

**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TEMA:**

**DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE DE  
ARCILLAS DURAS Y LUTITAS EN LA ZONA COSTERA DE  
BALLENITA EN BASE A PRUEBAS DE CARGA DINÁMICA**

**AUTOR:**

**Loayza Romero, Santiago Edmundo**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de  
INGENIERO CIVIL**

**TUTOR:**

**Ing. Caicedo Aspiazu, Adolfo Carlos, M.Sc.**

**Guayaquil, Ecuador**

**13 de Septiembre del 2018**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE INGENIERIA  
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

## CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por **Loayza Romero, Santiago Edmundo** como requerimiento para la obtención del título de Ingeniero civil.

### TUTOR

f. \_\_\_\_\_  
Ing. Caicedo Aspiazu, Adolfo Carlos M.Sc.

### DIRECTORA DE LA CARRERA

f. \_\_\_\_\_  
Ing. Stefany Esther Alcívar Bastidas, MGs.

Guayaquil, a los 13 días del mes de Septiembre del año 2018



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE INGENIERIA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

## DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Loayza Romero, Santiago Edmundo**

### DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, **Determinación de la capacidad portante de arcillas duras y lutitas en la zona costera de Ballenita en base a pruebas de carga dinámica**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil** ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

**Guayaquil, a los 13 días del mes de Septiembre del año 2018**

**EL AUTOR**

f. \_\_\_\_\_  
**Loayza Romero, Santiago Edmundo**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE INGENIERIA  
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

## AUTORIZACIÓN

Yo, **Loayza Romero, Santiago Edmundo**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Determinación de la capacidad portante de arcillas duras y lutitas en la zona costera de Ballenita en base a pruebas de carga dinámica**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

**Guayaquil, a los 13 días del mes de Septiembre del año 2018**

**EL AUTOR:**

f. \_\_\_\_\_  
**Loayza Romero, Santiago Edmundo**

## Reporte de URKUND



### Urkund Analysis Result

**Analysed Document:** TRABAJO DE TITULO SANTIAGO LOAYZA.pdf (D41039740)  
**Submitted:** 8/30/2018 2:25:00 AM  
**Submitted By:** claglas@hotmail.com  
**Significance:** 4 %

#### Sources included in the report:

IVONNE\_ MOREIRA\_ TRABAJO\_ TITULACION\_ ESTRUCTURAS\_ OCTUBRE\_ 2017 LISTO.docx (D31505526)  
<http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/1200/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-43.pdf>  
<http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/10138/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-231.pdf>  
<http://fernandeztadeo.com/WordPress/?p=3436>  
<http://bdigital.unal.edu.co/6840/1/43987506.2011.pdf>  
<https://library.ctr.utexas.edu/digitized/texasarchive/phase1/176-3-chr.pdf>  
[http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_2301\\_C.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2301_C.pdf)  
[http://jeoprobe.com/servicio\\_pilotes\\_pda.html](http://jeoprobe.com/servicio_pilotes_pda.html)

#### Instances where selected sources appear:

13

## AGRADECIMIENTO

En primer lugar a Dios por darme la sabiduría y las fuerzas para poder culminar mis estudios. A mis padres y a mis hermanos por el apoyo incondicional a lo largo de la carrera universitaria. A mi enamorada por ayudarme a cumplir esta meta. Al Tutor Ing. Adolfo Caicedo por sus enseñanzas. A mi compañero y amigo Bryan Sánchez por estos años de amistad y apoyo brindado. Al resto de personas que de una u otra forma estuvieron involucradas en el proyecto.

## DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación va dedicado a mis padres Milton y Lulú por las buenas enseñanzas que me han brindado a lo largo de mi vida y por ser el motor fundamental para la culminación de este logro.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE INGENIERIA  
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Caicedo Aspiazu, Adolfo Carlos, M.Sc.**  
TUTOR

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Stefany Esther Alcívar Bastidas, M.Sc.**  
DIRECTOR DE CARRERA

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Oswaldo Francisco Ripalda Nuques, M.Sc.**  
DOCENTE DE LA CARRERA

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Roberto Xavier Luque Nuques, Ph.D.**  
OPONENTE



# ÍNDICE GENERAL

## Contenido

1	Capítulo 1 .....	2
1.1	Introducción .....	2
1.2	Objetivos.....	3
1.2.1	Objetivo general.....	3
1.2.2	Objetivos específicos.....	3
1.3	Alcance .....	3
1.4	Antecedentes.....	4
1.5	Metodología .....	4
2	Capítulo 2 .....	5
2.1	Datos generales del proyecto .....	5
2.2	Topografía del sector.....	5
2.3	Perforación realizada.....	6
2.4	Resumen de diseño de los pilotes .....	6
2.5	Ensayos geofísicos.....	7
2.6	Resumen de pruebas de carga dinámica .....	9
2.6.1	Equipos .....	9
2.7	Teorías para la determinación de capacidad de carga en pilotes barrenados .....	11
2.7.1	Pilotes de carga de punta.....	11
2.7.2	Pilotes de fricción .....	12
2.8	Pilotes con perforación previa (barrenados).....	13
2.9	Funciones de los pilotes .....	14
2.9.1	Pilotes de extracción .....	14
2.9.2	Pilotes perforados .....	14
2.10	Metodología de pilotes barrenados .....	14
2.10.1	Pilotes de extracción con camisa perdida.....	14
2.10.2	Hormigonado .....	15

2.10.3	Materiales necesarios para la construcción .....	15
2.10.4	Proceso constructivo.....	15
2.11	Diseño Geomecánico de pilote.....	16
2.12	Dimensiones de los pilotes barrenados del mirador .....	16
2.13	Métodos tradicionales para el cálculo de la capacidad de carga en pilotes barrenados.....	16
2.13.1	Método (Aurora & Reese, 1976) .....	16
2.13.2	Método $\beta$ .....	18
2.13.3	Método para Geomateriales “IGM”. .....	19
2.14	Teoría de Capacidad de Carga mediante Pruebas de Carga.....	21
2.14.1	Pruebas de carga Dinámicas.....	21
2.14.2	Instrumentación y equipo que se utiliza para las pruebas dinámicas.....	21
2.14.3	Analizador de Hincado PDA (Pile Driving Analyzer). .....	22
2.14.4	CAPWAP. ....	23
2.14.5	Limitaciones.....	25
2.15	Caracterización geotécnica de sitio .....	26
2.15.1	Perforación de suelo. ....	26
2.15.2	Ensayos SPT. ....	28
2.15.3	Propiedades del ensayo de penetración estándar (SPT).....	28
2.16	Fuerzas actuantes en los pilotes .....	32
3	Capítulo 3 .....	33
3.1	Cálculo de Capacidad de Carga por métodos tradicionales .....	33
3.2	Resultados de las pruebas de carga dinámica .....	34
3.2.1	Análisis de resultados PDA. ....	34
3.2.2	Factores de seguridad para fuste y punta. ....	35
3.3	Cálculo y comparación.....	36
3.3.1	Curvas de capacidad de carga en zona 3 - PILOTES 28-26.....	36
3.3.2	Curvas de capacidad de carga en zona 2 - PILOTE 18. ....	40
3.3.3	Cálculo y comparación de métodos aplicado el factor de seguridad.....	41

4	Capítulo 4 .....	50
4.1	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	50
4.2	BIBLIOGRAFÍA.....	53
5	Anexos.....	56

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Diámetros y Longitudes de pilotes barrenados separados por zonas .....	16
Tabla 2. Coordenadas WGS 84 de perforación .....	27
Tabla 3. Clasificación SUCS de cada estrato con los parámetros respectivos .....	29
Tabla 4. Fuerzas actuantes en los pilotes según el modelo estructural provisto divididos por zonas.....	32
Tabla 5. Resultados de capacidades mediante el cálculos de métodos tradicionales para zona 3.....	33
Tabla 6. Resultados de capacidades mediante el cálculos de métodos tradicionales para zona 2.....	34
Tabla 7. Resumen de resultados de pruebas de carga dinámica en pilotes barrenados para zona 3 y 2 .....	34
Tabla 8. Resumen de los factores de seguridad para el diseño ASD para pilotes barrenados .....	35
Tabla 9. Resumen de resultados de capacidades por punta y fuste de PDA y métodos tradicionales .....	36
Tabla 10. Cálculo de capacidad por punta y fuste aplicados los factores de seguridad .....	42
Tabla 11. Resumen de resultados de capacidad total para cada uno de los métodos aplicados para un factor de seguridad de PDA distinto de 2.2.....	43
Tabla 12. Cálculo de capacidad por punta y fuste aplicados los factores de seguridad .....	46
Tabla 13. Resumen de resultados de capacidad total para cada uno de los métodos aplicados para un factor de seguridad de PDA distinto.....	46
Tabla 14. Resumen de capacidades últimas para cada zona aplicados los factores de seguridad correspondientes .....	49
Tabla 15. Retrocalculo de resistencia al corte según los resultados de punta de PDA .....	51
Tabla 16. Rangos de resistencia al corte según el tipo de suelo .....	51

## TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Implantación del proyecto.....	5
Ilustración 2. Corte e Idealización del perfil geotécnico, a partir de la perforación (P-1).....	6
Ilustración 3. Distribución de pilotes en tres zonas del proyecto.....	7
Ilustración 4. Perfil de Velocidad de onda de corte .....	8
Ilustración 5. Clasificación de los perfiles de suelo .....	9
Ilustración 6. Martillo de caída libre para prueba PDA de proyecto .....	10
Ilustración 7. Colocación de los sensores en el pilote barrenado para realizar ensayo .....	10
Ilustración 8. Pilotes de carga de punta en lecho rocoso.....	11
Ilustración 9. Pilotes de carga de punta en estratos duro .....	12
Ilustración 10. Pilotes en estratos blandos.....	13
Ilustración 11. Perforación de subsuelo para la construcción de pilote barrenado mediante el método de camisa.....	15
Ilustración 12. Factor de resistencia de la base para roca.....	20
Ilustración 13. Deformímetro y acelerómetro instalados en la estructura cimentada en mirador .....	22
Ilustración 14. Analizador de Hincado PDA (Pile Driving Analyzer) .....	23
Ilustración 15. Procedimiento del CAPWAP .....	24
Ilustración 16. Análisis CAPWAP. Mediciones de fuerza y velocidad, distribución por fuste del proyecto mirador en Ballenita. Tramo central, zona 3 Pilote 28.....	25
Ilustración 17. Relaciones recomendadas entre la capacidad probada del pilote y el sistema de reducción de peso. Para alturas de caída $0.5m < H < 2.5m$ .....	26
Ilustración 18. Sitio donde fue realizada la perforación según coordenadas	27
Ilustración 19. Factores de corrección para valores de SPT N .....	31
Ilustración 20. Curva de capacidad de PDA y métodos tradicionales zona 3 .....	37
Ilustración 21. Análisis CAPWAP, para Pilote 28 de la zona central 3 del mirador.....	38

Ilustración 22. Análisis CAPWAP, para Pilote 26 de la zona central 3 del mirador.....	39
Ilustración 23. Curva de capacidad de PDA y métodos tradicionales zona 2 .....	40
Ilustración 24. Análisis CAPWAP, para Pilote 18 de la zona 2 del mirador	41
Ilustración 25. Curvas de transferencia de cargas de PDA y métodos tradicionales para la zona 3, aplicados los factores de seguridad .....	44
Ilustración 26. Curvas de transferencia de cargas de PDA y métodos tradicionales para zona 2 , aplicados los factores de seguridad.....	45
Ilustración 27. Curvas de transferencia de cargas de PDA y métodos tradicionales para la zona 3, aplicados los factores de seguridad .....	47
Ilustración 28. Curvas de transferencia de cargas de PDA y métodos tradicionales para zona 2, aplicados los factores de seguridad.....	48

## RESUMEN

En Ecuador son muy utilizados los pilotes (con perforación previa) barrenados para cimentaciones profundas para todo tipo de estructuras ya sea en puentes o edificios, lo cual son estructuras de gran importancia que deben de soportar las cargas satisfactoriamente. Para esto se ha considerado adecuado el uso de las pruebas “Pile Dynamic Analysis” (PDA) con el correspondiente análisis “Case Pile Wave Analysis Program” (CAPWAP), siendo estas cada vez más utilizadas en nuestro país. Esta prueba es la manera más adecuada en campo de evaluar la capacidad última del pilote y la integridad del mismo. En el siguiente trabajo de titulación se ha utilizado los datos y diseños del proyecto del mirador del malecón de Ballenita que se encuentra ubicado en la provincia de Santa Elena, en el que se determinó la alternativa de pilotes barrenados. El estudio de suelos a los 10 metros de profundidad muestra un material con características de una arcilla dura o una lutita descompuesta, por lo que se estableció conveniente realizar pruebas de carga dinámica en tres pilotes, para comprobar que la capacidad de carga sea mayor que la demanda de la estructura (mirador). Posteriormente se realizaron cálculos de capacidad última mediante el método de Aurora y Reese (1976) y los métodos drenado y no drenado del manual (FHWA, 2010), con la finalidad de comparar cuál de estos métodos simula las condiciones de las pruebas PDA, teniendo en cuenta que la literatura para el cálculo de este tipo de material es limitada.

**Palabras Claves:** Pilotes Barrenados, Capacidad axial, SPT, PDA, CAPWAP, Factor de Seguridad.

## ABSTRACT

In Ecuador, drilled shafts are used for deep foundations for all types of structures either in bridges or buildings, which are very important structures that must support loads suitably. For this, the use of "Pile Dynamic Analysis" (PDA) tests with the corresponding "Case Pile Wave Analysis Program" analysis (CAPWAP) has been implemented, being increasingly used in our country. This test is the most appropriate way in the field to evaluate the ultimate capacity of the pile and its integrity. In the following titling work, the data of the project under construction of the Ballenita seawall viewpoint, located in the province of Santa Elena, was used, which was implemented using drilled piles. The study of soils at 10 meters depth shows a material that has the characteristics of a hard clay or a decomposed shale, so it was convenient to do dynamic load tests on three piles to verify that the load capacity of the pile is greater than the demand of the viewpoint. Subsequently, last capacity calculations were performed using the Aurora and Reese method (1976) and the drained and untrained methods of the (FHWA, 2010) manual, in order to compare which of these methods simulates the conditions of the PDA tests, taking into account that The literature for the calculation of this type of material is limited.

**Keywords:** Drilled Shafts, Axially capacity, SPT, PDA, CAPWAP, Factor of Safety.



# 1 Capítulo 1

## 1.1 Introducción

El análisis de la alternativa de cimentación es el primer paso para la construcción de obras de infraestructura, cuya finalidad garantizar la estabilidad. Las cimentaciones profundas se utilizan principalmente cuando hay presencia de suelos no aptos, las cargas de la estructura deben transmitirse a estratos más profundos y de mayor resistencia.

A lo largo de los años se han considerado métodos tradicionales de cálculos para estimar la capacidad de carga en cimentaciones profundas tanto como en pilotes barrenados como en pilotes hincados. De la misma manera, existen pruebas en sitio que permiten determinar la capacidad requerida, que son las pruebas de carga dinámica (PDA).

Con el avance de la tecnología para la medición de capacidad de carga de pilotes, estas pruebas actualmente son menos costosas y más accesibles a proyectos de media envergadura. En Ecuador se ha normalizado el uso de estas pruebas, existiendo métodos experimentales en campo para comprobar si la metodología asumida fue la correcta y con el fin de conocer si la capacidad de carga cumple con la demanda de la estructura.

En este proyecto se ha utilizado el diseño del mirador en el nuevo “Malecón de Ballenita” que está ubicado en la provincia de Santa Elena. Debido a la caracterización del material y a la petición del contratista, se analizó la alternativa de cimentación profunda mediante la utilización de pilotes barrenados, ya que a los diez metros se encontró una roca meteorizada que presenta las características de una lutita (shale), por lo que se vio conveniente hacer pruebas de carga dinámica en tres pilotes para comprobar que la capacidad de carga del pilote sea mayor que la demanda del mirador.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general.**

Utilizar los resultados de pruebas de carga dinámica realizadas en pilotes barrenados en la zona costera de Ballenita, para determinar cuál es la capacidad portante de las arcillas duras y/o lutitas (shale).

### **1.2.2 Objetivos específicos.**

- Determinar la capacidad de los pilotes barrenados utilizando el método de Aurora y Reese.
- Determinar la capacidad de carga última del pilote utilizando el método IGM propuesto por FHWA para geomateriales.
- Determinar la capacidad de carga de pilotes barrenados con las pruebas dinámicas PDA.
- Analizar los resultados de las pruebas de carga en los pilotes.
- Comparar los resultados de los PDA con métodos tradicionales.

## **1.3 Alcance**

Al realizar una recopilación bibliográfica, podemos notar que existe poca literatura referente al comportamiento de pilotes barrenados en arcillas duras y/o lutitas (shale). Estudios a gran escala mediante el método estático establecidos por Aurora & Reese, datan de 1976 y O'Neil & Reese, datan de 1999. Con el avance de la tecnología para la medición de capacidad de pilotes, las pruebas se han vuelto menos costosas y más accesibles a grandes proyectos. Mediante esta investigación se busca determinar si los métodos que se utilizan actualmente aplican al diseño de arcillas duras para pilotes barrenados.

El proyecto busca comparar los resultados de las pruebas PDA con los métodos actuales de cálculo de capacidad de carga en pilotes barrenados.

## **1.4 Antecedentes**

Para el desarrollo del proyecto de titulación se realizó en base a los resultados de las pruebas facilitados por el tutor Ingeniero Adolfo Caicedo. El proyecto Malecón Ballenita en la provincia de Santa Elena, el contratista, Consorcio Ballenita, ha solicitado el cambio de la cimentación del mirador proyectado. El diseño original contempla el uso de pilotes hincados de acero; el contratista ha propuesto utilizar pilotes pre-barrenados de hormigón. La fiscalización le ha manifestado que no tiene inconvenientes en aceptar el cambio, previo cumplimiento de dos premisas:

- a) Que se satisfagan los requerimientos técnicos que aseguren el correcto funcionamiento de dichos pilotes.
- b) Que los cambios no signifiquen un aumento en el costo del proyecto.

En base a estos requerimientos se ha dispuesto a diseñar las dimensiones de los pilotes pre-barrenados separándolos en 3 zonas para optimizar recursos. Estos diseños se han realizado con la información recopilada hasta el momento que son: Sondeos del suelo hasta los 16 metros de profundidad, ensayos geofísicos de la velocidad de onda de corte y las reacciones obtenidas por el análisis estructural del mirador.

## **1.5 Metodología**

El trabajo de titulación se realizó en base a los conocimientos de la mecánica de suelos y la ingeniería geotécnica. Para encontrar la capacidad axial de los pilotes se utilizó la metodología de AURORA + REESE, el método para Geomateriales IGM de REESE + ONEIL y el método Beta de REESE + ONEIL sacados del (FHWA, 2010). Estos 3 métodos fueron analizados con la ayuda de una hoja de cálculo de Excel.

