnica y geológica (ensayos de campo y laboratorio) para la estructura del muelle y atraques (en agua)



de longitud tipo AWJ, estos instrumentos fueron conectados en un Analizador de señales, SPT AnalyzerTM (Pile Dynamics Inc.2000) el cual es similar al analizador de pilotes, Pile Driving Analyzer (PDA) PAL pero adaptado para medir la energía en pruebas SPT. Los resultados de esta calibración obtenidos con el martillo de seguridad tuvieron una eficiencia de energía ER de 61% a 63% y una eficiencia de martillo CE ($CE=ER/60$) de 1.02 a 1.04. Para los martillos tipo Donut se estimaron valor de CE de 0.75. En el sitio del proyecto se utilizaron para diferentes perforadoras dos tipos de martillos, a cada uno se le asignaron su respectivo factor de corrección por energía CE.

En el caso de las arenas finas o arenas limosas, cuando éstas se encuentran bajo el nivel freático y en estado semicompacto o compacto ($N > 15$), el valor de N determinado en el campo debe ser corregido por dos factores de corrección: por dilatancia y por presión confinante:

Corrección por dilatancia

Debido a que su permeabilidad es relativamente baja en el caso de arenas SM, no permiten la disipación rápida de tensiones en el agua de los poros que se desarrollan al expandirse el suelo bajo la acción de los esfuerzos dinámicos inducidos por el hincado del muestreador, fenómeno conocido como dilatancia, los valores de N son mayores a los que corresponderían a la arena seca. Empíricamente se ha encontrado que, para estos casos, el valor de N puede corregirse mediante la siguiente expresión, sugerida por Peck:

$$N' = 15 + 0.5(N - 15)$$

En la cual: N' es el valor corregido del índice de penetración y N es el valor original observado durante el muestreo. Esta expresión es aplicable cuando la resistencia a la penetración es mayor de 15 golpes, para las arenas finas y las arenas limosas saturadas, valor que corresponde a una compacidad a partir de la cual se manifiesta el fenómeno de dilatancia. (Tamez 2001)

Corrección por esfuerzo vertical

Para poder evaluar la resistencia al esfuerzo cortante de un material a diferentes profundidades y solo evaluar la variación de su densidad relativa, se recomienda normalizarlo para el esfuerzo vertical de referencia, la siguiente expresión se considera:

$$(N_1)_{60} = N_{60} \sqrt{\frac{100 \text{ kPa}}{\sigma'_z}}$$

Debido a la existencia de arcillolitas muy blandas y la importancia de tener una ecuación de correlación LOCAL para la resistencia al esfuerzo cortante no drenado con los N_{60} , se realizaron estimaciones al valor de S_u en los sondeos espacialmente ubicados en el sitio del proyecto minimizando las incertidumbres epistémicas si utilizáramos otras correlaciones de otros sitios. Como resultado de esta investigación en campo se presenta en la figura 3.1 la ecuación de correlación del N_{60} con el S_u obtenido en ensayos de compresión simple en muestras inalteradas.

3. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS SUELOS. Informe de la exploración geotécnica y geológica (ensayos de campo y laboratorio) para la estructura del muelle y atraques (en agua)



Otro parámetro fundamental para los análisis de estabilidad sísmica y estática es la rigidez al corte, $G_{\max} = \rho \cdot V_s^2$. Se realizaron dos ensayos de Downhole en el sitio PA10 y PA5, donde previamente se habían realizado ensayos de SPT. En la figura 3.2 se muestran los perfiles de velocidades de ondas de corte y la relación entre la velocidad de la onda compresional y cortante. Mediante ecuaciones semiempíricas de correlaciones entre la velocidad de onda cortante y N_{60} para arenas aluviales (SP, SW, SC) se estimó el perfil de V_s . En la figura se observan los valores obtenidos con el ensayo Downhole.

3.4 Determinación de la Densidad Relativa

La caracterización de un suelo friccionante mediante la definición de la densidad relativa es primordial, ya que esta es una variable de estado, para determinar en qué estado se encuentra el material con respecto a la línea de estado crítico, si este tendrá un comportamiento contráctil o dilatante. Conociendo este estado se podría estimar el ángulo de fricción interna y las deformaciones.

Por lo expuesto, se considera plausible la utilización de la correlación entre el valor de $N'_{1,60}$ y la densidad relativa aparente propuesta por Wu, J (2003), ver figura 3.4

Adicionalmente, para considerar la incertidumbre epistémica se incorpora en la caracterización de las series arenosas la relación empírica del EPRI (1990) para estimar la densidad relativa, ver figura 3.5.

3.5 Angulo de fricción ϕ para arenas, gravas y rocas

Ducan, J (2004) realizó una investigación para encontrar el ángulo de fricción para arenas gravas y rocas. En esta investigación reportó que a través de varios ensayos en estos materiales se pudo encontrar que el ángulo de fricción interna de los materiales sin cohesión dependen de:

- Presión
- Densidad Relativa
- Gradación (Cu)
- Tamaño de partículas (arena, grava y rocas)
- Resistencia de partículas
- Forma de partículas
- Humedad

El resultado de 125 pruebas de donde se conoce la densidad relativa, hizo posible estimar el valor de Φ que considere los efectos de presión, densidad relativa, gradación y tamaño de partículas.

$$\phi = A + B(Dr) - [C + D(Dr)] \log_{10} (\sigma_N / PA)$$

Donde: A, B, C, D : son los coeficientes semiempíricos del estudio.

3. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS SUELOS. Informe de la exploración geotécnica y geológica (ensayos de campo y laboratorio) para la estructura del muelle y atraques (en agua)



$\phi = A+B(Dr)- [C+D(Dr)]\text{Log}_{10} (\sigma_N/ \text{PA})$					
Tipo de Material	A	B	C	D	Desviación Estándar
Grava Cu>4	44	10	7	2	3.1°
Arena Cu>6	39	10	3	2	3.2°
Arena Cu>6	34	10	3	2	3.2°

Se usaron, para el modelo geotécnico de la zona 1, dos desviaciones estándar bajo la mejor estimación, obteniendo una probabilidad del 2% de que el valor sea menor al estimado.

