



**UNIVERSIDAD ESTATAL
PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

“COMPARACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA EN PILOTES
OBTENIDAS EN PRUEBAS PDA (PILE DINAMIC ANALYSIS) CON LAS
OBTENIDAS EN TEORÍAS DE CÁLCULO CLÁSICAS”

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Previo a la obtención del título de:

INGENIERO CIVIL

AUTORES:

ÁLVAREZ VILLACIS ANA GABRIELA

BAQUE IZA MAYLI EVELYN

TUTOR:

ING. DANIEL CAMPOVERDE Mg

La Libertad, Ecuador

2021

**UNIVERSIDAD ESTATAL
PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

“COMPARACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA EN PILOTES
OBTENIDAS EN PRUEBAS PDA (PILE DINAMIC ANALYSIS) CON LAS
OBTENIDAS EN TEORÍAS DE CÁLCULO CLÁSICAS”

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Previo a la obtención del título de:

INGENIERO CIVIL

AUTORES:

ÁLVAREZ VILLACIS ANA GABRIELA

BAQUE IZA MAYLI EVELYN

TUTOR:

ING. DANIEL CAMPOVERDE Mg

La Libertad, Ecuador

2021

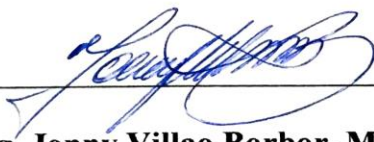
CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **ÁLVAREZ VILLACIS ANA GABRIELA** y **BAQUE IZA MAYLI EVELYN**, como requerimiento para la obtención del título de **INGENIERO CIVIL**.

TUTOR

f. 
Ing. Daniel Campoverde C, Mg.

DIRECTOR DE LA CARRERA

f. 
Ing. Jonny Villao Borbor, Msc.

La Libertad, a los 24 del mes de agosto del año 2021

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del trabajo de titulación, modalidad proyecto de investigación "COMPARACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA EN PILOTES OBTENIDAS EN PRUEBAS PDA (PILE DINAMIC ANALYSIS) CON LAS OBTENIDAS EN TEORÍAS DE CÁLCULO CLÁSICAS" elaborado por la Srta. ÁLVAREZ VILLACIS ANA GABRIELA y la Srta. BAQUE IZA MAYLI EVELYN, egresados de la Carrera de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de Ingenieros Civiles, me permito declarar que luego de haberla dirigido, estudiado y revisado, la apruebo en su totalidad.

TUTOR

f.  _____
Ing. Daniel Campoverde C, Mg.

La Libertad, a los 24 del mes de agosto del año 2021

CERTIFICACIÓN DE GRAMATOLOGÍA

Certificación de Gramatologo

Lic. ALEXI JAVIER HERRERA REYES

*Magíster En Diseño Y Evaluación
De Modelos Educativos*

La Libertad, agosto 20 del 2021

Certifica:

Que después de revisar el contenido del trabajo de titulación en opción al título de INGENIERO(A) CIVIL de: **ÁLVAREZ VILLACÍS ANA GABRIELA & BAQUE IZA MAYLI EVELYN**, cuyo tema es: **"COMPARACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA EN PILOTES OBTENIDAS EN PRUEBAS PDA(PILE DINAMIC ANALYSIS) CON LAS OBTENIDAS EN TEORÍAS DE CÁLCULO CLÁSICAS"** me permito declarar que el trabajo investigativo se encuentra idóneo y puede ser expuesto ante el jurado respectivo para su respectiva defensa.

Es todo cuanto puedo manifestar en honor a la verdad.



Lic. Alexi Herrera R, MSc.
Docente de Español A: Literatura
Cel: 0963143788
e-mail: alexiherrerareyes@hotmail.com

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotras

Álvarez Villacis Ana Gabriela


Baque Iza Mayli Evelyn


DECLARAMOS QUE:

El Trabajo de Titulación, “**COMPARACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA EN PILOTES OBTENIDAS EN PRUEBAS PDA (PILE DINAMIC ANALYSIS) CON LAS OBTENIDAS EN TEORÍAS DE CÁLCULO CLÁSICAS**” 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 nuestra total autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

LOS AUTORES

f. 
Álvarez Villacis Ana Gabriela

f. 
Baque Iza Mayli Evelyn

La Libertad, a los 24 del mes de agosto del año 2021

AUTORIZACIÓN

Nosotras


Álvarez Villacis Ana Gabriela

Baque Iza Mayli Evelyn


Autorizamos a la Universidad Península de Santa Elena, la respectiva publicación en la biblioteca de la Institución del Trabajo de Titulación, cuyo tema es **“COMPARACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA EN PILOTES OBTENIDAS EN PRUEBAS PDA (PILE DYNAMIC ANALYSIS) CON LAS OBTENIDAS EN TEORÍAS DE CÁLCULO CLÁSICAS”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi/nuestra exclusiva responsabilidad y total autoría.

LOS AUTORES

f.


Álvarez Villacis Ana Gabriela

f.


Baque Iza Mayli Evelyn

La Libertad, a los 24 del mes de agosto del año 2021

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

La Libertad, 24 de agosto de 2021

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Investigación **“COMPARACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA EN PILOTES OBTENIDAS EN PRUEBAS PDA (PILE DINAMIC ANALYSIS) CON LAS OBTENIDAS EN TEORÍAS DE CÁLCULO CLÁSICAS”** elaborado por las estudiante **ÁLVAREZ VILLACIS ANA GABRIELA** y **BAQUE IZA MAYLI EVELYN**, egresadas de la Carrera de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de Ingenieras Civiles, me permito declarar que una vez analizado en el sistema anti plagio URKUND, luego de haber cumplido los requisitos exigidos de valoración, el presente proyecto ejecutado, se encuentra con él 3% de la valoración permitida, por lo consiguiente se procede a emitir el presente informe.

Adjunto reporte de similitud.

TUTOR

f. 

Ing. Campoverde Campoverde Daniel Rosendo. Mg

Document Information

Analyzed document	TESIS BAQUE Y ALVAREZ.pdf (D111595997)
Submitted	8/23/2021 1:18:00 PM
Submitted by	Daniel
Submitter email	dcampoverde@upse.edu.ec
Similarity	3%
Analysis address	dcampoverde.upse@analysis.arkund.com

Sources included in the report

SA	UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA / Para el URKUND.docx Document Para el URKUND.docx (D111396863) Submitted by: mayli.baqueiza@upse.edu.ec Receiver: lmoreno.upse@analysis.arkund.com	 20
SA	Tesis CAPACIDAD DE CARGA PILOTES Romero.pdf Document Tesis CAPACIDAD DE CARGA PILOTES Romero.pdf (D16648150)	 12
SA	UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA / CAPITULO 1 Y 2.docx Document CAPITULO 1 Y 2.docx (D109735736) Submitted by: lmoreno@upse.edu.ec Receiver: lmoreno.upse@analysis.arkund.com	 3

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios el haber puesto en mi camino a personas que hicieron posible la culminación de mis estudios; de forma particular a mis padres, hermanos, maestros y de manera especial al Ingeniero Daniel Campoverde como tutor guía, quienes con su ayuda incondicional me permitieron alcanzar y culminar esta etapa estudiantil. A la Universidad Estatal Península de Santa Elena por permitirme finalizar mi Carrera como Ingeniera Civil.

Gabriela Álvarez

AGRADECIMIENTOS

Quiero empezar agradeciendo a Dios por la vida, por sus bendiciones.

A mi familia por ser la base fundamental de apoyo incondicional a la hora de ayudarme a cumplir mis anhelos, por nunca dejar de motivarme y siempre creer en mí.

A mi enamorado, por ser ese impulso de seguir con mis estudios de tercer nivel, a su familia porque siempre estuvieron para mí cuando lo necesité.

A mi compañera de tesis Gabriela Álvarez por ser esa amiga incondicional que siempre estuvo en todo momento.

A mis amigos Angelica S. e Israel N. porque siempre creyeron en mí, nunca dejaron de alentarme y ayudarme en lo que más pudieron.

A la Universidad Estatal Península de Santa Elena por permitirme finalizar mi Carrera como Ingeniera Civil.

Al Ing. Daniel Campoverde por impartir todos sus conocimientos con nosotras a la hora de desarrollar nuestro trabajo de titulación.

Mayli Baque

DEDICATORIA

A Dios:

Que me permite ver la luz del día

A mis padres:

Por ser quienes me guiaron y me alentaron en toda mi vida estudiantil este logro es para ellos.

A mis hermanos:

Quienes son mi inspiración para seguir mis sueños.

A mis amigos de Universidad:

Israel N. y Angelica S. que me enseñaron que siempre hay una segunda familia con los que se pueda contar en cada momento

A mi amiga y compañera de Tesis

Mayli Baque que fue mi fuente de motivación y apoyo en todo el transcurso de la carrera.

Gabriela Álvarez

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de titulación a mi madre que siempre estuvo apoyándome en todo momento, a mi hermana que es mi fuente de admiración y de apoyo para ayudarme a cumplir mis sueños; ellas quienes nunca dejaron de creer en mis capacidades de que un día podía lograrlo, siempre estuvieron para motivarme y que nunca decaiga que siempre mire al frente que debo ser positiva. Y a mi pequeña sobrina por ser esa luz de inspiración para no dejar de esforzarme por lo que quiero.

A mi hermano y a mi padre por estar al pendiente de lo que necesitaré, por siempre creer en mí a pesar de todas las adversidades.

Mayli Baque

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. 

Ing. Jonny Villao Borbor, MSc.

DIRECTOR DE LA CARRERA Y PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

f. 

Ing. Lucrecia Moreno Alcívar, Mg.

DOCENTE ESPECIALISTA

f. 

Ing. Daniel Campoverde Campoverde, MSc.

DOCENTE TUTOR

f. 

Ing. Lucrecia Moreno Alcívar, Mg.

DOCENTE GUÍA DE LA UCI Y SECRETARIA

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN	II
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	IV
CERTIFICACIÓN DE GRAMATOLOGÍA	V
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	VI
AUTORIZACIÓN.....	VII
CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO	VIII
AGRADECIMIENTOS	X
AGRADECIMIENTOS	XI
DEDICATORIA	XII
DEDICATORIA	XIII
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	XIV
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XXVIII
RESUMEN.....	XXX
ABSTRACT.....	XXXI
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	3
MARCO CONTEXTUAL DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.1 Antecedentes.....	3
1.2 Planteamiento del Problema.....	4
1.3 Alcance.....	5
1.4 Justificación.....	6

1.5 Objetivos	7
1.5.1. Objetivo General	7
1.5.2. Objetivos Específicos.....	7
1.6 Hipótesis.....	7
1.7. Operacionalización de las variables	7
1.7.1. Variable Independiente	7
1.7.2. Variable Dependiente.....	8
1.8. Metodología	8
1.9. Ubicación y descripción de la zona del proyecto.....	8
CAPÍTULO II	10
MARCO TEÓRICO.....	10
2.1. Generalidades de la cimentación profunda	10
2.1.1. Importancia de las cimentaciones profundas	10
2.1.2. Clasificación de las cimentaciones profundas.....	11
2.1.2.1. Pilotes de cimentación.....	11
2.1.2.2. Pila de cimentación.	11
2.1.2.3. Pozos de cimentación o conocidos como Caisson.	12
2.2. Definición general de pilotes	12
2.2.1. Clasificación de los Pilotes	13
2.2.1.1. Por el Material.....	14
2.3. Estimación de la capacidad de carga.....	15
2.3.1. Capacidad de carga Última de pilote	15
2.3.2. Capacidad de carga de un pilote en punta Q_p	16

2.4. Métodos teóricos clásicos para la estimación de capacidad de carga en pilotes	17
2.4.1. Método Meyerhof.....	18
2.4.2. Método Vesic	21
2.4.3. Método Aoki y Velloso.....	24
2.5. Definición de la Prueba de Carga Dinámica (PDA)	27
2.5.1. Aspectos generales de la Prueba de Carga Dinámica	28
2.5.2. Equipo	29
2.5.3. Normativa.....	30
2.5.4. Ejecución.....	31
2.5.5. Resultados	31
2.5.6. Análisis del programa de ondas de casos (CAPWAP).....	31
2.5.7 Ecuación de la Onda.....	32
CAPÍTULO III.....	34
SOLUCIONES TEÓRICAS CLÁSICAS Y PRUEBAS DINÁMICAS PDA	34
3.1 Soluciones de Teorías de Calculo Clásicas.....	34
3.1.1 Estribo 2	34
Método Meyerhof.....	35
Método de Vesic	37
Método Aoki y Velloso 1975.....	39
3.3.2 Pila 4.....	41
Método Meyerhof.....	42
Método de Vesic	44

Método Aoki y Velloso 1975	46
3.3.4 Pila 3.....	48
Método Meyerhof.....	48
Método de Vesic	51
Método Aoki y Velloso 1975	53
3.3.5 Pila 2.....	56
Método Meyerhof.....	57
Método de Vesic	60
Método Aoki y Velloso 1975	62
3.3.6 Pila 1.....	64
Método Meyerhof.....	64
Método de Vesic	67
Método Aoki y Velloso 1975	69
3.3.7 Estribo 1	71
Método Meyerhof.....	71
Método de Vesic	74
Método Aoki y Velloso 1975	75
3.2 Resultados de campo alcanzados en las pruebas PDA.....	77
3.2.1 Análisis de resultados.....	78
3.2.1.1 Estribo 2	79
3.2.1.2 Pilote 4	81
3.2.1.3 Pilote 3	83
3.2.1.4 Pilote 2	85

3.2.1.5 Pilote 1	87
3.2.1.6 Estribo 1	89
CAPÍTULO IV	91
RESULTADOS.....	91
4.1 Comparación De Resultados De Teorías Clásicas Y Pruebas De Carga Dinámicas	91
4.2 Resultados de capacidad de carga obtenidos de Teorías Clásicas	91
4.2.1 Estribo 2	91
4.2.2 Pilote 4	92
4.2.3 Pilote 3	93
4.2.4 Pilote 2	94
4.2.5 Pilote 1	95
4.2.6 Estribo 1	96
4.3 Resultados de capacidad de carga obtenidos en las Pruebas de Carga Dinámica.	97
4.3.1 Estribo 2	97
4.3.2 Pila 4.....	98
4.3.3 Pila 3.....	99
4.3.4 Pila 2.....	100
4.3.5 Pila 1.....	101
4.3.6 Estribo 1	102
4.4 Capacidad de carga en Métodos Teóricos representada en valores porcentuales con relación a las Pruebas de Carga Dinámica.	103
4.5 Factores de capacidad de carga	107

4.5.1 Estribo 2	107
Método Meyerhof.....	107
Método Vesic.	108
Método Aoki Velloso.....	110
4.5.2 Pila 4.....	111
Método Meyerhof.....	111
Método Vesic.	113
Método Aoki Velloso.....	114
4.5.3 Pila 3.....	116
Método Meyerhof.....	116
Método Vesic.	117
Método Aoki Velloso.....	119
4.5.4. Pila 2.....	120
Método Meyerhof.....	120
Método Vesic.	122
Método Aoki Velloso.....	123
4.5.5 Pila 1.....	125
Método Meyerhof.....	125
Método Vesic.	126
Método Aoki Velloso.....	128
4.5.6 Estribo 1	129
Método Meyerhof.....	129
Método Vesic.	131

Método Aoki Velloso.....	132
4.6 Cálculo de número de pilotos.....	134
CAPÍTULO V	139
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	139
5.1 Conclusiones	139
5.2 Recomendaciones.....	141
BIBLIOGRAFÍA.....	142
ANEXOS.....	151

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Valores Interpolados de Nq^* con Base en la Teoría de Meyerhof</i>	19
Tabla 2 <i>Valores Promedios de K</i>	20
Tabla 3 <i>Factores de capacidad de carga N^*q con base en la teoría de expansión de cavidades</i>	23
Tabla 4 <i>Valores para I_r</i>	24
Tabla 5 <i>Coefficientes F_1 y F_2 de Monteiro</i>	25
Tabla 6 <i>Valores de K y α de Monteiro</i>	26
Tabla 7 <i>Cálculo de capacidad de carga por fricción</i>	40
Tabla 8 <i>Cálculo de capacidad de carga por fricción</i>	47
Tabla 9 <i>Cálculo de capacidad de carga por fricción</i>	55
Tabla 10 <i>Cálculo de capacidad de carga por fricción</i>	63
Tabla 11 <i>Cálculo de capacidad de carga por fricción</i>	70
Tabla 12 <i>Cálculo de capacidad de carga por fricción</i>	77
Tabla 13 <i>Estribo 2</i>	79
Tabla 14 <i>Pila 4</i>	81
Tabla 15 <i>Pila 3</i>	83
Tabla 16 <i>Pila 2</i>	85
Tabla 17 <i>Pila 1</i>	87
Tabla 18 <i>Estribo 1</i>	89
Tabla 19 <i>Estribo 2</i>	91
Tabla 20 <i>Pilote 4</i>	92
Tabla 21 <i>Pilote 3</i>	93
Tabla 22 <i>Pilote 2</i>	94
Tabla 23 <i>Pilote 1</i>	95
Tabla 24 <i>Estribo 1</i>	96
Tabla 25 <i>Resultados del método PDA en el Estribo 2</i>	97

Tabla 26 <i>Resultados del método PDA en la Pila 4</i>	98
Tabla 27 <i>Resultados del método PDA en la Pila 3</i>	99
Tabla 28 <i>Resultados del método PDA en la Pila 2</i>	100
Tabla 29 <i>Resultados del método PDA en la Pila 1</i>	101
Tabla 30 <i>Resultados del método PDA en el Estribo 1</i>	102
Tabla 31 <i>Valores porcentuales de capacidad de carga.</i>	104
Tabla 32 <i>Resultados de capacidad de carga de métodos teóricos con las pruebas de carga dinámica.....</i>	105
Tabla 33 <i>Factores de seguridad con respecto al Método Meyerhof en el Estribo 2</i>	107
Tabla 34 <i>Factores de seguridad con respecto al Método Vesic en el Estribo 2.....</i>	108
Tabla 35 <i>Factores de seguridad con respecto al Método Aoki Velloso en el Estribo 2</i>	110
Tabla 36 <i>Factores de seguridad con respecto al Método Meyerhof en la Pila 4.....</i>	111
Tabla 37 <i>Factores de seguridad con respecto al Método Vesic en la Pila 4.....</i>	113
Tabla 38 <i>Factores de seguridad con respecto al Método Aoki Velloso en la Pila 4</i>	114
Tabla 39 <i>Factores de seguridad con respecto al Método Meyerhof en la Pila 3.....</i>	116
Tabla 40 <i>Factores de seguridad con respecto al Método Vesic en la Pila 3.....</i>	117
Tabla 41 <i>Factores de seguridad con respecto al Método Aoki Velloso en la Pila 3</i>	119
Tabla 42 <i>Factores de seguridad con respecto al Método Meyerhof en la Pila 2.....</i>	120
Tabla 43 <i>Factores de seguridad con respecto al Método Vesic en la Pila 2.....</i>	122
Tabla 44 <i>Factores de seguridad con respecto al Método Aoki Velloso en la Pila 2</i>	123
Tabla 45 <i>Factores de seguridad con respecto al Método Meyerhof en la Pila 1.....</i>	125
Tabla 46 <i>Factores de seguridad con respecto al Método Vesic en la Pila 1.....</i>	126
Tabla 47 <i>Factores de seguridad con respecto al Método Aoki Velloso en la Pila 1</i>	128
Tabla 48 <i>Factores de seguridad con respecto al Método Meyerhof en el Estribo 1</i>	129
Tabla 49 <i>Factores de seguridad con respecto al Método Vesic en el Estribo 1.....</i>	131
Tabla 50 <i>Factores de seguridad con respecto al Método Aoki Velloso en el Estribo 1</i>	132

Tabla 51 <i>Valores de capacidad de carga sin aplicar factor de seguridad</i>	134
Tabla 52 <i>Datos generales de los pilotos</i>	134
Tabla 53 <i>Factores de seguridad</i>	136
Tabla 54 <i>Numero de pilotos y costo total</i>	137

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Figura 1 <i>Proyecto Puente Estéreo el Muerto</i>	8
Figura 2 <i>Equipo PDA</i>	30
Figura 3 <i>Simulación de Impacto en el Pilote</i>	¡Error! Marcador no definido.
Figura 4 <i>Perfil estratigráfico general Estribo 2</i>	34
Figura 5 <i>Perfil estratigráfico general Pila 4</i>	41
Figura 6 <i>Perfil estratigráfico general Pila 3</i>	48
Figura 7 <i>Perfil Estratigráfico General Pila 2</i>	56
Figura 8 <i>Perfil estratigráfico general Pila 1</i>	64
Figura 9 <i>Perfil estratigráfico general Estribo 1</i>	71
Figura 10 <i>Gráfica del Estribo 2 ensayado</i>	79
Figura 11 <i>Gráfica del Estribo 2 ensayado</i>	80
Figura 12 <i>Gráfica del Estribo 2 ensayado</i>	80
Figura 13 <i>Grafica del Pilote 4 ensayado</i>	81
Figura 14 <i>Grafica del pilote 4 ensayado</i>	82
Figura 15 <i>Grafica del pilote 4 ensayado</i>	82
Figura 16 <i>Grafica del Pilote 3 ensayado</i>	83
Figura 17 <i>Grafica del pilote 3 ensayado</i>	84
Figura 18 <i>Grafica del Pilote 3 ensayado</i>	84
Figura 19 <i>Grafica del Pilote 2 ensayado</i>	85
Figura 20 <i>Grafica del Pilote 2 ensayado</i>	86
Figura 21 <i>Grafica del Pilote 2 ensayado</i>	86
Figura 22 <i>Grafica del Pilote 1 ensayado</i>	87
Figura 23 <i>Grafica del Pilote 1 ensayado</i>	88
Figura 24 <i>Grafica del Pilote 1 ensayado</i>	88
Figura 25 <i>Gráfica del Estribo 1 ensayado</i>	89
Figura 26 <i>Gráfica del Estribo 1 ensayado</i>	90

Figura 27 <i>Gráfica del Estribo 1 ensayado</i>	90
Figura 28 <i>Gráfica del Estribo 2</i>	92
Figura 29 <i>Gráfica del Pilote 4</i>	93
Figura 30 <i>Gráfica del Pilote 3</i>	94
Figura 31 <i>Gráfica del Pilote 2</i>	95
Figura 32 <i>Gráfica del Pilote 1</i>	96
Figura 33 <i>Gráfica del Estribo 1</i>	97
Figura 34 <i>Gráfica del resultado de PDA</i>	98
Figura 35 <i>Gráfica del resultado PDA</i>	99
Figura 36 <i>Gráfica del resultado PDA</i>	100
Figura 37 <i>Gráfica del resultado PDA</i>	101
Figura 38 <i>Gráfica del Resultado PDA</i>	102
Figura 39 <i>Gráfica del Resultado PDA</i>	103
Figura 40 <i>Resultados obtenidos de capacidad de carga con respecto a las pruebas de carga dinámica</i>	106
Figura 41 <i>Representación gráfica de resultados de factores de seguridad en Método de Meyerhof</i>	108
Figura 42 <i>Representación gráfica de resultados de factores de seguridad en Método Vesic</i>	109
Figura 43 <i>Representación Gráfica de Resultados de Factores de Seguridad en Método de Aoki Velloso</i>	111
Figura 44 <i>Representación Gráfica de Resultados de Factores de Seguridad en Método de Meyerhof</i>	112
Figura 45 <i>Representación Gráfica de Resultados de Factores de Seguridad en Método Vesic</i>	114
Figura 46 <i>Representación Gráfica de Resultados de Factores de Seguridad en Método de Aoki Velloso</i>	115
Figura 47 <i>Representación Gráfica de Resultados de Factores de Seguridad en Método de Meyerhof</i>	117

Figura 48 <i>Representación Gráfica de Resultados de Factores de Seguridad en Método Vesic.</i>	118
Figura 49 <i>Representación gráfica de resultados de factores de seguridad en Método de Aoki Velloso.</i>	120
Figura 50 <i>Representación Gráfica de Resultados de Factores de Seguridad en Método de Meyerhof.</i>	121
Figura 51 <i>Representación Gráfica de Resultados de Factores de Seguridad en Método Vesic.</i>	123
Figura 52 <i>Representación Gráfica de Resultados de Factores de Seguridad en Método de Aoki Velloso.</i>	124
Figura 53 <i>Representación Gráfica de Resultados de Factores de Seguridad en Método de Meyerhof.</i>	126
Figura 54 <i>Representación Gráfica de Resultados de Factores de Seguridad en Método Vesic.</i>	127
Figura 55 <i>Representación Gráfica de Resultados de Factores de Seguridad en Método de Aoki Velloso.</i>	129
Figura 56 <i>Representación Gráfica de Resultados de Factores de Seguridad en Método de Meyerhof.</i>	130
Figura 57 <i>Representación Gráfica de Resultados de Factores de Seguridad en Método Vesic.</i>	132
Figura 58 <i>Representación Gráfica de Resultados de Factores de Seguridad en Método de Aoki Velloso.</i>	133

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 <i>Instalación del martillo hidráulico</i>	151
Anexo 2 <i>Equipo Pile Dynamics inc.</i>	151
Anexo 3 <i>Instalación de martillo hidráulico con pilote.</i>	152
Anexo 4 <i>Gabarra que transporta el martillo</i>	153
Anexo 5 <i>Visita de tesista.</i>	154
Anexo 6 <i>Instalación de sensores en pilotes</i>	155
Ecuación 7 <i>Momento exacto de ejecución de la prueba PDA</i>	156
Anexo 8 <i>Programa Capwap</i>	157
Anexo 9 <i>Sondeos de los Pilotes</i>	157
Anexo 10 <i>Reunión Tesistas.</i>	158
Anexo 11 <i>Reunión del Tutor y Tesistas</i>	158
Anexo 12 <i>Resumen de resultados de Capwap para el Estribo 2.</i>	159
Anexo 13 <i>Resumen de resultados de Capwap para el Pila 4.</i>	160
Anexo 14 <i>Resumen de resultados de Capwap para el Pila 3.</i>	161
Anexo 15 <i>Resumen de resultados de Capwap para el Pila 2.</i>	162
Anexo 16 <i>Resumen de resultados de Capwap para el Pila 1</i>	163
Anexo 17 <i>Resumen de resultados de Capwap para el Estribo 1</i>	164
Anexo 18 <i>Hoja cálculo Método Meyerhof – Estribo 2</i>	165
Anexo 19 <i>Hoja cálculo Método Vesic – Estribo 2</i>	167
Anexo 20 <i>Hoja cálculo Método Aoki Velloso – Estribo 2</i>	169
Anexo 21 <i>Hoja cálculo Método Meyerhof – Pila 4</i>	171

Anexo 22 <i>Hoja cálculo Método Vesic – Pila 4</i>	173
Anexo 23 <i>Hoja cálculo Método Aoki Velloso – Pila 4</i>	175
Anexo 24 <i>Hoja cálculo Método Meyerhof – Pila 3</i>	176
Anexo 25 <i>Hoja cálculo Método Vesic – Pila 3</i>	179
Anexo 26 <i>Hoja cálculo Método Aoki Velloso – Pila 3</i>	181
Anexo 27 <i>Hoja cálculo Método Meyerhof – Pila 2</i>	183
Anexo 28 <i>Hoja cálculo Método Vesic – Pila 2</i>	185
Anexo 29 <i>Hoja cálculo Método Aoki Velloso – Pila 2</i>	187
Anexo 30 <i>Hoja cálculo Método Meyerhof – Pila 1</i>	189
Anexo 31 <i>Hoja cálculo Método Vesic – Pila 1</i>	191
Anexo 32 <i>Hoja cálculo Método Aoki Velloso – Pila 1</i>	193
Anexo 33 <i>Hoja cálculo Método Meyerhof – Estribo 1</i>	195
Anexo 34 <i>Hoja cálculo Método Vesic – Estribo 1</i>	197
Anexo 35 <i>Hoja cálculo Método Aoki Velloso – Estribo 1</i>	199

RESUMEN

TEMA: “COMPARACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA EN PILOTES OBTENIDAS EN PRUEBAS PDA (PILE DINAMIC ANALYSIS) CON LAS OBTENIDAS EN TEORÍAS DE CÁLCULO CLÁSICAS”

Autores: Álvarez Villacis Ana Gabriela
Baque Iza Mayli Evelyn

Tutor: Ing. Daniel Campoverde

La presente investigación se basa en la realización del cálculo de la capacidad de carga en pilotes. El objetivo principal de la investigación es determinar la precisión entre los resultados de campo obtenidos mediante las pruebas PDA y las obtenidas en metodologías de cálculo clásicas, los resultados de tales métodos se obtendrán mediante los cálculos de los Métodos de Meyerhof, Vesic y Aoki Velloso y los resultados de las pruebas de carga dinámica fueron realizadas en el proyecto PUENTE SOBRE EL ESTERO EL MUERTO QUE UNE LOS SECTORES: ISLA TRINITARIA- MALVINAS EN LA CUIDAD DE GUAYAQUIL. Mediante los resultados se analizó que el método de Vesic es el que más incongruencia tiene a la hora de calcular la capacidad de carga, y que el método de Aoki Velloso es el que tiene un menor coeficiente de variación a comparación de las pruebas de carga dinámica. Se concluye que lo óptimo es realizar pruebas de carga dinámica de alta deformación PDA a la hora de evaluar la capacidad de carga en la actualidad realizada en pilotes ya que es una manera confiable de obtener resultados más verídicos a comparación de los métodos ensayados anteriormente.

Palabras Clave: Capacidad de Carga, Pilotes, Pruebas de Carga Dinámica, Meyerhof, Vesic, Aoki Velloso.

ABSTRACT

TOPIC: "COMPARISON OF THE LOAD CAPACITY IN PILES OBTAINED IN PDA TEST (PILE DYNAMIC ANALYSIS) WITH THOSE OBTAINED IN CLASSIC CALCULATION THEORIES"

Authors: Álvarez Villacis Ana Gabriela
Baque Iza Mayli Evelyn

Tutor: Ing. Daniel Campoverde

The present investigation is based on the calculation of the load capacity in piles. The main objective of the research is to determine the precision between the field results obtained through PDA tests and those obtained in classical calculation methodologies, the results of such methods will be obtained through the calculations of the Meyerhof, Vesic, and Aoki Velloso Methods and The results of the dynamic load tests were carried out in the project PUENTE OVER EL ESTERO EL MUERTO THAT JOINS THE SECTORS: ISLA TRINITARIA- MALVINAS IN THE CITY OF GUAYAQUIL. Through the results, it was analyzed that the Vesic method is the one with the most inconsistency when calculating the load capacity and that the Aoki Velloso method is the one with the lowest coefficient of variation compared to dynamic load tests. It is concluded that the most optimal thing is to perform PDA high deformation dynamic load tests when evaluating the load capacity currently carried out in piles since it is a reliable way to obtain more truthful results compared to the previously tested methods.

Keywords: Load Capacity, Piles, Dynamic Load Testing, Meyerhof, Vesic, Aoki Velloso.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de titulación trata sobre la estimación de la capacidad de carga en pilotes, aplicando pruebas Pile Dynamics Análisis (PDA) y las estimadas mediante las teorías de cálculos clásicas como los métodos de Meyerhof, Vesic y Aoki Velloso.

Para el cálculo de la capacidad de carga de los pilotes se realizará mediante fórmulas aplicadas para la estimación de capacidad de carga por punta y fuste en pilotes, para las pruebas PDA los datos se obtendrá mediante la visita de campo al proyecto PUNTE SOBRE EL ESTERO EL MUERTO QUE UNE LOS SECTORES: ISLA TRINITARIA- MALVINAS EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL, para poder realizar el respectivo cálculo se debe entender la relación que existe entre la carga que se va a transferir y el terreno.

En la opinión de Jaramillo Garro (2019, p.4), se debe considerar que la calidad del suelo en la zona costera no tiene las mejores características, pero en la actualidad con el avance tecnológico y el crecimiento de la sociedad se puede realizar estructuras de gran envergadura por lo que es necesario el diseño y la inversión en sus cimentaciones. Guerrero Davila, (2011, p.3), indica la utilización de los pilotes es una de las técnicas más antiguas ya que estas superan dificultades en estructuras de suelos blandos, los pilotes resisten fuerzas axiales y laterales generado por carga viva, muerta, sísmica y carga de impacto.

Como objetivo de esta investigación es determinar la precisión entre los resultados de campo obtenidos mediante las pruebas PDA y las obtenidas en metodologías de cálculo clásicas como son el Método de Terzagui, Meyerhof, Vesic y Aoki Velloso.

Gaviria (2009, p.24), argumenta que las cimentaciones profundas tienen como finalidad ofrecer seguridad gracias a sus exigencias de carga vertical, horizontal, también

forma parte de la diversidad de construcciones ya sea de presas, puentes, edificios etcétera. Mientras que Barreto Maya (2013, p.93), sostiene que es de esencial importancia entender y calcular la capacidad de carga en edificaciones con cimentaciones profundas debido a que son comúnmente utilizadas cuando el tamaño de las cargas es alto o los suelos superficiales no poseen con la capacidad suficiente de soporte.

Humala & Peñafiel (2012, p.27), declara que con relación a la capacidad de carga se utiliza una expresión apoyada en los principios de mecánica de suelos lo cual es medido mediante visitas de campo realizadas, la capacidad para resistir la carga depende del componente que haya en la relación suelo-pilote.

Moayedi (2017, p.403), manifiesta que las pruebas dinámicas en los pilotes de alta deformación tienen varias ventajas la cual hace muy interesante su uso, aun así, necesita una preparación cuidadosa, atención a los detalles y la habilidad del ingeniero al realizar las pruebas ya que puede indicar cuando el resultado es válido. Por su parte Hincapie (2014, p.51), expresa que las pruebas PDA tiene como propósito monitorear la hinca para obtener la capacidad de carga última del pilote.

Esta investigación tiene como capítulos los siguientes: en el primer capítulo se describe la problemática, el alcance que tendrá la investigación, la hipótesis y la metodología a utilizar; para el capítulo II se determina los componentes del marco teórico; en el capítulo III se describen las soluciones de las teorías clásicas a utilizar; el capítulo IV los resultados y comparación de las pruebas PDA con las teorías, conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I

MARCO CONTEXTUAL DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Antecedentes

De acuerdo con Loayza Romero (2018, p.2), en la antigüedad se utilizaban pilotes de madera, debido a que los suelos blandos con humedades altas requerían de cimentaciones profundas. Con el transcurso de los años se han considerado varias metodologías y procedimientos de algunos autores para evaluar la capacidad de carga en las cimentaciones superficiales y profundas, es así como se hicieron cambios relacionados al tipo de material en el pilote y también en su método de construcción. En 1830 se introduce los pilotes metálicos tubulares y en 1903 ya se estaba incluyendo el concreto, para que el peso del pilote se reduzca se introduce la perforada integrada, para el año 1964 se efectuó un control de campo para seleccionar datos sobre la capacidad de carga su validez y la totalidad de los pilotes, estos se construyeron en varios tipos de suelo de algunos proyectos bajo diferentes condiciones con la finalidad de optimizar los diseños.

Para el diseño de una obra civil hay dos formas generales en cimentación que son la superficial o la profundas, con formas de mecanismo propios de transmisión de cargas al suelo. Los pilotes son columnas destinadas a soportar cargas de diseño elevadas su diámetro y longitud dependerá de los parámetros mecánicos del suelo donde se construirá determinado proyecto.

La cimentación profunda es un elemento estructural importante a la hora de transferir cargas al subsuelo, cuando la resistencia del suelo superficial es insuficiente, entonces se realiza el diseño de la cimentación profunda para las cargas del proyecto y las características mecánicas de este.

El uso de métodos de cálculo tradicionales ha permitido durante muchos años estimar la capacidad del terreno de las cimentaciones profundas, estimando el

comportamiento individual del pilote y el comportamiento denominado de grupo. Del mismo modo se han establecido pruebas in situ para validar o asegurar que los pilotes alcanzaron la capacidad requerida, actualmente se aplica la prueba de carga dinámica denominada PDA.

Ibañez Mora, Luis O., & Quevedo Sotolongo, Gilberto, & Maestre (2006, p.9), sostienen que, a mediados del siglo XX se proyectaban losas sobre pilotes hincados cuyas uniones entre pilotes fueron a través de vigas longitudinales en obras portuarias como son los espigones construidos en el muelle Pastelillo.

Los pilotes barrenados pueden presentar salvedades referente a su integridad estructural por tal motivo Pizarro Gutierrez & Romero Colqui (2017,p.6) sugiere realizar los ensayos de integridad de pilote PIT y pruebas de carga dinámica PDA que permiten calcular la velocidad de la onda para obtener la longitud del pilote, criterios de aceptación o rechazo y las invariantes del diseño.

Alva Hurtado (2018, p.4), los ensayos dinámicos de carga en pilotes determinan la capacidad de ruptura de la interacción entre pilote y el suelo para esfuerzos estáticos axiales, la diferencia entre estas dos pruebas es que en la prueba dinámica PDA se aplica una carga dinámica a través de impactos o golpes de un sistema de percusión adecuado. Estos ensayos no pretenden reemplazar a los ensayos tradicionales, sino que constituyen una fuente adicional de información sobre los pilotes construidos.

1.2 Planteamiento del Problema

La investigación se basa en el cálculo de la capacidad de carga en pilotes y teorías generales, esto se debe a la variabilidad de los resultados que se pueden obtener analizando por los diferentes métodos de la capacidad de carga de un pilote.

Desde la posición de De la Cruz Ninanya, (2018,p.4) , Momeni (2020, p.1) definen como la capacidad de carga en la cual esta se basa en algunas reglas matemáticas que genera valores repetibles ya sean estas independientes de las relaciones y opiniones de un

profesional, es una característica de cada sistema teniendo una relación suelo-cimentación esto puede variar por los diversos tipos de suelo, es decir que puede ocurrir en un suelo específico donde la capacidad de carga varia con el tipo de forma, tamaño y profundidad del componente de la cimentación.

De acuerdo con Amel BENALI, Bakhta BOUKHATEM & Ammar NECHNECH, (2015, p.393), existen varios casos de cálculos para obtener la capacidad de carga en función del ensayo SPT y la de cono CPT en la cimentación que se fundamentan en fórmulas tradicionales, pero en ocasiones estos resultados pueden tener una diferencia con la capacidad ultima de carga de los pilotes del proyecto in situ.

1.3 Alcance

El estudio tendrá como finalidad lograr factores de seguridad para minimizar el cambio que existe entre la capacidad de carga alcanzada según la prueba de carga dinámica PDA y las estimadas a nivel de estudio en el proyecto “Puente sobre el Estéreo el Muerto que conecta los sectores Isla Trinitaria con las Malvinas en la ciudad de Guayaquil”, ya que en dicho lugar se realizaron pruebas de campo mencionadas anteriormente en varios pilotes que componen la cimentación de estribos y pilas del puente, este tipo de pruebas permitirá obtener información acerca de la carga última de los pilotes ensayados ya que este procedimientos es el más real para estimar la capacidad de carga del pilote construido en obra y además de alcanzar información acerca del comportamiento de los esfuerzos aplicados en la relación suelo-pilote con conexión a los resultados que se obtienen de una prueba de carga dinámica, en cuanto a la obtención de los valores reales de capacidad de carga y el asentamiento de los pilotes servirá como base para la comprobación de los fundamentos teóricos obtenidos en la UPSE aplicando las teorías de cálculo seleccionadas y descritas anteriormente.

Es por esta razón, que la presente investigación ayudará a que estudiantes y profesionales conozcan más a fondo de las bondades de este tipo de prueba de campo

PDA con las diferentes teorías de cálculo y establecer beneficios técnicos derivados de la comparación de resultados propuestos.

1.4 Justificación

Eliezer (2010, p.II), José Eduardo, Moreno Bañuelos; Humberto, (2017, p.9), argumentan que las cimentaciones profundas son aplicadas cuando se desea transmitir elevadas cargas hacia el terreno o cuando el estrato de apoyo no es competente, debido a los cual es de suma trascendencia entender y calcular correctamente la capacidad de carga del elemento de acuerdo con las características mecánicas del suelo y las condiciones particulares de cada proyecto. Mientras que Bolognesi (2003, p.1), indica que los pilotes in situ es una de las soluciones mas comunes propuestas actualmente para los cimientos de puentes son los pilotes moldeados en sitio.

Como lo hace notar Ahmed Fuentes Alemán. (2008, p.6), con el desarrollo de la tecnología para la medición de la capacidad de pilotes, las pruebas se han hecho menos costosas y más disponibles para grandes proyectos de construcciones civiles, con la finalidad de comprobar la capacidad de carga aportes que se puedan aplicar actualmente en los diseños de pilotes y de esta forma comprender mejor la interacción entre el suelo y el pilote para los métodos teóricos, se ha podido comprobar por medio de ensayos y modelaciones de casos reales el mejor alcanzando así el balance entre costos y eficiencia.

El propósito de las pruebas de carga dinámica de alta deformación PDA realizadas en pilotes prebarrenados, es investigar la capacidad de carga del pilote y verificar la integridad estructural del pilote, adicionalmente se realizará la comparación con aplicaciones de las teorías de cálculo clásicas.

1.5 Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Determinar la precisión de la capacidad de carga obtenida en campo mediante la prueba PDA y las deducidas con las teorías clásicas de cálculo para cimentaciones profundas, analizando a los pilotes del proyecto PUENTE SOBRE EL ESTERO EL MUERTO QUE UNE LOS SECTORES: ISLA TRINITARIA- MALVINAS EN LA CUIDAD DE GUAYAQUIL.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Obtener los resultados de campo alcanzados en las pruebas PDA.
- Evaluar la capacidad de carga de los pilotes del proyecto indicado mediante teorías propuestas por los autores Meyerhof, Vesic y Aoky Velloso.
- Determinar cuál de las metodologías está más acorde al resultado obtenido de la prueba PDA.

1.6 Hipótesis

Con el análisis de los pilotes del proyecto PUENTE SOBRE EL ESTERO EL MUERTO QUE UNE LOS SECTORES: ISLA TRINITARIA- MALVINAS EN LA CUIDAD DE GUAYAQUIL se podrá determinar la precisión de la capacidad de carga obtenida en campo mediante la prueba PDA y las deducidas con las teorías clásicas de cálculo para cimentaciones profundas.

1.7. Operacionalización de las variables

1.7.1. Variable Independiente

Teorías de cálculo clásicas y pruebas dinámicas PDA.

1.7.2. Variable Dependiente

Precisión de la capacidad de carga.

1.8. Metodología

Durante el trabajo de investigación se aplicarán teorías y procedimientos respectivos a ingeniería geotécnica.

Aplicación de teoremas que establecen los tres métodos.

Comparación de resultados de campo del ensayo PDA.

Análisis de los datos obtenidos y previamente evaluados para validar la viabilidad de ajustes que se pretende introducir en la propuesta presentada.

1.9. Ubicación y descripción de la zona del proyecto

Figura 1

Proyecto Puente Estéreo el Muerto.



Nota: El presente grafico representa donde está ubicado el proyecto en la ciudad de Guayaquil.

El sitio seleccionado para la implantación de la obra está ubicado en la planicie de la cuenca bajo del río Guayas, en una zona urbanizada y en proceso de consolidación de la ciudad de Guayaquil, de acuerdo con los requerimientos previo al inicio de los trabajos de pilotaje se deben realizar sondeos geotécnicos de comprobación

Este deseoso proyecto ha sido una aspiración para la población de la ciudad de Guayaquil ya que este puente sobre el estero el muerto conectara a la Avenida Ernesto Alban Gómez (Calle 45ª SO) LAS MALVINAS con la Calle Sargento Fenicio Angulo cooperativa Nueva Ciudad de la Isla Trinitaria

Con relación a la construcción de la obra corresponde a un puente de cinco vanos, con estructura mixta, en hormigón armado y acero de 250.00 metros de longitud consta de 4 Pilas y dos estribos que se encuentran a los extremos del puente. El puente tendrá dos carriles vehiculares (uno en cada sentido) ciclovías y acera en los dos costados. La exploración subterránea señala claramente la necesidad de utilizar cimentaciones profundas para todos los apoyos del puente. Dadas las solicitaciones a las que estarán sujetas estas cimentaciones, tanto verticales como horizontales, los pilotes deben ser de gran diámetro, por lo que se descarta el empleo de pilotes prefabricados.

La realización de esta obra tendrá como beneficiario a la población de la ciudad de Guayaquil ya que tendrá un impacto importante en el mejoramiento de la vialidad de la ciudad ayudando así el descontentamiento del área de influencia entre la zona de la Isla Trinitaria y Las Malvinas. CEVACONSLT (2020, p.2)

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Generalidades de la cimentación profunda

Alva Hurtado (2018, p.2), manifiesta que el uso de los pilotes es uno de los métodos más antiguos de la humanidad ya que se necesitaba superar los problemas estructurales de los cimientos en los suelos blandos. Para el siglo XIX se utilizaba un tipo de cimentación, el más común en los edificios era la cimentación continua y los pilotes se usaban solo cuando el tipo de suelo no podría sobrellevar la presión ejercida por la cimentación.

Como Considera De & México (2018, p.1), para resolver el pequeño problema del suelo blando estas eran reemplazadas con mejores propiedades mecánicas, es así que para contribuir con el desarrollo industrial en suelos blandos se incrementaron las construcciones de pilotes de concreto y de acero por lo que estas obtuvieron una gran resistencia al hincado. En la actualidad los proyectos de infraestructura necesitan llevarse a cabo en menos tiempo y con un limitado presupuesto, tanto que se ha tenido que seleccionar técnicas constructivas y controles de calidad que sean cada vez más rápidos.

2.1.1. Importancia de las cimentaciones profundas

En el diseño de cimentación es necesario calcular la capacidad de carga y revisar la deformación del suelo frente a la imposición de la carga producto del peso del edificio, para su efecto es necesario obtener las propiedades mecánicas y físicas de la composición del suelo, dependiendo de aquello se define la profundidad de desplante y se calcula las dimensiones del pilote.

Arregui (2010,p.25), indica que las cargas en obras civiles pueden variar en su magnitud ya sea por su alta o baja amplitud, la forma de aplicación puede ser diferentes por lo que el tipo de obra y los materiales a utilizar van a intervenir en los posibles

asentamientos, para poder determinar el comportamiento de la cimentación es imposible trazar una teoría verdadera debido a la composición del suelo.

Alexander (2018,p.9), señala que las cimentaciones profundas están apoyadas en el esfuerzo cortante para soportar la carga aplicada entre la cimentación y el suelo precisamente en base a la fricción vertical, por lo que estas deben ser más profundas y deben colocarse en un área más grande para poder soportar cualquier tipo de carga.

Desde el punto de vista Maya (2011,p.3), una cimentación profunda es una técnica utilizada para transferir las cargas a las zonas con mayor resistencia evitando así a los estratos más debilitados, estos conservan la tipologías de alcanzar el ámbito para transmitir por fricción lateral parte de la carga que absorbe.

2.1.2. Clasificación de las cimentaciones profundas

La clasificación de estos elementos estructurales se puede dar según su diámetro de sección y la capacidad para transmitir las cargas de los materiales al suelo, esto también dependerá de las necesidades de cada proyecto.

2.1.2.1. Pilotes de cimentación.

Como expresa Palacios Gaviria (2019, p.27), los pilotes son recursos estructurales que se introducen en la superficie con el fin de transmitir las cargas de la estructura a un suelo estable a través del roce lateral o la resistencia de cada punta, dicho esto tiene la posibilidad de construirse en hormigón armado.

2.1.2.2. Pila de cimentación.

Montoya (2010,p.14), señala que la pila de cimentación son soportes ya sean de hormigón o de mampostería para la conformación del puente, esta se puede considerar una estructura ya que esta debe estar apoyada sobre una cimentación apropiada. La parte inferior de la pila puede colocarse directamente para descansar sobre un estrato estable o

también puede descansar en una serie de pilotes, los elementos de la pila en ambos extremos del puente se denominan estribos.

