

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

**TEMA:**

**Desarrollo de código en Matlab para generación de resortes  
no lineales que representen el comportamiento del suelo  
(curvas PY, TZ Y QZ) a distintas profundidades para análisis  
de pilotes.**

**AUTOR:**

**Salmerón Acosta, Darío Fernando**

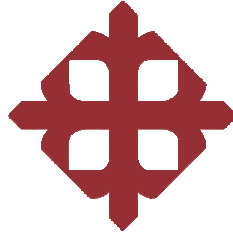
**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de  
INGENIERO CIVIL**

**TUTOR:**

**Ing. Ponce Vásquez, Guillermo Alfonso, MSc.**

**Guayaquil, Ecuador**

**Guayaquil, 9 días del mes de marzo del 2018**



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

**CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por **Salmerón Acosta Darío Fernando**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Civil**.

**TUTOR**

---

**Ing. Ponce Vásquez, Guillermo Alfonso. MSc**

**DIRECTORA DE LA CARRERA**

---

**Ing., Alcívar Bastidas, Stefany Esther. MSc**

**Guayaquil, 9 días del mes de marzo del 2018**



**FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **Salmerón Acosta Darío Fernando**

**DECLARO QUE:**

El Trabajo de Titulación, **Desarrollo de código en Matlab para generación de resortes no lineales que representen el comportamiento del suelo (curvas PY, TZ Y QZ) a distintas profundidades para análisis de pilotes**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

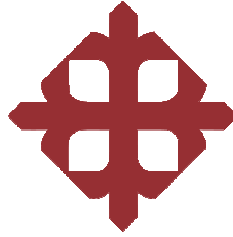
En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

**Guayaquil, 9 de marzo del 2018**

**EL AUTOR**

---

**Salmerón Acosta, Darío Fernando**



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

## **AUTORIZACIÓN**

Yo, **Salmerón Acosta Darío Fernando**

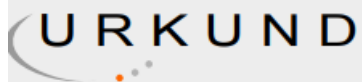
Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Desarrollo de código en Matlab para generación de resortes no lineales que representen el comportamiento del suelo (curvas PY, TZ Y QZ) a distintas profundidades para análisis de pilotes**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

**Guayaquil, 9 de marzo del 2018**

**EL AUTOR:**

---

**Salmerón Acosta Darío Fernando**



## Urkund Analysis Result

**Analysed Document:** TRABAJO DE TITULO DARIO SALMERON.pdf (D35971555)  
**Submitted:** 2/27/2018 5:33:00 PM  
**Submitted By:** claglas@hotmail.com  
**Significance:** 1 %

### Sources included in the report:

TESIS FINAL NICOLAS GRANDA.docx (D21251848)  
1840.- Macavilca Rojas, Nadia Eda.pdf (D33741812)

### Instances where selected sources appear:

4

## **AGRADECIMIENTO**

Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio, gracias a mi familia por apoyarme en cada decisión y por creer siempre en mí. Al director de este proyecto, que con su conocimiento hizo posible que se pueda culminar con éxito. Un agradecimiento especial a Fabrizio Murillo, amigo y compañero de aula que me proporcionó siempre su apoyo incondicional a lo largo de la carrera. A mi novia por estar a mi lado a lo largo de todo este proceso y darme el aliento necesario para salir adelante en todo momento.

## **DEDICATORIA**

A mis padres por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo. Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.



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

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

---

**Ing. Alcívar Bastidas, Stefany Esther, MS.**

DIRECTORA DE LA CARRERA

---

**Ing. Carlos Chon Díaz, MSc.**

COORDINADORA DEL ÁREA

---

**Ing. Hernández Barredo, Jaime Francisco, MSc.**

OPONENTE



# TABLA DE CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	XVI
<b>ABSTRACT</b> .....	XVII
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	2
<b>1. CAPITULO I</b> .....	3
<b>1.1. ALCANCE</b> .....	3
<b>1.2. OBJETIVOS</b> .....	4
<b>1.2.1. Objetivo General.</b> .....	4
<b>1.2.2. Objetivo específico.</b> .....	4
<b>2.CAPITULO II</b> .....	5
<b>2.1. Antecedentes.</b> .....	5
<b>2.2. Programas existentes</b> .....	5
<b>2.2.1. Fb - Multiplier</b> .....	5
<b>2.2.2. LPile v2015</b> .....	9
<b>3. CAPÍTULO III</b> .....	17
<b>3.1. Tipos de curva Py</b> .....	17
<b>3.1.1. Arena de O'Neill</b> .....	17
<b>3.1.2. Arena de Reese, Cox y Koop</b> .....	20
<b>3.1.3. Arena Api.</b> .....	23
<b>3.1.4. Arcilla de O'Neill</b> .....	25
<b>3.1.5. Arcilla blanda bajo el nivel freático de Matlock</b> .....	27
<b>3.1.6. Arcilla dura sobre el nivel freático de Welch y Reese</b> .....	29

3.1.7. Arcilla Api .....	30
<b>4. CAPÍTULO IV .....</b>	<b>32</b>
<b>4.1. Tipos de curva Tz .....</b>	<b>32</b>
4.1.1. Arena de Api.....	32
4.1.2. Arcilla de Api.....	34
<b>5. CAPITULO V .....</b>	<b>36</b>
<b>5.1. Tipos de curva Qz .....</b>	<b>36</b>
5.1.1. Arcilla de Api.....	36
5.1.2. Arena de Api.....	38
<b>6. CAPITULO VI .....</b>	<b>40</b>
<b>6.1. Descripción del programa y su funcionamiento .....</b>	<b>40</b>
<b>6.2. Manual de usuario.....</b>	<b>40</b>
<b>7. CAPITULO VII .....</b>	<b>47</b>
<b>7.1. Ejemplos y Comparación de Resultados Matlab vs Lpile curvas py .....</b>	<b>47</b>
<b>7.2. Ejemplos y Comparación de Resultados Matlab vs Lpile curvas tz .....</b>	<b>54</b>
<b>8. CAPITULO VII .....</b>	<b>57</b>
<b>8.1. CONCLUSIONES .....</b>	<b>57</b>
<b>8.2. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>57</b>
<b>8.3. ANEXO A .....</b>	<b>58</b>
<b>GUÍA DEL CÓDIGO DE LAS CURVAS PY .....</b>	<b>58</b>
<b>A.1. ARENA DE ONEILL .....</b>	<b>59</b>
<b>A.2. ARENA DE REESE, COX Y COOP .....</b>	<b>60</b>

<b>A.3. ARENA DE API .....</b>	<b>62</b>
<b>A.4. ARCILLA DE ONEILL .....</b>	<b>63</b>
<b>A.5. ARCILLA BLANDA BAJO NF DE MATLOCK.....</b>	<b>64</b>
<b>A.6. ARCILLA DURA SOBRE NF DE REESE.....</b>	<b>65</b>
<b>A.7. ARCILLA API .....</b>	<b>66</b>
<b>8.4. ANEXO B .....</b>	<b>67</b>
<b>GUÍA DEL CÓDIGO DE LAS CURVAS TZ .....</b>	<b>67</b>
<b>B.1. ARENA API .....</b>	<b>68</b>
<b>B.2. ARCILLA API .....</b>	<b>69</b>
<b>8.5. ANEXO C .....</b>	<b>70</b>
<b>GUÍA DEL CÓDIGO DE LAS CURVAS QZ.....</b>	<b>70</b>
<b>C.1. ARENA API .....</b>	<b>71</b>
<b>C.2. ARCILLA API .....</b>	<b>72</b>
<b>ANEXO D.....</b>	<b>73</b>
<b>GUÍA DEL CÓDIGO DE LAS CURVAS (PY, TZ, QZ).....</b>	<b>73</b>
<b>D.1. CÓDIGO PARA EL RECONOCIMIENTO DE DATOS DE LAS CURVAS (PY, TZ, QZ).....</b>	<b>74</b>
<b>D.2. CÓDIGO GENERADOR DE LAS CURVAS.....</b>	<b>75</b>
<b>D.3. CÓDIGO PARA LA DISCRETIZACIÓN DEL PILOTE .....</b>	<b>76</b>
<b>D.4. CÓDIGO GENERADOR DE ESFUERZO EFECTIVO .....</b>	<b>77</b>
<b>9. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>78</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1. Ventana del menú de herramientas (FB-Multiplier, 2018).....</b>	<b>6</b>
<b>Figura 2. Ventana de información general del proyecto (FB-Multiplier,2018).....</b>	<b>7</b>
<b>Figura 3. Ventana de selección del tipo de análisis (FB-Multiplier,2018)</b>	<b>7</b>
<b>Figura 4. Ventana de selección de tipo de suelos, curvas y elevación del estrato (FB-Multiplier,2018).....</b>	<b>8</b>
<b>Figura 5. Ingreso de datos (FB-Multiplier,2018) .....</b>	<b>8</b>
<b>Figura 6. Ventana de Resultados (FB-Multiplier,2018) .....</b>	<b>9</b>
<b>Figura 7. Ventana del menú de herramientas (LPile, 2015).....</b>	<b>12</b>
<b>Figura 8. Ventana de información general del proyecto (LPile,2015)....</b>	<b>12</b>
<b>Figura 9. Selección del tipo y sección del pilote (LPile, 2015).....</b>	<b>13</b>
<b>Figura 10. Ingreso de la sección del pilote, longitud, ancho y alto (LPile, 2015).....</b>	<b>13</b>
<b>Figura 11. Características del material del pilote a analizar (LPile, 2015). .....</b>	<b>14</b>
<b>Figura 12. Ventana de las propiedades del refuerzo (LPile, 2015).....</b>	<b>14</b>
<b>Figura 13. Selección del tipo de suelo a modelar (LPile, 2015). .....</b>	<b>15</b>
<b>Figura 14. Selección del tipo de carga: momento, carga axial, carga distribuida. (LPile, 2015).....</b>	<b>15</b>
<b>Figura 15. Selección de los diferentes tipos de suelos de cada autor, arcillas, arenas, roca. (LPile, 2015).....</b>	<b>15</b>
<b>Figura 16. Resultados, gráficas de momento flector, cortante y deflexión lateral. (LPile, 2015). .....</b>	<b>16</b>

<b>Figura 17. Resultados, curva <math>p_y</math> para tipo de suelo dado</b> .....	16
<b>Figura 18. Curvas Arena de Reese, Cox y Coop (<math>p_y</math>)</b> .....	20
<b>Figura 19. Coeficiente <math>A_s</math> para arenas</b> .....	21
<b>Figura 20. Coeficiente <math>B_s</math> para arenas</b> .....	22
<b>Figura 21. Arcilla de O'Neill (<math>p_y</math>)</b> .....	25
<b>Figura 22. Curva Arcilla blanda bajo NF de Matlock (<math>p_y</math>)</b> .....	27
<b>Figura 23. Curva Arcilla dura sobre NF de Welch y Reese (<math>p_y</math>)</b> .....	29
<b>Figura 24. Curva Arcilla Api (<math>p_y</math>)</b> .....	30
<b>Figura 26. Curva Arena Api (<math>t_z</math>)</b> .....	33
<b>Figura 27. Curva Arcilla Api (<math>t_z</math>)</b> .....	35
<b>Figura 28. Curva Arcilla Api (<math>Q_z</math>)</b> .....	37
<b>Figura 29. Curva Arena Api (<math>Q_z</math>)</b> .....	39
<b>Figura 30 Hoja de datos inicial.</b> .....	40
<b>Figura 31. Columna 1 Hoja de datos.</b> .....	40
<b>Figura 32. Columna 2 Hoja de datos.</b> .....	40
<b>Figura 33. Columna 3 Hoja de datos.</b> .....	41
<b>Figura 34. Columna 4 Hoja de datos.</b> .....	41
<b>Figura 35. Columna 5 Hoja de datos.r</b> .....	41
<b>Figura 36. Columna 6 Hoja de datos.</b> .....	41
<b>Figura 37. Columna 7 Hoja de datos.</b> .....	41
<b>Figura 38. Columna 8 Hoja de datos.</b> .....	41
<b>Figura 39. Columna 9 Hoja de datos.</b> .....	42
<b>Figura 40. Columna 10 Hoja de datos.</b> .....	42

<b>Figura 41. Columna 11 Hoja de Datos.....</b>	<b>42</b>
<b>Figura 42. Columna 12 Hoja de Datos.....</b>	<b>43</b>
<b>Figura 43. Columna 13 Hoja de Datos.....</b>	<b>43</b>
<b>Figura 44. Agrupación de códigos en carpeta. ....</b>	<b>44</b>
<b>Figura 45. Barra de herramientas (Matlab, 2017) .....</b>	<b>44</b>
<b>Figura 46. Menú principal (Matlab, 2017) .....</b>	<b>45</b>
<b>Figura 47. Ventana generadora de curvas (Matlab,2017) .....</b>	<b>45</b>
<b>Figura 48. Ventana de ingreso de datos (Matlab, 2017).....</b>	<b>46</b>
<b>Figura 49 Curva fuerza vs deflexión Arcilla blanda bajo Nf de Matlock Lpile vs Matlab .....</b>	<b>48</b>
<b>Figura 50. Comparación de resultados Lpile vs matlab .....</b>	<b>49</b>
<b>Figura 51. Curva fuerza vs deflexión Arcilla dura sobre Nf de Reese Lpile vs Matlab .....</b>	<b>50</b>
<b>Figura 52. Curva fuerza vs deflexión Arena Reese Lpile vs Matlab .....</b>	<b>51</b>
<b>Figura 53. Comparación de Gráficas Lpile vs matlab.....</b>	<b>52</b>
<b>Figura 54. Curva fuerza vs deflexión Arena Api Lpile vs Matlab .....</b>	<b>53</b>
<b>Figura 55. Comparación de resultados Arena de Api Lpile vs Matlab ..</b>	<b>53</b>
<b>Figura 56. Curva esfuerzo vs deflexión Arena Api tz Lpile vs Matlab ...</b>	<b>54</b>
<b>Figura 57. Comparación de Resultados fb Multiplier vs Matlab .....</b>	<b>55</b>
<b>Figura 58. Curva esfuerzo vs deflexión Arcilla Api tz Lpile vs Matlab ..</b>	<b>55</b>
<b>Figura 59. Comparación de resultados en excel Lpile vs matlab .....</b>	<b>56</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1. Factor de forma del pilote.....</b>	<b>17</b>
<b>Tabla 2. Módulo de reacción lateral o rigidez inicial para arenas(kpy) .</b>	<b>19</b>
<b>Tabla 3. Valores de <math>\epsilon_{50}</math>.....</b>	<b>26</b>
<b>Tabla 4. Parámetro empírico J.....</b>	<b>28</b>
<b>Tabla 5. Relación <math>p/p_u</math> y <math>y/y_c</math> Arcilla api (py).....</b>	<b>30</b>
<b>Tabla 6. Relación <math>z</math>, <math>t/t_{max}</math> arena Api (tz).....</b>	<b>32</b>
<b>Tabla 7. Relación <math>z/D</math> y <math>t/t_{max}</math> Arcilla Api (tz).....</b>	<b>34</b>
<b>Tabla 8. Relación <math>z/D</math> y <math>Q/Q_p</math> Arcilla Api (<math>Q_z</math>).....</b>	<b>36</b>
<b>Tabla 9. Relación <math>z/D</math> y <math>Q/Q_p</math> Arena de Api (<math>Q_z</math>).....</b>	<b>39</b>
<b>Tabla 10. Numeración de curvas <math>p_y</math>.....</b>	<b>42</b>
<b>Tabla 11. Numeración de curvas <math>t_z</math>.....</b>	<b>43</b>
<b>Tabla 12. Numeración curva <math>q_z</math>.....</b>	<b>43</b>
<b>Tabla 13. Comparación de resultados Arcilla blanda bajo Nf de Matlock Lpile vs Matlab.....</b>	<b>48</b>
<b>Tabla 14. Comparación de resultados Arcilla dura sobre Nf de Reese Lpile vs Matlab.....</b>	<b>50</b>
<b>Tabla 15. Comparación de resultados Arena de Reese Lpile vs Matlab.....</b>	<b>52</b>
<b>Tabla 16. Comparación de resultados Arena de Api tz Lpile vs Matlab.....</b>	<b>54</b>
<b>Tabla 17. Comparación de resultados Arcilla de Api tz Lpile vs Matlab.....</b>	<b>56</b>

## RESUMEN

- Este trabajo de investigación presenta la formulación de expresiones para curvas  $p-y$ ,  $tz$  y  $qz$  para arenas y arcillas bajo carga estática en el programa Matlab. Se presentan conceptos que son relevantes para cualquier método de análisis de cimentaciones profundas bajo carga lateral y axial. Se presenta el concepto del método  $p-y$ , concepto de cimentaciones profundas bajo carga axial del método  $tz$  y  $qz$ , que corresponden a cargas axiales en el fuste y punta del pilote correspondientemente. Detalles para el cálculo del comportamiento de transferencia de carga para una pila bajo una variedad de condiciones. Las curvas que describen la transferencia de carga lateral y axial a lo largo del pilote en función de la profundidad y de la deflexión lateral. Se procederá a realizar un código o Software en el programa Matlab el cual será muy útil al momento de calcular los resortes no lineales que nos ayudarán a representar el suelo. Basta con ingresar los parámetros relevantes en el programa, para obtener las curvas particulares del sitio en estudio.

**Palabras clave:** resortes, no lineales, curvas, deflexión, software, parámetros, profundidad.



## ABSTRACT

This research work presents the formulation of expressions for curves  $p-y$ ,  $t_z$  and  $q_z$  for sands and clays under static load in the Matlab program. Concepts that are relevant for any method of analysis of deep foundations under lateral and axial load are presented. The concept of the  $p-y$  method is presented, concept of deep foundations under axial load of the method  $t_z$  and  $q_z$ , corresponding to axial loads in the pile and tip of the pile correspondingly. Details for the calculation of load transfer behavior for a battery under a variety of conditions. The curves that describe the lateral and axial load transfer along the pile as a function of depth and lateral deflection. We will proceed to make a code or software in the Matlab program which will be very useful when calculating the non-linear springs that will help us to represent the soil. Simply enter the relevant parameters in the program, to obtain the particular curves of the site under study.

