



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TEMA:
CAPACIDAD DE CARGA VERTICAL POR FUSTE Y PUNTA DE
PILOTES TUBULARES DE ACERO HUECOS**

**AUTOR:
Sánchez Armijos, Bryan Josué**

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

**TUTOR:
Ing. Luque Nuques, Roberto Xavier, Ph.D.**

Guayaquil, Ecuador

7 de marzo, 2018



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por **Sánchez Armijos, Bryan Josué**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Civil**.

TUTOR

f. _____
Ing. Roberto Xavier Luque Nuques, Ph.D.

DIRECTORA DE CARRERA

f. _____
Ing. Stefany Esther Alcívar Bastidas, Mgs.

Guayaquil, a los 7 días del mes de marzo del año 2018



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Sánchez Armijos Bryan Josué**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, **Capacidad vertical por fuste y punta de pilotes tubulares de acero huecos**, 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 7 días del mes de marzo del año 2018

EL AUTOR

f. _____
Sánchez Armijos, Bryan Josué



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

AUTORIZACIÓN

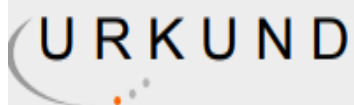
Yo, **Sánchez Armijos, Bryan Josué**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Capacidad vertical por fuste y punta de pilotes tubulares de acero huecos**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 7 días del mes de marzo del año 2018

EL AUTOR:

f. _____
Sánchez Armijos, Bryan Josué



Urkund Analysis Result

Analysed Document: TRABAJO DE TITULO BRYAN SANCHEZ.doc (D35961128)
Submitted: 2/27/2018 2:05:00 PM
Submitted By: claglas@hotmail.com
Significance: 2 %

Sources included in the report:

TESIS FINAL NICOLAS GRANDA.docx (D21251848)
1334-CISNEROS GARCIA, GOYO BERNARDINO.pdf (D30233580)
TESIS_KLEBER_QUINGA.docx (D26208547)

Instances where selected sources appear:

AGRADECIMIENTO

A Dios por las bendiciones recibidas y el amor incondicional con mi familia.

A mis padres y a mis hermanos por el apoyo incondicional y la ayuda brindada durante toda la vida.

Al Ing. Roberto Luque por la colaboración en la dirección del presente trabajo.

DEDICATORIA

Este trabajo de grado está dedicado a mis padres que son el pilar de mi formación, por las oportunidades brindadas, el cual sin su ayuda nunca podría haberlo alcanzado.



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

f. _____

Ing. Roberto Xavier Luque Nuques, Ph.D.

TUTOR

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

Ing. Stefany Esther Alcívar Bastidas, M.Sc.

DIRECTORA DE CARRERA

f. _____

Ing. Claudio Olavide Luque Rivas, M.Sc., M.Eng.

OPONENTE

f. _____

Ing. Oswaldo Francisco Ripalda Nuques, M.Sc.

DELEGADO DEL COORDINADOR DEL ÁREA

ÍNDICE GENERAL

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	Metodología	4
2	CAPÍTULO 2.....	5
2.1	Revisión de Literatura	5
2.2	Métodos de consideración para la consideración de zona de influencia	6
2.2.1	Método ICP (Imperial College Pile)	7
2.2.2	Método UWA (University of Western Australia).....	8
2.2.3	Método HKU (Hong Kong University).....	9
2.2.4	Método JGJ 94-2008.....	9
2.2.5	Método TBJ37	9
2.3	Resumen de zonas de influencias para el análisis	10
2.4	Mecanismo de Transferencia de Carga.....	10
2.5	Métodos Dinámicos.	11
2.5.1	PDA (Pile Driving Analyzer)	12
2.5.2	Análisis CAPWAP (Case Pile Wave Analysis Program).....	13
2.6	Datos Generales de los Proyectos	14
2.6.1	Puente Guayaquil-Samborondón	14
2.6.2	Puente Bahía	18
2.6.3	Puente Santay.....	22
3	CAPÍTULO 3.....	26
3.1	Capacidad por Punta	26
3.1.1	Capacidad de carga en pilotes mediante número de golpes....	26

3.1.2	Teoría Capacidad por Punta. Según Meyerhof	27
3.1.3	PILA 2 – PILOTE 3 Puente Guayaquil – Samborondón.....	29
3.1.4	Relación qp2 vs L/D, para todos los datos del puente.	33
3.1.5	PILA 10, PILOTE 4, Puente Bahía de Caráquez – San Vicente. 33	
3.1.6	Relación qp2 vs L/D, para todos los datos del puente.	38
3.1.7	PILA 3, PILOTE 3, Puente Guayaquil – Isla Santay.....	38
3.1.8	Relación qp2 vs L/D, para todos los datos del puente.	42
3.2	Interpretación de Resultados mediante gráficas.....	42
3.2.1	Curva Longitud vs Esfuerzo Efectivo, en función del diámetro	42
3.2.2	Relación L/D vs Esfuerzo efectivo.....	44
3.2.3	Relación (L/D) vs Número de Golpes, Todas las alternativas de N60.	45
3.2.4	Relación Longitud (L) vs Capacidad por Punta total (Qp), para valores de N60, Alternativa 3.....	51
3.2.5	Relación Nqp2 vs L/D.....	52
4	CAPÍTULO 4.....	55
4.1	Capacidad por Fuste.....	55
4.1.1	Métodos para calcular capacidad por fuste, según varios autores.....	56
4.2	Proyecto: Puente Guayaquil – Samborondón. Pila 2, Pilote 3.....	59
4.2.2	Proyecto: Puente Bahía de Caráquez – San Vicente. Pila 10, Pilote 4.....	63
4.2.3	Proyecto: Puente Guayaquil – Isla Santay. Pila 2, Pilote 3.	66
4.2.4	Esfuerzo Efectivo (G'vo) para diferentes alternativas de N60 según sea el diámetro y la capacidad por fuste.....	69
4.2.5	Relación β - Longitud de penetración del pilote (L), para su respectivo esfuerzo efectivo (G'vo)	70
4.2.6	Relación β y fs, para distintos diámetros de pilotes.....	71
4.2.7	Relación L/D y fs	72
4.2.8	Relación Pendiente por fuste y N60, para la longitud considerada en función de un cambio brusco de N60 o una pendiente excesiva.....	72

4.2.9	Relación Esfuerzo Efectivo con Capacidad por fuste del correspondiente análisis CAPWAP.....	73
5	CAPÍTULO 5.....	74
5.1	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Alternativas según varios autores para la consideración del valor N60	10
Tabla 2. Pila 2, Pilote 3. Profundidad, Cota y Clasificación SUCS.....	17
Tabla 3. Clasificación SUCS de cada estrato con sus respectivos Parámetros	18
Tabla 4. Pila 10, Pilote 4. Profundidad, Cota y Clasificación SUCS.....	20
Tabla 5. Profundidad y Cota con su respectiva clasificación SUCS por estrato.....	21
Tabla 6. Pila 2, Pilote 3. Profundidad, Cota y Clasificación SUCS.....	24
Tabla 7. Clasificación SUCS de cada estrato con sus respectivos Parámetros.	25
Tabla 8. Capacidad por punta y fuste de la pila 2, pilote 3, correspondiente al tramo central del puente Guayaquil – Samborondón.....	31
Tabla 9. Resultados de la capacidad por punta unitaria.	32
Tabla 10. Resultados Nq	32
Tabla 11. Capacidad por punta y fuste de la pila 10, pilote 4, correspondiente al tramo Bahía de Caráquez.	36
Tabla 12. Resultados de la capacidad por punta unitaria.	37
Tabla 13. Resultados Nq	37
Tabla 14. Capacidad por punta y fuste de la pila 2, pilote 3, correspondiente al acceso Guayaquil, del puente Guayaquil - Santay.....	41
Tabla 15. Resultados de la capacidad por punta unitaria.	41
Tabla 16. Resultados Nq	41
Tabla 17. Relación de datos estimados mediante formula y datos de análisis CAPWAP	53
Tabla 18. Facotres de Adehrencia	56
Tabla 19. Valores típicos de β según el tipo de suelo.....	58
Tabla 20. Datos de pruebas de cargas dinámicas y análisis CAPWAP.....	60
Tabla 21. Datos de pruebas de cargas dinámicas y análisis CAPWAP.....	63
Tabla 22. Datos de pruebas de cargas dinámicas y análisis CAPWAP.....	67
Tabla 23. Base de datos de los 3 proyectos, para la estimación de capacidad por punta a partir del Nqp	77

Tabla 24. Base de datos de los 3 proyectos, para la estimación de capacidad por fuste.....	78
--	----

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Ilustración esquemática de la formación de tapón del suelo y el mecanismo de transferencia de carga.....	8
Ilustración 2. Zona de influencia para promediar la resistencia de la punta, cerca de la base del pilote.	10
Ilustración 3. Transferencia de carga, a lo largo de la longitud del pilote.....	11
Ilustración 4. Deformímetro y Acelerómetro instalados en la estructura cimentada	12
Ilustración 5. Pasos del análisis CAPWAP	13
Ilustración 6. Análisis CAPWAP del proyecto Guayaquil – Samborondón. Tramo central, Pila 2, Pilote 3.	14
Ilustración 7. Mapa de la ubicación de los dos cantones: Guayaquil y Samborondón y sitio del proyecto.....	16
Ilustración 8. Ampliación de la figura 2.2.1. Donde se muestra un acercamiento al sitio del proyecto.....	16
Ilustración 9. Mapa de la ubicación de dos ciudades de la Provincia de Manabí: Bahía de Caráquez y San Vicente.	20
Ilustración 10. Mapa de la ubicación del Sur de la ciudad de Guayaquil y La Isla Santay.	23
Ilustración 11. Ángulo de fricción del suelo.....	28
Ilustración 12. Curva de Capacidad, para la Pila 2, Pilote 3 del tramo central del puente.	30
Ilustración 13. Análisis CAPWAP, para la Pila 2, Pilote 3 del tramo central del puente.....	31
Ilustración 14. Capacidad portante unitaria con relación longitud de penetración y diámetro	33
Ilustración 15. . Diagrama de Esfuerzo vs Profundidad y pilote a analizar con prueba PDA.	34
Ilustración 16. Análisis CAPWAP, para la Pila 10, Pilote 4 del acceso Bahía de Caráquez.	35
Ilustración 17. Curva de Capacidad de Carga	36
Ilustración 18. Capacidad portante unitaria con relación longitud de penetración y diámetro	38
Ilustración 19. Diagrama de Esfuerzo vs Profundidad y pilote a analizar con prueba PDA.	39

Ilustración 20. Análisis CAPWAP, para la Pila 2, Pilote 3 del acceso Guayaquil.....	40
Ilustración 21. Capacidad portante unitaria con relación longitud de penetración y diámetro	42
Ilustración 22. Longitud de pilote (m) vs Gvo (T/m ²). Para diferentes diámetros	43
Ilustración 23. Relación L/D vs Esfuerzo Efectivo en función del diámetro..	44
Ilustración 24. Relación (L/D) vs Esfuerzo Efectivo, con el tipo de material al cual el pilote se encuentra asentado.....	45
Ilustración 25. Relación N60 vs [N60 / (L/D)]	46
Ilustración 26. Relación L/D vs Capacidad por punta para todos los proyectos. Datos de cargas dinámicas PDA.....	47
Ilustración 27. Capacidad por Punta vs Relación L/D, para cada proyecto con sus respectivos diámetros	47
Ilustración 28. Relación G´vo con Longitud de penetración del pilote, para su Capacidad total por punta.....	48
Ilustración 29. Esfuerzo Efectivo vs Capacidad por Punta, de todos los datos.	49
Ilustración 30. Esfuerzo Efectivo (G´vo) vs Capacidad por punta (Qp), para diferentes diámetros.	49
Ilustración 31. Esfuerzo Efectivo vs Capacidad por punta, con diferentes tipos de estratos en el cual se asentaron los pilotes.....	50
Ilustración 32. Capacidad por punta vs Longitud	51
Ilustración 33. Relación longitud de penetración y Nq “estimado”	52
Ilustración 34. Relación ecuaciones de las rectas de la ilustración 33 con el diámetro.....	53
Ilustración 35. Respuesta del suelo en el fuste y en la punta del pilote ante cargas impuestas.....	55
Ilustración 36. Resistencia no drenada del suelo con coeficiente en condiciones no drenadas	56
Ilustración 37. β en función de OCR	58
Ilustración 38. Valores de coeficiente de fricción lateral.	59
Ilustración 39. Curva de Capacidad de carga. PILA 2, Pilote 3.	61
Ilustración 40. Relación f_s vs σ'_{vo}	62
Ilustración 41. Curva de Capacidad de carga. PILA 2, Pilote 3.	65

Ilustración 42. Relación f_s vs σ'_{vo}	66
Ilustración 43. Curva de Capacidad de carga. PILA 2, Pilote 3.	68
Ilustración 44. Relación f_s vs σ'_{vo}	69
Ilustración 45. Esfuerzo Efectivo vs N60.....	70
Ilustración 46. β - Longitud de Penetración.....	71
Ilustración 47. β - f_s	71
Ilustración 48. L/D vs f_s	72
Ilustración 49. Relación Pendiente por fuste vs N60.....	72
Ilustración 50. G'_{vo} vs Q_f	73

RESUMEN

Los pilotes tubulares de acero son cada vez más usados en el Ecuador en grandes proyectos. Su gran capacidad a carga vertical y lateral los hace atractivos especialmente cuando se considera la facilidad logística de aumentar o disminuir la longitud de pilotes de acuerdo a las condiciones del sitio mediante la soldadura de más piezas o corte de las mismas. Por otro lado, las pruebas “Pile Dynamic Analysis” (PDA) y los correspondientes análisis “Case Pile Wave Analysis Program” (CAPWAP) son cada vez más usados para validar en campo longitud de pilotes mediante el chequeo de capacidad de carga. En este trabajo se ha usado los datos de proyectos construidos en el litoral ecuatoriano con pilotes tubulares de acero de 0.8, 1.2 y 1.5 m de diámetro y se ha realizado una base de datos de parámetros de suelo y resultados de capacidad por punta y fuste obtenidos de pruebas PDA/CAPWAP. Posteriormente, se realizaron retro-cálculos para poder estimar la capacidad por punta de pilotes tubulares de acero, encontrando que la misma depende de la relación entre la longitud de penetración y el diámetro del pilote (L/D). Se encontró también que para pilotes de 0.8 m de diámetro más área de punta está actuando respecto a los pilotes de 1.2 y 1.5 m de diámetro.

Palabras claves: Pilotes, Capacidad vertical, Capacidad lateral, Longitud, Diámetro, PDA, CAPWAP, Carga, Punta, Fuste, Tubular

ABSTRACT

Open-ended, Steel, pipe piles are being used more often in important projects in Ecuador. Their great axial and lateral capacity make the an attractive pile alternative, especially when considering the logistic advantage of increasing or decreasing their length depending on the site conditions through welding or cutting of pieces. On the other hand, Pile Dynamic Analyses (PDA) and (CAPWAP) are being used more often in Ecuador to validate pile length by checking the bearing capacity. In this work, a database of geotechnical parameters as well as data of CAPWAP-determined geotechnical capacities has been compiled of projects built in the coast of Ecuador with open-ended, steel, pipe piles of 0.8, 1.2 and 1.5 m in diameter. Back-analyses were performed to be able to estimate tip resistance of open-ended pipe piles, finding that the tip resistance is a function of the ratio of embedment length and pile diameter (L/D). It was also found that for the 0.8 m diameter piles more tip area was working than for 1.2 and 1.5 m diameter piles.

Keywords: Piles, Vertical capacity, Lateral capacity, Length, Diameter, PDA, CAPWAP, Load, Tip, Shaft, Tubular.

1 CAPÍTULO 1

1.1 Introducción

Las cimentaciones con pilotes se requieren en circunstancias especiales, cuando el estrato superior del suelo es altamente compresible y muy débil para soportar las cargas transmitidas por la superestructura, es decir, cuando no se encuentra un material con características mecánicas, de resistencia y compresibilidad, que permitan cimentar el proyecto superficialmente.

Los pilotes tubulares de acero son cada vez más usados en la industria de la construcción en Ecuador. La facilidad para la hincada y para modificar la longitud de los mismos a través de soldadura de más piezas o corte de las mismas los hace una opción atractiva respecto a los pilotes hincados de sección llena. La capacidad estructural y la rigidez de los pilotes de acero es considerable y las mismas pueden ser mejoradas mediante llenado de hormigón del tubo de acero en las secciones de pilote donde sean necesarios.

En Ecuador, en grandes proyectos de infraestructura se han usado este tipo de pilotes, siendo su uso cada vez más común. Sin embargo, las metodologías “convencionales” para estimar las capacidades de carga por punta y por fuste no siempre dan resultados coherentes con observaciones de pruebas dinámicas de carga PDA (Pile Driving Analyzer) y los correspondientes análisis CAPWAP (Case Pile Wave Analysis Program). La capacidad por punta total (Q_p) de los pilotes tubulares huecos se ve afectada por el área que se considera que actúa como punta, la misma que depende de la formación o no del tapón de suelo, pudiendo afectar considerablemente los estimados de capacidad por punta. La capacidad por fuste también puede ser incorrectamente estimada porque en los pilotes donde no se forma el tapón puede haber resistencia por fuste en el interior del pilote.

En los últimos años, en Ecuador se ha normalizado el uso de pruebas de carga dinámica PDA y los correspondientes análisis CAPWAP como herramienta de validación de la profundidad de punta de los pilotes durante

el proceso constructivo. La recopilación, ordenamiento, evaluación, y análisis de datos de pruebas de carga dinámica en conjunto con sondeos de suelo para pilotes tubulares de distintos diámetros y profundidades que servirían para proveer recomendaciones futuras para la estimación de capacidad de carga por punta y fuste de pilotes tubulares de acero.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

- Evaluar y estudiar sondeos, registros de hinca y resultados de pruebas de carga dinámica para proponer un método simplificado para estimar la capacidad por fuste y punta de pilotes tubulares de acero en la zona litoral del Ecuador.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Revisión integral de la literatura respecto a la estimación de capacidad de carga vertical, por fuste y punta, de pilotes tubulares de acero huecos.
- Retro-cálculo de parámetros para la estimación de capacidad vertical de pilotes; parámetros β y N_q para el fuste y la punta respectivamente.
- Análisis estadístico de los resultados encontrados.
- Estudiar el efecto de varios parámetros en la capacidad por fuste y punta de los pilotes tubulares de acero.

1.3 Alcance

El trabajo de grado presentara análisis y evaluaciones estadísticas de las capacidades por fuste y punta de pilotes tubulares de acero. En base a dichos análisis se presentarán recomendaciones para la estimación de las capacidades para futuros proyectos y bajo condiciones similares a las de los proyectos de estudio. El trabajo también comentara sobre el rango de aplicación de las recomendaciones y de la validez de las pruebas PDA y CAPWAP.

1.4 Metodología

Durante el trabajo de grado se desarrollarán metodologías y procedimientos correspondientes a ingeniería geotécnica y estadística:

- Estimación de esfuerzos efectivos con la profundidad
- Estimar valores representativos y variaciones de parámetros obtenidos de pruebas in-situ (N60, por ejemplo) o pruebas de laboratorio.
- Estimar curva de capacidad de pilotes donde se hayan ejecutado pruebas PDA y análisis CAPWAP.
- Retro-cálculo de capacidad de carga por fuste y por punta de pilotes con pruebas PDA y correspondiente análisis CAPWAP.
- Obtener datos promedio, variabilidad y niveles de confianza de parámetros usualmente usados para la estimación de capacidad de carga vertical tanto por fuste y punta.

2 CAPÍTULO 2

2.1 Revisión de Literatura

(Yu & Yang, 2012), estudian la incertidumbre al momento en la determinación de la capacidad por punta de los pilotes tubulares de acero y presentan un nuevo enfoque basado en pruebas de penetración de cono (CPT), que toma en cuenta una zona de influencia para promediar la resistencia a la punta del CPT en base a consideraciones de los efectos de la penetración del pilote (L), la heterogeneidad y la compresibilidad del suelo debido a un mecanismo de falla en una zona cercana a la punta del pilote.

(Paik et al. 2003), discuten la diferencia entre un pilotes abiertos y cerrados. El estudio se basó generalmente en los parámetros que afectan su capacidad y de la medición de la longitud del tapón del suelo durante la penetración, permitiendo calcular valores de IFR (Incremental Filling Ratio). Compararon un perfil de resistencia del cono CPT con la profundidad, además, notaron que el factor IFR aumenta de igual manera que una densidad relativa. Además, observaron, un conteo acumulativo de golpes puede llevar a una penetración mayor por parte de un pilote abierto que de un cerrado a una misma profundidad.

(Hajduk et al. 2007), discuten acerca de la correlación entre PLR (Plug Length Ratio) e IFR (Incremental Filling Ratio), pilotes de extremo abierto penetrados en suelos orgánicos muy suaves y altamente plásticos, puede conducir a lecturas erróneas de PLR e IFR. Sugieren un aumento de la capacidad por punta tomando en cuenta el taponamiento parcial al momento de la penetración y del aumento de la contribución del tapón al suelo en función del tiempo.

(Ko & Jeong, 2015), estudian los mecanismos de capacidad de carga para pilotes abiertos, la resistencia que actúa en el interior del pilote, factores tales como la longitud de penetración (L), diámetro del pilote (D), y de la longitud de columna de suelo (Lf), que se incrusta en el interior del pilote a medida que se lo profundiza.

(Bengt & Fellenius, 2015), estudian mediciones dinámicas de pruebas de carga, durante las pruebas de conducción y carga estática. Usando mediciones de deformación para determinar una distribución de carga.

(Ko & Jeong, 2014), estudian el efecto de la obstrucción en pilotes, y como afecta este en la capacidad, para pilotes abiertos, penetrados en suelo arenoso, la influencia en la resistencia interna del eje. Discuten acerca de la relación entre la resistencia interna del eje y la resistencia por la carga del anillo. Además, de la consideración de la resistencia total en función al aumento del diámetro del pilote.

(Gallagher¹ & Gavin, 2007), consideran para su estudio ensayos de pilotes abiertos y cerrados realizados en un suelo limo arcilloso blando. Discuten acerca de las tensiones radiales totales y su distribución a lo largo de los pilotes, basándose en el diámetro como parámetro de normalización, ya que el diámetro es un factor de corrección de área.

(Henke & Bienen, 2003), discuten sobre la obstrucción del suelo en pilas abiertas, dicha obstrucción no solo conduce a un aumento en la capacidad de carga de compresión, sino que también influye en la resistencia a la hincada del pilote. Describen numerosos factores que afectan al pilote debido a una tendencia del suelo al obstruirlo, por ejemplo, la geometría de la pila, la profundidad de penetración y el método de instalación.

(Paik & Salgado, 2003), discuten acerca de la capacidad de carga de las pilas abiertas y su afectación por el grado de obstrucción del suelo, que se puede cuantificar a través del IFR (Incremental Filling Ratio), la relación que existe entre la IFR con el PLR (Plug Length Ratio), es decir, IFR aumenta linealmente con el PLR.

2.2 Métodos de consideración para la consideración de zona de influencia

Los métodos que se mencionarán a continuación están basados en el estudio de capacidad de carga con un enfoque mejorado, junto con las consideraciones teóricas y las observaciones experimentales que respaldan a cada uno de sus autores, en base a una serie de datos, los cuales tienen como principal punto de vista, el efecto de obstrucción del pilote, a medida

que este penetra el suelo, que se considera como un aspecto clave en el diseño de pilotes de acero tubulares, y de la necesidad de una mejora adicional.

Existen varios métodos, basados en ensayos CPT para aprovechar el uso generalizado de los datos del CPT en el diseño de cimientos del pilote, toma en consideración varios factores importantes que se han ignorado en gran medida en los métodos actuales.

2.2.1 Método ICP (Imperial College Pile)

El efecto de este método toma en consideración la obstrucción del suelo y la variabilidad en la capacidad de la punta del pilote. Se desarrolló a partir de una base de datos de pruebas de carga de pilotes y datos CPT. Este método requiere la determinación del modo de obstrucción, para lo cual la siguiente expresión determinará el comportamiento de un pilote libre:

$$d \geq 2.0(D_r - 0.3) \text{ or } d \geq 0.03q_{c,a}$$

Donde, “d” es el diámetro interno del pilote en metros, “Dr” es la densidad relativa del suelo cerca de la punta del pilote y “qc,a” es la resistencia promedio en la punta del ensayo CPT, sobre un rango específico cerca de la base del pilote en (MPa)

Si ninguna de las condiciones se cumple, se supone que se forma un tapón rígido, y la pila se clasifica como totalmente taponada.