2.1.2.3. Pozos de cimentación o conocidos como Caisson.

De acuerdo con Eduardo (2014,p.7), este tipo de cimentación profunda llamado también Caisson en (francés) es utilizada cuando el suelo es muy blando y la capacidad de carga es muy baja, la particularidad de las caisson es que su construcción se realiza en etapas a medida que el suelo se profundiza como un anillo y la longitud total depende del nivel del suelo sólido o formación rocosa.

2.2. Definición general de pilotes

Quinga Loya (2017, p.7), indica que los pilotes son elementos estructurales con una pequeña sección transversal con relación a su longitud lo cual se instalan mediante piloteadora que posee un vibrador. Por lo general se hinca en grupos o en filas para que de esta manera se sujete cada uno lo suficientes para que pueda sobrellevar la carga.

Como afirma Morales (2009,p.), un pilote es un elemento columnar en la cimentación con una longitud mayor, su función es transferir la carga y el peso propio de la estructura a un suelo más profundo o estratos de roca a través de una capa de suelo débil o menos comprensible, esto se da mediante la fricción entre el eje y el suelo para soportar la punta cuando la longitud total del elemento es similar o superior a 8 veces su ancho o tamaño mínimo, la cimentación profunda se considera un pilote.

Citando a Hernán (2019, p.6), la estructura del pilote establece las propiedades de la cimentación como una relación suelo-pilote, por consiguiente, las diferentes técnicas que se establece en la construcción tienen comportamiento sobre estas. Por su parte Fernandes Bonan (2020, p.38), expresa que el comportamiento de los pilotes estos pueden ser diferentes al momento de ser ejecutados en grupos, esta interacción conducirá a la

transposición de tensiones, lo que cambiará la capacidad de carga y el asentamiento del grupo de pilotes.

$$\eta = \frac{Q_{g(u)}}{\Sigma Q_u}$$

Donde:

η = Eficiencia del grupo

$Q_{g(u)}$ = Capacidad última de carga del grupo de pilotes

ΣQ_u = Capacidad última de carga de cada pilote sin el efecto del grupo

Según la NEC-SE-CEM (2015,p.40) se entiende como cimentaciones profundas a las estructuras cuya cimentación debe cumplir con la siguiente ecuación.

$$\frac{D_f}{B} > 4$$

En el que:

B = Ancho de la cimentación

D_f = Profundidad de desplante

2.2.1. Clasificación de los Pilotes

Para la clasificación de los pilotes se debe tomar en cuenta el manejo y comportamiento de los materiales que se vayan a utilizar en los pilotes al igual que el tipo de instauración en el suelo de la cimentación.

Aspiazu (2010, p.11), expresa que los pilotes se utilizan generalmente para transportar cargas que van desde unas pocas toneladas hasta miles, estos están hechos de diferente combinación de materiales. Para las construcciones se utiliza diferentes tipos de pilote este puede variar según la carga que tenga que soportar

a) Según su construcción, los pilotes pueden ser:

Pilotes perforados y vaciados in situ: Teniendo en cuenta a Urbina Palacios (2004,p.6) son pilotes formados perforados un orificio en el suelo y llenado con concreto.

Pilotes hincados: Desde el punto de vista JUAN & PATRICIO (2018, p.21), estos elementos estructurales se utilizan para resistir la fuerza axial y la fuerza lateral generada por carga viva, muerta, de impacto y sísmica. Su análisis depende en gran medida del fenómeno de interacción suelo-estructura, ya que tiene parámetros de rendimiento como ductilidad, deformación unitaria y desplazamiento.

b) Por el Material

Pilotes de acero

Global (2020, p.30), agrega que los pilotes metálicos fueron usados internacionalmente como componentes de construcción por más de 100 años, están constituidos principalmente de tubos los cuales se hincan en el suelo con sus extremos cerrados o abiertos, también se cuenta con pilotes de perfiles laminados H.

Pilotes de concreto

Los pilotes de hormigón son componentes de hormigón armado prefabricados o vaciados in situ. Suelen tener una sección transversal cuadrada u octogonal y soportan cargas axiales de trabajo, este tipo de concreto es vertido a la longitud requerida y se cura antes de ser transportado al lugar de trabajo, puede soportar cargas pesadas son resistente a la corrosión y es fácil de combinar con la superestructura de hormigón. Braja M. Das (2011, p.540)

Pilotes de madera

Para los pilotes de madera en su mayoría deben tener un límite de longitud de 10 a 20 metros para poder calificar como pilote este debe estar sano, recto y sin fallas, para la punta del pilote esta no deberá tener una medida menor a 6 pulgadas (105mm) y este

tipo de pilotes no resisten elevados esfuerzos de hincados por consiguiente su capacidad es limitada alrededor de 25 a 30 toneladas. Granda & Vallejo (2016, p.13)

2.3. Estimación de la capacidad de carga

Humala & Peñafiel (2012, p.27), en la capacidad de carga se utiliza una expresión basada en los principios de mecánica de suelos tales datos son obtenidos de muestreos de campo y ensayos de laboratorio y depende de la relación suelo-pilote. La fuerza de fricción en el eje y el componente de transmisión de carga desde la punta del pilote hasta el suelo de la cimentación es la base importante para revelar la capacidad de carga permisible del pilote.

Alkroosh & Nikraz (2012, p.618) afirma que la capacidad de carga se la considera uno de los factores principales a la hora de diseñar los pilotes; y según Nij Patzán (2009,p.29), esta es aceptable cuando no se produzca daños o fallos en la estructura debido a la aplicación del factor de seguridad; Gavidia Pinedo (2019, p.35), menciona que la capacidad de carga puede ser evaluada por distintos métodos, considerando los parámetros mecánicos de los suelos, las dimensiones y procesos constructivos del pilote.

2.3.1. Capacidad de carga Última de pilote

Luján & Alva Hurtado (2003, p.3), manifiesta que la capacidad de carga última se refiere a la transferencia de la carga de la edificación a las capas profundas del suelo para que se produzcan asentamientos mínimos permisibles, es decir para evitar asentamientos excesivos o que la estructura se hunda lentamente en el suelo. Además Kiefa, (1998, p.3), menciona que capacidad última del pilote es recomendable chequearse a partir de resultados de las pruebas de carga de pilotes, muchos científicos revisan los resultados hasta con 10 metodos diferentes.

Como afirma Braja M. Das (2011,p.554), la capacidad de carga última de un pilote se puede obtener mediante una fórmula la cual se basa en el aumento de la carga tomada

en la punta del pilote y la resistencia del producto de la sumatoria de la fricción de la superficie total que se genera entre el suelo y el pilote.

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

Donde:

Q_u = Capacidad última del pilote

Q_p = Capacidad de carga de la punta del pilote

Q_s = Resistencia por fricción

2.3.2. Capacidad de carga de un pilote en punta Q_p

Gabriel Camisão Nogueira, (2017, p.19), indica que debido a que las fórmulas teóricas al momento de evaluar la capacidad de los pilotes estas brindan baja confiabilidad esto se debe a la variación de sus resultados, a partir de ese momento los investigadores crean modelos matemáticos para correlacionar los parámetros geotécnicos.

Como lo hace notar Savira (2017, p.29), la capacidad de carga por fricción aumenta a medida que el pilote se profundice hasta alcanzar un pico donde se mantiene constante. Como señala Placencia (2014,p.41), para evaluar la resistencia ultima a través del esfuerzo cortante se lo hace a través de la ecuación general propuesta por Karl V. Terzaghi en (1943), por consiguiente, la capacidad ultima de carga se expresa de la siguiente manera.

$$q_u = cN_c^* + qN_q^* + \gamma BN_\gamma^*$$

En donde, N_c^* , N_q^* , N_γ^* , son componentes de capacidad de carga que contienen elementos necesarios, para las cimentaciones profundas quedaría de la siguiente manera donde N_c^* , N_q^* , será diferente a la ecuación anterior y el cómo el ancho D es respectivamente pequeño este se desprecia.

Siendo así la ecuación de la capacidad de carga de punta de pilote es:

$$q_p = cN_c^* + q'N_q^*$$

Donde q' es el esfuerzo vertical efectivo, en tal caso la carga de punta del pilote es

$$Q_p = A_p q_p = A_p (cN_c^* + q'N_q^*)$$

Donde =

A_p = Área de la punta del pilote

c = Cohesión del suelo que soporta la punta del pilote

q_p = Resistencia unitaria de la punta

q' = Esfuerzo vertical efectivo al nivel de la punta del pilote

N_c^*, N_q^* = Factores de capacidad de carga

2.4. Métodos teóricos clásicos para la estimación de capacidad de carga en pilotes

El método para aplicarse se basará en principios teóricos vs parámetros geotécnicos realizados en campo que ayudará a determinar la precisión de la capacidad de carga total del pilote, estos métodos aprovechan las propiedades de la resistencia del suelo a través de técnicas analíticas por lo que se utiliza varias formulaciones como son las de: Meyerhof, Vesic y Aoki Velloso.

Como expresa Corsa (2019, p.16), la evaluación de la capacidad de carga se puede realizar de diferentes formas, a través de factores de capacidad de carga ya que este se da con motivo de parámetros de resistencia al corte (mecánica clásica del suelo) y métodos experimentales basados en los resultados de la investigación de campo. Para determinar la capacidad de carga admisible en el diseño de cimentación se deberá aplicar un factor de seguridad.

2.4.1. Método Meyerhof

Rojas Sacatuma (2017,p.11), expresa que George Geoffrey Meyerhof efectuó investigaciones teóricas y prácticas en el año de 1963, de esta forma realizó un extenso análisis de la teoría de la plasticidad idealizando una zona potencial de falla por corte bajo de la punta del pilote en cimentaciones superficiales y profundas, determinando mecanismo de fallas y soluciones para cimentaciones que tiene cargas inclinadas y excéntricas.

Citando a Orozco & Ramirez (2020, p.53), la teoría de Meyerhof incluye determinar la carga última de la cimentación, evaluando si este debe ser menor o igual a la relación entre la profundidad y su ancho. Esto incluye otros factores como son de forma $F_{cs}F_{qs}F_{\gamma}$, factores de profundidad $F_{cd}F_{qd}F_{\gamma d}$, factores de inclinación $F_{ci}F_{qi}F_{\gamma i}$, factores de capacidad de carga $N_cN_qN_{\gamma}$.

$$q_u = cN_cF_{cs}F_{cd}F_{ci} + qN_qF_{cq}F_{qs}F_{qi} + \frac{1}{2}\gamma BN_{\gamma}F_{\gamma s}F_{\gamma d}F_{\gamma i}$$

Beltrán Cueva & Díaz Vargas (2018,p.23), sostiene que para la capacidad de carga en la cimentación se requiere de propiedades mecánicas de los suelos como la deformación, densidad y esfuerzo cortante, para las propiedades físicas de la cimentación en condición de la humedad del suelo es la rugosidad, profundidad, tamaño y forma.

De esta forma Meyerhof enseña la siguiente ecuación para conocer la capacidad de carga en punta.

$$Q_p = A_p q_p = A_p q' N_q^* \leq A_p q_1$$

Tabla 1

Valores Interpolados de N_q^* con Base en la Teoría de Meyerhof.

Angulo de fricción del suelo, ϕ (grados)	N_q^*
20	12.4
21	13.8
22	15.5
23	17.9
24	21.4
25	26.0
26	29.5
27	34.0
28	39.7
29	46.5
30	56.7
31	68.2
32	81.0
33	96.0
34	115.0
35	143.0
36	168.0
37	194.0
38	231.0
39	276.0
40	346.0
41	420.0
42	525.0
43	650.0
44	780.0
45	930.0

Nota: Muestra los vales interpolados N_q^* , tomada de Braja M. Das (2011,p.558)

La resistencia de punta límite es la siguiente:

$$q_1 = 50P_a N_q^* \cdot \tan(\phi)$$

P_a = presión atmosférica (= 100 kN/m²)

ϕ' = ángulo de fricción efectivo del suelo del estrato de apoyo

b.- Capacidad de carga por fricción

$$Q_s = \sum p \Delta L f$$

$$f = K \sigma'_v \tan \delta$$

$$f = f_{z=L}$$

para $z=0$ a L'

para $z=L'$ a L

En el cual:

f = Resistencia unitaria por fricción

K = Coeficiente efectivo de la tierra

σ'_v = Esfuerzo vertical efectivo a la profundidad bajo consideración

δ = Ángulo de fricción entre el suelo y pilote

Tabla 2

Valores Promedios de K

Tipo de pilote	K
Perforado	$K_0 = 1 - \text{sen } \phi$
Hincado, de bajo desplazamiento	$K_0 = 1 - \text{sen } \phi$ a $1.4 K_0 = 1.4 (1 - \text{sen } \phi)$
Hincado, de alto desplazamiento	$K_0 = 1 - \text{sen } \phi$ a $1.8 K_0 = 1.8 (1 - \text{sen } \phi)$

Nota: La tabla muestra la base de los valores promedios de K , tomando en cuenta que la magnitud varía con la profundidad. Tomada de Braja M. Das (2011, p.570)

Se toma las siguientes consideraciones, donde la magnitud de la profundidad L' es de entre 15 y 20 veces el diámetro del pilote se usa conservadoramente $L' = 15D$.

Además, se considera longitudes de análisis para los esfuerzos verticales efectivos cuando $z = L'$ y $z = L$.

2.4.2. Método Vesic

Hinostroza & Medina (2021,p.23), en 1975 Vesic estima que la resistencia por punta no aumentará linealmente a lo largo del pilote, sino que la profundidad únicamente podrá alcanzar casi diez veces el ancho en arenas sueltas y en arenas densas es veinte veces el ancho, se considera que la capacidad de carga de cada punta no se encuentra restringida por el esfuerzo unitario vertical efectivo (q'), salvo por el esfuerzo normal medio ($\bar{\sigma}'_o$).

Desde la posición de Puma Chambi, Noemi; Azaña Laura (2020, p.38), Vesic afirmó que el índice de rigidez es un componente fundamental para anunciar el tipo de deterioro que presenta el suelo, por lo cual recomienda que el índice de rigidez I_r sea mayor.

Como señala Braja M. Das (2011,p.560), Vesic " En 1977 planteó el método para estimar la capacidad de carga de punta en un pilote basado en la hipótesis de la expansión de la cavidad. Según esta teoría está establecida en parámetro de esfuerzo efectivo, como se expresa mediante la siguiente ecuación.

a.- Capacidad de carga por Punta

$$Q_p = A_p * (cN_c^* + \bar{\sigma}'_o N_\sigma^*)$$

Donde:

$\bar{\sigma}'_o$ = Esfuerzo efectivo normal medio del terreno de la punta del pilote es

$$\bar{\sigma}'_o = \left(\frac{1 + 2K_o}{3} \right) * q'$$

K_o = Coeficiente de presión de tierra en reposo

$$K_o = 1 - \text{sen}(\phi)$$

N_c^* , N_σ^* = Factores de capacidad de carga

$$N_\sigma^* = \frac{3N_q^*}{(1 + 2K_0)}$$

$$N_c^* = (N_q^* - 1) \cot(\phi)$$

$$N_\sigma^* = f(I_{rr})$$

Otras apreciaciones

$$I_{rr} = \frac{I_r}{1 + I_r \Delta}$$

$$I_r = \frac{E_s}{2(1 + \mu_s)(c + q' \tan(\phi))} = \frac{G_s}{c + q' \tan \phi}$$

Donde:

E_s = Modulo de elasticidad del suelo

I_r = Índice de rigidez

G_s = Modulo cortante del suelo

μ_s = Relación de Poisson del suelo

Δ = Deformación unitaria promedio en la zona plástica de la punta

Tabla 3

Factores de capacidad de carga N^*_c y N^*_q en función del ángulo de fricción y el índice de rigidez.

ϕ'	I_{rr}									
	10	20	40	60	80	100	200	300	400	500
25	23.84	32,05	42,85	50,69	57,07	62,54	82,98	97,81	109,88	120,23
	12.12	15.95	20.98	24.64	27.61	30.16	39.70	46.61	52.24	57.06
26	24,98	33,77	45.42	53,93	60.87	66.84	89.25	105.61	118.96	130.44
	13.18	17.47	23.15	27.30	30.69	33.60	44.53	52.51	59.02	64.62
27	26,16	35.57	48.13	57.34	64.88	71.39	95.02	113.92	128.67	141.39
	14.33	19.12	25.52	30.21	34.06	37.37	49.88	59.05	66.56	73.04
28	27,40	37.45	50.96	60.93	69.12	76.20	103.01	122.79	139.04	153.10
	15.57	20.91	28.10	33.40	37.75	41.51	55.77	66.29	74.93	82.40
29	28,69	39.42	53.95	64.71	73.58	81.28	110.54	132.23	150.11	164.61
	16.90	22.85	30.90	36.87	41.79	46.05	62.27	74.30	84.21	92.80
30	30,03	41.49	57.08	68.69	78.30	86.64	118.53	142.27	161.91	178.98
	18.24	24.95	33.95	40.66	46.21	51.02	69.43	83.14	94.48	104.33
31	31,43	43.64	60.37	72.88	83.27	92.31	126.99	152.95	174.49	193.23
	19.88	27.22	37.27	44.79	51.03	56.46	77.31	92.90	105.84	117.11
32	32,89	45.90	63.82	77.29	88.50	98.28	135.96	164.29	187.87	208.43
	21.55	29.68	40.88	49.30	56.30	62.41	85.96	103.66	118.39	131.24
33	34,41	48.26	67.44	81.92	94.01	104.58	145.46	176.33	202.09	224.62
	23.34	32.34	44.80	54.20	62.05	68.92	95.46	115.51	132.24	146.87
34	35,99	50.72	71.24	86.80	99.82	111.22	155.51	189.11	217.21	241.84
	25.28	35.21	49.05	59.54	68.33	76.02	105.90	128.55	147.51	164.12
35	37,65	53.30	75.22	91.91	105.92	118.22	166.14	202.64	233.27	260.15
	27.36	38.32	53.67	65.36	75.15	83.78	117.33	142.89	164.33	183.16
36	39,37	55.99	79.39	97.29	112.34	125.59	177.38	216.98	250.30	279.60
	29.60	41.68	58.68	71.69	82.62	92.24	129.87	158.65	182.85	204.14
37	41,17	58.81	83.77	102.94	119.10	133.34	189.25	232.17	268.36	300.26
	32.02	45.31	64.13	78.57	90.75	101.48	143.61	175.95	203.23	227.26
38	43,04	61.75	88.36	108.86	126.20	141.50	201.78	248.23	287.50	322.17
	34.63	49.24	70.03	86.05	99.60	111.56	158.65	194.94	225.62	252.71
39	44,99	64.83	93.17	115.09	133.66	150.09	215.01	265.23	307.70	345.41
	37.44	53.50	76.45	94.20	109.24	122.54	175.11	215.78	250.23	280.71
40	47,03	68.04	98.21	121.62	144.51	159.13	228.97	283.19	329.24	370.04
	40.47	58.10	83.40	103.05	119.74	134.52	193.13	238.62	277.26	311.50
41	49,16	71.41	103.49	128.48	149.75	168.63	243.69	302.17	351.95	396.12
	43.74	63.07	90.96	112.68	131.18	147.59	212.84	263.67	306.94	345.34
42	51,38	74.92	109.02	135.68	158.41	178.62	259.22	322.22	375.97	423.74
	47.27	68.46	99.16	123.16	143.64	161.83	234.40	291.13	339.52	382.53
43	53,70	78.60	114.82	143.13	167.51	189.13	275.59	343.40	401.36	452.96
	51.08	74.30	108.08	134.56	157.21	177.36	257.99	321.22	375.28	423.39
44	56,13	82.45	120.91	151.16	177.07	200.17	292.85	365.75	428.21	483.88
	55.20	80.62	117.76	146.97	172.00	194.31	283.80	354.20	414.51	468.28
45	58,65	86.48	127.28	159.48	187.12	211.79	311.04	389.35	456.57	516.58
	59.66	87.48	128.28	160.48	188.12	212.79	312.03	390.35	457.57	517.58

Nota: Tomado de (Braja M. Das, 2011,pg.562) de "Design of pile Foundations", de a.s. Vesic. synthesis of highway practice de la American association of state highway and transport. derechos de autor 1969 del Transportation Research Board.

Igualmente:

Para las arenas densas o arcillas saturadas se toma en cuenta que:

$$\Delta = 0 \quad I_{rr} = I_r$$

Para ambientes no drenados

$$\phi = 0 \quad N_C^* = \frac{4}{3}(\ln(I_{rr}) + 1) + \frac{\pi}{2} + 1$$

En donde los valores de I_r se obtienen en el laboratorio de ensayos de consolidación y triaxiales, no obstante, se recomienda:

Tabla 4

Valores para I_r

Tipo de suelo	I_r
Arena	70-150
Limo y arcillas (condición drenada)	50-100
Arcillas (condición no drenada)	100-200

Nota: la tabla muestra las relaciones aproximadas del tipo de suelo para I_r . Tomada de Braja M. Das (2011,p. 563)

2.4.3. Método Aoki y Velloso

Desde el punto de vista de Sardon Tupayachi, Talia del Carmen; Sasaki Salazar, (2021,p.41), el procedimiento Aoki & Velloso fue anunciado en el 5to congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones en el año de 1975, el cual este fue creado desde un punto de análisis comparativo entre resultados de evidencias de carga en pilotes y las relaciones con pruebas de penetración de suelos.

Beira Fontaine (2013,pg.4), agrega que Aoki y Velloso propusieron una expresión para evaluar la carga de separación de pilotes a través de los ensayos de cono. La carga última se define por la suma del componente de fricción lateral y la resistencia de la punta.

De la Cruz Ninanya (2018, p. 24), da a conocer que el método de Aoki & Velloso evaluaron la función de carga para diversos tipos de pilote, estableciendo resultados de ensayos estáticos basándose inicialmente en las pruebas de penetración CPT, no obstante, este procedimiento también fue empleado en ensayos de penetración dinámica conjuntamente se instauró coeficientes de corrección F1 y F2, también fueron creando medidas de correlación designados a los diferentes tipos de suelos denominados de k y α .

Tabla 5

Coefficientes F1 y F2 de Monteiro

Tipo de pilote	F1	F2
Pilote metálico (acero)-cuadrado	1.75	3.5
Pilote premoldeado de hormigón, hincado a percusión- cuadrado	2.5	3.5
Pilote premoldeado de hormigón, hincado a presión- cuadrado	1.2	2.3
Franki de fuste golpeado-circular	2.3	3.00
Franki de fuste vibrado-circular	2.3	3.2
Pilote metálico (acero)-circular	1.75	3.5
Pilote premoldeado de hormigón, hincado a percusión- circular	2.5	3.5
Pilote premoldeado de hormigón, hincado a presión- circular	1.2	2.3
Pilote excavado con lodo bentónico- circular	3.5	4.5

Nota: La tabla muestra los valores de los coeficientes de F1 y F2. Tomada de Montero

Tabla 6Valores de K y α de Monteiro

Tipo de Suelo	K (Ton/m²)	α
Arena	73	0.021
Arena Limosa	68	0.023
Arena Limo- Arcillosa	63	0.024
Arena arcillosa-limosa	57	0.029
Arena arcillosa	54	0.028
Limo Arenoso	50	0.030
Limo Areno- Arcilloso	45	0.032
Limo	48	0.032
Limo arcilloso-arenoso	40	0.033
Limo arcilloso	32	0.036
Arcilla arenosa	44	0.032
Arcilla arenosa-limosa	30	0.038
Arcilla limosa-arenosa	33	0.041
Arcilla limosa	26	0.045
Arcilla	25	0.055

Nota: La tabla muestra los valores a utilizar para K y α , Tomado de Monteiro

A.- Capacidad de carga por punta

$$q_p = A_p n_b N_{SPT}$$

Donde:

$$n_b = \frac{K}{F_1}$$

Los factores empíricos K y F_1 se muestran en las tablas mostradas anteriormente, estos componentes se basan en los resultados de las pruebas realizadas en pilotes de acero

y prefabricados esto se debe a su método de instalación ya que se puede esperar que todos los pilotes se comporten con un alto desplazamiento.

B.- Capacidad de carga por fricción

$$q_s = \sum_i^n \frac{\alpha K N_{spt}}{F2} * A_{lineal}$$

Donde:

N_{spt} = se obtiene del ensayo de penetración

F2 = coeficientes

2.5. Definición de la Prueba de Carga Dinámica (PDA)

Da a conocer Pile Dynamics (2019) Prueba de carga dinámica de alta tensión y sistema de monitoreo de conducción de pilotes. Se realiza pruebas dinámicas de carga en la mayoría de los tipos de cimentaciones profundas.

Los intentos de determinar la capacidad del pilote mediante análisis dinámico se remontan al siglo XIX, cuando se desarrolló una fórmula dinámica que consideraba la energía del martillo hincador de pilotes y el juego del pilote para encontrar la capacidad portante. A principios de la década de 1940, los resultados de un gran estudio sobre fórmulas dinámicas fueron publicados y discutidos por ingenieros muy prominentes, incluido Karl Terzhagi.

Los proyectos que emprendemos hoy son cada vez más importantes y necesitamos desarrollar formas de certificar el diseño y la calidad de construcción necesaria para nuestro trabajo. Por estas razones, es muy importante conocer y analizar el progreso en el logro de la capacidad de carga mediante pruebas dinámicas originadas de archivos producidos por Pile Dynamics, Inc.

Pile Dynamics (2019) Menciona que el análisis CAPWAP de los datos de PDA es esencial para una prueba de carga dinámica. Proporciona la distribución de la resistencia del suelo a lo largo de la base y simula una prueba de carga estática. Las amplias correlaciones entre CAPWAP simulado y las pruebas de carga estática actual han demostrado la confiabilidad de este método para determinar la capacidad de la pila.

Como dice Gil, s. f.(p.12) Tradicionalmente, los diversos métodos de pruebas de carga han sido caracterizados por la duración con que la fuerza es aplicada al pilote. Los ensayos de carga estática aplican fuerzas significativas durante considerables periodos de tiempo para evaluar la capacidad portante del pilote. En las pruebas de carga dinámica y los ensayos de carga rápida, aunque la fuerza es comparable en magnitud a la del ensayo estático, es aplicada durante un periodo más corto de tiempo.

Como dice Terceros Herrera, (2016, p.29), estos ensayos consisten en medir la capacidad de carga del pilote que recibe un golpe con el martillo aplicando una energía conocida.

2.5.1. Aspectos generales de la Prueba de Carga Dinámica

Vega Velez (2005, p.2), considera que la capacidad de carga real de una cimentación profunda se recurre a la utilización de pruebas de carga ya que al realizar los ensayos se los realiza directamente en campo y así los resultados obtenidos serán más verídicos.

Naveiras (2018, p.24), destaca que los pilotes ya listos y conectados a los sensores, se prepara el martillo hidráulico para comenzar con los golpes a diferentes alturas.

Cheney y Chassie (1993) afirma que los beneficios de la carga dinámica es ahorrar tiempo y dinero a comparación de las pruebas estáticas.

Las pruebas PDA se pueden utilizar en todo tipo de pilotes, como pilotes de hormigón, pilotes perforados, pilotes de acero, etc. Para pilotes perforados de gran

diámetro, se utilizan 4 pares de transductores de deformación y acelerómetros. Se pueden probar muchas pilas en un día, lo que resulta en un menor costo.

Likins, George; Rausche, (2008, p.150), expresa que las pruebas PDA han generado fama en los últimos años ya que son subjetivamente rentables, alta velocidad y facilidad de ejecución. La prueba dinámica en pilotes necesita medir la fuerza del pilote y la rapidez durante el impacto del martillo, gracias a su precio que es mucho menor comparando con otras pruebas.

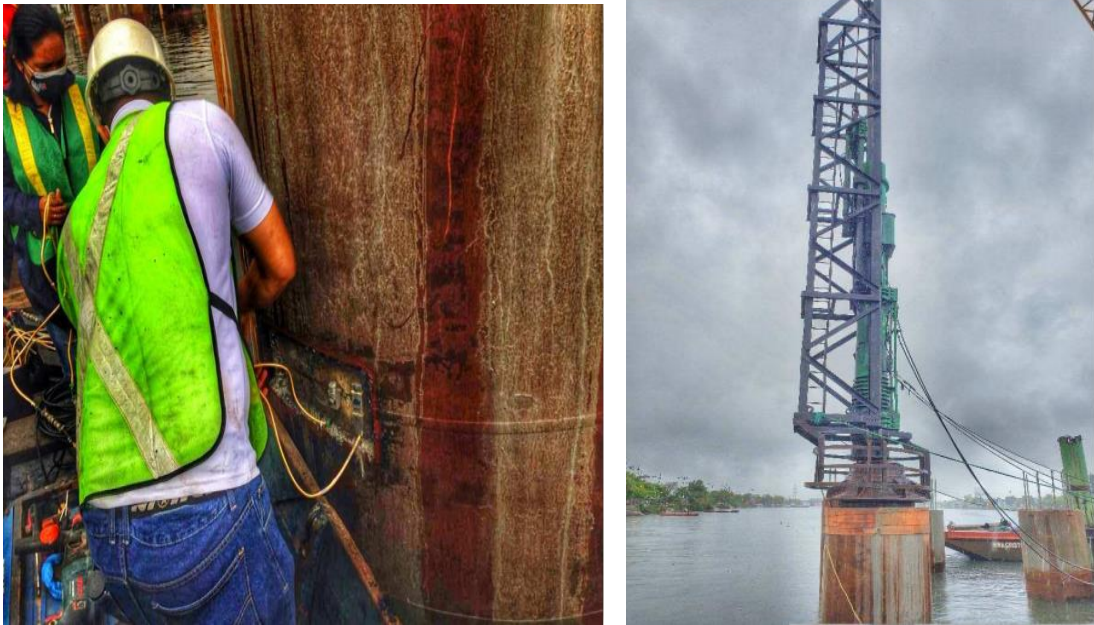
El análisis dinámico de pilotes consiste en conectar dos sensores de acelerómetro y dos galgas extensométricas a cada pilote. Durante la conducción, la información de cada sensor se transmite a una computadora que correlaciona y analiza la información para proporcionar datos en tiempo real sobre la pila. Los datos obtenidos de la computadora incluyen tensiones en los pilotes, integridad del pilote y capacidades estimadas del pilote. El PDA también se puede utilizar para análisis de un solo golpe para estimar capacidades para pilotes no hincados.

2.5.2. Equipo

De acuerdo con Pile Dynamics (2001) El PDA-8G toma los datos obtenidos por acelerómetros y transductores de tensión fácilmente unidos a la pila y computariza la capacidad de la base. Además, calcula múltiples cantidades importantes mediante el método de caso e iCAP®. iCAP calcula la capacidad en tiempo real después de cada golpe por coincidencia de señal (similar a CAPWAP®). Este cálculo a menudo es más preciso que la capacidad del Método de caso y evalúa mejor las tensiones en la pila. El equipo G8 trabaja de acuerdo con la norma estadounidense ASTM D4945 ya que son pruebas dinámicas de alta deformación.

Figura 2

Equipo PDA



Nota: El grafico representa el equipo que se utiliza para hacer las respectivas pruebas. Tomado de Pile Dynamic. Inc

2.5.3. Normativa

NEC-SE-CEM (2015,pg.47) Indica que cuando se lleven a cabo las pruebas dinámicas en campo, High Strain Dynamic pile testing (Ensayo dinámico de pilotes de alta deformación) estas se las debe regir según la norma ASTM D4945-00 “Standard Test Method for High-Strain Dynamic Testing of Piles” (Método de prueba estándar para pruebas dinámicas de alta deformación de pilotes).

Es posible conocer cuál es el proceso, la metodología y el desarrollo de la prueba. Con este método se puede determinar la respuesta del pilote en los aspectos que son fuerza y velocidad de este, en el momento en que se impacta axialmente el pilote con el martillo desde la parte superior a varios metros de distancia.

Igualmente, con el paso de los años varias entidades que se han dedicado hacer pruebas de este tipo para validar las mismas frente a las pruebas de carga , han generado metodologías y vinculadas a la norma ya expuesta; entre estas se encuentran normas AASHTO T298 y ASCE 20-96, entre otras.(Gonzalez, 2008)

2.5.4. Ejecución

Los métodos de control electrónico de la hincada de pilotes se basan en la medida de los valores de deformación y velocidad que se producen en la cabeza del pilote a partir del momento del impacto del martillo. Este impacto recorre toda la longitud del pilote en forma de una onda de presión cuya señal se registra mediante dos tipos de sensores: transductores de deformación y acelerómetros(Gil, s. f.).

Para la ejecución de este método innovador en la hincada de pilotes toman de base a los resultados de la deformación y la velocidad que se produce en la parte superior del pilote al momento en que se produce el impacto del martillo sobre el pilote.

2.5.5. Resultados

Los resultados preliminares de campo se analizan posteriormente con el software de igualamiento de señal CAPWAP®, para obtener resultados que se correlacionen muy bien con pruebas de carga estática(Pile Dynamics, 2001)

2.5.6. Análisis del programa de ondas de casos (CAPWAP)

Las pruebas PDA solo proporcionan mediciones directas de las fuerzas y movimientos en la cabeza del pilote. Los parámetros estáticos y dinámicos del suelo y la distribución de fuerzas / movimiento sobre el eje y el pie del pilote no se miden directamente. Para verificar el componente estático de la resistencia del pilote, el análisis CAPWAP se realiza en datos de campo de un golpe de martillo representativo seleccionado del registro de prueba PDA.

Rodríguez & Velandia (2009, p.7), señalan que el Programa CAPWAP®, (Case Pile Wave Análisis). Este programa ejecuta un modelo detallado del pilote simulando la propagación de ondas a lo largo de la pila y utiliza un método porcentual para determinar los resultados de la capacidad de carga obtenidos en el campo. Además, determina la resistencia final de la fricción, la resistencia de punta y la distribución de la fricción a lo largo del mismo.

El análisis CAPWAP resuelve tres incógnitas: las fuerzas internas del pilote, los movimientos del pilote y las fuerzas externas. Los parámetros del suelo y las distribuciones de resistencia del eje / punta del pilote se estiman y ajustan mediante un proceso iterativo en el software CAPWAP para trazar una respuesta de onda calculada. El proceso se repite hasta que se logre una coincidencia razonable entre la curva de onda CAPWAP y la respuesta de onda medida a partir de los datos de campo (es decir, coincidencia de señales).

El resultado final de CAPWAP proporciona un resultado de resistencia "corregido" para el pilote, el eje del pilote y la punta del pilote. Se debe aplicar una cantidad significativa de juicio durante el análisis CAPWAP para garantizar que los resultados finales tengan sentido en términos de la información disponible sobre suelos y aguas subterráneas para el sitio.

2.5.7 Ecuación de la Onda

Santos Melgarejo (2016, p.20), deduce que la onda crea un punto de impacto que tiene forma esférica en el frente, pero en una distancia de aproximadamente 2 diámetros puede esta considerarse un frente de onda plano que se propaga a través del cilindro de velocidad:

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

Considerando:

ρ : La densidad

E: es el módulo de elasticidad dinámico del material

c: la velocidad de propagación

Cuando la forma, las propiedades de los materiales y la rigidez del suelo que componen el pilote cambia, esto tendrá como consecuencia que parte de la energía se refleje en la punta de este.

Como se hace mención anteriormente, para analizar e interpretar las medidas de fuerza y velocidad realizadas en el campo durante la prueba dinámica en el pilote, se utiliza la ecuación de onda como modelo matemático. Gonzalez (2008,p.14)

CAPÍTULO III

SOLUCIONES TEÓRICAS CLÁSICAS Y PRUEBAS DINÁMICAS PDA

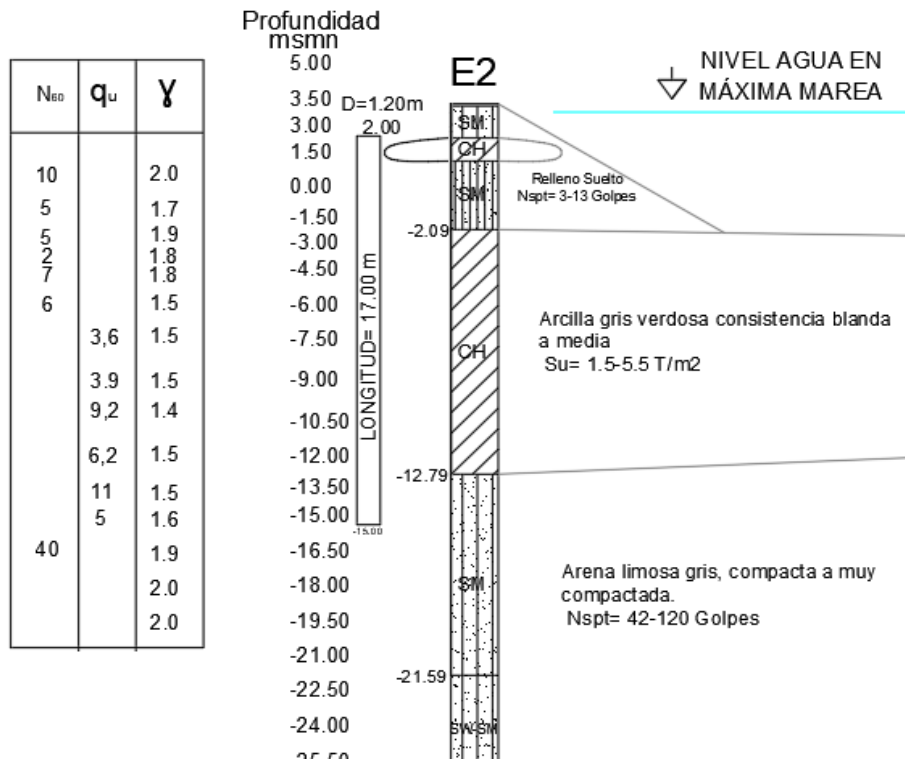
3.1 Soluciones de Teorías de Calculo Clásicas

A continuación, se evaluará de forma teórica cada uno de los estribos y pilotes que forman parte del proyecto “Puente Estero Muerto en la Ciudad de Guayaquil”, dichos cálculos serán evaluados mediante el Método Meyerhof, Vesic, Aoki Velloso. Se presenta la estratigrafía del pilote a ser evaluado y del cual tomaremos los valores a usar en las ecuaciones.

3.1.1 Estribo 2

Figura 3

Perfil estratigráfico general Estribo 2



Nota: Perfil Estratigráfico en puente sobre el estero muerto Guayaquil, Ecuador.

Método Meyerhof

Conociendo la capacidad de carga en el método de Meyerhof, a través del libro (Braja M. Das, 2011) se utilizará las fórmulas que se proponen.

Calcularemos la capacidad de carga por punta

$$Q_p = A_p q_p = A_p q' N_q^* \leq A_p q_1$$

Donde

$$q_1 = 50 N_q^* * \tan(\phi)$$

Como datos del Estribo 2 tenemos:

Longitud del pilote

$$L = 17 \text{ m}$$

$$D = 1.2 \text{ m}$$

Sección Transversal

$$A_p = 1.13 \text{ m}^2$$

Datos del Sondeo en el pilote, son:

Esfuerzo efectivo

$$q' = 14 \text{ T/m}^2$$

Angulo de fricción

$$\phi = 40^\circ$$

Factor de Capacidad

$$N_q^* = 346$$

Resistencia Limite:

$$q_1 = 14516,4 \text{ KN/m}^2$$

Resultados Obtenidos:

$$Q_{p1} = A_p q' N_q^*$$

$$Q_{p1} = (1,13)((14 * 1000 * 9,81)/1000))(346)$$

$$Q_{p1} = 53743,447$$

$$Q_{p2} = A_p q_1$$

$$Q_{p2} = (1,13)(14516,4)$$

$$Q_{p2} = 16417,688$$

La ecuación inicial no cumple.

$$Q_p = A_p q' N_q^* \leq A_p q_1$$

Entonces nos quedamos con el resultado

$$Q_p = 16417,688 \text{ KN}$$

$$Q_p = 1673,566 \text{ Ton}$$

Capacidad de carga por fricción

$$Q_s = p L f_{prom}$$

La magnitud de la profundidad L' es de entre 15 y 20 veces el diámetro del pilote

Use conservadoramente

$$L' = 15D$$

Considere esfuerzos efectivos cuando, $z=L'$ y $z=L$

Datos:

$$f_{prom} = N_{1,60} = 8 \text{ kN/m}^2$$

$$L' = 17/2 = 8,5 \text{ m}$$

f_{prom} para pilotes hincados de desplazamientos pequeño

$$f_{prom} = 8 \text{ kN/m}^2$$

Considere una capacidad de Carga por fricción de:

$$Q_s = pL f_{prom}$$

$$Q_s = (8) * (8,5) * 1,2 * \pi$$

$$Q_s = 256,3539 \text{ KN}$$

$$Q_s = 26,132 \text{ Ton}$$

Método de Vesic

El método de Vesic 1977 explica la teoría de expansión de cavidades y en parámetros de esfuerzo efectivo como obtener la capacidad de carga por punta de un pilote. ESCUELA POLITÉCNICA EL EJERCITO, n.d.(p,103)

$$Q_p = A_p * (cN_c^* + \sigma'_0 N_\sigma^*)$$

Donde:

σ'_0 = esfuerzo efectivo normal medio del terreno de la punta.

$$\sigma'_0 = \left(\frac{1+2K_0}{3} \right) * q' = \left(\frac{1+2(0,36)}{3} \right) * (14 * 9,81) = 78,49 \text{ KN/m}^2$$

K_0 = Coeficiente de presión de tierra en reposo

$$K_0 = 1 - \text{sen}(\phi) = 1 - \text{sen}(40) = 0,36$$

N_c^*, N_σ^* = Factores de capacidad de carga.

$$N_\sigma^* = f(I_{rr})$$

Teniendo en cuenta otras consideraciones:

$$I_r = \frac{E_s}{2(1 + \mu_s)(c + q' \tan(\phi))} = \frac{G_s}{c + q' \tan(\phi)}$$

$$I_{rr} = \frac{I_r}{1 + I_r \Delta}$$

$$E_s = m * Pa \left(\frac{KN}{m^2} \right) = 400 * 100 = 40000 \text{ KN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,1 + 0,3 \left(\frac{\phi - 25}{20} \right) \quad \text{para } 25^\circ \leq \phi \leq 45^\circ$$

$$\mu_s = 0,1 + 0,3 \left(\frac{40 - 25}{20} \right) = 0,33$$

$$\Delta = 0,005 \left(1 - \frac{\phi - 25}{20} \right) * \left(\frac{q'}{P_a} \right) = 0,005 \left(1 - \frac{40 - 25}{20} \right) * \left(\frac{14 * 9,81}{100} \right) = 0,002$$

Índice de rigidez:

$$I_r = \frac{E_s}{2(1 + \mu_s)(c + q' \tan(\phi))} = \frac{40000}{2(1 + 0,33)((14 * 9,81) \tan(40))} = 130,979$$

Una vez obtenido este valor $I_r = 106,934$ realizamos una interpolación de los valores tomados de la Tabla 3.

$$N_\sigma^* = 138,584$$

Índice de rigidez reducida:

$$I_{rr} = \frac{I_r}{1 + I_r \Delta} = \frac{130,979}{1 + 130,979 * 0,002} = 106,934$$

Capacidad de carga por punta

$$Q_p = A_p * (\sigma'_0 N_{\sigma}^*)$$

$$Q_p = 1,13 * (78,49 * 138,584)$$

$$Q_p = 12301,568 \text{ KN}$$

$$Q_p = 1253,982 \text{ Ton}$$

Método Aoki y Velloso 1975

Este procedimiento de cálculo es un método directo y se basa en ensayos SPT para pilotes en una variedad de suelos que varían de arenas a arcillas.

Capacidad de carga por punta

$$q_p = A_p n_b N_{SPT}$$

Donde:

$$n_b = \frac{K}{F_1}$$

Obtenemos los valores de k en la Tabla 5 dependiendo del tipo de suelo:

$$k = 68 \text{ KN/m}^2$$

Y los coeficientes F1 de la Tabla 4

$$F_1 = 3,5$$

Remplazamos:

$$n_b = \frac{K}{F_1} = \frac{68}{3,5} = 19,42$$

Dato obtenido del informe de perforación realizado al estribo $N_{SPT} = 55$

Reemplazamos en la formula general

$$q_p = A_p n_b N_{SPT}$$

$$q_p = 1,13 * 19,42 * 55$$

$$q_p = 1208,53 \text{ Ton}$$

Capacidad de Carga por fricción.

El estribo 2 posee tres estratos, para el cálculo de la Capacidad por fricción se considerarán solamente dichos estratos.

Tabla 7

Cálculo de capacidad de carga por fricción

Prof	ΔL	Suelo	N_{SPT}	$K(\text{ton/m}^2)$	α_1	$\alpha K N_{spt}$
0						
	2,09	Arena limosa	7,5	68	0,023	24,5157
2,09						
	10,7	Arcilla	5	25	0,055	73,5625
12,79						
	4,21	Arena limosa	55	68	0,023	362,1442
17						

Nota: Contiene valores de capacidad de carga por estratos.

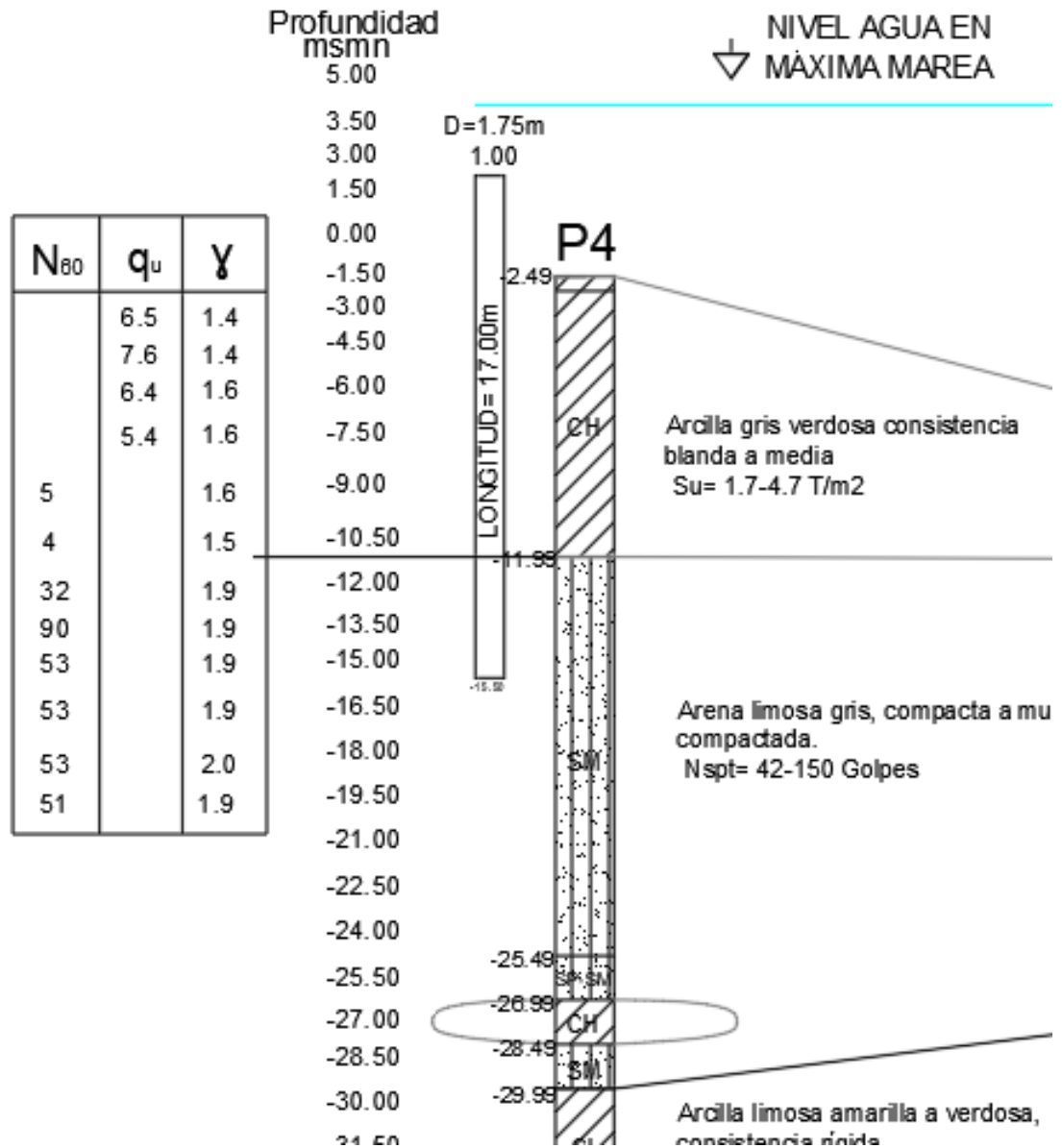
$$q_s = \sum_i^n \frac{\alpha K N_{spt}}{F2} * A_{lineal}$$

$$q_s = 385,55 \text{ Ton}$$

3.3.2 Pila 4

Figura 4

Perfil estratigráfico general Pila 4



Nota: Perfil Estratigráfico en puente sobre el estero muerto Guayaquil, Ecuador.