**Key words:** springs, nonlinear, curves, deflection, software, parameters, depth.

## INTRODUCCIÓN

El diseño de una cimentación con pilotes para sostener una combinación de carga lateral y axial requiere que el ingeniero estructural considere los factores que involucran, los costos y métodos de construcción para diferentes tipos de suelos. En un sentido, el diseño de un pilote bajo carga lateral no es diferente que el diseño de cualquier cimentación. Uno tiene que determinar primero la carga de la cimentación que produzca la falla y luego aplicar un factor de seguridad, factores de carga y resistencia para ajustar la carga admisible para la cimentación. Lo que es diferente para el análisis de la carga lateral es que la falla no se puede encontrar mediante la resolución de las ecuaciones de equilibrio estático. En lugar de ello, la capacidad lateral del suelo sólo puede encontrarse mediante la resolución de una ecuación diferencial que rige su comportamiento y luego evaluar los resultados de la solución. Este trabajo de investigación presenta la formulación de expresiones para curvas  $p-y$ ,  $t_z$  y  $q_z$  para arenas y arcillas bajo carga estática en el programa Matlab. Se presentan conceptos que son relevantes para cualquier método de análisis de cimentaciones profundas bajo carga lateral y axial. El Capítulo 3 presentó el concepto del método  $p-y$ , el capítulo 4 y 5 presenta el concepto de cimentaciones profundas bajo carga axial del método  $t_z$  y  $q_z$ , que corresponden a cargas axiales en el fuste y punta del pilote correspondientemente. Detalles para el cálculo del comportamiento de transferencia de carga para una pila bajo una variedad de condiciones. Las curvas que describen la transferencia de carga lateral y axial a lo largo del pilote en función de la profundidad y de la deflexión lateral.

# 1. CAPITULO I

## 1.1. ALCANCE

Procederemos a realizar un código que nos permita calcular los resortes no lineales para poder representar el suelo, éste código se desarrollará con la ayuda del programa MATLAB, elegimos este programa ya que tiene un fácil manejo y porque su método de programación es compatible con muchos otros programas de diseño, de esta manera podrá ser utilizado sin problemas en cualquiera de los programas compatibles y a futuro puede ser modificado para su mejora o adición de normas de diseño.

Matlab nos permite crear varias rutinas que una vez listas permitirán que el usuario solo tenga que ingresar los datos. El código que se realizará tendrá las siguientes características:

- Será capaz de leer el reporte de los ensayos de laboratorio a partir de una hoja de Excel. El código tendrá los modelos de curvas no lineales que fueron desarrollados por O'Neill, Matlock, API, etc., y el usuario podrá escoger el mejor modelo que se adapte al tipo de suelo.
- Internamente generará los parámetros necesarios que serán utilizados en la generación de la curva.
- El usuario ingresará las propiedades del pilote, como sección y resistencia a la compresión, e indicará la profundidad donde se generará la curva respectiva.
- El programa entregará, en formato de texto y gráfico de las curvas generadas.

Este software ayudará a muchos Ingenieros civiles a realizar diseños y revisiones de una manera más sencilla y amigable, ya que el software no es complicado de ejecutar.

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. Objetivo General.**

- Desarrollar un código en Matlab que permita calcular los resortes no lineales para representar el suelo alrededor de pilotes a diferentes profundidades.

### **1.2.2. Objetivo específico.**

- Calcular los parámetros necesarios del suelo en base a reportes de ensayos laboratorio de sondeos realizados.
- Calcular los resortes no lineales (curvas  $p_y$ ,  $t_z$  y  $q_z$ ) a diferentes profundidades.
- Elaborar un manual de usuario para el fácil manejo del software.

## **2.CAPITULO II**

### **2.1. Antecedentes.**

El cálculo de los esfuerzos que se desarrollan en los pilotes está condicionado por la respuesta que genera el suelo, lo que influye también la distribución de los esfuerzos en los pilotes debido a la interacción entre el pilote y el suelo. Una de las mejores maneras de analizar esta interacción es mediante la representación del suelo usando resortes no lineales. Sin embargo, obtener los resortes adecuados se convierte en una actividad compleja debido a los diferentes parámetros que se necesitan. Por esta razón, tener una herramienta validada que genere los resortes no lineales será una gran ayuda para la obtención de los esfuerzos en los pilotes y así obtener mejores diseños de pilotes.

Existen programas como LPile y Fb Multiplier que al no ser modificables y al tener costos muy altos, hace que muchos Ingenieros no puedan calcular los resortes y por lo tanto no puedan analizar el comportamiento del pilote en interacción con el suelo.

### **2.2. Programas existentes**

#### **2.2.1. Fb - Multiplier**

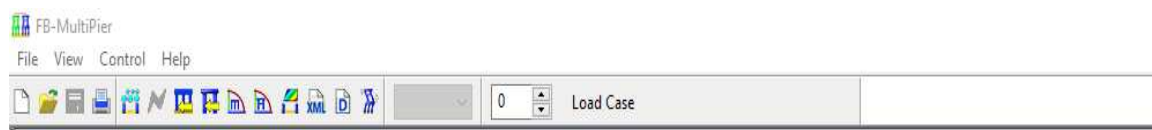
FB-Multiplier es un programa de análisis de elementos finitos no lineales capaz de analizar estructuras múltiples. La estructura puede estar sujeta a una gama completa de tipos de carga AASHTO en un análisis estático o funciones de carga variables en el tiempo en un análisis dinámico. Este programa de análisis acopla el análisis de elementos finitos estructurales no lineales con modelos de suelo estáticos no lineales para el comportamiento axial, lateral y torsional del suelo para proporcionar un sistema robusto de análisis para estructuras de diques de puente y sistemas de cimentación acoplados. FB-Multiplier realiza la generación del modelo de elementos finitos internamente dada la definición geométrica de la estructura y el sistema de cimentación como entrada gráfica por parte del diseñador. Esto le permite al ingeniero trabajar directamente con los parámetros de diseño y disminuye la contabilidad necesaria para crear e interpretar un modelo. Como es una necesidad para las aplicaciones orientadas al diseño, FB-

Multipier genera automáticamente modelos de elementos finitos con una definición paramétrica y geométrica de la estructura y el sistema de cimentación. Los resultados de entrada y análisis se manejan a través de una combinación simplificada de gráficos basados en formularios, gráficos 2D y gráficos 3D

El código se llama FLPIER (D). FLPIER ha sido desarrollado a su estado actual a través de un proceso evolutivo de 10 años bajo el patrocinio de Florida DOT, FHWA, y NCHRP. Al desarrollar la versión dinámica actual de FLPIER, se prestó especial atención al modelado no lineal de los miembros de hormigón armado del sistema pile-cap-pier, ya que el agrietamiento y la fluencia ocurren durante un evento sísmico o de impacto. FLPIER (D) también incluye respuesta no lineal del suelo en las direcciones axial y lateral a lo largo de todos los pilotes en el sistema que usa py curvas y curvas tz y tiene la provisión para especificar los parámetros para las curvas dinámicas simplificadas que se describen en la sección previa y p-multiplicadores que son seleccionados por el usuario.

Los modelos de materiales y los métodos computacionales generales utilizados en FLPIER están documentados. FLPIER se ejecuta en un entorno Windows® y se escribió de forma tal que los diseñadores puedan utilizarlo fácilmente.

(Bridge Software Florida Institute, 2018)



**Figura 1. Ventana del menú de herramientas (FB-Multipier, 2018)**

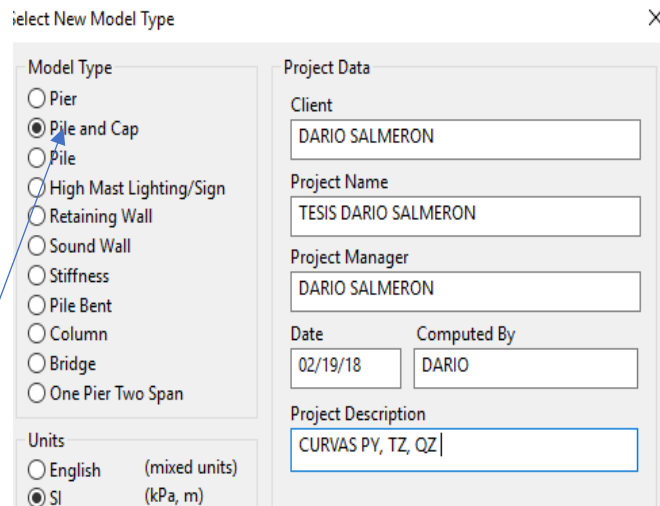


Figura 2. Ventana de información general del proyecto (FB-Multipier,2018)

En esta ventana se selecciona el modelo que se va a analizar, por ejemplo: (pile and cap), además se puede ingresar la información general del proyecto.

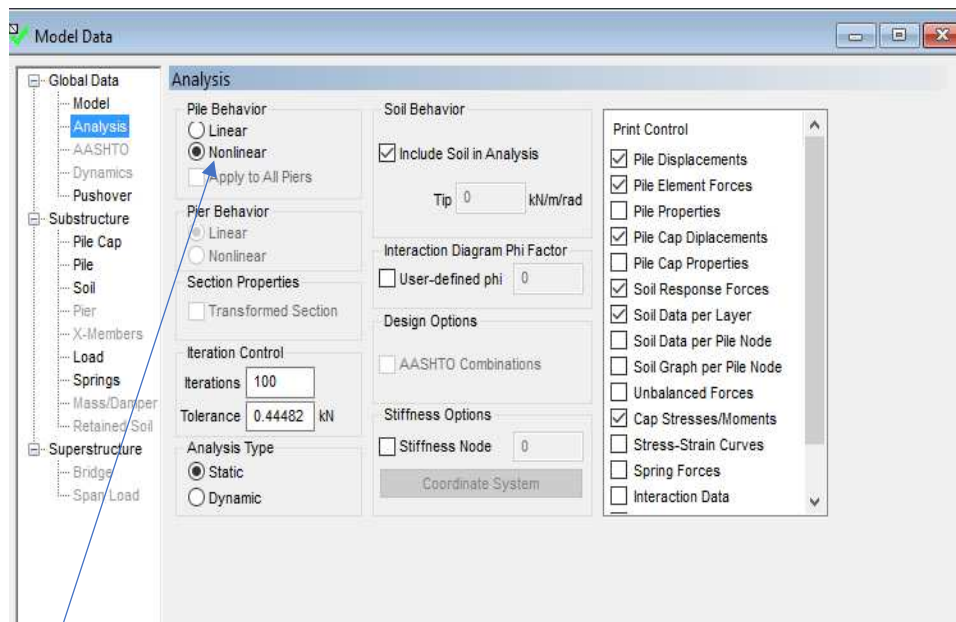
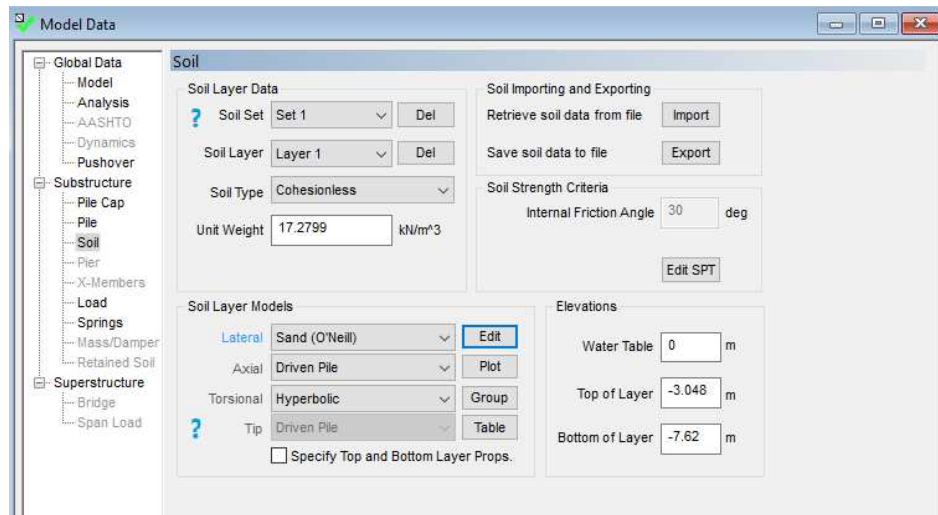


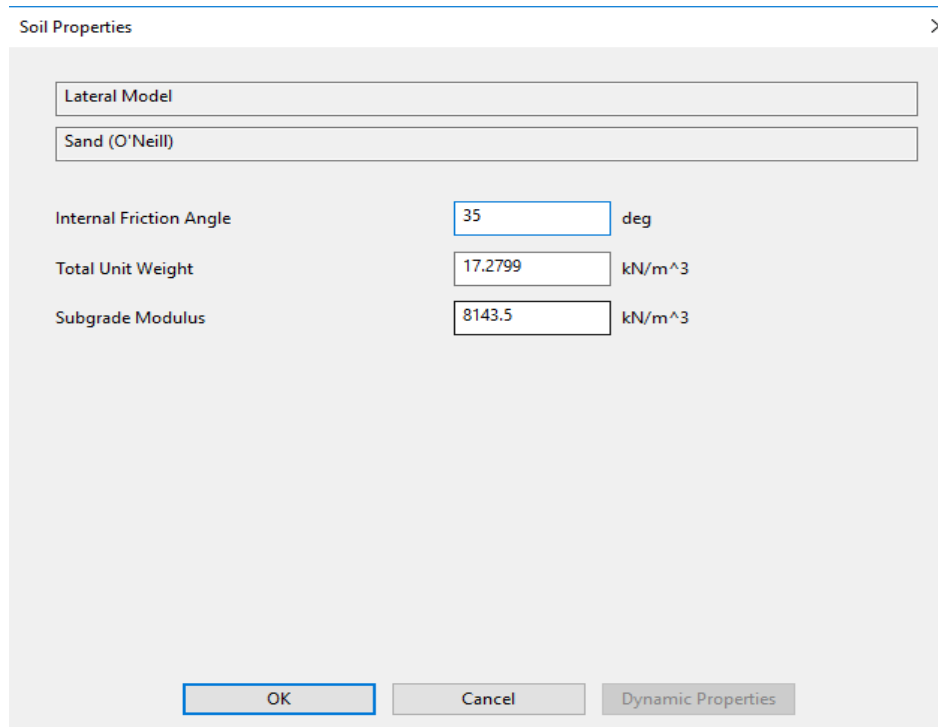
Figura 3. Ventana de selección del tipo de análisis (FB-Multipier,2018)

En esta ventana se selecciona el tipo de análisis que se va a realizar como, por ejemplo: No lineal.



**Figura 4. Ventana de selección de tipo de suelos, curvas y elevación del estrato (FB-Multipier,2018)**

En esta ventana se selecciona el tipo de suelo, curvas y las profundidades a las que se van a analizar.



**Figura 5. Ingreso de datos (FB-Multipier,2018)**

En esta ventana se ingresan los datos necesarios para cada tipo de suelo, en este caso para las arenas los datos son: peso específico unitario, módulo de reacción lateral, ángulo de fricción interna.



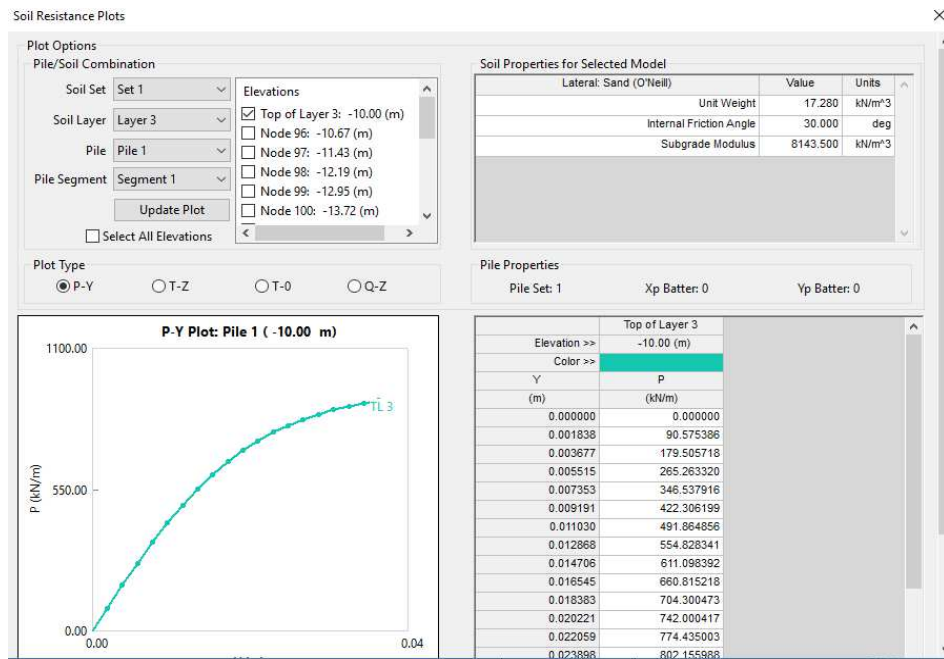


Figura 6. Ventana de Resultados (FB-Multiplier,2018)

Esta ventana presenta los resultados generados para cada tipo de curva, con sus respectivas propiedades y bloc de notas.

### 2.2.2. LPILE v2015

LPILE es un programa de propósito especial para analizar un solo pilote (o eje perforado) bajo carga lateral utilizando el método p-y. LPILE resuelve la ecuación diferencial para una columna usando curvas de transferencia de carga lateral no lineales (p-y). El programa calcula la deflexión lateral, el momento flector, la fuerza cortante y la respuesta del suelo a lo largo del pilote. Se proporcionan opciones para calcular los componentes de la matriz de rigidez del cabezal del pilote para su uso en el análisis de la superestructura y para calcular la deflexión del pilote en varias longitudes del mismo.

La transferencia de carga lateral no lineal desde la base hasta el suelo se modela utilizando las curvas p-y generadas internamente utilizando las recomendaciones publicadas para varios tipos de suelos. Los procedimientos especiales están programados para calcular las curvas p-y para suelos estratificados y rocas. De forma alternativa, los usuarios pueden ingresar cualquier curva p-y lineal no lineal (especificada por el usuario).

LPILE tiene características analíticas para calcular las relaciones de momento-curvatura no lineales y la capacidad de momento nominal de una

sección de pilotes en base a las dimensiones de pilotes especificadas y propiedades de materiales no lineales. Opcionalmente, el usuario puede ingresar relaciones de momento-curvatura no lineales para usar en lugar de los valores generados internamente. Los usuarios pueden incluir cualquier sección AISC para modelos de pilotes elásticos o no lineales, ya sea como pilotes conducidos o como insertos estructurales incrustados en ejes perforados.