En este método se promedia la resistencia de la punta CPT sobre una zona que se extiende 1.5D por debajo de la base del pilote y 1.5 por encima de la base. (Paik et al. 1990)

La capacidad de la punta se proporciona solo por el área del anillo, de resistencia de qc, sin embargo, para una pila totalmente tapada, la resistencia de la punta se toma como la mitad de la resistencia de la punta de una pila cerrada. Es evidente que el método ICP relaciona el diámetro interno del pilote (d) y la densidad relativa (Dr) del suelo en la punta del pilote, como los factores principales que rigen la obstrucción del suelo y la

capacidad de la punta. Para los pilotes abiertos instalados en arena, el grado de obstrucción del suelo también está estrechamente relacionado con las longitudes de penetración del pilote.

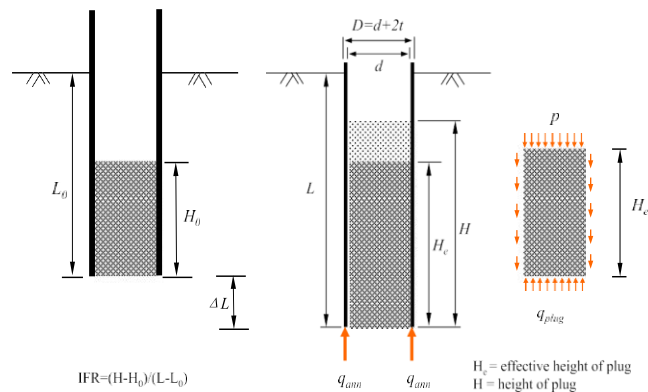
2.2.2 Método UWA (University of Western Australia)

Se desarrolló en su mayoría a partir del método ICP, incorporando varias modificaciones. En este método, la capacidad de un pilote tubular de acero, se calcula a partir de una correlación empírica que se calibró a partir de una base de datos de pruebas de carga de pilotes, de la siguiente manera:

$$\frac{q_b}{q_{c,a}} = 0.6 - 0.45 \left(\frac{d}{D}\right)^2 IFR$$

Siendo (q_b) la resistencia final en la punta del pilote e IFR, la relación de incremento de llenado, es decir, la relación que existe entre la longitud de penetración del pilote en el suelo y la longitud del tapón que se forma en el interior del pilote. El parámetro IFR se emplea en este método para permitir un grado de obstrucción del pilote, además se usa para promediar la resistencia de la punta CPT sobre una zona que se extiende de $0,7D$ a $4D$ por debajo de la base del pilote y hasta $8D$ por encima de la base. (Salgado, 2003)

Ilustración 1. Ilustración esquemática de la formación de tapón del suelo y el mecanismo de transferencia de carga



Fuente: Yu & Yang (2012)

2.2.3 Método HKU (Hong Kong University)

Su capacidad por punta deriva de dos componentes, el anillo del pilote y el tapón del suelo. Dependiendo del grado de obstrucción, los dos componentes de la resistencia pueden comportarse de manera bastante diferente. En cuanto a la resistencia del anillo del pilote, debe ser comparable a la de un pilote cerrado penetrando el suelo, especialmente para pilotes largos asociados con niveles de alto estrés. En cuanto a la resistencia del tapón, puede diferir en gran medida en la rigidez y el mecanismo de transferencia de carga de la resistencia del anillo. Es probable que la parte superior del tapón del suelo esté muy perturbada debido a la penetración del pilote, lo que lleva a una resistencia lateral insignificante. Debido a esto, se debe tratar esta parte del taponamiento del pilote con el suelo, como una carga adicional que actúa en la punta del pilote. Por otro lado, la capacidad de carga del suelo debajo del tapón del suelo debería ser, inicialmente, mayor que la suma del peso del tapón y la fricción entre el suelo y la pared interna del pilote. La altura del tapón del suelo tiende a aumentar hasta que se alcanza un equilibrio limitante y se forma un modo completamente obstruido. (O'Neill & Raines, 1991).

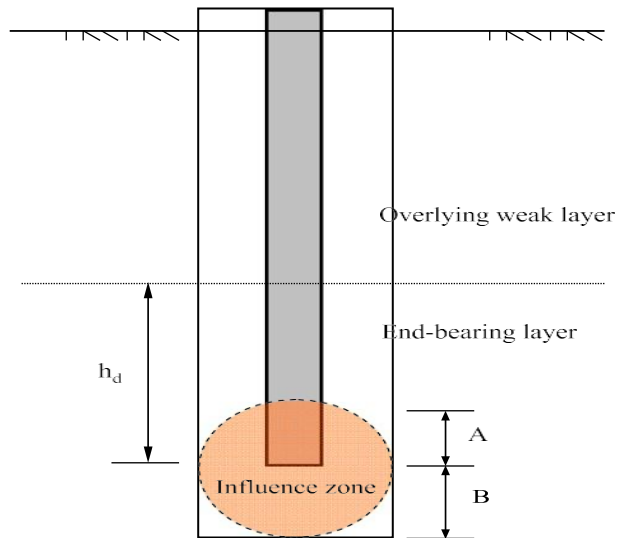
2.2.4 Método JGJ 94-2008

El método JGJ 94-2008 toma un promedio equivalente a la profundidad por debajo de la punta del pilote (A), igual al diámetro del pilote y cuatro veces el diámetro por encima de la punta (B). (Ver ilustración 2), para obtener valores promedio de N60.

2.2.5 Método TBJ37

El método TBJ37 toma un promedio equivalente a la profundidad por debajo de la punta del pilote (A), igual a cuatro veces el diámetro del pilote y de igual manera cuatro veces el diámetro por encima de la punta (B). (Ver ilustración 2), para obtener valores promedio de N60.

Ilustración 2. Zona de influencia para promediar la resistencia de la punta, cerca de la base del pilote.



Fuente: (Yu & Yang. 2012)

2.3 Resumen de zonas de influencias para el análisis

Tabla 1. Alternativas según varios autores para la consideración del valor N60

ZONA DE INFLUENCIA	MÉTODO			
	ICP (ALT 1)	UWA (ALT 2)	JGJ94 (ALT 3)	TBJ37 (ALT 4)
A	1.5D	8D	4D	4D
B	1.5D	(0.7-4)D	1D	4D

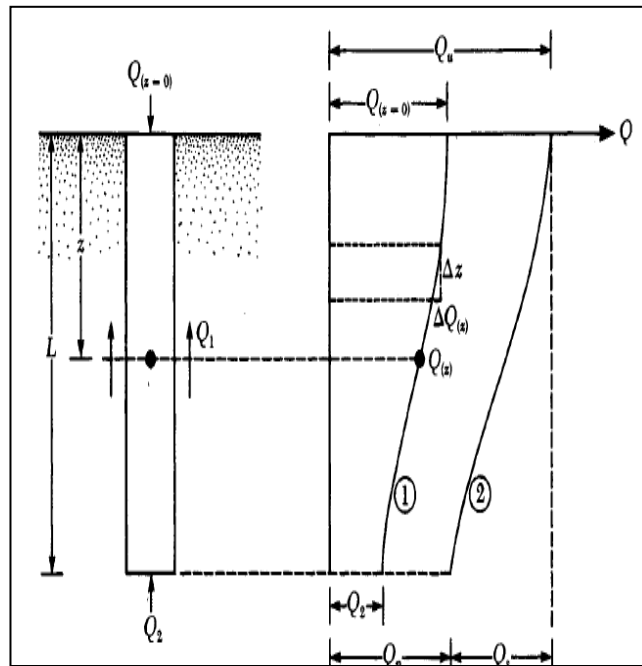
Fuente: Autor

2.4 Mecanismo de Transferencia de Carga.

Para que cimentaciones profundas de longitudes (L) penetren el suelo y cumplan su función, se le imparte una carga gradualmente incrementada.

Parte de esta carga es resistida por una fricción lateral, la cual se desarrollará a lo largo del fuste del pilote y por otra parte la resistencia del suelo por debajo de la punta del pilote. Existe una relación entre estos dos factores con la carga total. Mediante la ilustración 3, observamos una curva, la cual nos detallará cuanta carga toma la punta o el fuste del pilote.

Ilustración 3. Transferencia de carga, a lo largo de la longitud del pilote.



Fuente: (Das, 2001)

2.5 Métodos Dinámicos.

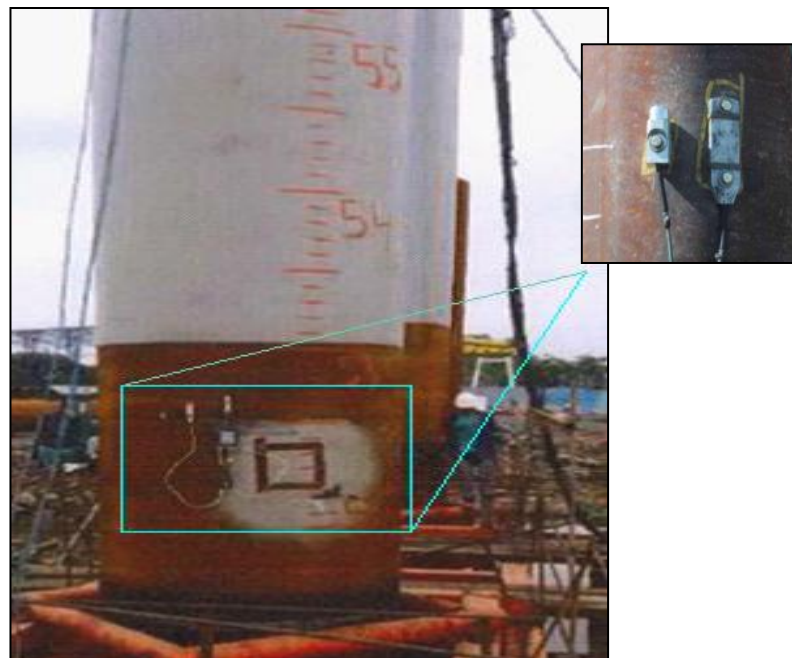
La capacidad de carga por punta de un pilote se ve afectada por variables tales como, la profundidad de desplante del pilote, el tipo de estrato, y del área de punta que esté actuando como tal. Con respecto al área a considerar como punta, este problema nace a raíz de la formación del tapón, y en qué momento se forma. Según métodos analíticos se basan en pruebas de penetración de cono (CPT), que toma en cuenta una zona de influencia para promediar la resistencia a la punta del CPT en base a consideraciones de los efectos de la penetración del pilote.

2.5.1 PDA (Pile Driving Analyzer)

En el presente estudio consideró resultados de capacidades por punta de pruebas Dinámicas (PDA), que son relaciones entre capacidad de carga del pilote y la resistencia que ofrece a la hincada con un martillo. Los análisis dinámicos se basan principalmente en la transferencia de carga, debido a la energía que se transmite por medio de una masa al caer desde una cierta altura, efectuando después cálculos por modelos matemáticos como lo es el análisis CAPWAP, que simulan el comportamiento del pilote y su interacción con el suelo utilizando ecuaciones de ondas. (Fernández, 2008).

Los equipos que son utilizados para las pruebas dinámicas constan de, deformímetros, acelerómetros, 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.

Ilustración 4. Deformímetro y Acelerómetro instalados en la estructura cimentada



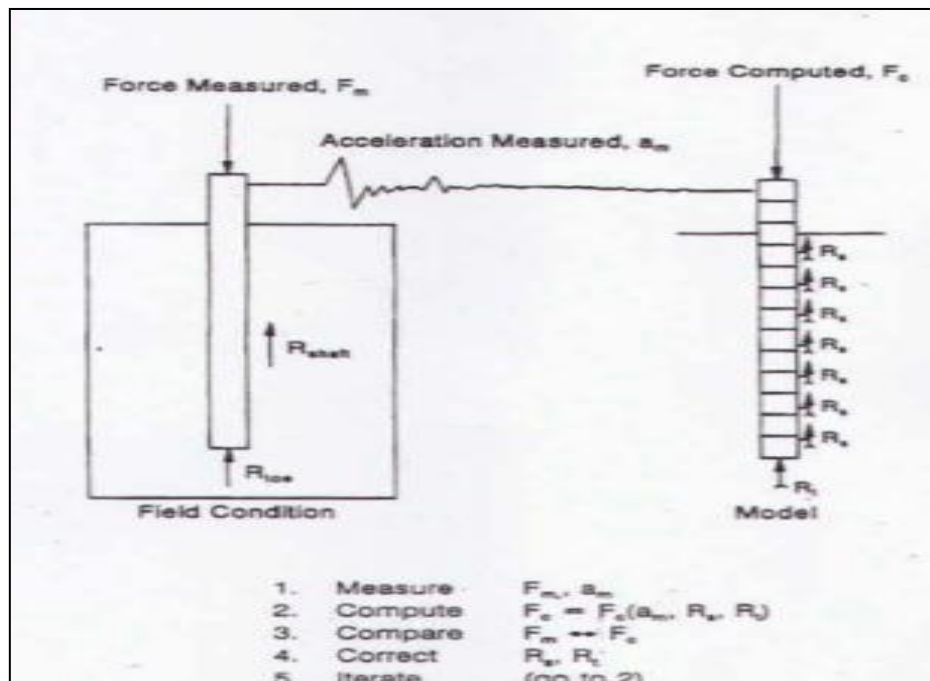
Fuente: (NYLIC, 2017)

2.5.2 Análisis CAPWAP (Case Pile Wave Analysis Program)

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 principia de la rehincha.

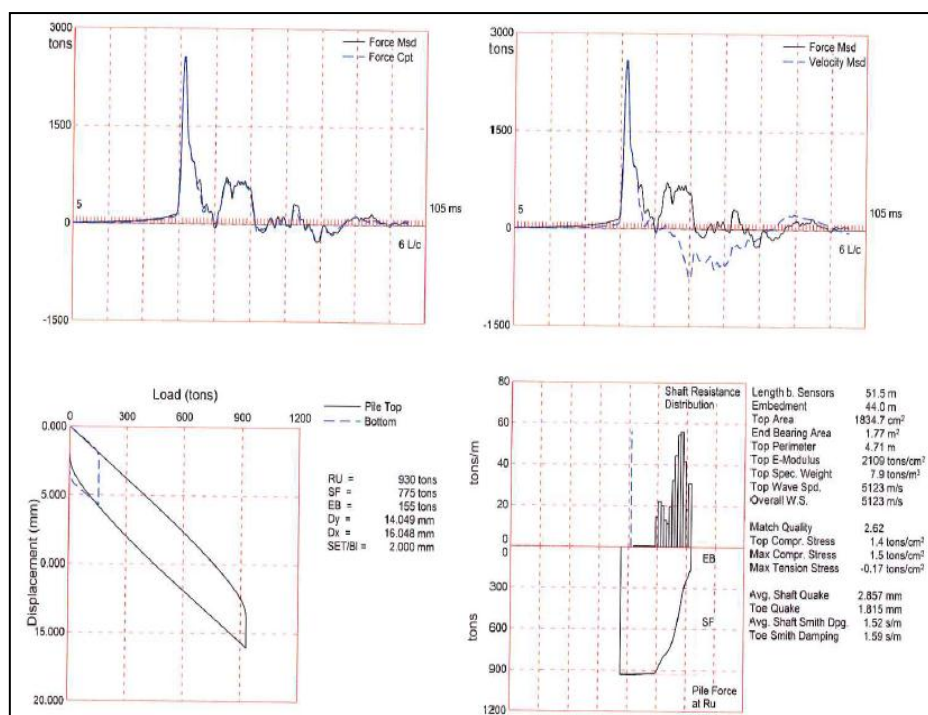
El método CAPWAP se lo modela en base a una serie de segmentos continuos de pilote y de resistencias de suelo modeladas por resortes y amortiguadores con comportamiento elasto-plástico. La fuerza y la aceleración tomadas del PDA se utilizan para satisfacer dos de las tres incógnitas, la restante son las condiciones de frontera, que son dadas a partir del suelo. (Caicedo, 2011)

Ilustración 5. Pasos del análisis CAPWAP



Fuente: (Caicedo, 2010)

Ilustración 6. Análisis CAPWAP del proyecto Guayaquil – Samborondón. Tramo central, Pila 2, Pilote 3.



Fuente: (NYLIC. (Ing. Claudio Luque. 2017))

2.6 Datos Generales de los Proyectos

2.6.1 Puente Guayaquil-Samborondón

La construcción del nuevo puente sobre el río Daule, el cual atraviesa la provincia del Guayas (Ilustración). Beneficiará a los dos cantones, por un lado Samborondón, que cuenta con una población de 100000 habitantes aproximadamente, por otro lado el cantón Guayaquil, que a pesar de tener una población de 2`500.000 de habitantes, es una cantidad moderada de personas que se movilizan de un lado al otro. Cuya obra será ejecutada por los municipios de ambas ciudades, cuyo objetivo será interconectar los dos cantones.

2.6.1.1 Resumen de Estructura y Detallamiento de pilotes

El puente consta de tres accesos. 1) Acceso Guayaquil, en el cual hay un viaducto con tres ramales. El ramal 1, consta de siete pilas, las cuales son (EG1, PG9 – PG14), cada pila se apoya en dos pilotes tubulares de acero,

de 800mm de diámetro y de 20mm de espesor, además de seis tableros de 60 metros de longitud, formando un total de 360 metros. El ramal 2 contiene cuatro pilas, las cuales son (EG1, PG6 – PG8), cada pila contiene dos pilotes huecos de acero, de 800mm de diámetro y de 20mm de espesor, cuenta con tres tableros de igual longitud al anterior ramal (60 metros). El ramal principal consta de siete pilas, que van desde la PG8 hasta la PG14, cada pila tiene cuatro pilotes huecos de acero, de 800mm de diámetro y 20mm de espesor, consta de siete tableros de 60 metros cada uno y a su vez conforma un total de 420 metros de longitud. 2) Tramo Principal, tiene catorce pilas, las cuales son (E1, P1 – P12, E2), cada pila es sostenida por 5 pilotes tubulares de acero, de 1500mm de diámetro y 38mm de espesor. 3) Acceso Samborondón, contiene siete pilas (PS1 – PS6 Y ES2), cada pila contiene seis pilotes, de 800mm de diámetro y 20mm de espesor, contiene siete tableros, de 60 metros de longitud.

2.6.1.2 Resumen Geológico de la zona

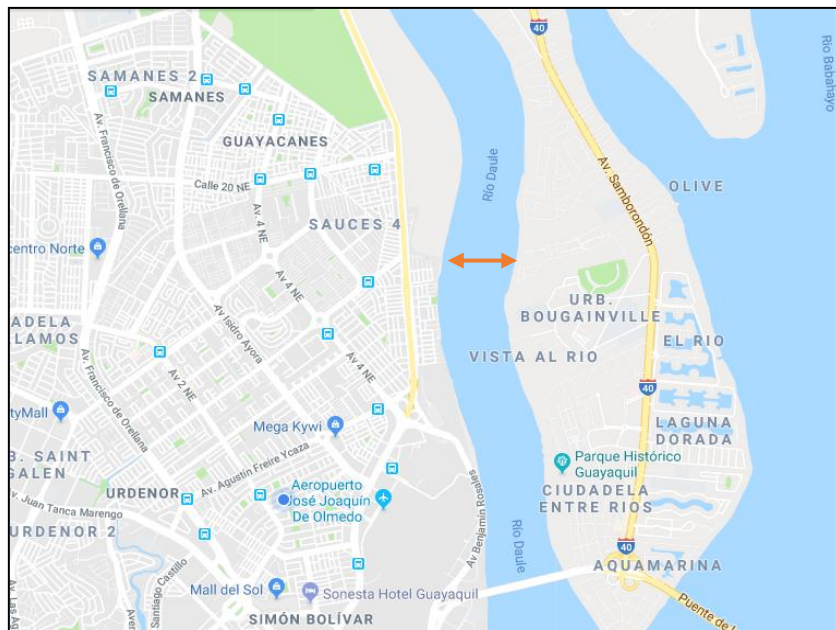
Esta zona está compuesta de un subsuelo conformado de una serie potente de hasta 3000 metros de sedimentos duros y resistentes a la erosión, los cuales están comprendidos de pizarras arcillosas y tobáceas de color verdoso oscuro y gris, areniscas, arenosas y brechas finas de material volcánico. Esta formación descansa sobre una formación de Piñón.

Ilustración 7. Mapa de la ubicación de los dos cantones: Guayaquil y Samborondón y sitio del proyecto.



Fuente: Google Earth

Ilustración 8. Ampliación de la figura 2.2.1. Donde se muestra un acercamiento al sitio del proyecto.



Fuente: Google Maps.

2.6.1.3 Resultados de Ensayos de Campo y Laboratorio

Se obtuvieron datos CPT en cuatro puntos de la ubicación del puente, sondeos y pruebas PDA de dieciséis pilas, las cuales se las presentaran en el Anexo. Para el análisis se considerará la pila dos, y el pilote tres, los cuales pertenecen al tramo principal del puente, cuyas características se mencionaron con anterioridad (ver 2.6.1.1.). El pilote presenta resultados de ensayos de campo (SPT), Standart Penetration Test, que consiste en contar el número de golpes que toma a un peso estandarizado en penetrar una profundidad determinada y ensayos de laboratorio (Limites de Atterberg y Granulometría). El mismo que se detallará en la siguiente tabla.

Tabla 2. Pila 2, Pilote 3. Profundidad, Cota y Clasificación SUCS.

PILA 2, PILOTE 3		
Profundidad (m)	Cota IGM (msnm)	SUCS
0 a 4,5	3,38 a -0,80	CH
4,5 a 14	-0,80 a -10,22	SC
14 a 33,5	-10,22 a -30,22	SP-SM
33,5 a 36,5	-30,22 a -33,22	MH
36,5 a 40,55	-33,22 a -36,80	CH

Fuente: NYLIC. (Ing. Claudio Luque. 2010)

Los estratos fueron diferenciados de tal manera que nos proporcione datos coherentes con respecto a valores de humedad natural (ω), índice plástico (IP), límite líquido (LL), contenido de finos (FC) y además de la resistencia a la penetración (N60), cuyo detallamiento se muestra a continuación.

Tabla 3. Clasificación SUCS de cada estrato con sus respectivos Parámetros

PILA 2, PILOTE 3								
Profundidad (m)	Cota IGM (msnm)	SUCS	γ (T/m ³)	ω (%)	FC (%)	IP (%)	LL (%)	N60
0 a 4,5	3,38 a -0,80	CH	1,61	53	87	41	74	6
4,5 a 14	-0,80 a -10,22	SC	1,89	32	37	17	38	35
14 a 33,5	-10,22 a -30,22	SP-SM	2,03	24	12	0	27	55
33,5 a 36,5	-30,22 a -33,22	MH	1,87	34	43	9	57	44
36,5 a 40,55	-33,22 a -36,80	CH	1,84	37	87	39	58	40

Fuente: NYLIC. (Ing. Claudio Luque. 2017)

2.6.2 Puente Bahía

La construcción del nuevo puente sobre el estuario del Río Chone, unirá dos ciudades, por un lado Bahía de Caráquez y por otro lado San Vicente, comunidades que pertenecen a la provincia de Manabí, con una población de 25000 y 42000 habitantes respectivamente. Estas ciudades se encuentran a las orillas del estuario del Río Chone, el cual atraviesa la provincia de Manabí. (Ilustración 10). Cuyo puente fue finalizado a finales del año 2010.

2.6.2.1 Resumen de Estructura y Detallamiento de Pilotes

El puente consta de tres tramos, 1) Acceso Bahía de Caráquez, el cual comprende desde el Estribo uno (E1) hasta la pila (P6), con pilotes tubulares de acero, diámetro de 500mm, con dos líneas de pilotes a una separación entre ejes de 2.17 metros. Los pilotes tubulares de acero son llenados de concreto en los primeros cinco metros superiores con el objetivo de adherirse a una zapata de 8.0 x 7.0 metros y 2.10 metros de espesor de hormigón armado, en el centro de la zapata hay dos columnas hexagonales

de hormigón armado de 1.20 metros de diámetro, estas columnas se amarran por vigas cabezales de 1.725 metros de ancho y 11.0 metros de largo.

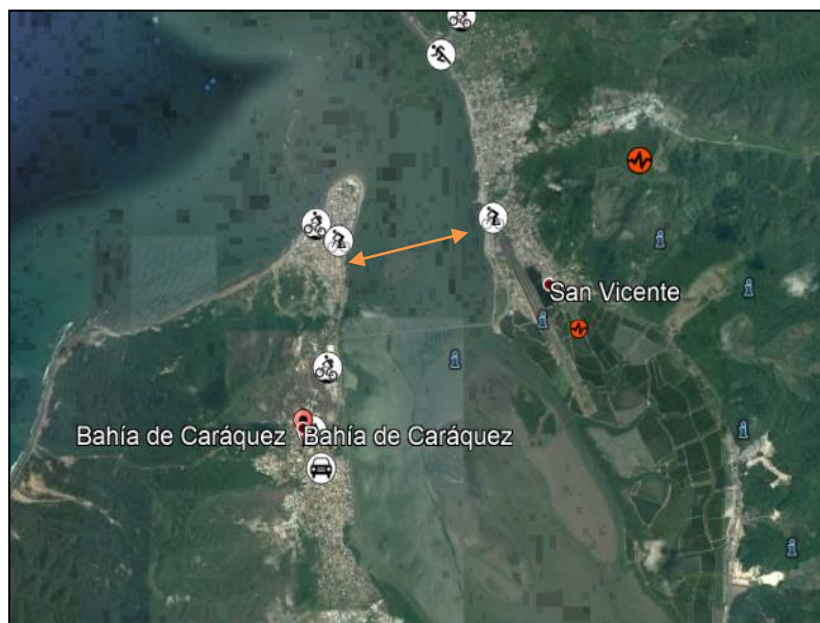
2) Tramo Central, el cual comprende desde la pila (P6) hasta la pila (P44), con pilotes tubulares de acero, con un diámetro de 1210mm y 20mm de espesor, con cuatro pilotes, los cuales se adhieren a una zapata de 10.9 x 11.20 metros y 1.65 metros de espesor de hormigón armado, en las esquinas de la zapata hay columnas hexagonales de hormigón armado de 5.36 metros de largo.