Esta metodología fue utilizada debido al tipo de suelo que se encontró desde los 10 metros de profundidad hasta los 16 metros que alcanzó la perforación en el sector. Este material es un tipo de arcilla de consistencia muy dura como una roca o como una lutita.

## 2 Capítulo 2

### 2.1 Datos generales del proyecto

La población de Ballenita, la cual se muestra una implantación en la ilustración 1, se encuentra localizada en la provincia de Santa Elena, constituyen un importante destino turístico de la zona y cuentan con una población aproximada de 2000 habitantes. Cuya población se dedica a la pesca artesanal, submarina y actividades relacionadas al turismo. Su clima es tropical que tiene una temperatura desde los 33°C. El proyecto se encuentra a pocos metros del mirador conocido como “La Glorieta” en la avenida Francisco Pizarro cantón Santa Elena, provincia Santa Elena.

**Ilustración 1. Implantación del proyecto**



Fuente: Google Maps

### 2.2 Topografía del sector

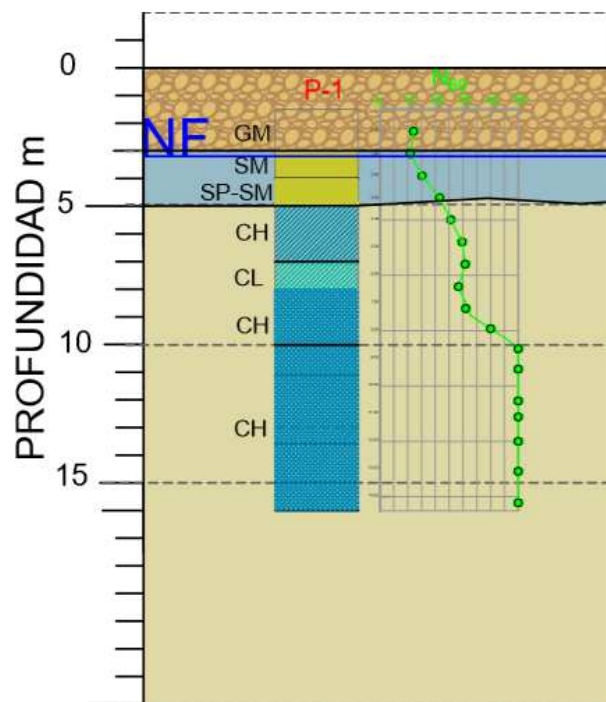
La topografía del sector se caracteriza por ser irregular debido a la presencia del mar y un acantilado, el sitio donde se cimentará el proyecto ha sido

sometido a un relleno de tres metros a base de materiales pétreos para su nivelación y ejecución de cimentación.

### 2.3 Perforación realizada

Corresponde a una máquina de rotación y lavado, cuya profundidad de análisis fue de 16 metros considerando el relleno construido de 3.0 metros de altura y con un nivel freático a los 3.20 metros. El sondeo se realizó en el sitio previamente seleccionado del área de cimentación del mirador, como se muestra en la ilustración 2 y la información se extiende en anexos.

**Ilustración 2. Corte e Idealización del perfil geotécnico, a partir de la perforación (P-1)**



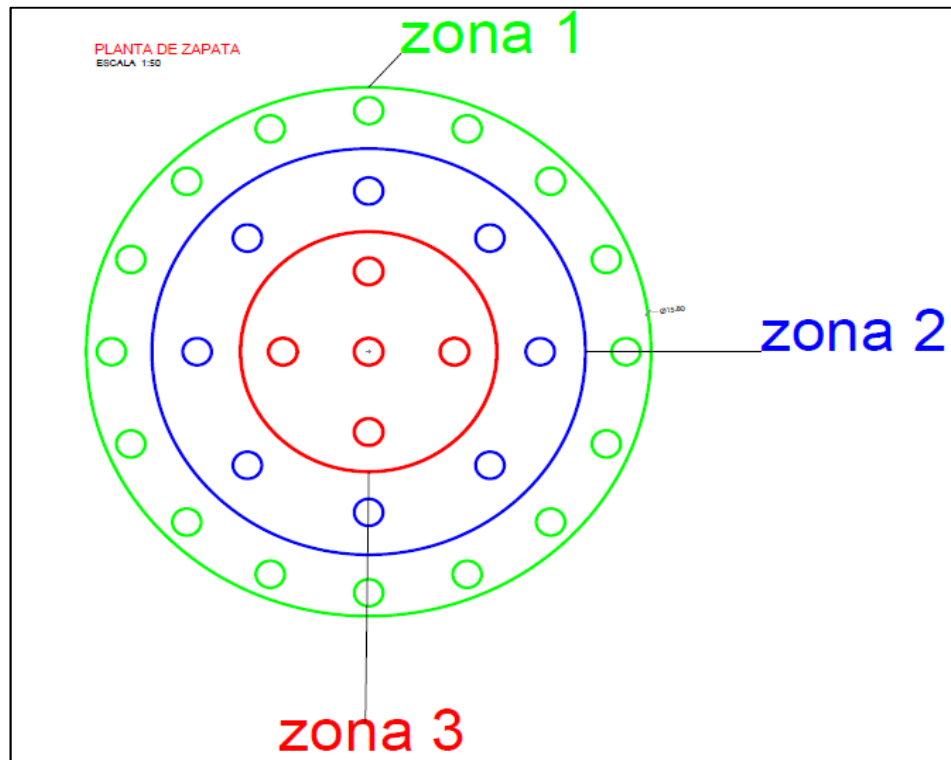
Fuente: Autor

### 2.4 Resumen de diseño de los pilotes

La cimentación para el mirador del malecón de Ballenita consta de 29 pilotes que se los ha distribuido radialmente en 3 zonas debido a las magnitudes de cargas recibidas y por facilidad constructiva. La Zona 3 es la zona central y

la más cargada, consta de 5 pilotes. La Zona 2 consta de 8 pilotes y están menos cargados que la zona 3. La zona 1 comprende 16 pilotes perimetrales y es la zona menos cargada de las 3 nombradas anteriormente. En La siguiente ilustración se puede observar la distribución de los pilotes con sus respectivas zonas.

**Ilustración 3. Distribución de pilotes en tres zonas del proyecto**



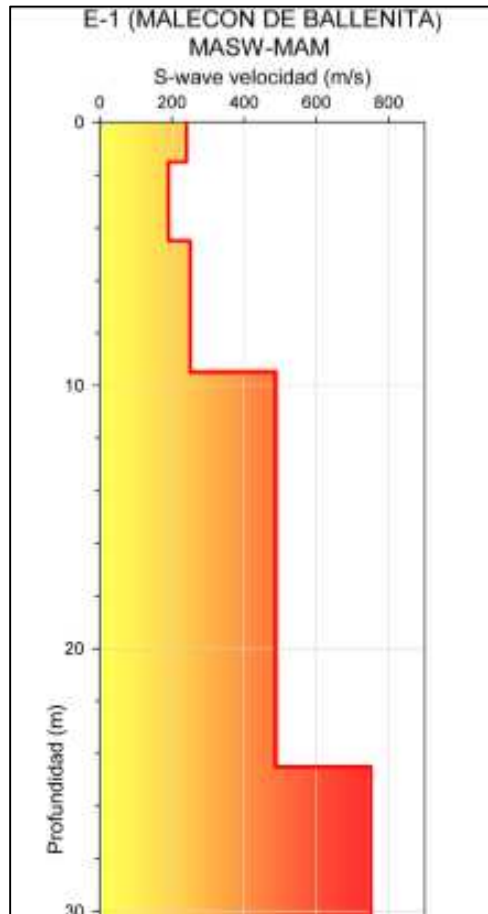
Fuente: Autor

## 2.5 Ensayos geofísicos

Se presentará un perfil de velocidad de onda de corte ( $V_s$ ) mediante el método no destructivo análisis multicanal de ondas superficiales (MASW), para el sector del mirador del malecón de Ballenita, cuyos resultados fueron facilitados por el tutor. En la ilustración 4 se puede observar que en la zona donde fue realizada el ensayo, se produce un salto a los 25 metros de profundidad en donde ya se encuentra una roca más competente de  $V_s=780$  m/s.

Como indica la ilustración 5, el perfil B tiene un rango de 1500 a 760 m/s de  $V_s$ , lo cual indica que es una roca de rigidez media y está en el rango del ensayo geofísico realizado.

**Ilustración 4. Perfil de Velocidad de onda de corte**



Fuente: Tutor

### Ilustración 5. Clasificación de los perfiles de suelo

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500$ m/s $> V_s \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760$ m/s $> V_s \geq 360$ m/s

Fuente: (PELIGRO SÍSMICO DISEÑO SISMO RESISTENTE, 2014)

## 2.6 Resumen de pruebas de carga dinámica

Las pruebas de carga dinámica fueron realizadas con el martillo DELMAG 29-11, que tiene una masa de 3 toneladas, con una altura de 2 metros sobre la cabeza del pilote de prueba, cumpliendo con la normas ASTM D4945. En la ilustración 7 se puede observar parte del proceso para realizar las pruebas dinámicas.

### 2.6.1 Equipos

- Sistema de cómputo y adquisición de datos PDA G8
- Martillo de caída libre de 3 Ton.

Para el análisis de resultados se utilizó los programas PDA-S y iCAP desarrollados por Pile Dynamics Inc.

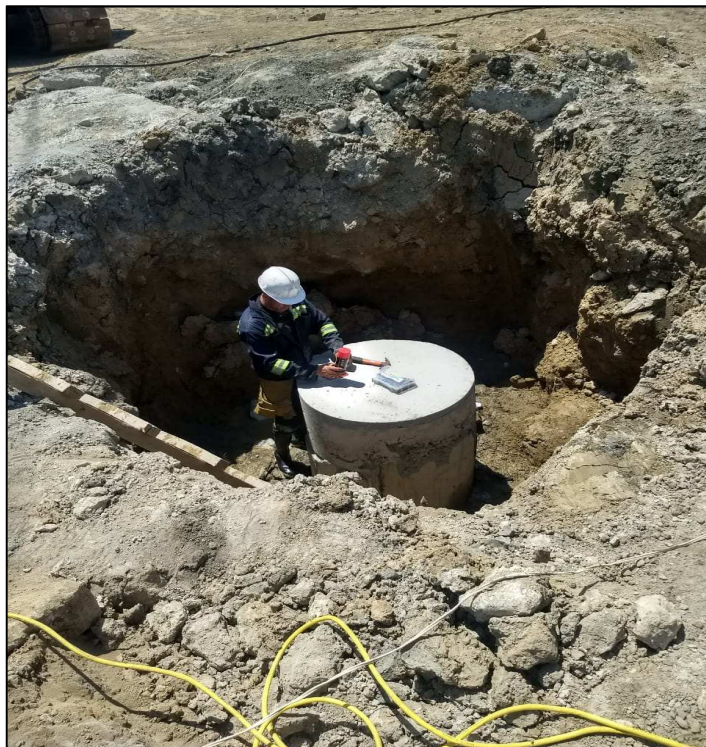


**Ilustración 6. Martillo de caída libre para prueba PDA de proyecto**



Fuente: Tutor

**Ilustración 7. Colocación de los sensores en el pilote barrenado para realizar ensayo**



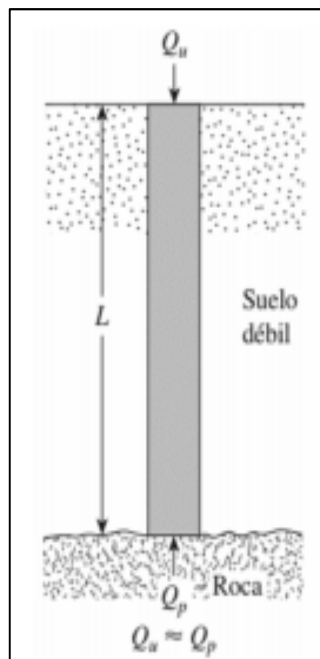
Fuente: Tutor

## 2.7 Teorías para la determinación de capacidad de carga en pilotes barrenados

### 2.7.1 Pilotes de carga de punta

Cuando los resultados de la perforación del suelo establecen la presencia de lecho de roca en un emplazamiento dentro de una profundidad razonable que no haga la construcción del pilote poco económico, la longitud del mismo se prolongara hacia los estratos mencionados. (Quinga, 2017)

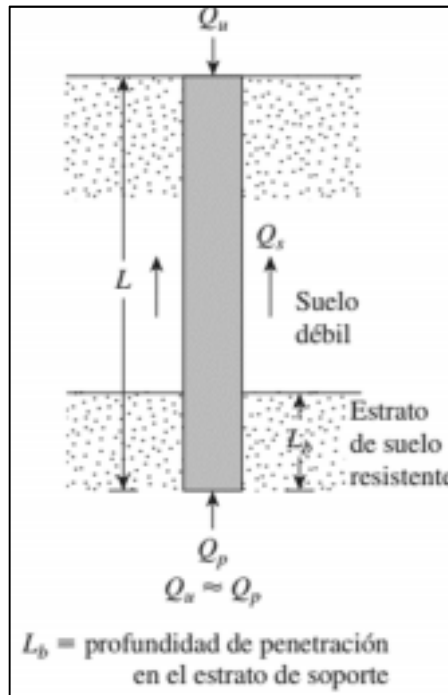
#### Ilustración 8. Pilotes de carga de punta en lecho rocoso



Fuente: (Das, 2011)

Se puede observar que la capacidad última del pilote dependen de la capacidad de carga del material en los estratos rocosos. Si los registros de perforación no se encuentran estratos rocosos y solo se encuentra material debidamente consolidado, los pilotes se pueden prolongar unos metros en el estrato mencionado. (Quinga, 2017, p. 12)

### Ilustración 9. Pilotes de carga de punta en estratos duro



Fuente: (Das, 2011)

La carga última se expresa:

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

**Donde:**

$Q_p$ = carga que soporta la punta del pilote

$Q_s$ = carga soportada por la fricción superficial

Si  $Q_s$  es muy pequeña entonces:

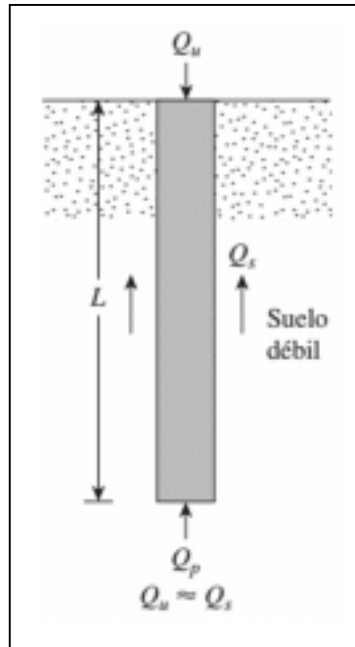
$$Q_s \approx Q_p$$

#### 2.7.2 Pilotes de fricción

Cuando no se encuentra un estrato resistente o rocoso a una profundidad considerable, los pilotes de carga de punta resultan con una longitud extensa y se vuelven costosos. Cuando se encuentran en dicho tipo de subsuelo, los pilotes se hincan o se excavan a través del material más suave hasta las profundidades especificadas, soportando la mayor parte de la

resistencia derivada de la fricción superficial. (Quinga Loya, 2017, p. 17)

### Ilustración 10. Pilotes en estratos blandos



Fuente: (Das, 2011)

Carga última se expresa de la siguiente manera:

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

Si el valor  $Q_p$  es insignificante:

$$Q_u \approx Q_s$$

### 2.8 Pilotes con perforación previa (barrenados).

Un pilote perforado es un tipo de cimentación profunda que se construye perforando primero un agujero cilíndrico y luego llenando el agujero con concreto fresco. Normalmente, el refuerzo de acero se coloca en la excavación antes de verter el concreto (Alsamman, 2016).

## **2.9 Funciones de los pilotes**

Transferir cargas a estratos inferiores más resistentes con el fin de soportar cargas.

En función de la estabilidad de las paredes hay distintos métodos de ejecución:

### **2.9.1 Pilotes de extracción**

- Barrenados sin entubación
- Con camisa perdida
- Con entubación recuperable

### **2.9.2 Pilotes perforados**

- Con lodos bentoníticos
- Barrenados con entubación
- Perforados con hélice

## **2.10 Metodología de pilotes barrenados**

### **2.10.1 Pilotes de extracción con camisa perdida**

Son un tipo de pilotes hechos por extracción de tierra apoyado en piedra o terrenos duros, en este caso en arcilla dura o lutita, pero que deben atravesar capas de terreno con agua o agresivas al hormigón por lo que se debe dejar la entubación en el terreno para proteger el hormigón. Dicha camisa llega solo hasta los estratos de suelo con poca resistencia que no se pueden sostener solos. A mayor profundidad hay material de mayor resistencia, que es lutita descompuesta la cual no necesita de camisa. La ilustración 11 muestra parte del proceso constructivo de dichos pilotes.

### 2.10.2 Hormigonado

Para pilotes pre barrenados se recomienda una resistencia a la compresión simple de 350 Kg/cm<sup>2</sup> y aditivos impermeabilizante, los agregados cumplirán con las normas ASTM C-33.

### 2.10.3 Materiales necesarios para la construcción

- Barillas de acero corrugado para el armado.
- Tubo de acero para uso de camisa cuyo espesor y diámetro depende de las especificaciones.
- Hormigón  $f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$ .

### 2.10.4 Proceso constructivo

1. Excavación del terreno, paralelamente al hincado del tubo de acero (camisa).
2. Colocación de la armadura prefabricada dentro de la camisa ya ubicada.
3. Finalmente el hormigonado.

**Ilustración 11. Perforación de subsuelo para la construcción de pilote barrenado mediante el método de camisa**



Fuente: (FHWA, 2010)

## 2.11 Diseño Geomecánico de pilote

Por las características arquitectónicas del proyecto y las condiciones del medio, se escogió la alternativa de diseño de pilotes pre barrenados de hormigón armado, que trabajarán por punta y por fuste.

## 2.12 Dimensiones de los pilotes barrenados del mirador

Como si indicó en el Capítulo 2, nivel 2.4, los pilotes barrenados fueron separados por tres zonas, cuyas dimensiones se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 1. Diámetros y Longitudes de pilotes barrenados separados por zonas**

<b>Zonas</b>	<b>Diámetro (m)</b>	<b>Profundidad (m)</b>
3	1	23
2	1	19
1	0.8	11

Fuente: Autor

## 2.13 Métodos tradicionales para el cálculo de la capacidad de carga en pilotes barrenados

### 2.13.1 Método (Aurora & Reese, 1976)

(Aurora & Reese, 1976), sugieren el siguiente procedimiento de diseño tentativo para estimar el capacidad axial de pilotes perforados en arcilla-lutita. Debido a que la literatura fue basada únicamente en este tipo de material se vio conveniente analizar esta alternativa de cálculo.