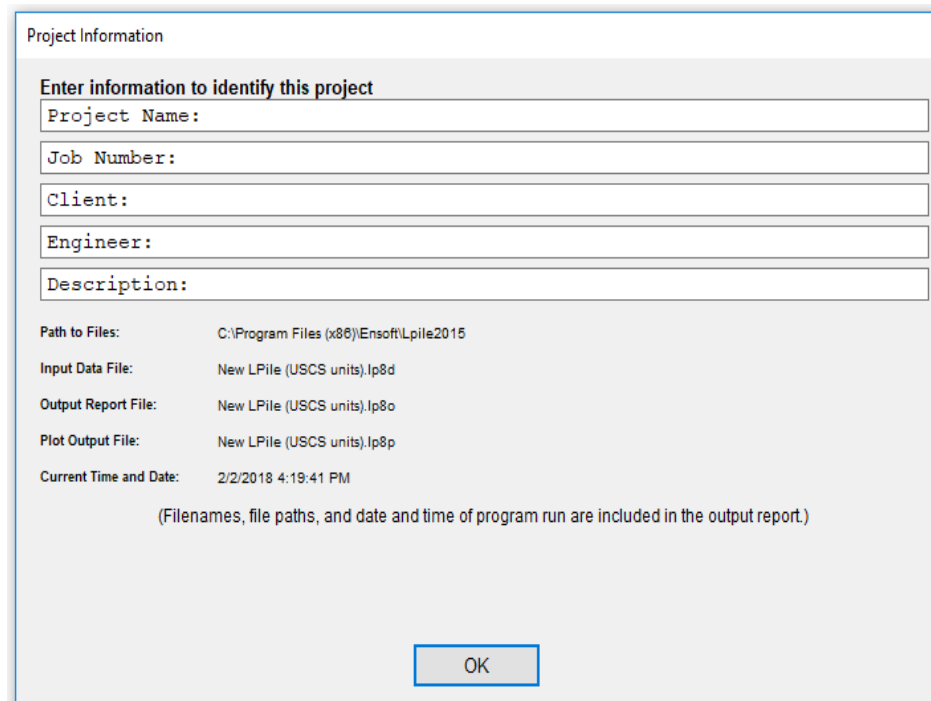
- Las condiciones de borde están disponibles para modelar el cabezal del pilote como cabezal libre, cabezal fijo con balanceo, cabezal fijo con balanceo o sujetado elásticamente con un resorte giratorio. La carga de la cabeza del pilote puede consistir en una carga lateral, un momento de flexión, un desplazamiento lateral específico o una rotación específica de la cabeza del pilote. La capacidad de especificar tanto la deflexión como la rotación en el cabezal de pila es una característica útil disponible en LPILE.
- Se pueden aplicar hasta cincuenta casos de carga diferentes en el cabezal del pilote en una sola ejecución analítica. Los modelos con múltiples casos de carga se analizan de forma independiente y producen resultados o advertencias si uno o más casos de carga no logran alcanzar la convergencia numérica.
- Los usuarios pueden especificar cualquiera de las cargas aplicadas que se utilizarán para los cálculos de la deflexión del pilote frente a la penetración del pilote para verificar la longitud crítica del pilote y producir diseños de penetración eficientes.
- Se puede aplicar un juego de carga lateral distribuida en cualquier lugar a lo largo del pilote. La carga distribuida se puede especificar como constante o variando linealmente con la profundidad.
- LPILE tiene la capacidad de realizar análisis para el diseño de factores de carga y resistencia (LRFD).
- En los modelos LRFD, el programa verifica la capacidad de momento factorizada con factores basados en ACI-318.
- Las cargas no modificadas se definen para: cizallamiento, momento, empuje axial y carga lateral distribuida.

- Las curvas de resistencia del suelo ( $p-y$ ) pueden ser generadas internamente por el programa para los siguientes suelos: arcilla blanda, arcilla dura con o sin agua libre, arena (Reese et al o API), suelos c-ce (limo) cementados, licuable arena (Rollins), roca maciza, roca fuerte, roca débil, arcilla rígida modificada sin agua libre usando  $k$  inicial, suelos residuales de Piamonte, lodo sedimentario, método híbrido para arenas licuables y subrasante elástico. Las curvas  $p-y$  pueden imprimirse a cualquier profundidad para revisiones o referencias.
- Los usuarios pueden opcionalmente ingresar sus propias curvas de transferencia de carga lateral ( $p-y$ ) para capas de suelo específicas. LPILE permite a los usuarios observar las curvas ingresadas con gráficos dinámicos.
- LPILE ajusta las curvas  $p-y$  para efectos de capas de suelo (por ejemplo, donde puede haber capas de arena y arcilla). Los usuarios pueden seleccionar desactivar los cálculos de estratificación para todos los casos o solo cuando los suelos son del mismo tipo. Esta característica puede ser útil para la investigación o para estudiar el impacto de estratificación en algunos modelos.
- Se pueden proporcionar multiplicadores definidos por el usuario para aumentar o reducir las curvas de resistencia del suelo ( $p-y$ ) en cualquier punto de la longitud de la pila. Esta característica se usa en condiciones sísmicas para reducir la respuesta de las capas licuadas o para dar cuenta de los efectos grupales.
- Los factores internos de modificación se calculan automáticamente para modelar la influencia de la masa de la pila y las superficies inclinadas del terreno.
- Se puede usar una curva especificada por el usuario para modelar la resistencia al corte adicional proporcionado por el suelo en la base de ejes perforados de gran diámetro y / o pilotes cortos.
- LPILE tiene la capacidad de analizar el comportamiento de los pilotes sometidos al movimiento de suelo de campo libre en la dirección lateral

- La interpolación lineal de la rigidez a la flexión se realiza internamente para pilotes con secciones transversales variables.
- El usuario puede definir hasta 10 secciones con propiedades de flexión no lineal. Esto permite que el diseñador corte parte del acero de refuerzo de las secciones inferiores de un eje, como es práctica habitual en la construcción (Engineering Software Ensoft Inc, 2018)



**Figura 7. Ventana del menú de herramientas (LPile, 2015)**



**Figura 8. Ventana de información general del proyecto (LPile,2015)**

Ventana en las que se puede ingresar la información del proyecto que se va a analizar. El usuario siempre puede editar o modificar, basta con ingresar a Project information, en el menú de herramientas

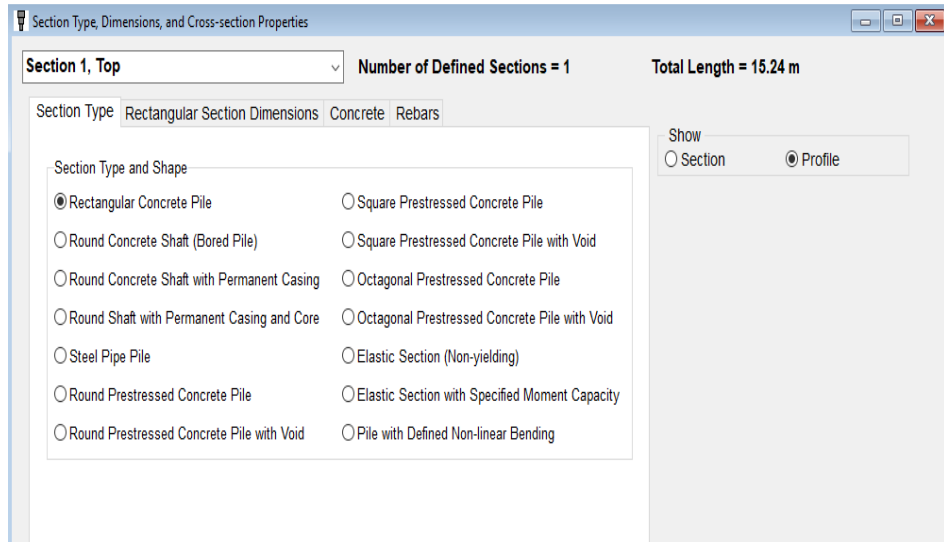


Figura 9. Selección del tipo y sección del pilote (LPile, 2015).

En esta ventana se escoge la sección y el material del pilote que va a ser analizado.

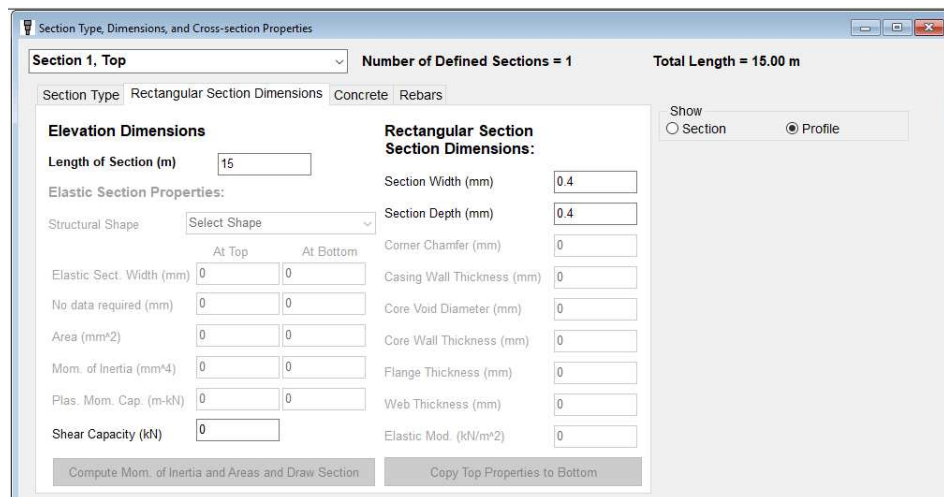


Figura 10. Ingreso de la sección del pilote, longitud, ancho y alto (LPile, 2015).

En esta venta se ingresan los datos del pilote, longitud, ancho y alto.

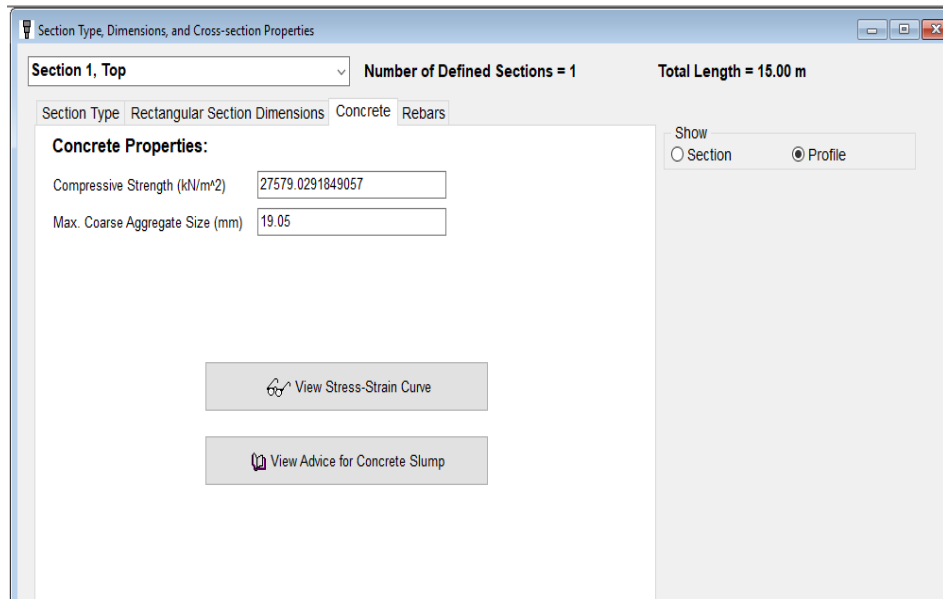


Figura 11. Características del material del pilote a analizar (LPile, 2015).

Ésta ventana describe las propiedades del material del pilote.

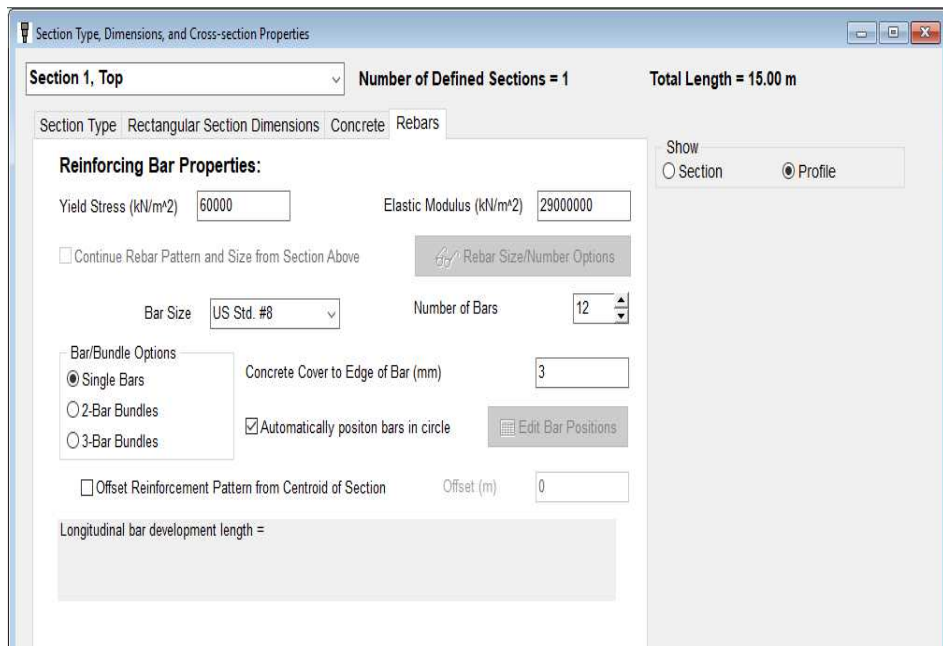


Figura 12. Ventana de las propiedades del refuerzo (LPile, 2015).

Si se le quiere agregar algún refuerzo, en ésta ventana se agrega.

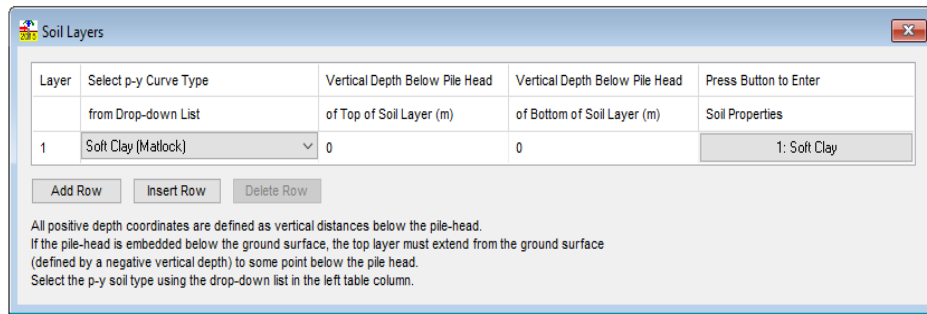


Figura 13. Selección del tipo de suelo a modelar (LPile, 2015).

En esta ventana se escoge el tipo de curva que se va a analizar y la profundidad del estrato.

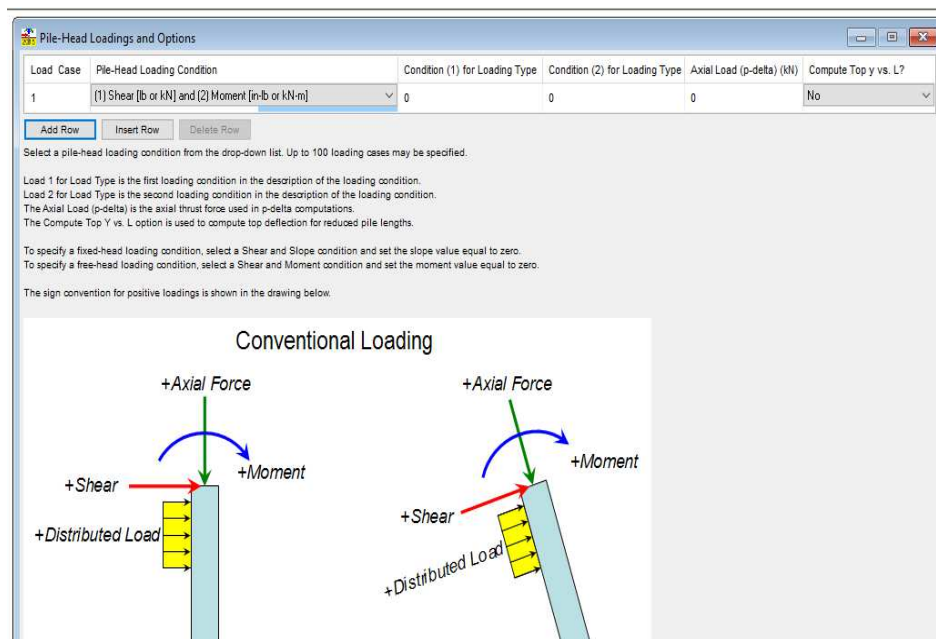


Figura 14. Selección del tipo de carga: momento, carga axial, carga distribuida. (LPile, 2015).

Si se le quiere agregar algún tipo de carga adicional, se escoge esta ventana.

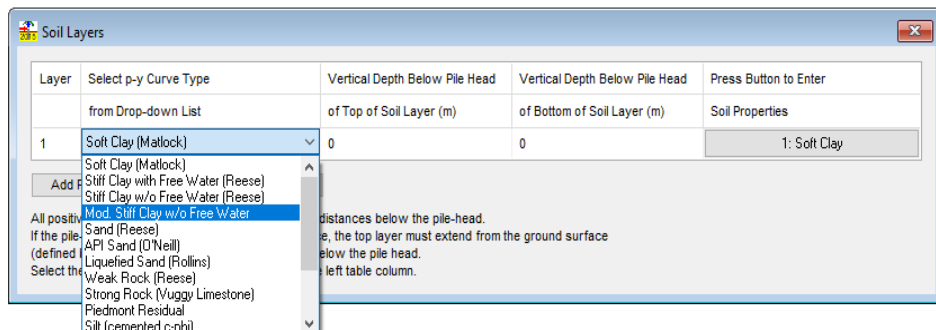


Figura 15. Selección de los diferentes tipos de suelos de cada autor, arcillas, arenas, roca. (LPile, 2015).

Selección de los diferentes tipos de autores para curvas  $p_y$ , para cada tipo de suelo.

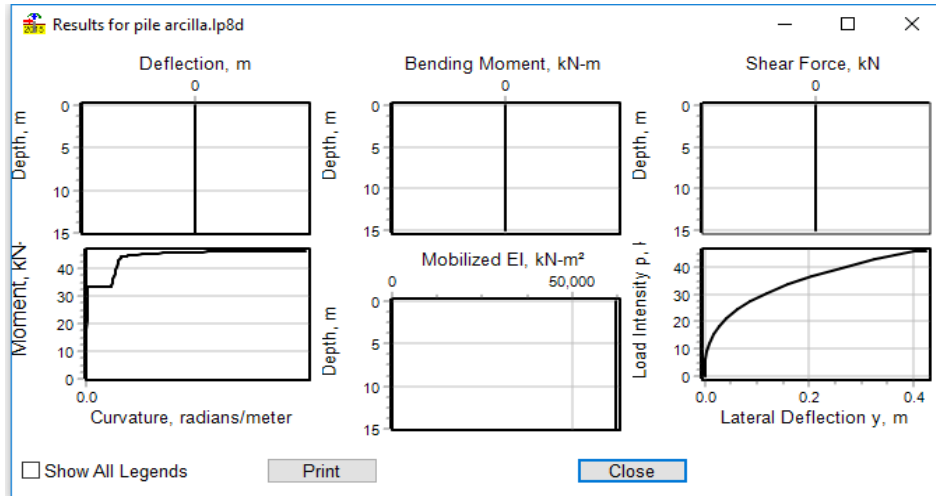


Figura 16. Resultados, gráficas de momento flector, cortante y deflexión lateral. (LPile, 2015).