Método Meyerhof

Conociendo la capacidad de carga en el método de Meyerhof, a través del libro (Braja M. Das, 2011) se utilizará las fórmulas que se proponen.

Calcularemos la capacidad de carga por punta

$$Q_p = A_p q_p = A_p q' N_q^* \leq A_p q_1$$

Donde

$$q_1 = 50 N_q^* * \tan(\phi)$$

Como datos del pilote N°4 tenemos:

Longitud del pilote

$$L = 17 \text{ m}$$

$$D = 1,75 \text{ m}$$

Sección Transversal

$$A_p = 2,41 \text{ m}^2$$

Datos del Sondeo en el pilote, son:

Esfuerzo efectivo

$$q' = 9 \text{ T/m}^2$$

Angulo de fricción

$$\phi = 38^\circ$$

Factor de Capacidad

$$N_q^* = 231$$

Resistencia Limite

$$q_1 = 9023,849 \text{ KN/m}^2$$

Resultados Obtenidos:

$$Q_{p1} = A_p q' N_q^*$$

$$Q_{p1} = (2,41)((9 * 1000 * 9,81)/1000)(231)$$

$$Q_{p1} = 49055,6998$$

$$Q_{p2} = A_p q_1$$

$$Q_{p2} = (2,41)(9023,849)$$

$$Q_{p2} = 21704,9004$$

La ecuación inicial no cumple.

$$Q_p = A_p q' N_q^* \leq A_p q_1$$

Entonces nos quedamos con el resultado

$$\mathbf{Q_p = 21704,9004 KN}$$

$$\mathbf{Q_p = 2212,528 Ton}$$

Capacidad de carga por fricción

$$Q_s = pL f_{prom}$$

La magnitud de la profundidad L' es de entre 15 y 20 veces el diámetro del pilote

Use conservadoramente

$$L' = 15D$$

Considere esfuerzos efectivos cuando, $z=L'$ y $z=L$

Datos:

$$f_{prom} = N_{1,60} = 7 \text{ kN/m}^2$$

$$L' = 17/2 = 8,5 \text{ m}$$

f_{prom} para pilotes hincados de desplazamientos pequeño

$$f_{prom} = 7 \text{ kN/m}^2$$

Considere una capacidad de Carga por fricción de:

$$Q_s = pL f_{prom}$$

$$Q_s = 2,41 * \pi * (8,5) * (7)$$

$$Q_s = 327,118 \text{ KN}$$

$$Q_s = 33,345 \text{ Ton}$$

Método de Vesic

El método de Vesic 1977 explica la teoría de expansión de cavidades y en parámetros de esfuerzo efectivo como obtener la capacidad de carga por punta de un pilote. ESCUELA POLITÉCNICA EL EJERCITO, n.d.(p,103)

$$Q_p = A_p * (cN_c^* + \sigma'_0 N_\sigma^*)$$

Donde:

σ'_0 = esfuerzo efectivo normal medio del terreno de la punta.

$$\sigma'_0 = \left(\frac{1+2K_0}{3} \right) * q' = \left(\frac{1+2(0,38)}{3} \right) * (9 * 9,81) = 52,05 \text{ KN/m}^2$$

K_0 = Coeficiente de presión de tierra en reposo

$$K_0 = 1 - \text{sen}(\phi) = 1 - \text{sen}(38) = 0.38$$

$N_c^*, N_\sigma^* =$ Factores de capacidad de carga.

$$N_\sigma^* = f(I_{rr})$$

Teniendo en cuenta otras consideraciones:

$$I_r = \frac{E_s}{2(1 + \mu_s)(c + q' \tan(\phi))} = \frac{G_s}{c + q' \tan \phi}$$

$$I_{rr} = \frac{I_r}{1 + I_r \Delta}$$

$$E_s = m * P_a \left(\frac{KN}{m^2} \right) = 400 * 100 = 40000 \text{ KN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,1 + 0,3 \left(\frac{\phi - 25}{20} \right) \quad \text{para } 25^\circ \leq \phi \leq 45^\circ$$

$$\mu_s = 0,1 + 0,3 \left(\frac{38 - 25}{20} \right) = 0,30$$

$$\Delta = 0,005 \left(1 - \frac{\phi - 25}{20} \right) * \left(\frac{q'}{P_a} \right) = 0,005 \left(1 - \frac{38 - 25}{20} \right) * \left(\frac{9 * 9,81}{100} \right) = 0,002$$

Índice de rigidez:

$$I_r = \frac{E_s}{2(1 + \mu_s)(c + q' \tan(\phi))} = \frac{40000}{2(1 + 0,30)((9 * 9,81) \tan(38))} = 223,892$$

Índice de rigidez reducida:

$$I_{rr} = \frac{I_r}{1 + I_r \Delta} = \frac{223,892}{1 + 223,892 * 0,002} = 166,348$$

Una vez obtenido este valor $I_r = 166,348$ realizamos una interpolación de los valores tomados de la Tabla 3

$$N_\sigma^* = 142,80$$

Capacidad de carga por punta

$$Q_p = A_p * (\sigma'_0 N_{\sigma}^*)$$

$$Q_p = 2,41 * (52,05 * 142,80)$$

$$Q_p = 17878,961 \text{ KN}$$

$$Q_p = 1822,524 \text{ Ton}$$

Método Aoki y Velloso 1975

Este procedimiento de cálculo es un método directo y se basa en ensayos SPT para pilotes en una variedad de suelos que varían de arenas a arcillas.

Capacidad de carga por punta

$$q_p = A_p n_b N_{SPT}$$

Donde:

$$n_b = \frac{K}{F_1}$$

Obtenemos los valores de k en la Tabla 5 dependiendo del tipo de suelo:

$$k = 68 \text{ KN/m}^2$$

Y los coeficientes F1 de la Tabla 4

$$F_1 = 3.5$$

Remplazamos:

$$n_b = \frac{K}{F_1} = \frac{68}{3.5} = 19,429$$

Dato obtenido del informe de perforación realizado al estribo $N_{SPT} = 53$

$$\text{Área del pilote } A_p = 2,41 \text{ m}^2$$

Reemplazamos en la formula general

$$q_p = A_p n_b N_{SPT}$$

$$q_p = 2.41 * 19,419 * 53$$

$$q_p = 2476,75 \text{Ton}$$

Capacidad de Carga por fricción.

La pila 4 posee dos estratos, para el cálculo de la Capacidad por fricción se considerarán solamente el primer estrato.

Tabla 8

Cálculo de capacidad de carga por fricción

Prof	ΔL	Suelo	N_{SPT}	$K(\text{ton/m}^2)$	α_1	$\alpha K N_{spt}$
2,49						
	9,05	Arcilla	5	25	0,055	65,3125
11,99						
	5,01	Arena limosa	53	68	0,023	415,2889
17						

Nota: Contiene valores de capacidad de carga por estratos.

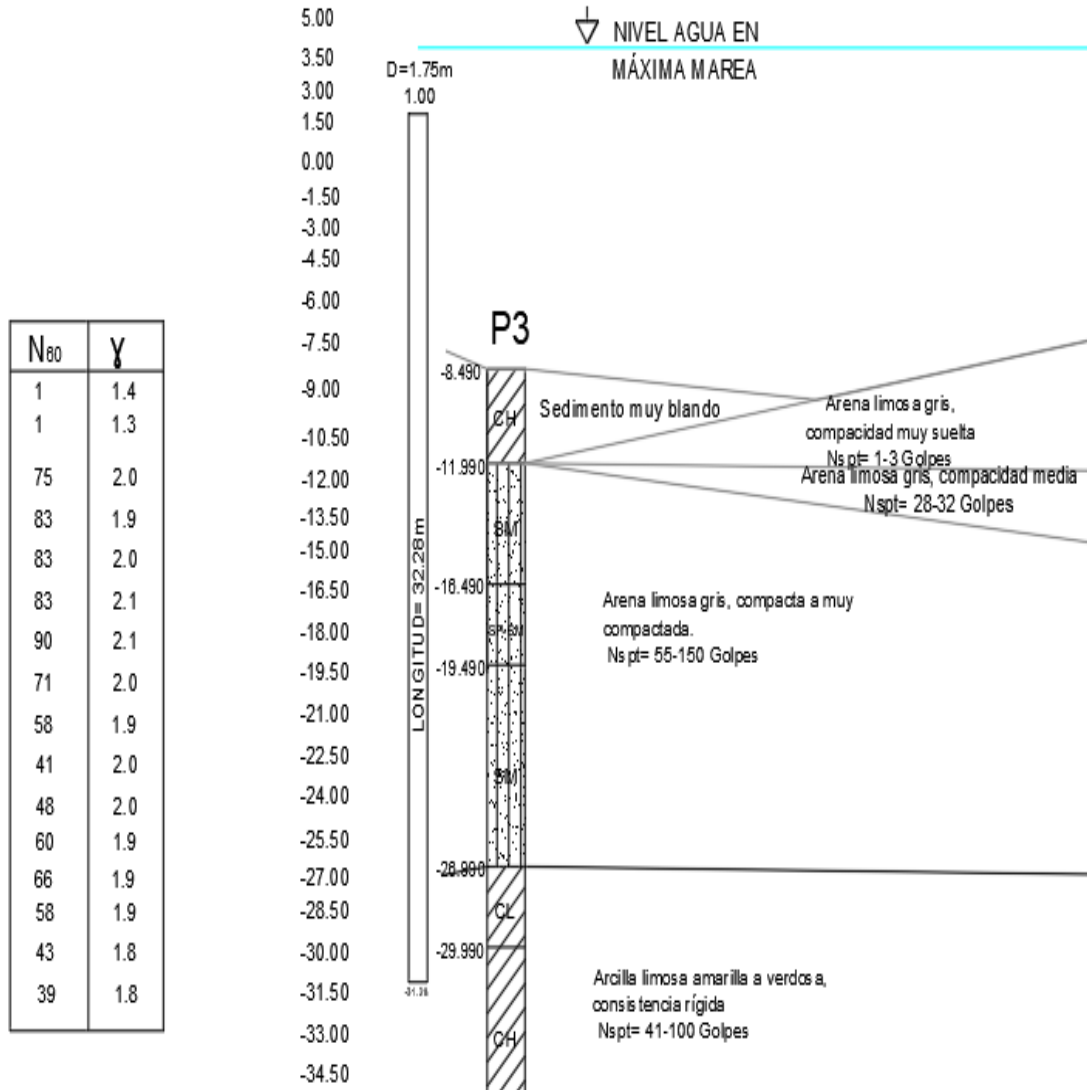
$$q_s = \sum_i^n \frac{\alpha K N_{spt}}{F2} * A_{lineal}$$

$$q_s = 587,17 \text{Ton}$$

3.3.4 Pila 3

Figura 5

Perfil estratigráfico general Pila 3



Nota: Perfil Estratigráfico en puente sobre el estero muerto Guayaquil, Ecuador.

Método Meyerhof

Conociendo la capacidad de carga en el método de Meyerhof, a través del libro (Braja M. Das, 2011) se utilizará las fórmulas que se proponen.

Calcularemos la capacidad de carga por punta

Ecuación general

$$Q_p = A_p * (C_u N_c + q' N_q)$$

Ecuación simplificada para arenas $C_u = 0$

$$Q_p = A_p q_p = A_p q' N_q^* \leq A_p q_1$$

Donde

$$q_1 = 50 N_q^* * \tan(\phi)$$

Ecuación simplificada para arcillas No drenadas (ángulo de fricción=0)

$$Q_p = N_c C_u A_p$$

Como datos del pilote N°4 tenemos

Longitud del pilote

$$L = 32,28 \text{ m}$$

$$D = 1,75 \text{ m}$$

Sección Transversal

$$A_p = 2,41 \text{ m}^2$$

Datos del Sondeo en el pilote, son:

Esfuerzo efectivo

$$q' = 20 \text{ T/m}^2$$

Angulo de fricción

$$\phi = 0^\circ$$

Factor de Capacidad

$$N_q^* = 9,5$$

Resistencia Limite

$$q_1 = 0 \text{ KN/m}^2$$

Factor de Capacidad

$$N_c^* = 28$$

Cohesión del Suelo

$$C_u = 17,5 \text{ T/m}^2$$

Resultados Obtenidos:

$$Q_p = A_p * (C_u N_c + q' N_q)$$

$$Q_p = 2,41 * (17,5 * 28 + 20 * 9,5)$$

$$\mathbf{Q_p = 1635,592 \text{ Ton}}$$

Capacidad de carga por fricción

$$Q_s = p L f_{prom}$$

La magnitud de la profundidad L' es de entre 15 y 20 veces el diámetro del pilote

Use conservadoramente

$$L' = 15D$$

Considere esfuerzos efectivos cuando, $z=L'$ y $z=L$

Datos:

$$f_{prom} = N_{1,60} = 40 \text{ kN/m}^2$$

$$L' = 15(D) = 15(1,75) = 26,25$$

f_{prom} para pilotes hincados de desplazamientos pequeño

$$f_{prom} = 40 \text{ kN/m}^2$$

Considere una capacidad de Carga por fricción de:

$$Q_s = pL f_{prom}$$

$$Q_s = 2,41 * \pi * (26,25) * (40)$$

$$Q_s = 5772,677 \text{ KN}$$

$$Q_s = 588,448 \text{ Ton}$$

Capacidad de carga total

$$Q_p + Q_s = 545,197 + 196,149 = 741,347 \text{ Ton}$$

Método de Vesic

El método de Vesic 1977 explica la teoría de expansión de cavidades y en parámetros de esfuerzo efectivo como obtener la capacidad de carga por punta de un pilote. ESCUELA POLITÉCNICA EL EJERCITO, n.d.(p,103)

$$Q_p = A_p * (cN_c^* + \sigma'_0 N_\sigma^*)$$

Donde:

Angulo de fricción $\phi = 18$

K_0 = Coeficiente de presión de tierra en reposo

$$K_0 = 1 - \text{sen}(\phi) = 1 - \text{sen}(18) = 0.69$$

σ'_0 = esfuerzo efectivo normal medio del terreno de la punta.

$$\sigma'_0 = \left(\frac{1+2K_0}{3}\right) * q' = \left(\frac{1+2(0,69)}{3}\right) * (20 * 9,81) = 155,78 \text{ KN/m}^2$$

N_c^*, N_σ^* = Factores de capacidad de carga.

Teniendo en cuenta otras consideraciones:

$$I_r = \frac{E_s}{2(1 + \mu_s)(c + q' \tan(\phi))} = \frac{G_s}{c + q' \tan \phi}$$

$$I_{rr} = \frac{I_r}{1 + I_r \Delta}$$

$$E_s = m * Pa \left(\frac{KN}{m^2}\right) = 500 * 100 = 50000 \text{ KN/m}^2$$

$$\mu_s = 0.1 + 0.3 \left(\frac{\phi - 25}{20}\right) \quad \text{para } 25^\circ \leq \phi \leq 45^\circ$$

$$\mu_s = 0.1 + 0.3 \left(\frac{18 - 25}{20}\right) = 0,00$$

$$\Delta = 0.005 \left(1 - \frac{\phi - 25}{20}\right) * \left(\frac{q'}{Pa}\right) = 0.005 \left(1 - \frac{18 - 25}{20}\right) * \left(\frac{20 * 9,81}{100}\right) = 0.013$$

Índice de rigidez:

$$I_r = \frac{E_s}{2(1 + \mu_s)(c + q' \tan(\phi))} = \frac{50000}{2(1 + 0,00)((17,5 + 20 * 9,81) \tan(18))} \\ = 361,856$$

Índice de rigidez reducida:

$$I_{rr} = \frac{I_r}{1 + I_r \Delta} = \frac{361,856}{1 + 361,856 * 0,015} = 62,473$$

Una vez obtenido este valor $I_{rr} = 62,473$ realizamos una interpolación de los valores tomados de la Tabla 3

$$N_{\sigma}^* = 11,63$$

$$N_c^* = 25,38$$

Capacidad de carga por punta

$$Q_p = A_p * (cN_c^* + \sigma'_0 N_{\sigma}^*)$$

$$Q_p = 2,41 * (17,5 * 25,38 * 9,81 + 11,66 * 155,78)$$

$$Q_p = 14848,86 \text{ KN}$$

$$Q_p = 1513,645 \text{ Ton}$$

Método Aoki y Velloso 1975

Este procedimiento de cálculo es un método directo y se basa en ensayos SPT para pilotes en una variedad de suelos que varían de arenas a arcillas.

Capacidad de carga por punta

$$q_p = A_p n_b N_{SPT}$$

Donde:

$$n_b = \frac{K}{F_1}$$

Obtenemos los valores de k en la Tabla 5 dependiendo del tipo de suelo:

$$k = 0.22 * 1000 = 220 \text{ KN/m}^2$$

Y los coeficientes F_1 de la Tabla 4

$$F_1 = 1.75$$

Remplazamos:

$$n_b = \frac{K}{F_1} = \frac{220}{1.75} = 125,714$$

Dato obtenido del informe de perforación realizado al estribo $N_{SPT} = 52$

Área del pilote $A_p = 2,41\text{m}^2$

Reemplazamos en la formula general

$$q_p = A_p n_b N_{SPT}$$

$$q_p = 2,41 * 125,714 * 52$$

$$q_p = 15723,671 \text{ KN}$$

$$\mathbf{q_p = 1602,821 Ton}$$

La punta se encuentra en un suelo Arcilloso.

Capacidad de Carga por fricción.

La pila 3 posee tres estratos, para el cálculo de la Capacidad por fricción se considerarán los dos primeros estratos.

Tabla 9
Cálculo de capacidad de carga por fricción

Prof	ΔL	Suelo	N_{SPT}	$K(\text{ton/m}^2)$	α_1	$\alpha K N_{spt}$
8,49						
	3,5	Arcilla	81	25	0,055	389,813
11,99						
	15	Arena limosa	50	68	0,023	1173
26,99						
	5,29	Arcilla limosa	47	26	0,045	290,897
32,28						

Nota: Contiene valores de capacidad de carga por estratos.

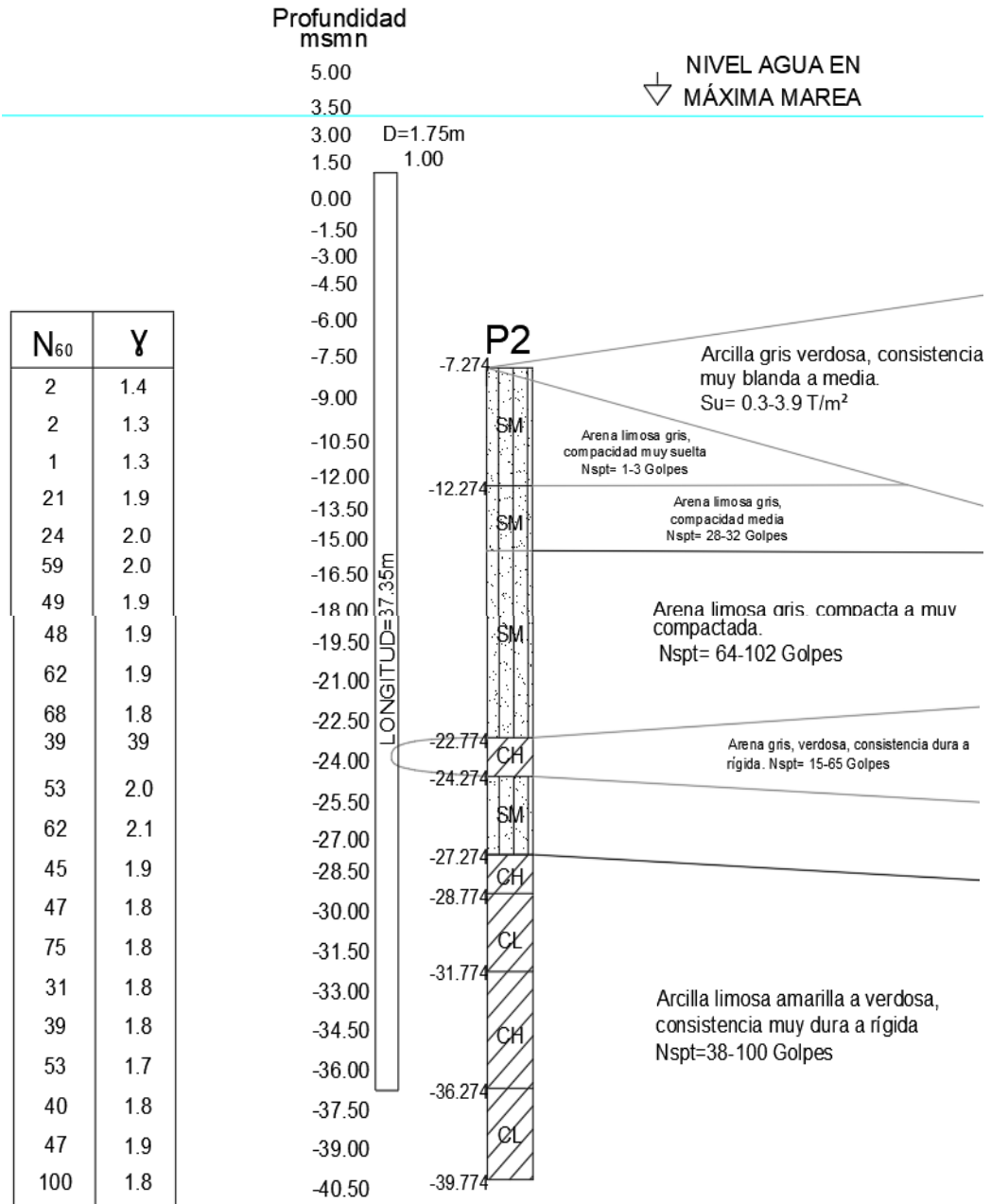
$$q_s = \sum_i^n \frac{\alpha K N_{spt}}{F2} * A_{lineal}$$

$$q_s = 2264,73 \text{ Ton}$$

3.3.5 Pila 2

Figura 6

Perfil Estratigráfico General Pila 2



Nota: Perfil Estratigráfico en puente sobre el estero muerto Guayaquil, Ecuador.

Método Meyerhof

Conociendo la capacidad de carga en el método de Meyerhof, a través del libro (Braja M. Das, 2011) se utilizará las fórmulas que se proponen.

Se calcula la capacidad de carga por punta

Ecuación general

$$Q_p = A_p * (C_u N_c + q' N_q)$$

Ecuación simplificada para arenas $C_u = 0$

$$Q_p = A_p q_p = A_p q' N_q^* \leq A_p q_1$$

Donde

$$q_1 = 50 N_q^* * \tan(\phi)$$

Ecuación simplificada para arcillas No drenadas (ángulo de fricción=0)

$$Q_p = N_c C_u A_p$$

Como datos del pilote N°4 tenemos:

Longitud del pilote

$$L = 37,35 \text{ m}$$

$$D = 1,75 \text{ m}$$

Sección Transversal

$$A_p = 2,41 \text{ m}^2$$

Datos del Sondeo en el pilote, son:

Esfuerzo efectivo

$$q' = 23,7 \text{ T/m}^2$$

Angulo de fricción

$$\phi = 0^\circ$$

Factor de Capacidad

$$N_q^* = 6,5$$

Resistencia Límite

$$q_1 = 0 \text{ KN/m}^2$$

Factor de Capacidad

$$N_c^* = 21$$

Cohesión del Suelo

$$C_u = 20 \text{ T/m}^2$$

Resultados Obtenidos:

$$Q_p = A_p * (C_u N_c + q' N_q)$$

$$Q_p = 2,41 * (20 * 21 + 23,7 * 6,5)$$

$$\mathbf{Q_p = 1380,752 Ton}$$

Capacidad de carga aplicando un factor de seguridad FS= 3

$$\mathbf{Q_p = 460,251 Ton}$$

Capacidad de carga por fricción

$$Q_s = pL f_{prom}$$

La magnitud de la profundidad L' es de entre 15 y 20 veces el diámetro del pilote

Use conservadoramente

$$L' = 15D$$

Considere esfuerzos efectivos cuando, $z=L'$ y $z=L$

Datos:

$$f_{prom} = N_{1,60} = 39 \text{ kN/m}^2$$

$$L' = 15(D) = 15(1,75) = 26,25$$

f_{prom} para pilotes hincados de desplazamientos pequeño

$$f_{prom} = 39 \text{ kN/m}^2$$

Considere una capacidad de Carga por fricción de:

$$Q_s = pL f_{prom}$$

$$Q_s = 2,41 * \pi * (26,25) * (39)$$

$$Q_s = 5628,359 \text{ KN}$$

$$Q_s = 573,737 \text{ Ton}$$

Capacidad de carga total

$$Q_p + Q_s = 460,250 + 191,246 = 651,496 \text{ Ton}$$

Método de Vesic

El método de Vesic 1977 explica la teoría de expansión de cavidades y en parámetros de esfuerzo efectivo como obtener la capacidad de carga por punta de un pilote. ESCUELA POLITÉCNICA EL EJERCITO, n.d.(p,103)

$$Q_p = A_p * (cN_c^* + \sigma'_0 N_\sigma^*)$$

Donde:

Angulo de fricción $\phi = 15$

K_0 = Coeficiente de presión de tierra en reposo

$$K_0 = 1 - \text{sen}(\phi) = 1 - \text{sen}(15) = 0.74$$

σ'_0 = esfuerzo efectivo normal medio del terreno de la punta.

$$\sigma'_0 = \left(\frac{1+2K_0}{3}\right) * q' = \left(\frac{1+2(0,74)}{3}\right) * (23,7 * 9,81) = 192,38 \text{ KN/m}^2$$

N_c^*, N_σ^* = Factores de capacidad de carga.

Teniendo en cuenta otras consideraciones:

$$I_r = \frac{E_s}{2(1 + \mu_s)(c + q' \tan(\phi))} = \frac{G_s}{c + q' \tan \phi}$$

$$I_{rr} = \frac{I_r}{1 + I_r \Delta}$$

$$E_s = m * Pa \left(\frac{KN}{m^2} \right) = 500 * 100 = 50000 \text{ KN/m}^2$$

$$\mu_s = 0.1 + 0.3 \left(\frac{\phi - 25}{20} \right) \text{ para } 25^\circ \leq \phi \leq 45^\circ$$

$$\mu_s = 0.1 + 0.3 \left(\frac{15 - 25}{20} \right) = 0,00$$

$$\Delta = 0.005 \left(1 - \frac{\phi - 25}{20} \right) * \left(\frac{q'}{P_a} \right) = 0.005 \left(1 - \frac{15 - 25}{20} \right) * \left(\frac{23,7 * 9,81}{100} \right) = 0.017$$

Índice de rigidez:

$$I_r = \frac{E_s}{2(1 + \mu_s)(c + q' \tan(\phi))} = \frac{50000}{2(1 + 0,00)(20 + (23,7 * 9,81) \tan(15))} = 369,514$$

Índice de rigidez reducida:

$$I_{rr} = \frac{I_r}{1 + I_r \Delta} = \frac{369,514}{1 + 369,514 * 0,017} = 49,644$$

Una vez obtenido este valor $I_{rr} = 49,644$ realizamos una interpolación de los valores tomados de la Tabla 3

$$N_\sigma^* = 7,67$$

$$N_c^* = 24,88$$

Capacidad de carga por punta

$$Q_p = A_p * (cN_c^* + \sigma'_0 N_\sigma^*)$$

$$Q_p = 2,41 * (20 * 24,88 * 9,81 + 7,67 * 192,38)$$

$$Q_p = 15291,93 \text{ KN}$$

$$Q_p = 1558,810 \text{ Ton}$$

Método Aoki y Velloso 1975

Este procedimiento de cálculo es un método directo y se basa en ensayos SPT para pilotes en una variedad de suelos que varían de arenas a arcillas.

Capacidad de carga por punta

$$q_p = A_p n_b N_{SPT}$$

Donde:

$$n_b = \frac{K}{F_1}$$

Obtenemos los valores de k en la Tabla 5 dependiendo del tipo de suelo:

$$k = 26 \text{ KN/m}^2$$

Y los coeficientes F1 de la Tabla 4

$$F_1 = 3,5$$

Reemplazamos:

$$n_b = \frac{K}{F_1} = \frac{26}{3,5} = 7,42$$

Dato obtenido del informe de perforación realizado al estribo $N_{SPT} = 47$

$$\text{Area del pilote } A_p = 2,41\text{m}^2$$

Reemplazamos en la formula general

$$q_p = A_p n_b N_{SPT}$$

$$q_p = 2,41 * 7,42 * 47$$

$$q_p = 839,79 \text{ Ton}$$

Capacidad de Carga por fricción.

La pila 2 posee cinco estratos, para el cálculo de la Capacidad por fricción se considerarán solamente estos estratos.

Tabla 10

Cálculo de capacidad de carga por fricción

Prof	ΔL	Suelo	N _{SPT}	K(ton/m ²)	α ₁	αKN _{spt}
7,274						
	5	Arena limosa	45	68	0,023	351,9
12,274						
	10,5	Arena limosa	54	68	0,023	886,788
22,774						
	1,5	Arcilla limosa	53	26	0,045	93,015
24,274						
	3	Arena limosa	39	68	0,023	182,988
27,274						
	10,076	Arcilla limosa	47	26	0,045	554,079
37,35						

Nota: Contiene valores de capacidad de carga por estratos.

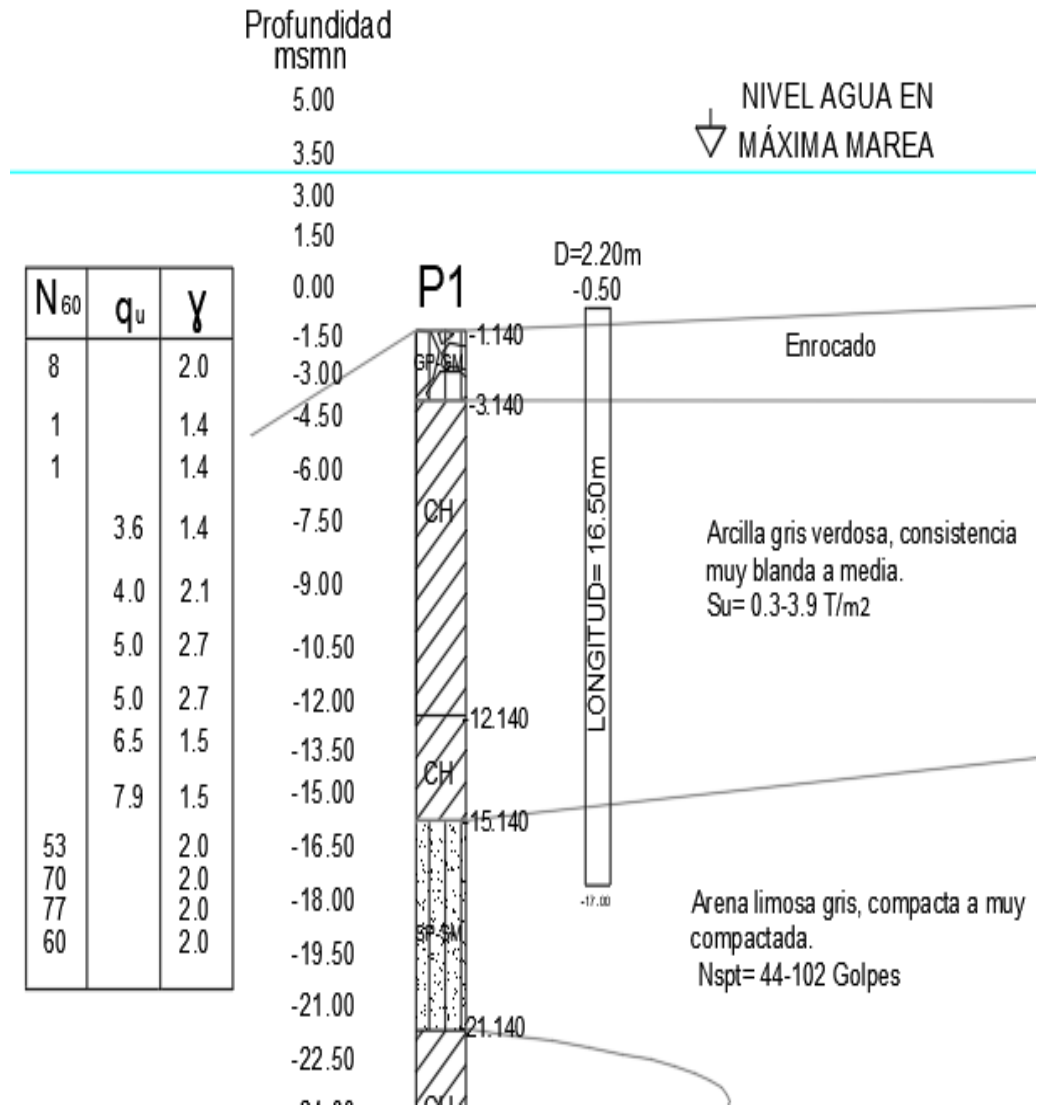
$$q_s = \sum_i^n \frac{\alpha K N_{spt}}{F2} * A_{lineal}$$

$$q_s = 2527,48 \text{ Ton}$$

3.3.6 Pila 1

Figura 7

Perfil estratigráfico general Pila 1



Nota: Perfil Estratigráfico en puente sobre el estero muerto Guayaquil, Ecuador.

Método Meyerhof

Conociendo la capacidad de carga en el método de Meyerhof, a través del libro (Braja M. Das, 2011) se utilizará las fórmulas que se proponen.

Se calcula la capacidad de carga por punta

Donde

$$Q_p = A_p q_p = A_p q' N_q^* \leq A_p q_1$$
$$q_1 = 50 N_q^* * \tan (\phi)$$

Como datos del pilote N°1 tenemos:

Longitud del pilote

$$L = 16,5 \text{ m}$$

$$D = 2,2 \text{ m}$$

Sección Transversal

$$A_p = 3,80 \text{ m}^2$$

Datos del Sondeo en el pilote, son:

Esfuerzo efectivo

$$q' = 9,6 \text{ T/m}^2$$

Angulo de fricción

$$\phi = 38^\circ$$

Factor de Capacidad

$$N_q^* = 231$$

Resistencia Límite

$$q_1 = 9023,849 \text{ KN/m}^2$$

Resultados Obtenidos:

$$Q_{p1} = A_p q' N_q^*$$

$$Q_{p1} = (3,80)((9,6 * 1000 * 9,81)/1000))(231)$$

$$Q_{p1} = 82696,564$$

$$Q_{p2} = A_p q_1$$

$$Q_{p2} = (3,80)(9023,849)$$

$$Q_{p2} = 34302,602$$

La ecuación inicial no cumple.

$$Q_p = A_p q' N_q^* \leq A_p q_1$$

Entonces nos quedamos con el resultado

$$Q_p = 34302,602 \text{ KN}$$

$$Q_p = 3496,697 \text{ Ton}$$

Capacidad de carga por fricción

$$Q_s = pL f_{prom}$$

La magnitud de la profundidad L' es de entre 15 y 20 veces el diámetro del pilote

Use conservadoramente

$$L' = 15D$$

Considere esfuerzos efectivos cuando, $z=L'$ y $z=L$

Datos:

$$f_{prom} = N_{1,60} = 1 \text{ kN/m}^2$$

$$L' = 16,5/2 = 8,25 \text{ m}$$

f_{prom} para pilotes hincados de desplazamientos pequeño

$$f_{prom} = 1 \text{ kN/m}^2$$

Considere una capacidad de Carga por fricción de:

$$Q_s = pL f_{prom}$$

$$Q_s = 3,80 * \pi * (8,25) * (1)$$

$$Q_s = 57,019 \text{ KN}$$

$$Q_s = 5,812 \text{ Ton}$$

Método de Vesic

El método de Vesic 1977 explica la teoría de expansión de cavidades y en parámetros de esfuerzo efectivo como obtener la capacidad de carga por punta de un pilote. ESCUELA POLITÉCNICA EL EJÉRCITO, n.d.(p,103)

$$Q_p = A_p * (cN_c^* + \sigma'_0 N_\sigma^*)$$

Donde:

$$\emptyset = 38$$

K_0 = Coeficiente de presión de tierra en reposo

$$K_0 = 1 - \text{sen}(\emptyset) = 1 - \text{sen}(38) = 0.38$$

σ'_0 = esfuerzo efectivo normal medio del terreno de la punta.

$$\sigma'_0 = \left(\frac{1+2K_0}{3} \right) * q' = \left(\frac{1+2(0,38)}{3} \right) * (9,6 * 9,81) = 52,05 \text{ KN/m}^2$$

N_c^*, N_σ^* = Factores de capacidad de carga.

$$N_\sigma^* = f(I_{rr})$$

Teniendo en cuenta otras consideraciones:

$$I_r = \frac{E_s}{2(1 + \mu_s)(c + q' \tan(\phi))} = \frac{G_s}{c + q' \tan \phi}$$

$$I_{rr} = \frac{I_r}{1 + I_r \Delta}$$

$$E_s = m * Pa \left(\frac{KN}{m^2} \right) = 400 * 100 = 40000 \text{ KN/m}^2$$

$$\mu_s = 0.1 + 0.3 \left(\frac{\phi - 25}{20} \right) \quad \text{para } 25^\circ \leq \phi \leq 45^\circ$$

$$\mu_s = 0.1 + 0.3 \left(\frac{38 - 25}{20} \right) = 0,30$$

$$\Delta = 0.005 \left(1 - \frac{\phi - 25}{20} \right) * \left(\frac{q'}{P_a} \right) = 0.005 \left(1 - \frac{38 - 25}{20} \right) * \left(\frac{9 * 9,81}{100} \right) = 0.002$$

Índice de rigidez:

$$I_r = \frac{E_s}{2(1 + \mu_s)(c + q' \tan(\phi))} = \frac{40000}{2(1 + 0,30)((9,6 * 9,81) \tan(38))} = 209,899$$

Índice de rigidez reducida:

$$I_{rr} = \frac{I_r}{1 + I_r \Delta} = \frac{209,899}{1 + 209,899 * 0,002} = 155,951$$

Una vez obtenido este valor $I_{rr} = 155,951$ realizamos una interpolación de los valores tomados de la Tabla 3

$$N_\sigma^* = 137,91$$

Capacidad de carga por punta

$$Q_p = A_p * (\sigma'_0 N_\sigma^*)$$

$$Q_p = 3,80 * (55,52 * 137,91)$$

$$Q_p = 29106,489 \text{ KN}$$

$$Q_p = 2967,022 \text{ Ton}$$

Método Aoki y Velloso 1975

Este procedimiento de cálculo es un método directo y se basa en ensayos SPT para pilotes en una variedad de suelos que varían de arenas a arcillas.

Capacidad de carga por punta

$$q_p = A_p n_b N_{SPT}$$

Donde:

$$n_b = \frac{K}{F_1}$$

Obtenemos los valores de k en la Tabla 5 dependiendo del tipo de suelo:

$$k = 68 \text{ KN/m}^2$$

Y los coeficientes F1 de la Tabla 4

$$F_1 = 3,5$$

Reemplazamos:

$$n_b = \frac{K}{F_1} = \frac{68}{3,5} = 19,42$$

Dato obtenido del informe de perforación realizado al estribo $N_{SPT} = 65$

Área del pilote $A_p = 3,80\text{m}^2$

Reemplazamos en la fórmula general

$$q_p = A_p n_b N_{SPT}$$

$$q_p = 3,80 * 19,42 * 65$$

$$q_p = 4800,53 \text{ Ton}$$

Capacidad de Carga por fricción.

La pila 1 posee tres estratos, para el cálculo de la Capacidad por fricción se considerarán solamente el estrato que actúa a fricción.

Tabla 11

Cálculo de capacidad de carga por fricción

Prof	ΔL	Suelo	N_{SPT}	$K(\text{ton}/\text{m}^2)$	α_1	$\alpha K N_{spt}$
1,14						
	2	Arena limosa	8	68	0,023	25,024
3,14						
	3	Arcilla	1	25	0,055	4,125
6,14						
	6	Arcilla	4	25	0,055	33
12,14						
	3	Arcilla	6,5	25	0,055	26,813
15,14						
	1,36	Arena limosa	65	68	0,023	138,257
16,5						

Nota: Contiene valores de capacidad de carga por estratos.

$$q_s = \sum_i^n \frac{\alpha K N_{spt}}{F2} * A_{lineal}$$

$$q_s = 348,98$$

Se calculará la capacidad de carga por punta

Donde
$$Q_p = A_p q_p = A_p q' N_q^* \leq A_p q_1$$

$$q_1 = 50 N_q^* * \tan(\phi)$$

Como datos del Estribo 1 tenemos:

Longitud del pilote

$$L = 18 \text{ m}$$

$$D = 2,2 \text{ m}$$

Sección Transversal

$$A_p = 3,80 \text{ m}^2$$

Datos del Sondeo en el pilote, son:

Esfuerzo efectivo

$$q' = 12,3 \text{ T/m}^2$$

Angulo de fricción

$$\phi = 38^\circ$$

Factor de Capacidad

$$N_q^* = 231$$

Resistencia Límite

$$q_1 = 9023,849 \text{ KN/m}^2$$

Resultados Obtenidos:

$$Q_{p1} = (3,80)((12,3 * 1000 * 9,81)/1000)(231)$$

$$Q_{p1} = 105954,97$$

$$Q_{p2} = A_p q_1$$

$$Q_{p2} = (3,80)(105954,97)$$

$$Q_{p2} = 34302,602$$

La ecuación inicial no cumple.

$$Q_p = A_p q' N_q^* \leq A_p q_1$$

Entonces nos quedamos con el resultado

$$Q_p = 34302,602 \text{ KN}$$

$$Q_p = 3496,697 \text{ Ton}$$

Capacidad de carga por fricción

$$Q_s = pL f_{prom}$$

La magnitud de la profundidad L' es de entre 15 y 20 veces el diámetro del pilote

Use conservadoramente

$$L' = 15D$$

Considere esfuerzos efectivos cuando, $z=L'$ y $z=L$

Datos:

$$f_{prom} = N_{1,60} = 3 \text{ kN/m}^2$$

$$L' = 18/2 = 9 \text{ m}$$

f_{prom} para pilotes hincados de desplazamientos pequeño

$$f_{prom} = 3 \text{ kN/m}^2$$

Considere una capacidad de Carga por fricción de:

$$Q_s = pL f_{prom}$$

$$Q_s = 3,80 * \pi * (9) * (3)$$

$$Q_s = 186,610 \text{ KN}$$

$$Q_s = 19,022 \text{ Ton}$$

Método de Vesic

El método de Vesic 1977 explica la teoría de expansión de cavidades y en parámetros de esfuerzo efectivo como obtener la capacidad de carga por punta de un pilote. ESCUELA POLITÉCNICA EL EJÉRCITO, n.d.(p,103)

$$Q_p = A_p * (cN_c^* + \sigma'_0 N_\sigma^*)$$

Donde:

$$\emptyset = 38$$

K_0 = Coeficiente de presión de tierra en reposo

$$K_0 = 1 - \text{sen}(\emptyset) = 1 - \text{sen}(38) = 0.38$$

σ'_0 = esfuerzo efectivo normal medio del terreno de la punta.

$$\sigma'_0 = \left(\frac{1+2K_0}{3}\right) * q' = \left(\frac{1+2(0,38)}{3}\right) * (12,3 * 9,81) = 78,49 \text{ KN/m}^2$$

N_c^*, N_σ^* = Factores de capacidad de carga.

Teniendo en cuenta otras consideraciones:

$$I_r = \frac{E_s}{2(1 + \mu_s)(c + q' \tan(\emptyset))} = \frac{G_s}{c + q' \tan \emptyset}$$

$$I_{rr} = \frac{I_r}{1 + I_r \Delta}$$

$$E_s = m * P_a \left(\frac{KN}{m^2} \right) = 400 * 100 = 40000 \text{ KN/m}^2$$

$$\mu_s = 0.1 + 0.3 \left(\frac{\phi - 25}{20} \right) \quad \text{para } 25^\circ \leq \phi \leq 45^\circ$$

$$\mu_s = 0.1 + 0.3 \left(\frac{38 - 25}{20} \right) = 0,30$$

$$\Delta = 0.005 \left(1 - \frac{\phi - 25}{20} \right) * \left(\frac{q'}{P_a} \right) = 0.005 \left(1 - \frac{38 - 25}{20} \right) * \left(\frac{12,3 * 9,81}{100} \right) = 0.002$$

Índice de rigidez:

$$I_r = \frac{E_s}{2(1 + \mu_s)(c + q' \tan(\phi))} = \frac{40000}{2(1 + 0,30)((12,3 * 9,81) \tan(38))} = 163,824$$

Índice de rigidez reducida:

$$I_{rr} = \frac{I_r}{1 + I_r \Delta} = \frac{163,824}{1 + 163,824 * 0,002} = 121,718$$

Una vez obtenido este valor $I_{rr} = 121,718$ realizamos una interpolación de los valores tomados de la Tabla 3

$$N_\sigma^* = 121,79$$

Capacidad de carga por punta

$$Q_p = A_p * (\sigma'_0 N_\sigma^*)$$

$$Q_p = 3,80 * (71,14 * 121,79)$$

$$Q_p = 32933,44 \text{ KN}$$

$$Q_p = 3357,129 \text{ Ton}$$

Método Aoki y Velloso 1975

Este procedimiento de cálculo es un método directo y se basa en ensayos SPT para pilotes en una variedad de suelos que varían de arenas a arcillas.

Capacidad de carga por punta

$$q_p = A_p n_b N_{SPT}$$

Donde:

$$n_b = \frac{K}{F_1}$$

Obtenemos los valores de k en la Tabla 5 dependiendo del tipo de suelo:

$$k = 68 \text{ KN/m}^2$$

Y los coeficientes F1 de la Tabla 4

$$F_1 = 3,5$$

Reemplazamos:

$$n_b = \frac{K}{F_1} = \frac{68}{3,5} = 19,41$$

Dato obtenido del informe de perforación realizado al estribo $N_{SPT} = 61$

Reemplazamos en la formula general

$$q_p = A_p n_b N_{SPT}$$

$$q_p = 3,80 * 19,41 * 61 = \mathbf{505,11Ton}$$

$$q_p = \mathbf{4505,11Ton}$$

Capacidad de Carga por fricción.

El estribo 1 posee cinco estratos, para el cálculo de la Capacidad por fricción se considerarán solamente dicho estrato.

Tabla 12*Cálculo de capacidad de carga por fricción*

Prof	ΔL	Suelo	N_{SPT}	$K(\text{ton}/\text{m}^2)$	α_1	$\alpha K N_{spt}$
0,146						
	3	Arena limosa	3	68	0,023	14,076
3,146						
	6,5	Arcilla	3	25	0,055	26,813
9,646						
	1,5	Arcilla	4	25	0,055	8,25
11,146						
	1,5	Arcilla arenosa	5	44	0,032	10,56
12,646						
	1,5	Arcilla	71	25	0,055	146,438
14,146						
	2,354	Arena limosa	61	68	0,023	224,581
16,5						

Nota: Contiene valores de capacidad de carga por estratos.

$$q_s = \sum_i^n \frac{\alpha K N_{spt}}{F2} * A_{lineal}$$

$$q_s = 661,53 \text{Ton}$$

3.2 Resultados de campo alcanzados en las pruebas PDA.

Esta investigación presenta los resultados de las pruebas de carga dinámica de alta deformación PDA (High Strain Dynamic Testing of Drive Piles) realizado a pilotes prebarrenado en la obra denominada “PUENTE SOBRE ESTERO EL MUERTO ISLA TRINITARIA”, las pruebas se ejecutan en cumplimiento con la norma ASTM D_{4945} y se aplicó una masa de 27.20 Ton.