### **2.13.1.1 Resistencia por Punta.**

Se estima la resistencia de base o por punta,  $Q_p$  (toneladas), usando la siguiente ecuación:

$$Q_p = q A_p$$

**Donde:**

$q$ : Es la resistencia de base en toneladas por pie cuadrado.

$A_p$ : Es el área base en pies cuadrados.

El valor de “ $q$ ” se determinará usando la siguiente ecuación:

$$q = c_Q N_C$$

**Donde:**

$c_Q$ : Resistencia al corte, en tsf.

$N_C$ : factor de capacidad de carga empírico

Se sugieren los siguientes valores de  $N_C$ :

$N_C$ : 7 si el pilote está construido con lodos bentoníticos

$N_C$ : 8 si el pilote está construido con camisa o método seco

Según (Engeling & Reese, 1974) el cálculo para la de resistencia al corte en arcillas-lutitas en tsf:

$$c_Q = \frac{N_{SPT}}{15}$$

### **2.13.1.2 Resistencia por Fuste.**

Se estima la resistencia lateral o por fricción,  $Q_s$  (toneladas), usando la siguiente ecuación:

$$Q_s = \alpha c_Q A_s$$



**Donde:**

$\alpha$ : Es el factor de reducción de la fuerza de corte (sin dimensiones).

$c_Q$  : Es el mismo que se definió anteriormente.

As: Es el área de circunferencia, en pies cuadrados, del eje en contacto con la arcilla-lutita.

Los valores sugeridos de  $\alpha$  son los que se indica a continuación:

$\alpha$ : 0.5 si el pilote está construido por lodos o con camisa

$\alpha$ : 0.75 si el pilote está construido por el método seco

Finalmente se estima la capacidad axial total del pilote, QT (toneladas), usando la siguiente ecuación:

$$Q_t = Q_p + Q_s$$

### **2.13.2 Método $\beta$ .**

El método  $\beta$  según (O'Neil & Reese, 1999), se utiliza en materiales clasificados como GW, GP, GM, SW, SP, SM y ML. Esto incluye todas las gravas y arenas con menos del 5 por ciento de finos; gravas y arenas con finos limosos; y limos no plásticos. Dicho método se utilizó únicamente para el caculo de capacidad por fuste en arenas, este es recomendado en AASHTO (2007).

#### **2.13.2.1 Resistencia por Fuste.**

La resistencia lateral nominal de un pilote barrenado en un suelo sin cohesión se expresa de la siguiente manera:

$$q_f = K \operatorname{tg} \phi' * \sigma'_v$$

**Donde:**

K: coeficiente de estrés horizontal del suelo.

$\phi$ : ángulo de fricción.

$\sigma'_v$  : esfuerzo efectivo vertical.

$$K = (1 - \text{sen } \phi') OCR^{\text{sen } \phi'}$$

**Donde:**

OCR: 1 normalmente consolidado

$$Q_f = A_f * q_f$$

Con el número de golpes corregido, y utilizando la fórmula de Peck, Hanson y Thornton se calcula el ángulo  $\phi$  con la siguiente fórmula:

$$\phi = 27.1 + (0.3 N_{60}) - (0.00054 N_{60}^2)$$

### **2.13.3 Método para Geomateriales “IGM”.**

Los IGM cohesivos se definen como materiales que muestran resistencias a la compresión no definidas en el rango de 10 ksf <math>q\_u</math> <math><100</math> ksf. Este Método se lo usa para SPT N60 entre 50 y 100 con el fin de distinguir los materiales de la tierra con propiedades de resistencia que son intermedios entre los del suelo y la roca. Los materiales específicos identificados como IGMs cohesivos, incluyen geomateriales arcillosos tales como arcillas fuertemente sobreconsolidadas, lutita-arcilla, saprolitos y fangolitas, también rocas calizas y geomateriales limosos y arcillosos. El término IGM fue adoptado por (O’Neil & Reese, 1999) y se utiliza en las especificaciones AASHTO (2007) LRFD.

#### **2.13.3.1 Resistencia por Punta.**

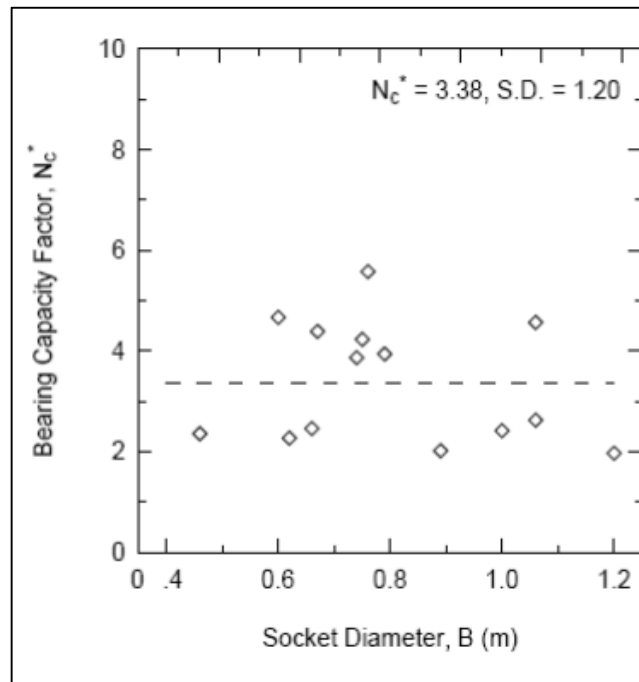
La resistencia unitaria por punta, se calcula de la siguiente manera:

$$q_p = N_{cr} * q_u$$

**Donde:**

Ncr: Factor de capacidad de carga empírica, se utilizó la media 3.38

## Ilustración 12. Factor de resistencia de la base para roca



Fuentes: (Prakoso y Kulhawy 2002)

$$Q_p = A_p * q_p$$

### 2.13.3.2 Resistencia por Fuste.

La Resistencia última por fricción por área unitaria es calculada mediante:

$$q_f = P_a \cdot C \sqrt{\frac{q_u}{P_a}} \quad [psi]$$

**Donde:**

$P_a$ : Presión atmosférica (14,69 psi)

$q_u$ : Resistencia a la compresión de roca.

$C$ : Es una constante, su valor es igual a 1.

$$Q_f = q_f * A_f$$

## **2.14 Teoría de Capacidad de Carga mediante Pruebas de Carga**

### **2.14.1 Pruebas de carga Dinámicas.**

Las pruebas de cargas dinámicas en pilotes (PDA) logran determinar la carga última de pilotes o carga de trabajo según se requiera mientras se obtiene información de la distribución de la fricción a lo largo del pilote, carga por punta y evaluación de la integridad del pilote. La prueba consiste en dejar caer una maza a una altura determinada, cuyo peso está en función de la carga a movilizar, esta carga impacta sobre el pilote para movilizar su resistencia por punta y por fuste, para obtener mediante instrumentación electrónica es posible captar su comportamiento y obtener después por cálculo numérico la capacidad portante del pilote. Consecutivamente al analizar las señales de fuerza (deformímetros) y aceleración (acelerómetros), con modelos de interacción suelo/estructura es posible estimar la capacidad estática del suelo y el comportamiento carga-asentamiento. (JEoprobe, 2016)

### **2.14.2 Instrumentación y equipo que se utiliza para las pruebas dinámicas.**

Las pruebas de carga dinámica constan de deformímetros y acelerómetros como indica la ilustración 13, los cuales son colocados en posiciones contrarias del pilote, de esta manera se medirá todo tipo de golpe, estos elementos son colocados de dos a tres veces el diámetro bajo la cabeza del pilote.

En pilotes barrenados, se recomienda tener un cabezal de hormigón reforzado y encamisado para recibir los impactos, y con el fin de una fácil instalación de los sensores y así queden fuera del contacto con el agua.

Dicha prueba se puede hacer hasta 7 días después de haber fundido el cabezal.

**Ilustración 13. Deformímetro y acelerómetro instalados en la estructura cimentada en mirador**



Fuente: Tutor

**2.14.3 Analizador de Hincado PDA (Pile Driving Analyzer).**

El Analizador de Hincado de Pilotes (PDA) verifica la capacidad de carga de todos los tipos de cimentaciones profundas. Las pruebas son rápidas y no destructivas. El PDA adquiere los datos a través de sensores de aceleración y deformación que se adhieren al pilote y procesan estas señales a medida que el elemento de fundación es impactado por el martillo de hincado u otro sistema de gravedad apropiado. Este proceso es referido como Prueba Dinámica de Alta Deformación, y puede tomar forma de Monitoreo de Hincado de Pilotes o Prueba de Carga Dinámica. Las Pruebas de Carga Dinámicas determinan la capacidad de carga hasta el punto de ruptura y pueden ejecutarse en fustes taladrados, pilotes barrenados, pilotes

coladas in-situ o pilotes hincados. La prueba consiste en la adquisición de los datos con el PDA y el análisis con el programa CAPWAP. Los resultados de la Prueba de Carga Dinámica se correlacionan muy bien con las capacidades de carga de la fundación obtenidas por medio de pruebas de carga estática convencionales. Esta prueba también confirma la integridad estructural del elemento de cimentación. (Caicedo Aspiazu, 2010)

**Ilustración 14. Analizador de Hincado PDA (Pile Driving Analyzer)**



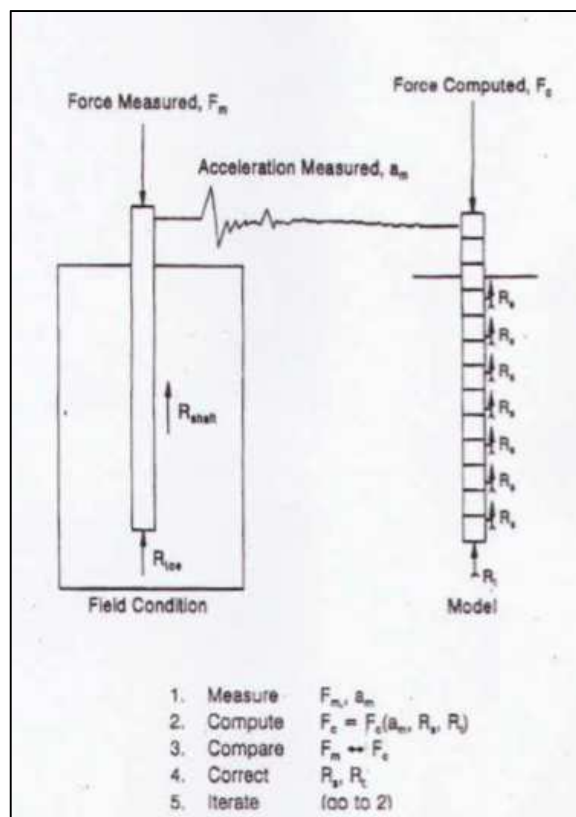
Fuente: Tutor

**2.14.4 CAPWAP.**

El CAPWAP es un programa de computadora que presenta una evaluación más rigurosa a la evaluación de carga dinámica, la distribución de resistencia en el suelo y las características del "damping" y "quake" en el suelo. El análisis de CAPWAP se da en un solo golpe de martillo, que usualmente se escoge al final del hincado o al principio de la

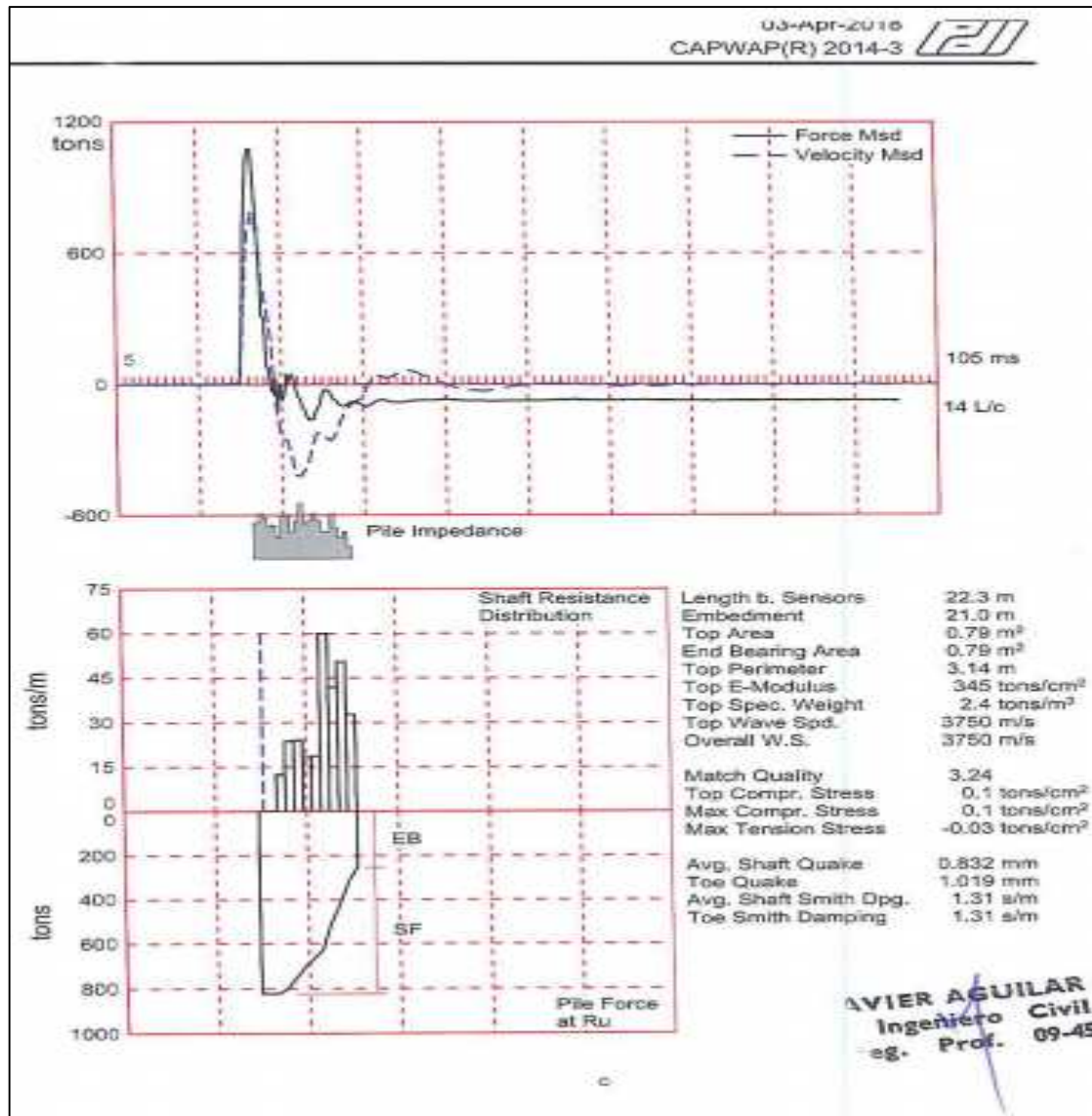
rehincha. El método CAPWAP se lo modela en base a una serie de segmentos continuos de pilote y de resistencias de suelo modeladas por resortes y amortiguadores con comportamiento elasto-plástico. La fuerza y la aceleración tomadas del PDA se utilizan para satisfacer dos de las tres incógnitas, la restante son las condiciones de frontera, que son dadas a partir del suelo. (Caicedo Aspiazu, 2010)

### Ilustración 15. Procedimiento del CAPWAP



Fuente: (Caicedo Aspiazu, 2010)

**Ilustración 16. Análisis CAPWAP. Mediciones de fuerza y velocidad, distribución por fuste del proyecto mirador en Ballenita. Tramo central, zona 3 Pilote 28**



Fuente: Tutor

### 2.14.5 Limitaciones.

La prueba en los pilotes perforados requiere un peso mínimo de 1 a 2% de la carga máxima de prueba requerida. Por supuesto, es probable que también sea aceptable un mayor peso de caída con menores alturas de caída, y generalmente se prefiere siempre que sea práctico. (Likins&Rausche, 2015)



**Ilustración 17. Relaciones recomendadas entre la capacidad probada del pilote y el sistema de reducción de peso. Para alturas de caída libre entre  $0.5m < H < 2.5m$**

Capacity (kN)	Height (m) for Ram Weight (G)					
	G=50kN	G=70kN	G=90kN	G=120kN	G=150kN	G=200kN
1000	0.5					
2000	1.0	0.7	0.5			
3000	1.5	1.0	0.8	0.6	0.5	
4000	2.0	1.4	1.1	0.8	0.7	0.5
5000	2.5	1.8	1.4	1.0	0.8	0.6
6000		2.1	1.6	1.2	1.0	0.7
7000		2.5	1.9	1.4	1.2	0.9
8000			2.2	1.6	1.3	1.0
9000			2.5	1.9	1.5	1.1
11000				2.3	1.8	1.4
12000				2.5	2.0	1.5
13000					2.2	1.6
14000					2.3	1.7
15000					2.5	1.9
16000						2.0
17000						2.1
18000						2.2
19000						2.4
20000						2.5

Fuente: (Samuel G. Paikowsky (2004))

## 2.15 Caracterización geotécnica de sitio

### 2.15.1 Perforación de suelo.

A continuación se mostrará las coordenadas WGS 84 donde fue realizada la perforación P-1:

**Tabla 2. Coordenadas WGS 84 de perforación**

<b>PERFORCION</b>	<b>PROFUNDIDAD</b>	<b>RELLENO</b>	<b>N.F.</b>	<b>COORDENADAS</b>	
#	m	m	m	N	E
1	16.0	3.0	3.20	9756537	0514093

Fuente: (Borleti S.A.)

**Ilustración 18. Sitio donde fue realizada la perforación según coordenadas**



Fuente: (Borleti S.A.)

### **2.15.2 Ensayos SPT.**

En el primer estrato se detectó una capa de relleno de 3 metros de espesor, compuesto por grava y arena con grava, color café clara, finos limo arcillosos poco plásticos y no plásticos, capacidad relativa medianamente densa, con número de golpes entre 11 a 16 para penetración de 12" en el ensayo de campo SPT.

En el segundo estrato se encontró arena de color gris un poco café y blanca, finos limosos no plásticos, capacidad relativa medianamente densa, alcanza una profundidad de 5 metros.

En el tercer estrato se encontró material meteorizado de matriz arcillosa con limo y algo de arena, color amarilla algo verde, consistencia muy compacta y dura, con número de golpes entre 27 a 32 para una penetración de 12" en el ensayo SPT, alcanza una profundidad de 9.50 metros.

En el cuarto estrato se encontró una formación rocosa de dureza blanda de matriz arcillosa con poco contenido de arena (lutita), muy fracturada, consistencia dura, con número de golpes mayor a 50 y alcanza la profundidad de 16 metros.

### **2.15.3 Propiedades del ensayo de penetración estándar (SPT).**

Los parámetros básicos para el ensayo SPT son:

Contenido de humedad (Wc%).

Límite líquido (LL).

Índice de plasticidad (IP).

Contenido de finos (FC%).

En los anexos se muestra la perforación SPT facilitada por el tutor, la cual fue realizada por la empresa Borleti S.A.