Gráficas de momento, flector, cortante y deflexión lateral, ésta ventana muestra los resultados de lo mencionado anteriormente.

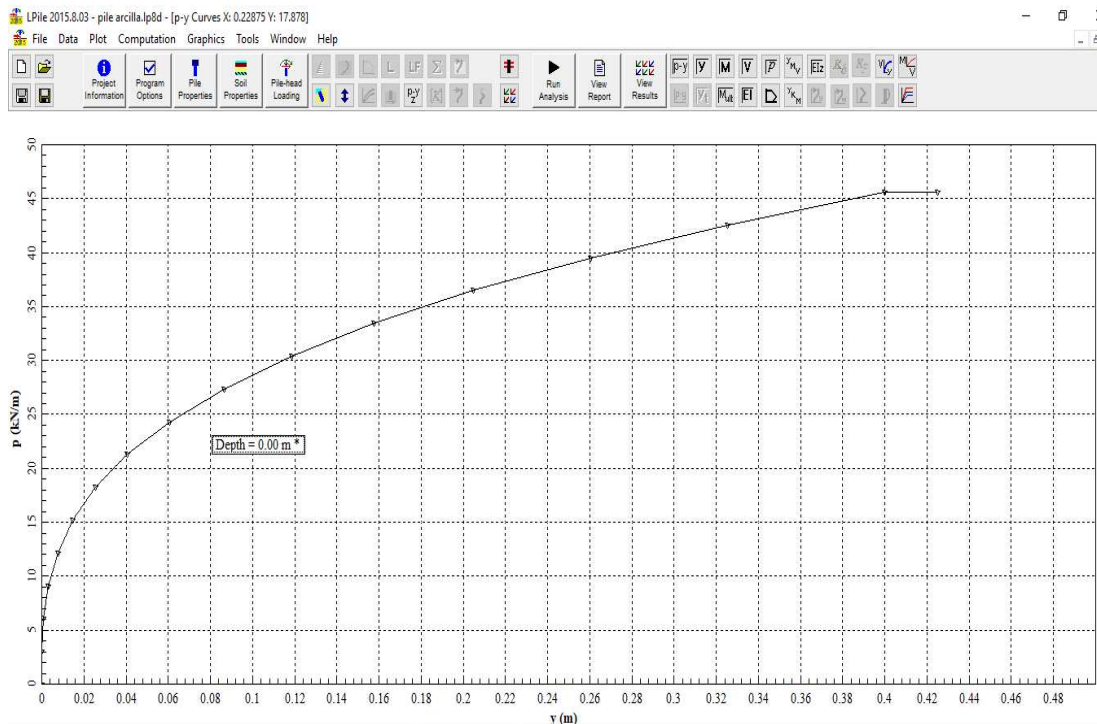


Figura 17. Resultados, curva  $p_y$  para tipo de suelo dado

Gráfica de curva  $p_y$  en el programa Lpile.



### 3. CAPÍTULO III

#### 3.1. Tipos de curva Py

Es un método de cálculo que supone que la interacción entre el suelo y el fuste del pilote puede ser representada por resortes discretos cuyo comportamiento es no lineal. Numerosos autores intentan representar el comportamiento de estos resortes mediante funciones parametrizadas con ensayos in situ, con laboratorio o con relaciones empíricas. El suelo alrededor del pilote se reemplaza por una serie de mecanismos que representan la resistencia del suelo  $p$  como una función no lineal de la deflexión  $y$ . Como puede verse, las curvas  $p$ - $y$  varían totalmente con la distancia a lo largo del pilote y la deflexión del pilote  $y$ . El método ha sido usado con éxito para el diseño de pilotes, sin embargo, la investigación continúa y se espera la caracterización en una variedad de suelos especiales.

##### 3.1.1. Arena de O'Neill

O'Neill en 1984 recomendó que la curva  $p$ - $y$  para arenas, puede determinarse usando la siguiente expresión:

$$P = nAPu \operatorname{Tanh}\left[\left(\frac{kz}{AnPu}y\right)\right]$$

Ecuación 1.

Dónde;

- $\eta$  es un factor de forma del pilote se lo escoge de la tabla 1:

SECCIÓN	CIRCULAR	CUADRADA
$n$	1	0.9

Tabla 1. Factor de forma del pilote

- $P$ = carga lateral
- $A$  es un coeficiente de valor estática que se lo calcula para carga estática como:

$$A = 3 - 0.8\frac{z}{b} \geq 0.9$$

Ecuación 2.

- $p_u$  = resistencia última del suelo por unidad de profundidad; ver ecuación 3

$$P_u = \gamma_z [D(K_p - K_a) + zK_p \tan^\phi \tan^\beta]$$

**Ecuación 3.**

Donde:

- $z$  = profundidad en el suelo desde la superficie del suelo;
- $\gamma$  = peso unitario efectivo del suelo;
- $K_a$  = coeficiente activo de Rankine, ver ecuación 4.

$$K_a = \frac{(1 - \sin^\phi)}{(1 + \sin^\phi)}$$

**Ecuación 4.**

- $K_p$  = coeficiente pasivo de Rankine, ver ecuación 5.

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

**Ecuación 5.**

- $K_o$  = coeficiente de presión del suelo en reposo, ver ecuación 6.

$$K_o = 0.4$$

**Ecuación 6.**

- $\phi$  = ángulo de fricción interna, se lo puede determinar de la siguiente ecuación:

$$\phi = [15.4 (N1)60]^{0.5} + 20$$

**Ecuación 7.**

$$\beta = 45 + \frac{\phi}{2}$$

**Ecuación 8.**

- $D$  = diámetro del pilote
- $k$  = módulo de reacción lateral del suelo (KN / m3);

$\phi$	kpy Sobre el Nivel Freático (KN/m3)	$\phi$	kpy Bajo el Nivel Freático (KN/m3)
29	5620	29	5620
30	8205	30	11240
31	11577	31	16860
33	18546	33	29224
34	21918	34	35968
35	25852	35	42712
36	29224	36	50580
37	33720	37	57324
38	38216	38	65192
39	42712	39	73060
40	47770	40	80928
41	53390	41	88796

Tabla 2. Módulo de reacción lateral o rigidez inicial para arenas(kpy)

- z = profundidad;
- y = deflexión.

### 3.1.2. Arena de Reese, Cox y Koop

Reese, Cox y Koop (1974) desarrollaron curvas  $p_y$  para cargas estáticas y cíclicas de arenas basadas en una extensa prueba de tablestacas en Texas. El usuario debe proporcionar el ángulo del suelo de fricción interna,  $\phi$ , módulo de subrasante,  $k_{py}$  y el peso específico unitario de la arena,  $\gamma'$ . Las curvas  $p_y$  que se muestran a continuación:

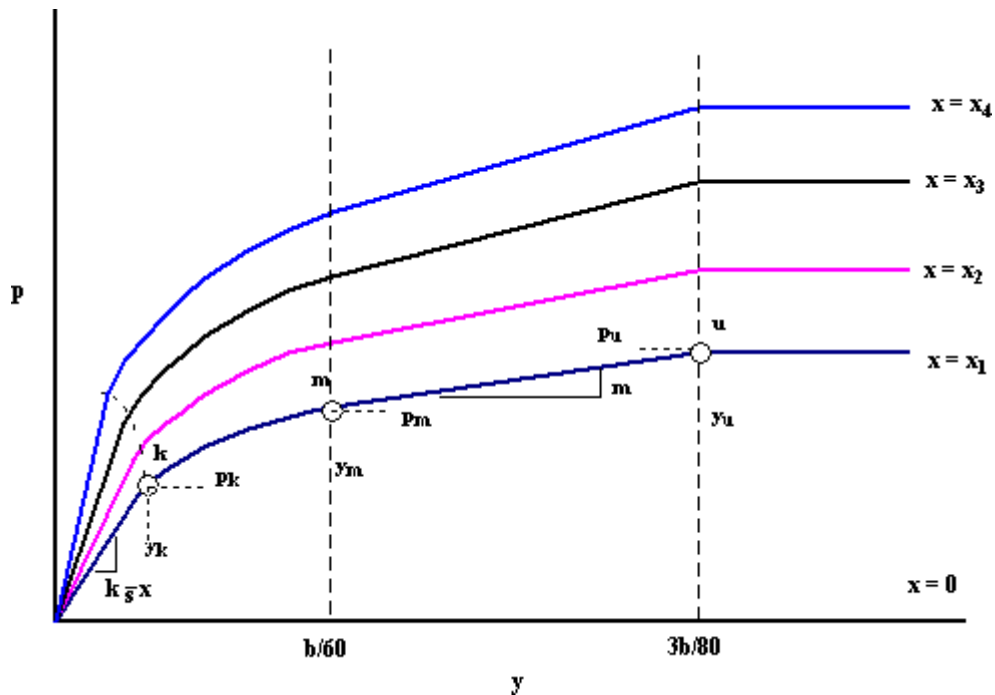


Figura 18. Curvas Arena de Reese, Cox y Coop ( $p_y$ )

El procedimiento para obtener las curvas para carga estática es la siguiente:

- Para el cálculo de las curvas se parte de los siguientes valores: ángulo de fricción interna, peso específico y el diámetro del pilote
- Se requieren los valores de  $\alpha$  (alpha), ver ecuación 9.  $\beta$  (beta), ver ecuación 8. Coeficiente activo de Rankine ( $K_a$ ), ecuación 4. Coeficiente de reposo ( $K_o$ ), ecuación 6.

$$\alpha = \frac{\phi}{2}$$

Ecuación 9.

- Para el cálculo de la resistencia última del suelo, se utiliza la menor de las siguientes fórmulas:

$$Pst = \gamma z \left[ \frac{K_0 \tan^\phi \sin^\beta}{\tan(\beta - \phi) \cos \alpha} + \frac{\tan^\beta}{\tan(\beta - \phi)} (b + z \tan^\beta \tan \alpha) \right. \\ \left. + K_0 z \tan^\beta (\tan^\phi \sin^\beta - \tan \alpha) - K_a b \right]$$

**Ecuación 10.**

$$Psd = K_a b \gamma (\tan^{8\beta} - 1) + K_0 b \gamma z \tan^\phi \tan^{4\beta}$$

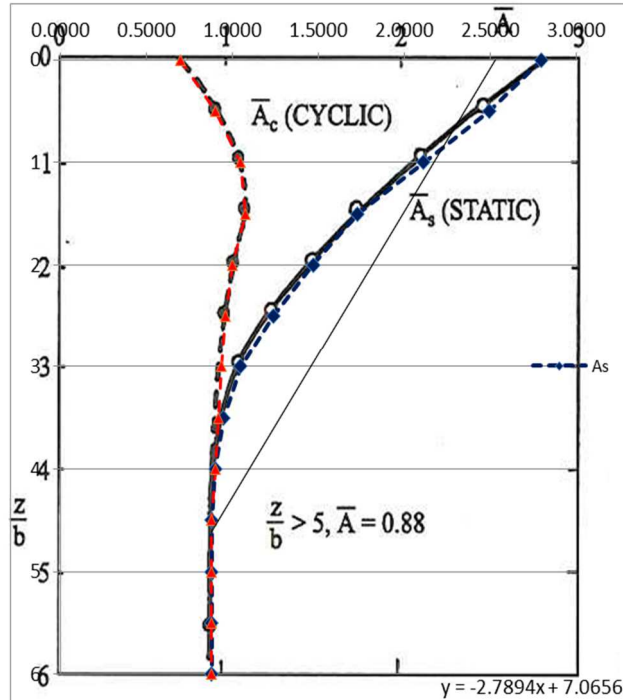
**Ecuación 11.**

- Seleccionar la profundidad a la cual se va a calcular la curva  $p_y$
- Establecer  $\gamma u$  como  $3b/80$ . Calcular  $p_{ult}$  con la siguiente ecuación:

$$P_{ult} = A_s P_s$$

**Ecuación 12.**

- Usar el valor apropiado de  $A_s$  de la Figura 19 para una profundidad en particular, en este caso utilizaremos únicamente para cargas estáticas. Usar la ecuación apropiada de  $p_s$ , Ecuación 10 u 11



**Figura 19. Coeficiente  $A_s$  para arenas**

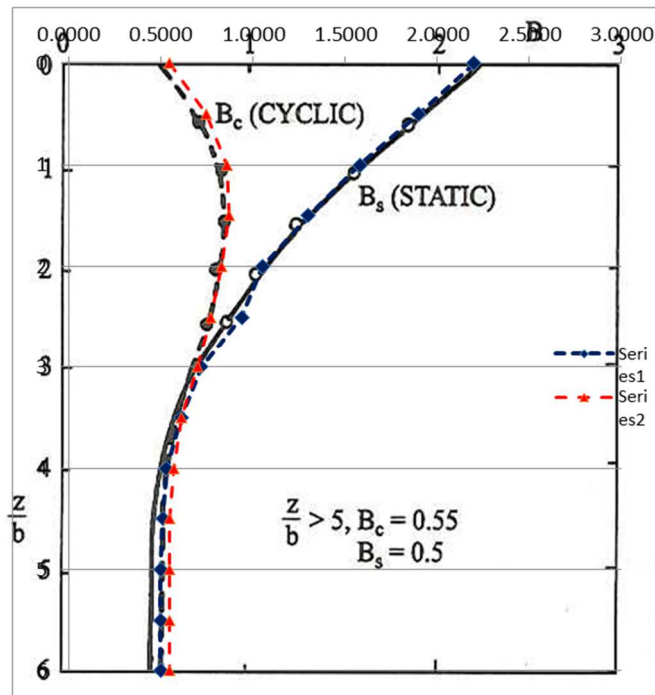


Figura 20. Coeficiente  $B_s$  para arenas

- Establecer  $y_m$  como  $b/60$ , usar el valor apropiado de  $B_s$  la Figura 20 para una profundidad no dimensional en particular, en este caso utilizaremos únicamente para cargas estáticas. Usar la ecuación apropiada de  $P_s$ . Los dos tramos de línea recta en la curva  $p$ - $y$ , más allá del punto donde  $y$  es igual a  $b/60$ , ahora se puede establecer.

$$pm = B_s P_s$$

Ecuación 13.

- Establecer el tramo inicial de línea recta en la curva  $p$ - $y$ ,

$$p = (k_{py} z)y$$

Ecuación 14..

- Usar el valor apropiado de  $k_{py}$  de la Tabla 2.
- Establecer la sección parabólica en la curva  $p$ - $y$ ,

$$p = C y^{1/n}$$

Ecuación 15.

- Obtener la pendiente de las líneas entre los puntos  $m$  y  $u$  mediante,

$$m = \frac{Pu - Pm}{Yu - Ym}$$

**Ecuación 16.**

- Obtener n de la sección parabólica mediante la expresión:

$$n = \frac{Pm}{m Ym}$$

**Ecuación 17.**

- Obtener el coeficiente como sigue:

$$C = \frac{Pm}{Ym^{1/n}}$$

**Ecuación 18.**

- Determinar el punto k,

$$yk = \left(\frac{C}{kpyz}\right)^{\frac{n}{n-1}}$$

**Ecuación 19.**

(VÁSCONEZ, 2010)

### 3.1.3. Arena Api.

La máxima capacidad de carga lateral para arena a una profundidad dada se selecciona como la menor de los dos siguientes valores: pus (resistencia lateral última a pocas profundidades) y pud (resistencia lateral última a mayores profundidades), que se determinan a partir de las siguientes ecuaciones:

((Referencia sección G.8.6 y G.8.7 API RP2A LRFD))

$$Pus = (C1z + C2D) p'o$$

**Ecuación 20.**

$$Pud = C3 D p'o$$

**Ecuación 21.**

Donde

- z = profundidad debajo de la superficie del suelo

- $p'o$  = esfuerzo efectivo
- $D$  = diámetro del pilote
- $C1, C2, C3$  = coeficientes determinados a partir de fórmulas que están en función de ' $\phi'$ ' = ángulo de fricción interna efectivo, se los determina de la siguiente ecuación:

$$C1 = \tan^{\beta} \{ Kp \tan \alpha + Ko \left[ \tan^{\phi} \sin^{\beta} \left( \frac{1}{\cos \alpha} + 1 \right) - \tan \alpha \right] \}$$

**Ecuación 22.**

$$C2 = Kp - Ka$$

**Ecuación 23.**

$$C3 = Kp^2 (Kp + Ko \tan^{\phi}) - Ka$$

**Ecuación 24.**

Y finalmente se calcula la carga con la siguiente ecuación, que es similar a la de arena de O'Neill.

$$P = APu \operatorname{Tanh} \left[ \left( \frac{kz}{AnPu} y \right) \right]$$

**Ecuación 25.**

- $A$  es un coeficiente de valor estática que se lo calcula para carga estática. (ver ecuación 2)
- $pu$  = resistencia última del suelo por unidad de profundidad; (ver ecuaciones 20,21)
- $k$  = módulo de reacción lateral del suelo (KN / m<sup>3</sup>); (ver tabla 2)
- $z$  = profundidad;
- $y$  = deflexión.



### 3.1.4. Arcilla de O'Neill

El método P-Y que recomendó O'Neill para las cargas estáticas en arcillas. En la figura a continuación se muestra la curva estática. Se debe aplicar la resistencia no drenada,  $c$ , la deformación característica 50%,  $\epsilon_{50}$  y  $\epsilon_{100}$  de falla.

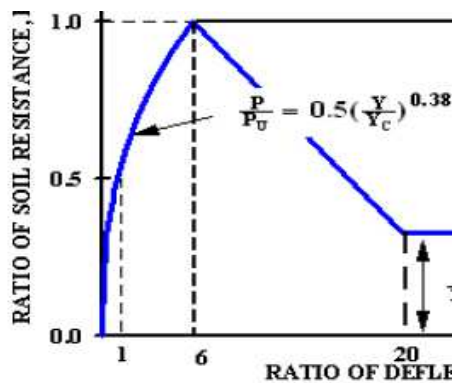


Figura 21. Arcilla de O'Neill (py)

La siguiente ecuación representa la primera parte de la curva que va a ser graficada, que es igual a:

$$\frac{P}{P_u} = 0.5 \left( \frac{y}{Y_c} \right)^{0.387}$$

Ecuación 26.

- $P$ = fuerza lateral (ver ecuación 26)
- $Y_c$ = es la deflexión al 100% de la resistencia última  $p_{ult}$  y depende de la deformación característica  $\epsilon_{100}$  y se la determina de la siguiente manera: (ecuación 27)

$$Y_c = 2.5 \epsilon_{100} D$$

Ecuación 27.

- $P_u$ = la resistencia última para arcilla se la determina de la siguiente ecuación:

$$P_u = 9 s_u D$$

Ecuación 28.