La resistencia última del pilote puede ser estimada durante la prueba PDA, si este se consigue un asentamiento permanentemente acorde al criterio de falla que corresponda al diámetro del pilote y tipo de suelo ($>2,5\text{mm}$ por golpe). La prueba de carga se considera satisfactoria cuando la capacidad determinada en la prueba supera la resistencia última de diseño, para la combinación más exigente de cargas gravitacionales, por un factor de 1,54. Si se aplica el método de esfuerzos admisibles, el factor de seguridad deberá ser mayor que 2.

Para ejecutar la prueba de carga se utilizaron el equipo con un sistema de cómputo y adquisición de datos PDA G8 y un martillo ICE-62V2-ENERGY AT MAXIMUM 293-300 Nm. Cada pilote fue instrumentado con dos acelerómetros y dos medidores de deformación unitaria colocados entre los 3.00 m por debajo de la cabeza. G & Franco (2020,p.2)

Prueba de carga y resultados

El sistema de adquisición de datos fue encendido, se ingresó la información sobre el pilote, el martillo, para configurar los equipos. El martillo fue posicionado para registrar al menos 10 golpes. Durante la prueba se analizó en campo los datos adquiridos para verificar la validez de los registros en los sensores. Se verificó la proporcionalidad entre fuerza y velocidad al inicio del registro y otros índices de calidad de la señal. Se evaluó la energía transferida al pilote, su integridad y los esfuerzos máximos causados en el pilote durante la prueba. Finalmente se estimó la resistencia última del pilote con iCAP, para el golpe con mayor energía.

3.2.1 Análisis de resultados

El software utilizado para la interpretación de las pruebas es el CAPWAP que combina las mediciones de campo con el PDA, y la ecuación de onda del pilote por medio de un método analítico que puede predecir la capacidad de carga total y estática, la distribución de la resistencia por fricción y la resistencia de la punta considerando valores

de amortiguamiento y rigidez del suelo, adicionalmente permite identificar daños o cambios al largo del pilote si los hay.

3.2.1.1 Estribo 2

Tabla 13

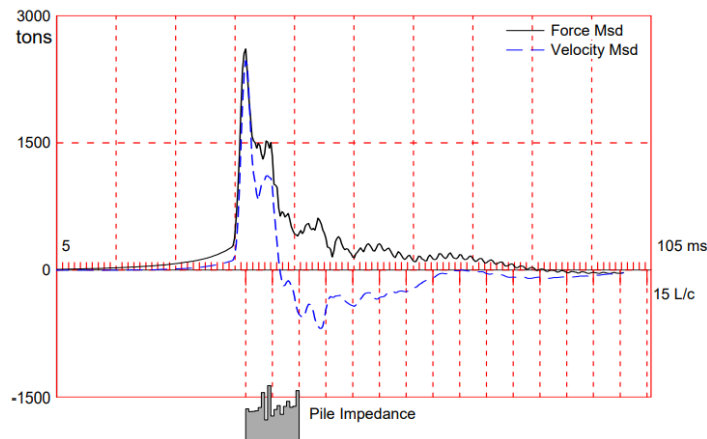
Estribo 2

N°	Pilote	Esfuerzo máximo (tons/cm ²)	Cap. Fuste (TON)	Cap. Punta (TON)	Cap. Total (TON)	Energía Transmitida (Ton/m)
2	Pilote D1 Estribo 2	-0.01	277.06	679.88	2475.02	6.63

Nota: La tabla muestra los resultados de la prueba PDA en el Estribo 2. Fuente:(G, s. f.)

Figura 9

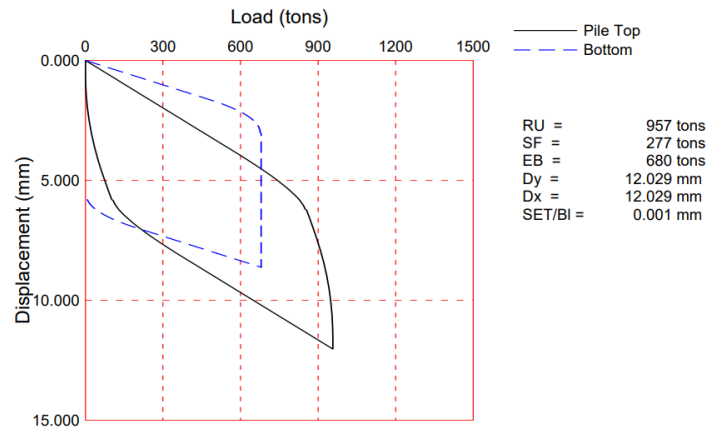
Gráfica del Estribo 2 ensayado



Nota: La gráfica muestra en el eje de las abscisas la velocidad y la fuerza medida por el analizador de hincas de pilotes (P.D.A) y en el eje de las ordenadas la fuerza aplicada en el pilote ensayado. Fuente: (G, s. f.)

Figura 10

Gráfica del Estribo 2 ensayado

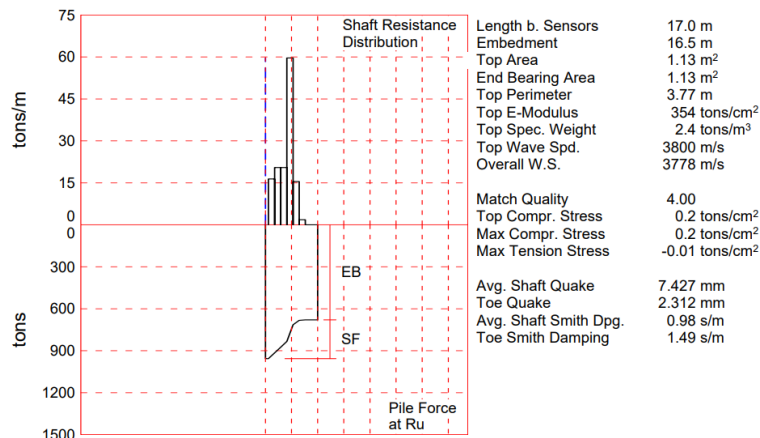


Nota: La grafica muestra el asentamiento que se produce en la cabeza del pilote (curva continua) y en la punta del pilote (curva discontinua), es la curva carga- deformación. Fuente: (G, s. f.)

Este gráfico es el más representativo de todo el ensayo puesto que proporciona información significativa sobre el asentamiento generado en el pilote ensayado en función de la carga aplicada a este. En la curva se muestra el punto ordenado más bajo el cual significa el asentamiento elástico mientras que para el asentamiento total es el punto en la ordenada donde se interseca la curva con la etapa de relajación

Figura 11

Gráfica del Estribo 2 ensayado



Nota: La gráfica muestra los resultados obtenidos del CAPWAP. Fuente: (G, s. f.)

3.2.1.2 Pilote 4

Tabla 14

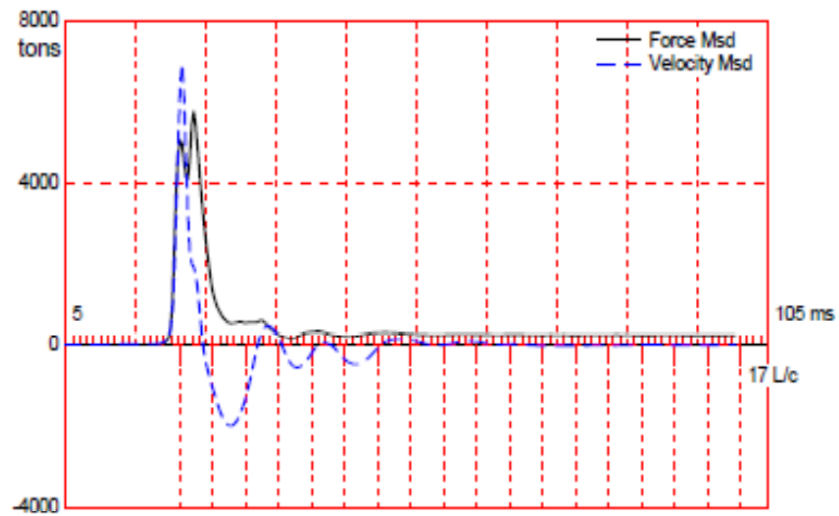
Pila 4

N°	Pilote	Esfuerzo máximo (ton/cm ²)	Cap. Fuste (TON)	Cap. Punta (TON)	Cap. Total (TON)	Energía Transmitida (Ton/m)
4	C2-Pila 4	-0.08	294.64	971.97	1266.66	31.52

Nota: La tabla muestra los resultados de la prueba PDA en la Pila 4. Fuente: (G & Franco, s. f.-c)

Figura 12

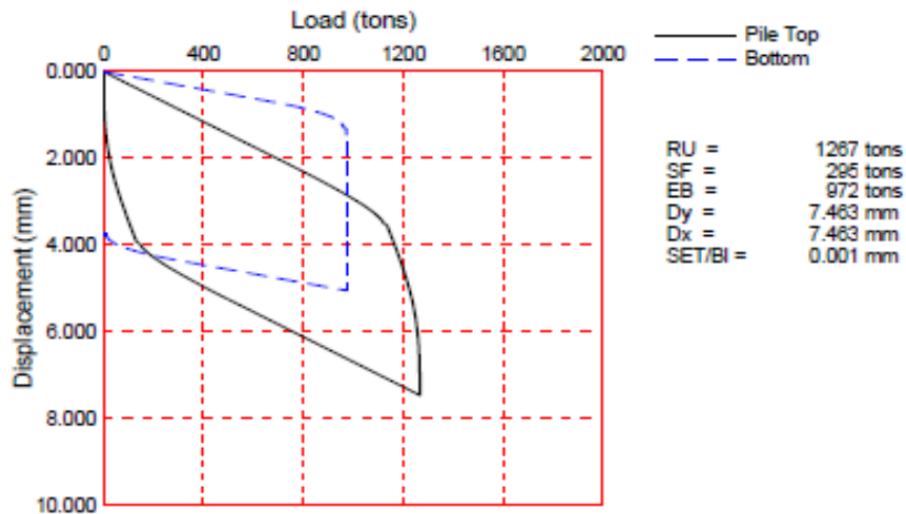
Grafica del Pilote 4 ensayado



Nota: La gráfica muestra en el eje de las abscisas la velocidad y la fuerza medida por el analizador de hincas de pilotes (P.D.A) y en el eje de las ordenadas la fuerza aplicada en el pilote ensayado. Fuente: (G & Franco, s. f.-c)

Figura 13

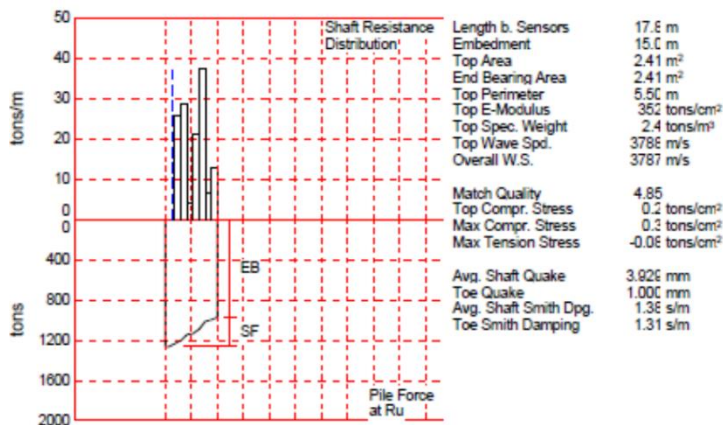
Grafica del pilote 4 ensayado



Nota: La grafica muestra el asentamiento que se produce en la cabeza del pilote (curva continua) y en la punta del pilote (curva discontinua), es la curva carga- deformación. Fuente: (G & Franco, s. f.-c)

Figura 14

Grafica del pilote 4 ensayado



Nota: La gráfica muestra los resultados obtenidos del CAPWAP. Fuente: (G & Franco, s. f.-c)

3.2.1.3 Pilote 3

Tabla 15

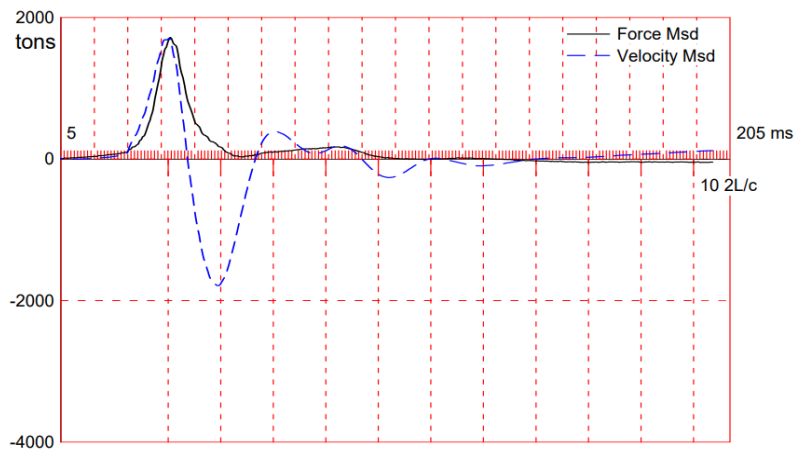
Pila 3

N°	Pilote	Esfuerzo máximo (ton/cm ²)	Cap. Fuste (TON)	Cap. Punta (TON)	Cap. Total (TON)	Energía Transmitida (Ton/m)
3	D1-Pila 3	-0.03	1018.87	1972.87	2991.69	8.78

Nota: La tabla muestra los resultados de la prueba PDA en la Pila 3. Tomado de(G & Franco, s. f.-a)

Figura 15

Grafica del Pilote 3 ensayado

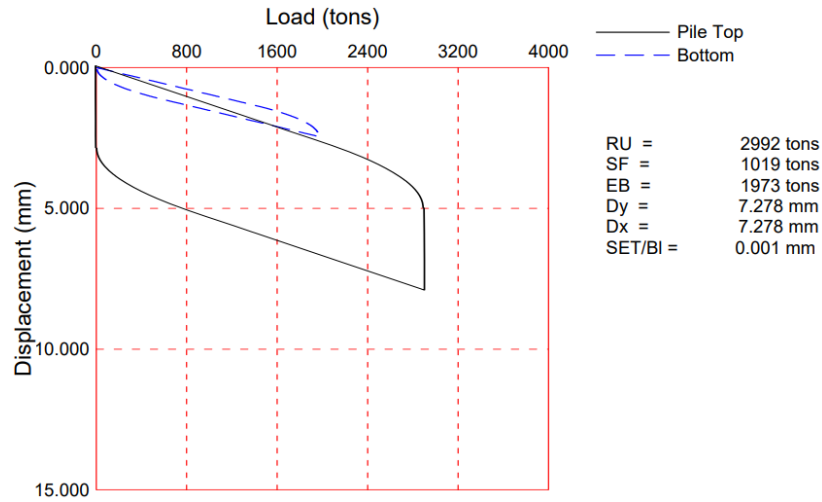


Nota: La gráfica muestra en el eje de las abscisas la velocidad y la fuerza medida por el analizador de hincas de pilotes (P.D.A) y en el eje de las ordenadas la fuerza aplicada en el pilote ensayado.

Fuente: (G & Franco, s. f.-a)

Figura 16

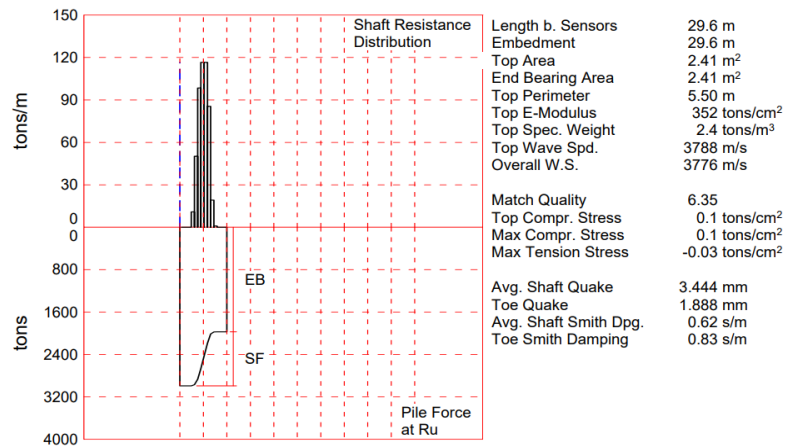
Grafica del pilote 3 ensayado



Nota: La grafica muestra el asentamiento que se produce en la cabeza del pilote (curva continua) y en la punta del pilote (curva discontinua), es la curva carga- deformación. Fuente: (G & Franco, s. f.-a)

Figura 17

Grafica del Pilote 3 ensayado



Nota: La gráfica muestra los resultados obtenidos del CAPWAP. Fuente:(G & Franco, s. f.-b)

3.2.1.4 Pilote 2

Tabla 16

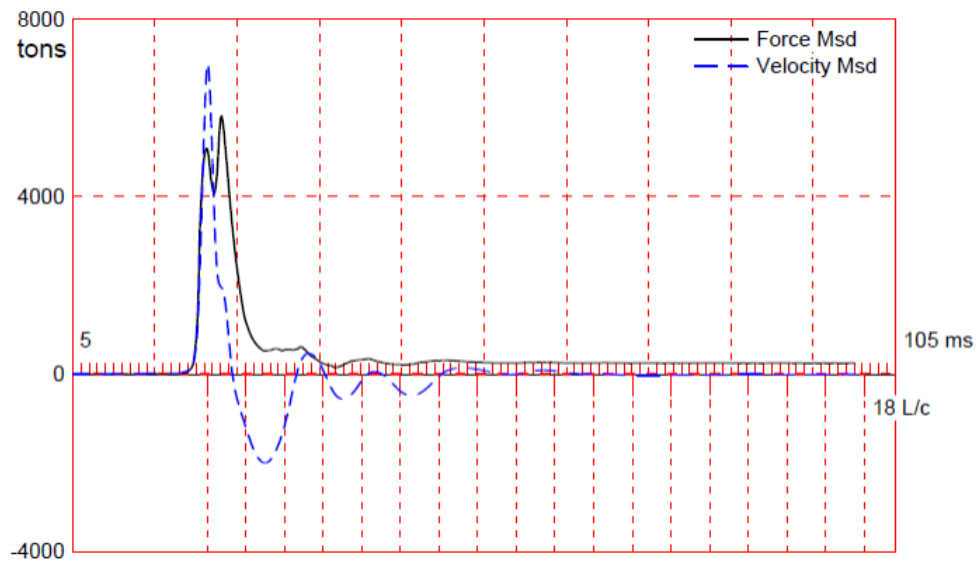
Pila 2

N°	Pilote	Esfuerzo máximo (tons/cm ²)	Cap. Fuste (TON)	Cap. Punta (TON)	Cap. Total (TON)	Energía Transmitida (TM)
2	B1-Pila 2	-0.04	877.21	1110.08	5017.64	27.96

Nota: La tabla muestra los resultados de la prueba PDA en la Pila 2. Tomado de (G, E Javier Aguilar; Franco, s. f.)

Figura 18

Gráfica del Pilote 2 ensayado

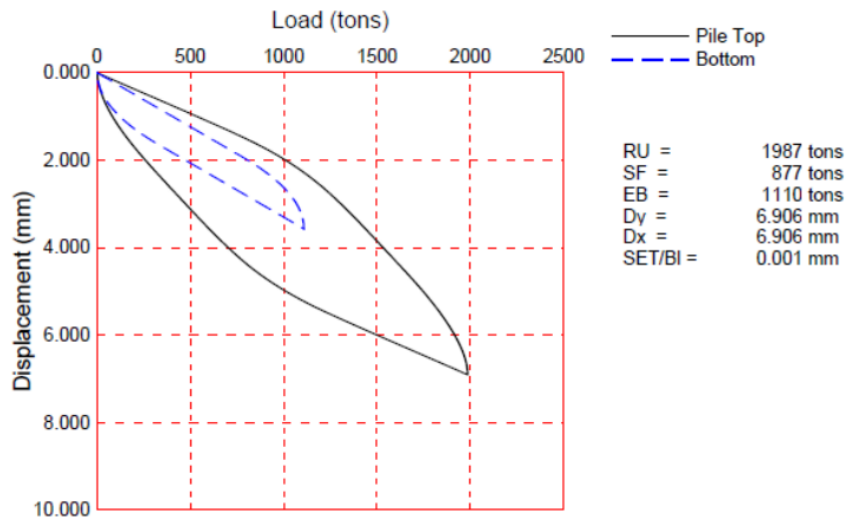


Nota: La gráfica muestra en el eje de las abscisas la velocidad y la fuerza medida por el analizador de hincas de pilotes (P.D.A) y en el eje de las ordenadas la fuerza aplicada en el pilote ensayado.

Fuente: (G, E Javier Aguilar; Franco, s. f.)

Figura 19

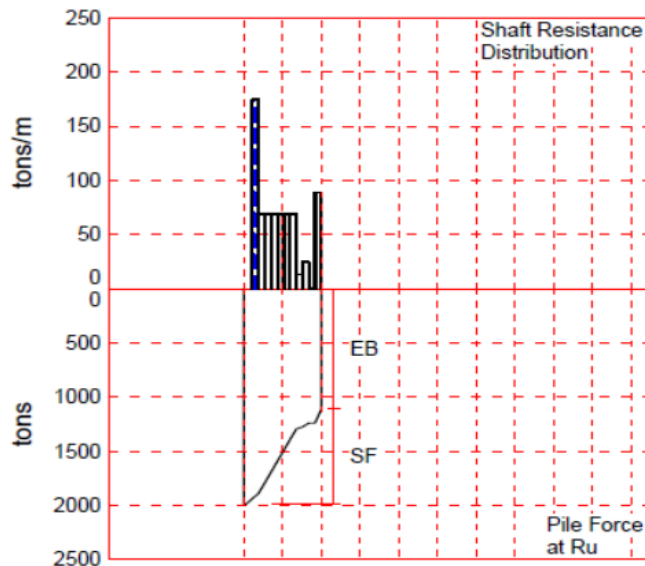
Gráfica del Pilote 2 ensayado



Nota: La gráfica muestra el asentamiento que se produce en la cabeza del pilote (curva continua) y en la punta del pilote (curva discontinua), es la curva carga- deformación. Fuente: (G, E Javier Aguilar; Franco, s. f.)

Figura 20

Gráfica del Pilote 2 ensayado



Nota: La gráfica muestra los resultados obtenidos del CAPWAP. Fuente: (G, E Javier Aguilar; Franco, s. f.)

3.2.1.5 Pilote 1

Tabla 17

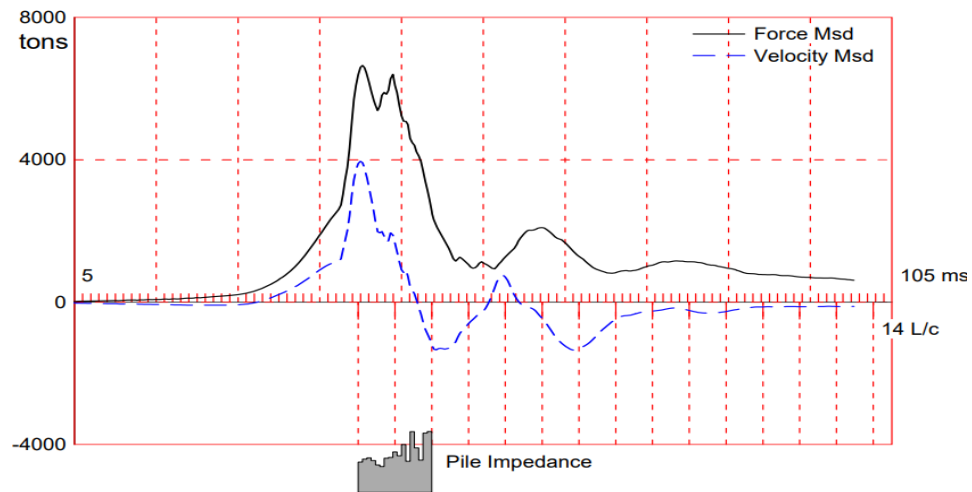
Pila 1

N°	Pilote	Esfuerzo máximo (tons/cm ²)	Cap. Fuste (TON)	Cap. Punta (TON)	Cap. Total (TON)	Energía Transmitida (TM)
1	A2-Pila 1	-0.00	2143.17	2874.47	5017.64	33.18

Nota: La tabla muestra los resultados de la prueba PDA en la Pila 1 G & Franco, s. f.-b(2020,p.4)

Figura 21

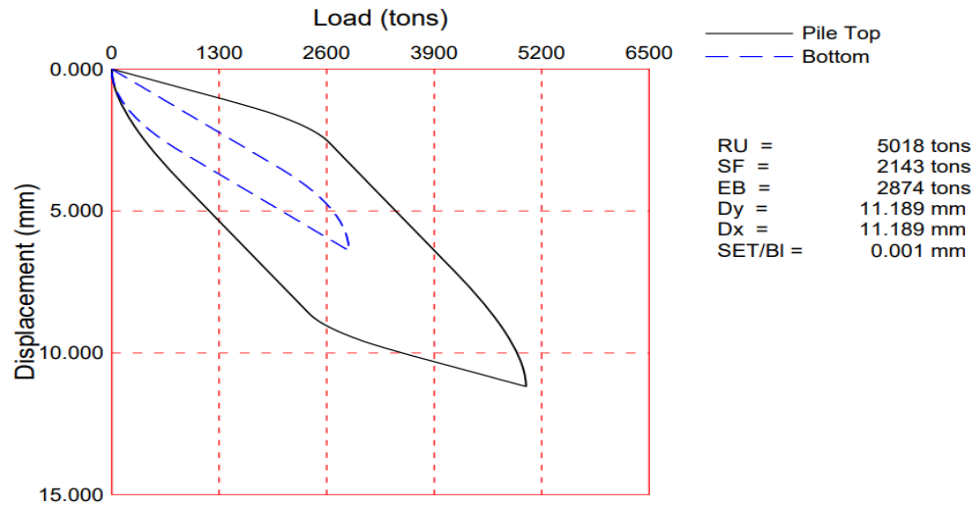
Gráfica del Pilote 1 ensayado



Nota: La gráfica muestra en el eje de las abscisas la velocidad y la fuerza medida por el analizador de hincas de pilotes (P.D.A) y en el eje de las ordenadas la fuerza aplicada en el pilote ensayado. Fuente: G & Franco, s. f.-b(2020,p.4)

Figura 22

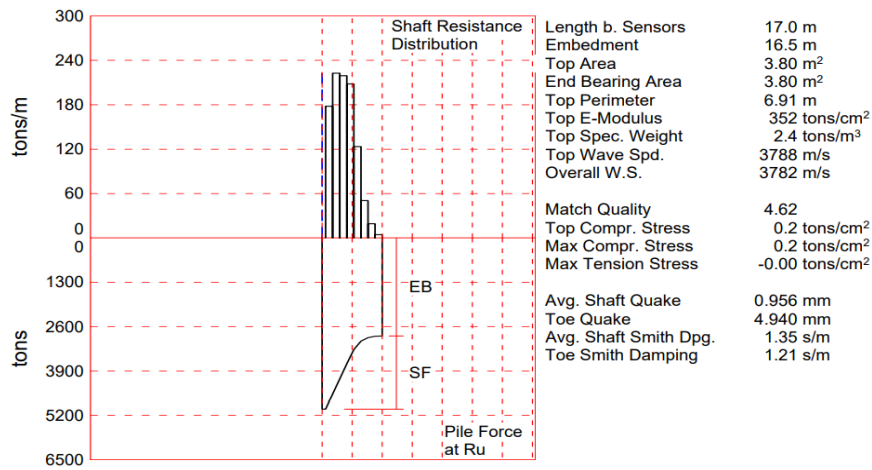
Grafica del Pilote 1 ensayado



Nota: La grafica muestra el asentamiento que se produce en la cabeza del pilote (curva continua) y en la punta del pilote (curva discontinua), es la curva carga- deformación. Fuente: (G & Franco, s. f.-b)

Figura 23

Grafica del Pilote 1 ensayado



Nota: La gráfica muestra los resultados obtenidos del CAPWAP. Fuente: (G & Franco, s. f.-b)

3.2.1.6 Estribo 1

Tabla 18

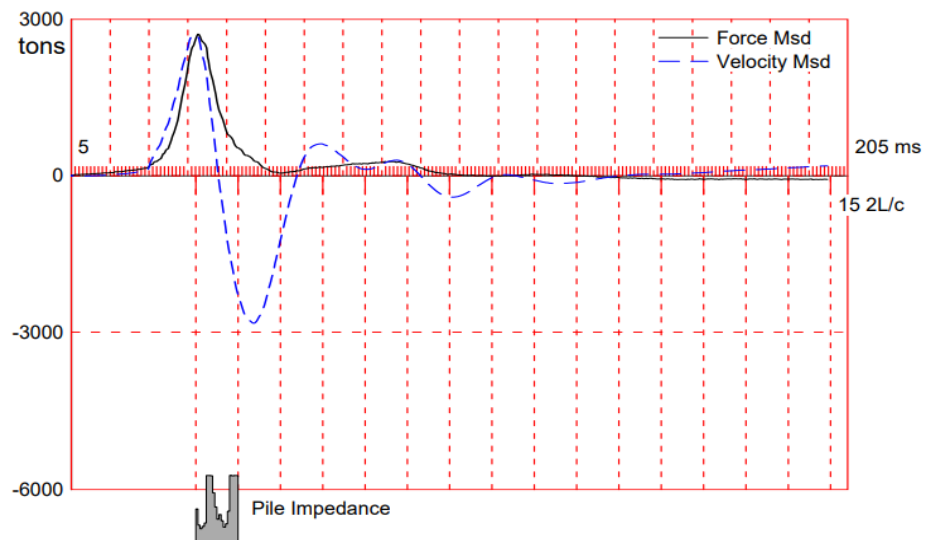
Estribo 1

N°	Pilote	Esfuerzo máximo (tons/cm ²)	Cap. Fuste (TON)	Cap. Punta (TON)	Cap. Total (TON)	Energía Transmitida (TM)
1	Pilote B1 Estribo 1	-0.03	806.97	1668.35	2475.02	13.93

Nota: La tabla muestra los resultados de la prueba PDA en el Estribo 1. Fuente:(G & Franco, s. f.a)

Figura 24

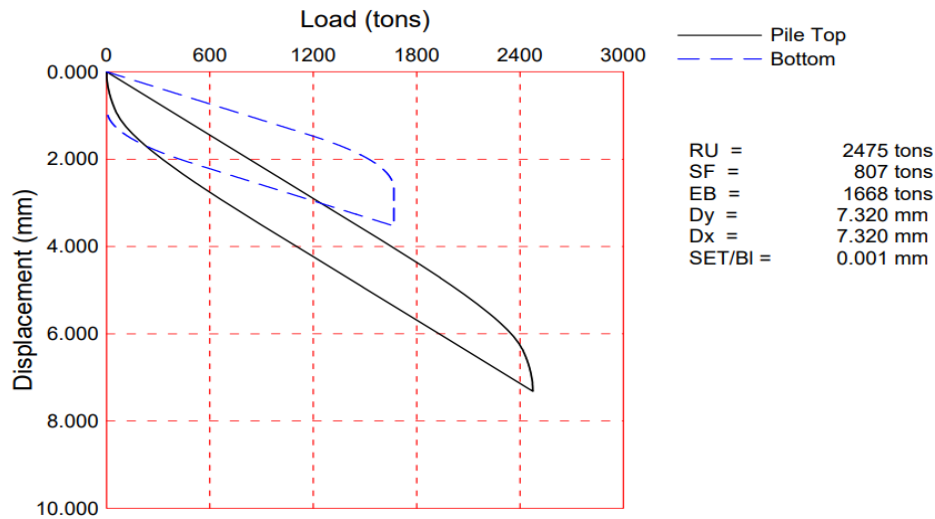
Gráfica del Estribo 1 ensayado



Nota: La gráfica muestra en el eje de las abscisas la velocidad y la fuerza medida por el analizador de hincas de pilotes (P.D.A) y en el eje de las ordenadas la fuerza aplicada en el pilote ensayado. Fuente: (G & Franco, s. f.-a)

Figura 25

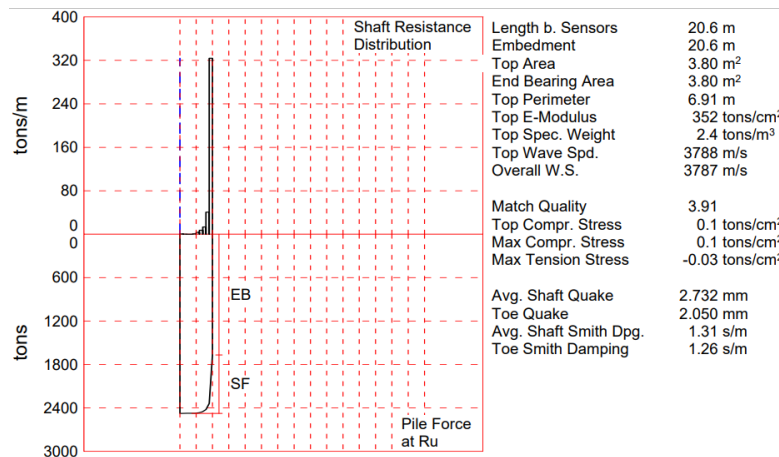
Gráfica del Estribo 1 ensayado



Nota: La grafica muestra el asentamiento que se produce en la cabeza del pilote (curva continua) y en la punta del pilote (curva discontinua), es la curva carga- deformación. Fuente: (G & Franco, s. f.-a)

Figura 26

Gráfica del Estribo 1 ensayado



Nota: La gráfica muestra los resultados obtenidos del CAPWAP. Fuente(G & Franco, s. f.-a)

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1 Comparación De Resultados De Teorías Clásicas Y Pruebas De Carga Dinámicas

El principal objetivo de la investigación es determinar la precisión de los resultados obtenidos mediante las pruebas PDA y los cálculos teóricos

4.2 Resultados de capacidad de carga obtenidos de Teorías Clásicas

A continuación, los resultados obtenidos mediante los métodos teóricos los cuales son Meyerhof, Vesic y Aoki Velloso.

4.2.1 Estribo 2

Tabla 19

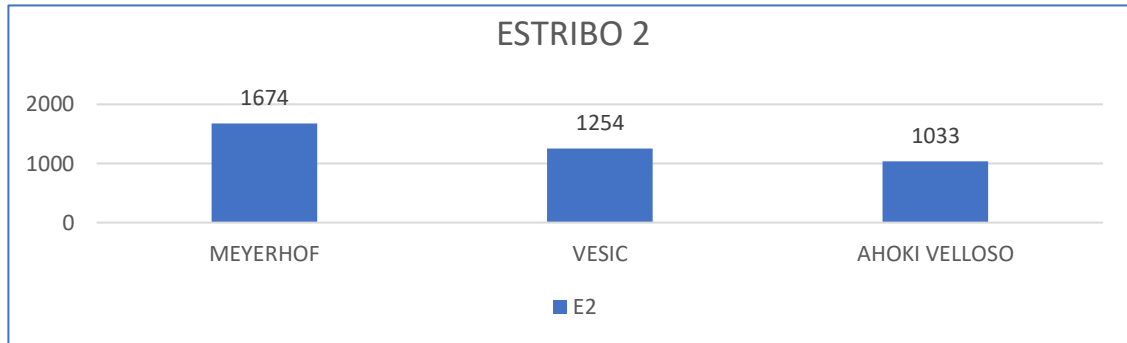
Estribo 2

Método	E2
Meyerhof	1674
Vesic	1254
Aoki velloso	1033

Nota: La tabla muestra los resultados del Estribo 2 con los diferentes métodos teóricos utilizados.

Figura 27

Gráfica del Estribo 2



Nota: La gráfica muestra que para el Estribo 2 el método de Meyerhof resalta, sobre los otros dos métodos

4.2.2 Pilote 4

Tabla 20

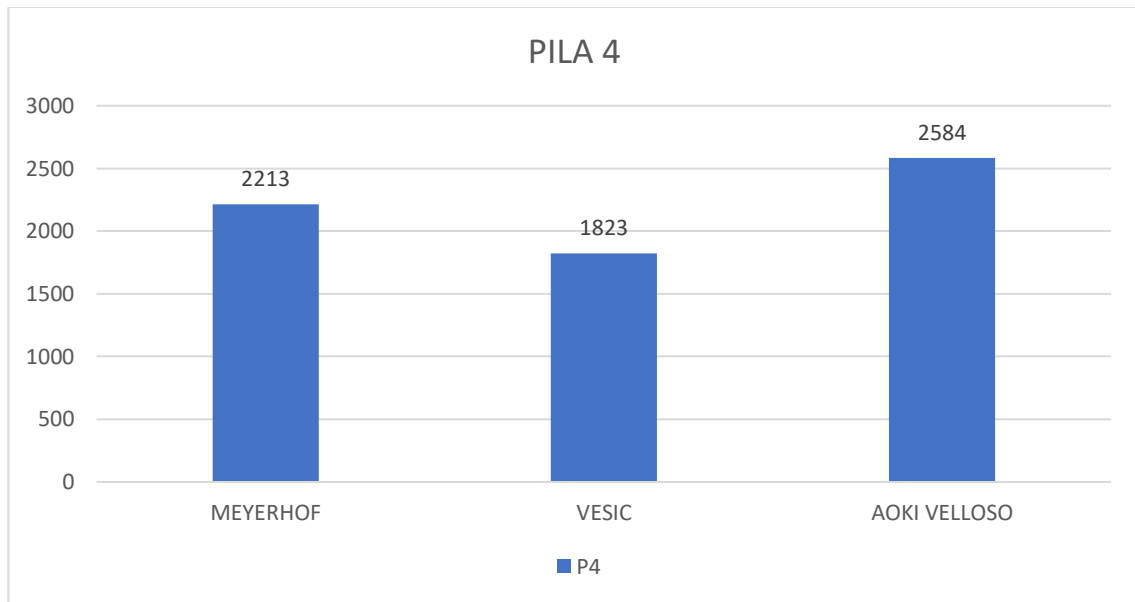
Pilote 4

Método	P4
Meyerhof	2213
Vesic	1823
Aoki vellosa	2584

Nota: La tabla muestra los resultados del Pilote 4 con los diferentes métodos teóricos utilizados.

Figura 28

Gráfica del Pilote 4



Nota: La gráfica muestra que para el Pilote 4 el método de Aoki Velloso resalta, sobre los otros dos métodos.

4.2.3 Pilote 3

Tabla 21

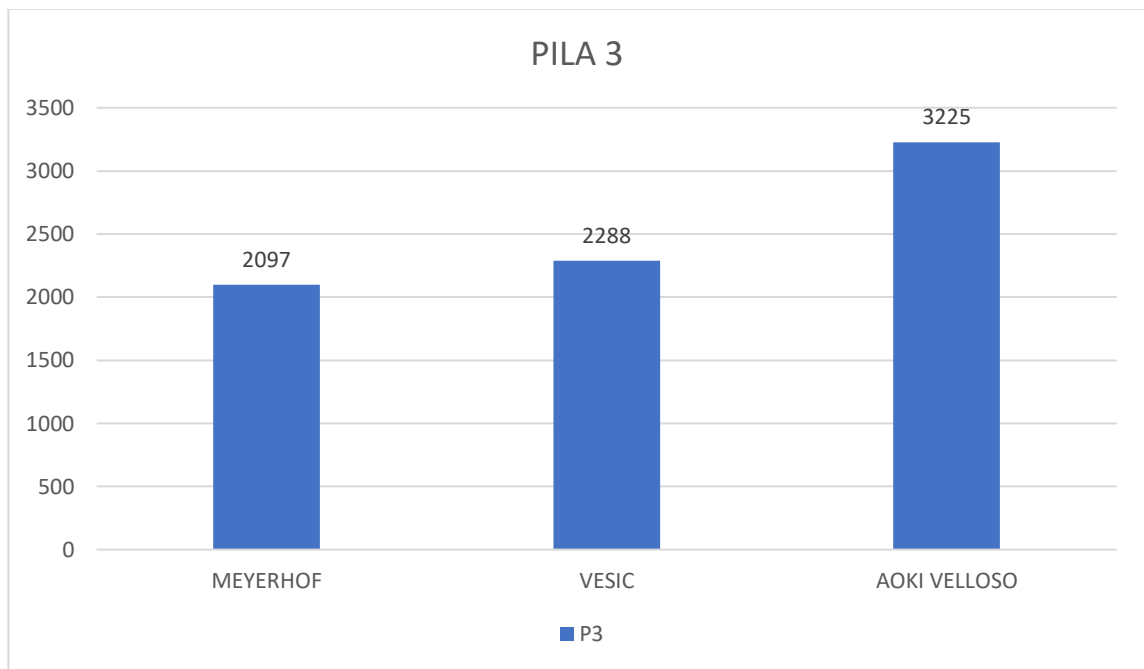
Pilote 3

Método	P3
Meyerhof	2097
Vesic	2288
Aoki Velloso	3225

Nota: La tabla muestra los resultados del Pilote 3 con los diferentes métodos teóricos utilizados.

Figura 29

Gráfica del Pilote 3



Nota: La gráfica muestra que para el Pilote 3 el método de Aoki Velloso resalta, sobre los otros dos métodos.

4.2.4 Pilote 2

Tabla 22

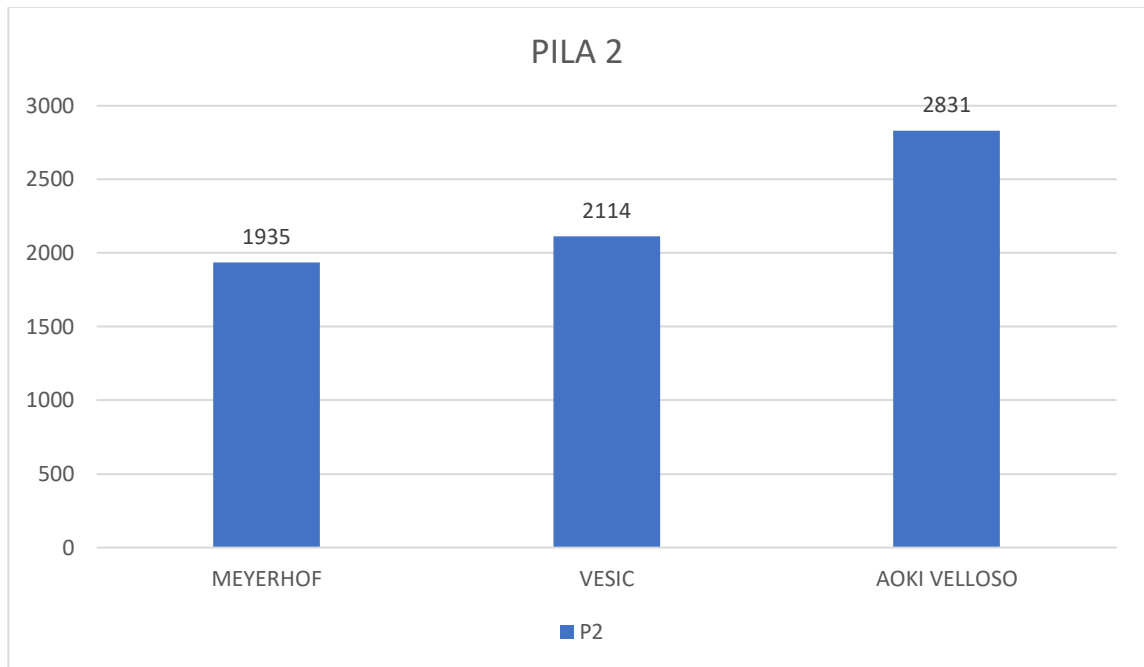
Pilote 2

Método	P2
Meyerhof	1935
Vesic	2114
Aoki velloso	2831

Nota: La tabla muestra los resultados del Pilote 2 con los diferentes métodos teóricos utilizados.

Figura 30

Gráfica del Pilote 2



Nota: La gráfica muestra que para el Pilote 4 el método de Aoki Velloso resalta, sobre los otros dos métodos.

4.2.5 Pilote 1

Tabla 23

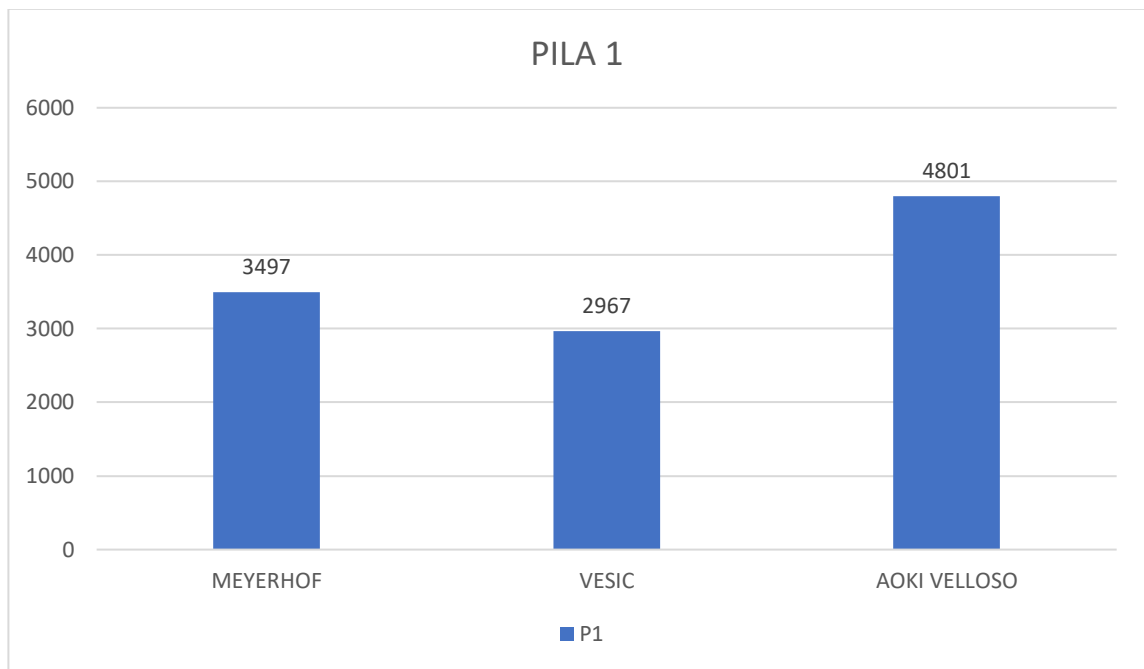
Pilote 1

Método	P1
Meyerhof	3497
Vesic	2967
Aoki velloso	4801

Nota: La tabla muestra los resultados del Pilote 1 con los diferentes métodos teóricos utilizados.

Figura 31

Gráfica del Pilote 1



Nota: La gráfica muestra que para el Pilote 1 el método de Aoki Velloso resalta, sobre los otros dos métodos.