3) Acceso San Vicente, que comprende desde la pila (P44) hasta el estribo 2 (E2), con pilotes tubulares de acero de 1200mm de diámetro, con cuatro filas de pilotes a una separación de 3.6 metros. En total 16 pilotes por cada pila, los cuales se adhieren a una zapata de sección H vista en planta de 12.80 x 10 metros y 2.0 de espesor de hormigón armado, en el centro de la zapata hay dos columnas hexagonales de hormigón armado de 3.60 metros de diámetro.

2.6.2.2 Resumen geológico de la zona

En las ciudades de Bahía de Caráquez y San Vicente, el tipo de roca se las ve incluidas en la formación de Borbón, que a su vez están constituidas por areniscas líticas de granos medio a grueso que yacen en bancos compactos. La tonalidad que muestran las areniscas son grises en la profundidad, y se tornan de color amarillentas cuando yacen en la superficie meteorizada. El tipo de suelo llamado Líticos presenta un tipo de roca, además corresponden a fragmentos de lavas andesititas y tobas finas.

Ilustración 9. Mapa de la ubicación de dos ciudades de la Provincia de Manabí: Bahía de Caráquez y San Vicente.



Fuente: Google Earth

2.6.2.3 Resultados de Ensayos de Campo y Laboratorio

Tabla 4. Pila 10, Pilote 4. Profundidad, Cota y Clasificación SUCS.

PILA 10, Pilote 4		
Profundidad (m)	Cota IGM (msnm)	SUCS
0 a 2	2,0 a 0	SC-SM
2 a 20,90	0 a -20,0	SM
20,90 a 29,5	-20,0 a -29,0	ML
29,5 a 57,10	-29,0 a -58,0	MH
57,10 a 59,50	-58,0 a -60,0	SM
59,50 a 61,0	-60,0 a -62	CH

Fuente: NYLIC. (Ing. Claudio Luque. 2009)

Se obtuvieron datos de treinta y nueve pilas, las cuales nos proporcionaron datos significativos como sondeos y pruebas PDA de ocho pilas, las cuales se las presentaran en (Anexo 1). Para el análisis se considerará la pila diez,

y el pilote cuatro, el cual pertenece al acceso Bahía de Caráquez del puente, cuyas características se mencionaron con anterioridad (ver 2.2.2.1.). La pila presenta los resultados de ensayos de campo (SPT) Standart Penetration Test, que consiste en contar el número de golpes que toma a un peso estandarizado en penetrar una profundidad determinada y ensayos de laboratorio (Límites de Atterberg y Granulometría). El mismo que se detallará en la siguiente tabla.

Tabla 5. Profundidad y Cota con su respectiva clasificación SUCS por estrato.

PILA 10, Pilote 4 y 5								
Profundidad (m)	Cota IGM (msnm)	SUCS	Y (T/m³)	ω (%)	FC (%)	IP (%)	LL (%)	N60
0 a 2	2,0 a 0	SC-SM	1,92	27	87	-	-	6
2 a 20,90	0 a -20,0	SM	1,92	35	45	22	-	24
20,90 a 29,5	-20,0 a -29,0	ML	1,87	30	25	48	-	8
29,5 a 57,10	-29,0 a -58,0	MH	1,72	29	43	79	-	14
57,10 a 59,50	-58,0 a -60,0	SM	2,2	36	55	100	-	91
59,50 a 61,0	-60,0 a -62	CH	2,2	32	50	95	-	95

Fuente: NYLIC. (Ing. Claudio Luque. 2009)

Los estratos fueron diferenciados de tal manera que nos proporcione datos coherentes con respecto a valores de humedad natural (ω), índice plástico (IP), límite líquido (LL), contenido de finos (FC) y además de la resistencia a la penetración (N60), cuyo detallamiento se muestra a continuación.

2.6.3 Puente Santay

La Isla Santay es una isla ecuatoriana. Se encuentra en el río Guayas a 800 metros de distancia de la ciudad de Guayaquil, unida por un puente peatonal, que atraviesa el Río Daule y pertenece al cantón Durán, cuenta con una población aproximada de 230 habitantes. Fue declarada como área protegida y entra en el Patrimonio Nacional de Áreas Protegidas dentro de la categoría de Área Nacional de Recreación.

2.6.3.1 Resumen de Estructura y Detallamiento de los Pilotes

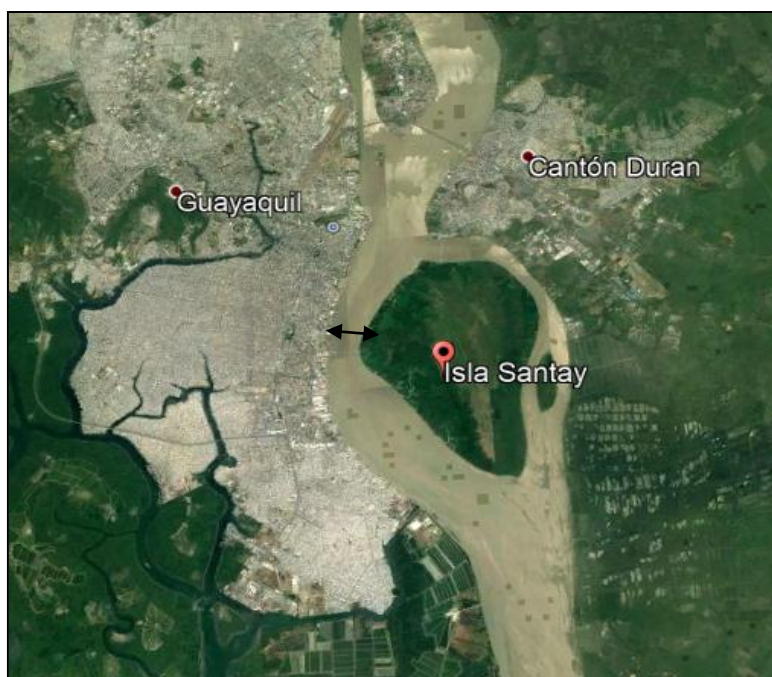
El puente posee un ancho de 6 metros, en donde descansaría sobre unas vigas metálicas, y éstas a su vez sobre un sistema de pila-pilote en donde cada apoyo estaría espaciado 80 m de distancia. El cuál será destinado a dos vías de paso para mantener un flujo de personas de ida y otra de regreso. Se le ha implementado de rampas de acceso que asegure un diseño ergonómico, permitiendo el acceso de las personas con movilidad reducida. El puente peatonal utilizará pilotes como parte de la infraestructura, estos pilotes serán de sección circular los cuales se ubicarán a una distancia de 80 metros entre ellos, con este diseño de pilotes y la determinación del sitio de ubicación se espera minimizar el problema de sedimentación en el Río Guayas. El puente peatonal permitirá el flujo de embarcaciones a través de él, para lo cual un tramo del puente peatona será móvil; esta sección se abrirá en un ángulo de 75 grados impulsado por un motor de alrededor de 15HP ubicada en cada extremo, los motores funcionarán con energía eléctrica y esta será tomada de la red pública del sector. La parte del puente móvil se abrirá en un tiempo aproximado de 75 segundos.

2.6.3.2 Resumen geológico de la zona

Se observan superficialmente depósitos de arena de compacidad densa a muy densa, que coincide con un mayor altura de agua o mayor erosión del lecho marino, encontrándose materiales granulares arenosos de compacidad suelta a muy suelta con intercalaciones de arcilla que varían entre los 3 m,

por lo cual detectó la presencia de una estratigrafía típica de la ciudad de Guayaquil, conformada por potentes espesores de arcilla de consistencia muy blanda, en donde se presenta un relleno de aproximadamente 2 m de espesor, debajo del cual se encuentra un potente estrato de arcilla de 18 m de espesor de consistencia media blanda a muy blanda con valores de la resistencia al esfuerzo cortante de 8 a 16 kPa. Por debajo de esta arcilla se detectó un estrato de turba de 3 m de espesor seguido de una arena de compacidad densa a muy densa a partir de la elevación -21.5 m, a pesar de que se detectó un espesor de arcilla de consistencia rígida a muy rígida.

Ilustración 10. Mapa de la ubicación del Sur de la ciudad de Guayaquil y La Isla Santay.



Fuente: Google Earth

2.6.3.3 Resultados de Ensayos de Campo y Laboratorio

Se obtuvieron datos de tres pilas, las cuales nos proporcionaron datos significativos como sondeos y pruebas PDA, cuyos datos se las presentaran en (Anexo 1). Para el análisis se considerará la pila dos, y el pilote tres, el cual pertenece al acceso Guayaquil del puente, cuyas características se

mencionaron con anterioridad (ver 2.2.1.1.). La pila presenta los resultados de ensayos de campo (SPT) Standart Penetration Test, que consiste en contar el número de golpes que toma a un peso estandarizado en penetrar una profundidad determinada y ensayos de laboratorio (Límites de Atterberg y Granulometría). El mismo que se detallará en la siguiente tabla.

Tabla 6. Pila 2, Pilote 3. Profundidad, Cota y Clasificación SUCS.

PILA 2, Pilote 3		
Profundidad (m)	Cota IGM (msnm)	SUCS
0 a 0,5	4,1 a 3,5	SM
0,5 a 1,90	3,5 a 2,0	SP-SM
1,90 a 3,90	2,0 a 0	SW-SM
3,90 a 5,30	0 a -1,4	SM
5,30 a 6,80	-1,4 a -3,0	SM
6,80 a 8,20	-3,0 a -4,4	SP-SM
8,20 a 10,70	-4,4 a 7,0	SP-SM
10,70 a 11,10	-7,0 a -9,0	CL
11,10 a 12,6	-9,0 a -10,45	SM

Fuente: (Ing. Illingworth. 2013)

Los estratos fueron diferenciados de tal manera que nos proporcione datos coherentes con respecto a valores de humedad natural (ω), peso específico (γ), resistencia a la penetración (N_{60}), parámetros tales como, índice plástico (IP), límite líquido (LL), contenido de finos (FC) el sondeo no nos proporciona datos, cuyo detallamiento se muestra a continuación.

Tabla 7. Clasificación SUCS de cada estrato con sus respectivos Parámetros.

PILA 2, Pilote 3 y 4								
Profundidad (m)	Cota IGM (msnm)	SUCS	γ (T/m ³)	ω (%)	FC (%)	IP (%)	LL (%)	N60
0 a 0,5	4,1 a 3,5	SM	1,97	28	82,00	68	101	4
0,5 a 1,90	3,5 a 2,0	SP-SM	2,02	25	-	-	-	56
1,90 a 3,90	2,0 a 0	SW-SM	2,14	18	-	-	-	56
3,90 a 5,30	0 a -1,4	SM	2,12	19	-	-	-	91
5,30 a 6,80	-1,4 a -3,0	SM	2,07	22	-	-	-	50 en 12cm
6,80 a 8,20	-3,0 a -4,4	SP-SM	2,07	22	-	-	-	50 en 10cm
8,20 a 10,70	-4,4 a 7,0	SP-SM	2,08	23	-	-	-	50 en 14cm
10,70 a 11,10	-7,0 a -9,0	CL	1,81	41	-	-	-	50 en 15cm
11,10 a 12,6	-9,0 a -10,45	SM	1,98	27	-	-	-	50 en 15cm

Fuente: (Ing. Illingworth. 2013)

3 CAPÍTULO 3

3.1 Capacidad por Punta

La capacidad por punta depende en mayor proporción de las dimensiones geométricas del elemento, de la forma y rugosidad, la presión de confinamiento en dicha sección, la capacidad cortante, la densidad, y compresibilidad del suelo por debajo y alrededor de la punta del pilote una vez ha sido instalada. La resistencia depende en parte de la fricción lateral desarrollada en la zona inferior del fuste de la cimentación, así que ambas acciones, se influyen mutuamente. (Londoño, 2001)

Para el cálculo de capacidad de carga última de un pilote se define como un aporte desarrollado por la punta y el fuste del pilote.

$$Q_{ult} = Q_f + Q_p$$

Para el análisis de la capacidad por punta se utilizará la siguiente fórmula.

$$Q_{punta} = A_p * q_p$$

Dicha fórmula se basa en el principio de capacidad de carga para cimentaciones superficiales de Terzaghi.

$$q = cN_c + qN_q + \gamma B N_\gamma$$

Se desprecia el ancho del pilote debido a que es relativamente pequeño.

$$q = cN_c + qN_q$$

Debido a que la ecuación está dada en esfuerzo, y se la requiere en fuerza de resistencia, se multiplica por el área del pilote.

$$Q_p = A_p * q_p$$

$$Q_p = A_p * (cN_c + \sigma_{vo} * N_q)$$

3.1.1 Capacidad de carga en pilotes mediante número de golpes

Mediante la aplicación de una carga repetitiva o varios golpes en la parte superior del pilote, esto hace que avance una distancia determinada, usado

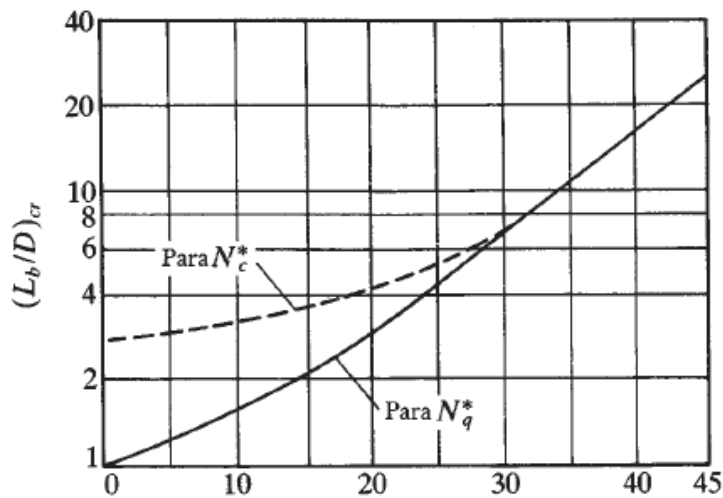
para el control de calidad del proceso constructivo. Existe una relación entre el número de golpes y la capacidad de carga, dicha relación en la actualidad puede ser realizada mediante softwares, los mismos que también ocasionan una gran incertidumbre en sus resultados. A continuación se presentaran desventajas de resultados de programas de computadora y relacionar el número de golpes con la capacidad de carga. (Caicedo, 2011)

- El conteo de número de golpes en campo muchas veces son incorrectos.
- La eficiencia de los equipos no siempre trabajan con la misma
- La teoría no siempre considera comportamientos secundarios del pilote, tales como la flexibilidad del mismo.
- Las formulas no están delimitadas a calcular capacidad a alternativas de suelo.
- La resistencia no es la misma del suelo luego de la instalación del pilote.

3.1.2 Teoría Capacidad por Punta. Según Meyerhof

Meyerhof en 1976 propuso ecuaciones diferentes para la estimación de la capacidad de carga de la punta dependiendo básicamente de la cohesión del suelo y lo divide en dos grupos, arenas ($c = 0$) y en arcillas ($c > 0$), partiendo de la fórmula general de Terzaghi y en base a observaciones de campo presentó ábacos sobre la relación de empotramiento crítico $((Lb/D)_{cr})$, y la variación de los valores máximos Nc^* , Nq^* , ambos, en función del ángulo de fricción del suelo (ϕ). (Granda, 2016)

Ilustración 11. Ángulo de fricción del suelo



Fuente: Barreto (2011)

Ecuación para Arenas (condición $c = 0$)

$$Q_p = A_p q_p = A_p (q' N_q^*) \leq A_p q_l$$

$$q_l (kN/m^2) = 50 N_q^* \tan \phi$$

Dónde:

q_l : Resistencia de punta límite

ϕ : Ángulo de fricción del suelo en el estrato de apoyo

De igual forma Meyerhof sugirió también obtener la resistencia unitaria de la punta mediante el número de golpes corregidos del ensayo de penetración estándar, siempre y cuando la longitud del pilote L sea igual a la longitud de empotramiento L_b .

$$q_p = 40 N_{cor} L/D \leq 400 N_{cor}$$

Dónde:

N_{cor} : Número de penetración estándar corregido promedio cerca de la punta del pilote (aproximadamente $10D$ arriba y $4D$ debajo de la punta)

D : Diámetro del pilote

L : Longitud del pilote

Ecuación para Arcillas (condición $\phi = 0$)

Para pilotes en arcillas saturadas.

$$Q_p = A_p q_p = A_p N_c * c_u = 9 c_u A_p$$

Dónde:

Cu: Cohesión no drenada del suelo debajo de la punta del pilote

3.1.3 PILA 2 – PILOTE 3 Puente Guayaquil – Samborondón.

Una vez terminada la recopilación de datos en el Capítulo 2, se procedió a calcular la gráfica de esfuerzos, la cual es una representación gráfica de las cargas que soporta el suelo al momento del sondeo. Con la ayuda del ensayo SPT que se le realizó a la pila, se extrajo varios números de golpes (N60) a diferentes profundidades, lo que nos ayudara a tomar un promedio de valores de (N60) con los métodos hablados en el Capítulo 2, punto (2.3), Tabla 1.

El siguiente paso es graficar una curva de capacidad de carga, es decir un mecanismo de transferencia de carga. La carga sobre el pilote es incrementada de 0 a $Q(z=0)$ en la superficie del terreno. Parte de esta carga será resistida por la fricción lateral desarrollada a lo largo del eje y parte por el suelo debajo de la punta del pilote. Esta curva se la desarrolló a partir de valores de capacidad de la punta que generó el análisis CAPWAP, 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 presentaran a continuación.

La curva de capacidad es una interpretación de un modelo sísmico, está basada en el análisis CAPWAP. Es una interpretación de un modelo dinámico.

Ilustración 12. Curva de Capacidad, para la Pila 2, Pilote 3 del tramo central del puente.

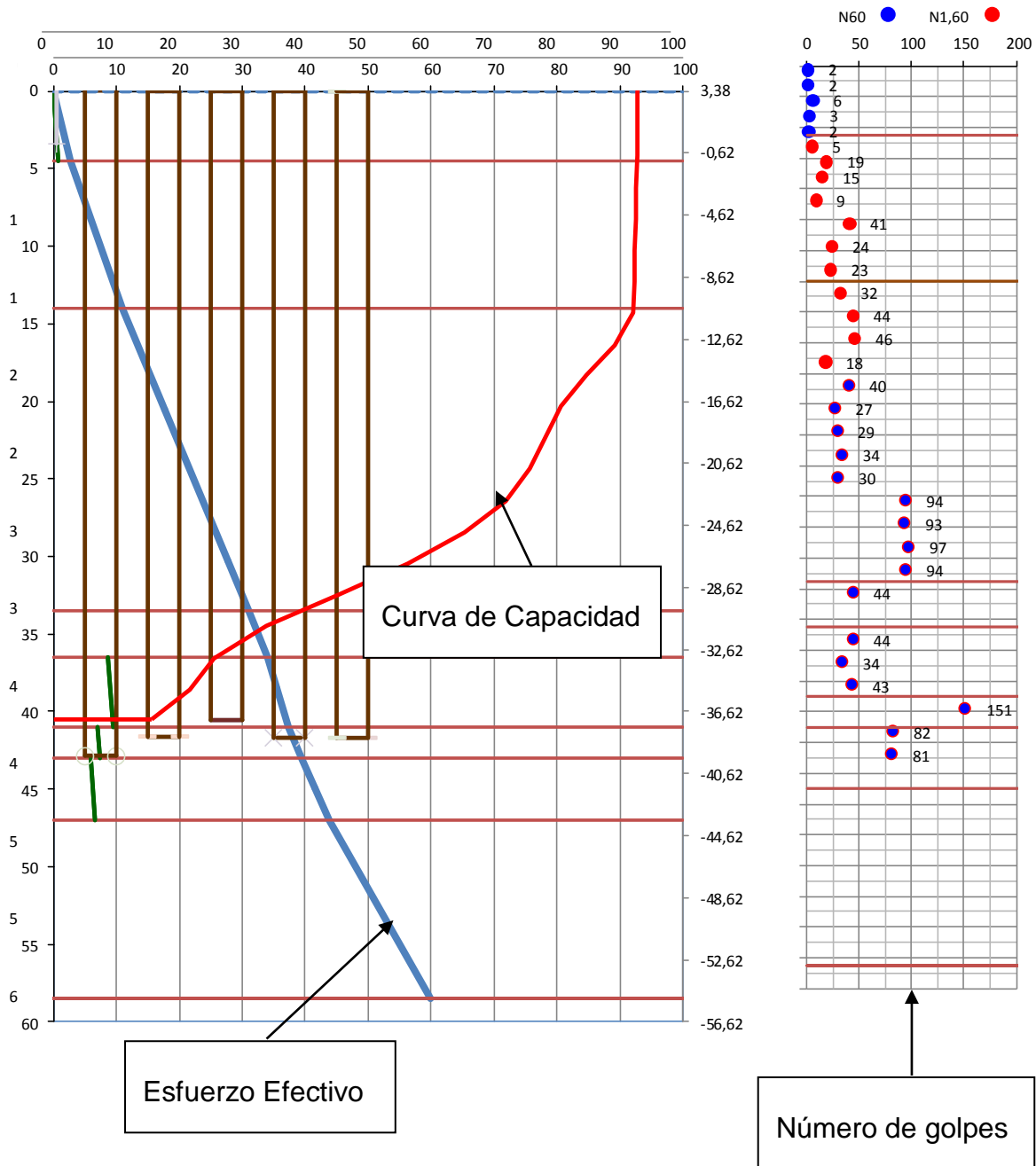


Ilustración 13. Análisis CAPWAP, para la Pila 2, Pilote 3 del tramo central del puente.

daule: File: pila2p3
BOR: Blow: 2
Vinicio A. Suarez

Test: 27-Jan-2017 14:45
CAPWAP (R) 2014-2
OP: va

CAPWAP SUMMARY RESULTS

Total CAPWAP Capacity: 929.96; along Shaft 774.96; at Toe 155.00 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 ²	Smith Damping Factor s/m
1	9.1	1.6	0.00	930.0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	11.1	3.6	0.99	929.0	0.99	0.49	0.10	1.52
3	13.1	5.6	0.99	928.0	1.98	0.49	0.10	1.52
4	15.1	7.6	0.99	927.0	2.97	0.49	0.10	1.52
5	17.2	9.7	0.99	926.0	3.96	0.49	0.10	1.52
6	19.2	11.7	0.99	925.0	4.95	0.49	0.10	1.52
7	21.2	13.7	0.99	924.0	5.94	0.49	0.10	1.52
8	23.2	15.7	0.99	923.0	6.93	0.49	0.10	1.52
9	25.2	17.7	0.99	922.0	7.92	0.49	0.10	1.52
10	27.3	19.8	29.59	892.5	37.51	14.65	3.11	1.52
11	29.3	21.8	44.55	847.9	82.06	22.06	4.68	1.52
12	31.3	23.8	40.61	807.3	122.67	20.11	4.27	1.52
13	33.3	25.8	26.40	780.9	149.07	13.07	2.77	1.52
14	35.3	27.8	23.17	757.7	172.24	11.47	2.43	1.52
15	37.4	29.9	39.88	717.8	212.12	19.75	4.19	1.52
16	39.4	31.9	65.41	652.4	277.53	32.39	6.87	1.52
17	41.4	33.9	89.84	562.6	367.37	44.48	9.44	1.52
18	43.4	35.9	110.12	452.5	477.49	54.53	11.57	1.52
19	45.4	37.9	113.25	339.2	590.74	56.08	11.90	1.52
20	47.5	40.0	84.54	254.7	675.28	41.86	8.88	1.52
21	49.5	42.0	36.78	217.9	712.06	18.21	3.86	1.52
22	51.5	44.0	62.90	155.0	774.96	31.14	6.61	1.52
Avg. Shaft			35.23			17.61	3.74	1.52
Toe			155.00				87.71	1.52

Soil Model Parameters/Extensions

	Shaft	Toe
Quake (mm)	2.857	1.815
Case Damping Factor	1.56	0.33
Damping Type	Viscous	Sm+Visc
Unloading Quake (% of loading quake)	100	118
Reloading Level (% of Ru)	100	100
Unloading Level (% of Ru)	16	
Soil Plug Weight (tons)	2.405	

CAPWAP match quality = 2.62 (Wave Up Match) ; RSA = 0
 Observed: Final Set = 2.000 mm; Blow Count = 500 b/m
 Computed: Final Set = 2.148 mm; Blow Count = 466 b/m
 max. Top Comp. Stress = 1.4 tons/cm² (T= 36.7 ms, max= 1.055 x Top)
 max. Comp. Stress = 1.5 tons/cm² (Z= 27.3 m, T= 42.0 ms)
 max. Tens. Stress = -0.17 tons/cm² (Z= 27.3 m, T= 70.8 ms)
 max. Energy (EMX) = 15.44 tons-m; max. Measured Top Displ. (DMX)=10.511 mm

Fuente: NYLIC. (Ing. Claudio Luque. 2017)

Tabla 8. Capacidad por punta y fuste de la pila 2, pilote 3, correspondiente al tramo central del puente Guayaquil – Samborondón.