- $\epsilon_{100}$ =deformación característica al 100%, se la determina obteniendo el  $\epsilon_{50}$  que es la deformación característica al 50%. Ver tabla 3

CONSISTENCIA DE LA ARCILLA	Su ( KN/m <sup>2</sup> )	ε <sub>50</sub>
<b>SUAVE</b>	< 25	0.02
<b>MEDIA</b>	25<Su<50	0.01
<b>DURA</b>	>50	0.005

**Tabla 3. Valores de ε<sub>50</sub>**

- D=diámetro del pilote
- su= resistencia al corte no drenado
- y=deflexión lateral

(Florida Department of Transportation y Federal Highway Administration(FHWA), 2002)

### 3.1.5. Arcilla blanda bajo el nivel freático de Matlock

En 1970 Matlock propuso la siguiente curva del modelo adimensional que definen el comportamiento de una arcilla blanda bajo el nivel freático para carga estática. Fue propuesto por Matlock en 1970. A continuación, se presenta la ecuación con la que se graficará la curva:

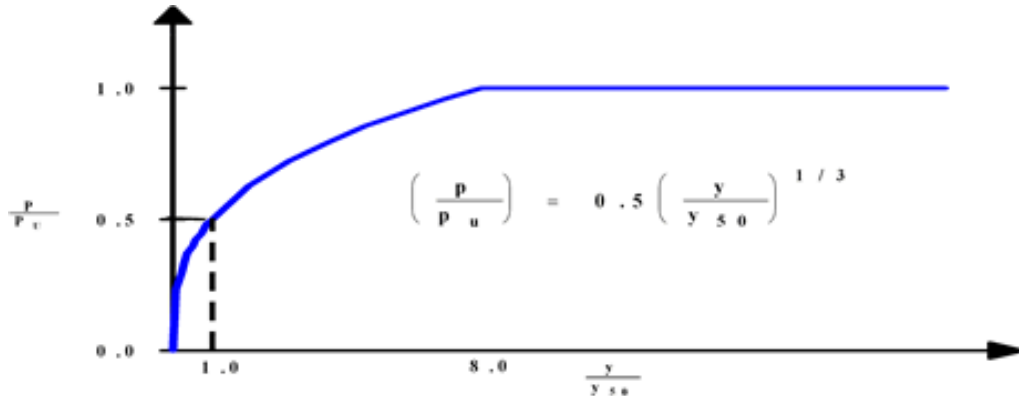


Figura 22. Curva Arcilla blanda bajo NF de Matlock (py)

$$\frac{P}{P_u} = 0.5 \left( \frac{y}{y_{50}} \right)^{1/3}$$

Ecuación 29.

- $P_u$  es la resistencia última del suelo a una profundidad determinada, que está en función de la resistencia al corte no drenado  $s_u$  de la arcilla. Se la determina escogiendo a la menor de las siguientes ecuaciones:

$$P_u = 9 s_u D$$

Ecuación 30.

$$P_u = \left( 3 + \frac{\gamma}{s_u} z + \frac{J}{D} z \right) s_u D$$

Ecuación 31.

- $\gamma$  = peso unitario efectivo del suelo
- $y_{50}$  es la deflexión al 50% de la resistencia última  $p_{ult}$  y depende de la deformación característica  $\epsilon_{50}$  ecuación 21 y se la determina de la siguiente manera:

$$y_{50} = 2.50 \epsilon_{50} D$$

Ecuación 32.

- D= diámetro del pilote
- J= parámetro empírico. Tabla 4

<b>CONSISTENCIA DE LA ARCILLA</b>	<b>Su( KN/m<sup>2</sup>)</b>	<b>PARÁMETRO EMPÍRICO "J"</b>
<b>SUAVE</b>	< 25	0.5
<b>MEDIA</b>	25<Su<50	0.25

**Tabla 4. Parámetro empírico J**

(Florida Department of Transportation y Federal Highway Administration(FHWA), 2002)

### 3.1.6. Arcilla dura sobre el nivel freático de Welch y Reese

Reese y Welch en 1975 recomendaron la curva para arcillas duras sobre el nivel freático. La curva p-y y la ecuación para la respuesta estática se muestra a continuación:

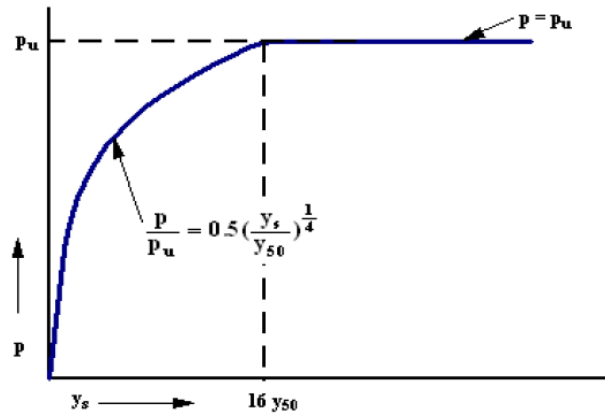


Figura 23. Curva Arcilla dura sobre NF de Welch y Reese (py)

$$\frac{P}{P_u} = 0.5 \left(\frac{y_s}{Y50}\right)^{1/4}$$

Ecuación 33.

Dónde se muestra la ecuación con la que va a ser calculada la curva:

- $P_u$  = es la resistencia última que se la calcula escogiendo a la menor de las ecuaciones (ver ecuaciones 30 y 31)
- $s_u$  = resistencia al corte no drenada
- $D$  = diámetro del pilote
- $y_{50}$  = es la deflexión al 50% de la resistencia última  $p_{ult}$  y depende de la deformación característica  $\epsilon_{50}$  (ver ecuación 32)
- $y_s$  = deflexión lateral

(Reese, L. y Wang S, Ensoft Inc., 1997)

### 3.1.7. Arcilla Api

El modelo p-y Api para arcillas.: La capacidad lateral final,  $p_u$ , para arcilla bajo cargas laterales estáticas puede variar entre  $8 \cdot s_u$  y  $12 \cdot s_u$ .

La curva p-y se generan utilizando la función lineal por partes en función de los datos que figuran en la tabla:

Static loading	
$\frac{p/p_u}{}$	$\frac{y/y_c}{}$
0	0
0.5	1.0
0.72	3.0
1.00	8.0
1.00	$\infty$

Tabla 5. Relación p/p<sub>u</sub> y y/y<sub>c</sub> Arcilla api (py)

Las curvas p-y para la respuesta estática se muestra a continuación:

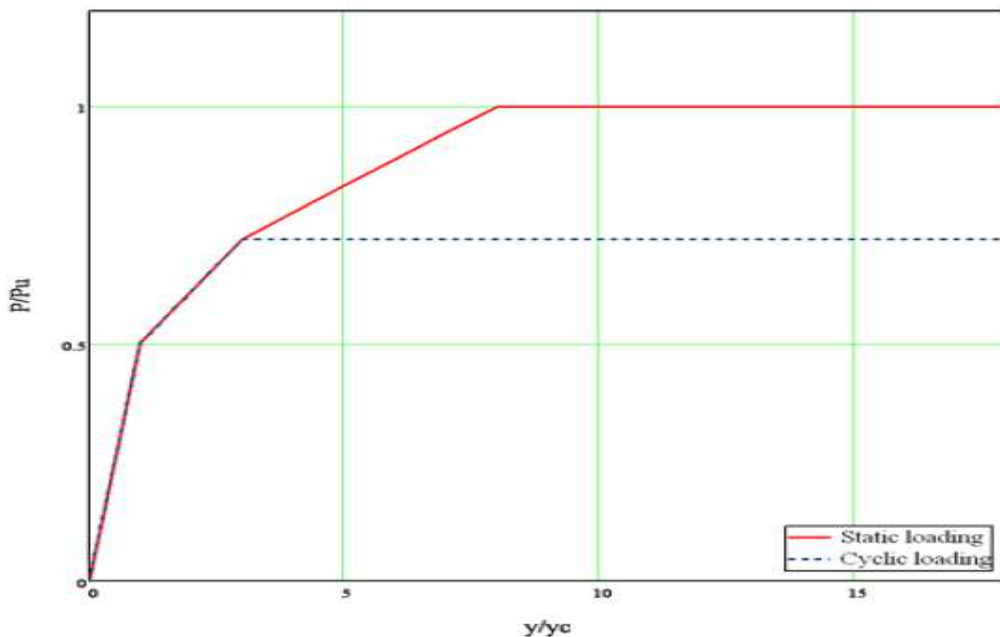


Figura 24. Curva Arcilla Api (py)

Dónde:

- $P_u$ = resistencia última y se la calcula cómo:

$$P_u = 9 s_u$$

Ecuación 34.

- $s_u$ = resistencia al corte no drenada

- $y_c$  = es la deflexión al 100% de la resistencia última  $p_{ult}$  y depende de la deformación característica  $\epsilon_{100}$  y se la determina de la siguiente manera:

$$y_c = 2.50 \epsilon_{100} D$$

**Figura 25.**

- deflexión lateral

(Florida Department of Transportation y Federal Highway Administration(FHWA), 2002)

## 4. CAPÍTULO IV

### 4.1. Tipos de curva Tz

Estas curvas describen la transferencia axial cortante del pilote como una función del desplazamiento axial entre suelo-pilote (t-z), modelando el apoyo axial proporcionado por el suelo a lo largo del fuste del pilote

#### 4.1.1. Arena de Api

El modelo tz Api para arenas para pilotes en suelos sin cohesión, la fricción se calcula como:

$$f = K p' o \tan(\delta)$$

Ecuación 35.

Donde:

- K = coeficiente adimensional de presión de tierra lateral, por lo general se utiliza  $K = 0.8$
- f=fricción
- p'o= esfuerzo efectivo
- $\delta$  = ángulo de fricción entre el suelo y la pared del pilote, que se define como:

$$\delta = \varphi - 5$$

Ecuación 36.

- $\varphi$  = ángulo de fricción interna

La curva t-z se generan utilizando la función lineal por partes en función de los datos que figuran en la tabla

$z$ (in)	$t/t_{max}$
0.00	0.00
0.10	1.00
$\infty$	1.00

Tabla 6. Relación z, t/tmax arena Api (tz)



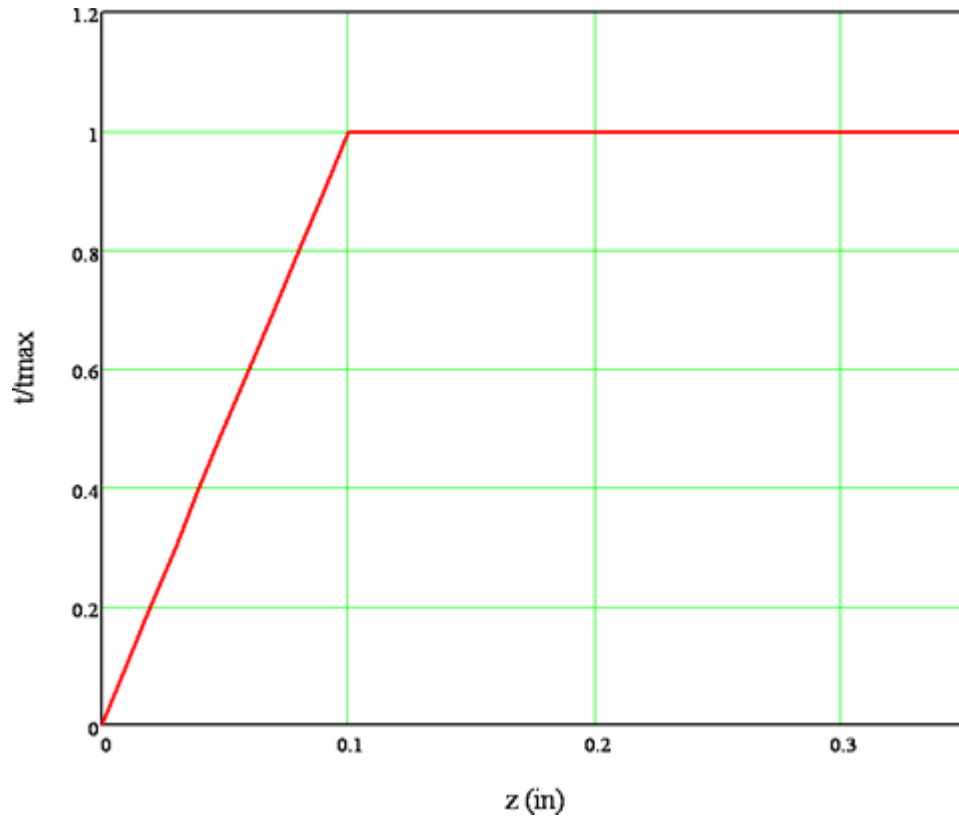


Figura 26. Curva Arena Api (tz)

- $t$  = fricción
- $t_{max}$  = capacidad máxima o última (ver ecuación 35)
- $z$  = deflexión del pilote

(Florida Department of Transportation y Federal Highway Administration(FHWA), 2002)

#### 4.1.2. Arcilla de Api

El modelo tz Api para arcillas, para pilotes en suelos cohesivos, la fricción puede calcularse mediante la ecuación.

$$f = \alpha su$$

**Ecuación 37.**

Dónde:

- $su$  = resistencia al corte no drenado del suelo
- $\alpha$  = un factor sin dimensiones, que se define como

$$\alpha = 0.5\psi^{-0.5}$$

**Ecuación 38.**

- $\psi$  = factor adimensional, se lo determina de la siguiente manera:

$$\psi = \frac{su}{p'_{o}}$$

**Ecuación 39.**

- $p'_{o}$  = esfuerzo efectivo

La curva t-z se generan utilizando la función lineal por partes en función de los datos que figuran en la tabla:

$z/D$	$t/t_{max}$
0.0016	0.30
0.0031	0.50
0.0057	0.75
0.0080	0.90
0.0100	1.00
0.0200	0.90
$\infty$	0.90

**Tabla 7. Relación z/D y t/tmax Arcilla Api (tz)**

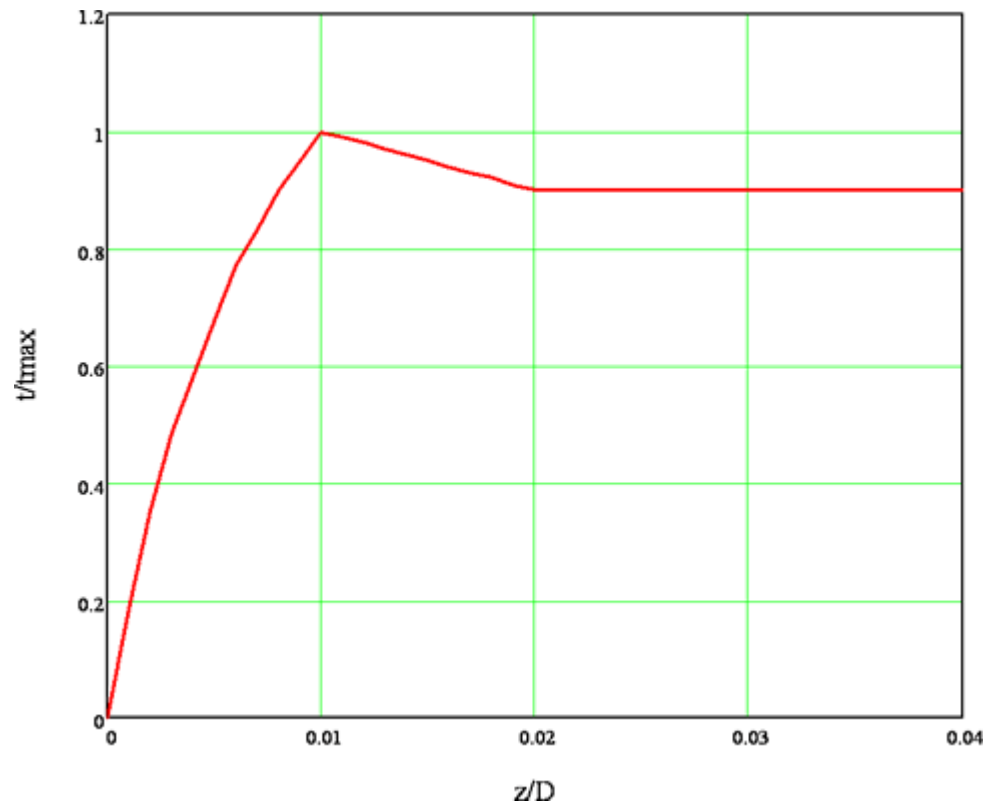


Figura 27. Curva Arcilla Api (tz)

- $t$  = fricción
- $t_{max}$  = capacidad máxima de fricción, (ver ecuación 38)
- $z$  = deflexión local del pilote
- $D$  = diámetro de la pila

(Florida Department of Transportation y Federal Highway Administration(FHWA), 2002)

## 5. CAPITULO V

### 5.1. Tipos de curva Qz

Curvas QZ se usan para modelar el desplazamiento de la punta con respecto a la carga en la punta (Q-z). Se asume que la resistencia de punta o carga de punta aumenta con el desplazamiento de la punta del pilote

#### 5.1.1. Arcilla de Api

El modelo Qz Api para arcillas, la capacidad del pilote en unidades de esfuerzo en suelo cohesivo viene dado por:

$$q = 9 su$$

**Ecuación 40.**

Donde:

su = resistencia al corte no drenado del suelo

Qp= en unidades de tensión, en la punta del pilote, se calcula entonces la capacidad final de carga del extremo como:

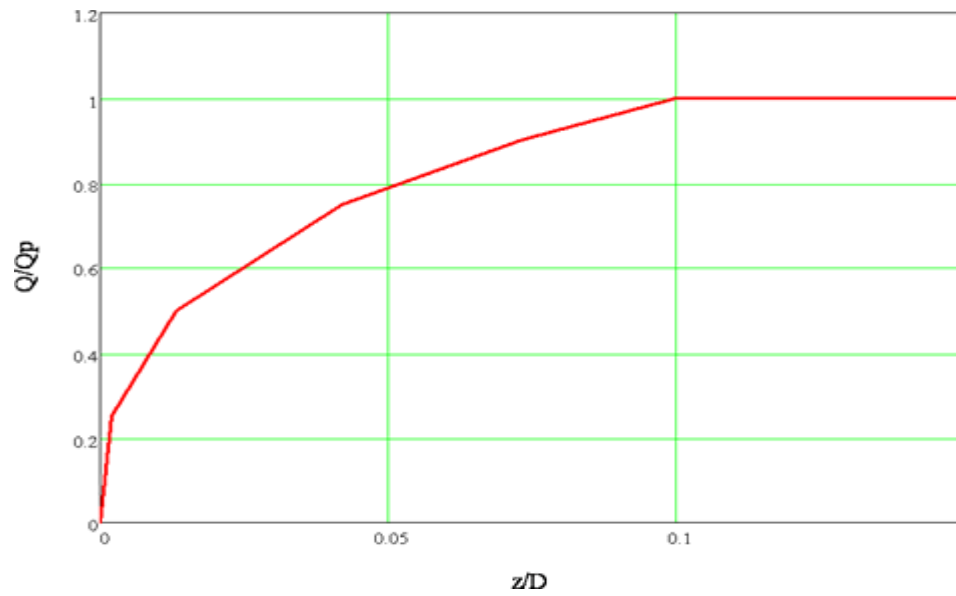
$$Qp = qA$$

**Ecuación 41.**

A = área de la sección en la punta de la pila, La curva q-z se generan utilizando la función lineal por partes en función de los datos que figuran en la tabla:

$z/D$	$Q/Q_p$
0.002	0.25
0.013	0.50
0.042	0.75
0.073	0.90
0.100	1.00
$\infty$	1.00

**Tabla 8. Relación z/D y Q/Qp Arcilla Api (Qz)**



**Figura 28. Curva Arcilla Api (Qz)**

$Q$  = capacidad de carga final

$Q_p$  = capacidad portante total según la ecuación 42

$z$  = deflexión axial de la punta del pilote

$D$  = diámetro del pilote

(Florida Department of Transportation y Federal Highway Administration(FHWA), 2002)

### 5.1.2. Arena de Api

El modelo de arena de API (q-z), la capacidad en unidades de esfuerzo, puede calcularse mediante la siguiente ecuación.

$$q = p_o N_q$$

**Ecuación 42.**

donde

- $p_o$  = esfuerzo efectivo en la punta del pilote
- $N_q$  = factor de capacidad de carga adimensional, que se define como:

$$N_q = e^{\pi \tan(\varphi)} \tan^2\left(45 + \frac{\varphi}{2}\right)$$

**Ecuación 43.**

- $\varphi$  = ángulo de fricción interna
- La capacidad máxima de carga final, en unidades de fuerza, puede calcularse mediante la ecuación

$$Q_p = qA$$

**Ecuación 44.**

Donde:

- $A$  = área de la sección en la punta del pilote. Las curvas q-z se generan utilizando la función lineal por partes en función de los datos que figuran en la tabla:

$z/D$	$Q/Q_p$
0.002	0.25
0.013	0.50
0.042	0.75
0.073	0.90
0.100	1.00
$\infty$	1.00

**Tabla 9. Relación z/D y Q/Qp Arena de Api (Qz)**

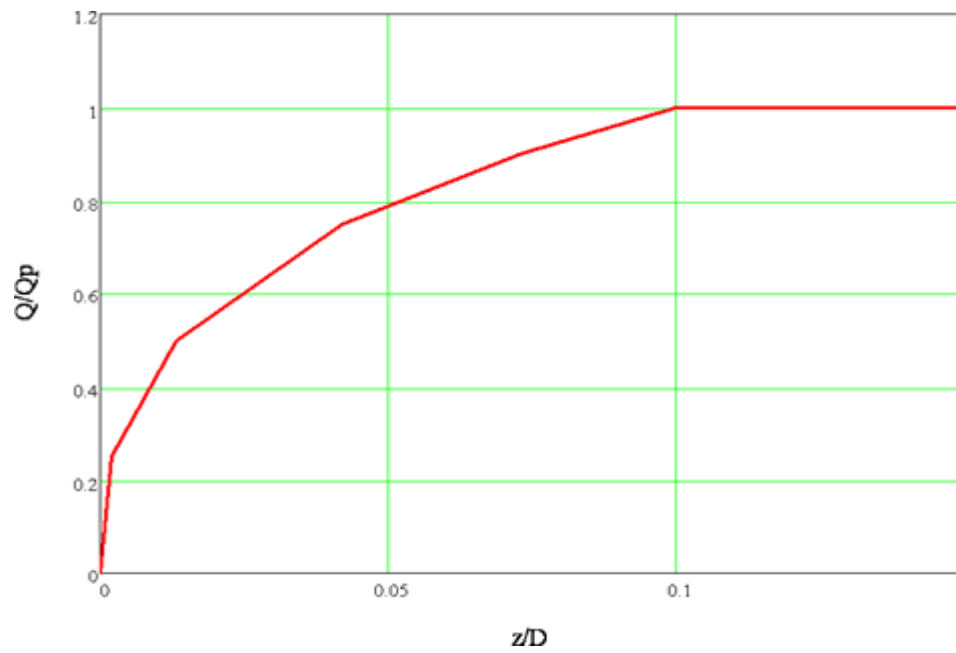


Figura 29. Curva Arena Api (Qz)

- $Q$  = capacidad de carga final
- $Q_p$  = capacidad portante total según la ecuación 45
- $z$  = deflexión axial de la punta del pilote
- $D$  = diámetro del pilote

(Florida Department of Transportation y Federal Highway Administration(FHWA), 2002)

## 6. CAPITULO VI

### 6.1. Descripción del programa y su funcionamiento

Se creó un código mediante el uso del programa Matlab que contiene una interfaz muy sencilla para satisfacer todas las comodidades y facilidades en cuanto a la inserción y obtención de datos, de tal manera que el usuario se sienta satisfecho al momento de utilizarlo, es un código que contiene como primera opción una hoja de datos en Excel, la cual nos va a servir como base de datos. Se describirá la hoja de cálculo de Excel, dónde se tendrá que ingresar los datos necesarios para calcular los diferentes tipos de curvas. Una vez tengamos los parámetros necesarios y estos hayan sido ingresados a la hoja de datos de Excel, el siguiente paso es agregar el código de cada curva para proceder con la generación de la curva.

### 6.2. Manual de usuario

Para el ingreso de datos, cabe recalcar que se utilizará el SI (sistema internacional) para las unidades.

CAPA	DESDE (m)	HASTA (m)	ESPEJOR DEL ESTRATO (z) (m)	sucs	(N1)60	Su (KN/m <sup>2</sup> )	DIÁMETRO DEL PILOTE (m)	γ peso específico (KN/m <sup>3</sup> )	Krigidez (KN/m <sup>3</sup> )	CURVA PY	CURVA TZ	CURVA QZ
1			0	SM								
2			0	SP								
3			0	SC								
4			0	CL								
5			0	CH								
6			0	MH								
7			0	ML								

Figura 30 Hoja de datos inicial. Fuente: Autor

CAPA

Figura 31. Columna 1 Hoja de datos. Fuente: Autor

La primera columna de la hoja de datos de Excel es para el ingreso de las capas en la cual se dividirá el suelo.

DESDE (m)

Figura 32. Columna 2 Hoja de datos. Fuente: Autor

En la segunda columna de la hoja de datos se ingresará la primera distancia en donde comenzará el estrato.



HASTA  
(m)

Figura 33. Columna 3 Hoja de datos. Fuente: Autor

En la tercera columna de la hoja de datos se ingresará la segunda distancia y será donde termine el estrato.

ESPESOR DEL  
ESTRATO (z)  
(m)

Figura 34. Columna 4 Hoja de datos. Fuente: Autor

En la cuarta columna de la hoja de datos se calculará automáticamente el espesor del estrato, basta con ingresar la primera y segunda distancia de dicho estrato.

sucs

Figura 35. Columna 5 Hoja de datos. Fuente: Autor

En la quinta columna se ingresa la clasificación sucs de cada estrato, por ej: si es una arena limosa la clasificación correspondiente sería (SM). Es un dato opcional, es solo para tener la referencia y saber con qué tipo de suelo se va a trabajar.

(N1)60

Figura 36. Columna 6 Hoja de datos. Fuente: Autor

El (N1)60 que es el número de golpes corregido por energía y confinamiento, es un dato característico para suelos arenosos, se ingresará en la columna 6.

Su  
(KN/m<sup>2</sup>)

Figura 37. Columna 7 Hoja de datos. Fuente: Autor

Su=resistencia al corte no drenado es un dato característico de las arcillas, que lo tendrán que ingresar en la columna 7

DIÁMETRO  
DEL  
PILOTE (m)

Figura 38. Columna 8 Hoja de datos. Fuente: Autor

En la columna 8 de la hoja de datos se tendrá que ingresar el diámetro del pilote con la cual se va a trabajar.

**γ peso  
específico  
(KN/m3)**

Figura 39. Columna 9 Hoja de datos. Fuente: Autor

En la columna 9 de la hoja de datos se ingresará el peso específico en unidades del sistema internacional.

**Krigidez  
(KN/m3)**

Figura 40. Columna 10 Hoja de datos. Fuente: Autor

En la columna 10 el usuario tendrá que ingresar el K: módulo de reacción lateral o de rigidez inicial únicamente cuando se trabaje con suelos arenosos. Los valores representativos para K en unidades (SI) se los encuentra en la tabla 2

**CURVA  
PY**

Figura 41. Columna 11 Hoja de Datos. Fuente: Autor

En la columna 11 el usuario tendrá que ingresar el número correspondiente para la curva que quiere realizar, los números que definen las curvas en este caso py están en la tabla 10

NÚMERO	CURVA PY
1	ARENA ONEILLS
2	ARENA API
3	ARENA REESE
4	ARCILLA BLANDA BAJO NF MATLOCK
5	ARCILLA DURA SOBRE NF REESE
6	ARCILLA API
7	ARCILLA ONEILLS

Tabla 10. Numeración de curvas py. Fuente: Autor

**CURVA TZ**

**Figura 42. Columna 12 Hoja de Datos. Fuente: Autor**

En la columna 12 el usuario ingresará el número correspondiente para la curva que quiere realizar, los números que definen las curvas en este caso tz se encuentran en la tabla 11

NÚMERO	CURVA TZ
1	ARENA API
2	ARCILLA API

**Tabla 11. Numeración de curvas tz. Fuente: Autor**

**CURVA QZ**

**Figura 43. Columna 13 Hoja de Datos. Fuente: Autor**

En la columna 13 el usuario ingresará el número correspondiente para la curva que quiere realizar, los números que definen las curvas en este caso qz se encuentran en la tabla 12

NÚMERO	CURVA QZ
1	ARENA API
2	ARCILLA API

**Tabla 12. Numeración curva qz. Fuente: Autor**

Una vez teniendo la hoja de Datos con los parámetros necesarios se escoge el tipo de curva que se va a realizar con la numeración correspondientes (tablas 10,11 y12).

La manera más fácil de utilizar el programa es agrupando todos los códigos en una sola carpeta. Ver figura 44.

curvasgen.m	2/16/2018 7:54 PM	M File	2 KB
DATOS	2/20/2018 6:26 PM	Microsoft Excel W...	11 KB
discretizacion_datos.m	2/16/2018 7:54 PM	M File	1 KB
esf_efectivo.m	2/20/2018 6:57 PM	M File	2 KB
generadorcurvas.m	2/16/2018 7:54 PM	M File	1 KB
py_Arcilla_Api.m	2/14/2018 6:15 PM	M File	1 KB
py_Arcilla_Oneills.m	2/14/2018 6:18 PM	M File	1 KB
py_ArcillaBlandaBajo_NF_Matlock.m	2/14/2018 6:25 PM	M File	1 KB
py_ArcillaDuraSobre_NF_Reese.m	2/14/2018 6:17 PM	M File	1 KB
py_Arena_Api.m	2/14/2018 6:18 PM	M File	2 KB
py_Arena_Oneills.m	2/14/2018 6:19 PM	M File	1 KB
py_Arena_Reese.m	2/14/2018 6:19 PM	M File	2 KB
QZ_Arcilla_Api.m	2/14/2018 6:19 PM	M File	1 KB
QZ_Arena_Api.m	2/14/2018 6:20 PM	M File	1 KB
TZ_Arcilla_Api.m	2/14/2018 6:20 PM	M File	1 KB
TZ_Arena_Api.m	2/14/2018 6:21 PM	M File	1 KB

**Figura 44. Agrupación de códigos en carpeta. Fuente: Autor**

El siguiente paso es entrar al programa MATLAB y proceder a subir la carpeta (figura44). A continuación se va a mostrar paso por paso como continuar para utilizar dichos códigos.



**Figura 45. Barra de herramientas (Matlab, 2017)**

1. En la barra de herramientas se selecciona ícono “seleccionar por carpetas”, se escoge la carpeta en dónde estén agrupados todos los códigos.

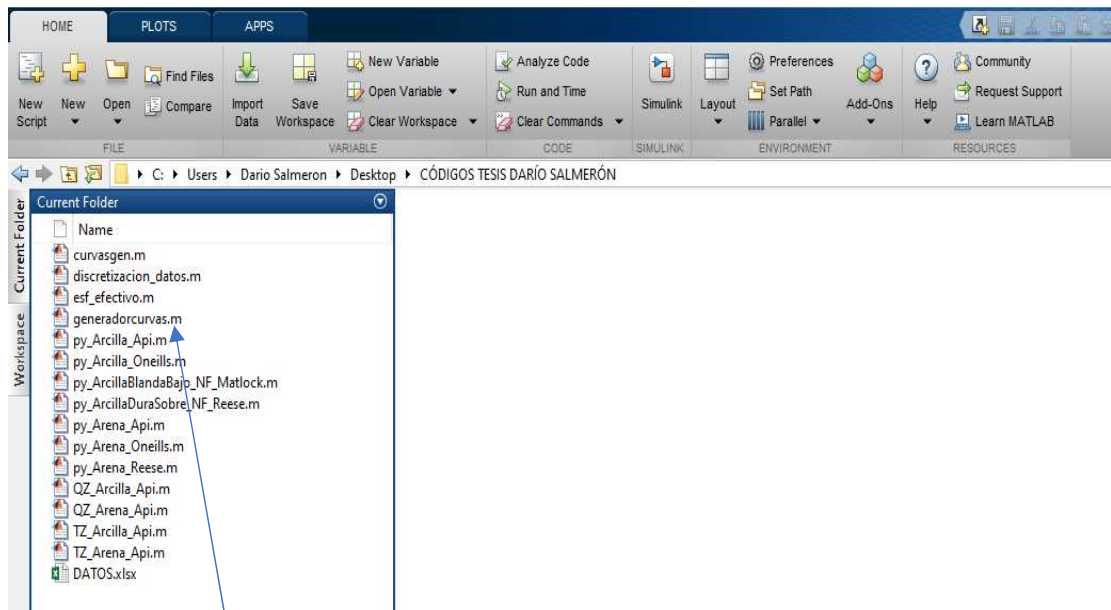


Figura 46. Menú principal (Matlab, 2017)

- Escogida la carpeta dónde se encuentran agrupados los códigos, van a aparecer todos los códigos listos para ser utilizados. Y se selecciona el código “generador de curvas”.

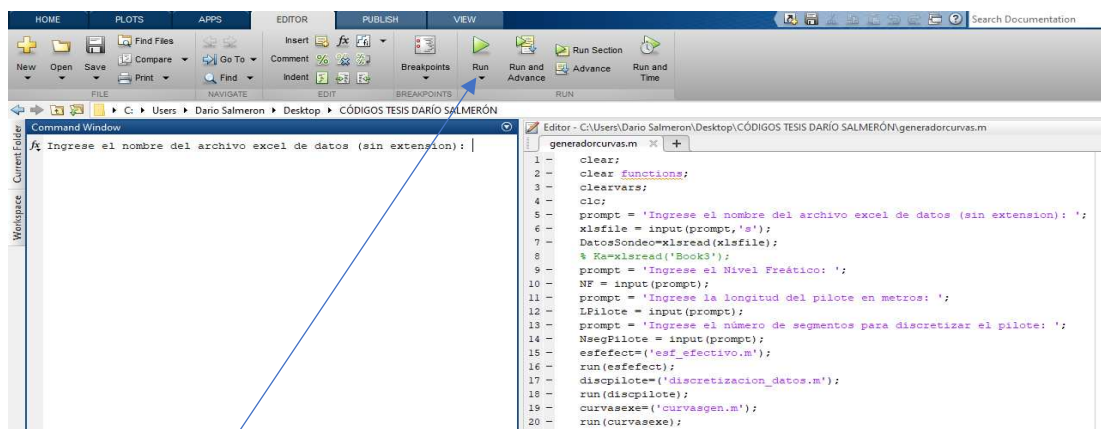
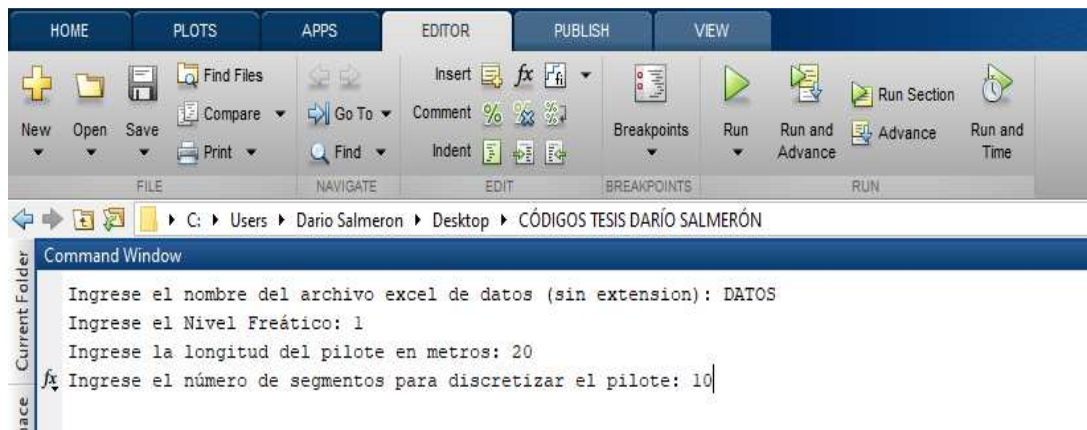


Figura 47. Ventana generadora de curvas (Matlab,2017)

- Una vez abierto el código generador de curvas, se selecciona “Run” para ejecutar el código.



**Figura 48. Ventana de ingreso de datos (Matlab, 2017)**

4. Cuando se corre el código aparecerá la ventana de comandos en la cual se tendrán que ingresar los siguientes datos.
  - Ingresar la hoja de datos de Excel en donde se encuentra almacenado los parámetros necesarios para calcular la curva seleccionada, en este caso la hoja de datos está guardada como “DATOS”.
  - Ingresar la profundidad en la que se encuentra el nivel freático.
  - A continuación, se ingresa la longitud del pilote.
  - Último paso, ingresar el número de segmentos en la que se va a discretizar los resortes en el pilote.
  - Una vez se haya ingresado el número en la que se va a discretizar el pilote. Automáticamente entregará la curva de una manera gráfica y además un bloc de notas que representa la curva (P vs y)

## 7. CAPITULO VII

### 7.1. Ejemplos y Comparación de Resultados Matlab vs Lpile curvas py

Para comprobar que el código se esté ejecutando correctamente se hará un ejemplo y los resultados se los comparará con los resultados del programa LPile, 2015.

1. Se procederá a calcular las curvas Arcilla dura sobre el nivel freático de Reese y Arcilla blanda bajo el nivel freático de Matlock. Las propiedades del suelo son de peso específico efectivo  $\gamma' = 10 \text{ KN/m}^3$ , resistencia al corte no drenada  $s_u=25\text{KN/m}^2$ , deformación característica  $\epsilon_{50}=0.01$ . Existe la capa de arcilla de la superficie del suelo a una profundidad de 25m. La pila es de hormigón armado; la geometría y propiedades son: pila longitud = 15m, diámetro = 0.6m. La carga se asume como estática. Calcular la curva py para la siguiente profundidad: 1m.