Significado de desviación estándar

Números de desviaciones estandar por debajo de la mejor estimación	Probabilidad que el valor actual podría ser menor que el valor de la mejor estimación	
	Distribución normal	Distribución lognormal
1	16%	16%
2	2%	2%
3	0.10%	<0.1%

Adicionalmente, para considerar la incertidumbre epistémica se incorpora en la caracterización de las series arenosas la relación empírica de Seed (2006) ver figura 3.6 y Tamez (2001) ver figura 3.7 para estimar el ángulo de fricción interna. De la distribución granulométrica de las arenas, se observa que un gran porcentaje corresponde a arenas finas, de la grafica de TAMEZ (2001) se utilizo la curva para arenas finas, ver figura 3.7.

3.6 Resistencia al corte no drenada, Su

Se realizaron ensayos de compresión sin confinar, veleta de laboratorio, torvane y penetrometro de bolsillo en muestras de arcilla, arcillolita y limolita para estimar el valor de Su. En muestras de arcilla se realizaron ensayos de veleta de laboratorio para determinar la resistencia residual al esfuerzo cortante no drenado.

Para los geomateriales intermedios, se realizaron ensayos de compresión simple donde se evaluó la resistencia uniaxial y el valor de la deformación unitaria ϵ_{50} , parámetro importante para los modelos p-y para los materiales cohesivos.

3.7 Propiedades físicas de los suelos

Se ejecutaron ensayos de Potencial de hidrogeno (PH), Carbonato de calcio, Sulfatos totales y Materia orgánica en las muestras de arcilla, arenas, arcillolita y limolita recuperadas. Los resultados de estos ensayos se muestran en la figura 3.16

3. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS SUELOS. Informe de la exploración geotécnica y geológica (ensayos de campo y laboratorio) para la estructura del muelle y atraques (en agua)



3.8 Resumen de la variación espacial de las características geotécnicas por zonas

De los resultados obtenidos mediante la campaña de exploración de campo, ensayos de laboratorio y geomorfología del sitio en estudio se presenta a manera de resumen la variación espacial de las características geotécnicas por zonas:

ZONA 1 (Abscisa 1+300 a 0+1400).- Es un tramo que presenta una morfología con una pendiente decreciente y casi plana al lecho marino. En esta zona se encuentran en la parte superior arenas limosas, de 3 a 4m de profundidad, exceptuando un pequeño estrato de arcilla que se detectó en la perforación PA2.

El siguiente estrato encontrado es una arena media a fina de color marrón de 15 a 20 m. de profundidad, muy compacta con un valor promedio $N_{60} = 80$ y densidad relativa de 90 a 100%. El contenido de finos, predominantemente finos no plásticos, en estos materiales friccionantes es de 5 a 30%

Subyaciendo a esta serie arenosa se detectó un estrato de arcilla dura de aproximadamente 12 m. de potencia, con un valor $N_{60} > 30$.

Finalmente todos los estratos subyacen sobre el paleosuelo arcilloso el mismo que cubre a la formación socorro de arcillolitas y areniscas, de acuerdo a la tendencia inferida, ver plano d perfil geológico – geotécnico del subsuelo. Ver figuras 3.8, 3.12.1 y 3.12.2

ZONA 2 (Abscisa 1+100 a 1+200).- En esta zona se observa una pendiente constante del fondo marino que viene desde la zona de playa, la geomorfología de la zona está compuesta por arenas limosas finas o muy finas de color gris, de 15 a 20m de profundidad, compactas con un valor N_{60} de 10 a 100 y una densidad relativa de 60 a 100%. Intercalado en este manto arenoso se pudo observar un pequeño estrato de arena cementada o roca de playa de 2 m de espesor, muy resistente

Subyaciendo a esta serie arenosa se observa una serie arcillosa de consistencia dura con un valor $N_{60} > 30$. La serie arcillosa mantiene un IP de 20 a 60% con pasantes del tamiz 200 >70%

En esta zona se infiere una continuidad de la tendencia en los estratos, los cuales sobreyacen al paleosuelo arcilloso el mismo que cubre a la formación socorro de arcillolitas y areniscas. Ver figuras 3.9, 3.13.1 y 3.13.2

ZONA 3 (Abscisa 0+850 a 0+950).- Esta Zona registra el afloramiento en el lecho marino del estrato de arena cementada o roca de playa muy resistente de 2 m de espesor, esta afloración podría ser una formación en estado prematuro, aunque no se tiene muchos registro para confirmar esto, ver plano d perfil geológico – geotécnico del subsuelo.

Subyaciendo a este estrato se observa una serie de arena limosa fina con nódulos calcáreos, de 10 a 15m de profundidad, compacta con un valor N_{60} de 10 a 50 y una densidad relativa de 40 a 90%. El contenido de finos, en este material friccionante es de 5 a 30%

3. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS SUELOS. Informe de la exploración geotécnica y geológica (ensayos de campo y laboratorio) para la estructura del muelle y atraques (en agua)



Siguiendo la secuencia de depositación se observa una serie arcillosa de consistencia firme a dura con un valor N_{60} de 17 a 100. La serie arcillosa mantiene un IP de 20 a 60% con pasantes del tamiz 200 >60%.

El paleosuelo arcilloso mantiene su continuidad sobre formación socorro de arcillolitas y areniscas, de acuerdo a la tendencia. Ver figuras 3.10, 3.14.1 y 3.14.2

ZONA 4 (Abscisa 0+000 a 0+500).- Este tramo corresponde al sector de transición entre la zona de tierra-playa y fondo marino, esta zona presenta una morfología con una pendiente pronunciada. Como primer estrato se encuentran unas arenas limosas finas y muy finas de color gris, típicas arenas de playa, de 6m de profundidad, de compacidad muy suelta a media con un valor N_{60} de 10 a 30 y una densidad relativa de 40 a 80%.

Subyaciendo a la primera capa se encuentran arenas limosas sub-litorales muy finas de color gris verdoso, de 5 a 9m de profundidad, de compacidad media con un valor N_{60} de 10 a 30 y una densidad relativa de 60 a 85%. Intercalado entre los dos estratos anteriores se encontró un manto pequeño de arena cementada o roca de playa de 1m de espesor, muy resistente

Subyaciendo a la serie arenosa se observa una serie arcillosa de consistencia dura la misma que forma parte del paleosuelo arcilloso, producto del intemperismo previo a la subida del nivel del mar hace 15.000 años.