**Tabla 3. Clasificación SUCS de cada estrato con los parámetros respectivos**

SONDEO SPT							
PROF (M)	SUCS	Wc (%)	LL (%)	IP (%)	$\tau$ (KG/M <sup>3</sup> )	N60	FC %
0-0.5	-	-	-	-	-	-	-
0.5-1	GM	4.82	NP	NP	1755	13	15.76
1-2	SM	6.98	NP	NP	1865	11	28.12
2-3	SC	5.47	24.89	3.85	1878	16	23.92
3-4	SM	14.54	NP	NP	1917	23	12.45
4-5	SM-SP	20.99	NP	NP	1902	26	5.89
5-6	CH	30.06	50.01	26.82	1941	29	96.92
6-7	CH	27.40	50.25	27.79	1879	32	71.84
7-8	CL	21.09	42.13	18.52	1991	27	96.50
8-9	CH	28.16	52.96	29.61	1888	32	96.91
9-10	CH	21.34	54.05	30.86	2012	50	96.29
10-11	CH	27.36	56.49	33.46	2005	50	97.49
11-12	SM-SP	14.44	NP	NP	1964	50	7.19
12-13	CL	11.90	46.79	23.99	2132	50	83.75
13-14	CH	5.48	61.85	40.90	2287	50	92.34
14-15	CH	16.16	51.31	30.06	2287	50	89.53
15-16	CH	13.84	54.49	33.46	2156	50	84.74

Fuente: (BORLETI S.A.)

Los valores de N se deben corregir por energía (N60) y por confinamiento (N1(60)). La empresa Borleti S.A. en los resúmenes de ensayos ya presentan valores corregidos por energía N60 y la corrección por

confinamiento se mostrará más adelante y solo se realizara para los estratos de arena.

La corrección por energía se la obtiene de la ecuación recomendada por Idriss y Boulanger (2008) que es la siguiente:

$$N_{60} = C_E * C_B * C_R * C_S * N_m$$

**Donde:**

Nm: Es el número de golpes medido en campo

CE: Es la corrección por la relación de energía

CB: Es la corrección por el diámetro de la perforación

CR: Es la corrección por longitud de maniobra

Cs: Es una corrección para un muestreador que tiene espacio para revestimientos. En muchos casos se utiliza solo el factor CE que es la corrección más importante. Los valores propuestos por Idriss y Boulanger (2008) se muestran en la siguiente ilustración:

**Ilustración 19. Factores de corrección para valores de SPT N**

Factor	Description										
Energy ratio	<p>Energy measurements are required to determine the delivered energy ratios or to calibrate the specific equipment being used. The correction factor is then computed as</p> $C_E = \frac{ER_m}{60}$ <p>where <math>ER_m</math> is the measured energy ratio as a percentage of the theoretical maximum.</p> <p>Empirical estimates of <math>C_E</math> (for rod lengths of 10 m or more) involve considerable uncertainty, as reflected by the following ranges:</p> <table style="margin-left: 40px;"> <tr> <td>Doughnut hammer</td> <td><math>C_E = 0.5-1.0</math></td> </tr> <tr> <td>Safety hammer</td> <td><math>C_E = 0.7-1.2</math></td> </tr> <tr> <td>Automatic triphammer</td> <td><math>C_E = 0.8-1.3</math></td> </tr> </table> <p>(Seed et al. 1984, Skempton 1986, NCEER 1997)</p>	Doughnut hammer	$C_E = 0.5-1.0$	Safety hammer	$C_E = 0.7-1.2$	Automatic triphammer	$C_E = 0.8-1.3$				
Doughnut hammer	$C_E = 0.5-1.0$										
Safety hammer	$C_E = 0.7-1.2$										
Automatic triphammer	$C_E = 0.8-1.3$										
Borehole diameter	<table style="margin-left: 40px;"> <tr> <td>Borehole diameter of 65-115 mm</td> <td><math>C_B = 1.0</math></td> </tr> <tr> <td>Borehole diameter of 150 mm</td> <td><math>C_B = 1.05</math></td> </tr> <tr> <td>Borehole diameter of 200 mm</td> <td><math>C_B = 1.15</math></td> </tr> </table> <p>(Skempton 1986)</p>	Borehole diameter of 65-115 mm	$C_B = 1.0$	Borehole diameter of 150 mm	$C_B = 1.05$	Borehole diameter of 200 mm	$C_B = 1.15$				
Borehole diameter of 65-115 mm	$C_B = 1.0$										
Borehole diameter of 150 mm	$C_B = 1.05$										
Borehole diameter of 200 mm	$C_B = 1.15$										
Rod length	<p>Where the <math>ER_m</math> is based on rod lengths of 10 m or more, the ER delivered with shorter rod lengths may be smaller. Recommended values from Youd et al. (2001) are as follows:</p> <table style="margin-left: 40px;"> <tr> <td>Rod length &lt; 3 m</td> <td><math>C_R = 0.75</math></td> </tr> <tr> <td>Rod length 3-4 m</td> <td><math>C_R = 0.80</math></td> </tr> <tr> <td>Rod length 4-6 m</td> <td><math>C_R = 0.85</math></td> </tr> <tr> <td>Rod length 6-10 m</td> <td><math>C_R = 0.95</math></td> </tr> <tr> <td>Rod length 10-30 m</td> <td><math>C_R = 1.00</math></td> </tr> </table>	Rod length < 3 m	$C_R = 0.75$	Rod length 3-4 m	$C_R = 0.80$	Rod length 4-6 m	$C_R = 0.85$	Rod length 6-10 m	$C_R = 0.95$	Rod length 10-30 m	$C_R = 1.00$
Rod length < 3 m	$C_R = 0.75$										
Rod length 3-4 m	$C_R = 0.80$										
Rod length 4-6 m	$C_R = 0.85$										
Rod length 6-10 m	$C_R = 0.95$										
Rod length 10-30 m	$C_R = 1.00$										
Sampler	<p>Standard split spoon without room for liners (the inside diameter is a constant <math>1\frac{7}{8}</math> in.), <math>C_S = 1.0</math>.</p> <p>Split-spoon sampler with room for liners but with the liners absent (this increases the inside diameter to <math>1\frac{1}{2}</math> in. behind the driving shoe):</p> <table style="margin-left: 40px;"> <tr> <td><math>C_S = 1.1</math></td> <td>for <math>(N_1)_{60} \leq 10</math></td> </tr> <tr> <td><math>C_S = 1 + \frac{(N_1)_{60}}{100}</math></td> <td>for <math>10 \leq (N_1)_{60} \leq 30</math></td> </tr> <tr> <td><math>C_S = 1.3</math></td> <td>for <math>(N_1)_{60} \geq 30</math></td> </tr> </table> <p>(from Seed et al. 1984, equation by Seed et al. 2001)</p>	$C_S = 1.1$	for $(N_1)_{60} \leq 10$	$C_S = 1 + \frac{(N_1)_{60}}{100}$	for $10 \leq (N_1)_{60} \leq 30$	$C_S = 1.3$	for $(N_1)_{60} \geq 30$				
$C_S = 1.1$	for $(N_1)_{60} \leq 10$										
$C_S = 1 + \frac{(N_1)_{60}}{100}$	for $10 \leq (N_1)_{60} \leq 30$										
$C_S = 1.3$	for $(N_1)_{60} \geq 30$										

Fuente: (Idriss & Boulanger, 2008)

La ecuación utilizada para corrección por confinamiento será la fórmula de Liao & Whitman (1985):

$$CN = \sqrt{\frac{10 Tn}{\sigma vo}} \leq 1.7$$

## 2.16 Fuerzas actuantes en los pilotes

El diseño de la cimentación se lo realizó de acuerdo a las reacciones obtenidas del análisis estructural. Se analizó el caso estático y se extrajo los valores más críticos para cada zona tomando en cuenta que el factor de seguridad para el caso estático es 2.5. Los valores más críticos de la combinación de servicio de cada zona se presentan a continuación:

**Tabla 4. Fuerzas actuantes en los pilotes según el modelo estructural provisto divididos por zonas**

ZONA	Qmax (Tn)
3	218.68
2	60.77
1	23.86

Fuente: Tutor

### 3 Capítulo 3

#### 3.1 Cálculo de Capacidad de Carga por métodos tradicionales

La diferencia de longitudes entre una zona y otra son notables lo cual demuestra que se ha optimizado recursos al separarlos por zonas. Los cálculos de capacidad realizados para la zona 3 con los métodos Aurora & Reese y el método IGM de O'Neil & Reese, obtuvieron los siguientes resultados para punta y fuste:

El análisis de resultados se adjunta en los anexos.

**Tabla 5. Resultados de capacidades mediante el cálculos de métodos tradicionales para zona 3**

<b>Zona 3</b>					
<b>Métodos</b>	<b>Diámetro (m)</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Fuste (Ton)</b>	<b>Punta (m)</b>	<b>Capacidad total (Ton)</b>
<b>Aurora&amp;Reese+ Método Beta</b>	1	23	937	225	1162
<b>IGM (Geomateriales) + Método Beta</b>	1	23	1404	190	1558

Fuente: Autor

De la misma manera, los cálculos de capacidad realizados para la zona 2 con los métodos Aurora & Reese y el método IGM de O'Neil & Reese, obtuvieron los siguientes resultados para punta y fuste:

El análisis de resultados se adjunta en los anexos.



**Tabla 6. Resultados de capacidades mediante el cálculos de métodos tradicionales para zona 2**

<b>Zona 2</b>					
<b>Métodos</b>	<b>Diámetro (m)</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Fuste (Ton)</b>	<b>Punta (m)</b>	<b>Capacidad total (Ton)</b>
<b>Aurora&amp;Reese + Método Beta</b>	1	19	768	225	993
<b>IGM (Geomateriales) + Método Beta</b>	1	19	1147	190	1302

Fuente: Autor

### **3.2 Resultados de las pruebas de carga dinámica**

#### **3.2.1 Análisis de resultados PDA.**

El análisis realizado por la empresa J.A.G. cuyos resultados fueron proporcionados por el tutor, muestran los siguientes datos para cada una de las zonas. Ya que se realizó dos pruebas de carga dinámica en la zona 3 y una en la zona 2. El resumen de análisis de resultados obtenidos se muestra a continuación: El análisis de resultados se adjuntan en los anexos.

**Tabla 7. Resumen de resultados de pruebas de carga dinámica en pilotes barrenados para zona 3 y 2**

<b>Zona</b>	<b>Pilote</b>	<b>Resistencia (ton)</b>	<b>Esfuerzo máximo(kg/cm2)</b>	<b>Energía transmitida (ton)</b>	<b>Fuste (ton)</b>	<b>Punta (ton)</b>
3	P26	706	100.0	2.17	453	253
3	P28	824	100.0	2.18	571	253
2	P18	673	100.0	1.93	529	144

Fuente: (Javier Aguilar Granda JAG, 2018)

### 3.2.2 Factores de seguridad para fuste y punta.

Los factores de seguridad de la Tabla 8. *Resumen de los factores de seguridad para el diseño ASD para pilotes barrenados* indica el cálculo ajustado a la metodología ASD, factores de seguridad utilizados en la práctica actual según O'Neil & Reese, basado en la suposición de carga permanente usando los factores de carga AASHTO.

El factor de seguridad va depender del material y de los métodos utilizados en este proyecto, los valores propuestos en el manual FHWA por (O'Neil & Reese, 1999, p. 307) fueron utilizados para ambos métodos en arcilla- lutita como se muestra en la siguiente tabla, debido a la poca literatura de Aurora & Reese.

Para las pruebas dinámicas generalmente se especifica por código, estándar o especificación. Algunos códigos requieren el mismo factor de seguridad para una prueba dinámica que para una prueba estática, pero normalmente la (AASHTO) especifica el uso de un factor de seguridad aproximadamente un 10% más alto que para las pruebas estáticas.

Según (AASHTO, 1997) el factor de seguridad para pruebas de carga estática es de  $FS= 2$ . Pero también según el código Europeo cuya tabla se encuentra en anexos, cuando se hace más del 5% de pruebas en el total de pilotes, se podría usar 1.6 de factor de seguridad. Para este proyecto se realizaron a 3 pilotes de 29 en su totalidad que es el 10% del total.

**Tabla 8. Resumen de los factores de seguridad para el diseño ASD para pilotes barrenados**

Métodos	FACTOR DE SEGURIDAD	
	PUNTA	FUSTE
PDA	1.6-2.2	1.6-2.2
Método Beta	2.75	2.5
Aurora & Reese	2.75	2.7
Método IGM	2.75	2.7

Fuente: (FHWA, 2010)

### 3.3 Cálculo y comparación

Como se mencionó en el nivel 3.2.1 del Capítulo 3, las pruebas dinámicas fueron realizadas en tres pilotes, dos en la zona central 3 a los pilotes P-28-26 de longitud 23 m y uno en la zona 2 al pilote P-18 de longitud 19 m, debido a la demanda de cada zona, en la Tabla 9. **Resumen de resultados de capacidades por punta y fuste de PDA y métodos tradicionales** se indica un resumen de resultados en toneladas de los niveles 3.1 y 3.2 del Capítulo 3. Para la zona 3 se realizó un promedio de capacidad por punta y fuste debido a que se hizo dos pruebas de carga.

**Tabla 9. Resumen de resultados de capacidades por punta y fuste de PDA y métodos tradicionales**

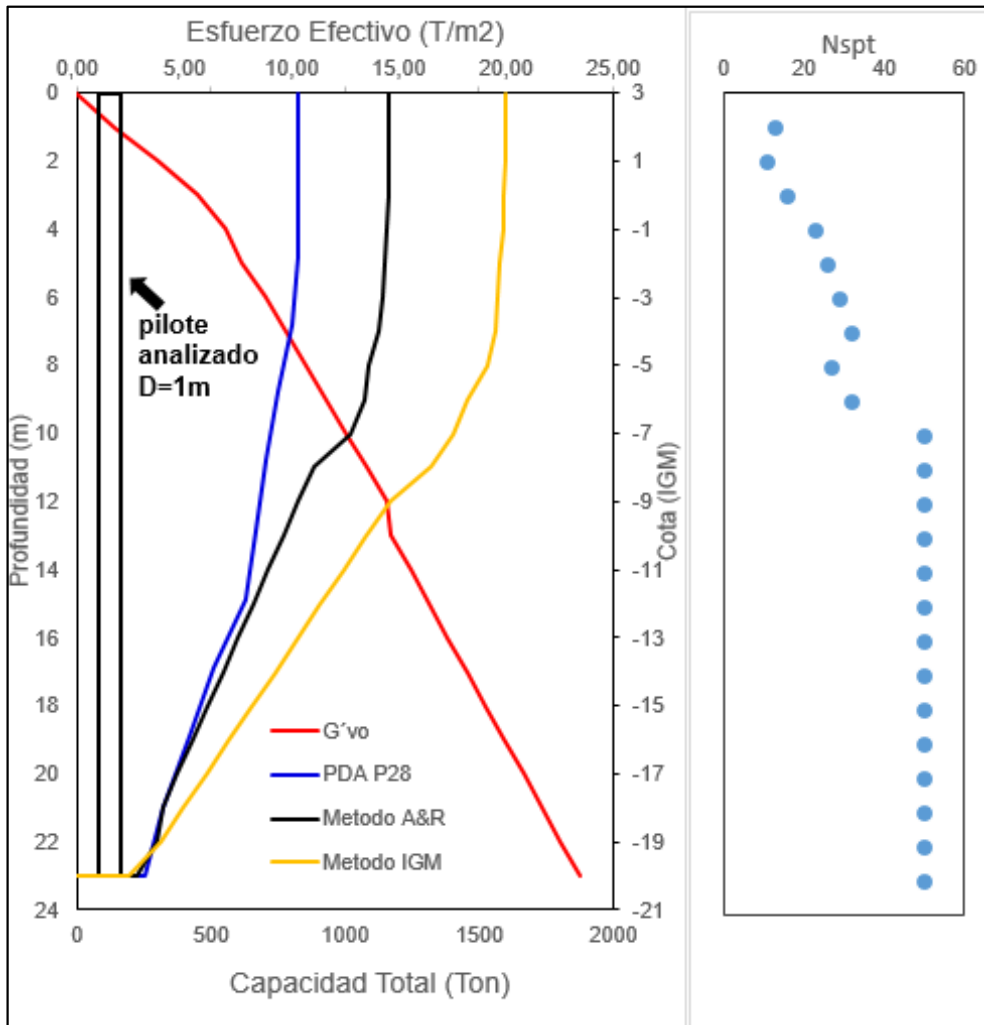
Métodos	ZONA3		ZONA2	
	Fuste (Tn)	Punta (Tn)	Fuste (Tn)	Punta (Tn)
Pruebas Dinámicas	512	253	529	144
Aurora & Reese + BETA	937	225	768	225
Método IGM + BETA	1404	190	1147	190

Fuente: Autor

#### 3.3.1 Curvas de capacidad de carga en zona 3 - PILOTES 28-26.

Una vez culminado el Capítulo 3, se procedió al cálculo de la gráfica de esfuerzo como se observa en la ilustración 20, la cual es una representación gráfica que soporta el suelo al momento del sondeo, también se puede ver las curvas de capacidad de carga de la prueba dinámica que se desarrolló a partir de valores de capacidad que generó el análisis CAPWAP como lo indica la ilustración 21. Al igual se procedió a graficar las curvas de capacidad de carga para los métodos Aurora & Reese y para el método IGM de O'Neil & Reese respectivamente, el cálculo se lo realizó en Excel.

**Ilustración 20. Curva de capacidad de PDA y métodos tradicionales zona 3**



Fuente: Autor

El análisis CAPWAP como indica la siguiente ilustración, representa la prueba en el pilote 28 de la zona 3. Entre los valores más representativos marcados por un círculo rojo de izquierda a derecha, indica la profundidad a la cual se realizó la prueba, la capacidad por punta y la capacidad por fuste del pilote, siendo los últimos valores acumulados los resultados por punta y fuste. La curva de capacidad es una interpretación de un modelo sísmico, está basada en el análisis CAPWAP.