PILOTE/ MARTILLO	PENETRACIÓN (m)	CAPWAP			Esfuerzo máximo (kg/cm ²)	Energía transmitida (ton-m)
		FUSTE (TON)	PUNTA (TON)	TOTAL (TON)		
P3-PILA2	40	775	155	930	1400	15,54

Fuente: NYLIC. (Ing. Claudio Luque. 2017)

Tomando en cuenta dos alternativas para el área de punta. Un área total, es decir se considerará que el tapón en el pilote se ha formado un 100%, una totalidad del diámetro del pilote. Por otra parte se considerará solo el espesor de acero del pilote, es decir que en esta etapa no se ha formado el taponamiento.

$$qp_{1,2} = \frac{Q_p}{A. total \text{ o } A. acero}$$

Tabla 9. Resultados de la capacidad por punta unitaria.

qp(1) (T/m ²)	qp(2) (T/m ²)
88	1753

Fuente: Autor.

Basándonos en la metodología convencional al momento de calcular la capacidad por punta, teniendo como base el resultado de la prueba de carga dinámica PDA, (ver Tabla 8). Se retro-calculó parámetros de capacidad de carga tales como Nq y Nc, que para este presente trabajo de grado se lo denominará Nq y Nc para estratos de arena y arcilla respectivamente.

Tabla 10. Resultados Nq

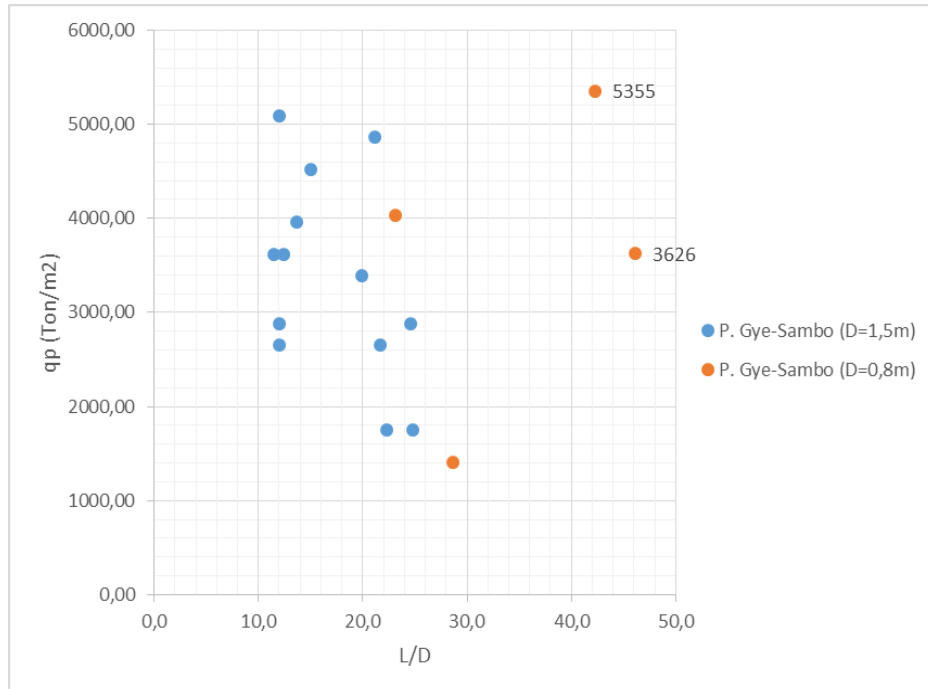
Nq1	Nq2
2,11	42,21

Fuente: Autor.

Los valores de Nq2 toman en consideración el área anular de la punta del pilote, los cuales presentan una similitud a los considerados en la teoría convencional.

3.1.4 Relación q_{p2} vs L/D , para todos los datos del puente.

Ilustración 14. Capacidad portante unitaria con relación longitud de penetración y diámetro

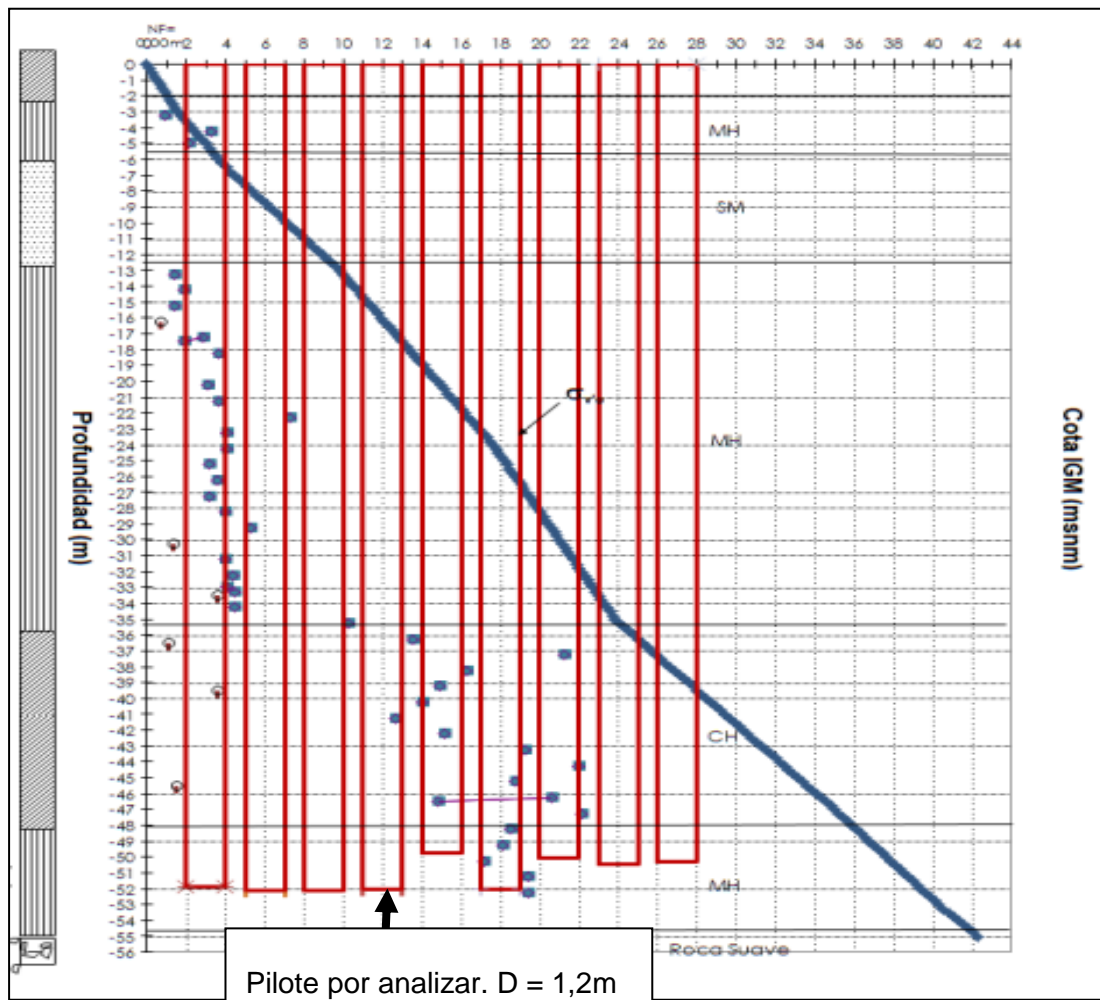


Fuente: Autor

3.1.5 PILA 10, PILOTE 4, Puente Bahía de Caráquez – San Vicente.

Para este caso también se procedió a calcular la gráfica de esfuerzos, la cual es una representación gráfica de las cargas que soporta el suelo al momento del sondeo. Con la ayuda del ensayo SPT que se le realizó a la pila, se extrajo varios números de golpes (N60) a diferentes profundidades, lo que nos ayudara a tomar un promedio de valores de (N60) con los métodos hablados en el Capítulo 2, punto (2.3). Tabla 1.

Ilustración 15. . Diagrama de Esfuerzo vs Profundidad y pilote a analizar con prueba PDA.



Fuente: Autor.

El siguiente paso es graficar una curva de capacidad de carga. Esta curva se la desarrolló a partir de valores de capacidad de la punta que generó el análisis CAPWAP, 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 presentaran a continuación.

Ilustración 16. Análisis CAPWAP, para la Pila 10, Pilote 4 del acceso Bahía de Caráquez.

PUENTE BAHIA 2; Pila: P10 P4				Test: 23-Mar-2009 13:30:					
D62-22; Blow: 8				CAPWAP(R) 2006-2					
GRL Engineers, Inc.				OP: CA					
CAPWAP SUMMARY RESULTS									
Total CAPWAP Capacity:		970.0; along Shaft		900.0; at Toe		70.0 tons			
Soil Sgmnt No.	Diat. 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 ²	Smith Damping Factor w/m	Quake mm
				970.0					
1	3.0	3.0	0.0	970.0	0.0	0.00	0.00	0.000	1.462
2	5.0	5.0	0.0	970.0	0.0	0.00	0.00	0.000	1.358
3	7.0	7.0	3.8	966.2	3.8	1.88	0.49	0.937	1.358
4	9.1	9.1	2.8	963.4	6.6	1.39	0.37	0.937	1.358
5	11.1	11.1	1.2	962.2	7.8	0.59	0.16	0.937	1.358
6	13.1	13.1	0.0	962.2	7.8	0.00	0.00	0.000	1.358
7	15.1	15.1	1.1	961.1	8.9	0.55	0.14	0.937	1.358
8	17.1	17.1	7.2	953.9	16.1	3.59	0.94	0.937	1.358
9	19.1	19.1	12.8	941.1	28.9	6.37	1.68	0.937	1.358
10	21.1	21.1	11.9	929.1	40.8	5.92	1.56	0.937	1.358
11	23.2	23.2	11.9	917.2	52.8	5.92	1.56	0.937	1.358
12	25.2	25.2	11.9	905.3	64.7	5.92	1.56	0.937	1.358
13	27.2	27.2	12.8	892.5	77.5	6.37	1.68	0.937	1.358
14	29.2	29.2	21.1	871.4	98.6	10.47	2.75	0.937	1.358
15	31.2	31.2	22.0	849.4	120.6	10.92	2.87	0.937	1.358
16	33.2	33.2	25.7	823.7	146.3	12.74	3.35	0.937	1.358
17	35.2	35.2	27.5	796.2	173.8	13.65	3.59	0.937	1.358
18	37.3	37.3	29.3	766.9	203.1	14.56	3.83	0.937	1.358
19	39.3	39.3	31.2	735.7	234.2	15.47	4.07	0.937	1.358
20	41.3	41.3	43.6	692.2	277.8	21.63	5.69	0.937	1.358
21	43.3	43.3	46.3	645.9	324.1	22.99	6.05	0.937	1.358
22	45.3	45.3	60.2	585.7	384.3	29.90	7.86	0.937	1.358
23	47.3	47.3	69.5	516.2	453.8	34.49	9.07	0.937	1.358
24	49.3	49.3	74.1	442.1	527.9	36.79	9.68	0.937	1.358
25	51.4	51.4	83.4	358.7	611.3	41.39	10.89	0.937	1.358
26	53.4	53.4	92.6	266.1	703.9	45.99	12.10	0.937	1.358
27	55.4	55.4	98.0	168.0	801.9	48.68	12.81	0.937	1.358
28	57.4	57.4	98.0	70.0	900.0	48.68	12.81	0.937	1.358
Avg. Shaft			32.1			15.68	4.12	0.937	1.358
Toe			70.0				60.88	1.345	1.057
Soil Model Parameters/Extensions						Shaft	Toe		
Case Damping Factor						2.739	0.306		
Unloading Quake (% of loading quake)						139	104		
Reloading Level (% of Ru)						100	100		
Unloading Level (% of Ru)						39			
Soil Plug Weight (tons)							0.74		
Soil Support Dashpot						0.870	3.000		

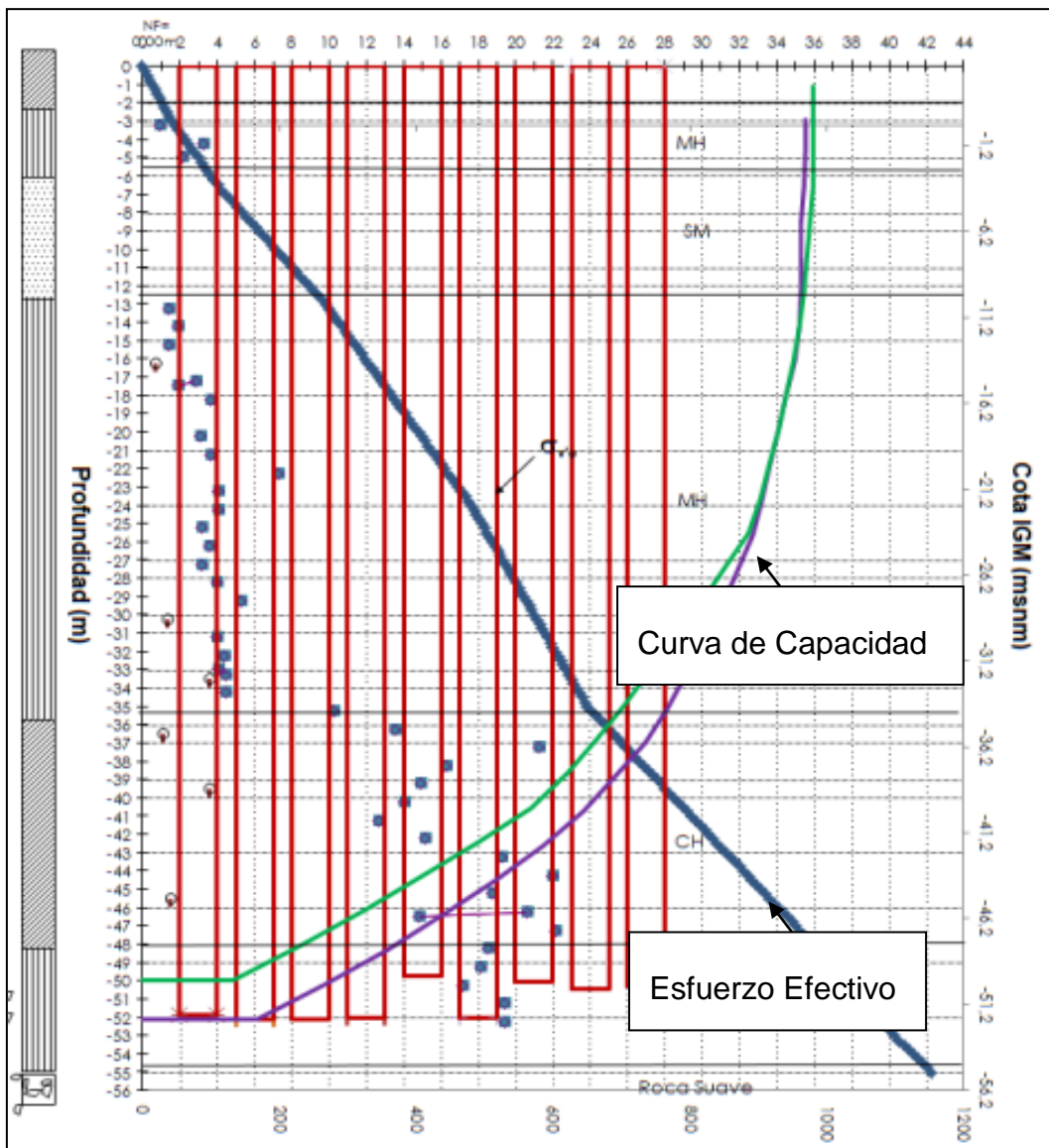
Fuente: NYLIC. (Ing. Claudio Luque. 2009)

Tabla 11. Capacidad por punta y fuste de la pila 10, pilote 4, correspondiente al tramo Bahía de Caráquez.

PILOTE/ MARTILLO	PENETRACIÓN (m)	CAPWAP			Esfuerzo máximo (kg/cm ²)	Energía transmitida (ton-m)
		FUSTE (TON)	PUNTA (TON)	TOTAL (TON)		
P10-PILA 4	52	900	70	970	1629	9,93

Fuente: NYLIC. (Ing. Claudio Luque. 2009)

Ilustración 17. Curva de Capacidad de Carga



Fuente: Autor

$$qp_{1,2} = \frac{Q_p}{A. total \text{ o } A. acero}$$

Tabla 12. Resultados de la capacidad por punta unitaria.

qp(1) (T/m ²)	qp(2) (T/m ²)
62	944

Fuente: Autor.

Basándonos en la metodología convencional al momento de calcular la capacidad por punta, teniendo como base el resultado de la prueba de carga dinámica PDA, (ver Tabla 8). Se retro-calculó parámetros de capacidad de carga tales como Nq y Nc, que para este presente trabajo de grado se lo denominará Nq y Nc para estratos de arena y arcilla respectivamente.

Tabla 13. Resultados Nq

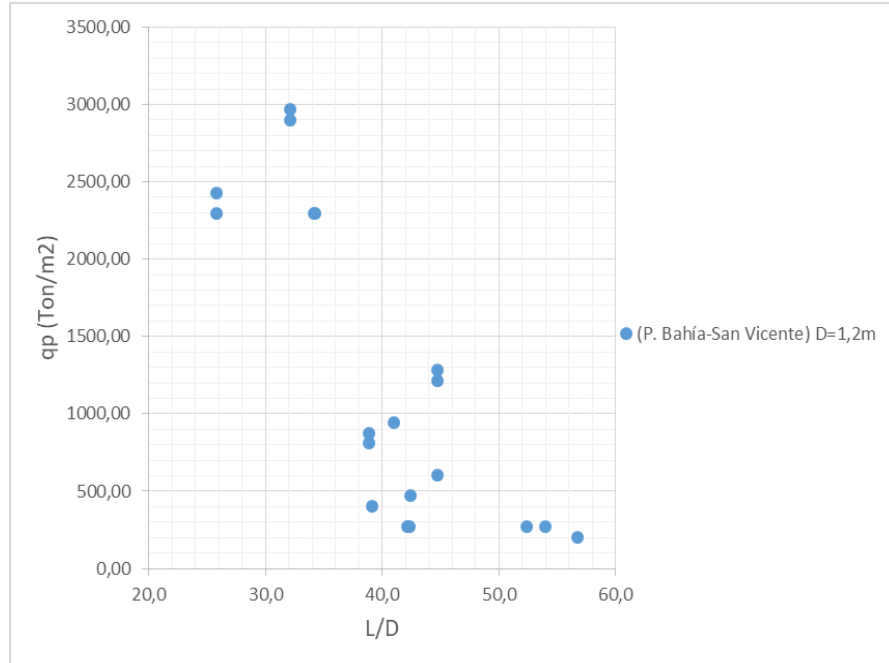
Nq1	Nq2
1,57	23,92

Fuente: Autor.

Los valores de Nq2 toman en consideración el área anular de la punta del pilote, los cuales presentan una similitud a los considerados en la teoría convencional.

3.1.6 Relación qp2 vs L/D, para todos los datos del puente.

Ilustración 18. Capacidad portante unitaria con relación longitud de penetración y diámetro

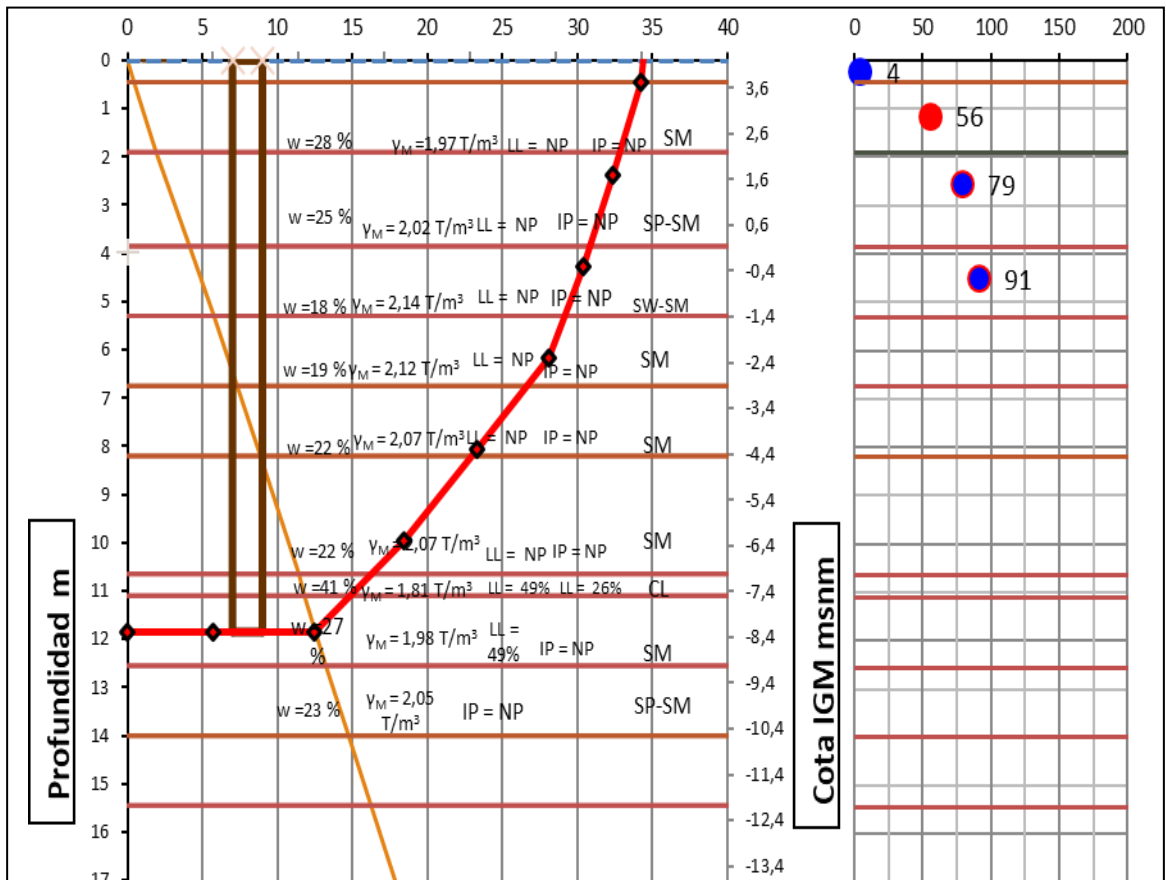


Fuente: Autor.

3.1.7 PILA 3, PILOTE 3, Puente Guayaquil – Isla Santay

Se calculó la gráfica de esfuerzos, la cual es una representación gráfica de las cargas que soporta el suelo al momento del sondeo. Con la ayuda del ensayo SPT que se le realizó a la pila, se extrajo varios números de golpes (N60) a diferentes profundidades, lo que nos ayudara a tomar un promedio de valores de (N60) con los métodos hablados en el Capítulo 2, punto (2.3).
Tabla 1.

Ilustración 19. Diagrama de Esfuerzo vs Profundidad y pilote a analizar con prueba PDA.



Fuente: (Ing. Illingworth. 2013)

Al igual que los casos anteriores se procedió a graficar una curva de capacidad de carga. Esta curva se la desarrolló a partir de valores de capacidad de la punta que generó el análisis CAPWAP, 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 presentaran a continuación.

Ilustración 20. Análisis CAPWAP, para la Pila 2, Pilote 3 del acceso Guayaquil.