En esta zona se confirma la continuidad de la formación socorro de areniscas, arcillolitas y limolitas de color gris verdoso oscuro sanas con un valor $N_{60} > 50$ y una potencia de 22 m de profundidad donde concluyo la exploración. Ver figuras 3.11, 3.15.1 y 3.15.2

4. CARACTERIZACIÓN GEOLOGICA DEL SUBSUELO. Informe de la exploración geotécnica y geológica (ensayos de campo y laboratorio) para la estructura del muelle y atraques (en agua)



4.1 Metodología

La Universidad Naval realizó la exploración del subsuelo marino a lo largo del eje del muelle mediante la ejecución de 8 sondeos geomecánicos de 19.00 a 35.00m de profundidad, con pruebas SPT, veleta de campo, downhole, sísmica de refracción y ensayos específicos de laboratorio. Se realizó la perforación de los pozos PA-1 a PA-10 no habiendo logrado la perforación de los sondeos PA-7 y PA-9 al haber encontrado fondos duros de arena cementada que dificultaron la colocación de las anclas de la plataforma de perforación. Para la correlación geológica se ha tomado en cuenta a la perforación M1 de la compañía FUGRO efectuada en el año 1982, cuyo registro aporta con información utilizable en términos geomecánicos generales, aunque no muestra todos los parámetros de carácter geológico y geotécnico que se han registrado en las nuevas perforaciones.

Toda la información de las 8 perforaciones de UNINAV + la de FUGRO fue sintetizada y presentada en el Perfil Geológico – Geotécnico del Muelle (Lámina M-02), se establecieron las diferentes unidades estratigráficas, su carácter genético y sus principales características geomecánicas.

4.2 Geología Regional

Como ya se estableció en los informes de la fase II del estudio (informe en tierra) la formación geológica aflorante es la formación Socorro del Grupo Ancón consistente en arcillolitas, limolitas y areniscas, rocas suaves que desarrollan una potente cobertura de suelos residuales.

La continuidad de la formación Socorro entre la tierra y el mar está comprobada por la presencia de las mismas litologías en los sondeos geomecánicos: arcillolitas gris verdosas muy débiles, compactas en su estado sano; limolitas y areniscas finas tobáceas de color blanco a gris en estado fresco con estratificación laminada u ondulada y muy raras areniscas de grano medio de color marrón localmente micro-conglomeráticas.

Además, se efectuó en el laboratorio de Paleontología de Petroproducción el chequeo de una muestra de arcillosita del sondeo PA-8, que presentó microfósiles marinos de edad amplia Eoceno Medio, del mismo tipo que los encontrados en tierra.

4.3 Estratigrafía Local

En el caso del muelle (Lámina M-02), a más de la cobertura de paleo-suelos residuales que cubre a las rocas sumergidas de la formación Socorro, se encuentra encima una cobertura de sedimentos marinos que conforma una especie de cuña que va desde los 14m de espesor en el sondeo PA-10 de la playa hasta más de 35m en los sondeos PA-2 y PA-1 del extremo occidental del muelle de aguas profundas.

4.3.1 Cuña de Sedimentos Bajo el Fondo Marino

Se considera (aunque no se tiene una comprobación paleontológica) que la cuña total de sedimentos encontrada en las perforaciones es de edad Cuaternaria, en su mayor parte

4. CARACTERIZACIÓN GEOLOGICA DEL SUBSUELO. Informe de la exploración geotécnica y geológica (ensayos de campo y laboratorio) para la estructura del muelle y atraques (en agua)



Reciente (es decir de menos de 18.000 años) pero los estratos más profundos probablemente pertenecen a una secuencia sedimentaria ligeramente más antigua, como se indicará más adelante.

Se encuentran los siguientes estratos desde el fondo marino hacia abajo:

- A. En la parte más profunda o de mayor profundidad de agua se encuentra una capa superficial de arenas gris verdosas, limosas o arcillosas, con restos de conchas o conchas enteras. Este estrato representa la sedimentación actual sublitoral o de plataforma interna. Los espesores de este estrato varían desde pocos dm en los sondeos PA-5 y 6 hasta los 3m en el sondeo PA-1 con agua más profunda. Son sedimentos sueltos con altísima saturación de agua salina, de muy baja capacidad de carga. Por su posición en la superficie del fondo marino y por su poco espesor no tendrán ninguna incidencia en la cimentación de la obra.
- B. Arenas de color marrón a gris, bien seleccionadas, limpias que se consideran has sido depositadas en ambiente de playa. Presenta un espesor de 8m en la playa actual (PA-10) aumentando hasta 22m en el extremo marino profundo del muelle (PA-1). El aumento de espesor hacia la parte más profunda del muelle no es continuo y más bien en los sondeos M1 (de Fugro), PA-8 y PA-6 se presenta un adelgazamiento con relación al espesor de la playa actual, lo cual implicaría que el sector adelgazado se encuentra en proceso de erosión sub-litoral, esto explicaría porque en el sitio de los sondeos PA-5 y PA-7 se encontraron arenas cementadas, probablemente por ser niveles más profundos que los depósitos actuales. La presencia de estos niveles duros en el fondo marino obstaculizó la realización de los sondeos que se realizaron desde una plataforma con patas diseñadas para ser hincadas en sedimentos blandos.

Estas arenas en los sondeos más cerca de la playa (PA-5 a PA-10) tienen tendencia a ser más sueltas con valores de $N_{60} < 60$, mientras que en los sondeos más profundos (PA-1 a PA-4) se presentan en general más compactas con niveles de $N_{60} > 60$ hasta con rechazo ($N_{60} > 100$). Los niveles de arenas con cementación calcárea que se encuentran a nivel del fondo marino actual por efecto de la erosión, son verdaderas rocas desde el punto de vista geomecánico y son del tipo “areniscas calcáreas” que por tener su génesis en arenas de playa reciben el nombre de “rocas de playa” (del inglés *beach rock*); estas rocas presentan siempre niveles de rechazo y se las encontró también en los sondeos PA-3, PA-4 y PA-8; en el pozo M1 de Fugro se asimila como tal un nivel de arenas con altos valores de N_{60} .

El origen de esta capa de arenas es sin lugar a dudas por efecto de la elevación paulatina del nivel del mar que ha tenido lugar en los últimos 15.000 años por efecto del proceso global de desglaciación del llamado Cuaternario Reciente u Holoceno, de tal manera que a medida que el mar sube de nivel el depósito de playa queda sumergido; en este caso se registra una elevación del nivel del mar cercano a los 50 m. Este valor es compatible con otros registros similares encontrados en otros puntos de la línea de costa ecuatoriana (Benitez, 2008).