4.2.6 Estribo 1

Tabla 24

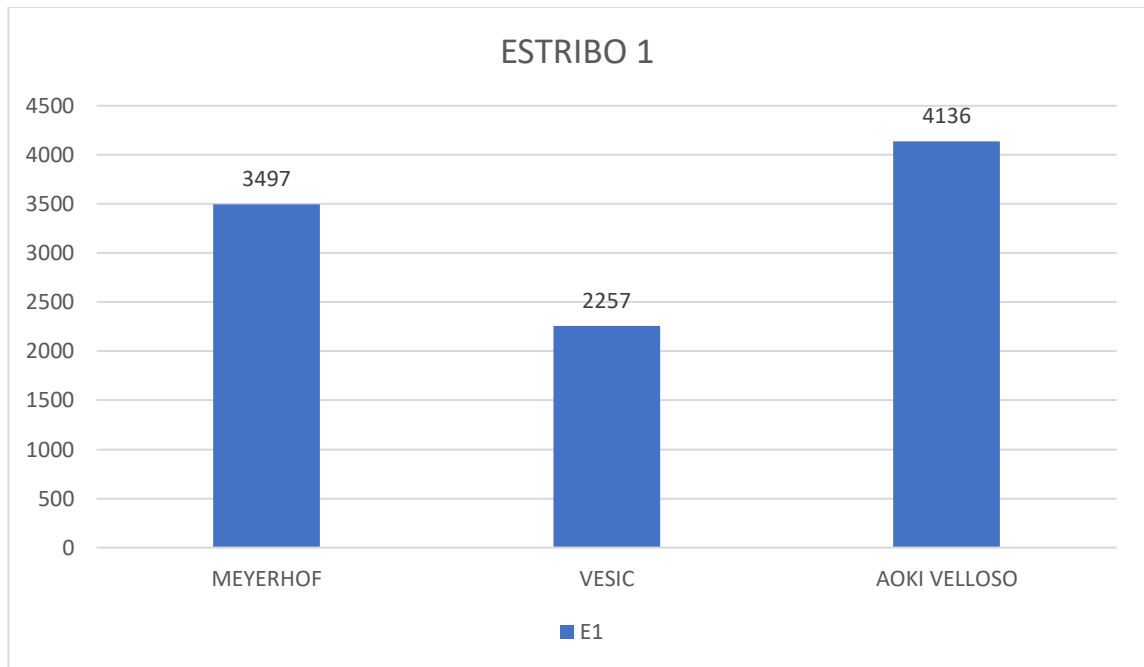
Estribo 1

Método	E1
Meyerhof	3497
Vesic	3357
Aoki velloso	4136

Nota: La tabla muestra los resultados del Estribo 1 con los diferentes métodos teóricos utilizados.

Figura 32

Gráfica del Estribo 1



Nota: La gráfica muestra que para el Pilote 4 el método de Aoki Velloso resalta, sobre los otros dos métodos.

4.3 Resultados de capacidad de carga obtenidos en las Pruebas de Carga Dinámica.

4.3.1 Estribo 2

Tabla 25

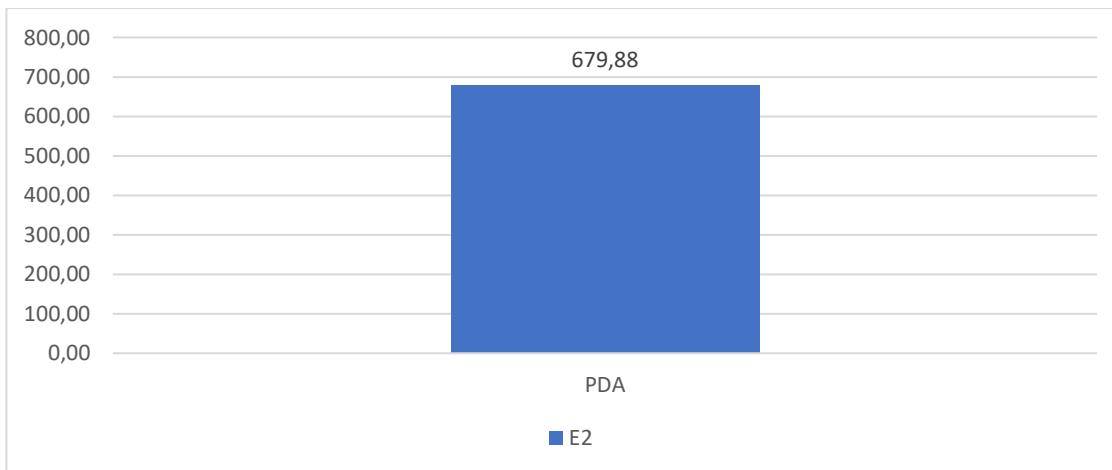
Resultados del método PDA en el Estribo 2

Método	E2
PDA	679.88

Nota: La tabla muestra el resultado de carga por punta del Estribo 2 obtenidas de las pruebas PDA realizadas en campo.

Figura 33

Gráfica del resultado de PDA



Nota: La gráfica muestra los resultados obtenidos del CAPWAP

4.3.2 Pila 4

Tabla 26

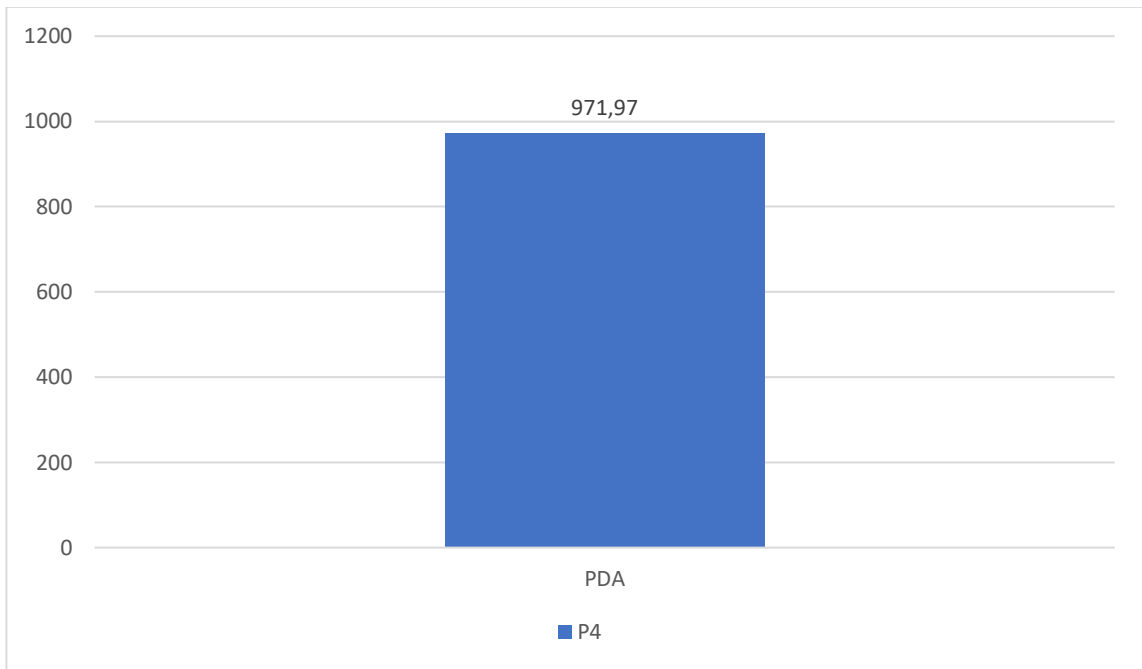
Resultados del método PDA en la Pila 4

Método	P4
PDA	971.97

Nota: La tabla muestra el resultado del Pilote 4 obtenidas de las pruebas PDA realizadas en campo.

Figura 34

Gráfica del resultado PDA



Nota: La gráfica muestra los resultados obtenidos del CAPWAP

4.3.3 Pila 3

Tabla 27

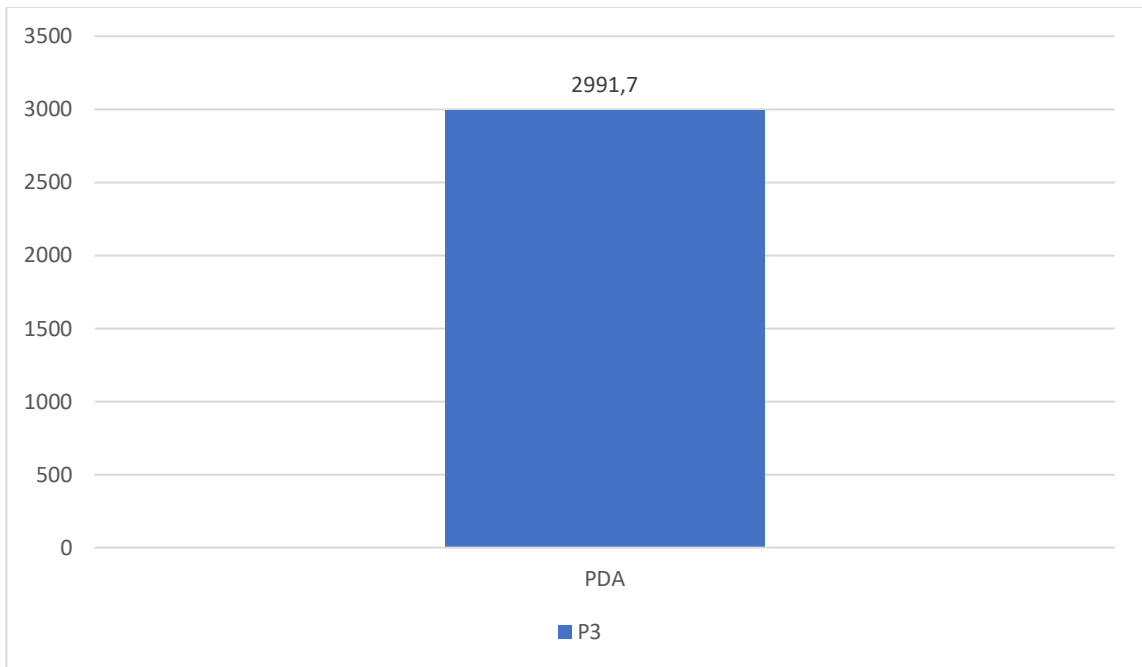
Resultados del método PDA en la Pila 3

Método	P3
PDA	2991.7

Nota: La tabla muestra el resultado del Pilote 3 obtenidas de las pruebas PDA realizadas en campo.

Figura 35

Gráfica del resultado PDA



Nota: La gráfica muestra los resultados obtenidos del CAPWAP

4.3.4 Pila 2

Tabla 28

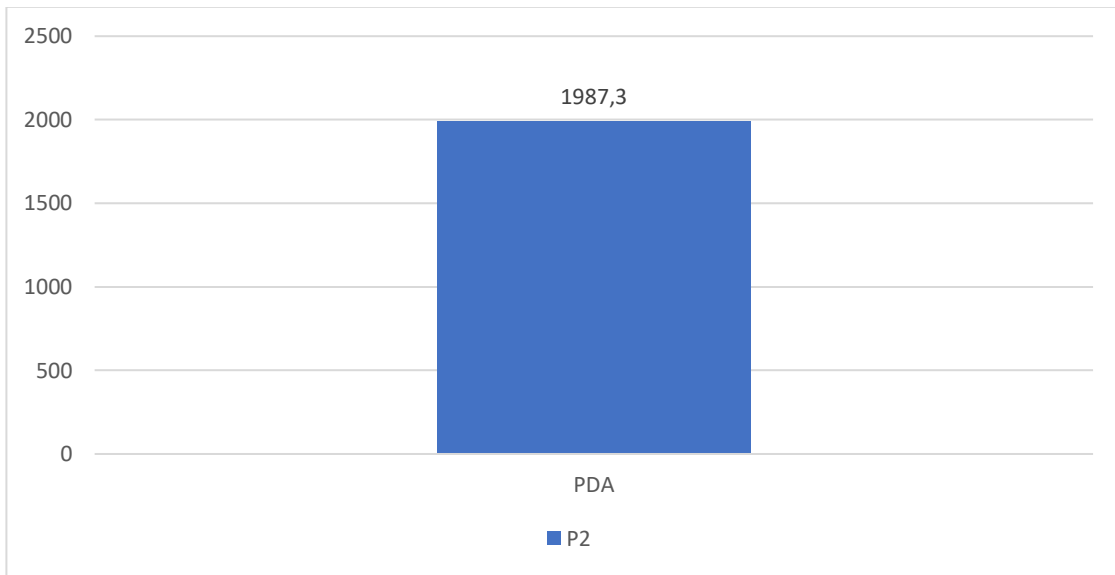
Resultados del método PDA en la Pila 2

Método	P2
PDA	1987.3

Nota: La tabla muestra el resultado del Pilote 2 obtenidas de las pruebas PDA realizadas en campo.

Figura 36

Gráfica del resultado PDA



Nota: La gráfica muestra los resultados obtenidos del CAPWAP

4.3.5 Pila 1

Tabla 29

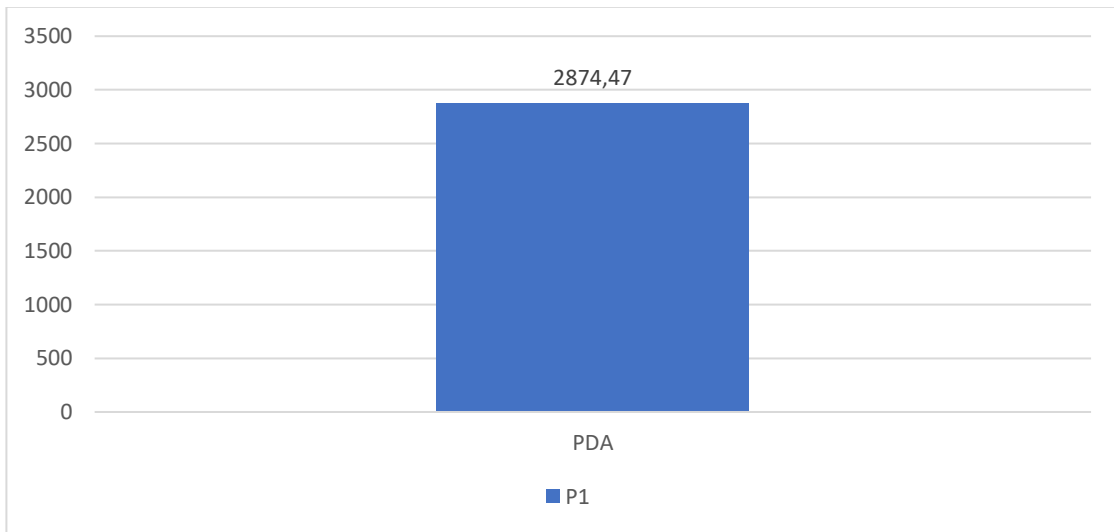
Resultados del método PDA en la Pila 1

Método	P1
PDA	2874,47

Nota: La tabla muestra el resultado del Pilote 1 obtenidas de las pruebas PDA realizadas en campo.

Figura 37

Gráfica del Resultado PDA



Nota: La gráfica muestra los resultados obtenidos del CAPWAP

4.3.6 Estribo 1

Tabla 30

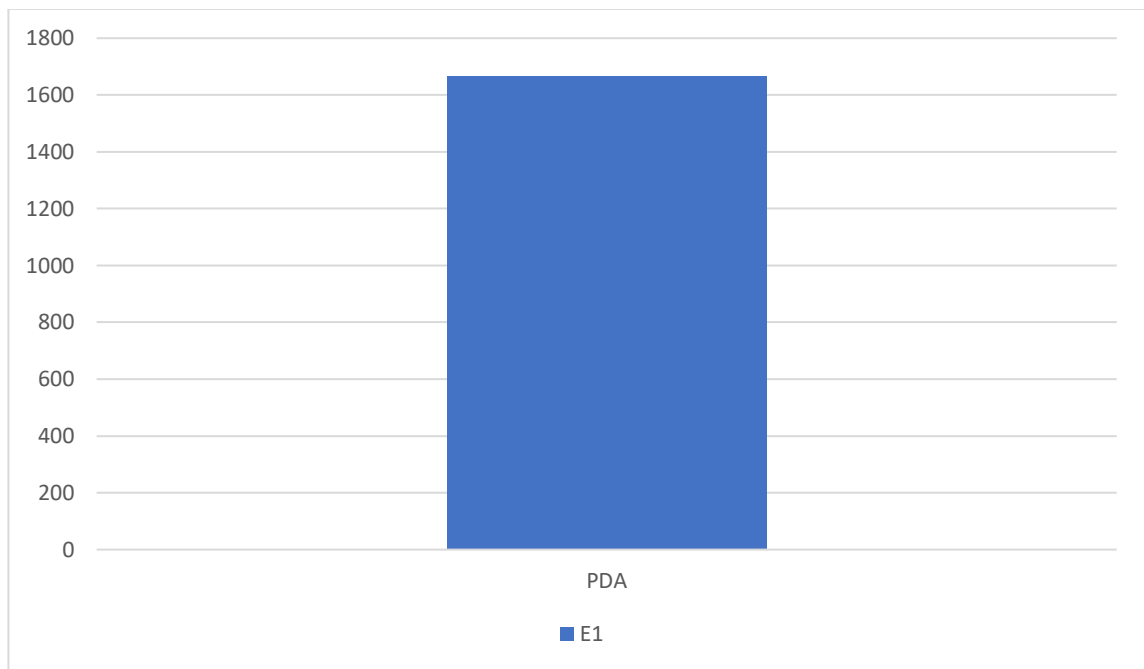
Resultados del método PDA en el Estribo 1

Método	E1
PDA	1668.35

Nota: La tabla muestra el resultado del Estribo 1 obtenidas de las pruebas PDA realizadas en campo.

Figura 38

Gráfica del Resultado PDA



Nota: La gráfica muestra los resultados obtenidos del CAPWAP

4.4 Capacidad de carga en Métodos Teóricos representada en valores porcentuales con relación a las Pruebas de Carga Dinámica.

Se realizó una media aritmética de todos los datos obtenidos en los cálculos numéricos para luego compararlos con la prueba de carga dinámica (PDA).

Tabla 31*Valores porcentuales de capacidad de carga.*

Método	Capacidad de carga porcentajes x_i						Media
	E2	P4	P3	P2	P1	E1	$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}$
Meyerhof	146%	128%	-30%	-3%	22%	110%	62
Vesic	85%	88%	-24%	6%	3%	101%	43.24
Aoki velloso	52%	166%	8%	42%	67%	148%	80.52

Nota: Esta tabla nos muestra la capacidad de carga en porcentajes con relación a las pruebas de capacidad de carga

Como se observa la media más baja entre los tres métodos teóricos es el método de Vesic con el -24% y 101%. Estos valores se deben a que en el método de Vesic se tiene los valores de capacidad de carga que van desde -24% en la Pila 3 a diferencia del Estribo 1 que tiene un valor de 101% en relación con las pruebas dinámicas PDA.

El método de Meyerhof se conoce que los valores de capacidad de carga van desde -30% en la Pila 3 y en el Estribo 2 tiene un valor 146% ambos valores en relación con las pruebas de carga dinámica.

El método de Aoki Velloso se observa que tiene un porcentaje con relación de las pruebas dinámicas más bajo en la Pila 3 con un 8% y en la Pila 4 con un 166% que viene a ser el valor más representativo en el método.

Esta interpretación nos muestra las diferentes variaciones de media con respecto a las pruebas dinámicas y los cálculos teóricos.

Tabla 32

Resultados de capacidad de carga de métodos teóricos con las pruebas de carga dinámica.

Método	Media	Varianza	Desviación estándar	Coefficiente de variación
Meyerhof	63	5592	74,78	1,20
Vesic	43,24	2892	54	1,24
Aoki vellosa	80,52	3911	62,53	0,78

Nota: Esta tabla contiene valores porcentuales y datos de variación de los métodos teóricos con relación a las pruebas de carga dinámica.

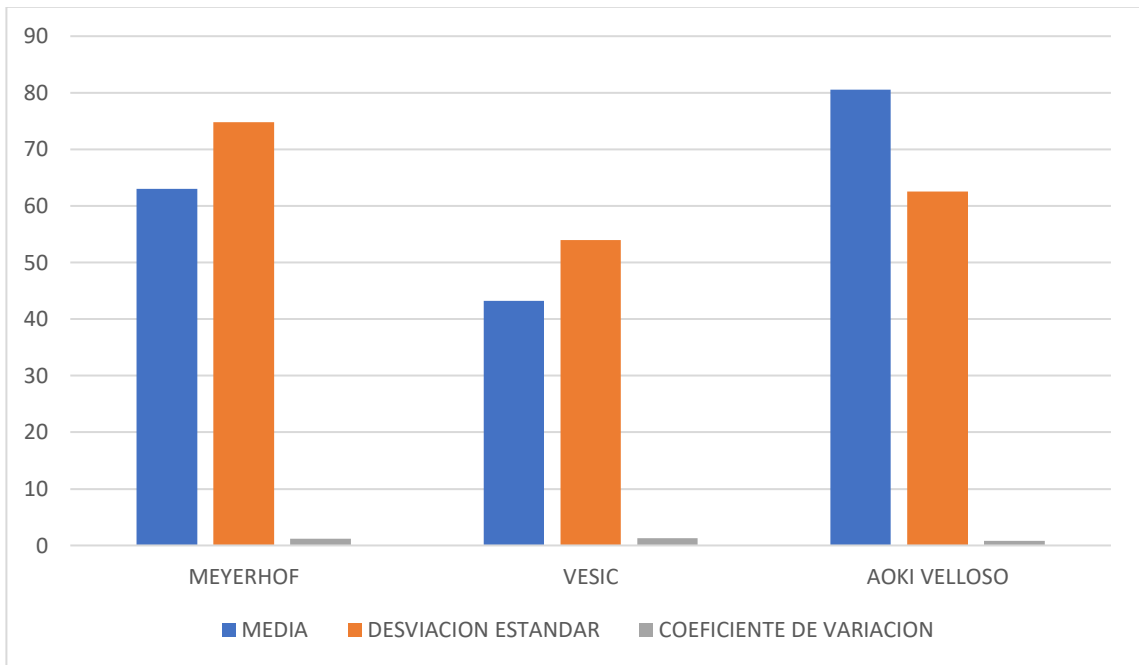
Se puede comprender que entre un método y otro existe un gran porcentaje de variación con los resultados obtenidos mediante las pruebas de carga dinámicas. En el método teórico de Meyerhof tiene un coeficiente de variación de 1,20 de capacidad de carga con lo que tiene relación a las pruebas de carga dinámica (PDA).

Se conoce que el método de Vesic tiene un mayor coeficiente de variación el cual es de 1,24 como se observa es el método que más diferencias tiene, esto es por los diferentes factores que se aplicó a la hora de evaluar

Por ejemplo, el método de Vesic se toma en cuenta los criterios que se obtienen de los esfuerzos efectivos cuando se calcula la capacidad de carga por punta. El método teórico Aoki Velloso como observa en la Tabla 32 y en la fig. 40 que es una gráfica demostrativa, el cual el valor del coeficiente de variación es 0,78 que con relación a los otros métodos es menor, una razón muy significativa de este método es que trabaja con los datos obtenidos del ensayo de penetración realizados en cada uno de los pilotes, el dato primordial que utiliza este método es el número de golpes, y como solución tenemos que los resultados son más acertados a los obtenidos en las pruebas de carga dinámica.

Figura 39

Resultados obtenidos de capacidad de carga con respecto a las pruebas de carga dinámica.



Nota: El gráfico representa la media, la desviación estándar y el coeficiente de variación de capacidad de carga de los métodos teóricos con relación a las pruebas de carga dinámica.

4.5 Factores de capacidad de carga

4.5.1 Estribo 2

Los factores de seguridad a utilizar para cada método serán de 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 4.

Método Meyerhof.

Tabla 33

Factores de seguridad con respecto al Método Meyerhof en el Estribo 2

Estribo 2-Meyerhof						
Factor de seguridad	1	1.5	2	2.5	3	4
Meyerhof	1674	1116	837	669	558	418
PDA	679.0	679.0	679.0	679.0	679.0	679.0

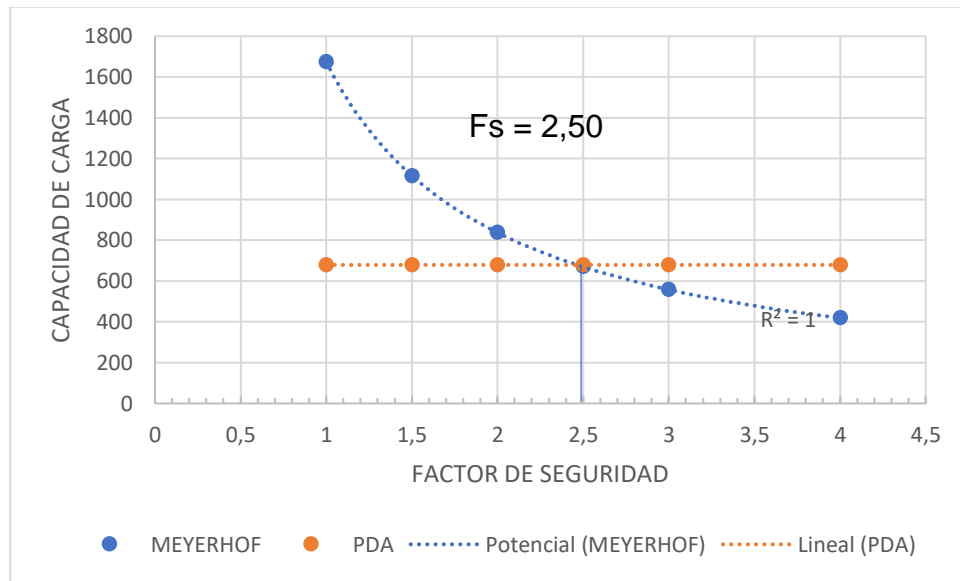
Nota: Obtención de resultados de factores de seguridad en Estribo 2 evaluado por el método de Meyerhof.

En la presente Tabla 33 se observa que en el método de Meyerhof se va a obtener una similitud en resultados con las pruebas de carga dinámica al utilizar un factor de seguridad de 2,50. Al momento de utilizar dicho factor de seguridad se obtiene una capacidad de carga igual a la de las pruebas de carga dinámica.

A continuación, se presenta de una forma más grafica en la fig. 41, observando que se puede utilizar un factor de seguridad mayor a 2,50 y menor a 3 con toda certeza.

Figura 40

Representación gráfica de resultados de factores de seguridad en Método de Meyerhof



Nota: En la presente figura se observan la relación del método Meyerhof con las Pruebas de Carga Dinámica aplicando un factor de seguridad de 2,50.

Método Vesic.

Tabla 34

Factores de seguridad con respecto al Método Vesic en el Estribo 2

Estribo 2- Vesic						
Factor de seguridad	1	1.5	2	2.5	3	4
Vesic	1254	836	627	502	418	313
PDA	679.0	679.0	679.0	679.0	679.0	679.0

Nota: Obtención de resultados de factores de seguridad en Estribo 2 evaluado por el método de Vesic.

En la Tabla 34 se observa que el Método de Vesic tiene como resultado la capacidad de carga de 1254 Ton/m² en este Estribo 2, notando una relación similar a los

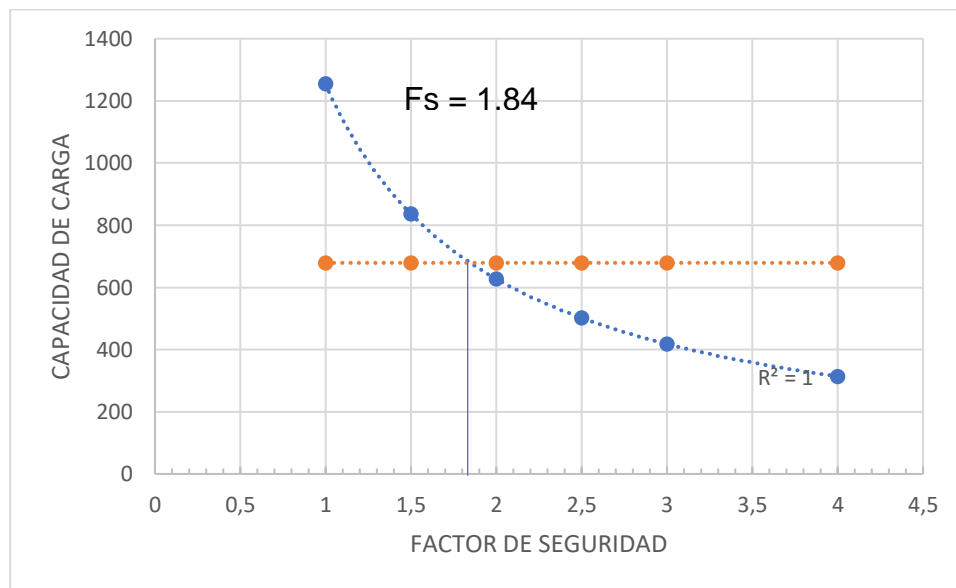
resultados de las pruebas de carga dinámica ya que se utilizó un factor de seguridad de 1.84.

Al utilizar dicho factor de seguridad se obtiene un resultado de capacidad de carga por punta igual al de las pruebas de carga dinámica cuyo valor es 679 Ton/m². Al aplicar dicho factor de seguridad se está demostrando que se pueden obtener valores iguales a los resultados de las pruebas de carga dinámica, que es aplicada a cada pilote evaluado.

A continuación, se presenta de una forma más grafica en la fig. 42 observando que se puede utilizar un factor de seguridad mayor a 1,84 y menor a 2 con toda certeza.

Figura 41

Representación gráfica de resultados de factores de seguridad en Método Vesic.



Nota: En la presente figura se observan la relación del método Vesic con las Pruebas de Carga Dinámica aplicando un factor de seguridad de 1,84.

Método Aoki Velloso

Tabla 35

Factores de seguridad con respecto al Método Aoki Velloso en el Estribo 2

Estribo 2- Aoki Velloso						
Factor de seguridad	1	1.5	2	2.5	3	4
Aoki velloso	1033	688	516	413	344	258
PDA	679.0	679.0	679.0	679.0	679.0	679.0

Nota: Obtención de resultados de factores de seguridad en Estribo 2 evaluado por el método de Aoki Velloso.

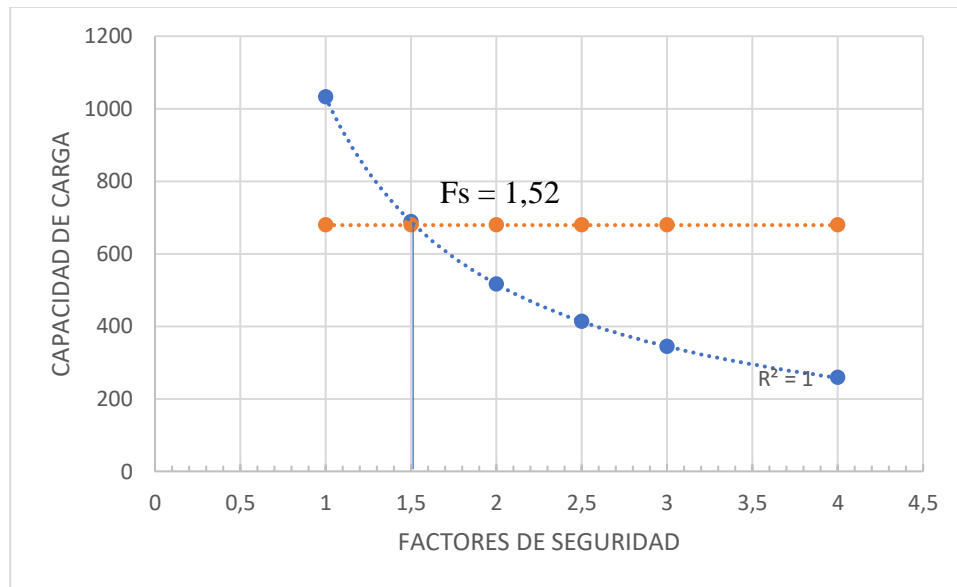
En la presente Tabla se observa que el Método de Aoki Velloso se tiene como resultado de capacidad de carga de 1033 Ton/m² en el Estribo 2, notando una relación de resultados con las pruebas de carga dinámica, la cual será igual su capacidad de carga al utilizar un factor de seguridad de 1.52.

Al utilizar dicho factor de seguridad se va a obtener un resultado de capacidad de carga igual a la de las pruebas de carga dinámica cuyo valor es 679 Ton/m². Es decir, al aplicar dicho factor de seguridad se está demostrando que se pueden obtener valores iguales a los resultados de las pruebas de carga dinámica, que es aplicada a cada pilote evaluado.

A continuación, se presenta de una forma más grafica en la fig. 43 observando que se puede utilizar un factor de seguridad mayor a 1,52 y menor a 2 con toda certeza.

Figura 42

Representación Gráfica de Resultados de Factores de Seguridad en Método de Aoki Velloso



Nota: En la presente figura se observan la relación del método Aoki Velloso con las Pruebas de Carga Dinámica aplicando un factor de seguridad de 1,52.

4.5.2 Pila 4

Los factores de seguridad a utilizar para cada método serán de 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 4.

Método Meyerhof.

Tabla 36

Factores de seguridad con respecto al Método Meyerhof en la Pila 4

Pila 4 -Meyerhof						
Factor de seguridad	1	1.5	2	2.5	3	4
Meyerhof	2213	1475	1106	885	738	553
PDA	972.0	972.0	972.0	972.0	972.0	972.0

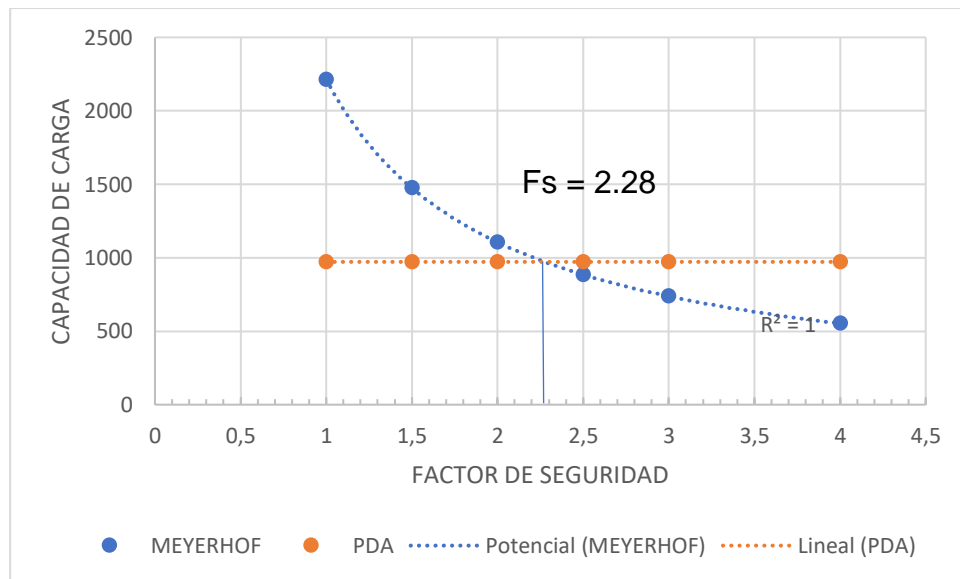
Nota: obtención de resultados de factores de seguridad en la Pila 4 evaluado por el método de Meyerhof.

En la presente Tabla se observa que en el método de Meyerhof va a tener una similitud en resultados con las pruebas de carga dinámica al utilizar un factor de seguridad de 2,28. Es decir que al aplicar dicho factor de seguridad se va a obtener una capacidad de carga igual a la de las pruebas de carga dinámica.

A continuación, se presenta de forma gráfica en la fig. 44 observando que se puede utilizar un factor de seguridad mayor a 2,28 y menor a 3 con toda certeza.

Figura 43

Representación Gráfica de Resultados de Factores de Seguridad en Método de Meyerhof



Nota: En la presente figura se observan la relación del método Meyerhof con las Pruebas de Carga Dinámica aplicando un factor de seguridad de 2,28.

Método Vesic.

Tabla 37

Factores de seguridad con respecto al Método Vesic en la Pila 4

Pila 4 - Vesic						
Factor de seguridad	1	1.5	2	2.5	3	4
Vesic	1823	1215	911	729	608	456
PDA	972.0	972.0	972.0	972.0	972.0	972.0

Nota: Obtención de resultados de factores de seguridad en la Pila 4 evaluado por el método de Vesic.

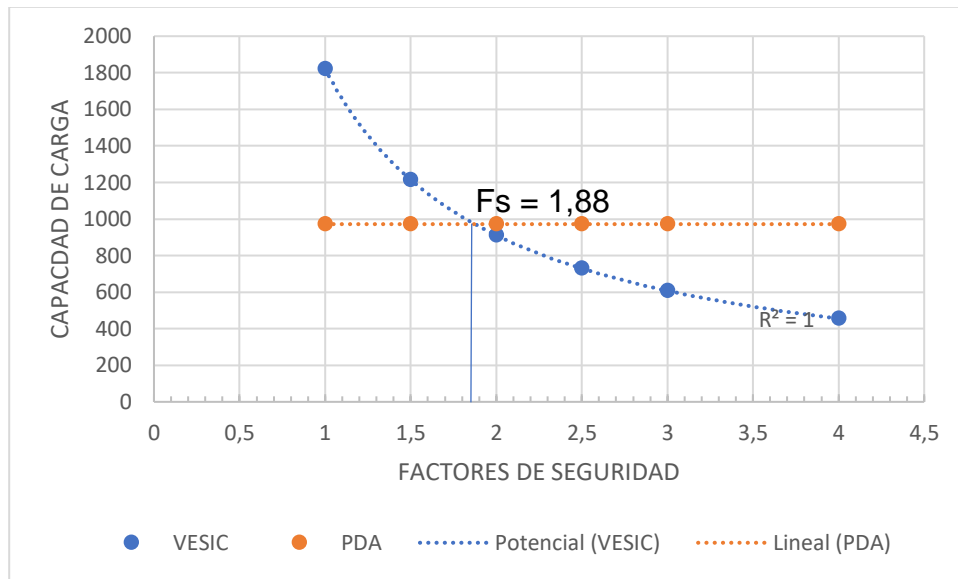
En la presente Tabla se observa que el Método de Vesic tiene como resultado de capacidad de carga 1823 Ton/m² en la Pila 4, notando una relación similar a los resultados de las pruebas de carga dinámica ya que se utilizó un factor de seguridad de 1.31.

Al utilizar dicho factor de seguridad se obtiene un resultado de capacidad de carga igual a la de las pruebas de carga dinámica cuyo valor es 957 Ton/m². Es decir, al aplicar dicho factor de seguridad se está demostrando que se pueden obtener valores iguales a los resultados de las pruebas de carga dinámica que es aplicada a cada pilote evaluado.

A continuación, se presenta de forma más grafica en la figura 45 observando que se puede utilizar un factor de seguridad mayor a 1 y menor a 1,5 con toda certeza

Figura 44

Representación Gráfica de Resultados de Factores de Seguridad en Método Vesic.



Nota: En la presente figura se observan la relación del método Vesic con las Pruebas de Carga Dinámica aplicando un factor de seguridad de 1,44.

Método Aoki Velloso

Tabla 38

Factores de seguridad con respecto al Método Aoki Velloso en la Pila 4

Pila 4 - Aoki Velloso						
Factor de seguridad	1	1.5	2	2.5	3	4
Aoki velloso	2584	1723	1292	1034	861	646
PDA	972.0	972.0	972.0	972.0	972.0	972.0

Nota: Obtención de resultados de factores de seguridad en la Pila 4 evaluado por el método de Aoki Velloso.

En la presente Tabla se observa que el Método de Aoki Velloso tiene como resultado de capacidad de carga de 2453 Ton/m² en la Pila 4, notando una relación de

resultados con las pruebas de carga dinámica, la cual será igual su capacidad de carga al utilizar un factor de seguridad de 1,94.

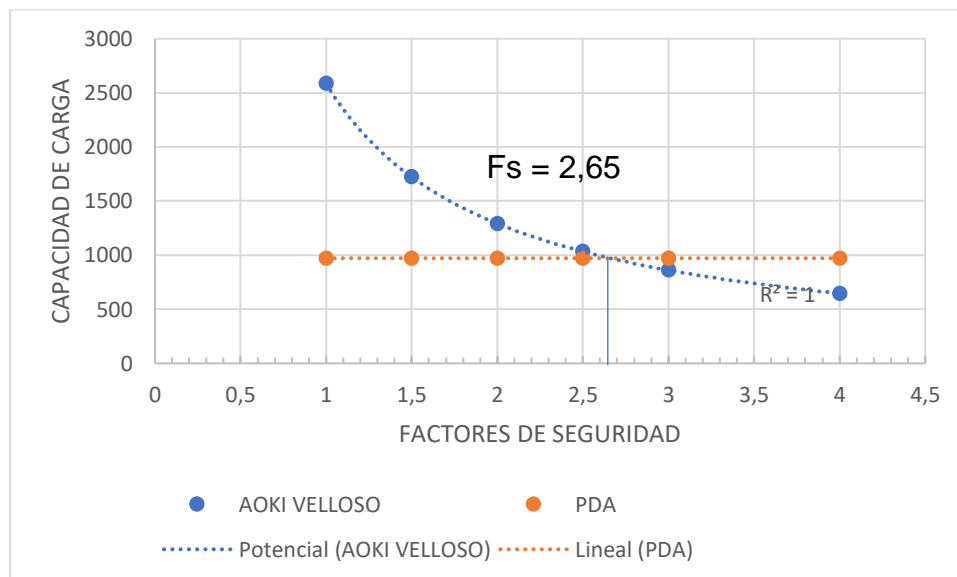
Al utilizar dicho factor de seguridad se va a obtener un resultado de capacidad de carga igual a la de las pruebas de carga dinámica cuyo valor es 1266,7 Ton/m². Es decir, al aplicar dicho factor de seguridad se está demostrando que se puede obtener valores iguales a los resultados de las pruebas de carga dinámica, que es aplicada a cada pilote evaluado.

Se puede percibir que en este método se está aplicando un factor de seguridad mayor al aplicado en métodos anteriores.

A continuación, se presenta de una forma más grafica en fig.46 observando que se puede utilizar un factor de seguridad mayor a 1,5 y menor a 2 con toda certeza.

Figura 45

Representación Gráfica de Resultados de Factores de Seguridad en Método de Aoki Velloso



Nota: En la presente figura se observan la relación del método Aoki Velloso con las Pruebas de Carga Dinámica aplicando un factor de seguridad de 1,94.

4.5.3 Pila 3

Los factores de seguridad a utilizar para cada método serán de 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 4.

Método Meyerhof.

Tabla 39

Factores de seguridad con respecto al Método Meyerhof en la Pila 3

Pila 3 - Meyerhof						
Factor de seguridad	1	1.5	2	2.5	3	4
Meyerhof	2097	1398	1048	839	699	524
PDA	2991.7	2991.7	2991.7	2991.7	2991.7	2991.7

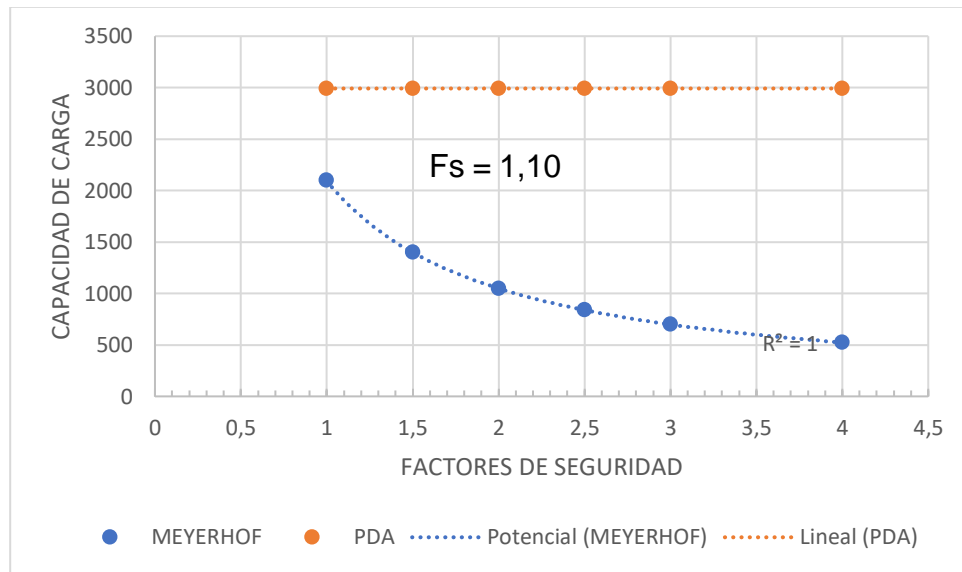
Nota: Obtención de resultados de factores de seguridad en Pila 3 evaluado por el método de Meyerhof.

En la presente Tabla se observa que el Método de Meyerhof se va a obtener una similitud en resultados con las pruebas de carga dinámica al utilizar un factor de seguridad de 1,13. Es decir que al aplicar dicho factor de seguridad se va a obtener una capacidad de carga igual a la de las pruebas de carga dinámica.

A continuación, se presenta de forma más grafica en la fig. 47 observando que se puede utilizar un factor de seguridad mayor a 1 y menor a 1,5 con toda certeza.

Figura 46

Representación Gráfica de Resultados de Factores de Seguridad en Método de Meyerhof



Nota: En la presente figura se observan la relación del método Meyerhof con las Pruebas de Carga Dinámica aplicando un factor de seguridad de 1,13.

Método Vesic.

Tabla 40

Factores de seguridad con respecto al Método Vesic en la Pila 3

Pila 3 - Vesic						
Factor de seguridad	1	1.5	2	2.5	3	4
Vesic	2288	1525	1144	915	763	572
PDA	2991.7	2991.7	2991.7	2991.7	2991.7	2991.7

Nota: Obtención de resultados de factores de seguridad en la Pila 3 evaluado por el método de Vesic.

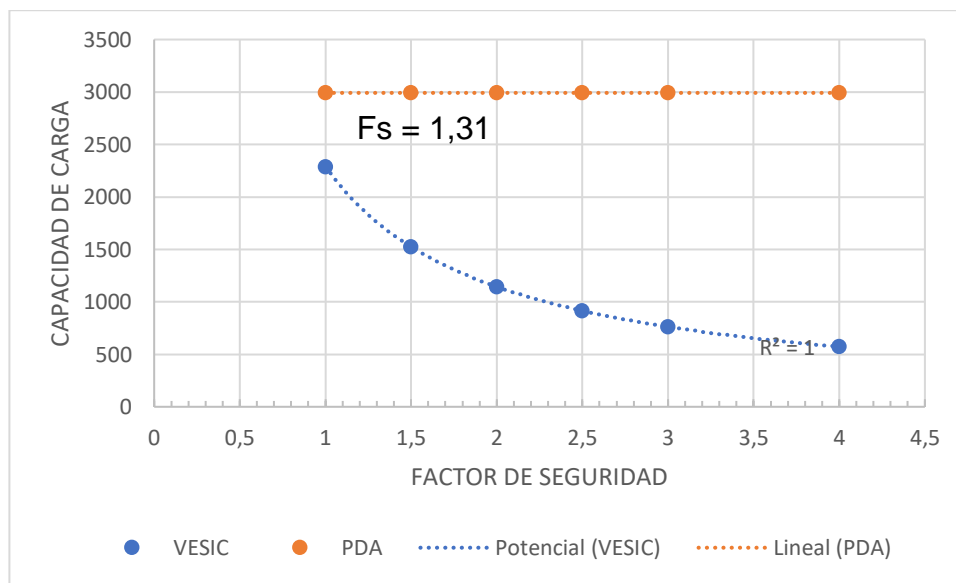
En la presente Tabla se observa que el Método de Vesic tiene como resultado de capacidad de carga de 1982 Ton/m² en la Pila 3, notando una relación de resultados similar a los resultados de las pruebas de carga dinámica ya que se utilizó un factor de seguridad de 1.

Al utilizar dicho factor de seguridad se obtiene un resultado de capacidad de carga igual a la de las pruebas de carga dinámica cuyo valor es 1972,8 Ton/m². Es decir, al aplicar dicho factor de seguridad se está demostrando que se pueden obtener valores iguales a los resultados de las pruebas de carga dinámica, que es aplicada a cada pilote evaluado.

A continuación, se presenta de una forma más gráfica en la fig.48 observando que se puede utilizar un factor de seguridad mayor a 1 y menor a 1,5 con toda certeza.

Figura 47

Representación Gráfica de Resultados de Factores de Seguridad en Método Vesic.



Nota: En la presente figura se observan la relación del método Vesic con las Pruebas de Carga Dinámica aplicando dichos factores de seguridad

Método Aoki Velloso

Tabla 41

Factores de seguridad con respecto al Método Aoki Velloso en la Pila 3

Pila 3 -Aoki Velloso						
Factor de seguridad	1	1.5	2	2.5	3	4
Aoki velloso	3225	2150	1613	1290	1075	806
PDA	2991.7	2991.7	2991.7	2991.7	2991.7	2991.7

Nota: Obtención de resultados de factores de seguridad en la Pila 3 evaluado por el método de Aoki Velloso.