Soil Sgmt No.			Dist. Below Gages	Depth Below Grade	Ru	Force in Pile	Sum of Ru	Unit Resist. (Depth)	Unit Resist. (Area)	Smith Damping Factor	Quake
			m	m	tons	tons	tons	tons/m	tons/m ²	s/m	mm
Total CAPWAP Capacity:					610.0;	along Shaft	510.0;	at Toe	100.0	tons	
					CAPWAP SUMMARY RESULTS						
1	22.0	1.0	0.0	610.0	610.0	0.0	0.00	0.00	0.000	2.676	
2	24.0	3.0	10.3	599.7	10.3	5.16	1.34	1.313	2.682		
3	26.0	5.0	34.1	565.6	44.4	17.06	4.45	1.313	2.682		
4	28.0	7.0	33.4	532.2	77.8	16.70	4.36	1.313	2.682		
5	30.0	9.0	40.3	491.9	118.1	20.13	5.25	1.313	2.682		
6	32.0	11.0	84.8	407.1	202.9	42.40	11.06	1.313	2.682		
7	34.0	13.0	84.8	322.3	287.7	42.40	11.06	1.313	2.682		
8	36.0	15.0	104.6	217.7	392.3	52.32	13.65	1.313	2.682		
9	38.0	17.0	117.7	100.0	510.0	58.85	15.35	1.313	2.682		
Avg. Shaft					56.7		30.00	7.83	1.313	2.682	
Toe					100.0			85.54	1.015	6.054	
Soil Model Parameters/Extensions								Shaft	Toe		
Case Damping Factor								1.668	0.253		
Unloading Quake (% of loading quake)								106	152		
Reloading Level (% of Ru)								100	100		
Unloading Level (% of Ru)								46			
Resistance Gap (included in Toe Quake) (mm)									0.064		
Soil Plug Weight (tons)									0.24		
Soil Support Dashpot								0.960	10.000		
Soil Support Weight (tons)								3.91	3.91		
CAPWAP match quality = 1.42 (Wave Up Match) ; RSA = 0											
Observed: final set = 2.700 mm; blow count = 370 b/m											
Computed: final set = 1.712 mm; blow count = 584 b/m											
max. Top Comp. Stress = 1.560 tons/cm ² (T= 26.1 ms, max= 1.080 x Top)											
max. Comp. Stress = 1.685 tons/cm ² (Z= 26.0 m, T= 31.1 ms)											
max. Tens. Stress = -0.210 tons/cm ² (Z= 26.0 m, T= 48.5 ms)											
max. Energy (EMX) = 10.27 tonne-m; max. Measured Top Displ. (DMX)=12.71 mm											

Fuente: (Ing. Illingworth. 2013)

Tabla 14. Capacidad por punta y fuste de la pila 2, pilote 3, correspondiente al acceso Guayaquil, del puente Guayaquil - Santay

PILOTE/ MARTILLO	PENETRACIÓN (m)	CAPWAP			Esfuerzo máximo (kg/cm ²)	Energía transmitida (ton-m)
		FUSTE (TON)	PUNTA (TON)	TOTAL (TON)		
P3-PILA 2	17,8	510	100	610	1560	10,27

Fuente: (Ing. Illingworth. 2013)

$$qp_{1,2} = \frac{Q_p}{A. total \text{ o } A. acero}$$

Tabla 15. Resultados de la capacidad por punta unitaria.

qp(1) (T/m ²)	qp(2) (T/m ²)
57	1712

Fuente: Autor.

Basándonos en la metodología convencional al momento de calcular la capacidad por punta, teniendo como base el resultado de la prueba de carga dinámica PDA, (ver Tabla 8). Se retro-calculó parámetros de capacidad de carga tales como Nq y Nc, que para este presente trabajo de grado se lo denominará Nq y Nc para estratos de arena y arcilla respectivamente.

Tabla 16. Resultados Nq

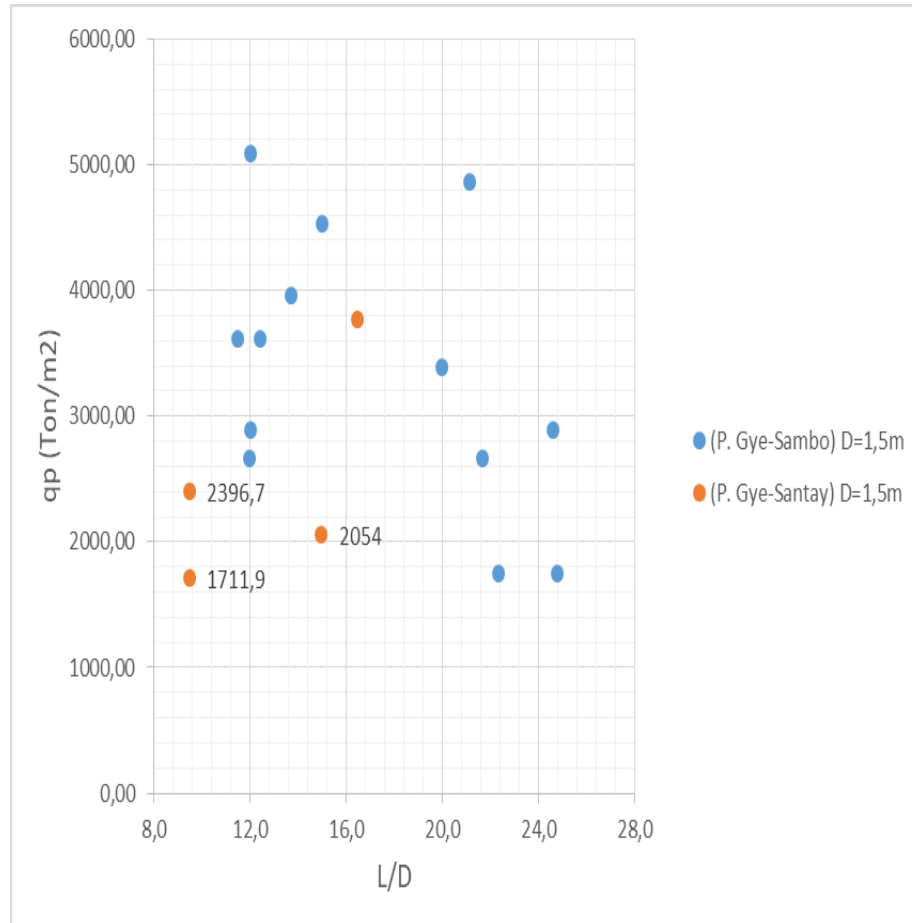
Nq1	Nq2
4,52	136,6

Fuente: Autor.

Los valores de Nq2 toman en consideración el área anular de la punta del pilote, los cuales presentan una similitud a los considerados en la teoría convencional.

3.1.8 Relación q_{p2} vs L/D , para todos los datos del puente.

Ilustración 21. Capacidad portante unitaria con relación longitud de penetración y diámetro

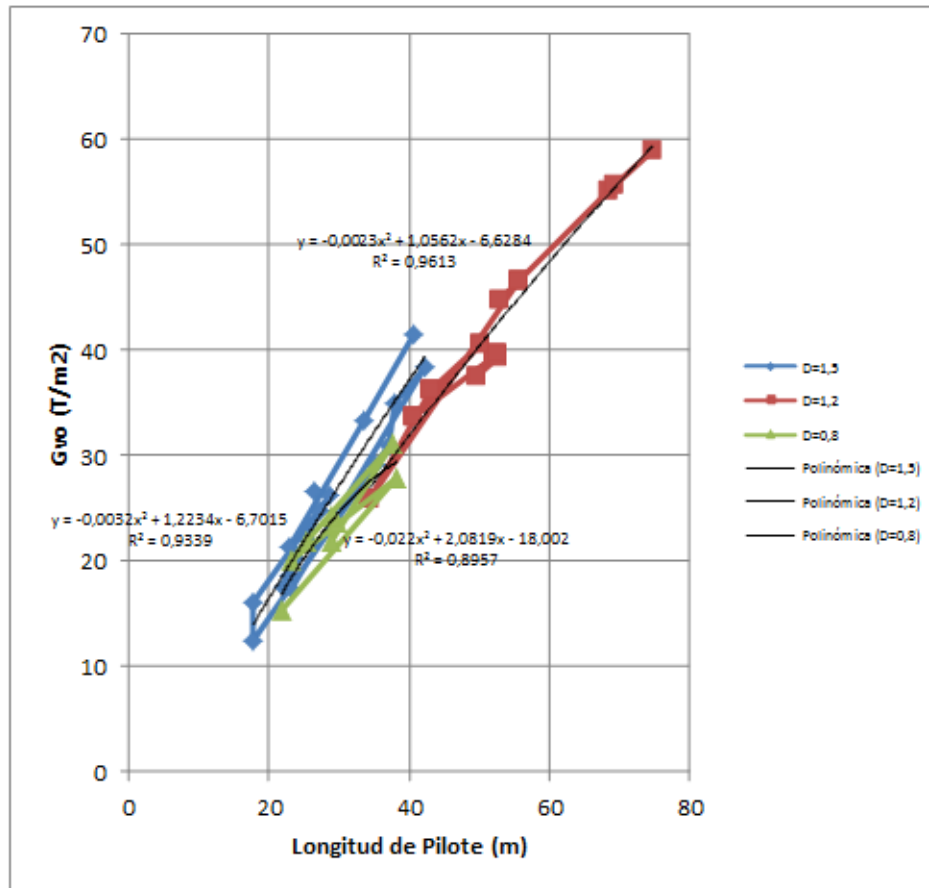


Fuente: Autor

3.2 Interpretación de Resultados mediante gráficas.

3.2.1 Curva Longitud vs Esfuerzo Efectivo, en función del diámetro

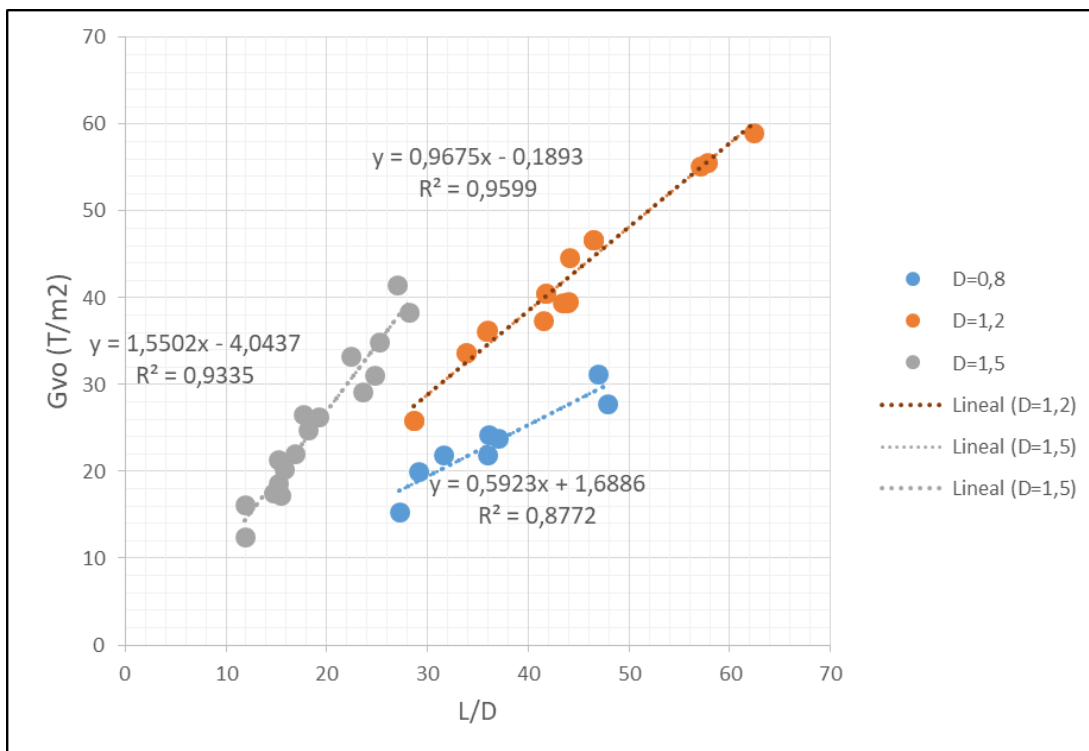
Ilustración 22. Longitud de pilote (m) vs Gwo (T/m2). Para diferentes diámetros



Fuente: Autor

3.2.2 Relación L/D vs Esfuerzo efectivo

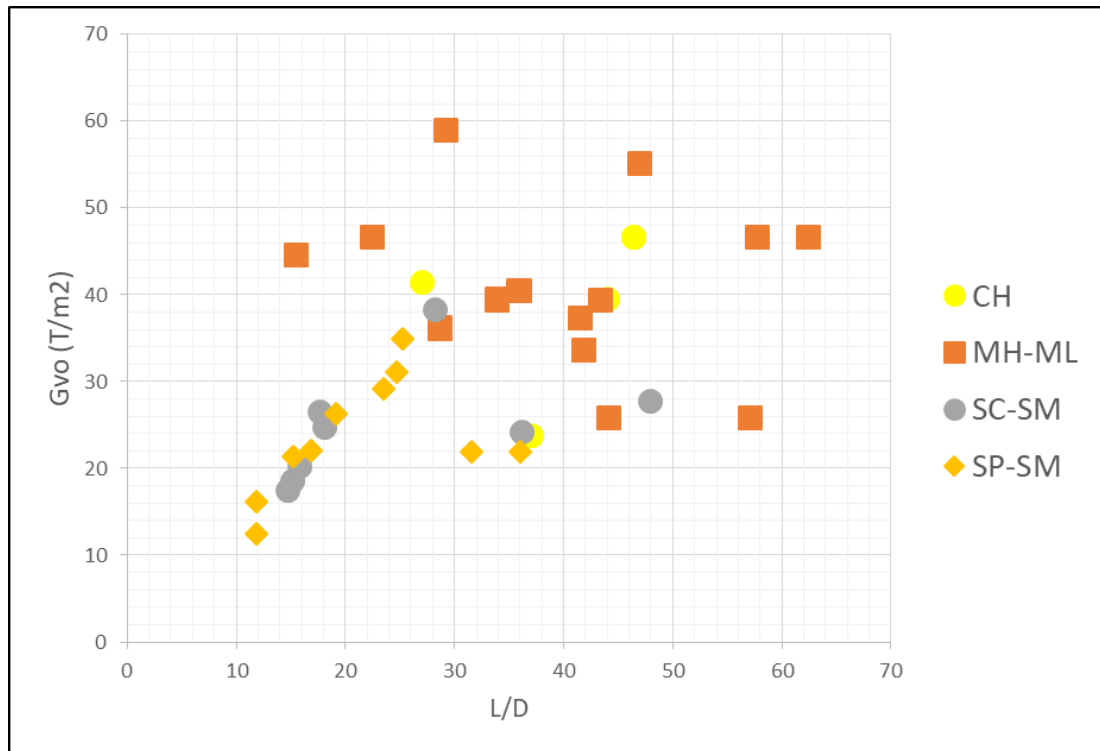
Ilustración 23. Relación L/D vs Esfuerzo Efectivo en función del diámetro



Fuente: Autor.

La relación entre la longitud del pilote y el diámetro (L/D) es un parámetro que refleja la condición de incrustación parcial o total del suelo en el pilote. Por lo tanto, es aconsejable mejorar la relación (L/D), o esbeltez del pilote. Los datos se reinterpretan en términos de resistencia, esfuerzo en la punta y (L/D), como se muestra en la Ilustración 19. Los valores (L/D), que muestra que los esfuerzos de la punta aumentan linealmente con un aumento en (L/D). Además, la Ilustración 20, sugiere que el esfuerzo en la punta no es sensible al tipo de material que se encuentra asentado el pilote. Una posible explicación para esta observación es que el efecto del tipo de suelo ha sido inexplicablemente explicado por la trayectoria de esfuerzos en la punta y la longitud de la pila, como se lo puede observar en la siguiente Ilustración.

Ilustración 24. Relación (L/D) vs Esfuerzo Efectivo, con el tipo de material al cual el pilote se encuentra asentado.



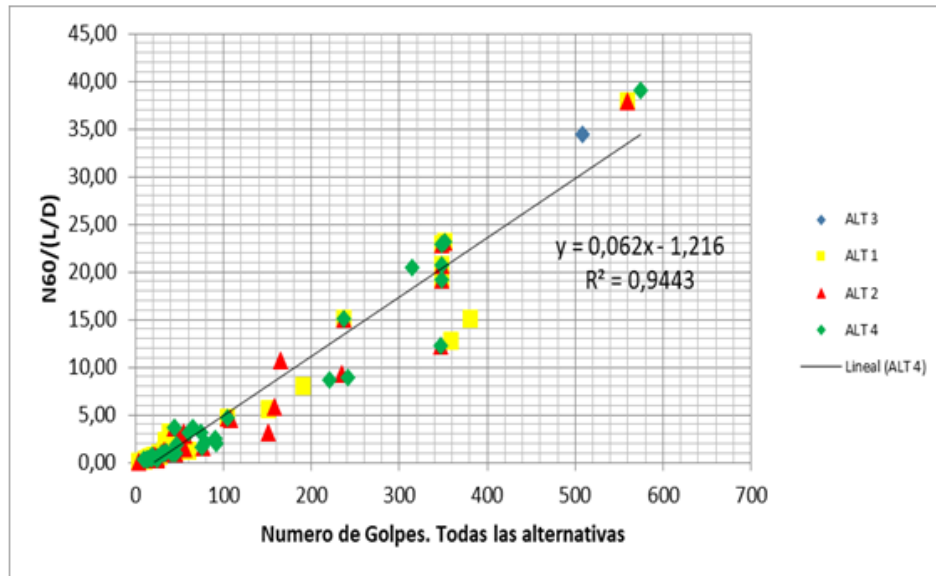
Fuente: Autor.

El análisis dependiente del estado de (Yang and Mu, 2008), sugiere la necesidad de incorporar la longitud incrustada en el estudio de la capacidad de base para pilotes. Esta necesidad también se ve respaldada por las observaciones de las pruebas de cámara centrífuga que simulan los niveles de estrés del prototipo (De Nicola y Randolph, 1997).

3.2.3 Relación (L/D) vs Número de Golpes, Todas las alternativas de N60.

Bajo la propuesta analítica siguiente, mientras mayor sea la profundidad mayor será capacidad portante del suelo, es decir, mayor será la resistencia a la penetración, es por esto que se optó por relacionar el número de golpes, la longitud del pilote y el diámetro (L/D), con sus respectivas alternativas de N60, mencionados anteriormente, (ver 2.1.1.5). Los valores de la relación entre (L/D) y número de golpes, aumentan linealmente con un aumento en N60.

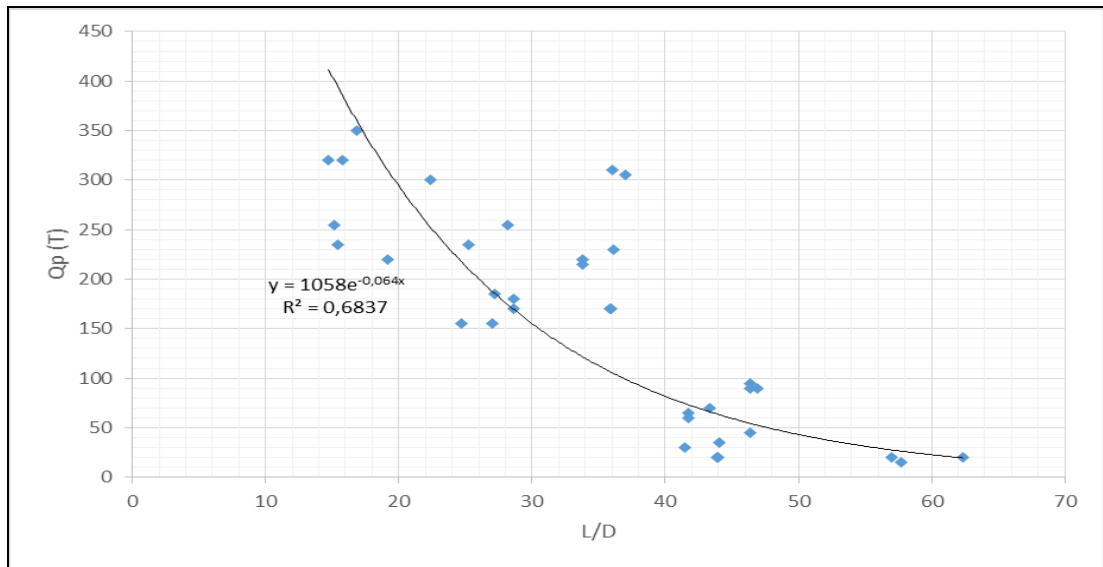
Ilustración 25. Relación N60 vs [N60 / (L/D)]



Fuente: Autor.

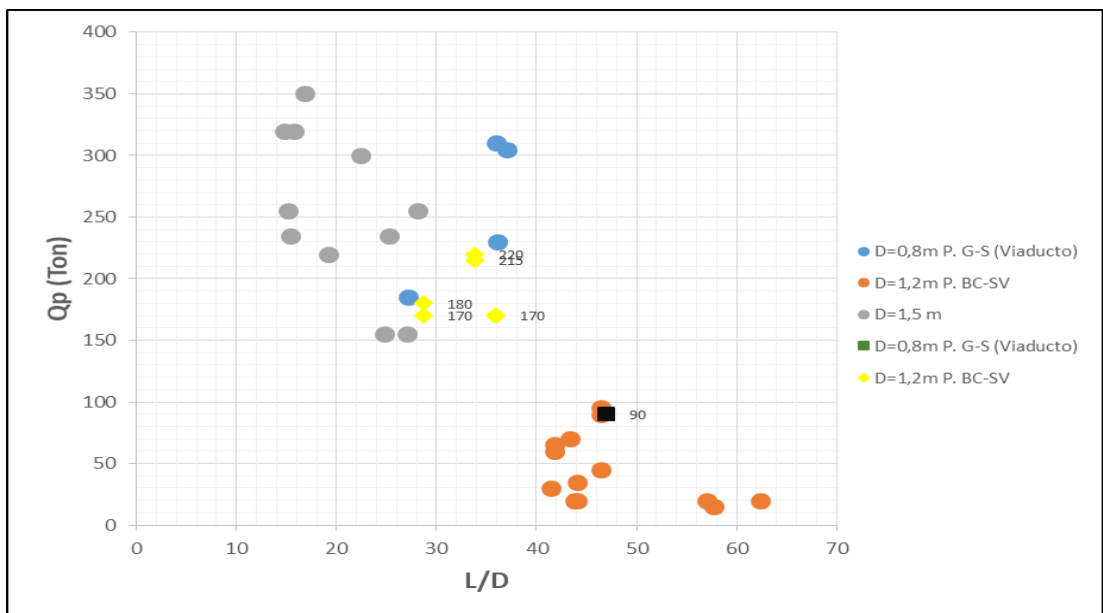
A medida que la relación entre longitud y diámetro del pilote aumenta la capacidad por punta disminuye exponencialmente, debido a que la relación L/D es un parámetro que refleja la condición de taponamiento parcial o total del suelo en el pilote, es decir mientras mayor sea el diámetro, habrá menor probabilidad de que el pilote esté taponado, menor relación L/D, y a su vez según la ilustración 22, ganaría capacidad por punta.

Ilustración 26. Relación L/D vs Capacidad por punta para todos los proyectos. Datos de cargas dinámicas PDA



Fuente: Autor.

Ilustración 27. Capacidad por Punta vs Relación L/D, para cada proyecto con sus respectivos diámetros



Fuente: Autor.

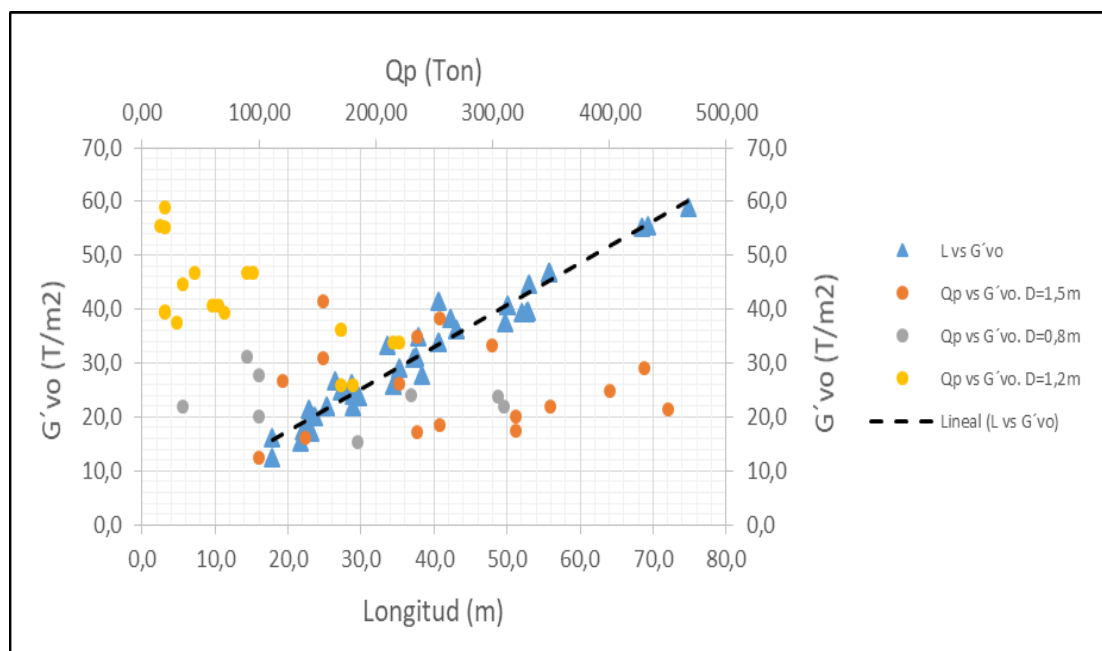
A mayor relación L/D, menos Capacidad por punta, además depende mucho del estrato en el cual el pilote se encuentra asentado. El proyecto Bahía de Caráquez – San Vicente. Que tiene diámetros de pilotes de 1,2m, en la

gráfica de color naranja, se encuentran asentados en estratos de limos y arcillas de alta plasticidad, con un promedio de número de golpes de 28, cuentan con una longitud de penetración por arriba de los 50m, por ende la relación L/D es mayor y su capacidad por punta muy baja. Este mismo proyecto cuenta con datos con capacidades por punta considerables, en la gráfica los puntos de color amarillo se encuentran asentados en limos de alta plasticidad, con un promedio de números de golpes de 21, pero su longitud de penetración va desde los 30 a 40m, con una relación L/D óptima.