4. CARACTERIZACIÓN GEOLOGICA DEL SUBSUELO. Informe de la exploración geotécnica y geológica (ensayos de campo y laboratorio) para la estructura del muelle y atraques (en agua)



- C. Por debajo de la capa anterior se encuentra una capa de arenas de color gris verdoso a verde oliva, localmente muy limosa o arcillosa con una gran cantidad de restos de concha enteras o en fragmentos que se depositó en ambiente marino somero es decir en ambiente sub-litoral a plataforma interna.

El espesor de esta capa varía entre 4m y 8m con menor variación que el estrato de playa suprayacente. Aunque en el sondeo PA-8 se interpreta que este estrato se acuña con una capa de arcillas intercalada, para efectos geotécnicos consideramos que este estrato es esencialmente continuo.

Al igual que en el estrato de playa, en los sondeos con agua más profunda estos sedimentos se encuentran más compactos alcanzando niveles de rechazo ($N_{60} > 100$) en todos los sondeos entre PA-5 y PA-2.

El origen de esta capa de arenas verdosas podría corresponder a una sedimentación con nivel del mar más alto que el nivel actual, por lo que correspondería a un evento de desglaciación de mayor importancia que el evento actual y que por la falta de más datos solamente se trata de una hipótesis, que no interfiere con el propósito geotécnico del presente estudio.

- D. En la parte más profunda de los sondeos PA-1 a PA-8 (2/3 más profundos del muelle) se encuentra una capa de arcillas y limos arcillosos plomos a gris verde claro, compactas, que presentan con frecuencia niveles de grava de diámetro centimétrico. Estas arcillas y limos compactos presentan un cambio lateral en el extremo Oeste, convirtiéndose en arcillas gris verde oscuro que tienen fragmentos leñosos. La composición de estos clastos redondeados en varios niveles de estas arcillas consiste mayormente de tobas finas endurecidas y silicificadas que a veces parecen chert y su presencia significa que estos sedimentos han sido -por lo menos localmente- sometidos a retrabajamiento de tipo aluvial.

El conjunto de los pocos datos de origen geológico obtenidos del estudio visual de las muestras indicaría que estos sedimentos fueron cenizas volcánicas depositadas en ambiente terrestre costero. Esto también como una hipótesis que debería de ser comprobada en estudios estratigráficos fuera del alcance geotécnico del presente estudio.

En este estrato también se encuentran niveles de rechazo debido a la gran compacidad alcanzada por estos sedimentos de grano fino, aunque en algunos casos la alta compacidad podría estar asociada con los niveles de grava fina.

4.3.2 Formación Socorro bajo la Cuña de Sedimentos Cuaternarios

Solamente en los sondeos PA-8 y PA-10 se atravesó la *discordancia angular* que separa la cuña de sedimentos cuaternarios de la formación Socorro infrayacente.

Al igual que en los sondeos realizados en tierra, por debajo de la discordancia o superficie de erosión se encuentran en primer lugar arcillas compactas de color marrón o café que

4. CARACTERIZACIÓN GEOLOGICA DEL SUBSUELO. Informe de la exploración geotécnica y geológica (ensayos de campo y laboratorio) para la estructura del muelle y atraques (en agua)



representan el paleo suelo que se debió formar en algún período de tiempo muy largo de erosión sub-aérea antes de que el nivel del mar alcanzara las alturas actuales.

Por debajo de la capa de suelos antiguos bastante compactos se encontraron las rocas típicas de la formación Socorro, como son las arcillolitas gris verdosas, los limos y areniscas grises tobáceas con laminación paralela u ondulada (*ripples*) depositados en ambiente marino, cuya composición de microfósiles permitió confirmar que se trata de la misma formación que se encontró en las perforaciones efectuadas en tierra.

Para efectos de predicción en el perfil geológico del muelle se ha extrapolado la discordancia en dirección del mar asumiendo la continuidad de la formación por debajo de la cuña de sedimentos cuaternarios, lo cual es concordante también con el espesor mayor de la cuña encontrada en los sondeos PA-1 a PA-6.

5. CONCLUSIONES. Informe de la exploración geotécnica y geológica (ensayos de campo y laboratorio) para la estructura del muelle y atraques (en agua)



5.1 Conclusiones

Se ha descrito en este informe de manera detalla los procedimientos y tipos de ensayos de campo, perforaciones y ensayos de laboratorio realizados para los trabajos en agua, cumpliendo con los términos de referencia contractuales, considerando este informe como preliminar.

6. REFERENCIAS. Informe de la exploración geotécnica y geológica (ensayos de campo y laboratorio) para la estructura del muelle y atraques (en agua)



Carter, M, 1993. Soil Sampling and Methods of Analysis, CRC Press, Canadian Society of Soil Science, pp 823

Duncan, J (2004) “ Friction Angles for Sand, Gravel and Rockfill”, Notes of a lecture presented at the Kenneth L. Lee Memorial Seminar, Long Beach, California

Jamiolkowski, M, Baldi, G, Bellotti, R , Chionna, V and Pasqualini, E (1985) “Penetration Resistance and Liquefaction of Sands”, Proceedings 11th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, vol 4, San Francisco, pp 1891-1896.

Look B.G (2004), “Effect of Variability and Disturbance in the measurement of Undrained Shear Strength” 9th Australia New Zealand Conference in Geomechanics, Auckland, New Zealand, Vol. 1, pp 302-308.

O'Neill, M and Reese, L (1999) “ Drilled Shafts: Construction Procedures and Design Methods”, Report No FHWA-IF-99-025, prepared for the U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Office of Implementation, McLean, VA, in cooperation with ADSC: The International Association of Foundation Drilling