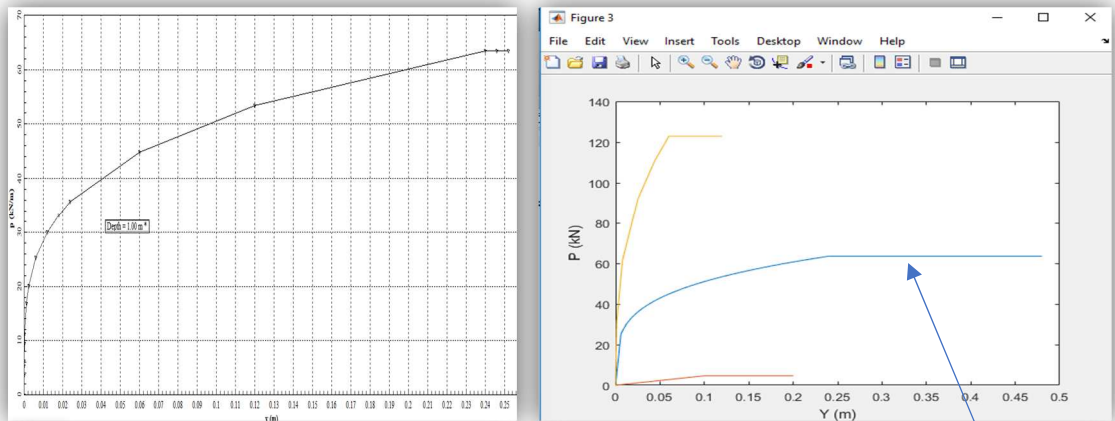


Figura 49 Curva fuerza vs deflexión Arcilla blanda bajo Nf de Matlock Lpile vs Matlab

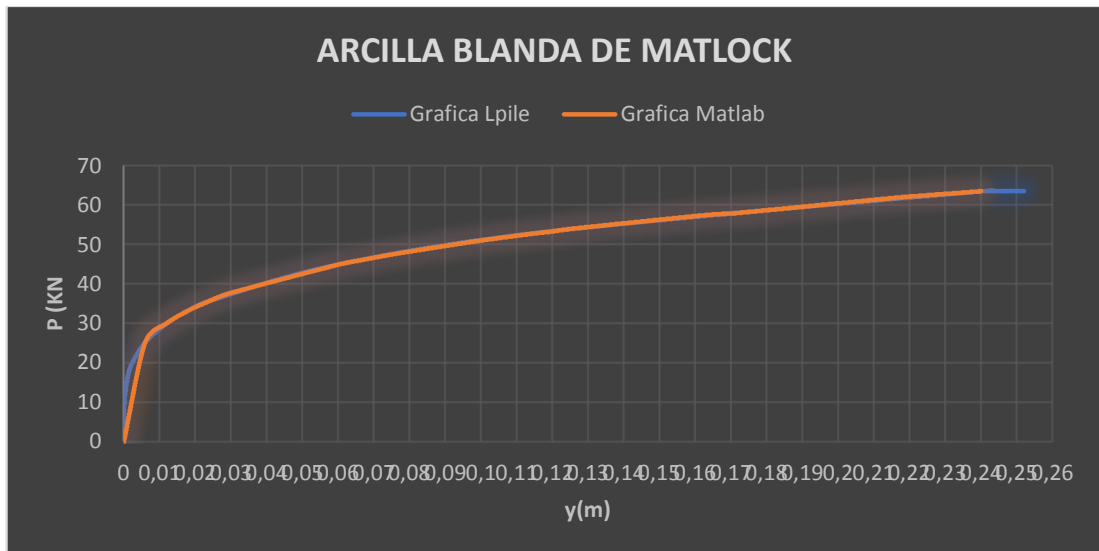
y, m	p, Kn/m	y (m)	P (Kn)
0.00	0.00	0.000	0.00
0.0000024	3.57	0.006	25.24
0.0000120	5.33	0.012	30.07
0.0000240	6.35	0.018	33.23
0.0001200	9.49	0.024	35.70
0.002400	11.29	0.030	37.75
0.001200	16.88	0.060	44.90
0.002400	20.08	0.066	45.98
0.006000	25.24	0.072	46.99
0.012000	30.02	0.078	47.94
0.018000	33.23	0.096	50.49
0.024000	35.70	0.102	51.27
0.060000	44.90	0.108	52.00
0.120000	53.39	0.114	52.71
0.240000	63.50	0.120	53.39
0.246000	63.50	0.126	54.05
0.252000	63.50	0.164	57.55
		0.172	58.59
		0.216	61.84
		0.222	62.27
		0.228	62.69
		0.234	63.09
		0.240	63.50

Curva py  
matlab

Tabla 13. Comparación de resultados Arcilla blanda bajo Nf de Matlock Lpile vs Matlab

Las gráficas 49 y 50 muestra la curva para el pilote de 15 metros, pero discretizada a un 1m de profundidad. Es decir, la curva fuerza vs deflexión pertenece al resorte que estará en 1 metro del pilote. En la gráfica de matlab se muestran los resultados de la deflexión que va a tener a dicha fuerza aplicada, el resultado es bueno y si los comparamos con la gráfica de Lpile en deflexiones iguales nos resulta el mismo valor de la fuerza aplicada.





**Figura 50. Comparación de resultados en Excel LPile vs matlab**

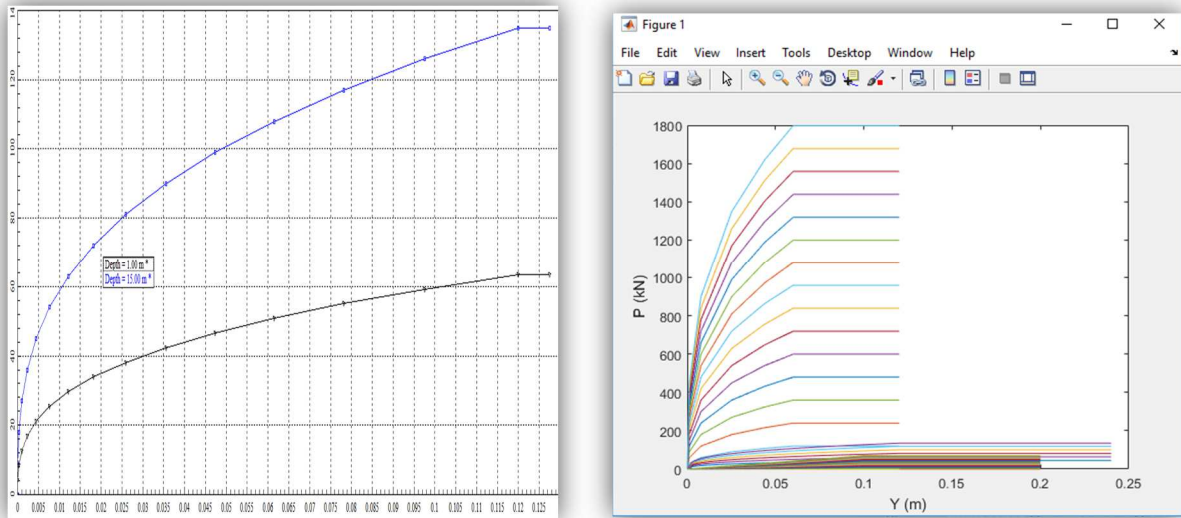


Figura 51. Curva fuerza vs deflexión Arcilla dura sobre Nf de Reese Lpile vs Matlab

y, m	p, kn/m	y (m)	P (kn)
0.0000	0.0000	0.000	0.00
0.0000356	9.00	0.003	39.49
0.0002844	18.00	0.006	49.74
0.0009600	27.00	0.009	56.94
0.002276	36.00	0.012	62.66
0.004444	45.00	0.015	67.50
0.007680	54.00	0.018	71.72
0.012196	63.00	0.021	75.50
0.018204	72.00	0.024	78.93
0.025920	81.00	0.045	97.31
0.035556	90.00	0.105	129.03
0.0447324	99.00	0.108	130.25
0.061440	108.00	0.111	131.44
0.078116	117.00	0.114	132.62
0.097564	126.00	0.117	133.77
0.120000	135.00	0.120	134.90
0.127500	135.00	0.240	135.00

Tabla 14. Comparación de resultados Arcilla dura sobre Nf de Reese Lpile vs Matlab

- Calcular las curvas de Arena Reese. Las propiedades del suelo son de peso específico efectivo  $\gamma' = 10 \text{ KN/m}^3$ , ángulo de fricción interna  $\phi=35$ , módulo de reacción lateral (kpy)=  $25852 \text{ KN/m}^3$  . Existe la capa de arena de la superficie del suelo a una profundidad de 25m. La pila es de hormigón armado; la geometría y propiedades son: pila longitud = 15m, diámetro = 0.6m. La carga se asume como estática. Calcular la curva  $p_y$  para la siguiente profundidad: 15m.

### Resultados LPile, 2015 vs Matlab, 2017

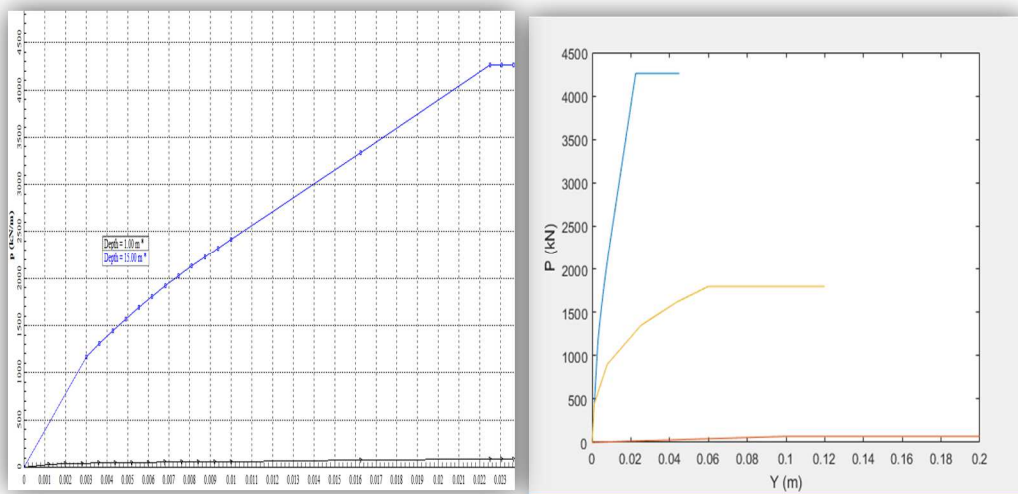


Figura 52. Curva fuerza vs deflexión Arena Reese Lpile vs Matlab

y, m	p, kn/m	y(m)	P (kn)
0.00	0.00	0.000	0.00
0.003006	1166.	0.003	1165.68
0.003642	1310.	0.004	1323.77
0.004277	1444.	0.004	1470.51
0.004913	1571.	0.005	1608.35
0.005549	1692.	0.006	1738.95
0.006185	1807.	0.007	1863.51
0.006821	1918.	0.007	1982.92
0.007457	2025.	0.008	2097.86
0.008092	2128.	0.009	2208.87
0.008728	2229.	0.009	2316.40
0.009364	2326.	0.010	2420.80
0.010000	2421.	0.022	4260.61
0.016250	3341.	0.045	4260.61
0.022500	4260.		
0.023063	4260.		
0.023625	4260		

Tabla 15. Comparación de resultados Arena de Reese Lpile vs Matlab

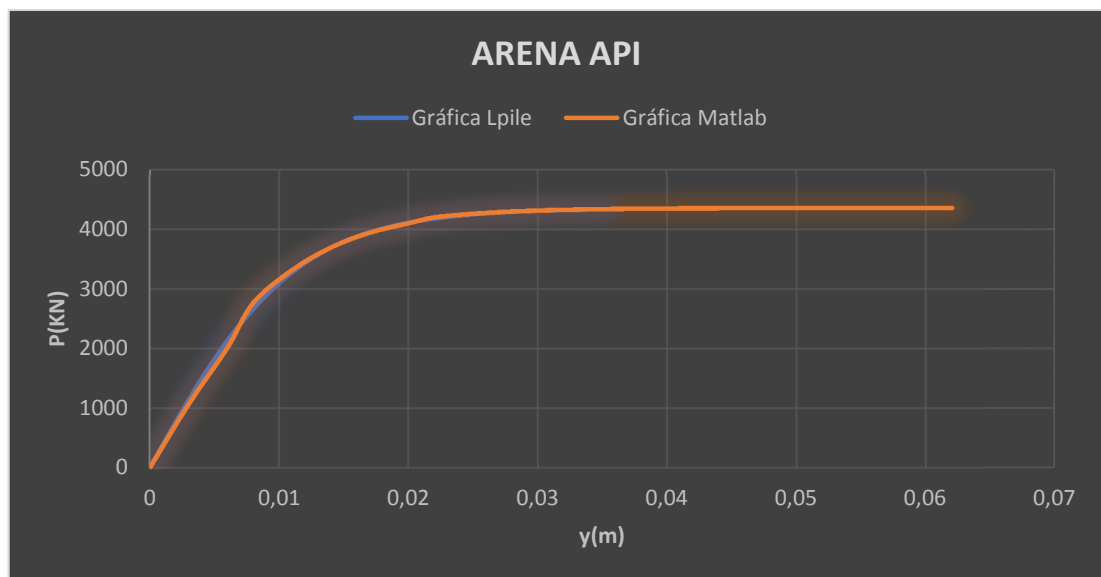


Figura 53. Comparación de Gráficas Lpile vs matlab

Esta gráfica muestra las curvas de Lpile y Matlab para hacer una comparación más ajustada

- Calcular las curvas de Arena Api. Las propiedades del suelo son de peso específico efectivo  $\gamma' = 10 \text{ KN/m}^3$ , ángulo de fricción interna  $\phi=35$ , módulo de reacción lateral (kpy)= 25852  $\text{KN/m}^3$ . Existe la capa de arena de la superficie del suelo a una profundidad de 25m. La pila es de hormigón armado; la geometría y propiedades son: pila longitud = 15m, diámetro = 0.6m. La carga se asume como estática. Calcular la curva py para la siguiente profundidad: 15m.

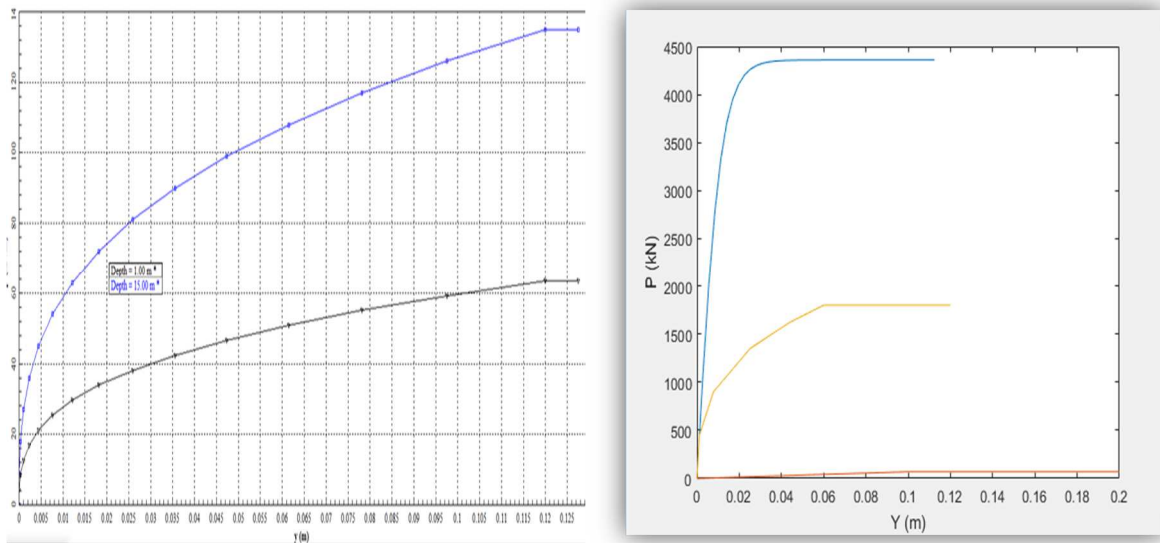


Figura 54. Curva fuerza vs deflexión Arena Api Lpile vs Matlab

y, meter	p, kn/m
0.0000	0.00
0.0022	844.72
0.0044	1628.72
0.0066	2305.91
0.0088	2857.47
0.0110	3284.60
0.0132	3602.81
0.0154	3833.09
0.0177	3996.28
0.0199	4110.19
0.0221	4188.88
0.0243	4242.85
0.0265	4279.68
0.0287	4304.72
0.0309	4321.72
0.0331	4333.23
0.0353	4341.02

y (m)	P(kn)
0.0000	0.00
0.003	1067.85
0.006	2014.84
0.008	2769.26
0.011	3320.57
0.014	3698.54
0.017	3946.47
0.020	4104.42
0.022	4203.18
0.025	4264.22
0.028	4301.66
0.031	4324.53
0.034	4338.46
0.037	4346.93
0.039	4352.08
0.042	4355.20
0.045	4357.10
0.048	4358.25
0.051	4359.37
0.053	4359.63
0.056	4359.78
0.059	4359.78
0.062	4359.88

Figura 55. Comparación de resultados Arena de Api Lpile vs Matlab

## 7.2. Ejemplos y Comparación de Resultados Matlab vs Lpile curvas tz

- Calcular las curvas de Arena Api. Las propiedades del suelo son de peso específico efectivo  $\gamma' = 10 \text{ KN/m}^3$ , ángulo de fricción interna  $\phi=35$ , módulo de reacción lateral (kpy)=  $25852 \text{ KN/m}^3$ . Existe la capa de arena de la superficie del suelo a una profundidad de 25m. La pila es de hormigón armado; la geometría y propiedades son: pila longitud = 15m, diámetro = 0.6m. La carga se asume como estática. Calcular la curva tz para la siguiente profundidad: 1.25m.