**Ilustración 21. Análisis CAPWAP, para Pilote 28 de la zona central 3 del mirador.**

CAPWAP SUMMARY RESULTS									
Total CAPWAP Capacity: 824.11; along Shaft 571.16; at Toe 252.95 tons									
Soil Sgment No.	Dist. Below Gages m	Depth Below Grade m	Ru tons	Force in Pile tons	Sum of Ru tons	Unit Resist. (Depth) tons/m	Unit Resist. (Area) tons/m <sup>2</sup>	Smith Damping Factor s/m	Quake mm
				824.1	0.00				
1	4.1	2.8	0.00	824.1	0.00	0.00	0.00	0.00	1.000
2	6.1	4.8	25.07	799.0	25.07	12.37	3.94	1.31	0.974
3	8.1	6.8	48.09	751.0	73.16	23.72	7.55	1.31	0.966
4	10.1	8.8	48.77	702.2	121.93	24.06	7.66	1.31	1.066
5	12.2	10.9	36.83	665.3	158.76	18.17	5.78	1.31	0.860
6	14.2	12.9	37.89	627.5	196.65	18.69	5.95	1.31	0.772
7	16.2	14.9	121.45	506.0	318.10	59.91	19.07	1.31	0.713
8	18.2	16.9	84.58	421.4	402.68	41.72	13.28	1.31	0.757
9	20.3	19.0	102.11	319.3	504.79	50.37	16.03	1.31	0.824
10	22.3	21.0	66.37	252.9	571.16	32.74	10.42	1.31	0.852
Avg. Shaft			57.12			27.20	8.66	1.31	0.832
Toe			252.95				322.07	1.31	1.019
Soil Model Parameters/Extensions									
						Shaft	Toe		
Case Damping Factor						1.04	0.46		
Damping Type						Viscous	Sm+Visc		
Unloading Quake (% of loading quake)						30	30		
Reloading Level (% of Ru)						100	100		
Unloading Level (% of Ru)						13			
Resistance Gap (included in Toe Quake) (mm)							0.019		
Soil Plug Weight (tons)							1.202		
CAPWAP match quality = 3.24 (Wave Up Match) ; RSA = 0									
Observed: Final Set = 0.000 mm; Blow Count =100000000000 b/m									
Computed: Final Set = 0.100 mm; Blow Count = 9999 b/m									
max. Top Comp. Stress = 0.1 tons/cm <sup>2</sup> (T= 21.6 ms, max= 1.086 x Top)									
max. Comp. Stress = 0.1 tons/cm <sup>2</sup> (Z= 8.1 m, T= 23.8 ms)									
max. Tens. Stress = -0.03 tons/cm <sup>2</sup> (Z= 16.2 m, T= 32.7 ms)									
max. Energy (EMX) = 2.18 tons-m; max. Measured Top Displ. (DMX)= 2.766 mm									

Fuente: Tutor

La siguiente ilustración representa el análisis CAPWAP de la segunda prueba de la zona 3 realizada al pilote P26, donde se reflejan los resultados de capacidad por punta, fuste, capacidad total entre otros valores, cuya descripción se la realizó anteriormente.

**Ilustración 22. Análisis CAPWAP, para Pilote 26 de la zona central 3 del mirador**

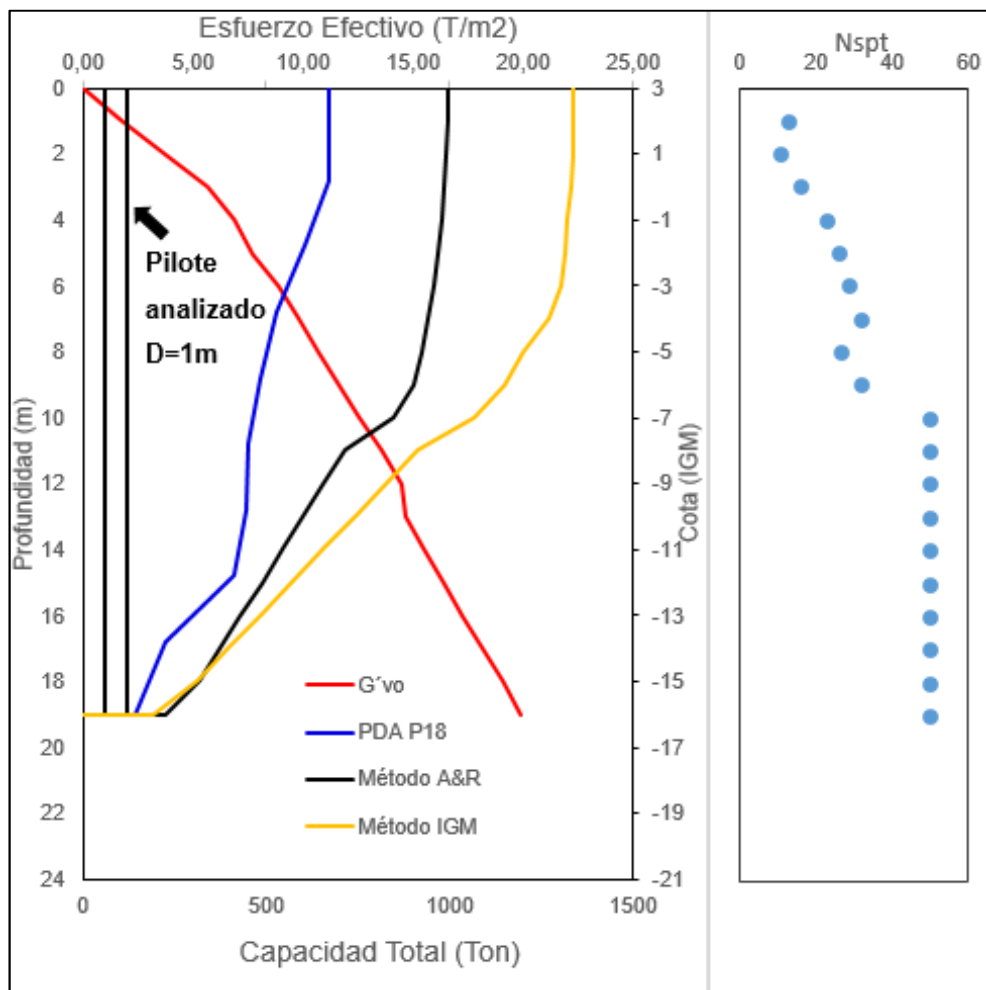
MALECON BALENITA; File: FARO P26				Test: 24-Mar-2018 12:19				
Blow: 3				CAPWAP (R) 2014-3				
				OP: GLADYS				
CAPWAP SUMMARY RESULTS								
Total CAPWAP Capacity: 705.92; along Shaft 453.18; at Toe 252.74 tons								
Soil Sgmt No.	Dist. Below Gages m	Depth Below Grade m	Ru tons	Force in Pile tons	Sum of Ru tons	Unit Resist. (Depth) tons/m	Unit Resist. (Area) tons/m <sup>2</sup>	Smith Damping Factor s/m
				705.9				
1	3.1	2.0	0.00	705.9	0.00	0.00	0.00	0.00
2	5.2	4.1	17.29	688.6	17.29	8.29	2.64	1.41
3	7.3	6.2	49.72	638.9	67.01	23.84	7.59	1.41
4	9.4	8.3	52.10	586.8	119.11	24.98	7.95	1.41
5	11.5	10.4	29.25	557.6	148.36	14.02	4.46	1.41
6	13.6	12.5	58.13	499.4	206.49	27.87	8.87	1.41
7	15.6	14.5	64.64	434.8	271.13	30.99	9.87	1.41
8	17.7	16.6	62.69	372.1	333.82	30.06	9.57	1.41
9	19.8	18.7	56.30	315.8	390.12	26.99	8.59	1.41
10	21.9	20.8	63.06	252.7	453.18	30.23	9.62	1.41
Avg. Shaft			45.32			21.79	6.94	1.41
Toe			252.74				321.80	1.38
Soil Model Parameters/Extensions				Shaft	Toe			
Quake		(mm)		1.000	1.000			
Case Damping Factor				0.89	0.48			
Damping Type				Viscous	Smt+Visc			
Unloading Quake		(% of loading quake)		61	30			
Reloading Level		(% of Ru)		100	100			
Unloading Level		(% of Ru)		42				
Soil Plug Weight		(tons)			2.242			
CAPWAP match quality = 2.78 (Wave Up Match) ; RSA = 0								
Observed: Final Set = 0.000 mm; Blow Count =100000000000 b/m								
Computed: Final Set = 0.100 mm; Blow Count = 9999 b/m								
max. Top Comp. Stress = 0.1 tons/cm <sup>2</sup> (T= 21.4 ms, max= 1.050 x Top)								
max. Comp. Stress = 0.1 tons/cm <sup>2</sup> (Z= 7.3 m, T= 23.6 ms)								
max. Tens. Stress = -0.04 tons/cm <sup>2</sup> (Z= 11.5 m, T= 30.6 ms)								
max. Energy (EMX) = 2.17 tons-m; max. Measured Top Displ. (DMX)= 2.766 mm								

Fuente: Tutor

### 3.3.2 Curvas de capacidad de carga en zona 2 - PILOTE 18.

De igual forma la ilustración 23 indica las curvas de capacidad de carga es decir un mecanismo de transferencia de carga, ya descritas anteriormente, pero en la zona 2 en el pilote P18, cuyo diámetro es de 1 metro y tiene 19 metros de longitud. Se observa la distribución por punta y fuste según el método señalado, donde la línea de color amarilla que representa el método IGM tiene resultados mucho mayores por fuste.

Ilustración 23. Curva de capacidad de PDA y métodos tradicionales zona 2



Fuente: Autor

La curva de capacidad de la prueba dinámica en el pilote P18 de la zona 2 se la desarrolló a partir de valores de capacidad que generó el análisis CAPWAP como indica Ilustración 24. **Análisis CAPWAP, para Pilote 18 de la**

**zona 2 del mirador**, mediante la separación de pendientes debido a cambios bruscos de número de golpes o un cambio de parámetros debido a una considerable longitud de estratos, cuyos resultados se presentan a continuación:

**Ilustración 24. Análisis CAPWAP, para Pilote 18 de la zona 2 del mirador**

MALECON BALENITA; File: FARO P18				Test: 24-Mar-2018 12:04				
Blow: 3				CAPWAP(R) 2014-3				
				OP: GLADYS				
CAPWAP SUMMARY RESULTS								
Total CAPWAP Capacity: 672.66; along Shaft 528.82; at Toe 143.84 tons								
Soil Sgmt No.	Dist. Below Gages m	Depth Below Grade m	Ru tons	Force in File tons	Sum of Ru tons	Unit Resist. (Depth) tons/m	Unit Resist. (Area) tons/m <sup>2</sup>	Smith Damping Factor s/m
				672.7				
1	2.0	1.8	0.00	603.8	0.00	0.00	0.00	0.00
2	4.0	3.8	68.83	525.2	68.83	34.41	10.95	1.31
3	6.0	5.8	78.65	486.0	147.48	39.33	12.52	1.31
4	8.0	7.8	39.13	450.7	186.61	19.57	6.23	1.31
5	10.0	9.8	35.35	445.1	221.96	17.68	5.63	1.31
6	12.0	11.8	5.62	414.4	227.58	2.81	0.89	1.31
7	14.0	13.8	30.69	222.2	258.27	15.34	4.88	1.31
8	16.0	15.8	192.22	143.8	450.49	96.11	30.59	1.31
9	18.0	17.8	78.33		528.82	39.16	12.47	1.31
Avg. Shaft			58.76			29.71	9.46	1.31
Toe			143.84				183.14	1.31
Soil Model Parameters/Extensions						Shaft	Toe	
Quake		(mm)				1.001	1.000	
Case Damping Factor						0.95	0.26	
Damping Type						Viscous	Sm+Visc	
Unloading Quake		(% of loading quake)				30	30	
Reloading Level		(% of Ru)				100	100	
Unloading Level		(% of Ru)				0		
Soil Plug Weight		(tons)					2.047	
CAPWAP match quality		= 4.87		(Wave Up Match) ; RSA = 0				
Observed: Final Set		= 0.000 mm;		Blow Count		=10000000 b/m		
Computed: Final Set		= 0.100 mm;		Blow Count		= 9999 b/m		
max. Top Comp. Stress		= 0.1 tons/cm <sup>2</sup>		(T= 37.0 ms, max= 1.240 x Top)				
max. Comp. Stress		= 0.1 tons/cm <sup>2</sup>		(Z= 6.0 m, T= 38.3 ms)				
max. Tens. Stress		= -0.07 tons/cm <sup>2</sup>		(Z= 11.0 m, T= 43.0 ms)				
max. Energy (EMX)		= 1.93 tons-m;		max. Measured Top Displ. (DMX)= 2.666 mm				

Fuente: Tutor

### 3.3.3 Cálculo y comparación de métodos aplicado el factor de seguridad.

La Tabla 10. **Cálculo de capacidad por punta y fuste aplicados los factores de seguridad** muestra el cálculo de capacidad con los diferentes factores de



seguridad utilizados para punta y fuste como se lo mencionó en el Capítulo 3, aplicado a cada método y para las distintas zonas. Para las pruebas dinámicas se realizó el cálculo con dos factores de seguridad ya mencionados  $FS=2.2$  y  $1.6$ , con el fin de no limitar el resultado de capacidad de dichas pruebas realizadas en campo.

**Tabla 10. Cálculo de capacidad por punta y fuste aplicados los factores de seguridad**

<b>ZONA 3 P28-26</b>							
<b>Métodos</b>	<b>PUNT A</b>	<b>FUSTE</b>	<b>FACTOR DE SEGURIDAD</b>		<b>PUNTA</b>	<b>FUSTE</b>	<b>CAPACIDAD TOTAL</b>
			<b>PUNTA</b>	<b>FUSTE</b>			
CAPWA P	253	512	2,2	2,2	115	233	348
Método Beta	–	36	2,75	2,5	-	14,4	14,4
Aurora & Reese	225	901	2,75	2,7	82	348	430
Método IGM	225	1368	2,75	2,7	82	521	603
<b>ZONA2 P18</b>							
<b>Métodos</b>	<b>PUNT A</b>	<b>FUSTE</b>	<b>FACTOR DE SEGURIDAD</b>		<b>PUNTA</b>	<b>FUSTE</b>	<b>CAPACIDAD TOTAL</b>
			<b>PUNTA</b>	<b>FUSTE</b>			
CAPWA P	144	529	2,2	2,2	65	240	306
Método Beta	–	36	2,75	2,5	-	14,4	14,4
Aurora & Reese	225	732	2,75	2,7	82	286	367
Método IGM	225	1112	2,75	2,7	82	426	508

Fuente: Autor

La siguiente tabla muestra el resumen de resultados de capacidad última ya aplicados los factores de seguridad correspondientes. Como se puede observar el factor de seguridad utilizado para el cálculo de capacidad de la prueba dinámica fue de 2.2:

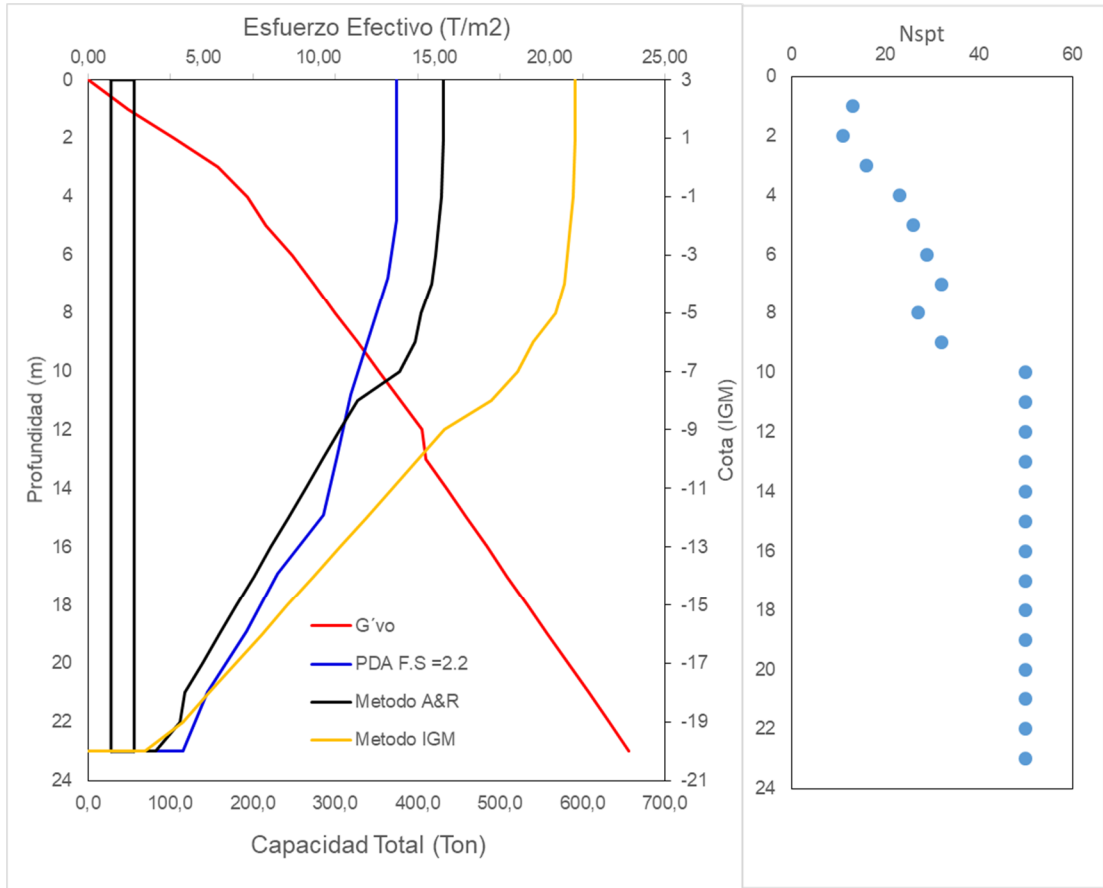
**Tabla 11. Resumen de resultados de capacidad total para cada uno de los métodos aplicados para un factor de seguridad de PDA distinto de 1.6 y 2.2**

<b>Métodos</b>	<b>ZONA3</b>	<b>ZONA2</b>
	<b>CAPACIDAD TOTAL (Tn)</b>	<b>CAPACIDAD TOTAL (Tn)</b>
CAP2.2WAP FS=2,2	348	306
Aurora & Reese + BETA	430	367
Método IGM + BETA	603	508

Fuente: Autor

A continuación se indica las curvas de transferencia de cargas para la zona 3 aplicado un factor de seguridad de 2.2 para la prueba de carga dinámica. Donde se observa que las curvas de capacidad del método A & R son más cercanas a las PDA tanto en la punta como en la distribución por fuste.