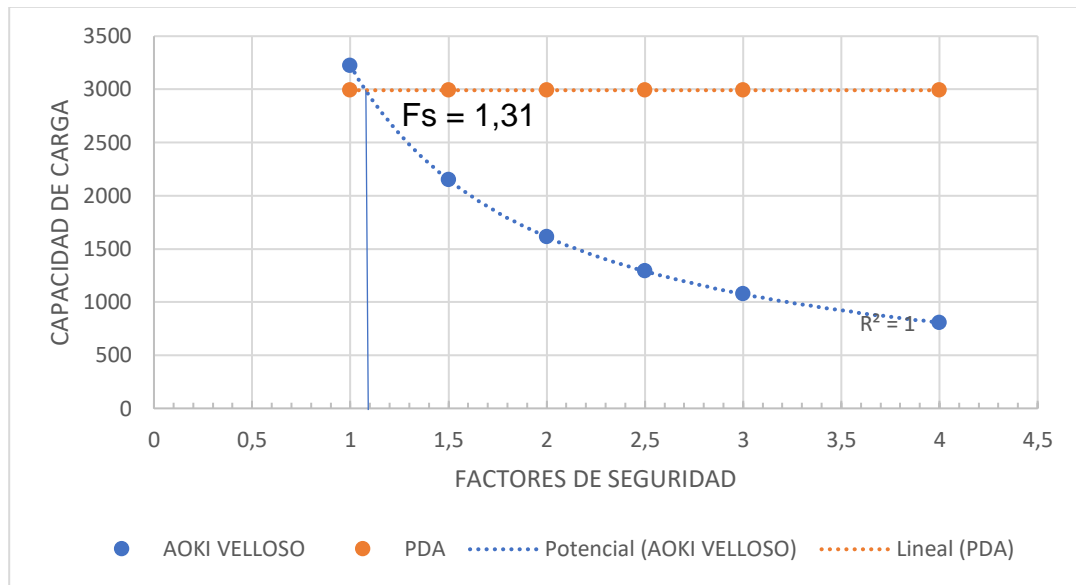
En la presente Tabla podemos observar que el Método de Aoki Velloso se tiene como resultado la capacidad de carga de 3105 Ton/m² en la Pila 3, notando una relación de resultados con las pruebas de carga dinámica será igual su capacidad de carga al utilizar un factor de seguridad de 1,57.

Al utilizar dicho factor de seguridad se va a obtener un resultado de capacidad de carga igual a la de las pruebas de carga dinámica cuyo valor es 1972,8 Ton/m². Es decir, al aplicar dicho factor de seguridad estamos demostrando que se pueden obtener valores iguales a los resultados de las pruebas de carga dinámica, que es aplicada a cada pilote evaluado.

A continuación, se presenta de una forma más grafica en la fig.49 observando que podemos utilizar un factor de seguridad mayor a 1,5 y menor a 2 con toda certeza.

Figura 48

Representación gráfica de resultados de factores de seguridad en Método de Aoki Velloso



Nota: En la presente figura se observan la relación del método Aoki Velloso con las Pruebas de Carga Dinámica aplicando un factor de seguridad de 1,57.

4.5.4. Pila 2

Los factores de seguridad a utilizar para cada método serán de 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 4.

Método Meyerhof.

Tabla 42

Factores de seguridad con respecto al Método Meyerhof en la Pila 2

Pila 2 - Meyerhof						
Factor de seguridad	1	1.5	2	2.5	3	4
Meyerhof	1935	1290	968	774	645	484
PDA	1987.3	1987.3	1987.3	1987.3	1987.3	1987.3

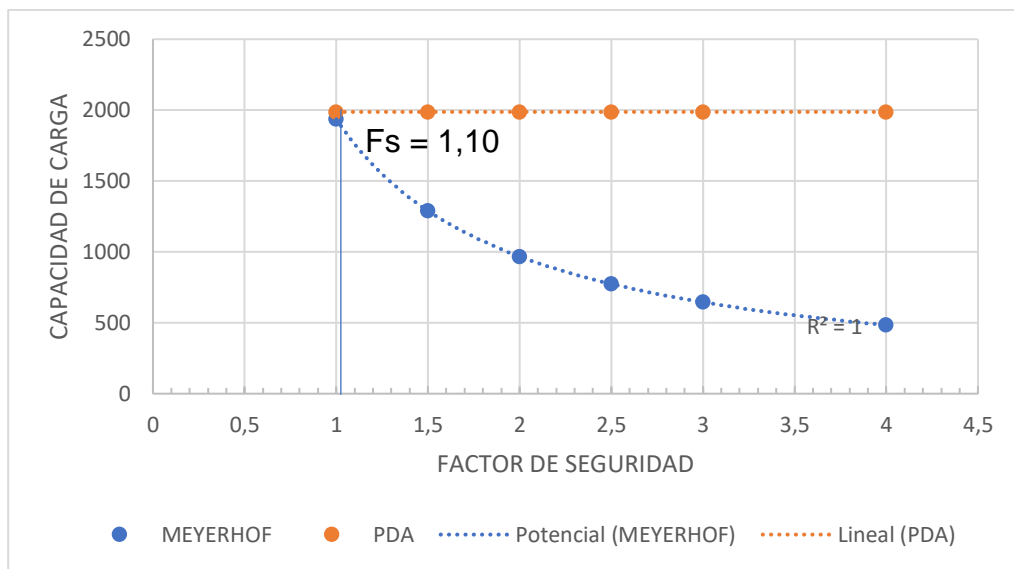
Nota: Obtención de resultados de factores de seguridad en la Pila 2 evaluado por el método de Meyerhof.

En la presente Tabla se observa que en el método de Meyerhof va a tener una similitud en resultados con las pruebas de carga dinámica al utilizar un factor de seguridad de 1,76. Es decir que al aplicar dicho factor de seguridad vamos a obtener una capacidad de carga igual a la de las pruebas de carga dinámica.

A continuación, se lo presenta de una forma más grafica en la fig. 50 observando que se puede utilizar un factor de seguridad mayor a 1,5 y menor a 2 con toda certeza.

Figura 49

Representación Gráfica de Resultados de Factores de Seguridad en Método de Meyerhof



Nota: En la presente figura se observan la relación del método Meyerhof con las Pruebas de Carga Dinámica aplicando un factor de seguridad de 1,76.

Método Vesic.

Tabla 43

Factores de seguridad con respecto al Método Vesic en la Pila 2

Pila 2 - Vesic						
Factor de seguridad	1	1.5	2	2.5	3	4
Vesic	2114	1409	1057	845	705	528
PDA	1987.3	1987.3	1987.3	1987.3	1987.3	1987.3

Nota: Obtención de resultados de factores de seguridad en la Pila 2 evaluado por el método de Vesic.

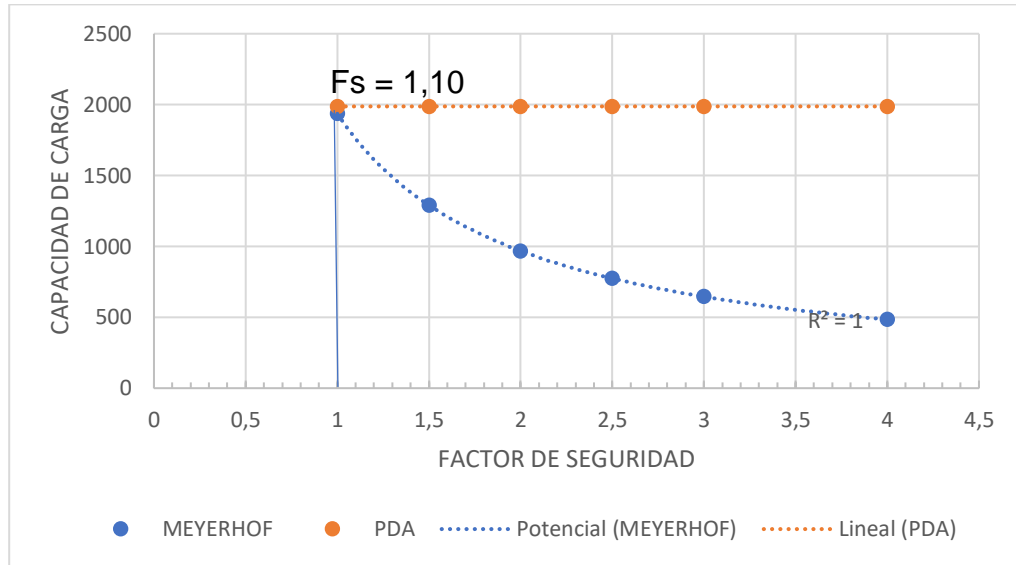
En la presente Tabla se observa que en el Método de Vesic se tiene como resultado de capacidad de carga de 1254 Ton/m² en la Pila 2, notando una relación de resultados similares a los resultados de las pruebas de carga dinámica ya que se utilizó un factor de seguridad de 1.40.

Al utilizar dicho factor de seguridad se obtiene un resultado de capacidad de carga igual a la de las pruebas de carga dinámica cuyo valor es 957 Ton/m². Es decir, al aplicar dicho factor de seguridad se está demostrando que se pueden obtener valores iguales a los resultados de las pruebas de carga dinámica, que es aplicada a cada pilote evaluado.

A continuación, se representa de una forma más grafica en la fig. 51 observando que podemos utilizar un factor de seguridad mayor a 1 y menor a 1,5 con toda certeza.

Figura 50

Representación Gráfica de Resultados de Factores de Seguridad en Método Vesic.



Nota: En la presente figura se observan la relación del método Vesic con las Pruebas de Carga Dinámica aplicando un factor de seguridad de 1,40.

Método Aoki Velloso

Tabla 44

Factores de seguridad con respecto al Método Aoki Velloso en la Pila 2

Pila 2 - Aoki Velloso						
Factor de seguridad	1	1.5	2	2.5	3	4
Aoki velloso	2831	1888	1416	1133	944	708
PDA	1987.3	1987.3	1987.3	1987.3	1987.3	1987.3

Nota: Obtención de resultados de factores de seguridad en la Pila 2 evaluado por el método de Aoki Velloso.

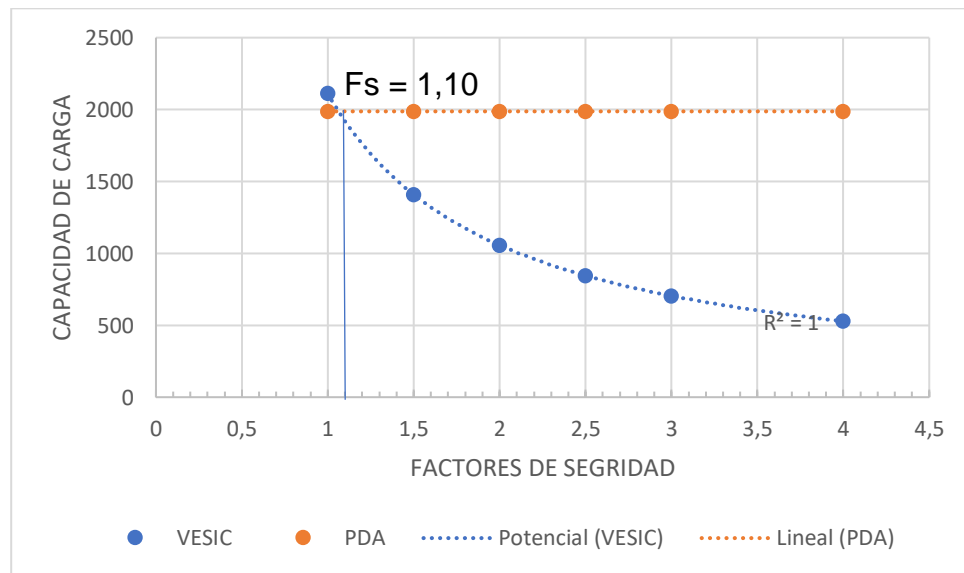
En la presente Tabla se observa que el Método de Aoki Velloso se tiene como resultado capacidad de carga de 3367 Ton/m² en la Pila 2, notando una relación de resultados con las pruebas de carga dinámica será igual su capacidad de carga al utilizar un factor de seguridad de 3,03.

Al utilizar dicho factor de seguridad se va a obtener un resultado de capacidad de carga igual a la de las pruebas de carga dinámica cuyo valor es 1110,1 Ton/m². Es decir, al aplicar dicho factor de seguridad se está demostrando que se pueden obtener valores iguales a los resultados de las pruebas de carga dinámica, que es aplicada a cada pilote evaluado.

A continuación, se presenta de una forma más grafica en la fig. 52 observando que se puede utilizar un factor de seguridad mayor a 3 y menor a 4 con toda certeza.

Figura 51

Representación Gráfica de Resultados de Factores de Seguridad en Método de Aoki Velloso



Nota: En la presente figura se observan la relación del método Aoki Velloso con las Pruebas de Carga Dinámica aplicando un factor de seguridad.

4.5.5 Pila 1

Los factores de seguridad a utilizar para cada método serán de 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 4.

Método Meyerhof.

Tabla 45

Factores de seguridad con respecto al Método Meyerhof en la Pila 1

Pila 1 -Meyerhof						
Factor de seguridad	1	1.5	2	2.5	3	4
Meyerhof	3497	2331	1748	1399	1166	874
PDA	2874.5	2874.5	2874.5	2874.5	2874.5	2874.5

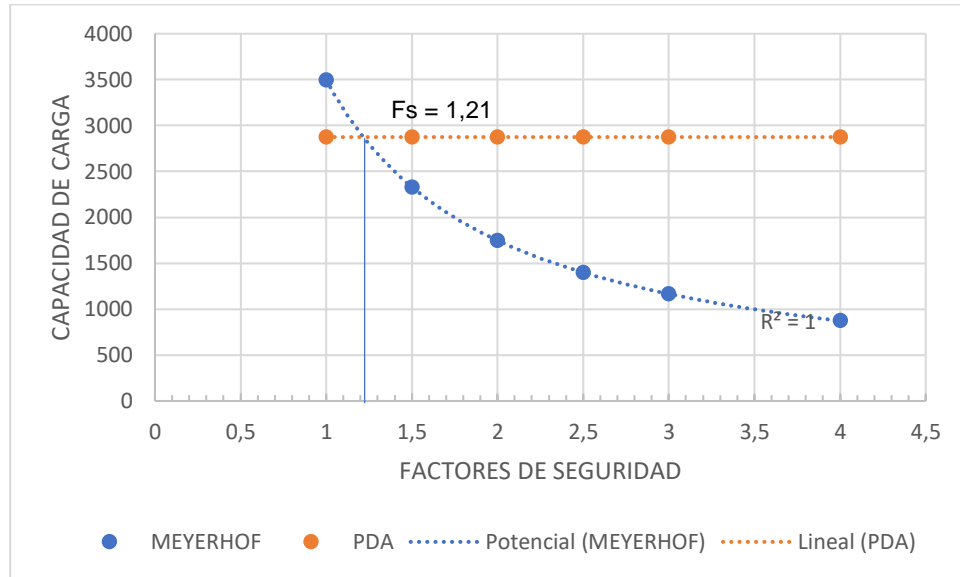
Nota: Obtención de resultados de factores de seguridad en la Pila 1 evaluado por el método de Meyerhof.

En la presente Tabla podemos darnos cuenta de que en el método de Meyerhof va a tener una similitud en resultados con las pruebas de carga dinámica al utilizar un factor de seguridad de 1,22. Es decir que al aplicar dicho factor de seguridad vamos a obtener una capacidad de carga igual a la de las pruebas de carga dinámica.

A continuación, lo representamos de una forma más grafica en la fig. 53 observando que podemos utilizar un factor de seguridad mayor a 1 y menor a 1,5 con toda certeza.

Figura 52

Representación Gráfica de Resultados de Factores de Seguridad en Método de Meyerhof



Nota: En la presente figura se observan la relación del método Meyerhof con las Pruebas de Carga Dinámica aplicando un factor de seguridad de 1,22.

Método Vesic.

Tabla 46

Factores de seguridad con respecto al Método Vesic en la Pila 1

Pila 1 - Vesic						
Factor de seguridad	1	1.5	2	2.5	3	4
Vesic	2967	1978	1484	1187	989	742
PDA	2874.5	2874.5	2874.5	2874.5	2874.5	2874.5

Nota: Obtención de resultados de factores de seguridad en la Pila 1 evaluado por el método de Vesic.

En la presente Tabla se observa que el Método de Vesic tiene como resultado de capacidad de carga 2967 Ton/m² en la Pila 1, notando una relación de resultados similar

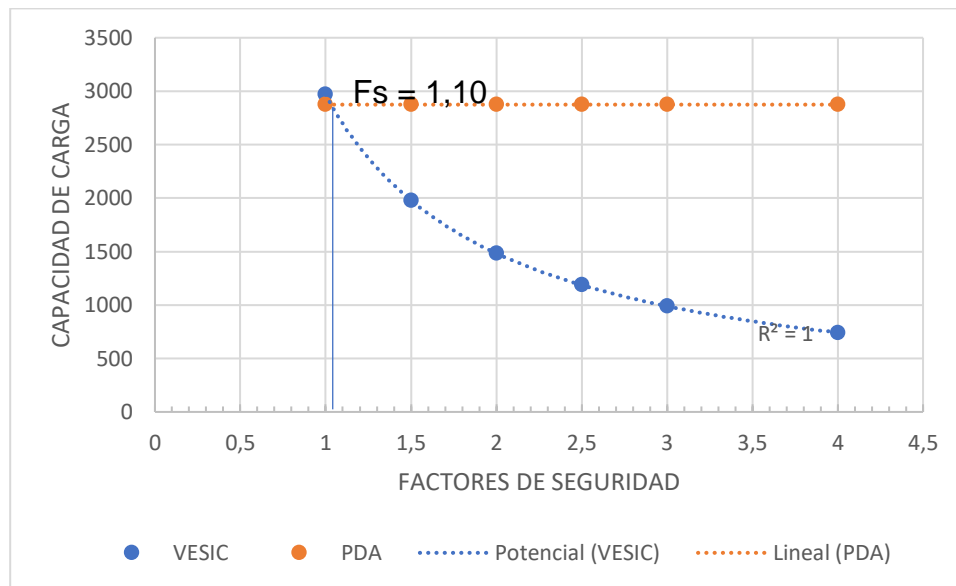
a los resultados de las pruebas de carga dinámica ya que se utilizó un factor de seguridad de 1.03.

Al utilizar dicho factor de seguridad se obtiene un resultado de capacidad de carga igual a la de las pruebas de carga dinámica cuyo valor es 2874,5 Ton/m². Es decir, al aplicar dicho factor de seguridad se está demostrando que se pueden obtener valores iguales a los resultados de las pruebas de carga dinámica, que se aplicada a cada pilote evaluado.

A continuación, se presenta de una forma más grafica en la fig.54 observando que puede utilizar un factor de seguridad mayor a 1 y menor a 1,5 con toda certeza.

Figura 53

Representación Gráfica de Resultados de Factores de Seguridad en Método Vesic.



Nota: En la presente figura se observan la relación del método Vesic con las Pruebas de Carga Dinámica aplicando un factor de seguridad de 1,03.

Método Aoki Velloso

Tabla 47

Factores de seguridad con respecto al Método Aoki Velloso en la Pila 1

Pila 1 - Aoki Velloso						
Factor de seguridad	1	1.5	2	2.5	3	4
Aoki velloso	4801	3200	2400	1920	1600	1200
PDA	2874.5	2874.5	2874.5	2874.5	2874.5	2874.5

Nota: Obtención de resultados de factores de seguridad en la Pila 1 evaluado por el método de Aoki Velloso.

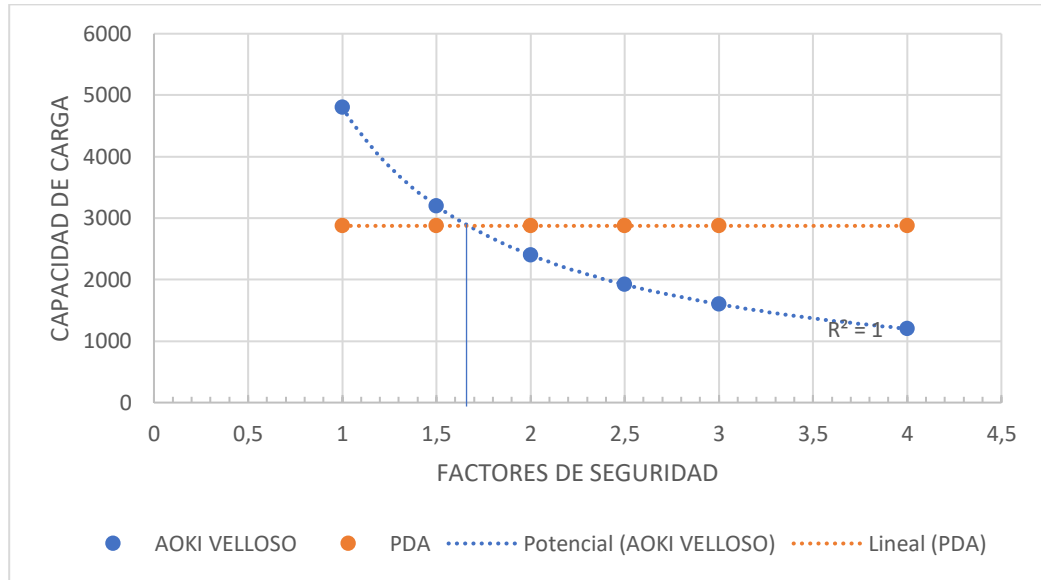
En la presente Tabla se observa que el Método de Aoki Velloso se tiene como resultado la capacidad de carga de 4801 Ton/m² en la Pila 1, notando en una relación de resultados con las pruebas de carga dinámica será igual su capacidad de carga al utilizar un factor de seguridad de 1.67.

Al utilizar dicho factor de seguridad vamos a obtener un resultado de capacidad de carga igual a la de las pruebas de carga dinámica cuyo valor es 2874,5 Ton/m². Es decir, al aplicar dicho factor de seguridad se está demostrando que se pueden obtener valores iguales a los resultados de las pruebas de carga dinámica, que es aplicada a cada pilote evaluado.

A continuación, se presenta de una forma más grafica en la fig. 55 observando que podemos utilizar un factor de seguridad mayor a 1,5 y menor a 2 con toda seguridad.

Figura 54

Representación Gráfica de Resultados de Factores de Seguridad en Método de Aoki Velloso



Nota: En la presente figura se observan la relación del método Aoki Velloso con las Pruebas de Carga Dinámica aplicando un factor de seguridad de 1,67.

4.5.6 Estribo 1

Los factores de seguridad a utilizar para cada método serán de 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 4.

Método Meyerhof.

Tabla 48

Factores de seguridad con respecto al Método Meyerhof en el Estribo 1

Estribo 1 -Meyerhof						
Factor de seguridad	1	1.5	2	2.5	3	4
Meyerhof	3497	2331	1748	1399	1166	874
PDA	2475.0	2475.0	2475.0	2475.0	2475.0	2475.0

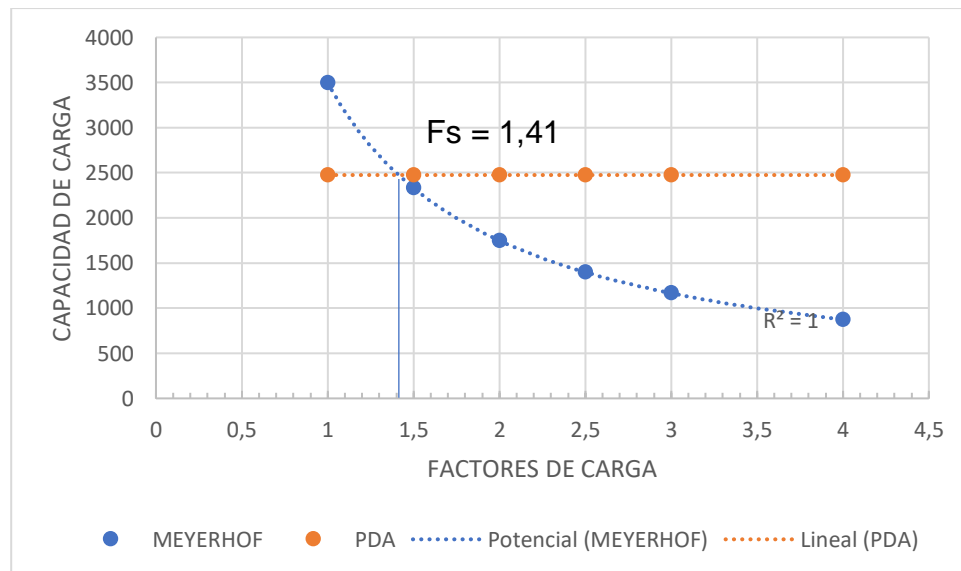
Nota: Obtención de resultados de factores de seguridad en Estribo 1 evaluado por el método de Meyerhof.

En la presente Tabla se observa que en el método de Meyerhof va a tener una similitud en resultados con las pruebas de carga dinámica al utilizar un factor de seguridad de 1,41. Es decir que al aplicar dicho factor de seguridad se va a obtener una capacidad de carga igual a la de las pruebas de carga dinámica.

A continuación, se presenta de una forma gráfica en la fig. 56 observando que se puede utilizar un factor de seguridad mayor a 1 y menor a 1,4 con toda certeza.

Figura 55

Representación Gráfica de Resultados de Factores de Seguridad en Método de Meyerhof



Nota: En la presente figura se observan la relación del método Meyerhof con las Pruebas de Carga Dinámica aplicando un factor de seguridad de 1,41.

Método Vesic.

Tabla 49

Factores de seguridad con respecto al Método Vesic en el Estribo 1

Estribo 1 - Vesic						
Factor de seguridad	1	1.5	2	2.5	3	4
Vesic	3357	2238	1679	1343	1119	839
PDA	2475.0	2475.0	2475.0	2475.0	2475.0	2475.0

Nota: Obtención de resultados de factores de seguridad en Estribo 1 evaluado por el método de Vesic.

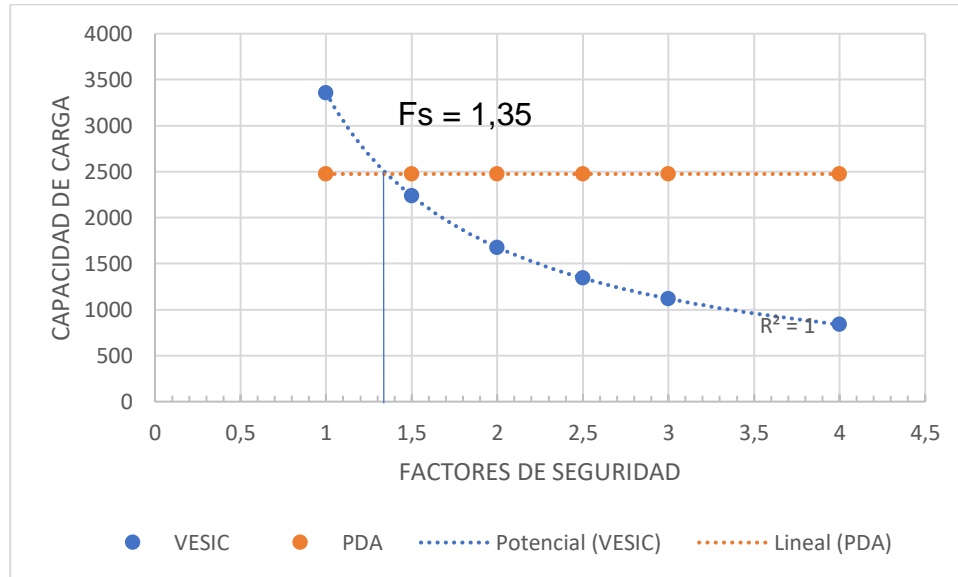
En la presente Tabla se observa que el Método de Vesic tiene como resultado la capacidad de carga de 3357 Ton/m² en este Estribo 1, notando una relación de resultados, similar a las pruebas de carga dinámica ya que se utilizó un factor de seguridad de 1.35.

Al utilizar dicho factor de seguridad se obtiene un de capacidad de carga igual a la de las pruebas de carga dinámica cuyo valor es 2475,0 Ton/m². Es decir, al aplicar dicho factor de seguridad se está demostrando que se pueden obtener valores iguales a los resultados de las pruebas de carga dinámica, que es aplicada a cada pilote evaluado.

A continuación, se presenta de una forma más grafica en la fig. 57 observando que podemos utilizar un factor de seguridad mayor a 1 y menor a 1,5 con toda certeza.

Figura 56

Representación Gráfica de Resultados de Factores de Seguridad en Método Vesic.



Nota: En la presente figura se observan la relación del método Vesic con las Pruebas de Carga Dinámica aplicando un factor de seguridad de 1,35.

Método Aoki Velloso

Tabla 50

Factores de seguridad con respecto al Método Aoki Velloso en el Estribo 1

Estribo 1 - Aoki Velloso						
Factor de seguridad	1	1.5	2	2.5	3	4
Aoki velloso	4136	2757	2068	1654	1379	1034
PDA	2475.0	2475.0	2475.0	2475.0	2475.0	2475.0

Nota: Obtención de resultados de factores de seguridad en Estribo 1 evaluado por el método de Aoki Velloso.

En la presente Tabla se observa que el Método de Aoki Velloso se tiene como resultado la capacidad de carga de 4505 Ton/m² en el Estribo 1, notando una relación de

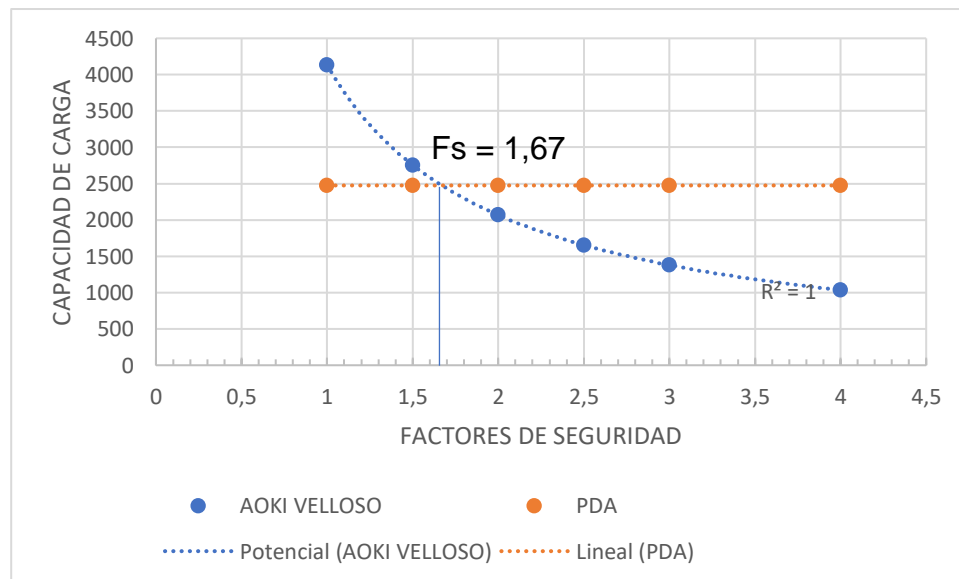
resultados con las pruebas de carga dinámica, la cual será igual su capacidad de carga al utilizar un factor de seguridad de 1.82.

Al utilizar dicho factor de seguridad se va a obtener un resultado de capacidad de carga igual a la de las pruebas de carga dinámica cuyo valor es 2475,0 Ton/m². Es decir, al aplicar dicho factor de seguridad estamos demostrando que se pueden obtener valores iguales a los resultados de las pruebas de carga dinámica, que es aplicada a cada pilote evaluado.

A continuación, se presenta de forma más grafica en la fig. 58 observando que podemos utilizar un factor de seguridad mayor a 1,5 y menor a 2 con toda certeza.

Figura 57

Representación Gráfica de Resultados de Factores de Seguridad en Método de Aoki Velloso



Nota: En la presente figura se observan la relación del método Aoki Velloso con las Pruebas de Carga Dinámica aplicando un factor de seguridad de 1,82.

4.6 Cálculo de número de pilotes

Tabla 51

Valores de capacidad de carga sin aplicar factor de seguridad

Método	E2	P4	P3	P2	P1	E1
Meyerhof	1674	2213	2224	1954	3497	3497
Vesic	1254	1823	1827	1559	2967	3357
Aoki veloso	84	2453	3105	3320	4578	5096
PDA	957.0	1266.7	2991.7	1987.3	5017.6	2475.0

Nota: La tabla muestra los resultados generales de los diferentes métodos teóricos utilizados y los resultados de las pruebas PDA.

Tabla 52

Datos generales de los pilotes

Pilote	N° de pilotes	Diámetro
E2	8	1.2
P4	6	1.75
P3	6	1.75
P2	6	1.75
P1	6	2.2
E1	4	2.2

Nota: La tabla muestra los datos generales de cada pilote

Para el cálculo del pilote E2 se tomó el siguiente análisis:

Para el cálculo de Factor de seguridad (F_S), se escoge el valor de la capacidad última y se la divide por el valor de la capacidad admisible del proyecto

$$(F_S) = \frac{1511.01}{590} = 2.56$$

Se toma el valor de la capacidad admisible Q_a del ensayo PDA del proyecto realizado

$$Q_a = 590$$

Se toma el valor de la capacidad última Q_u del ensayo PDA del proyecto realizado

$$Q_u = 1511.01$$

El número de pilotes adquiridos para el diseño del proyecto

$$N^\circ = 8$$

El factor de Seguridad que se le asume, después de haber realizado los resultados con los diferentes métodos teóricos anteriormente.

$$(F_s) = 1.44$$

Para sacar el nuevo valor de la capacidad admisible se toma el resultado de la capacidad última dividido para el factor de seguridad asumido

$$Q_a = \frac{1511.01}{1.44} = 1049$$

Con el nuevo valor de la capacidad admisible dividido con el valor obtenido de la capacidad admisible multiplicado por los pilotes del proyecto servirá para obtener el nuevo número de pilotes.

$$N^\circ \text{ Pilotes del proyecto} * Q_a$$

$$8 * 590$$

Esto da como producto 4 pilotes obtenidos con los resultados de los diferentes métodos teóricos.

Tabla 53*Factores de seguridad*

	E2	P4	P3	P2	P1	E1
Diámetro	1.2	1.75	1.75	1.75	2.2	2.2
(F_S)	2.6	2.22	2.22	2.22	2.34	2.48
Qa (Proyecto)	590	759.22	696.92	709.97	2273.1	998.24
N° Pilote	8	6	6	6	6	4
Qu	1511.01	1687.16	1548.71	1577.72	5312.29	2471.6
(F_S) Asumido	1.44	1.71	1	1.15	1	1.6
Qa	1049	986.64	1548.71	131.93	5312.29	1544.75
N° Pilotes Nuevo	4	6	4	4	4	4

Nota: La tabla muestra los factores de seguridad utilizados para la obtención de los nuevos pilotes asumidos.

Tabla 54*Numero de pilotes y costo total*

Método	Factores de Capacidad de Carga					
	E2	P4	P3	P2	P1	E1
Meyerhof	1.8	1.8	1.1	1.8	1.2	1.4
Vesic	1.3	1.4	1.0	1.4	1.0	1.4
Aoki Velloso	1.3	1.9	1.6	3.0	1.7	1.8
#Pilotes Proyecto	8.0	6.0	6.0	6.0	6.0	4.0
#Pilotes Actuales	9.0	9.0	4.0	4.0	6.0	4.0
Diámetro de pilotes m	1,2 m	1,75m	1,75m	1,75m	2,20 m	2,20 m
Costo por pilote Proyecto\$	37,179.00	76,128.00	76,128.00	76,128.00	86,390.91	86,390.91
Costo total pilotes Proyecto\$	297,432.00	456,768.00	456,768.00	456,768.00	518,345.46	345,563.64
Costo total de Pilotes Investigación	334,611.00	685,152.00	304,512.00	304,512.00	\$518,345.46	345,563.64

Nota: La tabla muestra el resumen completo de la investigación realizada dando a conocer el costo y beneficio al utilizar los diferentes factores de seguridad

El número de pilotes con el que se ha diseñado esta investigación se tiene diferencias con el número de pilotes calculado con las pruebas PDA, esto se debe a que se debía sacar los factores de seguridad asumiendo valores ya obtenidos de los cálculos anteriores, ya que esto facilitaba para sacar el numero nuevo de pilotes que esta

investigación quiere demostrar siendo así, se observa que se puede reducir el costo de los pilotes, ya que cada pilote tiene un costo diferente dependiendo de su diámetro, el de pilote D=1,20m barrenado, camisa metálica perdida, acero de refuerzo y hormigonado $f_c=350 \text{ kg/cm}^2$, inc. pruebas integridad y PDA= US\$ 37179. Incluye la descripción anterior D=1.75m el costo por pilote es \$76128, el Costo de 1 pilote D=2.20m., es de \$86390.91

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

En conclusión, al realizar el análisis de resultados de los distintos métodos tradicionales para obtener los diferentes resultados de los pilotes, se puede llegar a las siguientes afirmaciones

- Con los resultados obtenidos se concluye que las pruebas de carga dinámica de alta deformación PDA (High Strain Testing of Driven Piles) realizadas a los pilotes: Estribo 2, Pila 4, Pila 3, Pila 2, Pila 1, Estribo 1, fueron obtenidas bajo la normativa ASTM D4945. Como se observó al final de los resultados la pila 4 se obtuvo una capacidad de carga por punta de 971,97 ton. La pila 3 una capacidad de carga total por punta y fuste de 2991,69 ton. La pila 2 tiene una capacidad de carga total por punta y fuste 1987,29 ton. La pila 1 se obtuvo una capacidad de carga por punta de 2874,47 ton. El estribo 1 se obtuvo una capacidad de carga por punta de 1668,35; en el estribo 2 se obtuvo una capacidad de carga por punta de 678,88 ton.
- Con los resultados de los cálculos de la capacidad de carga en los pilotes del proyecto PUENTE SOBRE EL ESTERO EL MUERTO QUE UNE LOS SECTORES: ISLA TRINITARIA- MALVINAS EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL mediante los autores Meyerhof, Vesic, Aoki Velloso y con la relación de la capacidad de carga obtenida por los ensayos PDA, se concluye que se debe aplicar un factor de seguridad para la capacidad de punta para el criterio de Meyerhof de 3, para Vesic de 2 y Aoki Velloso de 2; y para la capacidad de carga en fuste de 2 para todos los criterios de análisis.

- La capacidad de carga calculada por los métodos tradicionales como son Meyerhof, Vesic, Aoki Velloso en comparación con la capacidad de carga obtenida mediante las pruebas PDA mostraron los siguientes coeficientes de variación; en el método de Meyerhof (1,20% con relación a la prueba PDA), Método de Vesic (1,24% con relación a la prueba PDA), Método de Aoki Velloso el (0,78% con relación a la prueba PDA). Se concluye que el método que menor variación alcanzó es el método de Aoki Velloso.

5.2 Recomendaciones

- Con este proyecto de investigación se dará a conocer la necesidad de realizar este tipo de pruebas por lo tanto se recomienda a los gobiernos autónomos descentralizados, implementarlas y así verlo como una inversión y no como un gasto, al utilizar de manera obligatoria este tipo de pruebas de carga dinámica de alta deformación PDA (High Strain Testing of Driven Piles) en pilotes ayudara a obtener resultados confiables con respecto a la resistencia por punta y por fricción, ya que estas son pruebas de campo realizadas directamente a los pilotes, cuyos resultados influirán en toma de decisiones en el momento de ejecución de la obra para asegurar el tiempo de vida útil de la misma.
- Se recomienda realizar pruebas de integridad en los pilotes (CROSS HOLE) esta prueba de integridad se hace para revisar si dentro de un grupo de pilotes hubo algún pilote que tuvo algún defecto constructivo, si esa prueba de integridad arroja valores malos es ahí donde se hace la prueba de carga dinámica PDA, para comprobar si ese problema que detecto la prueba de integridad afecta en la capacidad de la carga del pilote.
- Se recomienda que este trabajo de investigación sirva de aporte para futuras investigaciones sobre este tema y de esta forma sacarles más provecho a las pruebas PDA como herramienta de diseño de cimentaciones profundas. Capacitar a profesionales sobre el funcionamiento y aplicación de las pruebas de carga dinámica PDA, ya que en la actualidad no se encuentran suficiente información al respecto, y la que está disponible se encuentra generalmente en otros idiomas que imposibilitan llegar a muchas más personas interesadas en el tema

BIBLIOGRAFÍA

- Ahmed Fuentes Alemán. (2008). Confección de la Propuesta de Norma de Diseño Geotécnico de Cimentaciones sobre Pilotes. *Universidad Central de las Villas*, 106. [http://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/3424/Ahmed Fuentes.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/3424/AhmedFuentes.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Alexander, L. D. B. P. G. O. B. (2018). *EVALUACIÓN ECONÓMICA: CIMENTACIÓN SOBRE LOSA VS CIMENTACIÓN DE PLINTOS COMBINADOS SOBRE MICROPILOTES. CASO DE ESTUDIO RESIDENCIA PINDUISACA QUIT.*
- Alkroosh, I., & Nikraz, H. (2012). Predicting axial capacity of driven piles in cohesive soils using intelligent computing. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 25(3), 618-627. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2011.08.009>
- Alva Hurtado, J. E. (2018). Cimentaciones Profundas. *Comité Peruano de Mecánica de suelos, fundaciones y Mecánica de rocas*, 37. http://www.jorgealvahurtado.com/files/labgeo25_a.pdf
- Amel BENALI, Bakhta BOUKHATEM, M. N. H., & Ammar NECHNECH, M. K. (2015). Prediction of Axial Capacity of Piles Driven in Non-Cohesive. *Of, Journal Engineering, Civil*, 23(3), 393-408.
- Arregui, D. (2010). *Encepado y Diseño Estructural en Cimentaciones Profundas, aplicado al Proyecto Puente Bahía, Ubicado en Bahía de Caraquez*. 1-107. [http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/11152/Análisis y diseño de un sistema de información para una empresa de transporte pesado%2C basado en la Metodología UML.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/11152/Análisis%20y%20diseño%20de%20un%20sistema%20de%20información%20para%20una%20empresa%20de%20transporte%20pesado%2C%20basado%20en%20la%20Metodología%20UML.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Aspiazu, A. C. C. (2010). *Pruebas Dinamicas de Alta deformacion y su relacion con los calculos teoricos*. 192.
- Barreto Maya, A. P., Valencia Gonzales, Y., & Echeverria Ramirez, O. (2013). Comparative Evaluation of Load Capacity in Deep Foundations. Analytical Formulations and Load Tests. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, 33, 93-110.

- Beira Fontaine, E. (2013). ESTIMACIÓN DE CAPACIDAD DE CARGA DE PILOTES A TRAVÉS DE ENSAYOS DE CAMPO. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689-1699.
- Beltrán Cueva, J. R., & Díaz Vargas, D. A. (2018). Análisis de la capacidad de carga admisible de los suelos de cimentación del complejo arqueológico Chan Chan debido al ascenso del nivel freático. En *Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)*. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/625746>
- Bolognesi, A. J. L. (2003). Ensayos De Carga Estáticos De Compresión En Pilotes. *Boletín Sociedad. Argentina de Ingeniería Geotécnica*, 2003, No43: 13-22, 13-22.
- Braja M. Das. (2011). *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones*.
- CEVACONSLT. (s. f.). *Puente sobre el estero el muerto*.
- Corsa, G. (2019). *MANUAL DE PILOTES METÁLICOS SECCIÓN IR*. 68.
- De, E., & México, V. De. (2018). *Empleo de pilotes metálicos en la zona lacustre del Valle de México, una opción viable*. 1-9.
- De la Cruz Ninanya, K. S. (2018). Evaluación de la capacidad de carga de pilotes excavados en arcillas a través de métodos estáticos y pruebas de carga. *Universidad Ricardo Palma*, 1-147. http://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/urp/989/SP_VALDEZ_AB.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Eduardo, C. R. E. G. A. (2014). ANÁLISIS PARA LA REDUCCIÓN DE COSTOS EN LA CONFORMACIÓN DE ANILLOS EN POZOS DE CIMENTACIÓN (CAISSON'S. *Tetrahedron Letters*, 55, 3909.
- Eliezer, castillo martinez. (2010). *Marina Gaviota en Varadero Trabajo de Diploma Índice*. <https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/6004/C10062.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- ESCUELA POLITÉCNICA EL EJERCITO. (2013). *Teoría De Pilotes Ante Carga*

Estática. Mc, 44. <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/1724/15/T-ESPE-027424-5.pdf>

Fernandes Bonan, V. H., Sampaio Moura, A., Llanque Ayala, G. R., Fernandes Bonan, V. H., Sampaio Moura, A., & Llanque Ayala, G. R. (2020). Estudio experimental del efecto de grupo de pilotes cortos excavados en un perfil de suelo granular. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 28(2), 323-334. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052020000200323>

G, E Javier Aguilar; Franco, A. (s. f.). «*Puente sobre estero EL MUERTO Isla Trinitaria*».

G, E. J. A. (s. f.). “ *Puente sobre estero EL MUERTO Isla*.”

G, E. J. A., & Franco, A. (s. f.-a). “ *Puente sobre estero EL MUERTO Isla*.”

G, E. J. A., & Franco, A. (s. f.-b). “ *Puente sobre estero EL MUERTO Isla Trinitaria*”.

G, E. J. A., & Franco, A. (s. f.-c). *ENSAYOS PDA “ Puente sobre estero EL MUERTO Isla Trinitaria ”*.

G, E. J. A., & Franco, A. (2020). “ *Puente sobre estero EL MUERTO Isla Trinitaria*”. 6, 4.

Gabriel Camisão Nogueira. (2017). *Trabalho de de curso apresentado ao curso de Bacharelado em Engenharia Civil , como requisito parcial de conclusão de curso . Área de concentração : Geotecnia*. 48.

Gavidia Pinedo, L. M. (2019). EVALUACIÓN DE CAPACIDAD DE CARGA DE PILOTES MEDIANTE MÉTODOS TEÓRICOS Y SEMIEMPÍRICOS PARA EL DESEMBARCADERO PESQUERO ARTESANAL DE CERRO AZUL, CAÑETE. *Ucv*, 1-86.

Gaviria, C. A., Gómez, D., & Thomson, P. (2009). Evaluación de la integridad de cimentaciones profundas: Análisis y verificación in situ. *DYNA (Colombia)*, 76(159), 23-33.

Gil, R. (s. f.). Pruebas de Carga en Cimentaciones Profundas. *Rodio Kronsa*, 1-27.

<https://fernandeztadeo.com/Adobe/PRUEBAS DE CARGA EN CIMENTACIONES PROFUNDAS RODIO KRONSA.pdf>

Global, G. (2020). *Resistencia a La Corrosion De Acero Al Carbono Comercial En. 2, 3-4.*

Gonzalez, V. (2008). *ANALISIS DE LAS VARIABLES IMPLICADAS EN EL ENSAYO PRUEBA DE CARGA DINÁMICA (PDA) SOBRE PILOTES, TANTO PARA SUELOS VISCOSOS COMO PARA SUELOS GRANULARES.*

Granda, N., & Vallejo, A. (2016). *Diseño y Análisis de Pilotes en el Proyecto Sub-Línea de Distribución Quevedo-Mocache.* 149.
<http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/12646/DISEÑO Y ANÁLISIS DE PILOTES.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Guerrera Davila, G. E. (2011). *“ANÁLISIS Y DISEÑO DE CIMENTACIONES PROFUNDAS PARA MUELLES EN AMBIENTES ESTUARINOS EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL”.*

Hernán, M. (2019). *Diámetro En Loess Pampeano Vía Prueba De Carga. 1, 1-11.*

Hincapie, W. N. A. (2014). *VERIFICACIÓN DE CAPACIDAD DE CARGA PARA PILOTES HINCADOS EN SUELOS BLANDOS. Lincoln Arsyad, 3(2), 1-106.*
<http://journal.stainkudus.ac.id/index.php/equilibrium/article/view/1268/1127>

Hinostroza, B., & Medina, P. (2021). *Evaluación de la capacidad de carga axial de pilotes tubulares de acero instalados en estratos de arena limosa y grava arenosa del puerto del Callao ; utilizando métodos analíticos y resultados de prueba de carga dinámica.*

Humala, P., & Peñafiel, O. (2012). *Estudio de Pilotes y Micro pilotes, Enfocados al Diseño y Solución a Problemas de Estructuras Viales.* 133.