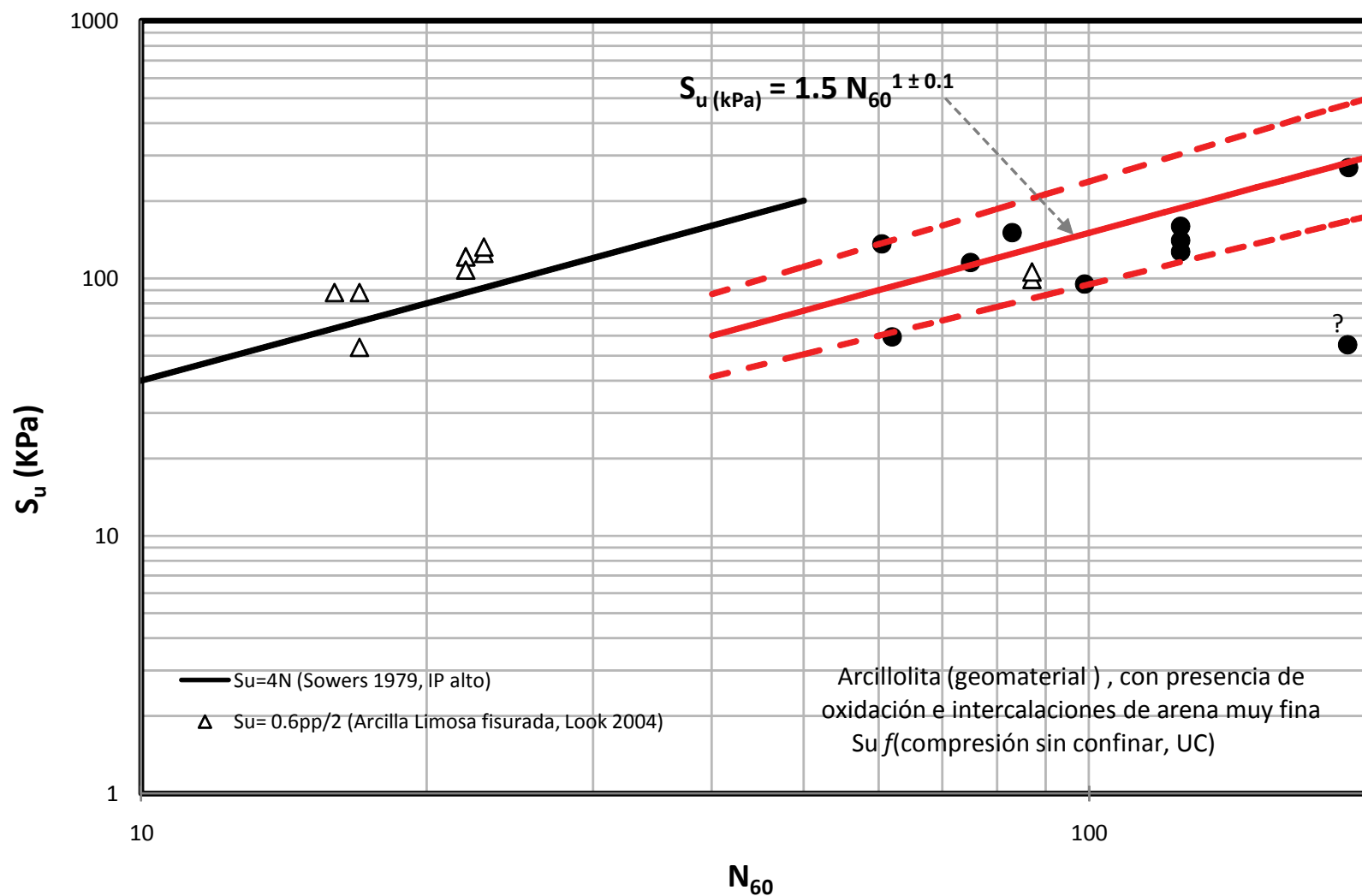
Pestana (2005), “ CE 270A Advanced Soil Mechanics, graduate course, University of California, Berkeley

Seed, H. B., Woodward, R. J., Jr., and Lundgren, R. (1962b). Prediction of Swelling potential for compacted clays. J. Soil Mech. Found. Div., Am. Soc. Civil Eng. 88 (SM3): 53-87.

Seed, R.B (2006) “ CE 270B- Advanced Foundation Engineering” class notes, University of California, Berkeley, USA

Tamez Gonzales Enrique (2001), Ingeniería de Cimentaciones, Conceptos Básicos de la Práctica.

Vera-Grunauer, X, Kayen, R, Tandazo Ortega, E, Ramírez Calderón, J y Vera-Grunauer, J.G., 2006. Investigación y estudio del comportamiento dinámico del subsuelo y microzonificación sísmica de la ciudad de Guayaquil, Estudio Geotécnico, FASE II: Auspiciado por la M.I. Municipalidad de Guayaquil, Ecuador.



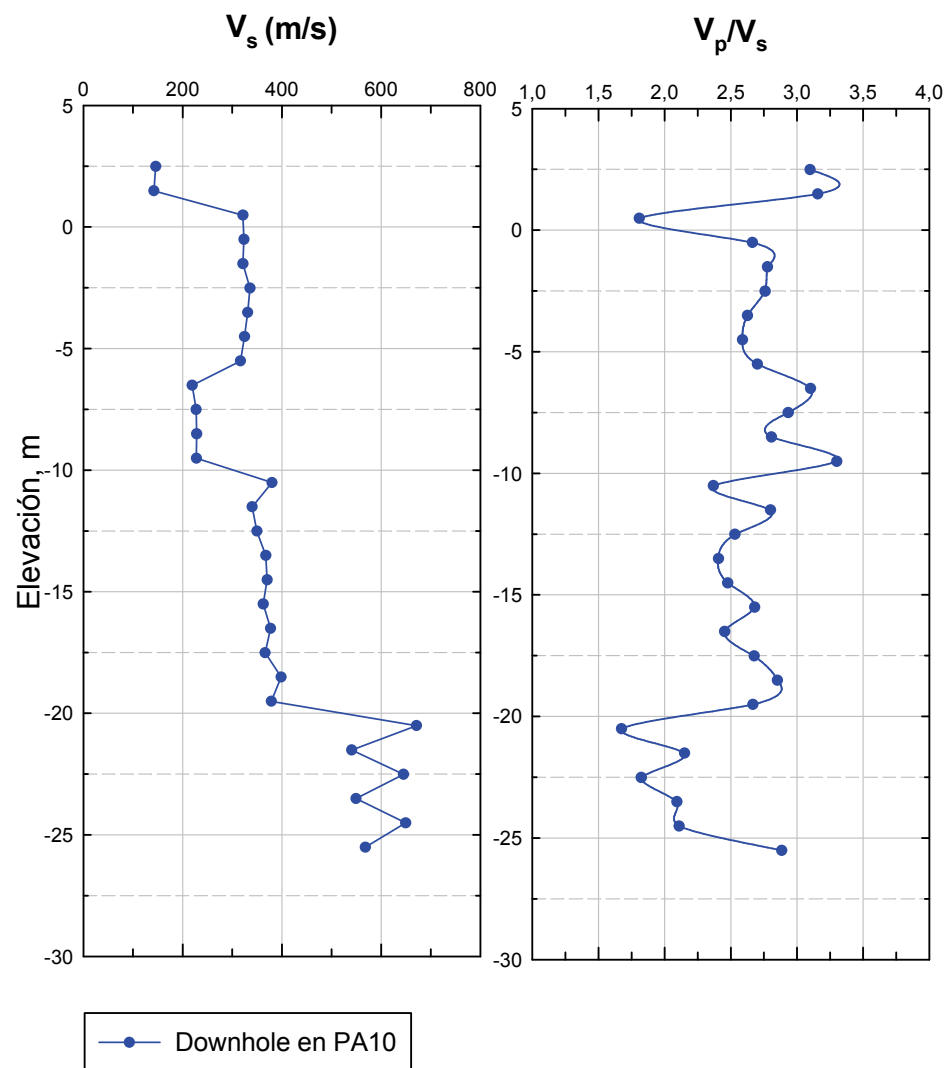
UNIVERSIDAD NAVAL
 "COMANDANTE RAFAEL MORAN VALVERDE"