De la misma manera para los proyectos restantes lo que gobierna es la relación L/D para una óptima capacidad de carga por punta.

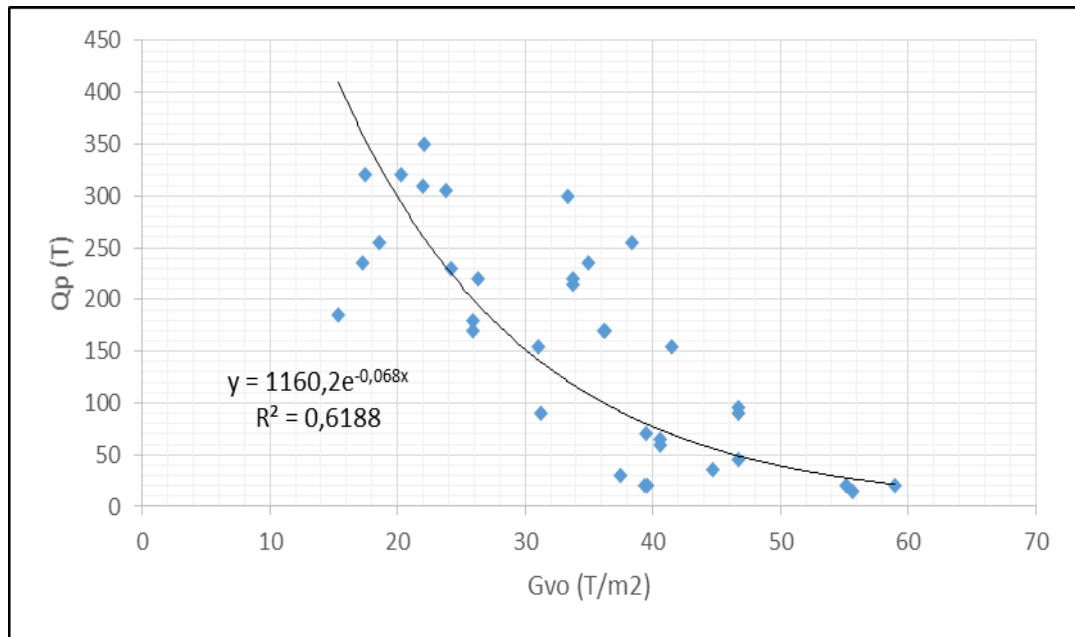
Se sabe que a mayor longitud que se penetre el pilote, se obtiene una un rango alto de esfuerzos efectivos, y la capacidad por punta comienza a decrecer. El mismo efecto se aprecia si se relacionan características del pilote tales como la longitud y el diámetro con la capacidad por punta total. Mientras mayor sea esta relación, la capacidad por punta será muy baja.

Ilustración 28. Relación G'_{vo} con Longitud de penetración del pilote, para su Capacidad total por punta



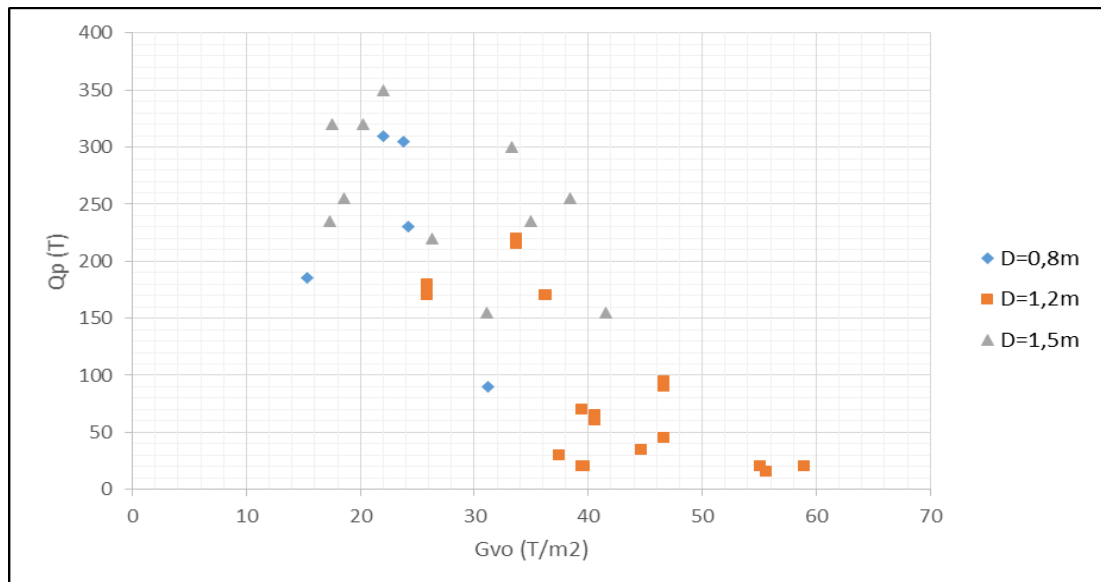
Fuente: Autor.

Ilustración 29. Esfuerzo Efectivo vs Capacidad por Punta, de todos los datos.



Fuente: Autor.

Ilustración 30. Esfuerzo Efectivo (G'vo) vs Capacidad por punta (Qp), para diferentes diámetros.

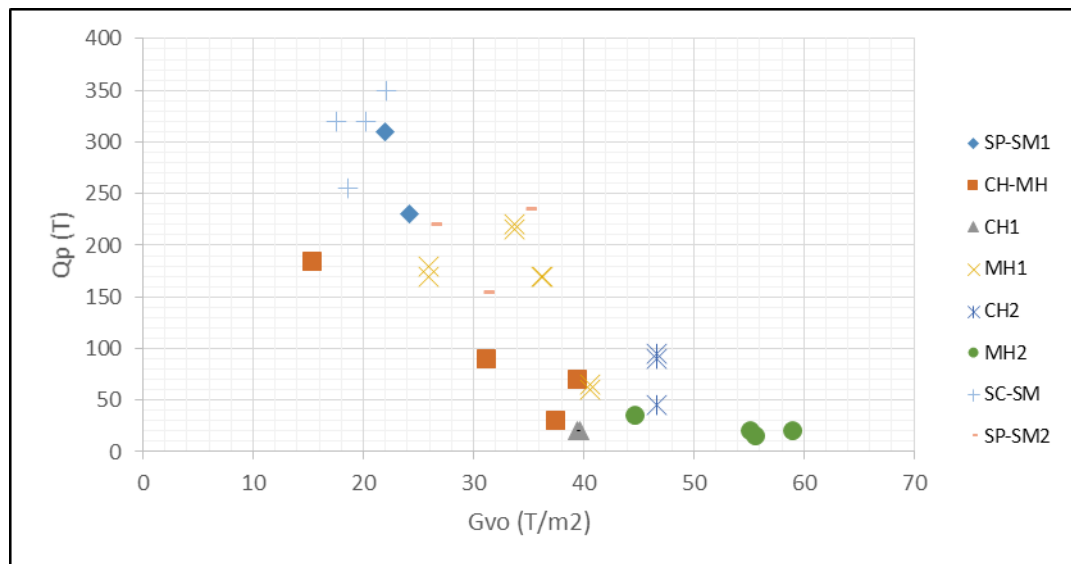


Fuente: Autor.

Tal y como se dijo en la Ilustración 27. Si gobierna la relación entre la longitud de penetración y el diámetro, entonces su esfuerzo efectivo se

relaciona con esta relación. La capacidad por punta aumenta linealmente a medida que el esfuerzo efectivo en la punta del pilote disminuye.

Ilustración 31. Esfuerzo Efectivo vs Capacidad por punta, con diferentes tipos de estratos en el cual se asentaron los pilotes.

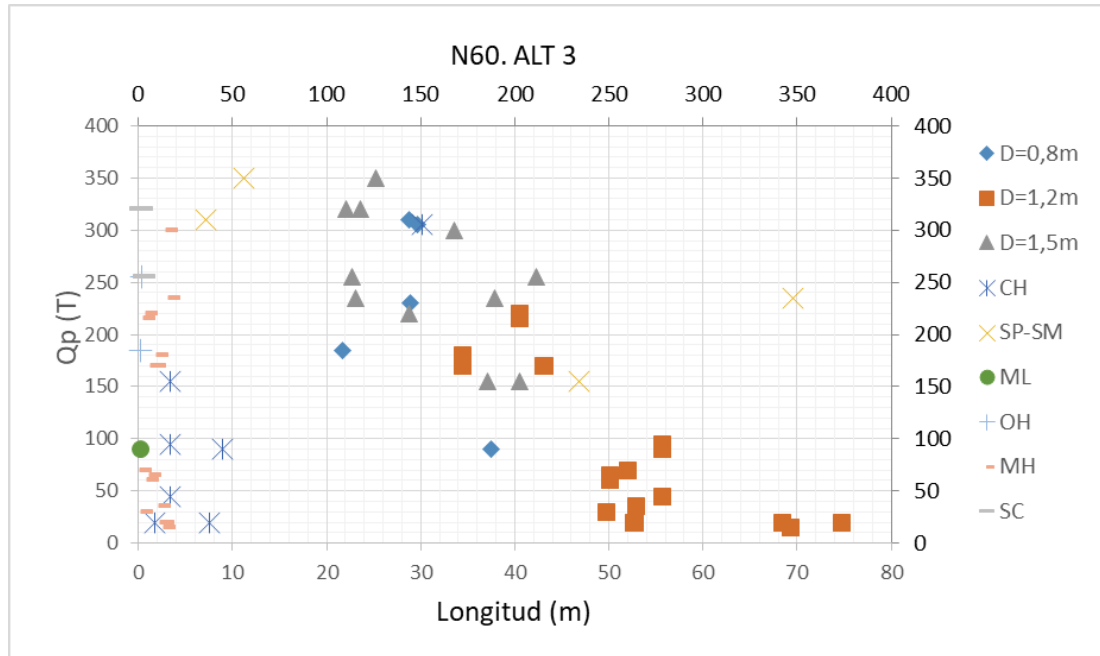


Fuente: Autor.

El estrato que menos aporta capacidad a la punta son los Limos de alta plasticidad, pero a su vez generan los mayores esfuerzos, esto es debido a que cuentan con longitudes de pilotes que van desde los 40 a 65 m, con diámetros de 1,2m, y se presentan en el proyecto Bahía de Caráquez. Cuentan con bajo número de golpes que van desde los 11 a 24, dependiendo las alternativas y de las pilas. Por otro lado el estrato que más aporta capacidad por punta son arenas arcillosas y arenas mal gradadas, que cuentan con bajo esfuerzo efectivo y esto es causado por la poca longitud de penetración de los pilotes, que tienen aproximadamente 23 a 25 m, con diámetros de 1,5m, y se presentan en el proyecto Guayaquil-Samborondón. Cuentan con un número de golpes considerables que van desde los 20 a 40, dependiendo de las alternativas y de las pilas.

3.2.4 Relación Longitud (L) vs Capacidad por Punta total (Qp), para valores de N60, Alternativa 3.

Ilustración 32. Capacidad por punta vs Longitud

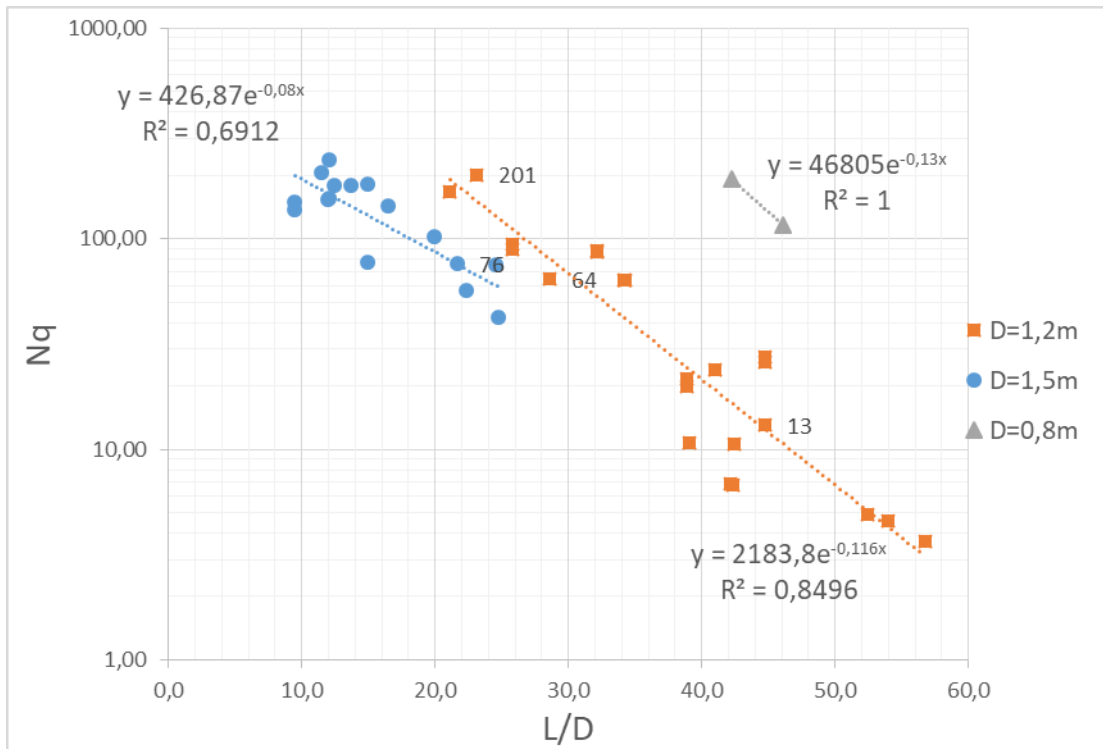


Fuente: Autor.

Según la gráfica que deriva de los datos obtenidos, la capacidad por punta total (Qp), aumenta exponencialmente conforme la longitud disminuye. Para los valores más bajos de (Qp), estos presentan longitudes de pilotes mayores que el resto, que van desde los 50 en adelante, con diámetros iguales a 1.2m, valores de N60 entre 0 y 25 la mayoría, y asentados en estrados conformados de arcillas arcillosas, limos de alta plasticidad y turba.

3.2.5 Relación Nqp2 vs L/D

Ilustración 33. Relación longitud de penetración y Nq “estimado”

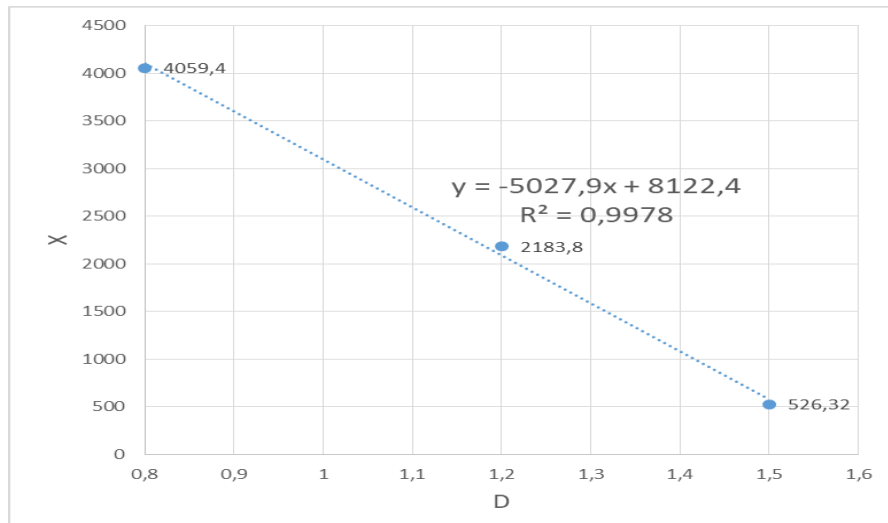


Fuente: Autor.

Para los datos de diámetro iguales a 0,8m, según la gráfica, en realidad está actuando más punta de lo asumido, por ello tienen mayor Nq que los demás proyectos.

Se requiere estandarizar un solo valor de la recta, ya que presentan una similar pendiente, para lo cual se realizará una curva que englobe a las tres rectas antes mencionadas.

Ilustración 34. Relación ecuaciones de las rectas de la ilustración 33 con el diámetro



Fuente: Autor.

Mediante esta gráfica obtenemos una constante para estimar un valor semejante al N_q , que lo denominaremos N_{qp} .

$$Q_p = N_{qp} \cdot G'_{vo} \cdot A$$

$$N_{qp} = [-5030D + 8125] e^{(-0,11 \cdot L/D)}$$

$$Q_p = [(-5030D + 8125) e^{(-0,11 \cdot L/D)}] \cdot G'_{vo} \cdot A$$

Tabla 17. Relación de datos estimados mediante fórmula y datos de análisis CAPWAP

D=1,5m				D=1,2m				D=0,8m			
L/D	G'vo (T/m²)	Qp (formula) (Ton)	Qp (Ton)	L/D	G'vo (T/m²)	Qp (formula) (Ton)	Qp (Ton)	L/D	G'vo (T/m²)	Qp (formula) (Ton)	Qp (Ton)
24,8	41,5	238,537	155	57	55,6	10,928	15	46	31,2	89,047	90
22	35	258,108	235	54	59	16,423	20	42	27,8	106,248	100
20	33,3	293,415	300	52	51	17,903	20	31	24,2	206,457	230
16	26,3	220,552	220	45	46,7	36,925	45	32	23,8	188,750	305
12	17,3	310,672	235	39	40,6	64,387	60	32	22	174,475	309,9
14	22,1	332,157	350	41	39,5	49,672	70	32	15,4	122,133	185
12	21,4	384,299	450	34	36,3	102,818	170				

Fuente: Autor.

Esta estimación tiene limitantes, una de ella es que mientras más cercano esté un valor a la recta, más similar será al valor obtenido del análisis CAPWAP.

4 CAPÍTULO 4

4.1 Capacidad por Fuste.

La capacidad por fuste de un pilote se desarrolla a lo largo de la longitud de la estructura, generando un factor llamado fricción entre el fuste y el suelo, el suelo ayuda a este mecanismo generando una resistencia al corte. El suelo además de aportar con una resistencia a la penetración también genera una resistencia lateral, que depende casi únicamente del tipo de suelo en el cual el pilote esté asentado, en tal caso se puede concluir que para que se genere dicha resistencia depende de dos factores, la adherencia y resistencia al corte a lo largo del pilote.

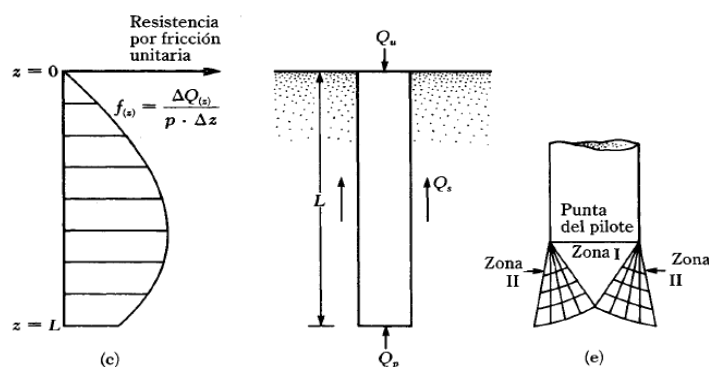
La resistencia por fricción por área unitaria, $f(z)$, a cualquier profundidad de determina con la siguiente formula. (DAS, 1999)

$$f_s = \frac{\Delta Q(z)}{(p)(\Delta z)}$$

Donde p , es el perímetro de la sección transversal del pilote.

La siguiente ilustración muestra la variación de $f(z)$ con la profundidad.

Ilustración 35. Respuesta del suelo en el fuste y en la punta del pilote ante cargas impuestas.



Fuente: Braja Das (1999)

4.1.1 Métodos para calcular capacidad por fuste, según varios autores.

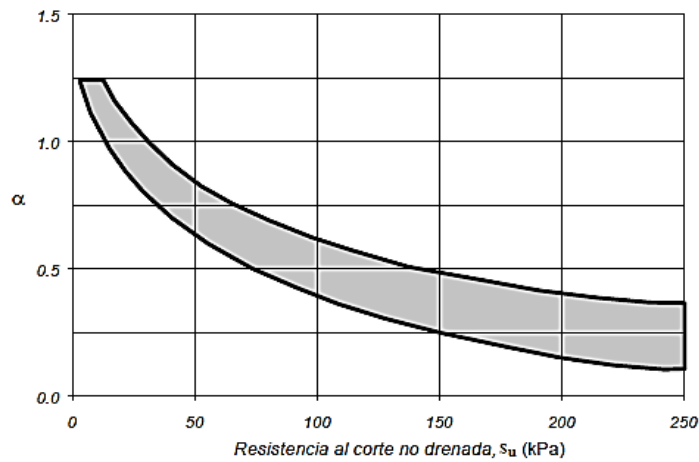
4.1.1.1 Método α .

Método propuesto por (Tomilson, 1971). El dedujo la reconsolidación del suelo arcilloso alrededor del pilote, es decir la resistencia unitaria superficial en suelos arcillosos o cohesivos.

$$f_s = \alpha_f S_u$$

Siendo S_u la resistencia no drenada del suelo y α_f es el coeficiente en condiciones no drenadas.

Ilustración 36. Resistencia no drenada del suelo con coeficiente en condiciones no drenadas



Por otra parte, (Bowles, 1997), sugiere que los valores del factor α . Pueden ser considerados como se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 18. Factores de Adherencia

Condiciones del suelo	Factor de Adherencia (α)
Arenas o gravas por encima de un suelo cohesivo rígido	1.25

Condiciones del suelo	Factor de Adherencia (α)
Arcillas blandas o limos sobre un suelo cohesivo rígido	0.40
Suelo cohesivo rígido	0.40

Fuente: Evaluación comparativa de la capacidad de carga en cimentaciones profundas, 2011

(Randolph & Murphy, 1985), habla de la relación de resistencias, se puede relacionar tanto con el valor del OCR para un suelo determinado, y también con el valor de K_0 . Sin embargo, α es una magnitud más fundamental (y directamente medible) que cualquiera de las otras dos, y además refleja la totalidad de la historia de tensiones del suelo.

$$Q_{fricción} = \sum(fp \Delta L) = \sum(\alpha Su p \Delta L)$$

4.1.1.2 Método β .

(Burland, 1973), validó la aplicación de esfuerzos efectivos, el afirmó que existe una relación entre el parámetro beta y al esfuerzo efectivo del suelo.

$$f_s = \beta q_v$$

Siendo $\beta = k_o \tan \delta$

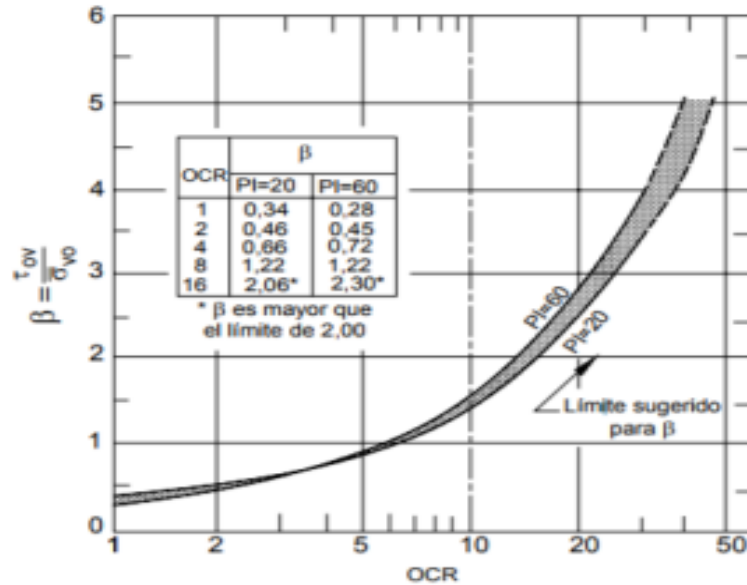
(Braja Das, 2006), validó la relación en suelos estratificados mediante la siguiente expresión.

$$Q_{fricción} = \sum(fp \Delta L) = \sum(\beta \sigma_{v0} \Delta L)$$

Dedujo valores de β , $0.25 \leq \beta \leq 0.40$, donde k_0 es el coeficiente de empuje de tierras en reposo, expresa que cuando los pilotes se hincan en arcillas saturadas la presión del agua en el suelo alrededor de los pilotes aumenta:

este exceso de presión en arcillas normalmente consolidadas es de 4 a 6 veces S_u .