Ibañez Mora, Luis O., & Quevedo Sotolongo, Gilberto, & Maestre, M. A. (2006). *Aplicación de la modelización matemática en la realización de pruebas de carga en cimentaciones sobre pilotes. Universidades, 32, 49-62.*

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37303208>

Jaramillo Garro, M. A. (2019). *Capacidad admisible mediante los métodos de Terzagui y Meyerhof para diseño de cimentaciones, Recuay-Ancash*. 108.

José Eduardo, Moreno Bañuelos; Humberto, P. M. (2017). Iii Congreso Nacional De Riego Y Drenaje Comeii 2017 Calibración Y Caracterización De Un Sensor De. *Comeii-17040*, 485(July), 1-11.

JUAN, C. L., & PATRICIO. (2018). DESARROLLO DE METODOLOGÍA DE CONSTRUCCIÓN DE PILOTAJE DE AGUAS PROFUNDAS EN TERMINAL DE POSORJA. *Computers and Industrial Engineering*, 2(January), 6. <http://ieeauthorcenter.ieee.org/wp-content/uploads/IEEE-Reference-Guide.pdf><http://wwwlib.murdoch.edu.au/find/citation/ieee.html><https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.07.022><https://github.com/ethereum/wiki/wiki/White-Paper><https://tore.tuhh.de/hand>

Kiefa, M. A. A. (1998). General regression neural networks for driven piles in cohesionless soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 126(9), 855-855. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2000\)126:9\(855.x\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2000)126:9(855.x))

Likins, George; Rausche, F. (2008). What constitutes a good PDA test? *The 8th International Conference on the Application of Stress Wave Theory to Piles*, 403-405.

Loayza Romero, S. E. (2018). CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL TEMA : BALENITA EN BASE A PRUEBAS DE CARGA DINÁMICA AUTOR : Loayza Romero , Santiago Edmundo Trabajo de titulación previo a la obtención del título de INGENIERO CIVIL TUTOR : Ing . Caicedo Aspiazu , Adolfo Carlos , M . Sc . Gu. *DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE DE ARCILLAS DURAS Y LUTITAS EN LA ZONA COSTERA DE BALENITA EN BASE A PRUEBAS DE CARGA DINÁMICA*.

Luján, E. F., & Alva Hurtado, J. E. (2003). *Evaluacion de la capacidad de carga dinamica de pilotes usando la ecuacion de onda*. 1-13.

- Maya, Á. P. B. (2011). Evaluación Comparativa De La Capacidad De Carga En Cimentaciones Profundas. Fórmulas Analíticas Y Ensayos De Carga. En *Boletín de Ciencias de la Tierra* (Vol. 0, Número 33). <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/9815/43987506.2011.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Moayedi, H., Mosallanezhad, M., & Nazir, R. (2017). Evaluation of Maintained Load Test (MLT) and Pile Driving Analyzer (PDA) in Measuring Bearing Capacity of Driven Reinforced Concrete Piles. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 54(3), 150-154. <https://doi.org/10.1007/s11204-017-9449-1>
- Momeni, E., Dowlatshahi, M. B., Omidinasab, F., Maizir, H., & Armaghani, D. J. (2020). Gaussian Process Regression Technique to Estimate the Pile Bearing Capacity. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 45(10), 8255-8267. <https://doi.org/10.1007/s13369-020-04683-4>
- Montoya, J. (2010). *Universidad de Los Andes Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería Geológica*. 34. <https://avdiaz.files.wordpress.com/2008/08/cimentaciones-y-fundaciones.pdf>
- Morales, W. (2009). Determinación De La Capacidad De Carga Última De Pilotes a Diferentes Estratos Para El Diseño De Cimentación Profunda En Puentes Con Aplicación Al Proyecto Esmeraldas. *Escuela Politécnica del Ejército*, 223. <http://repositorio.espe.edu.ec:8080/bitstream/21000/2058/1/T-ESPE-020939.pdf>
- Naveiras, D. L. (2018). *Estudio técnico-económico para la cimentación y estructura de contención de un edificio de viviendas en Sant Adrià del Besós (Barcelona)*. 1-39.
- NEC-SE-CEM. (2015). *NORMA ECUATORIANA DE CONSTRUCCIÓN DE LA GEOTECNIA Y CIMENTACIONES*. 2, 64.
- Nij Patzán, J. E. de J. (2009). Carga En Cimentaciones Superficiales , Losas De Cimentación , Pilotes Y Pilas Perforadas Carga En Cimentaciones Superficiales , Losas De. *Universidad de San Carlos de Guatemala*, 432. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/60832306/cimentaciones_en_taludes2019100

8-60565-1ouloe1.pdf?1570520146=&response-content-
disposition=inline%3B+filename%3DGUIA_PRACTICA_PARA_EL_CALCULO
_DE_CAPACID.pdf&Expires=1623696472&Signature=YVNfJdPzd6tLwcvKGET
j3

Orozco, J., & Ramirez, M. (2020). *Apuntes de Clase Enfocados A la Ingenieria De Cimentaciones*. 179.

Palacios Gaviria, J. F. (2019). ESTADO DEL ARTE DEL PROCESO DE INSTALACION DE PILOTES POR PRESIÓN ESTÁTICA, ANALIZANDO LAS TÉCNICAS Y CARACTERÍSTICAS QUE PERMITAN ESTABLECER SU POTENCIAL DE USO COMO ALTERNATIVA DE CIMENTACION PROFUNDA EN COLOMBIA. *Αραη*, 8(5), 55.

Pile Dynamics, I. (2001). Pile Driving Analyzer (PDA-8G). <Http://Www.Pile.Com/Pdi/Products/Pda/>. <https://www.pile.com/wp-content/uploads/2020/07/PDA-8G-PDI-Spanish-ProductDetail.pdf>

Pile Dynamics, I. (2019). *Sistema Pile Driving Analyzer® (PDA)*. <https://www.pile.com/products/sistema-pile-driving-analyzer-pda/?lang=es>

Pizarro Gutierrez, J. A., & Romero Colqui, J. M. (2017). *Análisis comparativo de asentamientos y capacidades de carga evaluados y esperados en pilotes perforados en los puentes Fortaleza y Crisnejas*. 164.

Placencia, K. (2014). Cálculo y Diseño de Pilotes para El Puente Naranjal 1(Pna1) que forma parte del Proyecto Control de Inundaciones del Río Naranjal. *Universidad de Cuenca*, 118. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/20928/1/TESIS.pdf>

Puma Chambi, Noemi; Azaña Laura, V. (2020). Universidad peruana union. *Dirección general de Investigación*, 1-93. https://drive.google.com/file/d/1_IR8G2xOKhcG-2YVMyc1XXEeJ99GQQ2s/view

Quinga Loya, K. M. (2017). *Metodología para el cálculo de la capacidad de carga en*

pilotes, basado en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (N.E.C.) 2015.
<http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/12819>

Rodríguez, J. A., & Velandia, E. (2009). Optimización de Cimentaciones en suelos blandos de Bogotá. *Eci*.

Rojas Sacatuma, J. (2017). “Determinación de capacidad de carga del suelo empleando Método de Meyerhof para la cámara de bombeo del sector 309 - Villa María del Triunfo”. En *Universidad Andina del Cusco*.
http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47102/Gutierrez_RS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Santos Melgarejo, Y. (2016). *Aplicación de la Prueba de Integridad de Pilotes en puentes de Cayo Cruz, Camagiüey*. 105.

Sardon Tupayachi, Talia del Carmen; Sasaki Salazar, A. P. (2021). *excavados , estimados mediante métodos analíticos , semiempiricos y pruebas de carga . Aplicaciones en suelos gravosos y arcillosos en la costa del Perú*.

Savira, F., Suharsono, Y., Tamrat, W., Pasimeni, F., Pasimeni, P., Kecerdasan, I., Ikep, P., Shahan, A., Jahan, F., Samuels, R., Group, W. B., Charles, L. E., 中島, Smoke, P., Simplicio, A., Libâneo, J. C., Lindblom, C. E., Bilney, C., Pillay, S., ... LEMES, S. de S. (2017). ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS METODOLOGÍAS DE POULOS, MEYERHOF Y CCP14 DE CÁLCULO DE CARGA ÚLTIMA PARA PILOTES PRE EXCAVADOS EN SUELOS GRANULARES Y COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS CON CINCO PRUEBAS DE CARGA. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 21(2), 1689-1699.
[https://www.oecd.org/dac/accountable-effective-institutions/Governance Notebook 2.6 Smoke.pdf](https://www.oecd.org/dac/accountable-effective-institutions/Governance%20Notebook%202.6%20Smoke.pdf)

Terceros Herrera, M. A. (2016). *Resumen sobre la Investigación de la Adaptación, Mejora y Aplicación de La Tecnología Expander Body a Suelos y Rocas Blandas*. 47.

Urbina Palacios, R. F. (2004). Guía para el diseño de pilotes. *Universidad de Piura*, 77.
https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1370/ICI_114.pdf?sequence=1

Vega Velez, M. del C. (2005). EVALUACION DE MÉTODOS ESTÁTICOS Y DINÁMICOS PARA PREDECIR CAPACIDAD DE CARGA EN FUNDACIONES PROFUNDAS USANDO BASE DE DATOS PILEACT. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 130(2), 556. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaci.2012.05.050>

ANEXOS

Anexo 1

Instalación del martillo hidráulico



Anexo 2

Equipo Pile Dynamics inc.



Anexo 3

Instalación de martillo hidráulico con pilote.



Anexo 4

Gabarra que transporta el martillo



Anexo 5

Visita de tesista



Anexo 6

Instalación de sensores en pilotes



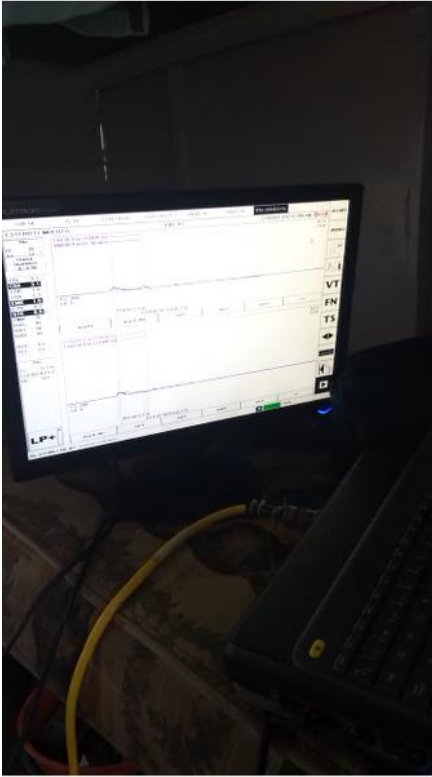
Ecuación 7

Momento exacto de ejecución de la prueba PDA



Anexo 8

Programa Capwap



Anexo 9

Sondeos de los Pilotes




Anexo 10

Reunión Tesistas

The screenshot shows a Zoom meeting window with two participants: Mayli Baque and Alvarez Gabriela. The main content is a presentation slide titled "ANEXOS". The slide contains the following text:

Anexo 1
Instalación del martillo hidráulico



Anexo 2
Equipo Pile Dynamics Inc.

Anexo 11

Reunión del Tutor y Tesistas

The screenshot shows a Zoom meeting window with three participants: Mayli Baque, Alvarez Gabriela, and CIC DANIEL C... The main content is a presentation slide with the following text:

E. Javier Aguilar G.
Ingeniero Civil

registro y otros índices de calidad de la señal. Se evaluó la energía transferida al pilote, su integridad y los esfuerzos máximos causados en el pilote durante la prueba.

4. Finalmente se estimó la resistencia última del pilote con ICAP, para el golpe con mayor energía.

Análisis de resultados
El detalle del análisis se presenta como anexo.

PILOTE	RESISTENCIA (TON)	Esfuerzo máximo (N/mm ²)	Energía transmitida (ton)	FUESTE (TON)	PUNTA (TON)
Pilote C1 PSLA 4	1366.66	-0.08	31.52	294.64	979.97

El software utilizado para la interpretación de las pruebas es el CAPWAP que combina las mediciones de campo con el FEA y la ecuación de onda del pilote por medio de un método analítico que puede predecir la capacidad de carga total y estática; la distribución de la resistencia por fricción y la resistencia de la punta considerando valores de amortiguamiento y rigidez del suelo.

Panel de firma

Buscar "Ocultar texto"

Exportar archivo PDF

Adobe Export PDF

Convertir archivo PDF a Word o Excel Online

Seleccionar archivo PDF

3-ENSAYOS_ed (1).pdf

Convertir a

Microsoft Word (.docx)

Idioma del documento:

Español Cambiar

Construir

Ver archivos convertidos

Editar PDF

Comente, edite y firme electrónicamente formularios y contratos PDF

Puede salir en 7 días

Invitar Reactivar mi audio

Anexo 12

Resumen de resultados de Capwap para el Estribo 2

Total CAPWAP Capacity: 956.94; along Shaft 277.06; at Toe 679.88 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
				956.9				
1	3.0	2.5	41.02	915.9	41.02	16.41	4.35	0.98
2	5.0	4.5	41.02	874.9	82.04	20.51	5.44	0.98
3	7.0	6.5	41.02	833.9	123.06	20.51	5.44	0.98
4	9.0	8.5	119.33	714.5	242.39	59.67	15.83	0.98
5	11.0	10.5	30.95	683.6	273.34	15.48	4.10	0.98
6	13.0	12.5	3.72	679.9	277.06	1.86	0.49	0.98
7	15.0	14.5	0.00	679.9	277.06	0.00	0.00	0.00
8	17.0	16.5	0.00	679.9	277.06	0.00	0.00	0.00
Avg. Shaft			34.63			16.79	4.45	0.98
Toe			679.88				601.15	1.49
Soil Model Parameters/Extensions					Shaft	Toe		
Quake		(mm)			7.427	2.312		
Case Damping Factor					0.26	0.96		
Damping Type					Viscous	Sm+Visc		
Reloading Level		(% of Ru)			100	100		
Unloading Level		(% of Ru)			20			
Soil Plug Weight		(tons)				1.002		
<hr/>								
CAPWAP match quality	=	4.00		(Wave Up Match) ; RSA = 0				
Observed: Final Set	=	0.001 mm;		Blow Count	=	1000000 b/m		
Computed: Final Set	=	3.263 mm;		Blow Count	=	306 b/m		
max. Top Comp. Stress	=	0.2 tons/cm ²	(T=	37.1 ms, max=	1.081 x Top)			
max. Comp. Stress	=	0.2 tons/cm ²	(Z=	14.0 m, T=	37.6 ms)			
max. Tens. Stress	=	-0.01 tons/cm ²	(Z=	14.0 m, T=	58.8 ms)			
max. Energy (EMX)	=	6.63 tons-m;	max. Measured Top Displ. (DMX)=	13.673 mm				

Anexo 13

Resumen de resultados de Capwap para el Pila 4

Total CAPWAP Capacity: 1266.66; along Shaft 294.69; at Toe 971.97 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	Quake mm
				1266.7				
1	5.2	2.4	62.89	1203.8	62.89	25.82	4.70	3.934
2	7.3	4.5	59.75	1144.0	122.64	28.53	5.19	3.935
3	9.4	6.6	8.83	1135.2	131.47	4.22	0.77	3.935
4	11.5	8.7	44.42	1090.8	175.89	21.21	3.86	3.935
5	13.6	10.8	78.35	1012.4	254.24	37.41	6.81	3.935
6	15.7	12.9	13.73	998.7	267.97	6.56	1.19	3.935
7	17.8	15.0	26.72	972.0	294.69	12.76	2.32	3.872
Avg. Shaft			42.10			19.65	3.57	3.929
Toe			971.97				404.10	1.000
Soil Model Parameters/Extensions					Shaft	Toe		
Smith Damping Factor					1.38	1.31		
Case Damping Factor					0.18	0.57		
Damping Type					Viscous	Sm+Visc		
Unloading Quake			(% of loading quake)	100	34			
Reloading Level			(% of Ru)	100	100			
Unloading Level			(% of Ru)	91				
Soil Plug Weight			(tons)		18.163			
CAPWAP match quality = 4.85 (Wave Up Match) ; RSA = 0								
Observed: Final Set = 0.001 mm; Blow Count = 1000000 b/m								
Computed: Final Set = 6.303 mm; Blow Count = 159 b/m								
Transducer F1 (M407) CAL: 147.9; RF: 1.00; F2 (M409) CAL: 145.5; RF: 1.00								
A3 (K2538) CAL: 370; RF: 1.00; A4 (K5122) CAL: 315; RF: 1.00								
max. Top Comp. Stress = 0.2 tons/cm ² (T= 21.8 ms, max= 1.032 x Top)								
max. Comp. Stress = 0.3 tons/cm ² (Z= 16.8 m, T= 26.0 ms)								
max. Tens. Stress = -0.08 tons/cm ² (Z= 6.3 m, T= 30.1 ms)								
max. Energy (EMX) = 31.52 tons-m; max. Measured Top Displ. (DMX)= 6.280 mm								

Anexo 14

Resumen de resultados de Capwap para el Pila 3

CAPWAP SUMMARY RESULTS									
Total CAPWAP Capacity: 2991.69; along Shaft 1018.87; at Toe 1972.82 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	Quake mm
				2991.7					
1	3.1	3.1	0.00	2991.7	0.00	0.00	0.00	0.00	3.525
2	5.1	5.1	0.00	2991.7	0.00	0.00	0.00	0.00	3.524
3	7.2	7.2	0.00	2991.7	0.00	0.00	0.00	0.00	3.524
4	9.2	9.2	22.40	2969.3	22.40	10.96	1.99	0.62	3.524
5	11.2	11.2	102.62	2866.7	125.02	50.20	9.13	0.62	3.524
6	13.3	13.3	201.24	2665.4	326.26	98.45	17.91	0.62	3.524
7	15.3	15.3	238.36	2427.1	564.62	116.61	21.21	0.62	3.524
8	17.4	17.4	238.36	2188.7	802.98	116.61	21.21	0.62	3.524
9	19.4	19.4	174.71	2014.0	977.69	85.47	15.55	0.62	3.211
10	21.5	21.5	39.28	1974.7	1016.97	19.22	3.50	0.62	2.901
11	23.5	23.5	1.90	1972.8	1018.87	0.93	0.17	0.62	2.597
12	25.6	25.6	0.00	1972.8	1018.87	0.00	0.00	0.00	2.274
13	27.6	27.6	0.00	1972.8	1018.87	0.00	0.00	0.00	2.782
14	29.6	29.6	0.00	1972.8	1018.87	0.00	0.00	0.00	2.680
Avg. Shaft			72.78			34.37	6.25	0.62	3.444
Toe			1972.82				820.21	0.83	1.888
Soil Model Parameters/Extensions						Shaft	Toe		
Case Damping Factor						0.28	0.73		
Damping Type						Viscous	Sm+Visc		
Unloading Quake			(% of loading quake)			63	113		
Reloading Level			(% of Ru)			100	100		
Unloading Level			(% of Ru)			36			
Resistance Gap (included in Toe Quake) (mm)							0.305		
Soil Plug Weight			(tons)				17.783		
CAPWAP match quality = 6.35 (Wave Up Match) ; RSA = 0									
Observed: Final Set				= 0.001 mm;		Blow Count		= 1000000 b/m	
Computed: Final Set				= 0.100 mm;		Blow Count		= 9999 b/m	
Transducer F1 (M248) CAL: 145.4; RF: 1.00; F4 (M409) CAL: 146.1; RF: 1.00									
A2 (K5238) CAL: 350; RF: 1.00; A3 (K5122) CAL: 307; RF: 1.00									
max. Top Comp. Stress				= 0.1 tons/cm ² (T= 37.9 ms, max= 1.182 x Top)					
max. Comp. Stress				= 0.1 tons/cm ² (Z= 11.2 m, T= 40.9 ms)					
max. Tens. Stress				= -0.03 tons/cm ² (Z= 13.3 m, T= 59.8 ms)					
max. Energy (EMX)				= 8.78 tons-m; max. Measured Top Displ. (DMX)= 7.711 mm					

Anexo 15

Resumen de resultados de Capwap para el Pila 2

Total CAPWAP Capacity: 1987.29; along Shaft 877.21; at Toe 1110.08 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	Quake mm
					1987.3			
1	3.0	2.5	99.10	1888.2	99.10	174.60	31.76	1.174
2	7.0	6.4	99.10	1789.1	198.20	68.66	12.49	1.174
3	10.1	9.4	99.10	1690.0	297.30	68.66	12.49	1.174
4	14.1	13.3	99.10	1590.9	396.40	68.66	12.49	1.174
5	17.2	16.3	99.10	1491.8	495.50	68.66	12.49	1.174
6	21.2	19.2	99.10	1392.7	594.60	68.66	12.49	1.174
7	24.3	22.2	99.10	1293.6	693.70	68.66	12.49	1.174
8	28.3	25.2	19.27	1274.3	712.97	13.35	2.43	1.174
9	31.4	28.1	35.67	1238.7	748.64	24.72	4.50	1.174
10	35.4	31.1	0.19	1238.5	748.83	0.13	0.02	1.174
11	37.5	35.0	128.38	1110.1	877.21	88.95	16.18	1.155
Avg. Shaft				79.75		58.48	10.64	1.171
Toe				1110.08			461.52	2.744
Soil Model Parameters/Extensions					Shaft	Toe		
Smith Damping Factor					1.31	1.31		
Case Damping Factor					0.52	0.65		
Damping Type					Viscous	Viscous		
Reloading Level			(% of Ru)		100	100		
Unloading Level			(% of Ru)		0			
Soil Plug Weight			(tons)			8.345		
CAPWAP match quality					= 4.81	(Wave Up Match) ; RSA = 0		
Observed: Final Set					= 0.001 mm;	Blow Count = 1000000 b/m		
Computed: Final Set					= 3.413 mm;	Blow Count = 293 b/m		
Transducer F1 (M407)					CAL: 147.9; RF: 1.00;	F2 (M409) CAL: 145.5; RF: 1.00		
A3 (K2538)					CAL: 370; RF: 1.00;	A4 (K5122) CAL: 315; RF: 1.00		
max. Top Comp. Stress					= 0.3 tons/cm ² (T= 21.5 ms, max= 1.052 x Top)			
max. Comp. Stress					= 0.3 tons/cm ² (Z= 3.4 m, T= 22.4 ms)			
max. Tens. Stress					= -0.04 tons/cm ² (Z= 4.8 m, T= 30.2 ms)			
max. Energy (EMX)					= 27.96 tons-m; max. Measured Top Displ. (DMX)= 6.280 mm			

Anexo 16

Resumen de resultados de Capwap para el Pila 1

Total CAPWAP Capacity: 5017.64; along Shaft 2143.17; at Toe 2874.47 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	Quake mm
				5017.6				
1	3.0	2.5	445.90	4571.7	445.90	178.11	25.77	1.000
2	5.0	4.5	445.90	4125.8	891.80	222.69	32.22	1.000
3	7.0	6.5	439.05	3686.8	1330.85	219.27	31.73	0.985
4	9.0	8.5	416.67	3270.1	1747.52	208.09	30.11	0.934
5	11.0	10.5	247.00	3023.1	1994.52	123.35	17.85	0.877
6	13.0	12.5	101.15	2922.0	2095.67	50.52	7.31	0.821
7	15.0	14.5	38.65	2883.3	2134.32	19.30	2.79	0.768
8	17.0	16.5	8.85	2874.5	2143.17	4.42	0.64	0.712
Avg. Shaft			267.90			129.73	18.77	0.956
Toe			2874.47				756.18	4.940
Soil Model Parameters/Extensions					Shaft	Toe		
Smith Damping Factor					1.35	1.21		
Case Damping Factor					0.82	0.99		
Damping Type					Viscous	Sm+Visc		
Unloading Quake			(% of loading quake)	30	100			
Reloading Level			(% of Ru)	100	100			
Unloading Level			(% of Ru)	0				
Soil Plug Weight			(tons)		27.483			
CAPWAP match quality					= 4.62	(Wave Up Match) ;	RSA = 0	
Observed: Final Set					= 0.001 mm;	Blow Count	= 1000000 b/m	
Computed: Final Set					= 1.743 mm;	Blow Count	= 574 b/m	
Transducer F6 (M407) CAL: 147.9; RF: 1.00; F7 (M248) CAL: 147.8; RF: 1.00								
A5 (K2538) CAL: 370; RF: 1.00; A8 (K5122) CAL: 315; RF: 1.00								
max. Top Comp. Stress					= 0.2 tons/cm ² (T= 40.5 ms, max= 1.040 x Top)			
max. Comp. Stress					= 0.2 tons/cm ² (Z= 3.0 m, T= 41.0 ms)			
max. Tens. Stress					= -0.00 tons/cm ² (Z= 11.0 m, T= 7.9 ms)			
max. Energy (EMX)					= 33.18 tons-m; max. Measured Top Displ. (DMX)= 6.617 mm			



Anexo 17

Resumen de resultados de Capwap para el Estribo 1

Total CAPWAP Capacity: 2475.02; along Shaft 806.67; at Toe 1668.35 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	Quake mm
2475.0									
1	2.1	2.1	0.90	2474.1	0.90	0.44	0.06	1.31	2.844
2	4.1	4.1	0.62	2473.5	1.52	0.30	0.04	1.31	2.840
3	6.2	6.2	0.15	2473.3	1.67	0.07	0.01	1.31	2.840
4	8.3	8.3	0.00	2473.3	1.67	0.00	0.00	0.00	2.840
5	10.3	10.3	1.61	2471.7	3.28	0.78	0.11	1.31	2.840
6	12.4	12.4	7.31	2464.4	10.59	3.54	0.51	1.31	2.840
7	14.4	14.4	15.48	2448.9	26.07	7.50	1.09	1.31	2.840
8	16.5	16.5	27.56	2421.4	53.63	13.35	1.93	1.31	2.840
9	18.6	18.6	84.23	2337.2	137.86	40.81	5.90	1.31	2.797
10	20.6	20.6	668.81	1668.3	806.67	324.04	46.88	1.31	2.716
Avg. Shaft			80.67			39.08	5.65	1.31	2.732
Toe			1668.35				438.89	1.26	2.050
Soil Model Parameters/Extensions						Shaft	Toe		
Case Damping Factor						0.30	0.60		
Damping Type						Viscous	Sm+Visc		
Unloading Quake			(% of loading quake)			100	118		
Reloading Level			(% of Ru)			100	100		
Unloading Level			(% of Ru)			52			
Resistance Gap (included in Toe Quake) (mm)							0.268		
<hr/>									
CAPWAP match quality				=	3.91	(Wave Up Match) ; RSA = 0			
Observed: Final Set				=	0.001 mm;	Blow Count		=	1000000 b/m
Computed: Final Set				=	0.100 mm;	Blow Count		=	9999 b/m
Transducer F1 (M248) CAL: 145.4; RF: 1.00; F4 (M409) CAL: 146.1; RF: 1.00									
A2 (K5238) CAL: 350; RF: 1.00; A3 (K5122) CAL: 307; RF: 1.00									
max. Top Comp. Stress				=	0.1 tons/cm ²	(T= 37.9 ms, max= 1.317 x Top)			
max. Comp. Stress				=	0.1 tons/cm ²	(Z= 16.5 m, T= 42.5 ms)			
max. Tens. Stress				=	-0.03 tons/cm ²	(Z= 18.6 m, T= 59.4 ms)			
max. Energy (EMX)				=	13.93 tons-m;	max. Measured Top Displ. (DMX)= 7.711 mm			

Anexo 18

Hoja cálculo Método Meyerhof – Estribo 2

	UNIVERSIDAD PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERIA INGENIERIA CIVIL																	
TEMA: COMPARACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA EN PILOTES OBTENIDAS EN PRUEBAS PDA (PILE DINAMIC ANALYSIS) CON LAS OBTENIDAS EN TEORÍAS DE CÁLCULO CLÁSICAS																		
METODO MEYERHOF																		
a. Capacidad de Carga por punta.																		
La pila 4 se encuentra sobre un estrato de arena, por ende se utiliza la ecuación: $Q_p = A_p q_p = A_p q' N_q^* \leq A_p q_1 \quad \text{Donde} \quad q_1 = 50 N_q^* \cdot \tan(\phi)$																		
_Donde los datos del pilote Estribo 2 son: <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">Longitud del pilote</td> <td style="width: 10%;">L</td> <td style="width: 10%;">17</td> <td style="width: 10%;">m</td> </tr> <tr> <td>sección transversal</td> <td>D</td> <td>1,2</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td></td> <td>$A_p =$</td> <td>1,13</td> <td>m²</td> </tr> </table>			Longitud del pilote	L	17	m	sección transversal	D	1,2	m		$A_p =$	1,13	m ²				
Longitud del pilote	L	17	m															
sección transversal	D	1,2	m															
	$A_p =$	1,13	m ²															
_Donde los datos del sondeo N°4, son: <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">Esfuerzo efectivo</td> <td style="width: 10%;">$q' =$</td> <td style="width: 10%;">14</td> <td style="width: 10%;">T/m²</td> </tr> <tr> <td>Angulo de fricción</td> <td>ϕ</td> <td>40</td> <td>grados</td> </tr> <tr> <td>factor de Capacidad</td> <td>$N_q^* =$</td> <td>346</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Resistencia Limite</td> <td>$q_1 =$</td> <td>14516,42</td> <td>KN/m²</td> </tr> </table>			Esfuerzo efectivo	$q' =$	14	T/m ²	Angulo de fricción	ϕ	40	grados	factor de Capacidad	$N_q^* =$	346		Resistencia Limite	$q_1 =$	14516,42	KN/m ²
Esfuerzo efectivo	$q' =$	14	T/m ²															
Angulo de fricción	ϕ	40	grados															
factor de Capacidad	$N_q^* =$	346																
Resistencia Limite	$q_1 =$	14516,42	KN/m ²															
Resultados Obtenidos:																		
	$Q_{p1} = A_p q' N_q^*$	53743,4467																
	$Q_{p2} = A_p q_1$	16417,6883																
Se cumple ecuac? $Q_p = A_p q' N_q^* \leq A_p q_1$			NO CUMPLE															
Considere una capacidad de Carga de punta de:																		
<table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 5px;">$Q_p =$</td> <td style="padding: 5px;">16417,6883</td> <td style="padding: 5px;">KN</td> </tr> </table>			$Q_p =$	16417,6883	KN													
$Q_p =$	16417,6883	KN																
b. Capacidad de Carga por fricción.																		
	$Q_s = \sum p \Delta L f$	$f = K \sigma'_v \tan \delta$	<i>para z = 0 a L'</i>															
Donde:		$f = f_{z=L}$	<i>para z = L' a L</i>															
$f =$	Resistencia Unitaria por fricción																	
$K =$	Coeficiente efectivo de la tierra																	
$\sigma'_v =$	esfuerzo vertical efectivo a la profundidad bajo consideración																	
$\delta =$	angulo de fricción entre el suelo y pilote.																	
<p>En realidad, la magnitud de K varía con la profundidad. Es aproximadamente igual al coeficiente, K_p, de presión pasiva de Rankine en la parte superior del pilote y menor que el coeficiente, K_o, de la presión en reposo a una profundidad mayor. Con base en los resultados disponibles actualmente, los siguientes valores promedio de K son recomendados para usarse en la ecuación (9.35):</p>																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%;">Tipo de pilote</th> <th style="width: 50%;">K</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Perforado</td> <td>$= K_o = 1 - \sin \phi$</td> </tr> <tr> <td>Hincado, de bajo desplazamiento</td> <td>$= K_o = 1 - \sin \phi$ a 1.4 $K_o = 1.4 (1 - \sin \phi)$</td> </tr> <tr> <td>Hincado, de alto desplazamiento</td> <td>$= K_o = 1 - \sin \phi$ a 1.8 $K_o = 1.8 (1 - \sin \phi)$</td> </tr> </tbody> </table>				Tipo de pilote	K	Perforado	$= K_o = 1 - \sin \phi$	Hincado, de bajo desplazamiento	$= K_o = 1 - \sin \phi$ a 1.4 $K_o = 1.4 (1 - \sin \phi)$	Hincado, de alto desplazamiento	$= K_o = 1 - \sin \phi$ a 1.8 $K_o = 1.8 (1 - \sin \phi)$							
Tipo de pilote	K																	
Perforado	$= K_o = 1 - \sin \phi$																	
Hincado, de bajo desplazamiento	$= K_o = 1 - \sin \phi$ a 1.4 $K_o = 1.4 (1 - \sin \phi)$																	
Hincado, de alto desplazamiento	$= K_o = 1 - \sin \phi$ a 1.8 $K_o = 1.8 (1 - \sin \phi)$																	
<p>Los valores de δ dados por varios investigadores parecen estar en el rango de 0.5ϕ a 0.8ϕ. Se requiere buen juicio al escoger el valor de δ. Para pilotes hincados de gran desplazamiento, Bhusan (1982) recomendó</p>																		

Meyerhof (1976) también indicó que la resistencia por fricción unitaria promedio, f_{prom} , para pilotes hincados de gran desplazamiento se obtiene con los valores de la resistencia a la penetración estándar corregida promedio como

$$f_{prom} \text{ (kN/m}^2\text{)} = 2\bar{N}_{cor} \quad (9.38)$$

donde \bar{N}_{cor} = valor corregido promedio de la resistencia a la penetración estándar

En unidades inglesas, la ecuación (9.38) toma la forma

$$f_{prom} \text{ (lb/pies}^2\text{)} = 40\bar{N}_{cor} \quad (9.39)$$

Para pilotes hincados de desplazamiento pequeño

$$f_{prom} \text{ (kN/m}^2\text{)} = \bar{N}_{cor} \quad (9.40)$$

y

$$f_{prom} \text{ (lb/pies}^2\text{)} = 20\bar{N}_{cor} \quad (9.41)$$

Entonces

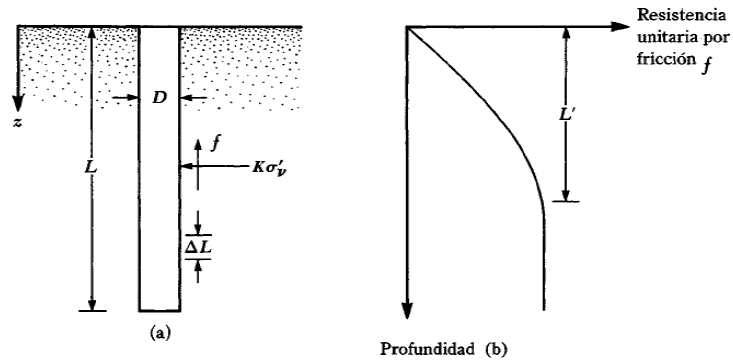
$$Q_s = pLf_{prom} \quad (9.42)$$

Otras consideraciones:

La magnitud de la profundidad L' es de entre 15 y 20 veces el diametro del pilote

Use conservadoramente $L' = 15D$

Ademas considere longitudes de Análisis para los esfuerzos verticales efectivos.



▼ FIGURA 9.18 Resistencia por fricción unitaria para pilotes en arena

Considere esfuerzos efectivos cuando, $z=L'$ y $z=L$

Datos:

$$N_{1,60} = 8 \quad L' = 8,5 \quad \text{m}$$

f_{prom} para pilotes hincados de desplazamientos pequeño



$$f_{prom} = 8 \quad \text{KN/m}^2$$

Considere una capacidad de Carga por fricción de: $Q_s = pLf_{prom}$

$$Q_s = 256,353961 \quad \text{KN}$$

Anexo 19

Hoja cálculo Método Vesic – Estribo 2

	UNIVERSIDAD PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERIA INGENIERIA CIVIL									
COMPARACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA EN PILOTES OBTENIDAS EN PRUEBAS PDA (PILE DINAMIC ANALYSIS) CON LAS OBTENIDAS EN TEORÍAS DE CÁLCULO CLÁSICAS										
METODO VESIC										
a. Capacidad de Carga por punta.										
$Q_p = A_p * (cN_c^* + \sigma'_0 N_\sigma^*)$										
Donde:										
$\sigma'_0 =$	esfuerzo efectivo normal medio del terreno de la punta									
$\sigma'_0 = \left(\frac{1 + 2K_0}{3} \right) * q'$										
$K_0 =$	Coeficiente de presión de tierra en reposo									
$K_0 = 1 - \text{sen}(\phi)$										
$N_c^*, N_\sigma^* =$	Factores de capacidad de carga.									
$N_\sigma^* = \frac{3N_q^*}{(1 + 2K_0)} \quad \text{o encontrar valor mediante tablas}$										
$N_c^* = (N_q^* - 1) \cot(\phi) \quad \text{o encontrar valor mediante tablas}$										
$N_\sigma^* = f(I_{rr})$										
Otras consideraciones:										
$I_{rr} = \frac{I_r}{1 + I_r \Delta} \qquad I_r = \frac{E_s}{2(1 + \mu_s)(c + q' \tan(\phi))} = \frac{G_s}{c + q' \tan \phi}$										
E_s	módulo de elasticidad del suelo									
μ_s	relación de Poisson del suelo									
G_s	módulo cortante del suelo									
Δ	deformación unitaria promedio en la zona plástica de la punta									
Ademas:										
Para arena densa o arcilla saturada										
$\Delta =$	0	$I_{rr} = I_r$								
Para condiciones no drenada										
$\phi =$	0	$N_c^* = \frac{4}{3} (\ln(I_{rr}) + 1) + \frac{\pi}{2} + 1$								
Donde los valores de I_r se obtienen en laboratorio de ensayos de consolidación y triaxiales, sin embargo se recomiendan:										
<table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #333; color: white;"> <th>Tipo de suelo</th> <th>I_r</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Arena</td> <td style="text-align: center;">70-150</td> </tr> <tr> <td>Limos y arcillas (condición drenada)</td> <td style="text-align: center;">50-100</td> </tr> <tr> <td>Arcillas (condición no drenada)</td> <td style="text-align: center;">100-200</td> </tr> </tbody> </table>			Tipo de suelo	I_r	Arena	70-150	Limos y arcillas (condición drenada)	50-100	Arcillas (condición no drenada)	100-200
Tipo de suelo	I_r									
Arena	70-150									
Limos y arcillas (condición drenada)	50-100									
Arcillas (condición no drenada)	100-200									

Resolución

Considere:

$$E_s = m * P_a \left(\frac{KN}{m^2} \right) \quad \mu_s = 0.1 + 0.3 \left(\frac{\phi - 25}{20} \right) \quad \text{para } 25^\circ \leq \phi \leq 45^\circ$$

$$\Delta = 0.005 \left(1 - \frac{\phi - 25}{20} \right) * \left(\frac{q'}{P_a} \right)$$

$K_0 =$	0,36		$E_s =$	40000	KN/m ²
$\sigma'_0 =$	78,49	KN/m ²	$\mu_s =$	0,33	
$m =$	400		$\Delta =$	0,002	
$N^*_\sigma =$	138,58				

Indice de rigidez: $I_r = 130,979565$

Indice de rigidez reducida $I_{rr} = 106,934388$

Capacidad de carga por punta

$$Q_p = A_p * (\sigma'_0 N^*_\sigma) = 12301,5676 \text{ KN}$$



UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD CIENCIA DE LA INGENIERIA
INGENIERIA CIVIL



TEMA: COMPARACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA EN PILOTES OBTENIDAS EN PRUEBAS PDA (PILE DINAMIC ANALYSIS) CON LAS OBTENIDAS EN TEORÍAS DE CÁLCULO CLÁSICAS

MÉTODO AOKI-VELLOSO

CÁLCULO DE Qult. DE PILOTES

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS:

F1= 3.5

F2= 4.5

RESISTENCIA POR FRICCIÓN: Qfd= 385.55 Ton

INPUT DATOS PUNTA DEL PILOTE:

K= 68



N= 55

RESISTENCIA POR PUNTA: Qpd= 1208.53 Ton

CARGA ÚLTIMA DEL PILOTE Qd= 1594.1 Ton

Anexo 21

Hoja cálculo Método Meyerhof – Pila 4

 UNIVERSIDAD PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERIA INGENIERIA CIVIL 																																
TEMA: COMPARACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA EN PILOTES OBTENIDAS EN PRUEBAS PDA (PILE DINAMIC ANALYSIS) CON LAS OBTENIDAS EN TEORÍAS DE CÁLCULO CLÁSICAS																																
MÉTODO MEYERHOF																																
a. Capacidad de Carga por punta. La pila 4 se encuentra sobre un estrato de arena, por ende se utiliza la ecuación: $Q_p = A_p q_p = A_p q' N_q^* \leq A_p q_1 \quad \text{Donde} \quad q_1 = 50 N_q^* \cdot \tan(\phi)$ <p>_. Donde los datos del pilote N°4, son:</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td>Longitud del pilote</td> <td style="text-align: center;">L</td> <td style="text-align: center;">17</td> <td style="text-align: center;">m</td> </tr> <tr> <td>sección transversal</td> <td style="text-align: center;">D</td> <td style="text-align: center;">1,75</td> <td style="text-align: center;">m</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">$A_p =$</td> <td style="text-align: center;">2,41</td> <td style="text-align: center;">m²</td> </tr> </table> <p>_. Donde los datos del sondeo N°4, son:</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td>Esfuerzo efectivo</td> <td style="text-align: center;">$q' =$</td> <td style="text-align: center;">9</td> <td style="text-align: center;">T/m²</td> </tr> <tr> <td>Angulo de fricción</td> <td style="text-align: center;">ϕ</td> <td style="text-align: center;">38</td> <td style="text-align: center;">grados</td> </tr> <tr> <td>factor de Capacidad</td> <td style="text-align: center;">$N_q^* =$</td> <td style="text-align: center;">231</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Resistencia Limite</td> <td style="text-align: center;">$q_1 =$</td> <td style="text-align: center;">9023,849</td> <td style="text-align: center;">KN/m²</td> </tr> </table> <p>Resultados Obtenidos:</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="text-align: right;">$Q_{p1} = A_p q' N_q^*$</td> <td style="text-align: right;">49055,6998</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">$Q_{p2} = A_p q_1$</td> <td style="text-align: right;">21704,9004</td> </tr> </table> <p>Se cumple ecuac? $Q_p = A_p q' N_q^* \leq A_p q_1$ NO CUMPLE</p> <p>Considere una capacidad de Carga de punta de:</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> $Q_p = \mathbf{21704,9004 \quad KN}$ </div>	Longitud del pilote	L	17	m	sección transversal	D	1,75	m		$A_p =$	2,41	m ²	Esfuerzo efectivo	$q' =$	9	T/m ²	Angulo de fricción	ϕ	38	grados	factor de Capacidad	$N_q^* =$	231		Resistencia Limite	$q_1 =$	9023,849	KN/m ²	$Q_{p1} = A_p q' N_q^*$	49055,6998	$Q_{p2} = A_p q_1$	21704,9004
Longitud del pilote	L	17	m																													
sección transversal	D	1,75	m																													
	$A_p =$	2,41	m ²																													
Esfuerzo efectivo	$q' =$	9	T/m ²																													
Angulo de fricción	ϕ	38	grados																													
factor de Capacidad	$N_q^* =$	231																														
Resistencia Limite	$q_1 =$	9023,849	KN/m ²																													
$Q_{p1} = A_p q' N_q^*$	49055,6998																															
$Q_{p2} = A_p q_1$	21704,9004																															
b. Capacidad de Carga por fricción. $Q_s = \sum p \Delta L f \quad \begin{matrix} f = K \sigma'_v \tan \delta & \text{para } z = 0 \text{ a } L' \\ f = f_{z=L} & \text{para } z = L' \text{ a } L \end{matrix}$ <p>Donde:</p> <p>$f =$ Resistencia Unitaria por fricción $K =$ Coeficiente efectivo de la tierra $\sigma'_v =$ esfuerzo vertical efectivo a la profundidad bajo consideración $\delta =$ angulo de fricción entre el suelo y pilote.</p> <p>En realidad, la magnitud de K varía con la profundidad. Es aproximadamente igual al coeficiente, K_p, de presión pasiva de Rankine en la parte superior del pilote y menor que el coeficiente, K_0, de la presión en reposo a una profundidad mayor. Con base en los resultados disponibles actualmente, los siguientes valores promedio de K son recomendados para usarse en la ecuación (9.35):</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Tipo de pilote</th> <th style="text-align: left;">K</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Perforado</td> <td>$= K_0 = 1 - \text{sen } \phi$</td> </tr> <tr> <td>Hincado, de bajo desplazamiento</td> <td>$= K_0 = 1 - \text{sen } \phi$ a $1.4 K_0 = 1.4 (1 - \text{sen } \phi)$</td> </tr> <tr> <td>Hincado, de alto desplazamiento</td> <td>$= K_0 = 1 - \text{sen } \phi$ a $1.8 K_0 = 1.8 (1 - \text{sen } \phi)$</td> </tr> </tbody> </table> <p>Los valores de δ dados por varios investigadores parecen estar en el rango de 0.5ϕ a 0.8ϕ. Se requiere buen juicio al escoger el valor de δ. Para pilotes hincados de gran desplazamiento, Bhusan (1982) recomendó</p>	Tipo de pilote	K	Perforado	$= K_0 = 1 - \text{sen } \phi$	Hincado, de bajo desplazamiento	$= K_0 = 1 - \text{sen } \phi$ a $1.4 K_0 = 1.4 (1 - \text{sen } \phi)$	Hincado, de alto desplazamiento	$= K_0 = 1 - \text{sen } \phi$ a $1.8 K_0 = 1.8 (1 - \text{sen } \phi)$																								
Tipo de pilote	K																															
Perforado	$= K_0 = 1 - \text{sen } \phi$																															
Hincado, de bajo desplazamiento	$= K_0 = 1 - \text{sen } \phi$ a $1.4 K_0 = 1.4 (1 - \text{sen } \phi)$																															
Hincado, de alto desplazamiento	$= K_0 = 1 - \text{sen } \phi$ a $1.8 K_0 = 1.8 (1 - \text{sen } \phi)$																															

Meyerhof (1976) también indicó que la resistencia por fricción unitaria promedio, f_{prom} , para pilotes hincados de gran desplazamiento se obtiene con los valores de la resistencia a la penetración estándar corregida promedio como

$$f_{prom} \text{ (kN/m}^2\text{)} = 2\bar{N}_{cor} \quad (9.38)$$

donde \bar{N}_{cor} = valor corregido promedio de la resistencia a la penetración estándar

En unidades inglesas, la ecuación (9.38) toma la forma

$$f_{prom} \text{ (lb/pies}^2\text{)} = 40\bar{N}_{cor} \quad (9.39)$$

Para pilotes hincados de desplazamiento pequeño

$$f_{prom} \text{ (kN/m}^2\text{)} = \bar{N}_{cor} \quad (9.40)$$

y

$$f_{prom} \text{ (lb/pies}^2\text{)} = 20\bar{N}_{cor} \quad (9.41)$$

Entonces

$$Q_s = pLf_{prom} \quad (9.42)$$

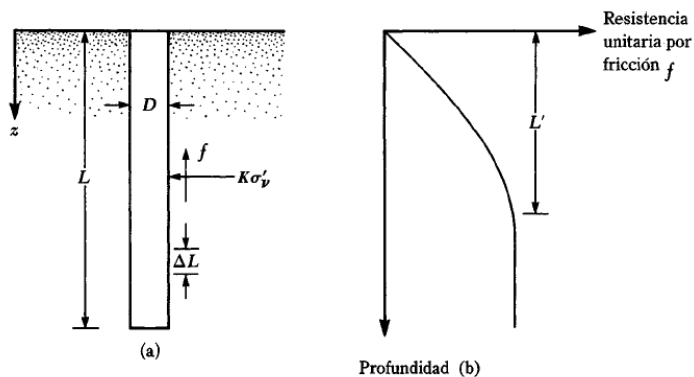
Otras consideraciones:

La magnitud de la profundidad L' es de entre 15 y 20 veces el diametro del pilote

Use conservadoramente

$$L' = 15D$$

Ademas considere longitudes de Análisis para los esfuerzos verticales efectivos.