CLIENTE: FLOPEC

ESTUDIOS GEOLOGICOS, GEOTECNICOS Y DE RIESGO SISMICO PARA
 EL PROYECTO: "TERMINAL MARITIMO Y PLANTA DE ALMACENAMIENTO
 DE GLP EN MONTE VERDE PROVINCIA DE SANTA ELENA" FASE III

SECCION:

FIGURA: **3.1**



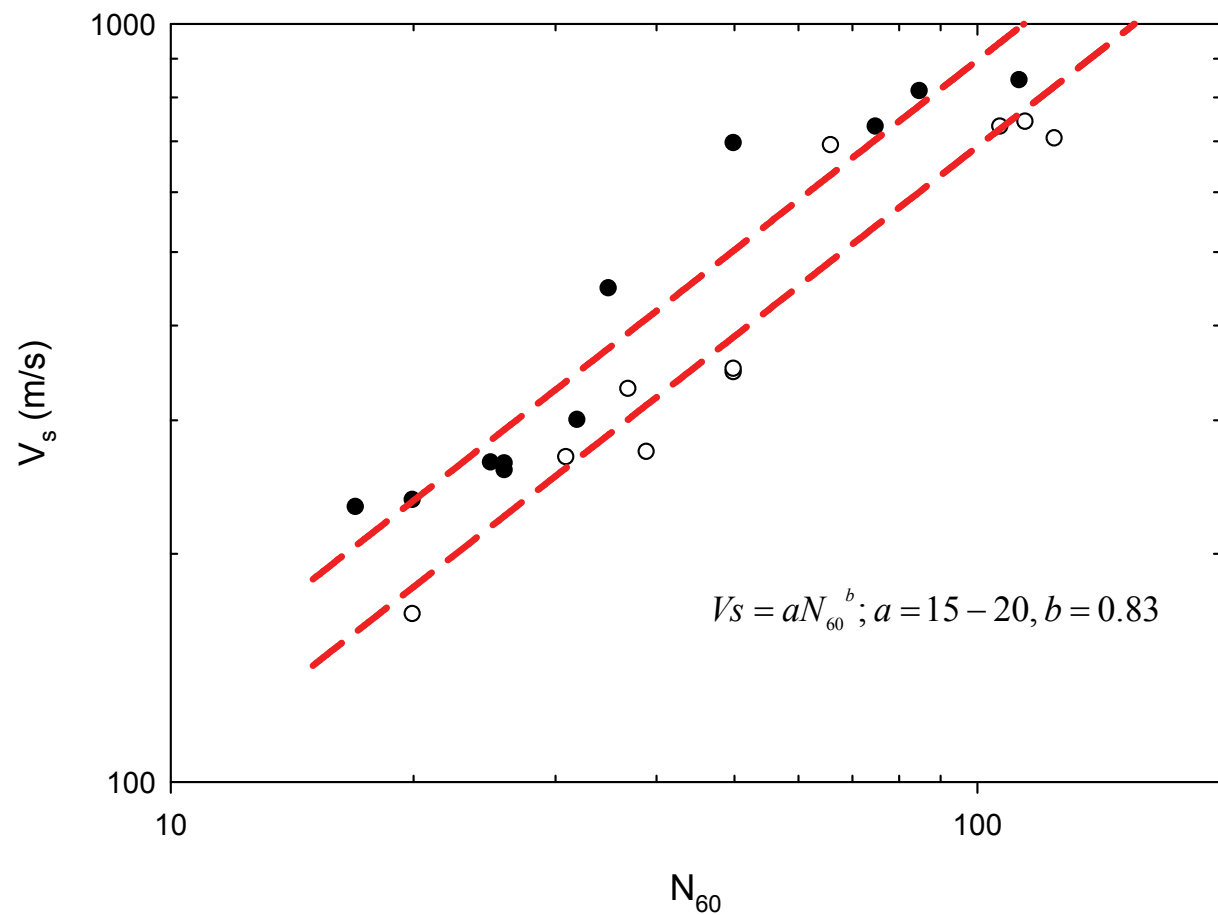
UNIVERSIDAD NAVAL
"COMANDANTE RAFAEL MORAN VALVERDE"

CLIENTE: FLOPEC

ESTUDIOS GEOLOGICOS, GEOTECNICOS Y DE RIESGO SISMICO PARA
EL PROYECTO: "TERMINAL MARITIMO Y PLANTA DE ALMACENAMIENTO
DE GLP EN MONTE VERDE PROVINCIA DE SANTA ELENA" FASE III

SECCION:

FIGURA: **3.2**



- Downhole, PT3 (Arcillolitas meteorizadas)
- Downhole, PT14 (Limolitas y Areniscas extremadamente debil a muy debil)
- Tendencia



UNIVERSIDAD NAVAL
"COMANDANTE RAFAEL MORAN VALVERDE"