Ilustración 37. β en función de OCR



Fuente: Braja Das.

(O'Neill and Reese, 1999) publicó una tabla con valores típicos de β , para diferentes tipos de suelo.

Tabla 19. Valores típicos de β según el tipo de suelo

Tipo de Suelo	Cast in Place Piles	Driven Piles
Limo	0.2 - 0.3	0.3 - 0.5
Arena Suelta	0.2 - 0.4	0.3 - 0.8
Arena Media	0.3 - 0.5	0.6 - 1.0

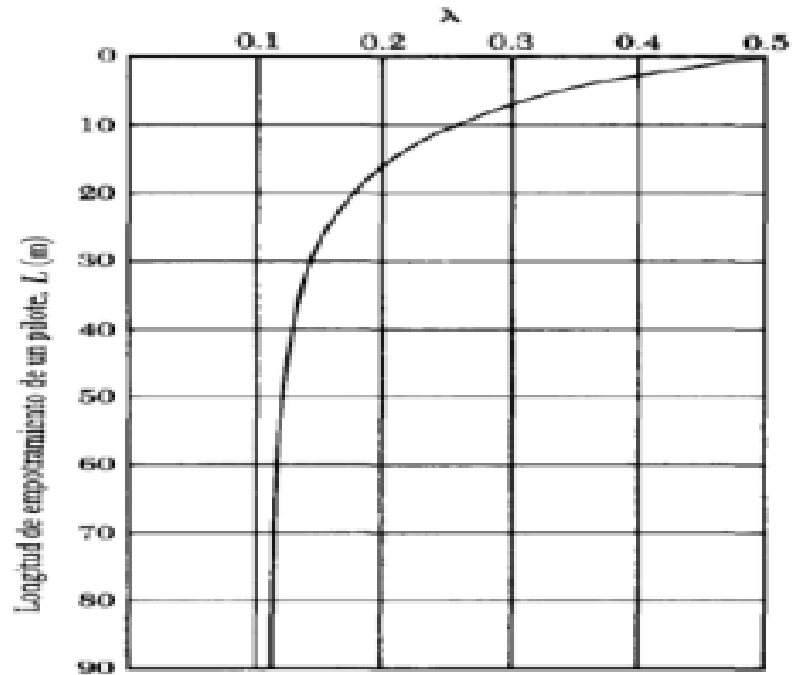
Autor: Canadian Foundation Engineering Manual, 4th Edición.

4.1.1.3 Método λ

Propuesto por (Fotch, 1972). Está basado en la hipótesis de que el desplazamiento del suelo causado por el hincado del pilote con perfil metálico conduce a una presión lateral pasiva a cualquier profundidad. (Das, 2006). Establece que la capacidad lateral en pilotes de perfil metálico, en caso de trabajar con esfuerzos totales puede ser evaluada considerando:

$$f_s = \lambda(\sigma'_{vo} + 2Su)$$

Ilustración 38. Valores de coeficiente de fricción lateral.



Fuente: Braja Das

4.2 Proyecto: Puente Guayaquil – Samborondón. Pila 2, Pilote 3.

Para el cálculo de la capacidad por fuste, se tomó en cuenta dos casos, 1) resultados de las pruebas de carga dinámica y análisis CAPWAP, (ver 3.3.1, Ilustración 11), 2) se hizo un análisis aplicando los métodos descritos en el punto 4.1, obteniendo parámetros tales como β y α .

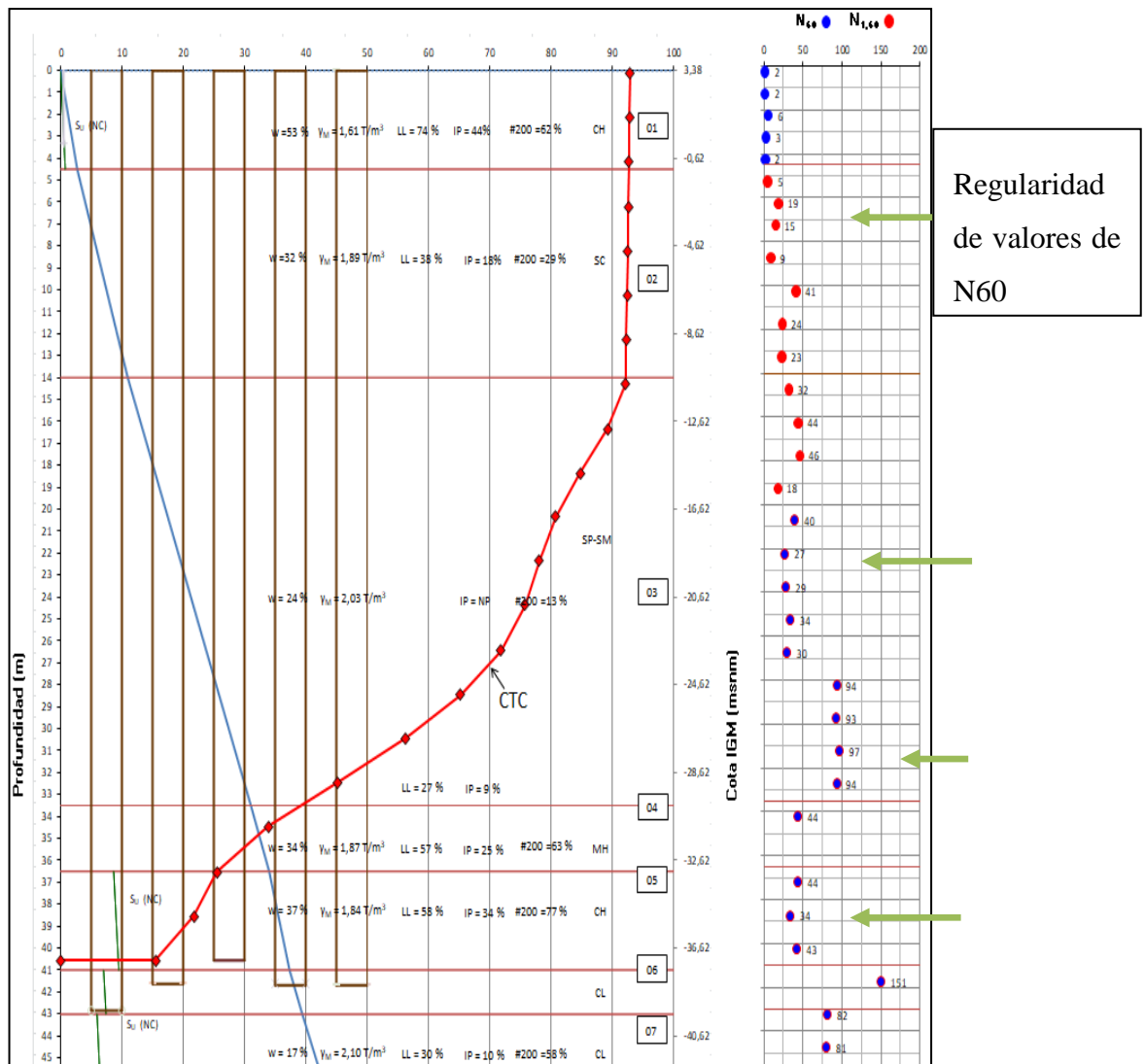
Tabla 20. Datos de pruebas de cargas dinámicas y análisis CAPWAP.

Profundidad	Capacidad por Punta (Ton)	Capacidad por fuste (Ton)	Prof /Sondeo	Cota
1,6	930	0	-1,85	5,23
3,6	929	0,99	0,15	3,23
5,6	928	1,98	2,15	1,23
7,6	927	2,97	4,15	-0,77
9,7	926	3,96	6,25	-2,87
11,7	925	4,95	8,25	-4,87
13,7	924	5,94	10,25	-6,87
15,7	923	6,93	12,25	-8,87
17,7	922	7,92	14,25	-10,87
19,8	892,5	37,51	16,35	-12,97
21,8	847,9	82,06	18,35	-14,97
23,8	807,3	122,67	20,35	-16,97
25,8	780,9	149,07	22,35	-18,97
27,8	757,7	172,24	24,35	-20,97
29,9	717,8	212,12	26,45	-23,07
31,9	652,4	277,53	28,45	-25,07
33,9	562,6	367,37	30,45	-27,07
35,9	452,5	477,49	32,45	-29,07
37,9	339,2	590,74	34,45	-31,07
40	254,7	675,28	36,55	-33,17
42	217,9	712,06	38,55	-35,17
44	155	774,96	40,55	-37,17
44	0		40,55	-37,17

Fuente: Autor

A partir de esa tabla de datos se procedió a determinar pendientes de la curva de capacidad de carga (ver 3.3.1, Ilustración 12), por medio de dos parámetros, número de golpes (N60), es decir, cuando se presente un cambio brusco de número de golpes conforme aumente la profundidad y que tan pronunciada se encuentre la curva de capacidad de carga, como se demuestra en la siguiente ilustración.

Ilustración 39. Curva de Capacidad de carga. PILA 2, Pilote 3.



Fuente: Autor

A partir de los datos se calculó la capacidad por fuste, para una determinada sección del eje del pilote. Además, aplicando el principio de Braja Das, y tomando en cuenta que la sección escogida, cuenta con un estrato que lo rodea compuesto por una Arena mal gradada.

$$f_s = \frac{(\text{Pendiente por fuste})}{\text{Longitud} * \text{Perímetro}}$$

$$f_s = \beta * \sigma'_{vo}$$

$$f_s = \frac{(562,6 - 217,9)}{9,5m * 4,71m}$$

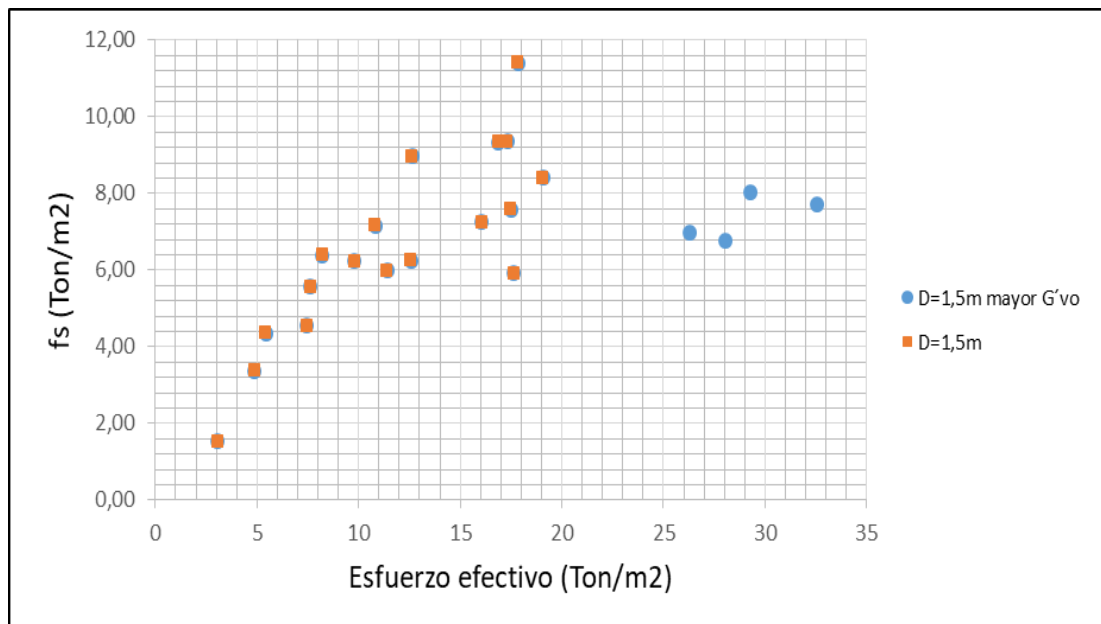
$$f_s = 0,24 * 32,53$$

$$f_s = 7,7 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}$$

$$f_s = 7,81 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}$$

4.2.1.1 Relación f_s vs Esfuerzo Efectivo, para diámetros iguales a 1,5m del presente proyecto.

Ilustración 40. Relación f_s vs σ'_{vo} .



Fuente: Autor

Por efecto de la longitud y su relación con el aumento del esfuerzo efectivo, se puede observar un incremento potencial de la capacidad por fuste. No es el caso de los puntos azules en la gráfica, que demuestran tener mayor esfuerzo efectivo, sin embargo, poca capacidad por fuste. Estas 4 muestras

se encuentran asentadas en suelos arenosos pobremente graduados, con presencia de limo. Constan de pesos específicos altos, por encima de 2T/m³, un promedio de porcentaje de humedad del 22%, índice plástico bajo, aproximadamente del 8%, la longitud que se consideró para obtener una pendiente a medida que el pilote se profundiza es de 9 a 17m obteniendo un promedio de N60 de 50. A diferencia de los otros datos que tienen un número de golpes (N60) menores de 30. La única semejanza de los datos en la gráfica de color azul es que se los tomó en una zona cercana a la punta del pilote.

4.2.2 Proyecto: Puente Bahía de Caráquez – San Vicente. Pila 10, Pilote 4.

Para el cálculo de la capacidad por fuste, se tomó en cuenta dos casos, 1) resultados de las pruebas de carga dinámica y análisis CAPWAP, (ver 3.1.3.2. Ilustración 16), 2) se hizo un análisis aplicando los métodos descritos en el punto 4.1, obteniendo parámetros tales como β y α .

Tabla 21. Datos de pruebas de cargas dinámicas y análisis CAPWAP.

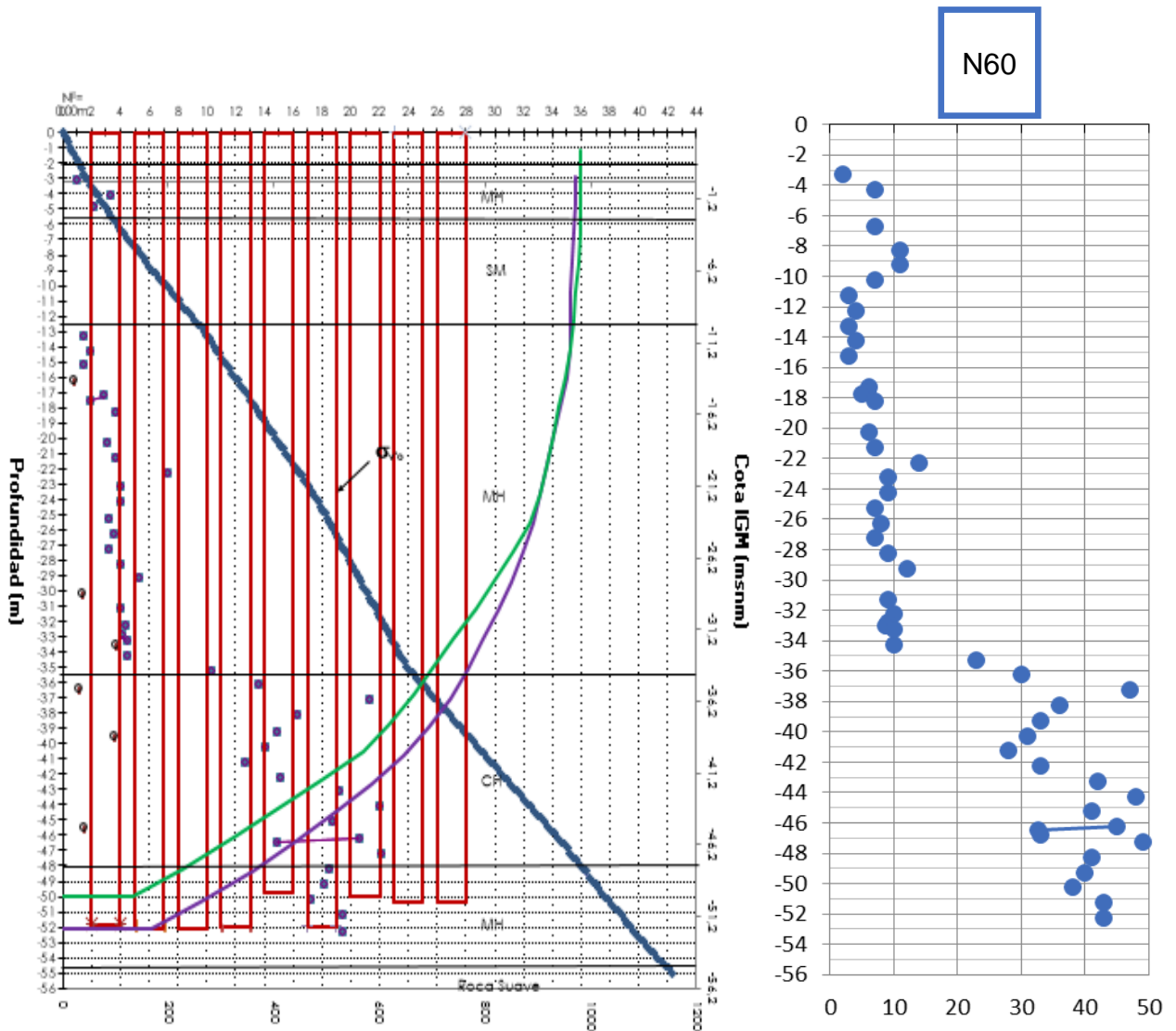
Profundidad	Capacidad por punta	Capacidad por fuste (Ton)	Prof. /Sondeo	Cota
3	970	0	-0,35	0,35
5	970	0	1,65	-1,65
7	966,2	3,8	3,65	-3,65
9,1	963,4	6,6	5,75	-5,75
11,1	962,2	7,8	7,75	-7,75
13,1	962,2	7,8	9,75	-9,75
15,1	961,1	8,9	11,75	-11,75
17,1	953,9	16,1	13,75	-13,75
19,1	941,1	28,9	15,75	-15,75
21,1	929,1	40,8	17,75	-17,75
23,2	917,2	52,8	19,85	-19,85
25,2	905,3	64,7	21,85	-21,85
27,2	892,5	77,5	23,85	-23,85
29,2	871,4	98,6	25,85	-25,85
31,2	849,4	120,6	27,85	-27,85
33,2	823,7	146,3	29,85	-29,85
35,2	796,2	173,8	31,85	-31,85

Profundidad	Capacidad por punta	Capacidad por fuste (Ton)	Prof. /Sondeo	Cota
37,3	766,9	203,1	33,95	-33,95
39,3	735,7	234,2	35,95	-35,95
41,3	692,2	277,8	37,95	-37,95
43,3	645,9	324,1	39,95	-39,95
45,3	585,7	384,3	41,95	-41,95
47,3	516,2	453,8	43,95	-43,95
49,3	442,1	527,9	45,95	-45,95
51,4	358,7	611,3	48,05	-48,05
53,4	266,1	703,9	50,05	-50,05
55,4	168	801,9	52,05	-52,05
57,4	70	900	52,05	-52,05
	0			-52,05

Fuente: Autor

A partir de esa tabla de datos se procedió a determinar pendientes de la curva de capacidad de carga (ver 3.1.3.2. Ilustración 12), por medio de dos parámetros, número de golpes (N60), es decir, cuando se presente un cambio brusco de número de golpes conforme aumente la profundidad y que tan pronunciada se encuentre la curva de capacidad de carga, como se demuestra en la siguiente ilustración.

Ilustración 41. Curva de Capacidad de carga. PILA 2, Pilote 3.



A partir de los datos se calculó la capacidad por fuste, para una determinada sección del eje del pilote. Además, aplicando el principio de Braja Das, y tomando en cuenta que la sección escogida, cuenta con un estrato que lo rodea compuesto por una Arena mal gradada.

$$f_s = \frac{\text{(Pendiente por fuste)}}{\text{Longitud} * \text{Perímetro}}$$

$$f_s = \beta * \sigma'_{vo}$$

$$f_s = \frac{(692.2 - 70)}{11.05m * 3.80m}$$

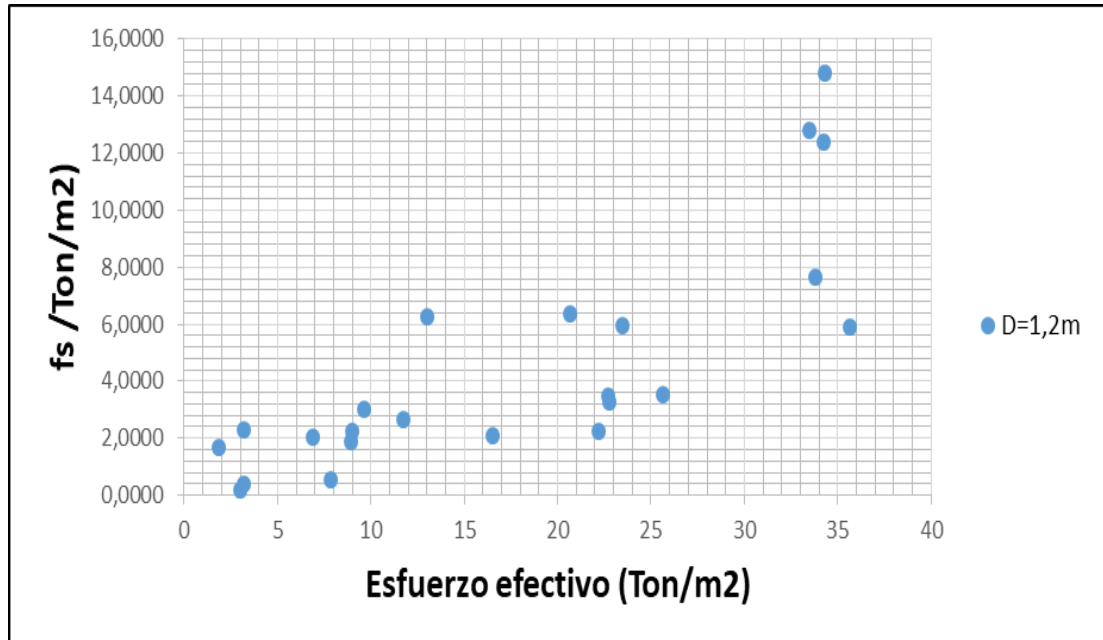
$$f_s = 0,43 * 34.32$$

$$f_s = 14.81 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}$$

$$f_s = 14.81 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}$$

1.1.1. Relación f_s vs Esfuerzo Efectivo, para diámetros iguales a 1,2m del presente proyecto.

Ilustración 42. Relación f_s vs σ'_{vo} .



Fuente: Autor

Por efecto de un aumento del esfuerzo efectivo y a raíz de una mayor longitud, se puede observar un incremento potencial de la capacidad por fuste.

4.2.3 Proyecto: Puente Guayaquil – Isla Santay. Pila 2, Pilote 3.

Para el cálculo de la capacidad por fuste, se tomó en cuenta dos casos, 1) resultados de las pruebas de carga dinámica y análisis CAPWAP, (ver 3.1.3.3. Ilustración 21), 2) se hizo un análisis aplicando los métodos descritos en el punto 4.1, obteniendo parámetros tales como β y α .

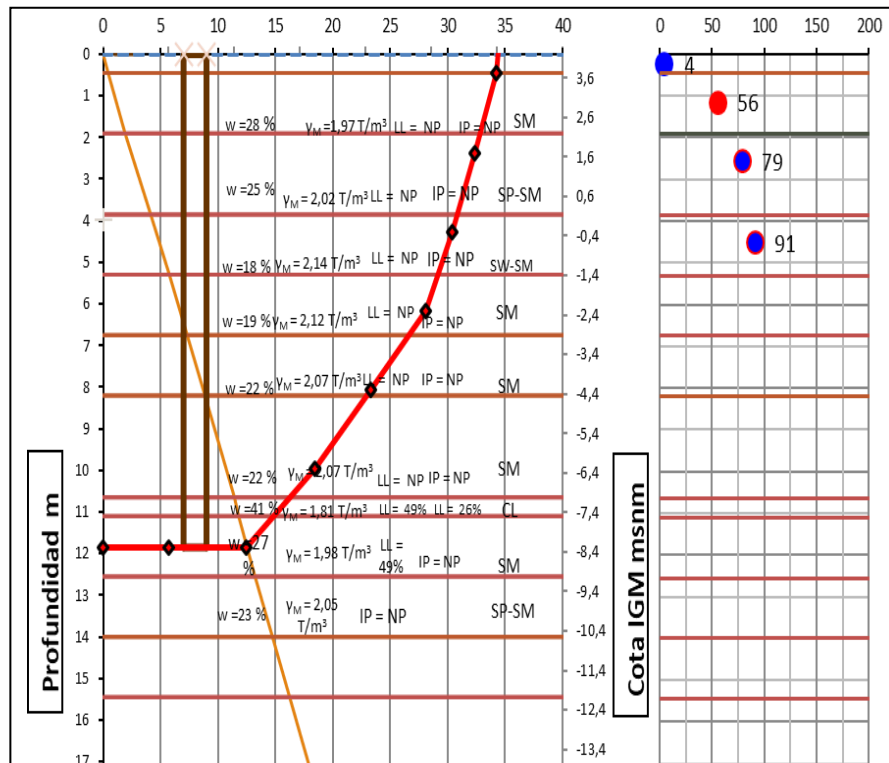
Tabla 22. Datos de pruebas de cargas dinámicas y análisis CAPWAP.