▼ FIGURA 9.18 Resistencia por fricción unitaria para pilotes en arena

Considere esfuerzos efectivos cuando, $z=L'$ y $z=L$

Datos:

$$N_{1,60} = 7 \quad L' = 8,5 \quad \text{m}$$

f_{prom} para pilotes hincados de desplazamientos pequeño



$$f_{prom} = 7 \quad \text{KN/m}^2 \quad 23,52 \quad 1000$$

Considere una capacidad de Carga por fricción de: $Q_s = pLf_{prom}$

$$Q_s = 327,118335 \quad \text{KN}$$

Anexo 22

Hoja cálculo Método Vesic – Pila 4

	UNIVERSIDAD PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERIA INGENIERIA CIVIL									
TEMA: COMPARACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA EN PILOTES OBTENIDAS EN PRUEBAS PDA (PILE DINAMIC ANALYSIS) CON LAS OBTENIDAS EN TEORÍAS DE CÁLCULO CLÁSICAS										
MÉTODO VESIC										
a. Capacidad de Carga por punta.										
$Q_p = A_p * (cN_c^* + \sigma'_0 N_\sigma^*)$										
Donde: $\sigma'_0 =$	esfuerzo efectivo normal medio del terreno de la punta									
$\sigma'_0 = \left(\frac{1 + 2K_0}{3} \right) * q'$										
$K_0 =$	Coeficiente de presión de tierra en reposo									
$K_0 = 1 - \text{sen}(\phi)$										
$N_c^*, N_\sigma^* =$	Factores de capacidad de carga.									
$N_\sigma^* = \frac{3N_q^*}{(1 + 2K_0)} \quad \text{o encontrar valor mediante tablas}$										
$N_c^* = (N_q^* - 1) \cot(\phi) \quad \text{o encontrar valor mediante tablas}$										
$N_\sigma^* = f(I_{rr})$										
Otras consideraciones:										
$I_{rr} = \frac{I_r}{1 + I_r \Delta} \qquad I_r = \frac{E_s}{2(1 + \mu_s)(c + q' \tan(\phi))} = \frac{G_s}{c + q' \tan \phi}$										
E_s	módulo de elasticidad del suelo									
μ_s	relación de Poisson del suelo									
G_s	módulo cortante del suelo									
Δ	deformación unitaria promedio en la zona plástica de la punta									
Ademas:										
Para arena densa o arcilla saturada										
Δ	= 0	$I_{rr} = I_r$								
Para condiciones no drenada										
ϕ	= 0	$N_c^* = \frac{4}{3} (\ln(I_{rr}) + 1) + \frac{\pi}{2} + 1$								
Donde los valores de I_r se obtienen en laboratorio de ensayos de consolidación y triaxiales, sin embargo se recomiendan:										
<table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #333; color: white;"> <th style="padding: 5px;">Tipo de suelo</th> <th style="padding: 5px;">I_r</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding: 5px;">Arena</td> <td style="padding: 5px;">70-150</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Limos y arcillas (condición drenada)</td> <td style="padding: 5px;">50-100</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Arcillas (condición no drenada)</td> <td style="padding: 5px;">100-200</td> </tr> </tbody> </table>			Tipo de suelo	I_r	Arena	70-150	Limos y arcillas (condición drenada)	50-100	Arcillas (condición no drenada)	100-200
Tipo de suelo	I_r									
Arena	70-150									
Limos y arcillas (condición drenada)	50-100									
Arcillas (condición no drenada)	100-200									

Resolución

Considere:

$$E_s = m * P_a \left(\frac{KN}{m^2} \right) \quad \mu_s = 0.1 + 0.3 \left(\frac{\phi - 25}{20} \right) \quad \text{para } 25^\circ \leq \phi \leq 45^\circ$$

$$\Delta = 0.005 \left(1 - \frac{\phi - 25}{20} \right) * \left(\frac{q'}{P_a} \right)$$

$$K_\phi = 0,38$$

$$\sigma'_0 = 52,05 \quad KN/m^2$$

$$m = 400$$

$$N^*_\sigma = 142,80$$

$$E_s = 40000 \quad KN/m^2$$

$$\mu_s = 0,30$$

$$\Delta = 0,002$$

$$\text{Indice de rigidez: } I_r = 223,892155$$

$$\text{Indice de rigidez reducida } I_{rr} = 166,347526$$

Capacidad de carga por punta

$$Q_p = A_p * (\sigma'_0 N^*_\sigma) = 17878,9605 \text{ KN}$$



UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD CIENCIA DE LA INGENIERIA
INGENIERIA CIVIL



TEMA: COMPARACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA EN PILOTES OBTENIDAS EN PRUEBAS PDA (PILE DYNAMIC ANALYSIS) CON LAS OBTENIDAS EN TEORÍAS DE CÁLCULO CLÁSICAS

MÉTODO AOKI-VELLOSO

CÁLCULO DE Q_{ult} . DE PILOTES

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS:

F1= 3.5

F2= 4.5

RESISTENCIA POR FRICCIÓN: Q_{fd} = 587.17 Ton

INPUT DATOS PUNTA DEL PILOTE:

K= 68

N= 52.5

RESISTENCIA POR PUNTA: Q_{pd} = 2453.39 Ton

CARGA ÚLTIMA DEL PILOTE Q_d = 3040.6 Ton

Anexo 24

Hoja cálculo Método Meyerhof – Pila 3



TEMA: COMPARACION DE LA CAPACIDAD DE CARGA EN PILOTES OBTENIDAS EN PRUEBAS PDA (PILE DINAMIC ANALYSIS) CON LAS OBTENIDAS EN TEORÍAS DE CÁLCULO CLÁSICAS

MÉTODO MEYERHOF

a. Capacidad de Carga por punta.

Ecuación general $Q_p = A_p * (C_u N_c + q' N_q)$
 Ecuación simplificada para arenas $C_u=0$
 $Q_p = A_p q_p = A_p q' N_q^* \leq A_p q_1$ Donde $q_1 = 50 N_q^* * \tan(\phi)$
 Ecuación simplificada para arcillas No drenadas (ángulo de fricción=0)
 $Q_p = N_c C_u A_p$

Donde los datos del pilote N°4, son:

Longitud del pilote $L = 32,28$ m
 sección transversal $D = 1,75$ m
 $A_p = 2,41$ m²

Donde los datos del sondeo N°4, son:

Esfuerzo efectivo $q' = 20$ T/m²
 Ángulo de fricción $\phi = 18$ grados
 factor de Capacidad $N_q^* = 9,5$
 Resistencia Limite $q_1 = 0$ KN/m²
 factor de Capacidad $N_c^* = 28$
 Cohesión del suelo $C_u = 17,5$ T/m²

Resultados Obtenidos:

Considere una capacidad de Carga de punta de:

$$Q_p = 1635,59168 \text{ Ton}$$

b. Capacidad de Carga por fricción.

$$Q_s = \sum p \Delta L f \quad \begin{matrix} f = K \sigma'_v \tan \delta & \text{para } z = 0 \text{ a } L' \\ f = f_{z=L} & \text{para } z = L' \text{ a } L \end{matrix}$$

Donde:

- $f =$ Resistencia Unitaria por fricción
- $K =$ Coeficiente efectivo de la tierra
- $\sigma'_v =$ esfuerzo vertical efectivo a la profundidad bajo consideración
- $\delta =$ ángulo de fricción entre el suelo y pilote.

En realidad, la magnitud de K varía con la profundidad. Es aproximadamente igual al coeficiente, K_p , de presión pasiva de Rankine en la parte superior del pilote y menor que el coeficiente, K_ϕ , de la presión en reposo a una profundidad mayor. Con base en los resultados disponibles actualmente, los siguientes valores promedio de K son recomendados para usarse en la ecuación (9.35):

Tipo de pilote	K
Perforado	$=K_p = 1 - \text{sen } \phi$
Hincado, de bajo desplazamiento	$=K_p = 1 - \text{sen } \phi$ a $1.4 K_p = 1.4 (1 - \text{sen } \phi)$
Hincado, de alto desplazamiento	$=K_p = 1 - \text{sen } \phi$ a $1.8 K_p = 1.8 (1 - \text{sen } \phi)$

Los valores de δ dados por varios investigadores parecen estar en el rango de 0.5ϕ a 0.8ϕ . Se requiere buen juicio al escoger el valor de δ . Para pilotes hincados de gran desplazamiento, Bhusan (1982) recomendó

Meyerhof (1976) también indicó que la resistencia por fricción unitaria promedio, f_{prom} , para pilotes hincados de gran desplazamiento se obtiene con los valores de la resistencia a la penetración estándar corregida promedio como

$$f_{prom} \text{ (kN/m}^2\text{)} = 2\bar{N}_{cor} \quad (9.38)$$

donde \bar{N}_{cor} = valor corregido promedio de la resistencia a la penetración estándar

En unidades inglesas, la ecuación (9.38) toma la forma

$$f_{prom} \text{ (lb/pies}^2\text{)} = 40\bar{N}_{cor} \quad (9.39)$$

Para pilotes hincados de desplazamiento pequeño

$$f_{prom} \text{ (kN/m}^2\text{)} = \bar{N}_{cor} \quad (9.40)$$

y

$$f_{prom} \text{ (lb/pies}^2\text{)} = 20\bar{N}_{cor} \quad (9.41)$$

Entonces

$$Q_s = pLf_{prom} \quad (9.42)$$

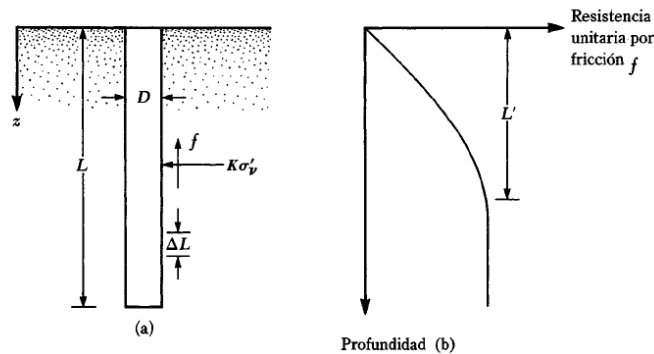
Otras consideraciones:

La magnitud de la profundidad L' es de entre 15 y 20 veces el diametro del pilote

Use conservadoramente

$$L' = 15D$$

Ademas considere longitudes de Análisis para los esfuerzos verticales efectivos.



▼ FIGURA 9.18 Resistencia por fricción unitaria para pilotes en arena

Considere esfuerzos efectivos cuando, $z=L'$ y $z=L$

Datos:

$$N_{1,60} = 40 \quad L' = 26,25 \quad \text{m}$$

f_{prom} para pilotes hincados de desplazamientos pequeño



$$f_{prom} = 40 \quad \text{KN/m}^2$$

Considere una capacidad de Carga por fricción de: $Q_s = pLf_{prom}$

$$Q_s = 5772,6765 \quad \text{KN}$$

Anexo 25

Hoja cálculo Método Vesic – Pila 3

	UNIVERSIDAD PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERIA INGENIERIA CIVIL									
TEMA: COMPARACION DE LA CAPACIDAD DE CARGA EN PILOTES OBTENIDAS EN PRUEBAS PDA (PILE DINAMIC ANALYSIS) CON LAS OBTENIDAS EN TEORÍAS DE CÁLCULO CLÁSICAS										
MÉTODO VESIC										
a. Capacidad de Carga por punta.										
$Q_p = A_p * (cN_c^* + \sigma'_0 N_\sigma^*)$										
Donde:	$\sigma'_0 =$ esfuerzo efectivo normal medio del terreno de la punta									
	$\sigma'_0 = \left(\frac{1 + 2K_0}{3} \right) * q'$									
$K_0 =$	Coeficiente de presión de tierra en reposo									
	$K_0 = 1 - \text{sen}(\phi)$									
$N_c^*, N_\sigma^* =$	Factores de capacidad de carga. -9,37714429									
	$N_\sigma^* = \frac{3N_q^*}{(1 + 2K_0)} \quad \text{o encontrar valor mediante tablas}$									
	$N_c^* = (N_q^* - 1) \cot(\phi) \quad \text{o encontrar valor mediante tablas}$									
	$N_\sigma^* = f(I_{rr})$									
Otras consideraciones:										
	$I_{rr} = \frac{I_r}{1 + I_r \Delta} \quad I_r = \frac{E_s}{2(1 + \mu_s)(c + q' \tan(\phi))} = \frac{G_s}{c + q' \tan(\phi)}$									
E_s	módulo de elasticidad del suelo									
μ_s	relación de Poisson del suelo									
G_s	módulo cortante del suelo									
Δ	deformación unitaria promedio en la zona plástica de la punta									
Ademas:										
Para arena densa o arcilla saturada										
$\Delta =$	$0 \quad I_{rr} = I_r$									
Para condiciones no drenada										
$\phi =$	$0 \quad N_c^* = \frac{4}{3} (\ln(I_{rr}) + 1) + \frac{\pi}{2} + 1$									
Donde los valores de I_r se obtienen en laboratorio de ensayos de consolidación y triaxiales, sin embargo se recomiendan:										
<table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="background-color: #333; color: white;">Tipo de suelo</th> <th style="background-color: #333; color: white;">I_r</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Arena</td> <td style="text-align: center;">70-150</td> </tr> <tr> <td>Limos y arcillas (condición drenada)</td> <td style="text-align: center;">50-100</td> </tr> <tr> <td>Arcillas (condición no drenada)</td> <td style="text-align: center;">100-200</td> </tr> </tbody> </table>			Tipo de suelo	I_r	Arena	70-150	Limos y arcillas (condición drenada)	50-100	Arcillas (condición no drenada)	100-200
Tipo de suelo	I_r									
Arena	70-150									
Limos y arcillas (condición drenada)	50-100									
Arcillas (condición no drenada)	100-200									

Resolución

Considere:

$$E_s = m * P_a \left(\frac{KN}{m^2} \right) \quad \mu_s = 0.1 + 0.3 \left(\frac{\phi - 25}{20} \right) \quad \text{para } 25^\circ \leq \phi \leq 45^\circ$$

$$\Delta = 0.005 \left(1 - \frac{\phi - 25}{20} \right) * \left(\frac{q'}{P_a} \right)$$

$K_\phi =$	0,69		$E_s =$	50000	KN/m2
$\sigma_0 =$	155,78	KN/m2	$\mu_s =$	0,00	
$m =$	500		$\Delta =$	0,013	
$N_c^* =$	9,41		$N_\sigma^* =$	11,66	

Indice de rigidez: $I_r = 361,856491$ Indice de rigidez reducida $I_{rr} = 62,4725648$

Capacidad de carga por punta

$$Q_p = A_p * (cN_c^* + \sigma_0' N_\sigma^*) = \mathbf{8255,64307 \text{ KN}}$$



UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD CIENCIA DE LA INGENIERIA
INGENIERIA CIVIL



TEMA: COMPARACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA EN PILOTES OBTENIDAS EN PRUEBAS PDA (PILE DINAMIC ANALYSIS) CON LAS OBTENIDAS EN TEORÍAS DE CÁLCULO CLÁSICAS

MÉTODO AOKI-VELLOSO

CÁLCULO DE Q_{ult} . DE PILOTES

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS:

F1= 3.5

F2= 4.5

RESISTENCIA POR FRICCIÓN: Q_{fd} = 2264.73 Ton

INPUT DATOS PUNTA DEL PILOTE:

K= 26



N= 47

RESISTENCIA POR PUNTA: Q_{pd} = 839.79 Ton

CARGA ÚLTIMA DEL PILOTE Q_d = 3104.5 Ton

Anexo 27

Hoja cálculo Método Meyerhof – Pila 2

	UNIVERSIDAD PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERIA INGENIERIA CIVIL									
TEMA: COMPARACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA EN PILOTES OBTENIDAS EN PRUEBAS PDA (PILE DINAMIC ANALYSIS) CON LAS OBTENIDAS EN TEORÍAS DE CÁLCULO CLÁSICAS										
MÉTODO MEYERHOF										
a. Capacidad de Carga por punta.										
Ecuación general	$Q_p = A_p * (CuN_c + q'N_q)$									
Ecuación simplificada para arenas Cu=0	$Q_p = A_p q_p = A_p q' N_q^* \leq A_p q_1$ Donde $q_1 = 50 N_q^* * \tan(\phi)$									
Ecuación simplificada para arcillas No drenadas (angulo de fricción=0)	$Q_p = N_c C_u A_p$									
_Donde los datos del pilote N°4, son:										
Longitud del pilote	L	37,35 m								
sección transversal	D	1,75 m								
	$A_p =$	2,41 m ²								
_Donde los datos del sondeo N°4, son:										
Esfuerzo p efectivo	$q' =$	23,7 T/m ²								
Angulo de fricción	ϕ	15 grados								
factor de Capacidad	$N_q^* =$	6,5								
Resistencia Limite	$q_1 =$	0 KN/m ²								
factor de Capacidad	$N_c^* =$	21								
Cohesión del suelo	$C_u =$	20 T/m ²								
Resultados Obtenidos:										
Considere una capacidad de Carga de punta de:										
$Q_p = 1380,75206 \text{ Ton}$										
b. Capacidad de Carga por fricción.										
$Q_s = \sum p \Delta L f$		$f = K \sigma'_v \tan \delta$ para $z = 0$ a L' $f = f_{z=L}$ para $z = L'$ a L								
Donde:										
$f =$	Resistencia Unitaria por fricción									
$K =$	Coeficiente efectivo de la tierra									
$\sigma'_v =$	esfuerzo vertical efectivo a la profundidad bajo consideración									
$\delta =$	angulo de fricción entre el suelo y pilote.									
En realidad, la magnitud de K varía con la profundidad. Es aproximadamente igual al coeficiente, K_p , de presión pasiva de Rankine en la parte superior del pilote y menor que el coeficiente, K_ϕ , de la presión en reposo a una profundidad mayor. Con base en los resultados disponibles actualmente, los siguientes valores promedio de K son recomendados para usarse en la ecuación (9.35):										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="background-color: #333; color: white;">Tipo de pilote</th> <th style="background-color: #333; color: white;">K</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Perforado</td> <td>$=K_p = 1 - \text{sen } \phi$</td> </tr> <tr> <td>Hincado, de bajo desplazamiento</td> <td>$=K_p = 1 - \text{sen } \phi$ a $1.4 K_p = 1.4 (1 - \text{sen } \phi)$</td> </tr> <tr> <td>Hincado, de alto desplazamiento</td> <td>$=K_p = 1 - \text{sen } \phi$ a $1.8 K_p = 1.8 (1 - \text{sen } \phi)$</td> </tr> </tbody> </table>			Tipo de pilote	K	Perforado	$=K_p = 1 - \text{sen } \phi$	Hincado, de bajo desplazamiento	$=K_p = 1 - \text{sen } \phi$ a $1.4 K_p = 1.4 (1 - \text{sen } \phi)$	Hincado, de alto desplazamiento	$=K_p = 1 - \text{sen } \phi$ a $1.8 K_p = 1.8 (1 - \text{sen } \phi)$
Tipo de pilote	K									
Perforado	$=K_p = 1 - \text{sen } \phi$									
Hincado, de bajo desplazamiento	$=K_p = 1 - \text{sen } \phi$ a $1.4 K_p = 1.4 (1 - \text{sen } \phi)$									
Hincado, de alto desplazamiento	$=K_p = 1 - \text{sen } \phi$ a $1.8 K_p = 1.8 (1 - \text{sen } \phi)$									
Los valores de δ dados por varios investigadores parecen estar en el rango de 0.5ϕ a 0.8ϕ . Se requiere buen juicio al escoger el valor de δ . Para pilotes hincados de gran desplazamiento, Bhusan (1982) recomendó										

Meyerhof (1976) también indicó que la resistencia por fricción unitaria promedio, f_{prom} , para pilotes hincados de gran desplazamiento se obtiene con los valores de la resistencia a la penetración estándar corregida promedio como

$$f_{prom} \text{ (kN/m}^2\text{)} = 2\bar{N}_{cor} \quad (9.38)$$

donde \bar{N}_{cor} = valor corregido promedio de la resistencia a la penetración estándar

En unidades inglesas, la ecuación (9.38) toma la forma

$$f_{prom} \text{ (lb/pies}^2\text{)} = 40\bar{N}_{cor} \quad (9.39)$$

Para pilotes hincados de desplazamiento pequeño

$$f_{prom} \text{ (kN/m}^2\text{)} = \bar{N}_{cor} \quad (9.40)$$

y

$$f_{prom} \text{ (lb/pies}^2\text{)} = 20\bar{N}_{cor} \quad (9.41)$$

Entonces

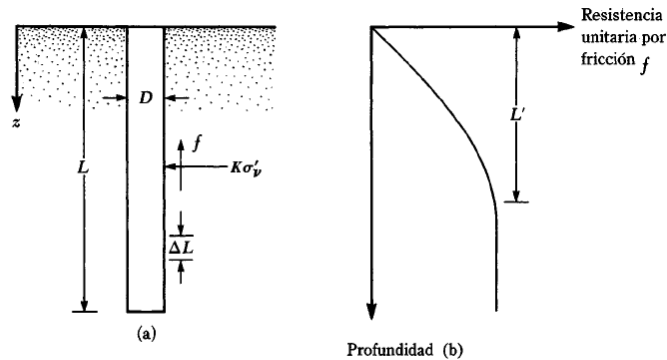
$$Q_s = pLf_{prom} \quad (9.42)$$

Otras consideraciones:

La magnitud de la profundidad L' es de entre 15 y 20 veces el diametro del pilote

Use conservadoramente $L' = 15D$

Ademas considere longitudes de Análisis para los esfuerzos verticales efectivos.



▼ FIGURA 9.18 Resistencia por fricción unitaria para pilotes en arena

Considere esfuerzos efectivos cuando, $z=L'$ y $z=L$

Datos:

$$N_{1,60} = 39 \quad L' = 26,25 \quad \text{m}$$

f_{prom} para pilotes hincados de desplazamientos pequeño



$$f_{prom} = 39 \quad \text{KN/m}^2$$

Considere una capacidad de Carga por friccion de: $Q_s = pLf_{prom}$

$$Q_s = 5628,35959 \quad \text{KN}$$

Anexo 28

Hoja cálculo Método Vesic – Pila 2

	UNIVERSIDAD PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERIA INGENIERIA CIVIL	
COMPARACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA EN PILOTES OBTENIDAS EN PRUEBAS PDA (PILE DYNAMIC ANALYSIS) CON LAS OBTENIDAS EN TEORÍAS DE CÁLCULO CLÁSICAS		
MÉTODO VESIC		
a. Capacidad de Carga por punta.		
$Q_p = A_p * (cN_c^* + \sigma'_0 N_\sigma^*)$		
Donde:		
$\sigma'_0 =$	esfuerzo efectivo normal medio del terreno de la punta	
	$\sigma'_0 = \left(\frac{1 + 2K_0}{3} \right) * q'$	
$K_0 =$	Coeficiente de presión de tierra en reposo	
	$K_0 = 1 - \text{sen}(\phi)$	
$N_c^*, N_\sigma^* =$	Factores de capacidad de carga.	
	$N_\sigma^* = \frac{3N_q^*}{(1 + 2K_0)} \quad \text{o encontrar valor mediante tablas}$	
	$N_c^* = (N_q^* - 1) \cot(\phi) \quad \text{o encontrar valor mediante tablas}$	
	$N_\sigma^* = f(I_{rr})$	
Otras consideraciones:		
	$I_{rr} = \frac{I_r}{1 + I_r \Delta} \quad I_r = \frac{E_s}{2(1 + \mu_s)(c + q' \tan(\phi))} = \frac{G_s}{c + q' \tan(\phi)}$	
E_s	módulo de elasticidad del suelo	
μ_s	relación de Poisson del suelo	
G_s	módulo cortante del suelo	
Δ	deformación unitaria promedio en la zona plástica de la punta	
Ademas:		
Para arena densa o arcilla saturada		
$\Delta =$	0	$I_{rr} = I_r$
Para condiciones no drenada		
$\phi =$	0	$N_c^* = \frac{4}{3} (\ln(I_{rr}) + 1) + \frac{\pi}{2} + 1$
Donde los valores de I_r se obtienen en laboratorio de ensayos de consolidación y triaxiales, sin embargo se recomiendan:		
Tipo de suelo		I_r
Arena		70-150
Limos y arcillas (condición drenada)		50-100
Arcillas (condición no drenada)		100-200

Resolución

Considere:

$$E_s = m * P_a \left(\frac{KN}{m^2} \right) \quad \mu_s = 0.1 + 0.3 \left(\frac{\phi - 25}{20} \right) \quad \text{para } 25^\circ \leq \phi \leq 45^\circ$$

$$\Delta = 0.005 \left(1 - \frac{\phi - 25}{20} \right) * \left(\frac{q'}{P_a} \right)$$

$K_\phi =$	0,74	$E_s =$	50000	KN/m2
$\sigma_0 =$	192,38	$\mu_s =$	0,00	
$m =$	500	$\Delta =$	0,017	
$N_c^* =$	9,269226943	$N_\sigma^* =$	7,67	

Indice de rigidez: $I_r = 369,514371$

Indice de rigidez reducida $I_{rr} = 49,6437325$

Capacidad de carga por punta

$$Q_p = A_p * (cN_c^* + \sigma_0' N_\sigma^*) = 7923,36908 \text{ KN}$$



UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD CIENCIA DE LA INGENIERIA
INGENIERIA CIVIL



TEMA: COMPARACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA EN PILOTES OBTENIDAS EN PRUEBAS PDA (PILE DINAMIC ANALYSIS) CON LAS OBTENIDAS EN TEORÍAS DE CÁLCULO CLÁSICAS

MÉTODO AOKI-VELLOSO

CÁLCULO DE Q_{ult} . DE PILOTES

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS:

F1= 3.5

F2= 4.5

RESISTENCIA POR FRICCIÓN: Q_{fd} = 2527.48 Ton

INPUT DATOS PUNTA DEL PILOTE:

K= 26



N= 47

RESISTENCIA POR PUNTA: Q_{pd} = 839.79 Ton

CARGA ÚLTIMA DEL PILOTE Q_d = 3367.3 Ton

Anexo 30

Hoja cálculo Método Meyerhof – Pila 1

	UNIVERSIDAD PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERIA INGENIERIA CIVIL									
TEMA: COMPARACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA EN PILOTES OBTENIDAS EN PRUEBAS PDA (PILE DINAMIC ANALYSIS) CON LAS OBTENIDAS EN TEORÍAS DE CÁLCULO CLÁSICAS										
MÉTODO MEYERHOF										
a. Capacidad de Carga por punta.										
La pila 4 se encuentra sobre un estrato de arena, por ende se utiliza la ecuación: $Q_p = A_p q_p = A_p q' N_q^* \leq A_p q_1$ Donde $q_1 = 50 N_q^* \tan(\phi)$										
_Donde los datos del pilote N°4, son:										
Longitud del pilote	L	16,5 m								
sección transversal	D	2,2 m								
	$A_p =$	3,80 m ²								
_Donde los datos del sondeo N°4, son:										
Esfuerzo efectivo	$q' =$	9,6 T/m ²								
Angulo de fricción	ϕ	38 grados								
factor de Capacidad	$N_q^* =$	231								
Resistencia Limite	$q_1 =$	9023,849 KN/m ²								
Resultados Obtenidos:										
	$Q_{p1} = A_p q' N_q^*$	82696,5636								
	$Q_{p2} = A_p q_1$	34302,6018								
Se cumple ecuac? $Q_p = A_p q' N_q^* \leq A_p q_1$ NO CUMPLE										
Considere una capacidad de Carga de punta de:										
<hr style="border: 1px solid black;"/> $Q_p =$ 34302,6018 KN <hr style="border: 1px solid black;"/>										
b. Capacidad de Carga por fricción.										
$Q_s = \sum p \Delta L f$ $f = K \sigma'_v \tan \delta$ para $z = 0$ a L' Donde: $f = f_{z=L}$ para $z = L'$ a L										
$f =$	Resistencia Unitaria por fricción									
$K =$	Coeficiente efectivo de la tierra									
$\sigma'_v =$	esfuerzo vertical efectivo a la profundidad bajo consideración									
$\delta =$	angulo de fricción entre el suelo y pilote.									
En realidad, la magnitud de K varía con la profundidad. Es aproximadamente igual al coeficiente, K_p , de presión pasiva de Rankine en la parte superior del pilote y menor que el coeficiente, K_o , de la presión en reposo a una profundidad mayor. Con base en los resultados disponibles actualmente, los siguientes valores promedio de K son recomendados para usarse en la ecuación (9.35):										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="background-color: #333; color: white;">Tipo de pilote</th> <th style="background-color: #333; color: white;">K</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Perforado</td> <td>$= K_o = 1 - \text{sen } \phi$</td> </tr> <tr> <td>Hincado, de bajo desplazamiento</td> <td>$= K_o = 1 - \text{sen } \phi$ a $1.4 K_o = 1.4 (1 - \text{sen } \phi)$</td> </tr> <tr> <td>Hincado, de alto desplazamiento</td> <td>$= K_o = 1 - \text{sen } \phi$ a $1.8 K_o = 1.8 (1 - \text{sen } \phi)$</td> </tr> </tbody> </table>			Tipo de pilote	K	Perforado	$= K_o = 1 - \text{sen } \phi$	Hincado, de bajo desplazamiento	$= K_o = 1 - \text{sen } \phi$ a $1.4 K_o = 1.4 (1 - \text{sen } \phi)$	Hincado, de alto desplazamiento	$= K_o = 1 - \text{sen } \phi$ a $1.8 K_o = 1.8 (1 - \text{sen } \phi)$
Tipo de pilote	K									
Perforado	$= K_o = 1 - \text{sen } \phi$									
Hincado, de bajo desplazamiento	$= K_o = 1 - \text{sen } \phi$ a $1.4 K_o = 1.4 (1 - \text{sen } \phi)$									
Hincado, de alto desplazamiento	$= K_o = 1 - \text{sen } \phi$ a $1.8 K_o = 1.8 (1 - \text{sen } \phi)$									
Los valores de δ dados por varios investigadores parecen estar en el rango de 0.5ϕ a 0.8ϕ . Se requiere buen juicio al escoger el valor de δ . Para pilotes hincados de gran desplazamiento, Bhusan (1982) recomendó										

Meyerhof (1976) también indicó que la resistencia por fricción unitaria promedio, f_{prom} , para pilotes hincados de gran desplazamiento se obtiene con los valores de la resistencia a la penetración estándar corregida promedio como

$$f_{prom} \text{ (kN/m}^2\text{)} = 2\bar{N}_{cor} \quad (9.38)$$

donde \bar{N}_{cor} = valor corregido promedio de la resistencia a la penetración estándar

En unidades inglesas, la ecuación (9.38) toma la forma

$$f_{prom} \text{ (lb/pies}^2\text{)} = 40\bar{N}_{cor} \quad (9.39)$$

Para pilotes hincados de desplazamiento pequeño

$$f_{prom} \text{ (kN/m}^2\text{)} = \bar{N}_{cor} \quad (9.40)$$

y

$$f_{prom} \text{ (lb/pies}^2\text{)} = 20\bar{N}_{cor} \quad (9.41)$$

Entonces

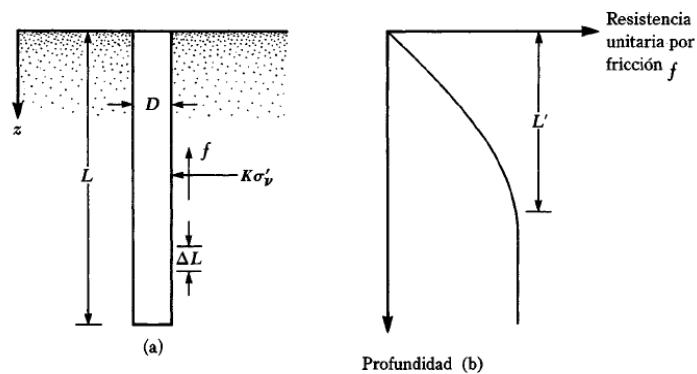
$$Q_s = pLf_{prom} \quad (9.42)$$

Otras consideraciones:

La magnitud de la profundidad L' es de entre 15 y 20 veces el diametro del pilote

Use conservadoramente $L' = 15D$

Ademas considere longitudes de Análisis para los esfuerzos verticales efectivos.



▼ FIGURA 9.18 Resistencia por fricción unitaria para pilotes en arena

Considere esfuerzos efectivos cuando, $z=L'$ y $z=L$

Datos:

$$N_{1,60} = 1 \quad L' = 8,25 \quad \text{m}$$

f_{prom} para pilotes hincados de desplazamientos pequeño



$$f_{prom} = 1 \quad \text{KN/m}^2$$

Considere una capacidad de Carga por fricción de: $Q_s = pLf_{prom}$

$$Q_s = 57,0199067 \quad \text{KN}$$

Anexo 31

Hoja cálculo Método Vesic – Pila 1

	UNIVERSIDAD PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERIA INGENIERIA CIVIL									
TEMA: COMPARACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA EN PILOTES OBTENIDAS EN PRUEBAS PDA (PILE DYNAMIC ANALYSIS) CON LAS OBTENIDAS EN TEORÍAS DE CÁLCULO CLÁSICAS										
MÉTODO VESIC										
a. Capacidad de Carga por punta.										
$Q_p = A_p * (cN_c^* + \sigma'_0 N_\sigma^*)$										
Donde: $\sigma'_0 =$	esfuerzo efectivo normal medio del terreno de la punta									
$\sigma'_0 = \left(\frac{1 + 2K_0}{3} \right) * q'$										
$K_0 =$	Coeficiente de presión de tierra en reposo									
$K_0 = 1 - \text{sen}(\phi)$										
$N_c^*, N_\sigma^* =$	Factores de capacidad de carga.									
$N_\sigma^* = \frac{3N_q^*}{(1 + 2K_0)} \quad \text{o encontrar valor mediante tablas}$										
$N_c^* = (N_q^* - 1) \cot(\phi) \quad \text{o encontrar valor mediante tablas}$										
$N_\sigma^* = f(I_{rr})$										
Otras consideraciones:										
$I_{rr} = \frac{I_r}{1 + I_r \Delta} \qquad I_r = \frac{E_s}{2(1 + \mu_s)(c + q' \tan(\phi))} = \frac{G_s}{c + q' \tan \phi}$										
E_s	módulo de elasticidad del suelo									
μ_s	relación de Poisson del suelo									
G_s	módulo cortante del suelo									
Δ	deformación unitaria promedio en la zona plástica de la punta									
Ademas:										
Para arena densa o arcilla saturada										
$\Delta = 0$	$I_{rr} = I_r$									
Para condiciones no drenada										
$\phi = 0$	$N_c^* = \frac{4}{3} (\ln(I_{rr}) + 1) + \frac{\pi}{2} + 1$									
Donde los valores de I_r se obtienen en laboratorio de ensayos de consolidación y triaxiales, sin embargo se recomiendan:										
<table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #333; color: white;"> <th style="padding: 5px;">Tipo de suelo</th> <th style="padding: 5px;">I_r</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding: 5px;">Arena</td> <td style="padding: 5px;">70-150</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Limos y arcillas (condición drenada)</td> <td style="padding: 5px;">50-100</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Arcillas (condición no drenada)</td> <td style="padding: 5px;">100-200</td> </tr> </tbody> </table>			Tipo de suelo	I_r	Arena	70-150	Limos y arcillas (condición drenada)	50-100	Arcillas (condición no drenada)	100-200
Tipo de suelo	I_r									
Arena	70-150									
Limos y arcillas (condición drenada)	50-100									
Arcillas (condición no drenada)	100-200									

Resolución

Considere:

$$E_s = m * P_a \left(\frac{KN}{m^2} \right) \quad \mu_s = 0.1 + 0.3 \left(\frac{\phi - 25}{20} \right) \quad \text{para } 25^\circ \leq \phi \leq 45^\circ$$

$$\Delta = 0.005 \left(1 - \frac{\phi - 25}{20} \right) * \left(\frac{q'}{P_a} \right)$$

$K_\theta =$	0,38	$E_s =$	40000	KN/m ²
$\sigma'_0 =$	55,52	$\mu_s =$	0,30	
$m =$	400	$\Delta =$	0,002	
$N^*_\sigma =$	137,91			

Indice de rigidez: $I_r = 209,898895$

Indice de rigidez reducida $I_{rr} = 155,950806$

Capacidad de carga por punta

$$Q_p = A_p * (\sigma'_0 N^*_\sigma) = \mathbf{29106,4888 \text{ KN}}$$



UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD CIENCIA DE LA INGENIERIA
INGENIERIA CIVIL



TEMA: COMPARACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA EN PILOTES OBTENIDAS EN PRUEBAS PDA (PILE DYNAMIC ANALYSIS) CON LAS OBTENIDAS EN TEORÍAS DE CÁLCULO CLÁSICAS

MÉTODO AOKI-VELLOSO

CÁLCULO DE Q_{ult} . DE PILOTES

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS:

F1= 3.5

F2= 4.5

RESISTENCIA POR FRICCIÓN: Q_{fd} = 348.98 Ton

INPUT DATOS PUNTA DEL PILOTE:

K= 68



N= 65

RESISTENCIA POR PUNTA: Q_{pd} = 4800.53 Ton

CARGA ÚLTIMA DEL PILOTE Q_d = 5149.5 Ton

Anexo 33

Hoja cálculo Método Meyerhof – Estribo 1

	UNIVERSIDAD PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERIA INGENIERIA CIVIL									
TEMA: COMPARACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA EN PILOTES OBTENIDAS EN PRUEBAS PDA (PILE DINAMIC ANALYSIS) CON LAS OBTENIDAS EN TEORÍAS DE CÁLCULO CLÁSICAS										
MÉTODO MEYERHOF										
a. Capacidad de Carga por punta.										
La pila 4 se encuentra sobre un estrato de arena, por ende se utiliza la ecuación: $Q_p = A_p q_p = A_p q' N_q^* \leq A_p q_1$ Donde $q_1 = 50 N_q^* \cdot \tan(\phi)$										
_Donde los datos del pilote N°4, son:										
Longitud del pilote	L	18 m								
sección transversal	D	2,2 m								
	$A_p =$	3,80 m ²								
_Donde los datos del sondeo N°4, son:										
Esfuerzo efectivo	$q' =$	12,3 T/m ²								
Angulo de fricción	ϕ	38 grados								
factor de Capacidad	$N_q^* =$	231								
Resistencia Limite	$q_1 =$	9023,849 KN/m ²								
Resultados Obtenidos:										
	$Q_{p1} = A_p q' N_q^*$	105954,972								
	$Q_{p2} = A_p q_1$	34302,6018								
Se cumple ecuac? $Q_p = A_p q' N_q^* \leq A_p q_1$ NO CUMPLE										
Considere una capacidad de Carga de punta de:										
<hr style="border: 1px solid black;"/> $Q_p =$ 34302,6018 KN <hr style="border: 1px solid black;"/>										
b. Capacidad de Carga por fricción.										
$Q_s = \sum p \Delta L f$ $f = K \sigma'_v \tan \delta$ para $z = 0$ a L' Donde: $f = f_{z=L}$ para $z = L'$ a L										
$f =$	Resistencia Unitaria por fricción									
$K =$	Coeficiente efectivo de la tierra									
$\sigma'_v =$	esfuerzo vertical efectivo a la profundidad bajo consideración									
$\delta =$	angulo de fricción entre el suelo y pilote.									
En realidad, la magnitud de K varía con la profundidad. Es aproximadamente igual al coeficiente, K_p , de presión pasiva de Rankine en la parte superior del pilote y menor que el coeficiente, K_0 , de la presión en reposo a una profundidad mayor. Con base en los resultados disponibles actualmente, los siguientes valores promedio de K son recomendados para usarse en la ecuación (9.35):										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 60%;">Tipo de pilote</th> <th style="width: 40%;">K</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Perforado</td> <td>$= K_p = 1 - \text{sen } \phi$</td> </tr> <tr> <td>Hincado, de bajo desplazamiento</td> <td>$= K_p = 1 - \text{sen } \phi$ a $1.4 K_p = 1.4 (1 - \text{sen } \phi)$</td> </tr> <tr> <td>Hincado, de alto desplazamiento</td> <td>$= K_p = 1 - \text{sen } \phi$ a $1.8 K_p = 1.8 (1 - \text{sen } \phi)$</td> </tr> </tbody> </table>			Tipo de pilote	K	Perforado	$= K_p = 1 - \text{sen } \phi$	Hincado, de bajo desplazamiento	$= K_p = 1 - \text{sen } \phi$ a $1.4 K_p = 1.4 (1 - \text{sen } \phi)$	Hincado, de alto desplazamiento	$= K_p = 1 - \text{sen } \phi$ a $1.8 K_p = 1.8 (1 - \text{sen } \phi)$
Tipo de pilote	K									
Perforado	$= K_p = 1 - \text{sen } \phi$									
Hincado, de bajo desplazamiento	$= K_p = 1 - \text{sen } \phi$ a $1.4 K_p = 1.4 (1 - \text{sen } \phi)$									
Hincado, de alto desplazamiento	$= K_p = 1 - \text{sen } \phi$ a $1.8 K_p = 1.8 (1 - \text{sen } \phi)$									
Los valores de δ dados por varios investigadores parecen estar en el rango de 0.5ϕ a 0.8ϕ . Se requiere buen juicio al escoger el valor de δ . Para pilotes hincados de gran desplazamiento, Bhusan (1982) recomendó										

Meyerhof (1976) también indicó que la resistencia por fricción unitaria promedio, f_{prom} , para pilotes hincados de gran desplazamiento se obtiene con los valores de la resistencia a la penetración estándar corregida promedio como

$$f_{prom} \text{ (kN/m}^2\text{)} = 2\bar{N}_{cor} \quad (9.38)$$

donde \bar{N}_{cor} = valor corregido promedio de la resistencia a la penetración estándar

En unidades inglesas, la ecuación (9.38) toma la forma

$$f_{prom} \text{ (lb/pies}^2\text{)} = 40\bar{N}_{cor} \quad (9.39)$$

Para pilotes hincados de desplazamiento pequeño

$$f_{prom} \text{ (kN/m}^2\text{)} = \bar{N}_{cor} \quad (9.40)$$

y

$$f_{prom} \text{ (lb/pies}^2\text{)} = 20\bar{N}_{cor} \quad (9.41)$$

Entonces

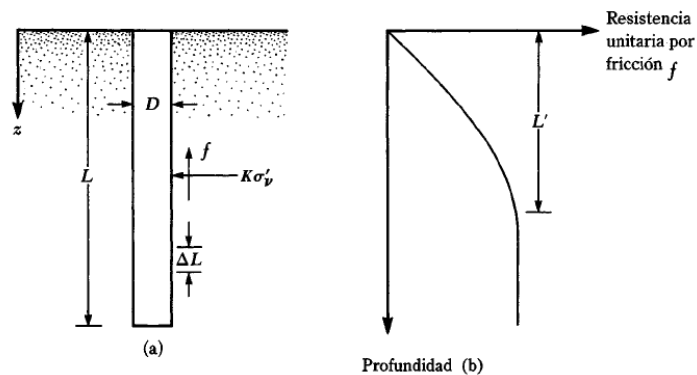
$$Q_s = pLf_{prom} \quad (9.42)$$

Otras consideraciones:

La magnitud de la profundidad L' es de entre 15 y 20 veces el diametro del pilote

Use conservadoramente $L' = 15D$

Ademas considere longitudes de Análisis para los esfuerzos verticales efectivos.



▼ FIGURA 9.18 Resistencia por fricción unitaria para pilotes en arena

Considere esfuerzos efectivos cuando, $z=L'$ y $z=L$

Datos:

$$N_{1,60} = 3 \quad L' = 9 \quad \text{m}$$

f_{prom} para pilotes hincados de desplazamientos pequeño



$$f_{prom} = 3 \quad \text{KN/m}^2$$

Considere una capacidad de Carga por fricción de: $Q_s = pLf_{prom}$

$$Q_s = 186,610604 \quad \text{KN}$$

Anexo 34

Hoja cálculo Método Vesic – Estribo 1

	UNIVERSIDAD PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERIA INGENIERIA CIVIL									
COMPARACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA EN PILOTES OBTENIDAS EN PRUEBAS PDA (PILE DYNAMIC ANALYSIS) CON LAS OBTENIDAS EN TEORÍAS DE CÁLCULO CLÁSICAS										
MÉTODO VESIC										
a. Capacidad de Carga por punta.										
$Q_p = A_p * (cN_c^* + \sigma'_0 N_\sigma^*)$										
Donde: $\sigma'_0 =$	esfuerzo efectivo normal medio del terreno de la punta									
$\sigma'_0 = \left(\frac{1 + 2K_0}{3} \right) * q'$										
$K_0 =$	Coeficiente de presión de tierra en reposo									
$K_0 = 1 - \text{sen}(\phi)$										
$N_c^*, N_\sigma^* =$	Factores de capacidad de carga.									
$N_\sigma^* = \frac{3N_q^*}{(1 + 2K_0)} \quad \text{o encontrar valor mediante tablas}$										
$N_c^* = (N_q^* - 1) \cot(\phi) \quad \text{o encontrar valor mediante tablas}$										
$N_\sigma^* = f(I_{rr})$										
Otras consideraciones:										
$I_{rr} = \frac{I_r}{1 + I_r \Delta} \qquad I_r = \frac{E_s}{2(1 + \mu_s)(c + q' \tan(\phi))} = \frac{G_s}{c + q' \tan \phi}$										
E_s	módulo de elasticidad del suelo									
μ_s	relación de Poisson del suelo									
G_s	módulo cortante del suelo									
Δ	deformación unitaria promedio en la zona plástica de la punta									
Ademas:										
Para arena densa o arcilla saturada										
Δ	= 0	$I_{rr} = I_r$								
Para condiciones no drenada										
ϕ	= 0	$N_c^* = \frac{4}{3} (\ln(I_{rr}) + 1) + \frac{\pi}{2} + 1$								
Donde los valores de I_r se obtienen en laboratorio de ensayos de consolidación y triaxiales, sin embargo se recomiendan:										
<table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #333; color: white;"> <th style="padding: 5px;">Tipo de suelo</th> <th style="padding: 5px;">I_r</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding: 5px;">Arena</td> <td style="padding: 5px;">70-150</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Limos y arcillas (condición drenada)</td> <td style="padding: 5px;">50-100</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Arcillas (condición no drenada)</td> <td style="padding: 5px;">100-200</td> </tr> </tbody> </table>			Tipo de suelo	I_r	Arena	70-150	Limos y arcillas (condición drenada)	50-100	Arcillas (condición no drenada)	100-200
Tipo de suelo	I_r									
Arena	70-150									
Limos y arcillas (condición drenada)	50-100									
Arcillas (condición no drenada)	100-200									

Resolución

Considere:

$$E_s = m * P_a \left(\frac{KN}{m^2} \right) \quad \mu_s = 0.1 + 0.3 \left(\frac{\phi - 25}{20} \right) \quad \text{para } 25^\circ \leq \phi \leq 45^\circ$$

$$\Delta = 0.005 \left(1 - \frac{\phi - 25}{20} \right) * \left(\frac{q'}{P_a} \right)$$

$K_0 =$	0,38		$E_s =$	40000	KN/m ²
$\sigma'_0 =$	71,14	KN/m ²	$\mu_s =$	0,30	
$m =$	400		$\Delta =$	0,002	
$N^*_\sigma =$	121,79				

Indice de rigidez: $I_r = 163,823528$

Indice de rigidez reducida $I_{rr} = 121,717702$

Capacidad de carga por punta

$$Q_p = A_p * (\sigma'_0 N^*_\sigma) = 32933,4404 \text{ KN}$$



UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD CIENCIA DE LA INGENIERIA
INGENIERIA CIVIL



TEMA: COMPARACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA EN PILOTES OBTENIDAS EN PRUEBAS PDA (PILE DYNAMIC ANALYSIS) CON LAS OBTENIDAS EN TEORÍAS DE CÁLCULO CLÁSICAS

MÉTODO AOKI-VELLOSO

CÁLCULO DE Qult. DE PILOTES

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS:

F1= 3.5

F2= 4.5

RESISTENCIA POR FRICCIÓN: Q_{fd} = 661.53 Ton

INPUT DATOS PUNTA DEL PILOTE:

K= 68

N= 61

RESISTENCIA POR PUNTA: Q_{pd} = 4505.11 Ton

CARGA ÚLTIMA DEL PILOTE Q_d = 5166.6 Ton