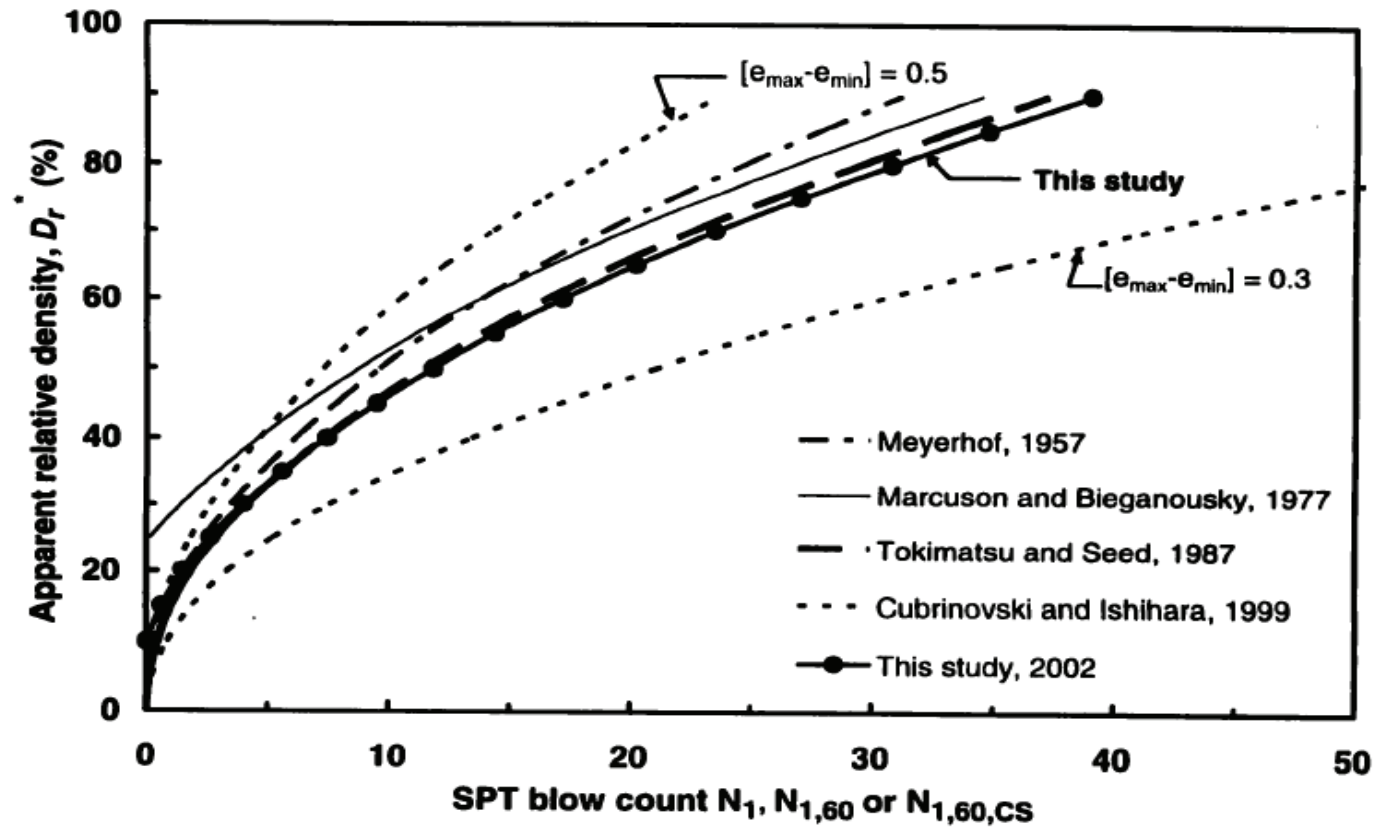
CLIENTE: FLOPEC

ESTUDIOS GEOLOGICOS, GEOTECNICOS Y DE RIESGO SISMICO PARA
EL PROYECTO: "TERMINAL MARITIMO Y PLANTA DE ALMACENAMIENTO
DE GLP EN MONTE VERDE PROVINCIA DE SANTA ELENA" FASE III

SECCION:

FIGURA: **3.3**

**Correlaciones existentes y propuestas por Wu, J (2003) para determinar
la densidad relativa aparente D_r^* con los valores de N_{spt}**



Comdte. Rafael Morán Valverde

UNIVERSIDAD NAVAL
"COMANDANTE RAFAEL MORAN VALVERDE"

CLIENTE: FLOPEC

ESTUDIOS GEOLOGICOS, GEOTECNICOS Y DE RIESGO SISMICO PARA
EL PROYECTO: "TERMINAL MARITIMO Y PLANTA DE ALMACENAMIENTO
DE GLP EN MONTE VERDE PROVINCIA DE SANTA ELENA"

FASE III

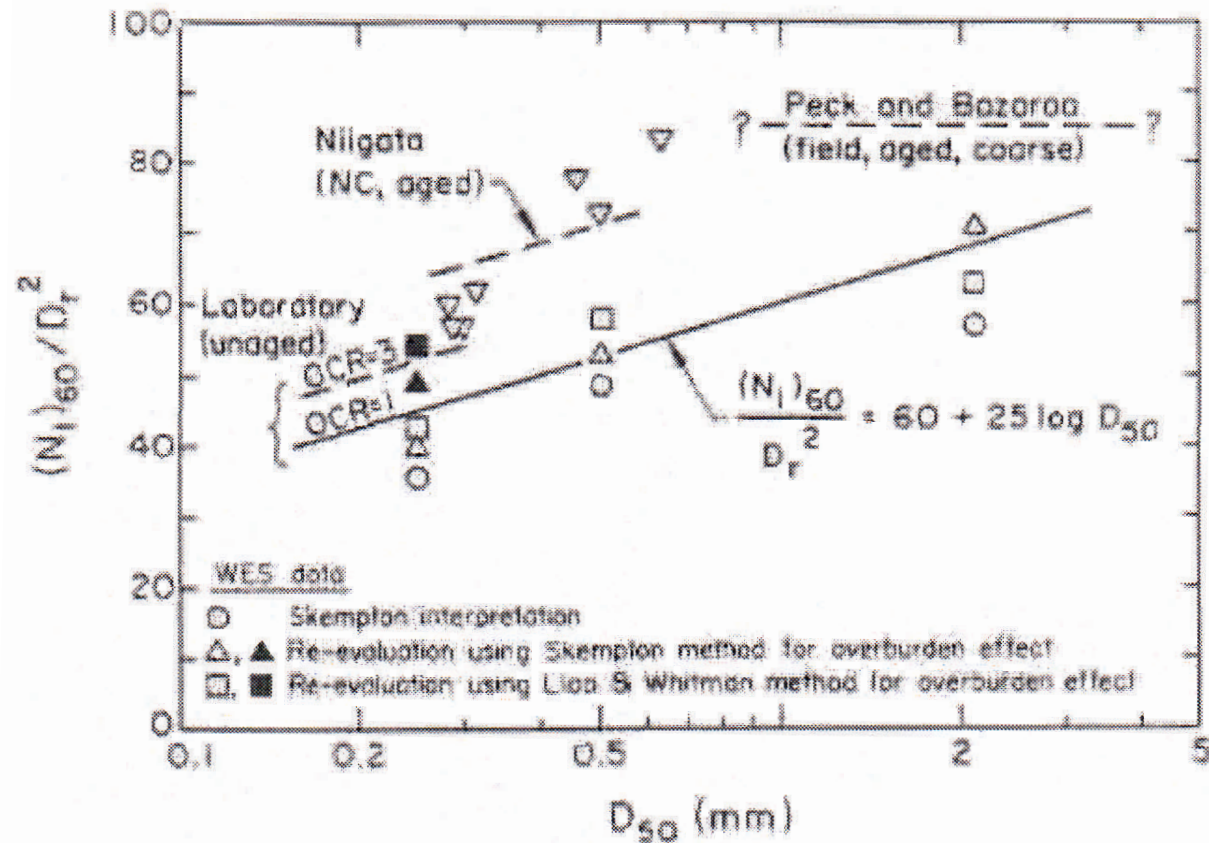
SECCION:

TABLA 3:

3.4

CORRELACION ENTRE $(N_1)_{60}/D_r^2$ vs D_{50}

EPRI (1990)



UNIVERSIDAD NAVAL
"COMANDANTE RAFAEL MORAN VALVERDE"

CLIENTE: FLOPEC

ESTUDIOS GEOLOGICOS, GEOTECNICOS Y DE RIESGO SISMICO PARA
EL PROYECTO: "TERMINAL MARITIMO Y PLANTA DE ALMACENAMIENTO
DE GLP EN MONTE VERDE PROVINCIA DE SANTA ELENA"

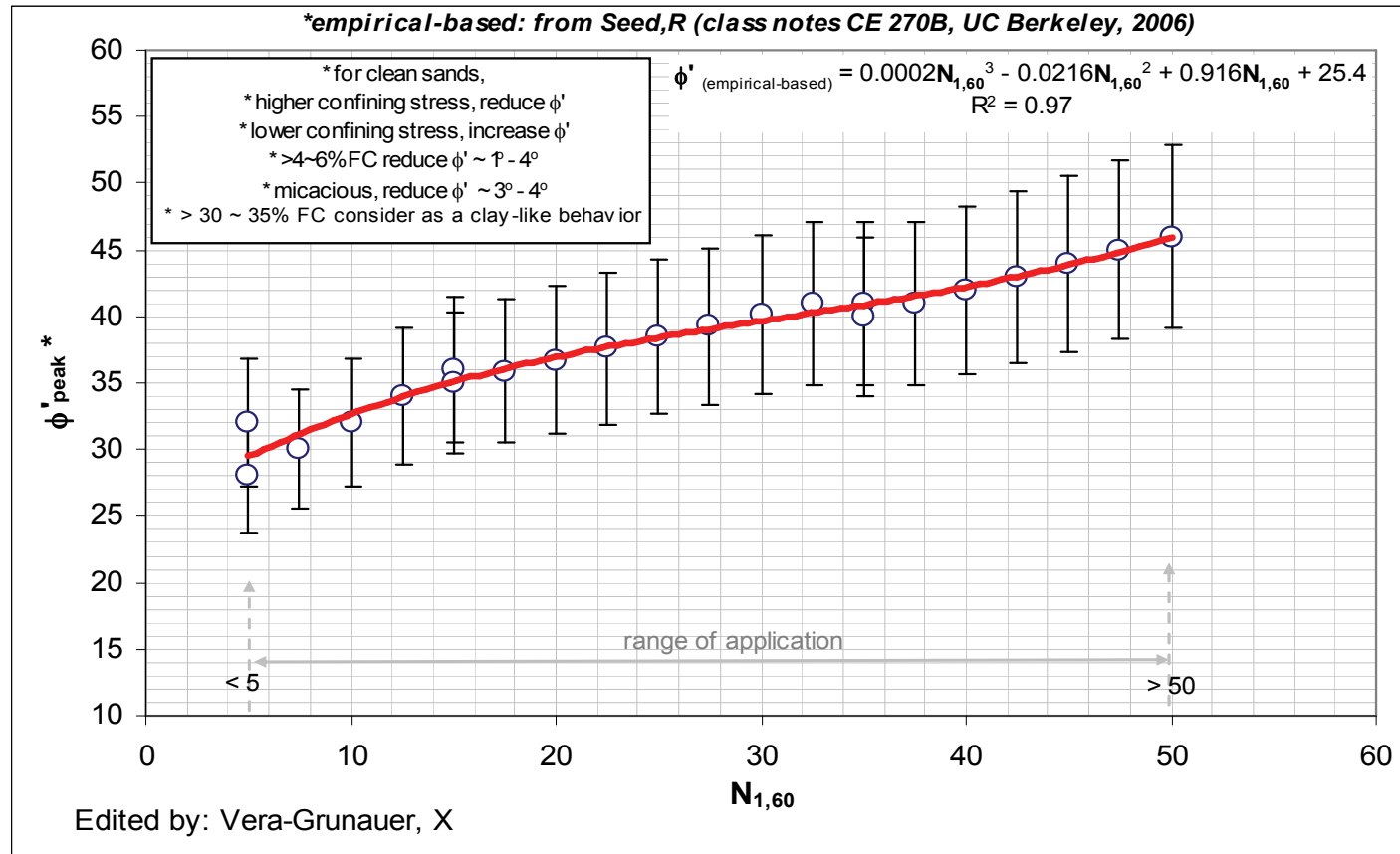
FASE III

SECCION:

TABLA: 4

3.5

Grafica N1,60- ϕ' de correlaciones empíricas (class notes CE 270B, UC Berkeley, 2006).



UNIVERSIDAD NAVAL
 "COMANDANTE RAFAEL MORAN VALVERDE"

CLIENTE: FLOPEC

ESTUDIOS GEOLOGICOS, GEOTECNICOS Y DE RIESGO SISMICO PARA
 EL PROYECTO: "TERMINAL MARITIMO Y PLANTA DE ALMACENAMIENTO
 DE GLP EN MONTE VERDE PROVINCIA DE SANTA ELENA"

FASE III

SECCION:

TABLA: 4

3.6