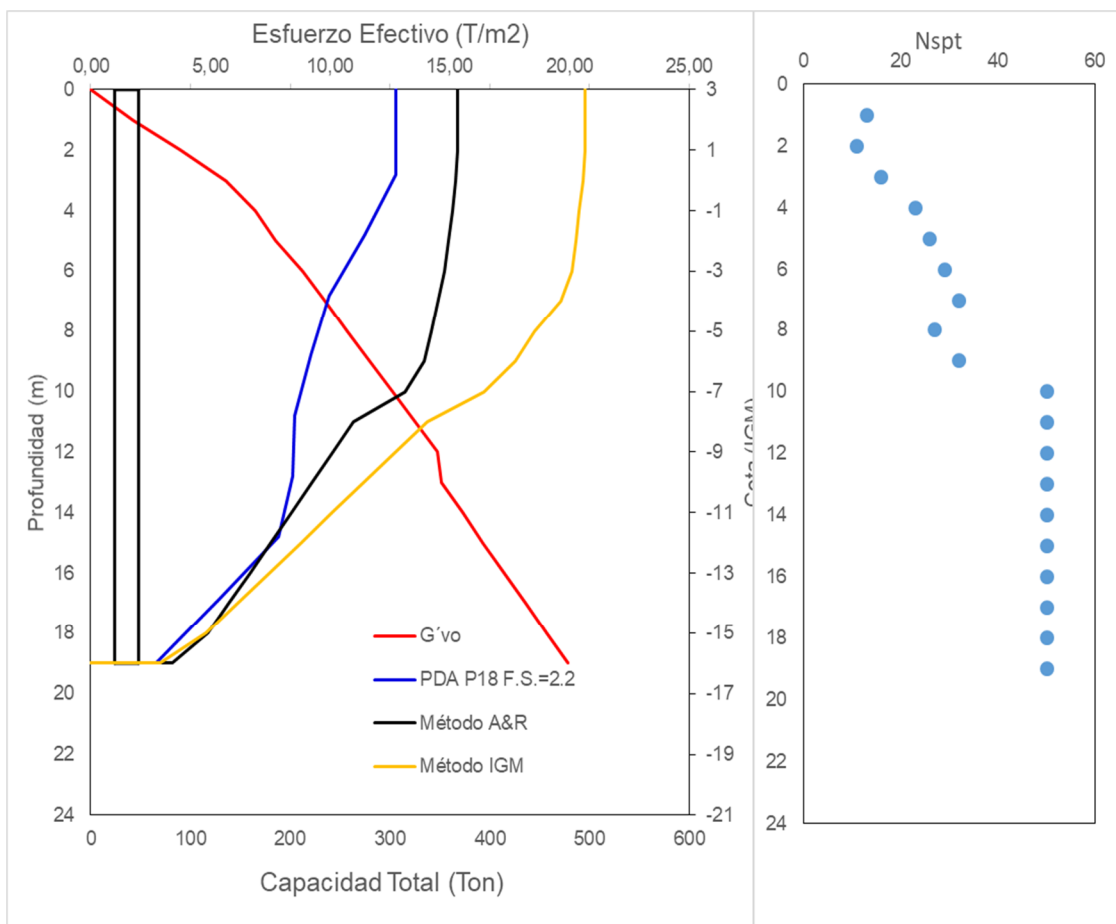
**Ilustración 25. Curvas de transferencia de cargas de PDA y métodos tradicionales para la zona 3, aplicados los factores de seguridad**



Fuente: Autor

La ilustración 26 muestra las curvas de transferencia de carga para la zona 2 cuyo factor de seguridad para las PDA fue 2.2 y para los métodos tradicionales los establecidos en la tabla 10. La distribución por punta y fuste son las siguientes:

**Ilustración 26. Curvas de transferencia de cargas de PDA y métodos tradicionales para zona 2, aplicados los factores de seguridad**



La Tabla 12. **Cálculo de capacidad por punta y fuste aplicados los factores de seguridad** muestra el cálculo de capacidad con los diferentes factores de seguridad utilizados para punta y fuste realizado a cada método y para las distintas zona como se lo mencionó anteriormente, pero en este caso se utilizó el FS: 1.6 para la pruebas de carga dinámica debido a las normas y códigos que permiten utilizar estos valores, la comparación de resultados estará especificada en el siguiente capítulo.

**Tabla 12. Cálculo de capacidad por punta y fuste aplicados los factores de seguridad**

<b>ZONA 3 P28-26</b>							
<b>Métodos</b>	<b>PUNTA</b>	<b>FUSTE</b>	<b>FACTOR DE SEGURIDAD</b>		<b>PUNTA</b>	<b>FUSTE</b>	<b>CAPACIDAD TOTAL</b>
			<b>PUNTA</b>	<b>FUSTE</b>			
CAPWA P	253	512	1,6	1,6	158	320	478
Método Beta	–	36	2,75	2,5	-	14,4	14,4
Aurora & Reese	225	901	2,75	2,7	82	348	430
Método IGM	225	1368	2,75	2,7	82	521	603
<b>ZONA2 P18</b>							
<b>Métodos</b>	<b>PUNTA</b>	<b>FUSTE</b>	<b>FACTOR DE SEGURIDAD</b>		<b>PUNTA</b>	<b>FUSTE</b>	<b>CAPACIDAD TOTAL</b>
			<b>PUNTA</b>	<b>FUSTE</b>			
CAPWA P	144	529	1,6	1,6	90	331	421
Método Beta	–	36	2,75	2,5	-	14,4	14,4
Aurora & Reese	225	732	2,75	2,7	82	286	367
Método IGM	225	1112	2,75	2,7	82	426	508

Fuente: Autor

La siguiente tabla muestra el resumen de resultados de capacidad última ya aplicados los factores de seguridad correspondientes. El factor de seguridad utilizado para la prueba dinámica fue de 1.6:

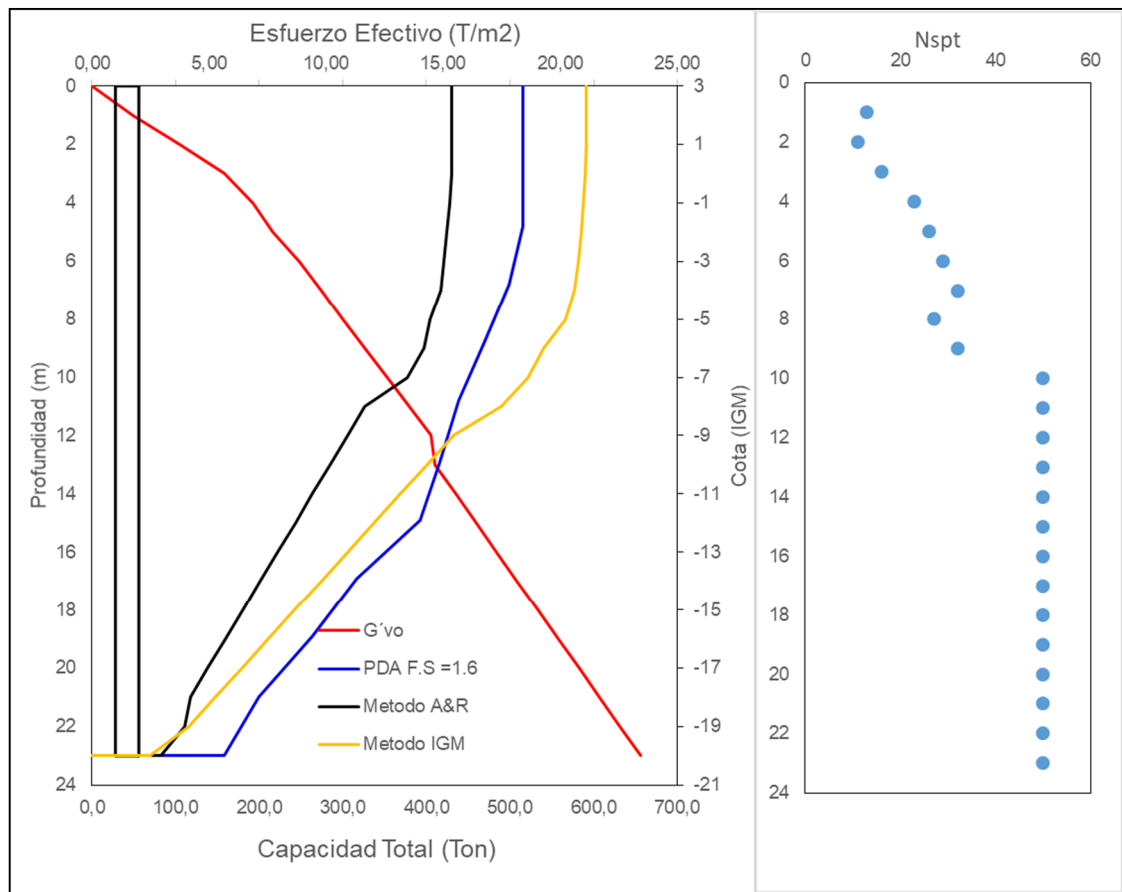
**Tabla 13. Resumen de resultados de capacidad total para cada uno de los métodos aplicados para un factor de seguridad de PDA distinto**

<b>Métodos</b>	<b>ZONA3</b>	<b>ZONA2</b>
	<b>CAPACIDAD TOTAL (Tn)</b>	<b>CAPACIDAD TOTAL (Tn)</b>
CAPWAP FS=1,6	478	421
Aurora & Reese + BETA	430	367
Método IGM + BETA	603	508

Fuente: Autor

De la misma manera, para tener una mejor visualización se realizaron gráficas de transferencia de cargas, la ilustración 27 referencia las curvas para la zona 3 con los F.S. establecidos en la tabla 12.

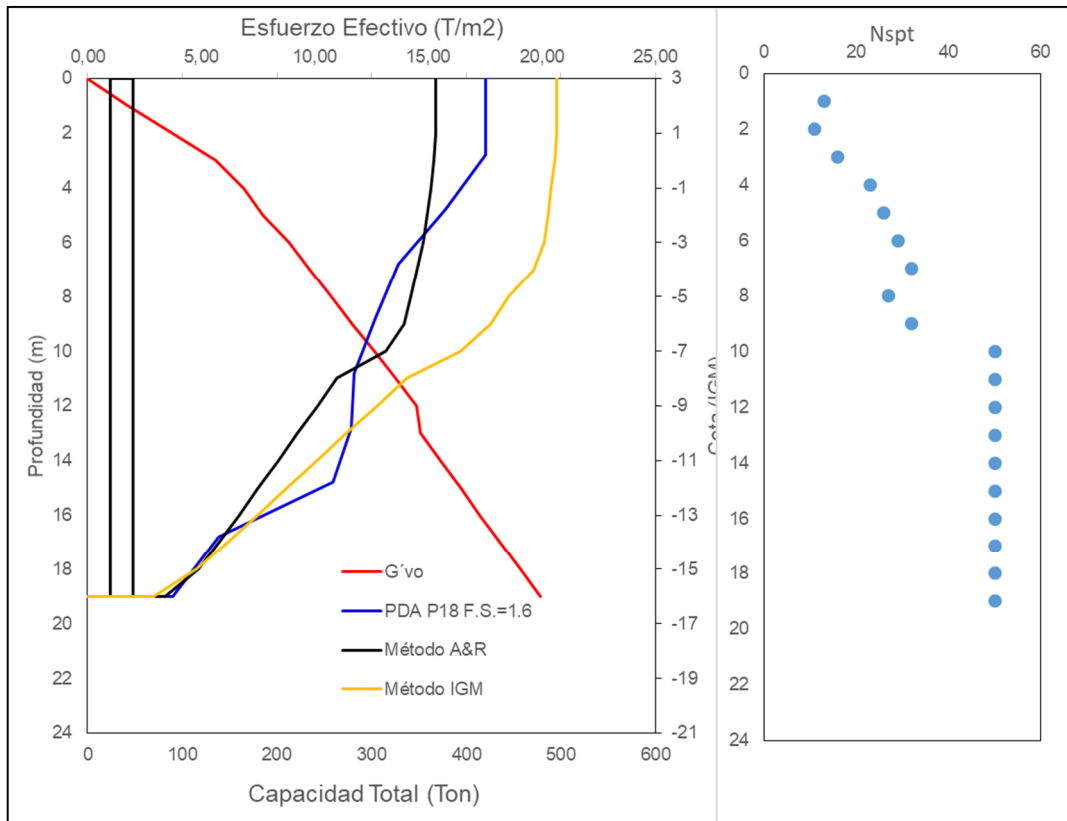
**Ilustración 27. Curvas de transferencia de cargas de PDA y métodos tradicionales para la zona 3, aplicados los factores de seguridad**



Fuente: Autor

Las curvas de transferencia de carga de PDA y métodos tradicionales para zona 2 aplicados los factores de seguridad ya establecidos muestra la siguiente forma:

**Ilustración 28. Curvas de transferencia de cargas de PDA y métodos tradicionales para zona 2, aplicados los factores de seguridad**



Fuente: Autor

### **3.3.3.1 Resumen de cálculo de capacidad última aplicados los factores de seguridad.**

La siguiente tabla indica en resumen, el cálculo de la capacidad última de los métodos y las pruebas de carga (PDA) aplicados los factores de seguridad obtenidos en el capítulo anterior, utilizando para las PDA dos factores de seguridad establecidos por las normas. Se puede observar que los valores del método A&R son más cercanos a los resultados de las pruebas realizadas en campo.

**Tabla 14. Resumen de capacidades últimas para cada zona aplicados los factores de seguridad correspondientes**

<b>Métodos</b>	<b>ZONA3</b>	<b>ZONA2</b>
	<b>CAPACIDAD TOTAL (Tn)</b>	<b>CAPACIDAD TOTAL (Tn)</b>
CAPWAP FS=2,2	348	306
CAPWAP FS=1,6	478	421
Aurora & Reese + BETA	430	367
Método IGM + BETA	590	495

Fuente: Autor



## 4 Capítulo 4

### 4.1 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De los resultados de la ilustración 20 y la ilustración 23 se obtuvo las siguientes conclusiones:

- Los resultados indican, a partir del cálculo de capacidad para la zona 3 y 2, que el método cohesivo IGM da resultados mucho mayores que el método Aurora & Reese y que los resultados de la prueba PDA, es decir ambos métodos tradicionales indican valores mayores a las pruebas dinámicas, especialmente por fuste.
- La capacidad por punta de los pilotes barrenados para ambos métodos indican valores muy cercanos a los de las pruebas dinámicas, pero el método de Aurora & Reese se semeja un poco más al PDA en cuanto a punta se refiere.
- Se pudo observar que el fuste tuvo mayor peso en la capacidad última del pilote, ya que la punta está asentada en un material arcilloso el cual no tiene muy buena resistencia a punta, lo que se ve reflejado en los resultados tanto de las PDA como de los métodos tradicionales.
- Al hacer un retro-cálculo para estimar la resistencia al corte no drenado y asumiendo que los resultados por capacidad fueron los obtenidos, el material que es considerado como roca degradada o lutita según la perforación, podría comportarse como una arcilla muy rígida a dura.

#### **Método A&R**

$$Q_p = A_p S_u N_c$$

$$Q_p = A_p 8 S_u$$

#### **Método IGM**

$$Q_p = A_p N_{cr} q_u$$

$$Q_p = A_p 6,8 S_u$$

**Tabla 15. Retro-cálculo de resistencia al corte según los resultados de punta de PDA**

	<b>ZONA 3</b>	<b>ZONA 2</b>
<b>PDA</b>	Qp=253 Tn	Qp=144 Tn
<b>A&amp;R</b>	su= 40Tn/m2= 400 KPA	su= 22Tn/m2= 200KPA
<b>IGM</b>	su= 47 Tn/m2 = 450KPA	su= 26 Tn/m2=250KPA

Fuente: Autor

**Tabla 16. Rangos de resistencia al corte según el tipo de suelo**

<b>SHEAR STRENGTH</b>	
Very Stiff clay	200-400 kPa
Hard clay	>400 kPa
Shale	3-30 MPa

Fuente: (Goodman, 1989)

De los factores de seguridad aplicados:

- Se utilizó los factores de seguridad debido a la incertidumbre del suelo ya que es difícil estimar una capacidad correcta y precisa por los métodos tradicionales, al utilizar un factor de seguridad de 1.6 para las PDA, se puede apreciar que los resultados del método de Aurora & Reese son menos conservadores en comparación con las PDA al momento de diseño, ya que con el método IGM se obtuvieron resultados mucho más altos.
- Una vez aplicados los factores de seguridad que normalmente se utilizan en la práctica, podemos ver que los resultados de Aurora & Reese son más cercanos a las pruebas realizadas en campo tomando en cuenta las limitaciones antes mencionadas. Por ende si se diseñan pilotes en las zonas de Santa Elena recomendaría usar el método de Aurora & Reese debido a que este material existe en una gran parte de Ballenita.
- Por otro lado se pudo verificar comprobar que los resultados de capacidad tanto de PDA como de los métodos tradicionales cumplen con la demanda de la estructura.

### Limitaciones de pruebas dinámicas

- La capacidad máxima alcanzada con las pruebas dinámicas fue de 7000-6000 KN según la zona correspondiente, lo cual la capacidad máxima que se estimó que alcanza el pilote está entre 4000-6000 KN sabiendo la altura y el peso del martillo según la ilustración de limitaciones de (Samuel G. Paikowsky (2004)). Lo cual demuestra que la capacidad obtenida en campo está en el límite superior de la limitación propuesta por (Samuel G. Paikowsky (2004)).
- No se utilizó un martillo más grande o de mayor peso debido a que la capacidad última del pilote necesitaba alcanzar una demanda de 2137 KN lo cual se cumplió en los resultados de las pruebas dinámicas.

## 4.2 BIBLIOGRAFÍA

- Alsamman, O. (2016). *Construction and Behavior of Drilled Shafts*, 12.
- Aurora, R., & Reese, L. (1976). *BEHAVIOR OF AXIALLY LOADED DRILLED SHAFTS IN CLAY-SHALES*. Austin, Texas. Recuperado de <https://library.ctr.utexas.edu/digitized/texasarchive/phase1/176-4-chr.pdf>
- Brown, D. A., Tummer, J. P., & Castelli, R. J. (2010). *DRILLED SHAFTS: CONSTRUCTION PROCEDURES AND LRFD DESIGN METHODS*. New York. Recuperado de <https://www.fhwa.dot.gov/engineering/geotech/foundations/nhi10016/nhi10016.pdf>
- Caicedo Aspiazú, A. C. (2010). *Pruebas dinámicas de la alta deformación con los cálculos teóricos*. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil. Recuperado de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/1101>
- Das, B. M. (2011). *Principles of foundation engineering*. Stamford, CT: Cengage Learning.
- Das, B. M., Cera Alonso, J. de la, & Bernal Carreño, I. (2001). *Principios de ingeniería de cimentaciones*. México: International Thomson Editors.
- Engeling, D. E., & Reese, L. C. (1974). *Behavior of Three Instrumented Drilled Shafts Under Short Term Axial 1 Load ing*. Astin, Texas 78763. Recuperado de <https://library.ctr.utexas.edu/digitized/texasarchive/phase1/176-3-chr.pdf>
- Figuroa Caballeros, C. R. (2003). *GENERALIDADES SOBRE EL ESTUDIO DEL DISEÑO DE 9 PILOTES, ENSAYOS DE INTEGRIDAD ESTRUCTURAL*

10 Y AVANCES TECNOLÓGICOS. Guatemala - Guatemala. Recuperado de [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_2301\\_C.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2301_C.pdf)

JEoprobe. (2016). Pruebas Dinámicas de Capacidad de Carga de Pilotes (PDA). Recuperado 15 de agosto de 2018, de [http://jeoprobe.com/servicio\\_pilotes\\_pda.html](http://jeoprobe.com/servicio_pilotes_pda.html)

Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI), & Cámara de la Industria de la Construcción (CAMICON). (2014, Diciembre). Norma ecuatoriana de la construcción. Dirección de Comunicación Social, MIDUVI. Recuperado de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-DS-Peligro-S%C3%ADsmico-parte-1.pdf>

Ministerio de desarrollo urbano y vivienda, Secretaría de Gestión de Riesgos, SGR, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD, & Oficina de Ayuda Humanitaria y Protección Civil de la Comisión Europea, ECHO. (2016, Septiembre). Guía práctica para la ejecución de estudios geotécnicos y trabajos de cimentación. Imprenta Activa. Recuperado de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/10/GUIA-6-GEOTECNICA.pdf>

O'Neil, M. W., & Reese, L. C. (1999). *DRILLED SHAFTS: CONSTRUCTION PROCEDURES AND DESIGN METHODS*. Irvine, CA 92614. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/240142400/O-NEIL-REESE-1999-DRILLED-SHAFTS-CONSTRUCTION-PROCEDURES-AND-DESIGN-METHODS-pdf>

Quinga Loya, K. M. (2017). *Metodología para el cálculo de la capacidad de carga en pilotes, basado en la norma ecuatoriana de la construcción (N.E.C)*.