Profundidad	Capacidad por Punta (Ton)	Capacidad por fuste (Ton)	Prof /Sondeo	Cota
1	610	0	-2,15	5,71
3	599,7	10,3	-0,15	3,71
5	565,6	44,4	1,85	1,71
7	532,2	77,8	3,85	-0,29
9	491,9	118,1	5,85	-2,29
11	407,1	202,9	7,85	-4,29
13	322,3	287,7	9,85	-6,29
15	217,7	392,3	11,85	-8,29
17	100	510	11,85	-8,29
	0			-8,29

Fuente: Autor

A partir de esa tabla de datos se procedió a determinar pendientes de la curva de capacidad de carga (ver 3.3.1, Ilustración 12), por medio de dos parámetros, número de golpes (N60), es decir, cuando se presente un cambio brusco de número de golpes conforme aumente la profundidad y que tan pronunciada se encuentre la curva de capacidad de carga, como se demuestra en la siguiente ilustración.

Ilustración 43. Curva de Capacidad de carga. PILA 2, Pilote 3.

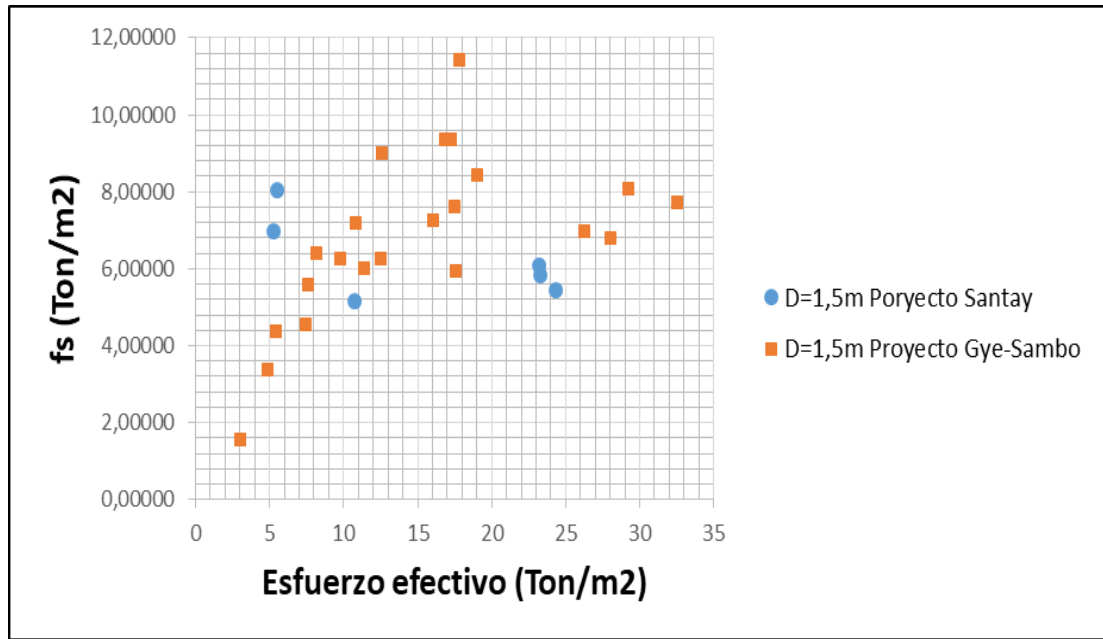


Fuente: Autor

A partir de los datos se calculó la capacidad por fuste, para una determinada sección del eje del pilote. Además, aplicando el principio de Braja Das, y tomando en cuenta que la sección escogida, cuenta con un estrato que lo rodea compuesto por una Arena mal gradada.

4.2.3.1 Relación f_s vs Esfuerzo Efectivo, para diámetros iguales a 1,5m del presente proyecto.

Ilustración 44. Relación f_s vs σ'_{vo} .

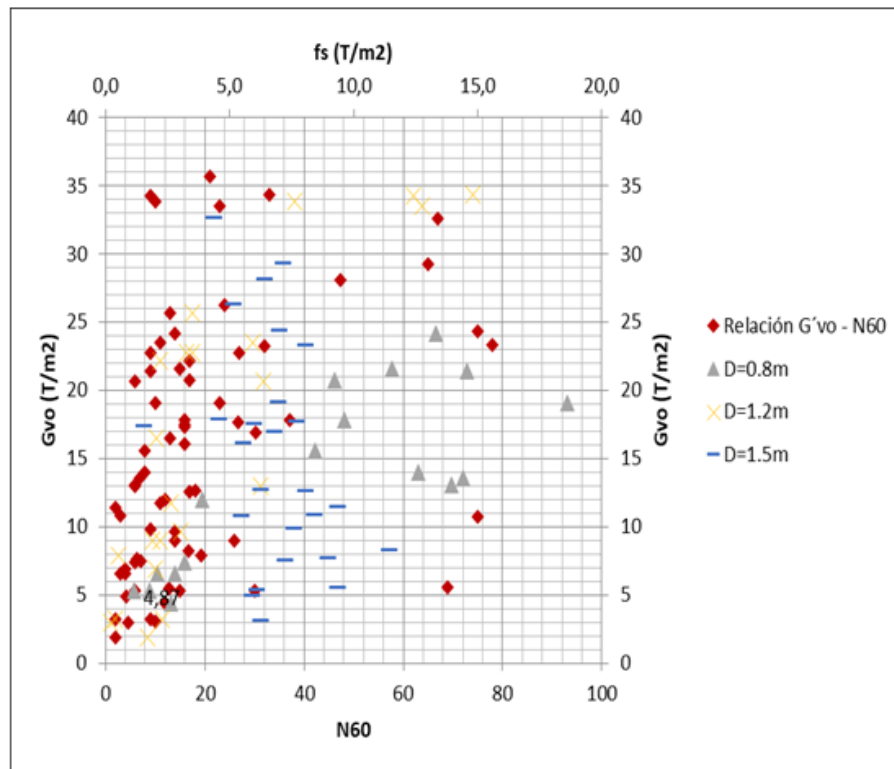


Fuente: Autor

Según los sondeos de este proyecto, los valores de N_{60} son mayores a 60. Los pilotes se encuentran asentados en arenas pobremente y bien gradadas, arcillas de baja plasticidad, de índices plásticos altos, por encima del 60%.

4.2.4 Esfuerzo Efectivo (σ'_{vo}) para diferentes alternativas de N_{60} según sea el diámetro y la capacidad por fuste

Ilustración 45. Esfuerzo Efectivo vs N60

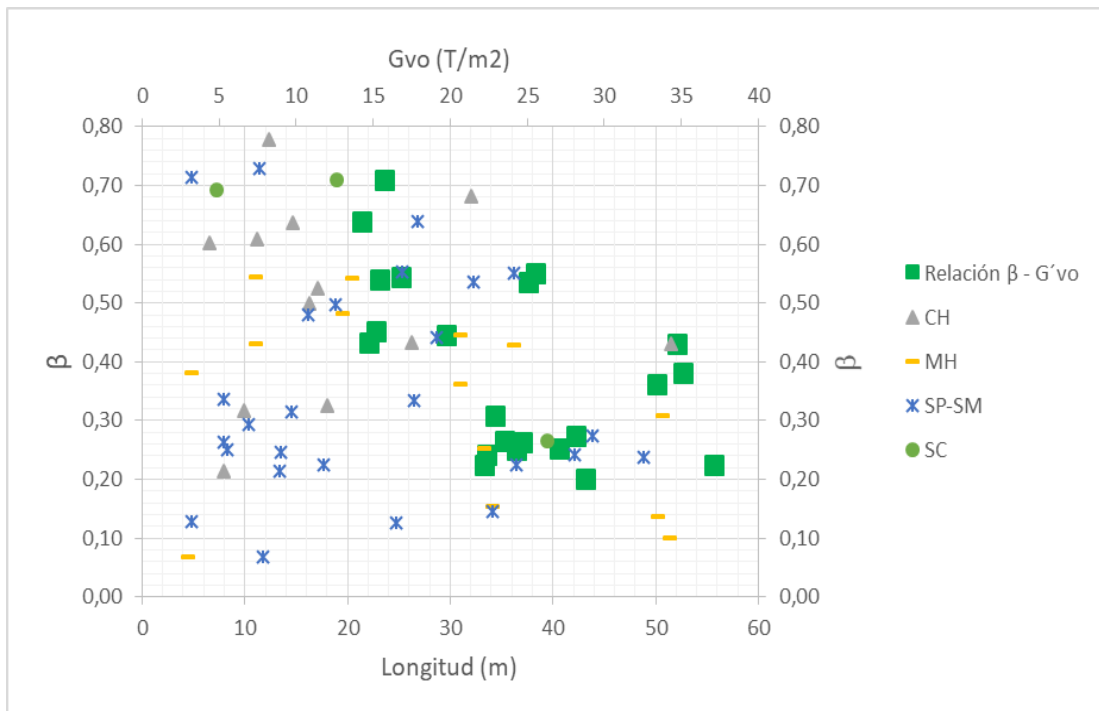


Fuente: Autor

Se denota una relación debido a la tendencia que tienen la mayoría de puntos, a mayor número de golpes, mayor será el esfuerzo efectivo medido. Y de la misma manera, la capacidad por fuste unitario aumenta en función de la profundidad y este a su vez del esfuerzo efectivo. Los datos que no presentan esta tendencia son los de diámetros iguales a 80cm que pertenecen al puente Guayaquil – Samborondón.

4.2.5 Relación β - Longitud de penetración del pilote (L), para su respectivo esfuerzo efectivo (G'vo)

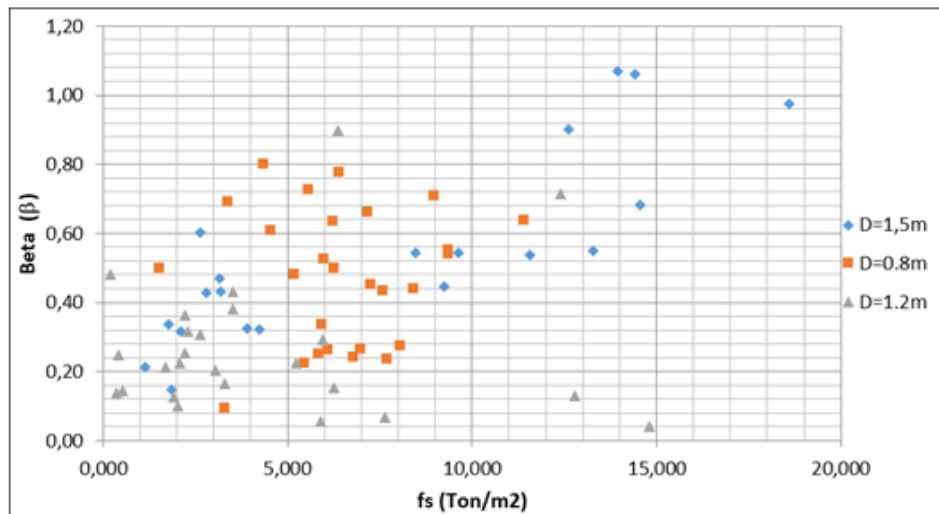
Ilustración 46. β - Longitud de Penetración



Fuente: Autor

4.2.6 Relación β y f_s , para distintos diámetros de pilotes.

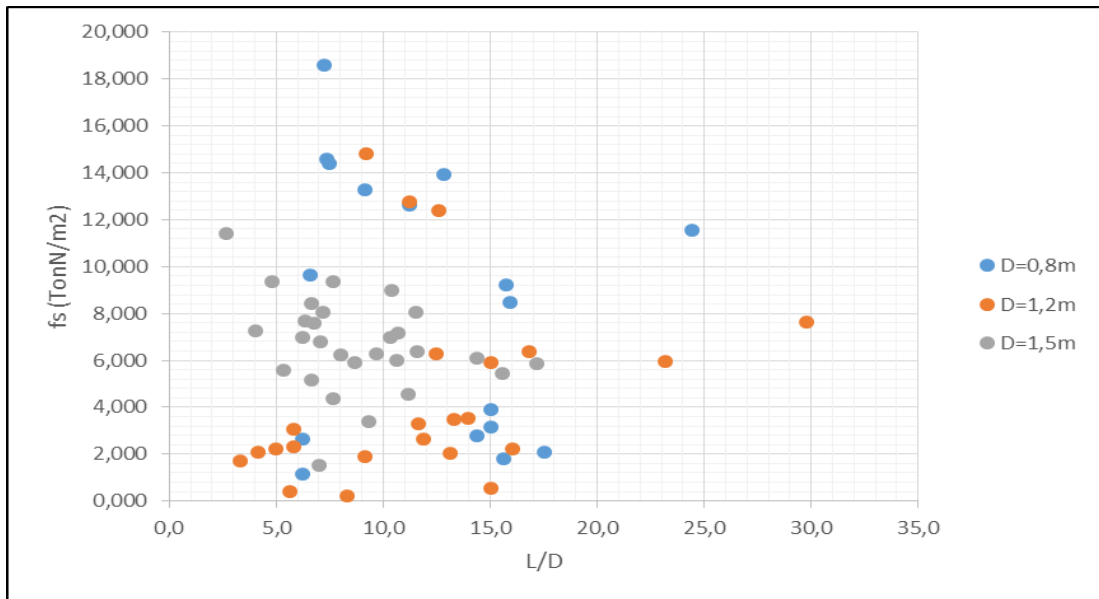
Ilustración 47. β - f_s



Fuente: Autor

4.2.7 Relación L/D y f_s

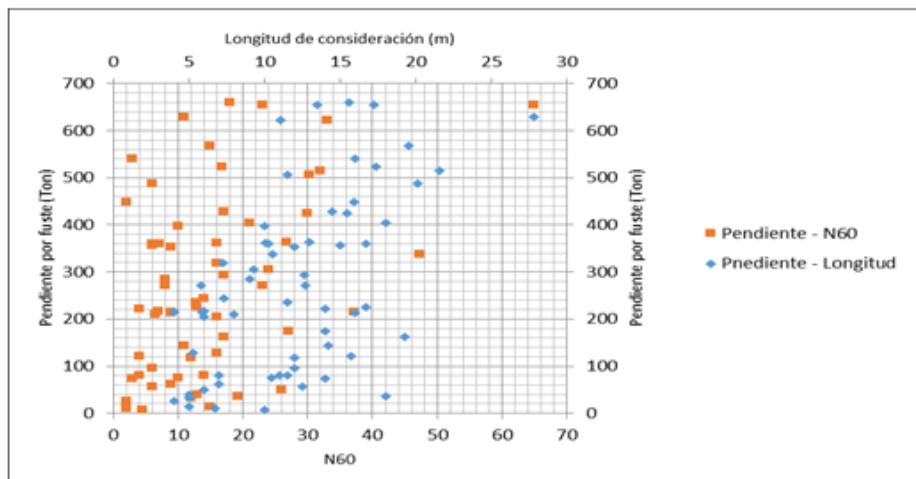
Ilustración 48. L/D vs f_s



Fuente: Autor

4.2.8 Relación Pendiente por fuste y N60, para la longitud considerada en función de un cambio brusco de N60 o una pendiente excesiva.

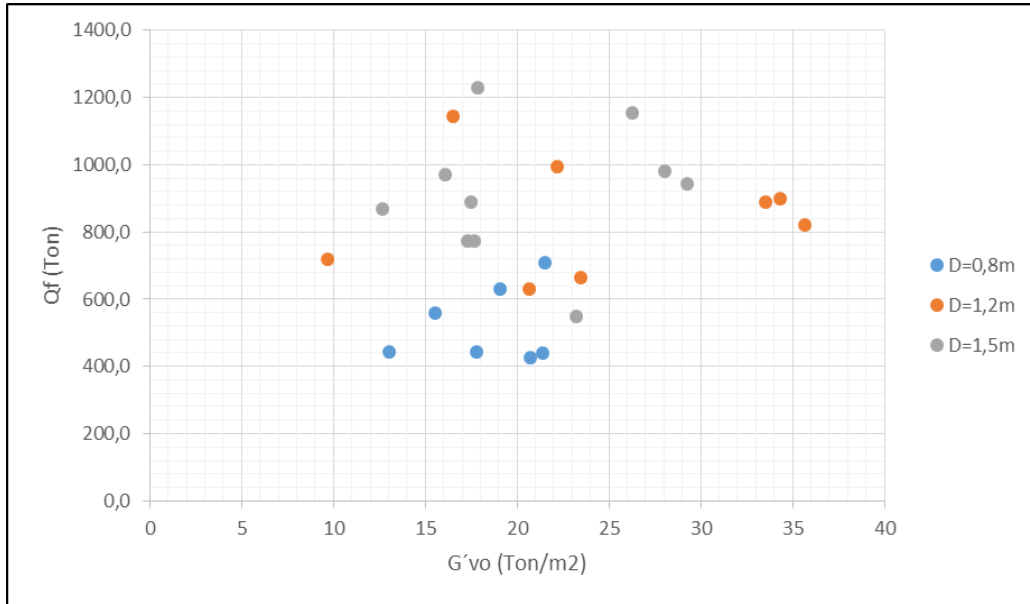
Ilustración 49. Relación Pendiente por fuste vs N60



Fuente: Autor

4.2.9 Relación Esfuerzo Efectivo con Capacidad por fuste del correspondiente análisis CAPWAP.

Ilustración 50. G'vo vs Qf



Fuente: Autor

5 CAPÍTULO 5

5.1 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Sobre la capacidad de carga por punta.

- Los resultados indican, a partir de un análisis estadístico que se realizó a 27 pilas de los tres proyectos de la zona litoral del Ecuador, la apreciable relación que existe entre la longitud de penetración y el esfuerzo efectivo, el cual se observó que aumenta linealmente con una mayor longitud penetración del pilote.
- Se observó que mientras mayor es la relación entre la longitud de penetración y el diámetro del pilote, mayor será su esfuerzo efectivo.
- Es aconsejable mejorar la relación (L/D) o la esbeltez del pilote, ya que para este estudio fue de suma importancia para determinar la incrustación parcial o total del suelo en el pilote.
- La capacidad por punta de pilotes tubulares de acero requiere un análisis mucho más complejo para su determinación.
- Los parámetros de capacidad de carga tales como N_q y N_c , se los calculó a partir de los resultados de las pruebas de cargas dinámicas y el correspondiente análisis CAPWAP, se consideró dos áreas, área como sección llena, es decir un taponamiento total, y área de la sección del anillo de los pilotes, dando como resultados de manera similar a los factores de capacidad de carga propuestos por Terzaghi, la consideración de un área total.
- Se estimó un parámetro que lo denominamos N_{qp} , a partir de de los datos de PDA y análisis CAPWAP, que nos sirvió para considerar una formula.

$$Q_p = ([-5030D + 8125]e^{(-0,11*L/D)}) * G'_{vo} * A_a$$

La cual consideraba un acercamiento a la recta, y a su vez una similitud al resultado de los análisis CAPWAP.

- Los resultados de diámetros iguales a 0,8m que pertenecen al proyecto, puente Guayaquil – Samborondón, dio como resultado que trabaja más punta de lo considerado, es decir que está actuando un taponamiento en el interior del pilote, a diferencia de los pilotes de diámetros de 1,2m y 1,5m.

Sobre la capacidad de carga por fuste

- El cálculo de parámetros tales como β y α , que dependieron del análisis estadístico de una base de datos de los proyectos analizados, se asemejan con los resultados propuestos por O'Neill and Reese (1999) y Bowles (1997) respectivamente, que asigna un valor debido al tipo de suelo en el que se encuentre.
- Para el cálculo de la capacidad por fuste unitario se consideró datos del análisis CAPWAP, y se tomó una pendiente en función a un cambio brusco de número de golpes.
- Se recomienda evaluar las zonas de influencia para escoger una opción razonable de N60 y en base al perfil estratigráfico tomar decisiones de diseño de acuerdo al tipo de proyecto.
- El grado de capacidad de carga por fuste unitario dependerá de la longitud del estrato a considerar y a aspectos generales del pilotes tales como la longitud y el perímetro.
- Se estableció una base de datos de 3 proyectos, 44 pilotes con sondeos y pruebas PDA, para futuras investigaciones.

REFERENCIAS

- Badillo, J., & Rodriguez, R. (2003). *Mecánica de Suelos*.
- Barreto, Á. (2011). Evaluación comparativa de la capacidad de carga en cimentaciones profundas mediante formulas analíticas.
- Caicedo, A. (2010). Pruebas dinámicas de alta deformación y su relación con los cálculos teóricos.
- Das, B. M. (2001). *Principios de Ingeniería de Cimentaciones*.
- Fellenius, B. H. (2015). *Discussion of "Plugging effect of open-ended piles in sandy soil"*.
- Hajduk, E. L., & Lin, G. (2016). *Experiences with open ended pipe pile plugging in the atlantic coastal plain*.
- Ko, J., & Jeong, S. (2015). *Reply to the discussion by Fellenius on "Plugging effect of open-ended piles in sandy soil"*.
- López, A. (2016). Análisis comparativo de métodos de cálculo de cimentaciones profundas.
- Luque, R. (2011). Evaluación de la cimentacion de pilas de un puente sobre pilotes tubulares de acero en suelos potencialmente licuables.
- Paik, K., Salgado, R., Lee, J., & Kim, B. (2003). *Behavior of Open-and Closed-Ended Piles Driven Into Sands*.
- Paikowsky, S. G., & Whitman, R. V. (2008). *A new look at the phenomenon of offshore pile plugging*.
- Salgado, R. (2003). *Determination of Bearing Capacity of Open-Ended Piles in Sand*.
- Yang, F. Y. (2012). *Base Capacity of Open-Ended Steel Pipe Piles in Sand*.

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo **Sánchez Armijos Bryan Josué**, con C.C: #**1723103428** autor del trabajo de titulación: **Capacidad vertical por fuste y punta de pilotes tubulares de acero huecos** 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, 7 de marzo de 2018

f. _____

Sánchez Armijos, Bryan Josué

C.C: 1723103428

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA			
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN			
TEMA Y SUBTEMA:	CAPACIDAD VERTICAL POR FUSTE Y PUNTA DE PILOTES TUBULARES DE ACERO HUECOS		
AUTOR	Bryan Josué Sánchez Armijos		
TUTOR	Roberto Xavier Luque Nuques		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Ingeniería		
CARRERA:	Ingeniería Civil		
TITULO OBTENIDO:	Ingeniero Civil		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	7 de marzo de 2018	No. DE PÁGINAS:	97
ÁREAS TEMÁTICAS:	Cimentaciones, Ingeniería de suelos, Mecánica de suelos		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Pilotes, Capacidad vertical, Capacidad lateral, Longitud, Diámetro, PDA, CAPWAP, Carga, Punta, Fuste, Tubular.		
RESUMEN: Los pilotes tubulares de acero son cada vez más usados en el Ecuador en grandes proyectos. Su gran capacidad a carga vertical y lateral los hace atractivos especialmente cuando se considera la facilidad logística de aumentar o disminuir la longitud de pilotes de acuerdo a las condiciones del sitio mediante la soldadura de más piezas o corte de las mismas. Por otro lado, las pruebas "Pile Dynamic Analysis" (PDA) y los correspondientes análisis "Case Pile Wave Analysis Program" (CAPWAP) son cada vez más usados para validar en campo longitud de pilotes mediante el chequeo de capacidad de carga. En este trabajo se ha usado los datos de proyectos construidos en el litoral ecuatoriano con pilotes tubulares de acero de 0.8, 1.2 y 1.5 m de diámetro y se ha realizado una base de datos de parámetros de suelo y resultados de capacidad por punta y fuste obtenidos de pruebas PDA/CAPWAP. Posteriormente, se realizaron retro-cálculos para poder estimar la capacidad por punta de pilotes tubulares de acero, encontrando que la misma depende de la relación entre la longitud de penetración y el diámetro del pilote (L/D). Se encontró también que para pilotes de 0.8 m de diámetro más área de punta está actuando respecto a los pilotes de 1.2 y 1.5 m de diámetro.			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: 0980470317	E-mail: bryan_sa0210@hotmail.es	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::	Nombre: Clara Glas Cevallos		
	Teléfono: +593-4 -2206956		
	E-mail: clara.glas@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			