Universidad de las fuerzas armadas, Sangolquí. Recuperado de <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/12819/T-ESPE-053796.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Sánchez Armijos, B. J. (2018). *CAPACIDAD DE CARGA VERTICAL POR FUSTE Y PUNTA DE PILOTES TUBULARES DE ACERO HUECOS*. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil. Recuperado de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/10138/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-231.pdf>

Goodman, R. E. (1989). *Introduction to rock mechanics* (2nd Ed.) New York: Wiley.

## **5 Anexos**

### **ANEXO 1: FACTORES DE SEGURIDAD GLOBALES EQUIVALENTES PARA VARIOS CÓDIGOS DE CIMENTACIONES PROFUNDAS**

Code (1)	EC7 (2)	Australia (3)	PDCA (4)	AASHTO (5)	IBC (6)
Year	2001 (d)	1995 ( c )	2001	1992	2000
design load-tons	50% DL	50% DL			>40
static analysis		2.12 to 3.44	3.5	3.50	6.00
Dynamic formula		2.50 to 3.06	3.5	3.50	NA
wave equation		2.50 to 3.06	2.5	2.75	NA
dynamic test (a)				2.25	2.00 (b)
low (# tests)	2.23 (#=2)	2.12 (<3%)	2.1 (2%)		
high (# tests)	1.95 (#>20)	1.72 (>15%)	1.9 (10%)		
static test				2.00	2.00
low (# tests)	2.29 (1)	1.93 (<1%)	2 (<0.5%)		
high (# tests)	1.64 (>5)	1.53 (>3%)	1.65 (>5%)		
static & dynamic (a, b)	(g)	(g)	(e)	1.90	(g)

Code (1)	ASCE driven piles (4)	ASCE driven piles (5)	ASCE driven piles (6)		
Year	1996 (f)	1996 (f)	1996 (f)		
design load-ton	16 to 40	40 to 100	>100		
static analysis	NA	NA	NA		
dynamic formula	2.0 – 2.4	NR	NR		
wave equation	1.8 to 2.2	1.9 to 2.3	NR		
dynamic test (a)	1.6 to 2.0	1.7 to 2.0	2.0 to 2.4		
low (# tests)					
high (# tests)					
static test	1.5 to 1.8	1.6 to 1.9	1.8 to 2.2		
low (# tests)					
high (# tests)					
static & dynamic (a, b)	(g)	(g)	(g)		

Notes: a	dynamic testing requires signal matching
B	requires at least one correlating static test
C	dynamic formula for sands only - not clays
D	draft code
E	3 dynamic tests can be substituted for 1 static test
F	depends on pile type, site variability, load conditions, etc.
G	no specific guidance
NA	not applicable
NR	not recommended



**ANEXO 2: PROCESO CONSTRUCTIVO DE PILOTES  
BARRENADOS CON CAMISA PERDIDA**





## **ANEXO 3: PERFORACIÓN SPT**



# INGENIERIA DE SUELOS Y CONSTRUCCIONES

AUTOPISTA TERMINAL TERRESTRE - PASCUALES, COOP. VALLE DE LOS GERANIOS  
 (VERGELES - CERRO COLORADO) Mz. # 42 V. # 4; PBX: 04-4808484  
 e-mail: insueco@yahoo.com

## INFORME DE RESULTADO DE ENSAYOS DE LABORATORIO

OBRA

PROTECCION DEL MALECON BALLENTA

ORDENADO POR  
 REVISADO POR  
 LOCALIZACIÓN

ING. CARLOS MOROCHO  
 ING. RICARDO TITUANA  
 BALNEARIO DE BALLENTA, CANTON SANTA ELENA,  
 PROVINCIA DE SANTA ELENA  
 ENERO, 12 DEL 2017

FECHA

### PERFORACION N° 1

RQD	Rock mass quality
<25%	muy pobre
25-50%	pobre
50-75%	normal
75-90%	bueno
90-100%	muy bueno



NIVEL FREÁTICO  
 COORDENADAS UTM  
 WGS 84 - ZONA 17M

3.20 m.  
 N 9756537  
 E 0514093

RELLENO= 3.00m.

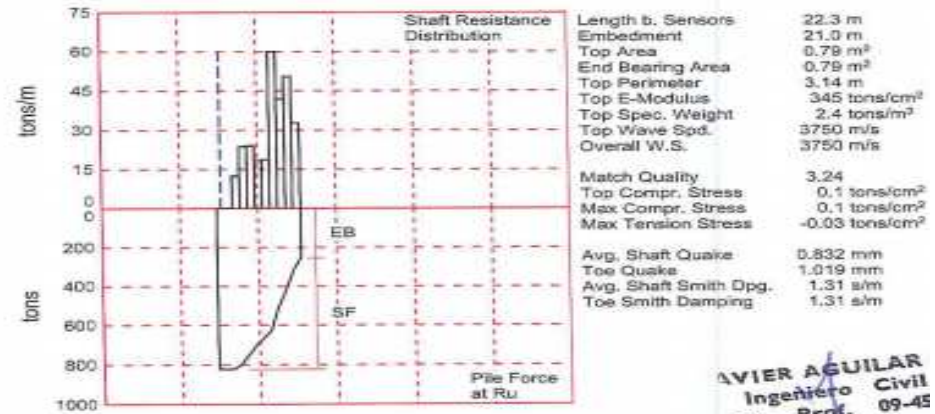
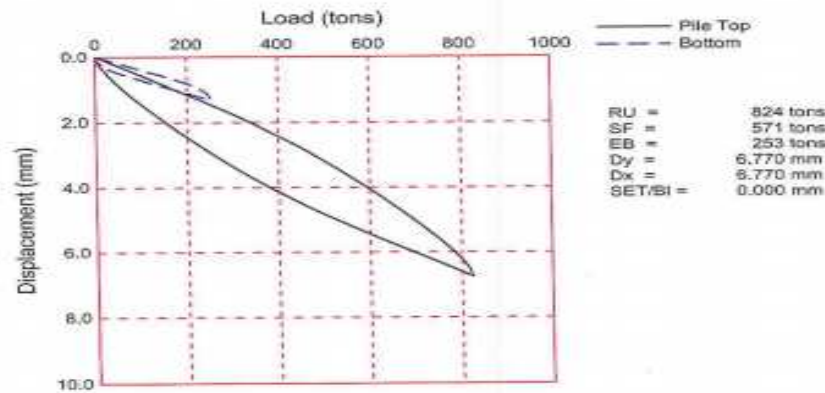
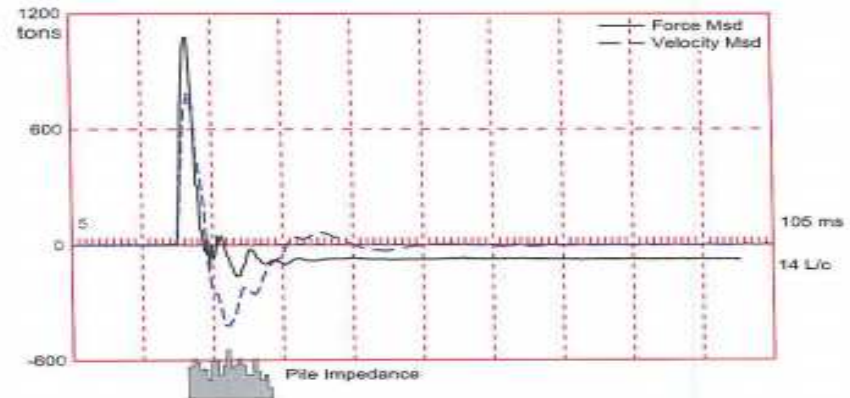
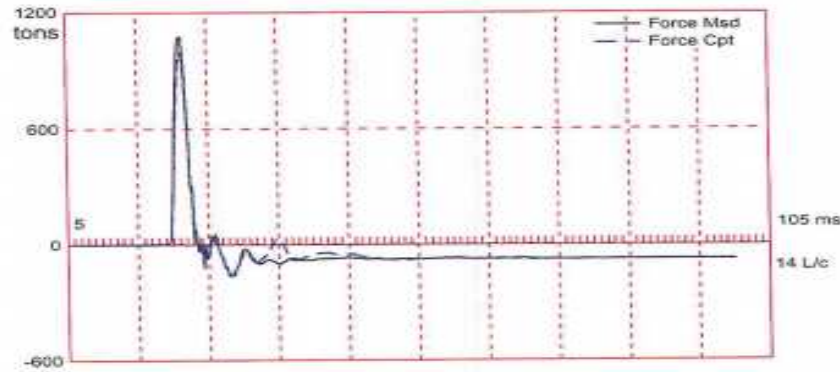
PROF. mts.	MUESTRA N°	ESTRATI- GRAFIA	CLASIFI- CACION	DESCRIPCION DEL MATERIAL	HUMEDAD %	LL. %	IP. %	% PASA DEL TAMIZ		$\gamma$ Kg/m <sup>3</sup>	$q_u$ Tn/m <sup>2</sup>	Golpes N60	RQD %
								N° 4	N° 200				
0.50													
1.00	1A		GM	RELLENO, GRAVA (COQUINA) COLOR CAFÉ CLARO, FINOS LIMOSOS NO PLASTICOS, COMPACIDAD RELATIVA MEDIANAMENTE DENSA.	4.82	NP	NP	53.30	15.76	1755		13/12"	
1.50													
2.00	1B		SM	ARENA CON CONCHILLA Y GRAVA (COQUINA), COLOR CAFÉ CLARO, FINOS LIMOSOS NO PLASTICOS, COMPACIDAD RELATIVA MEDIANAMENTE DENSA.	6.98	NP	NP	63.37	26.12	1865		11/12"	
2.50													
3.00	1C		SC	ARENA CON CONCHILLA Y GRAVA (COQUINA), COLOR CAFÉ CLARO, FINOS LIGERAMENTE PLASTICOS, COMPACIDAD RELATIVA MEDIANAMENTE DENSA.	5.47	24.89	3.85	82.81	23.92	1878		16/12"	
3.50	N.F.												

4.00	1	SM	ARENA CON CONCHILLA, COLOR GRIS ALGO CAFÉ, FINOS LIMOSOS NO PLASTICOS, COMPACIDAD RELATIVA MEDIANAMENTE DENSA	14.54	NP	NP	88.82	12.45	1917		23/12"	
4.50												
5.00	2	SM-SP	ARENA CON CONCHILLA, COLOR GRIS ALGO CAFÉ, POCOS FINOS LIMOSOS NO PLASTICOS, COMPACIDAD RELATIVA MEDIANAMENTE DENSA	20.99	NP	NP	100.00	5.89	1902		26/12"	
5.50												
6.00	3	CH	MATERIAL METEORIZADO DE MATRIZ ARCILLOSA, COLOR AMARILLA ALGO VERDE, PLASTICA, CONSISTENCIA MUY COMPACTA.	30.06	50.01	26.62	100.00	96.92	1941		29/12"	
6.50												
7.00	4	CH	MATERIAL METEORIZADO DE MATRIZ ARCILLOSA, COLOR COLOR GRIS ALGO AMARILLA Y VERDE, PLASTICA, CONSISTENCIA DURA.	27.40	50.25	27.79	96.24	71.84	1879		32/12"	
7.50												
8.00	5	CL	MATERIAL METEORIZADO DE MATRIZ ARCILLOSA, COLOR GRIS ALGO AMARILLA Y VERDE, MEDIANAMENTE PLASTICA, CONSISTENCIA MUY COMPACTA.	21.09	42.13	16.52	100.00	96.50	1991		27/12"	
8.50												
9.00	6	CH	MATERIAL METEORIZADO DE MATRIZ ARCILLOSA, COLOR GRIS ALGO AMARILLA Y VERDE, PLASTICA, CONSISTENCIA DURA.	28.16	52.96	29.61	100.00	96.91	1888		32/12"	
9.50												
10.00	7	CH	FORMACIÓN ROCOSA DE DUREZA BLANDA, MUY FRACTURADA, DE RQD MUY POBRE, MATRIZ ARCILLOSA, COLOR AMARILLA ALGO VERDE, PLASTICA, CONSISTENCIA DURA.	21.34	54.05	30.86	100.00	96.29	2012		50/8"	---

10.50													
11.00	8	CH	FORMACIÓN ROCOSA DE DUREZA BLANDA, MUY FRACTURADA DE RQD MUY POBRE, MATRIZ ARCILLOSA, COLOR AMARILLA ALGO VERDE, PLASTICA, CONSISTENCIA DURA.	27.38	56.49	33.46	99.40	97.49	2005		50/9"	---	
11.50													
12.00	9	SM-SP	ARENA CON CONCHILLA, COLOR CAFÉ CLARO, POCOS FINOS LIMOSOS NO PLASTICOS, COMPACIDAD RELATIVA MUY DENSA.	14.44	NP	NP	78.29	7.19	1964		50/8"	---	
12.50													
13.00	10	CL	FORMACIÓN ROCOSA DE DUREZA BLANDA, MUY FRACTURADA DE RQD MUY POBRE, MATRIZ ARCILLOSA, COLOR AMARILLA ALGO VERDE, PLASTICA, CONSISTENCIA DURA.	11.90	46.79	23.99	100.00	83.75	2132		50/2"	---	
13.50													
14.00	11	CH	FORMACIÓN ROCOSA DE DUREZA BLANDA, MUY FRACTURADA DE RQD MUY POBRE, MATRIZ ARCILLOSA, COLOR AMARILLA ALGO VERDE, PLASTICA, CONSISTENCIA DURA.	5.48	61.85	40.90	100.00	92.34	2267		50/4"	---	
14.50													
15.00	12	CH	FORMACIÓN ROCOSA DE DUREZA BLANDA, MUY FRACTURADA DE RQD MUY POBRE, MATRIZ ARCILLOSA, COLOR AMARILLA ALGO VERDE, PLASTICA, CONSISTENCIA DURA.	16.18	51.31	30.06	100.00	89.53	2267		50/3"	---	
15.50													
16.00	13	CH	FORMACIÓN ROCOSA DE DUREZA BLANDA, MUY FRACTURADA DE RQD MUY POBRE, MATRIZ ARCILLOSA, COLOR AMARILLA ALGO VERDE, PLASTICA, CONSISTENCIA DURA.	13.84	54.49	33.46	100.00	84.74	2158		50/3"	---	

## **ANEXO 4: RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DINÁMICAS**





**AVIER AGUILAR**  
Ingeniero Civil  
eg. Prof. 09-45

MALECON BALENITA; File: FARO P28  
Blow: 3

Test: 24-Mar-2018 12:19  
CAPWAP (R) 2014-3  
OP: GLADYS

EXTREMA TABLE

File Sgmnt No.	Dist. Below Gages m	max. Force tons	min. Force tons	max. Comp. Stress tons/cm <sup>2</sup>	max. Tens. Stress tons/cm <sup>2</sup>	max. Trnsfd. Energy tons-m	max. Veloc. m/s	max. Displ. mm
1	1.0	944.5	-193.1	0.1	-0.02	2.18	1.3	2.986
2	2.0	893.5	-216.2	0.1	-0.03	2.18	1.3	2.941
3	3.0	815.1	-212.2	0.1	-0.03	2.17	1.5	2.865
4	4.1	856.4	-198.9	0.1	-0.03	2.17	1.4	2.750
5	5.1	970.9	-188.4	0.1	-0.02	2.16	1.3	2.620
6	6.1	958.8	-169.1	0.1	-0.02	2.16	1.2	2.403
7	7.1	902.3	-209.4	0.1	-0.03	2.01	1.2	2.314
8	8.1	1025.6	-224.4	0.1	-0.03	2.01	1.1	2.236
9	9.1	938.5	-193.3	0.1	-0.02	1.75	1.0	2.171
10	10.1	928.6	-204.2	0.1	-0.03	1.75	1.0	2.157
11	11.2	857.9	-190.9	0.1	-0.02	1.53	1.0	2.139
12	12.2	880.9	-182.5	0.1	-0.02	1.52	1.0	2.062
13	13.2	759.2	-165.9	0.1	-0.02	1.36	1.0	1.975
14	14.2	754.6	-202.5	0.1	-0.03	1.36	1.0	1.884
15	15.2	769.8	-209.3	0.1	-0.03	1.20	0.9	1.794
16	16.2	814.6	-229.8	0.1	-0.03	1.20	0.8	1.710
17	17.2	574.3	-188.3	0.1	-0.02	0.82	0.8	1.679
18	18.2	588.4	-168.7	0.1	-0.02	0.82	0.8	1.653
19	19.3	430.6	-136.9	0.1	-0.02	0.57	0.8	1.616
20	20.3	444.4	-144.5	0.1	-0.02	0.57	0.8	1.506
21	21.3	260.4	-106.0	0.0	-0.01	0.32	0.8	1.417
22	22.3	307.3	-100.5	0.0	-0.01	0.25	0.8	1.147
Absolute	8.1			0.1			(T = 23.8 ms)	
	16.2				-0.03		(T = 32.7 ms)	

MALECON BALLEENITA; File: FARO P28  
Blow: 3

Test: 24-Mar-2018 12:19  
CAPWAP(R) 2014-3  
OP: GLADYS

CASE METHOD										
J =	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
RP	936	843	750	657	564	471	378	285	192	99
RX	936	843	750	657	564	471	378	285	192	99
RU	905	808	712	616	520	424	328	232	136	39

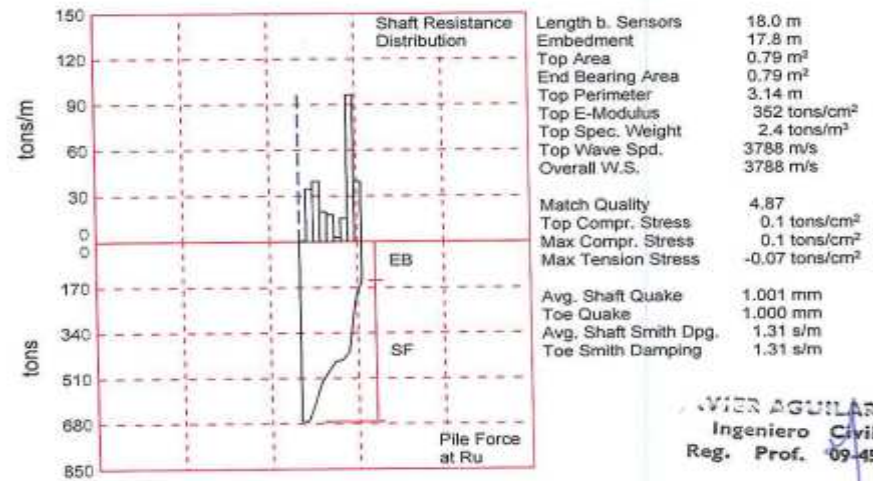
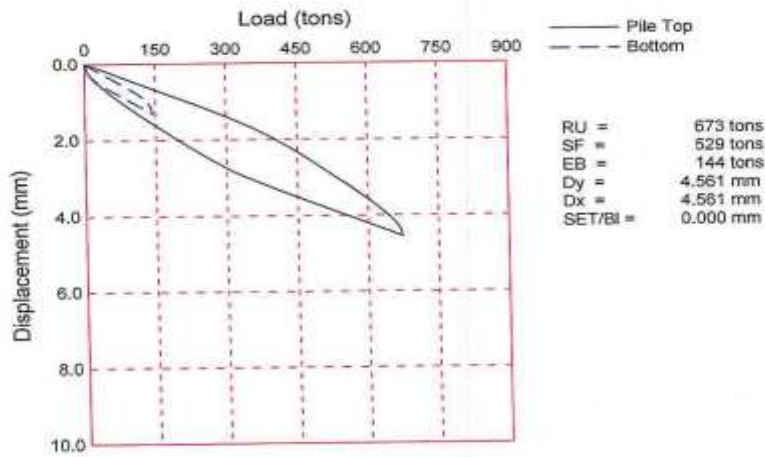
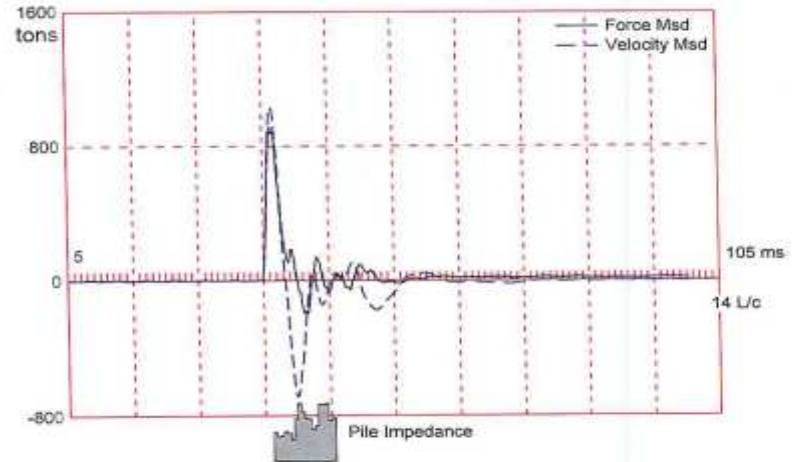
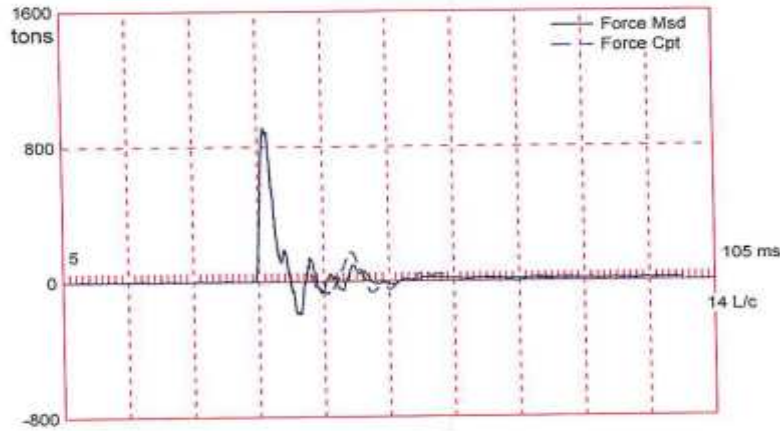
RAU = 0 (tons); RA2 = 0 (tons)

Current CAPWAP Ru = 824 (tons); Corresponding J(RP) = 0.12; J(RX) = 0.12

VMX	TVP	VT1*Z	FT1	FMX	DMX	DFN	SET	EMX	QUS	KEB
m/s	ms	tons	tons	tons	mm	mm	mm	tons-m	tons	tons/mm
1.1	21.62	821	1045	1167	2.766	-0.092	0.000	2.17	1566	253

PILE PROFILE AND PILE MODEL				
Depth	Area	E-Modulus	Spec. Weight	Perim.
m	m <sup>2</sup>	tons/cm <sup>2</sup>	tons/m <sup>3</sup>	m
0.0	0.79	344.6	2.403	3.14
22.3	0.79	344.6	2.403	3.14
Toe Area	0.79	m <sup>2</sup>		

Wave Speed: Pile Top 3750.0, Elastic 3750.0, Overall 3750.0 m/s  
Pile Damping 2.00 %, Time Incr 0.270 ms, 2L/c 11.9 ms



Javier Aguilar  
Ingeniero Civil  
Reg. Prof. 09-45

MALECON BALENITA; File: FARO P18  
Blow: 3

Test: 24-Mar-2018 12:04  
CAPNAP (R) 2014-3  
OP: GLADYS

EXTREMA TABLE

Pile Sgmt No.	Dist. Below Gages m	max. Force	min. Force	max. Comp. Stress	max. Tens. Stress	max. Transfd. Energy	max. Veloc.	max. Displ.
		tons	tons	tons/cm <sup>2</sup>	tons/cm <sup>2</sup>	tons-m	m/s	mm
1	1.0	925.7	-307.6	0.1	-0.04	1.93	1.4	2.554
2	2.0	965.6	-349.2	0.1	-0.04	1.92	1.3	2.388
3	3.0	984.6	-374.3	0.1	-0.05	1.91	1.3	2.166
4	4.0	1102.1	-337.6	0.1	-0.04	1.91	1.3	1.914
5	5.0	1123.8	-233.2	0.1	-0.03	1.62	1.1	1.681
6	6.0	1148.3	-242.8	0.1	-0.03	1.62	0.8	1.638
7	7.0	1023.6	-263.8	0.1	-0.03	1.41	0.8	1.662
8	8.0	963.1	-437.6	0.1	-0.06	1.40	0.8	1.647
9	9.0	880.6	-548.4	0.1	-0.07	1.27	0.9	1.596
10	10.0	825.2	-560.4	0.1	-0.07	1.27	0.9	1.507
11	11.0	882.9	-572.2	0.1	-0.07	1.19	0.9	1.409
12	12.0	950.8	-542.3	0.1	-0.07	1.18	0.7	1.330
13	13.0	954.2	-473.6	0.1	-0.06	1.16	0.6	1.464
14	14.0	949.9	-299.6	0.1	-0.04	1.15	0.7	1.527
15	15.0	898.5	-285.6	0.1	-0.04	1.08	0.7	1.562
16	16.0	894.9	-304.8	0.1	-0.04	1.07	0.7	1.570
17	17.0	572.1	-193.4	0.1	-0.02	0.60	0.9	1.592
18	18.0	352.3	-157.9	0.0	-0.02	0.36	1.0	1.583
Absolute	6.0			0.1			(T = 38.3 ms)	
	11.0				-0.07		(T = 43.0 ms)	

CASE METHOD

J =	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
RP	1014	909	804	699	594	489	384	279	174	69
RX	1014	909	804	699	594	489	388	289	192	157
RJ	1214	1129	1044	959	874	789	704	619	533	448

RAU = 0 (tons); RA2 = 16 (tons)

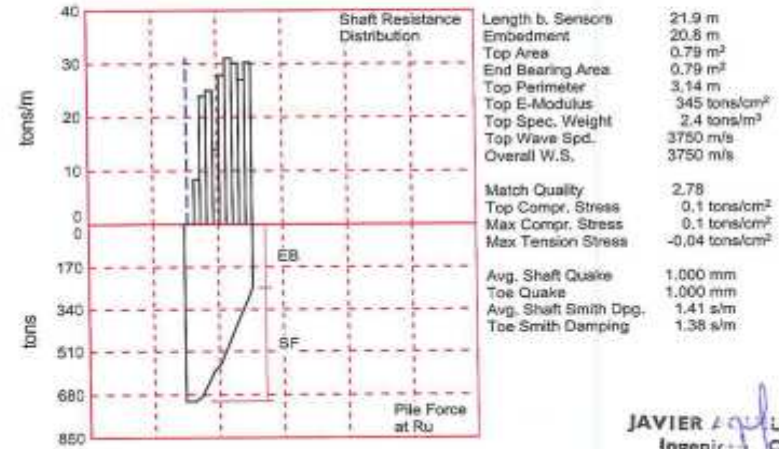
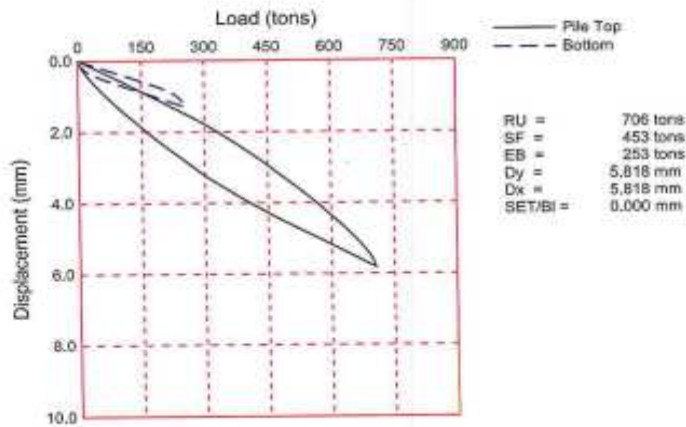
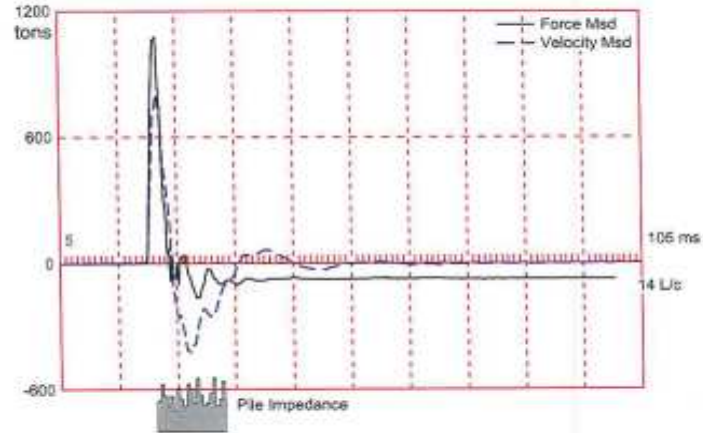
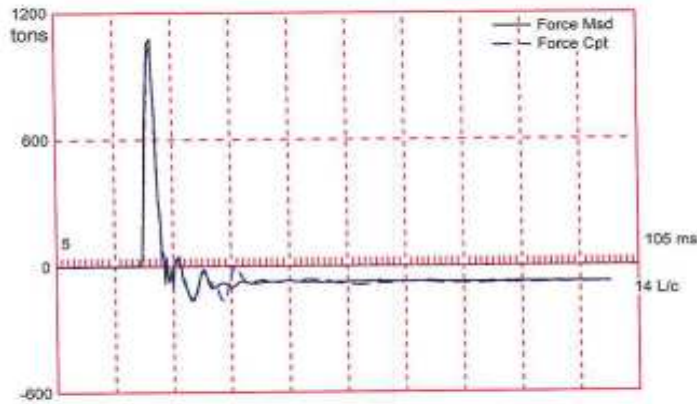
Current CAPNAP Ru = 673 (tons); Corresponding J(RP) = 0.33; J(RX) = 0.33


VNX	TVP	VT1*2	FT1	FMX	DMX	DFN	SET	EMX	QUS	KEB
m/s	ms	tons	tons	tons	mm	mm	mm	tons-m	tons	tons/mm
1.5	36.43	1112	953	973	2.666	-0.101	0.000	1.97	1476	144

PILE PROFILE AND PILE MODEL

Depth	Area	E-Modulus	Spec. Weight	Perim.
m	m <sup>2</sup>	tons/cm <sup>2</sup>	tons/m <sup>3</sup>	m
0.0	0.79	351.5	2.403	3.14
18.0	0.79	351.5	2.403	
Toe Area	0.79	m <sup>2</sup>		

JAVIER AGUILAR  
Ingeniero C  
Prof. 0



JAVIER  LAR G.  
Ingeniero Civil  
Reg. Prof. 09-4573

MALECON BALLENERA; File: FARO P26  
Blow: 3

Test: 24-Mar-2018 12:19  
CAPWAP(R) 2014-3  
OP: GLADYS

EXTREMA TABLE

File Sgmt No.	Dist. Below Gages m	max. Force tons	min. Force tons	max. Comp. Stress tons/cm <sup>2</sup>	max. Tens. Stress tons/cm <sup>2</sup>	max. Trnsfd. Energy tons-m	max. Veloc. m/s	max. Displ. mm
1	1.0	992.0	-203.7	0.1	-0.03	2.17	1.3	2.856
2	2.1	933.8	-233.5	0.1	-0.03	2.17	1.3	2.817
3	3.1	874.1	-242.0	0.1	-0.03	2.17	1.4	2.742
4	4.2	936.3	-242.3	0.1	-0.03	2.16	1.3	2.604
5	5.2	1020.2	-239.2	0.1	-0.03	2.15	1.2	2.479
6	6.3	952.8	-223.1	0.1	-0.03	2.03	1.2	2.279
7	7.3	1041.2	-226.4	0.1	-0.03	2.03	1.1	2.188
8	8.3	1005.5	-244.2	0.1	-0.03	1.76	1.0	2.092
9	9.4	997.1	-270.5	0.1	-0.03	1.76	1.0	2.043
10	10.4	925.8	-285.9	0.1	-0.04	1.53	1.0	2.040
11	11.5	968.7	-301.0	0.1	-0.04	1.53	0.9	1.997
12	12.5	871.5	-267.3	0.1	-0.03	1.41	1.0	1.898
13	13.6	837.9	-209.7	0.1	-0.03	1.40	1.0	1.822
14	14.6	768.8	-189.1	0.1	-0.02	1.19	0.9	1.724
15	15.6	862.1	-218.5	0.1	-0.03	1.18	0.8	1.620
16	16.7	753.9	-216.8	0.1	-0.03	1.01	0.8	1.572
17	17.7	732.5	-142.7	0.1	-0.02	1.01	0.8	1.601
18	18.8	676.8	-112.2	0.1	-0.01	0.84	0.8	1.622
19	19.8	700.4	-125.3	0.1	-0.02	0.84	0.7	1.634
20	20.9	517.3	-101.5	0.1	-0.01	0.69	0.9	1.637
21	21.9	472.5	-127.3	0.1	-0.02	0.56	0.9	1.610
Absolute	7.3			0.1			(T = 23.6 ms)	
	11.5				-0.04		(T = 30.6 ms)	

CASE METHOD

J =	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
RP	936	843	750	657	564	471	378	285	192	99
RX	936	843	750	657	564	471	378	285	192	99
RU	923	829	734	640	546	451	357	263	168	74

RAU = 0 (tons); RA2 = 0 (tons)

Current CAPWAP Ru = 706 (tons); Corresponding J(RP) = 0.25; J(RX) = 0.25

VMX	TVP	VT1*2	FT1	FMX	DMX	DFN	SET	EMX	QUS	KEB
m/s	ms	tons	tons	tons	mm	mm	mm	tons-m	tons	tons/mm
1.1	21.69	821	1045	1167	2.766	-0.092	0.000	2.17	1566	253

## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Loayza Romero, Santiago Edmundo** con C.C: # 0705117554 autor del trabajo de titulación: **Determinación de la capacidad portante de arcillas duras y lutitas en la zona costera de Ballenita en base a pruebas de carga dinámica**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 13 de Septiembre del 2018

f. \_\_\_\_\_

**Loayza Romero, Santiago Edmundo**

**C.C: 0705117554**





## REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

### FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

<b>TEMA Y SUBTEMA:</b>	Determinación de la capacidad portante de arcillas duras y lutitas en la zona costera de Ballenita en base a pruebas de carga dinámica		
<b>AUTOR</b>	Santiago Edmundo Loayza Romero		
<b>TUTOR</b>	Adolfo Carlos Caicedo Aspiazu		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Ingeniería		
<b>CARRERA:</b>	Ingeniería Civil		
<b>TITULO OBTENIDO:</b>	Ingeniero Civil		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	13 de Septiembre del 2018	<b>No. PÁGINAS:</b>	89
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Ingeniería de suelos, Geotecnia, Mecánica de suelos, Cimentaciones.		
<b>PALABRAS CLAVES:</b>	Pilotes Barrenados, Capacidad axial, SPT, PDA, CAPWAP, Factor de Seguridad		
<b>RESUMEN:</b>	<p>En Ecuador son muy utilizados los pilotes barrenados para cimentaciones profundas para todo tipo de estructuras ya sea en puentes o edificios, lo cual son estructuras de gran importancia que deben de soportar las cargas satisfactoriamente. Para esto se ha implementado el uso de las pruebas "Pile Dynamic Analysis" (PDA) con el correspondiente análisis "Case Pile Wave Analysis Program" (CAPWAP), siendo estas cada vez más utilizadas en nuestro país. Esta prueba es la manera más adecuada en campo de evaluar la capacidad última del pilote y la integridad del mismo. En el siguiente trabajo de titulación se ha utilizado los datos del proyecto ya construido que es el mirador del malecón de Ballenita que se encuentra ubicado en la provincia de Santa Elena, el cual se implementó el uso de pilotes barrenados para la cimentación. El estudio de suelos realizado muestra a los 10 metros de profundidad un material que presenta las características de una arcilla dura o una lutita descompuesta, por lo que se vio conveniente realizar pruebas de carga dinámica en los pilotes para comprobar que la capacidad de carga del pilote sea mayor que la demanda del mirador. Posteriormente se realizaron cálculos de capacidad última mediante el método de Aurora y Reese (1976) y los métodos drenado y no drenado del manual FHWA 2010, con la finalidad de comparar cuál de estos métodos simula las condiciones de las pruebas PDA, teniendo en cuenta que la literatura para el cálculo de este tipo de material es limitada.</p>		
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b> 0991125530	<b>E-mail:</b> santiagol_26@hotmail.com	
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):</b>	<b>Nombre:</b> Clara Glas Cevallos		
	<b>Teléfono:</b> +593-4 -2206956		
	<b>E-mail:</b> clara.glas@cu.ucsg.edu.ec		
<b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>			
<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>			
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>			
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>			