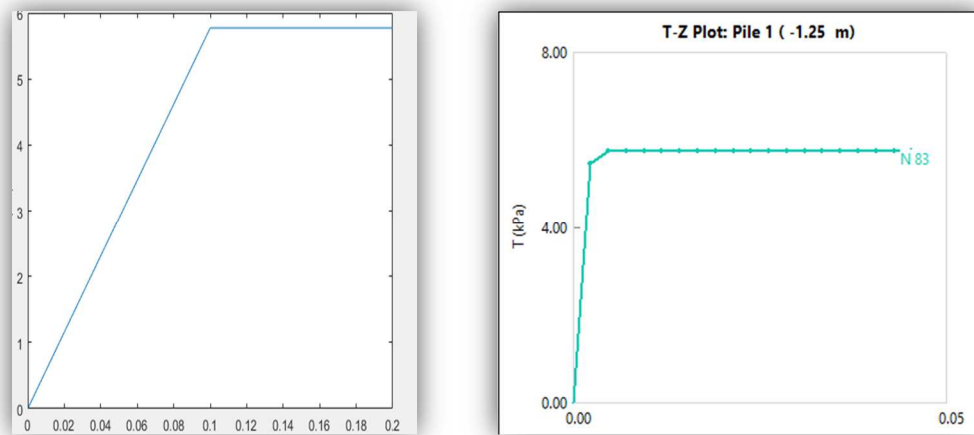
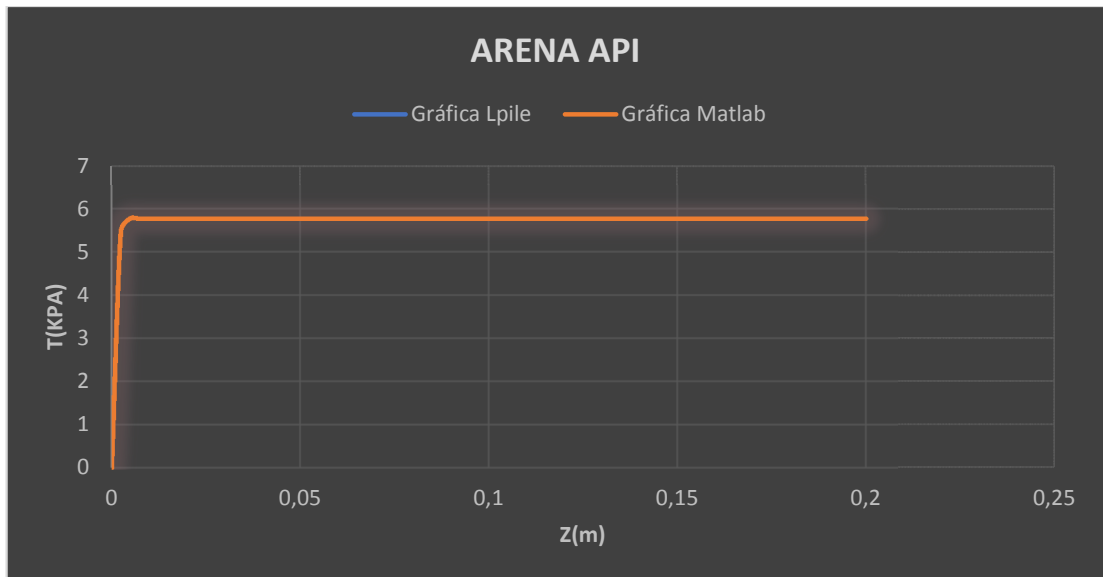


Figura 56. Curva esfuerzo vs deflexión Arena Api tz Lpile vs Matlab

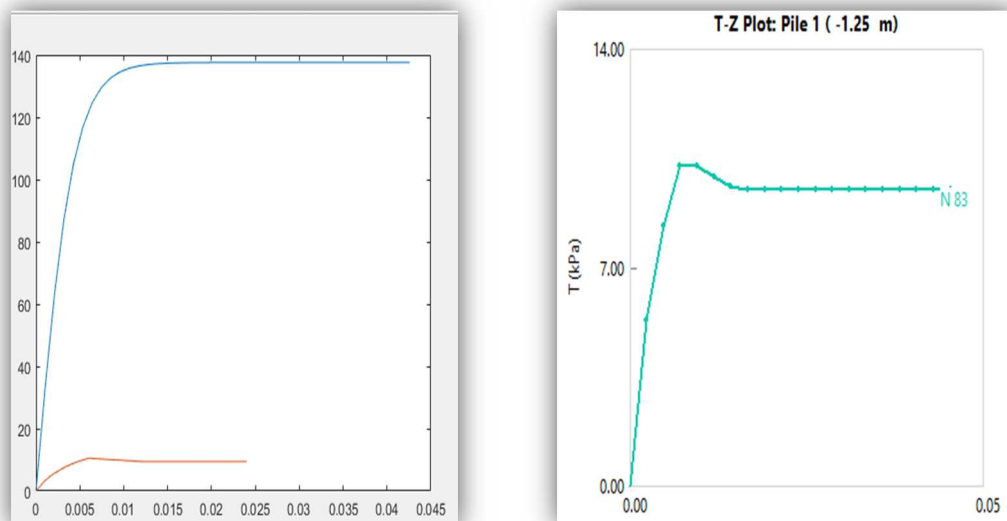
Z	T	y (m)	P (kn/m2)
(m)	(kPa)		
0.000000	0.00	0.000	0.00
0.002412	5.48	0.100	5.77
0.004825	5.77	0.200	5.77
0.007237	5.77		
0.009650	5.77		
0.012062	5.77		
0.014475	5.77		
0.016887	5.77		
0.019300	5.77		

Tabla 16. Comparación de resultados Arena de Api tz Lpile vs Matlab



**Figura 57. Comparación de Resultados Fb Multiplier vs Matlab**

- Calcular las curvas de Arcilla Api. Las propiedades del suelo son de peso específico efectivo  $\gamma' = 10 \text{ KN/m}^3$ , resistencia al corte no drenada  $s_u=25\text{KN/m}^2$ . Existe la capa de arcilla de la superficie del suelo a una profundidad de 25m. La pila es de hormigón armado; la geometría y propiedades son: pila longitud = 15m, diámetro = 0.6m. La carga se asume como estática. Calcular la curva  $p_y$  para la siguiente profundidad: 1m



**Figura 58. Curva esfuerzo vs deflexión Arcilla Api tz Lpile vs Matlab**

Z	T
(m)	(kPa)
0.000000	0.00
0.002412	5.33
0.004825	8.34
0.007237	10.28
0.009650	10.28
0.012062	9.94
0.014475	9.61
0.016887	9.50
0.019300	9.50
0.021712	9.50
0.024125	9.50
0.026527	9.50

y (m)	P (kn)
0.000	0.00
0.001	3.15
0.002	5.25
0.003	7.88
0.005	9.46
0.006	10.51
0.012	9.46
0.024	9.46

Tabla 17. Comparación de resultados Arcilla de Api tz Lpile vs Matlab

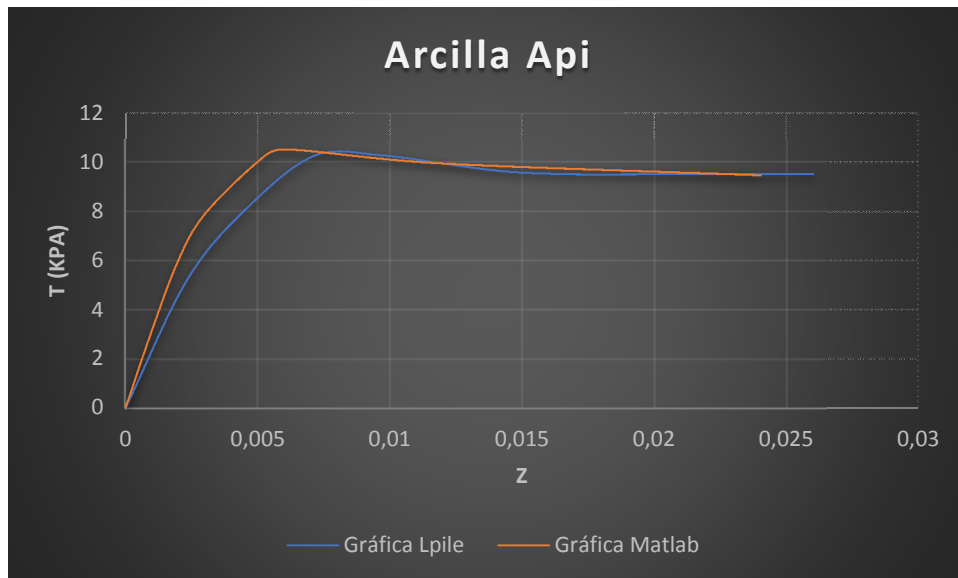


Figura 59. Comparación de resultados en Excel Lpile vs matlab



## **8. CAPITULO VII**

### **8.1. CONCLUSIONES**

A partir de la ejecución del código se puede concluir que los resultados comparados con programas existentes como Lpile y FB Multipier son satisfactorios y que dicho código es capaz de realizar lo siguiente:

- El código desarrollado está apto para calcular los resortes no lineales que representarán el suelo alrededor de pilotes a diferentes profundidades, tomando como referencia los parámetros de un ensayo de laboratorio de sondeos realizados.
- La interfaz gráfica es amigable y además el programa es capaz de emitir los datos de las curvas en un bloc de notas. El programa tiene una facilidad con el usuario puesto que permite la inserción de información de una manera sencilla, de tal forma que esto permite realizar múltiples procesos iterativos sin problema alguno.
- El código realizado servirá para el uso de estudiantes y profesionales, ya que el programa no es complicado de ejecutar y se podrá utilizar para aquellos que no cuentan con programas como Lpile y FB Multipier

### **8.2. RECOMENDACIONES**

- Los datos se deben ingresar en Excel, los parámetros de los ensayos de laboratorio se deben ingresar únicamente en las columnas que se especifican en el capítulo 6
- El usuario tendrá que ingresar los parámetros necesarios en las unidades correspondientes (SI). Ya que los desarrollos de las fórmulas de las curvas fueron desarrollados para dichas unidades.
- Tener en cuenta que el programa analiza las curvas  $p_y$ ,  $t_z$  y  $q_z$  en conjunto.

## **8.3. ANEXO A**

### **GUÍA DEL CÓDIGO DE LAS CURVAS PY**

**A.1. ARENA DE ONEILL**

**A.2. ARENA DE REESE, COX Y COOP**

**A.3. ARENA DE API**

**A.4. ARCILLA DE ONEILL**

**A.5. ARCILLA BLANDA BAJO NF DE MATLOCK**

**A.6. ARCILLA DURA SOBRE NF DE REESE**

**A.7. ARCILLA API**

## A.1. ARENA DE ONEILL

```
% py arena oneils
vars = {'p','y','curvapy','yf'};
clear(vars{:})
nf=1
Num=np;%numero del nudo donde se genera la curva
Numero= num2str(Num);
%N160
phi=((N160*15.4)^0.5)+20;%phi
beta=45+(phi/2);%beta
Kp=(tand(45+(phi/2)))^2;%Kp
Ka=(1-sind(phi))/(1+sind(phi));%Ka
% krig
%z
%ghama1
%dia
if 3-0.8*z/dia<0.9
    Aon=0.9;
else Aon=3-0.8*z/dia;%A
end
Pu=ghama1*z*(dia*(Kp-Ka)+(z*Kp*tand(phi)*tand(beta)));%Pu
yf=10*Aon*Pu/(krig*z);
yoneil=yf/40;%y
for i=1:40
    y=yoneil*i;
    p=nf*Aon*Pu*tanh(((krig*z)/(Aon*nf*Pu))*y);

    curvapy(1,i+1)=y;
    curvapy(2,i+1)=p;
end
p=curvapy(2,:);
y=curvapy(1,:);
figure
plot(y,p)
xlabel('Y (m)');
ylabel('P (kN)');
hold on
arc_py_i=[xlsfile,'_py_',Numero,'.txt'];
fID=fopen(arc_py_i,'w');
fprintf(fID,'%6s %8s\r\n','Y(m)','P(kN)');
fprintf(fID,'%6.3f %8.4f\r\n',curvapy);
fclose(fID);
```

## A.2. ARENA DE REESE, COX Y COOP

```
% py arena reese
vars = {'p','y','curvapy','yf'};
clear(vars{:})
Num=np;%numero del nudo donde se genera la curva
Numero= num2str(Num);
% N160
phi=((N160*15.4)^0.5)+20;%phi
ko=0.4
% krig
% ghamal
% z
% dia
alpha=phi/2;%alpha
beta=45+(phi/2);%beta
Kp=(tand(45+(phi/2)))^2;%Kp
Ka=(1-sind(phi))/(1+sind(phi));%Ka
pst1=ghamal*z*((ko*tand(phi)*sind(beta)/tand(beta-
phi)*cosd(alpha))+((tand(beta)/tand(beta-
phi))*(dia+(z*tand(beta)*tand(alpha))))+(ko*z*tand(beta)*((tand(phi)
*sind(beta))-tand(alpha)))-(Ka*dia));
pst2=(Ka*dia*ghamal*(tand(beta-
1))^8)+(ko*dia*ghamal*z*tand(phi)*(tand(beta))^4);
if pst1>pst2;
    Ps=pst2;
else Ps=pst1;
end
if (z/dia)<2.5
    As=(0.0615*(z/dia)^2)-(0.7974*(z/dia))+(2.8308);
elseif (z/dia)<6.5
    As=(0.0449*(z/dia)^2)-(0.4744*(z/dia))+(2.0996);
    else As=0.88;
    end
if (z/dia)<2.5
    Bs=(0.0879*(z/dia)^2)-(0.741*(z/dia))+(2.2204);
elseif (z/dia)<6.5
    Bs=(0.0531*(z/dia)^2)-(0.5671*(z/dia))+(1.9776);
    else Bs=0.5;
    end
end
yu=(3*dia)/80;
ym=(dia/60);
Pult=As*Ps;
pm=Bs*Ps;
m=(Pult-pm)/(yu-ym);
n=(pm/(m*ym));
C=(pm/(ym^(1/n)));
yk=(C/(krig*z))^(n/(n-1));
pk=(krig*z)*yk;
ypc=(ym-yk)/10;
for i=3:11;
    yc=yk+(i-2)*ypc;
    pc=C*yc^(1/n);
    p(1,i)=pc;
    Y(1,i)=yc;
end
p(1,1)=0;
p(1,2)=pk;
p(1,12)=pm;
```

```
p(1,13)=Pult;  
p(1,14)=Pult;  
y(1,1)=0;  
y(1,2)=yk;  
y(1,12)=ym;  
y(1,13)=yu;  
y(1,14)=2*yu;  
figure  
plot(y,p)  
xlabel('Y (m)');  
ylabel('P (kN)');  
hold on  
curvapy=[y; p];  
arc_py_i=[xlsfile, '_py_', Numero, '.txt'];  
fID=fopen(arc_py_i, 'w');  
fprintf(fID, '%6s %8s\r\n', 'y(m)', 'P(kN)');  
fprintf(fID, '%6.3f %8.4f\r\n', curvapy);  
fclose(fID);
```

### A.3. ARENA DE API

```
% py arena api
vars = {'p', 'Y', 'curvapy', 'yf'};
clear(vars{:})
Num=np;%numero del nudo donde se genera la curva
Numero= num2str(Num);
%N160=14.62;%N160
phi=((N160*15.4)^0.5)+20;%phi
ko=0.4;%ko
alpha=phi/2;%alpha
beta=45+(phi/2);%beta
Kp=(tand(45+(phi/2)))^2;%Kp
Ka=(1-sind(phi))/(1+sind(phi));%Ka
coe1=tand(beta)*(Kp*tand(alpha)+(ko*(tand(phi)*sind(beta)*((1/cosd(alpha))+1)-tand(alpha))));%C1
coe2=Kp-Ka;%C2
coe3=((Kp^2)*(Kp+(ko*tand(phi))))-Ka;%C3
%z=1;%z
%pol=10;%Po
%dia=0.60%D
if 3-0.8*z/dia<0.9
    Aon=0.9;
else Aon=3-0.8*z/dia;%A
end
%krig=25852;%K

Pus=((coe1*z)+(coe2*dia))*(pol*z);
Pud=coe3*dia*pol;
if Pus<Pud;
    Pu=Pus;
else Pu=Pud;
end
yf=10*Aon*Pu/(krig*z);
yapi=yf/40;%y
for i=1:40
    y=yapi*i;
    p=Aon*Pu*tanh(((krig*z)/(Aon*Pu))*y);
    curvapy(1,i+1)=y;
    curvapy(2,i+1)=p;
end
p=curvapy(2,:);
y=curvapy(1,:);
figure
plot(y,p)
xlabel('Y (m)');
ylabel('P (kN)');
hold on
arc_py_i=[xlsfile, '_py_', Numero, '.txt'];
fID=fopen(arc_py_i, 'w');
fprintf(fID, '%6s %8s\r\n', 'Y(m)', 'P(kN)');
fprintf(fID, '%6.3f %8.4f\r\n', curvapy);
fclose(fID);
```

#### A.4. ARCILLA DE ONEILL

```
%py arcilla oneills
vars = {'p','y','curvapy','yf'};
clear(vars{:})
Num=np;%numero del nudo donde se genera la curva
Numero= num2str(Num);
%su=25;%su
%dia=0.5;%D
if su<25
    e50=0.02
elseif su<50
    e50=0.01
    else e50=0.005;%e50
end
e100=1.5*e50;%e100
Yc=2.5*e100*dia;%yc
Pu=9*dia*su%Pu
yoneil=0.001;%y
Num=6*Yc/0.001
Numit=round(Num,0)
curvapy= zeros(Numit,2);
yfinal1=20*Yc
yfinal2=30*Yc

for i=1:Numit
    y=yoneil*i;
    p=(0.5*(y/Yc)^0.387)*Pu
    curvapy(i+1,1)=y;
    curvapy(i+1,2)=p;
end
curvapy(Numit+2,1)=yfinal1
curvapy(Numit+2,2)=0.5*Pu
curvapy(Numit+3,1)=yfinal2
curvapy(Numit+3,2)=0.5*Pu
p=curvapy(:,2);
y=curvapy(:,1);
figure
plot(y,p)
xlabel('Y (m)');
ylabel('P (kN)');
hold on
curvapy=[y; p];
arc_py_i=[xlsfile,'_py_',Numero,'.txt'];
fID=fopen(arc_py_i,'w');
fprintf(fID,'%6s %8s\r\n','y(m)','P(kN)');
fprintf(fID,'%6.3f %8.4f\r\n',curvapy);
fclose(fID);
```

## A.5. ARCILLA BLANDA BAJO NF DE MATLOCK

```
%py arcilla blanda bajo nivel freaico matlock
vars = {'p','y','curvapy','yf'};
clear(vars{:})
Num=np;%numero del nudo donde se genera la curva
Numero= num2str(Num);
%dia=0.5;%D
%su=25;%su
if su<25
    e50=0.02
elseif su<50
    e50=0.01;
    else e50=0.005;%e50
end
Y50=2.5*e50*dia;%Y50
%ghama1=18;%ghama
if su<=25
    J=0.5
elseif su<50
    J=0.25;
    else J=1;%J
end
%z=0.25;%z
Pu2=((3+((ghama1/su)*z))+((J/dia)*z))*su*dia;%Pu2
Pu1=9*su*dia;%Pu1
if Pu1>Pu2;
    Pu=Pu2;
else Pu=Pu1;
end
ymatlock=8*Y50/40;%y
Num=8*Y50/.001;
yfinal=16*Y50;
for i=1:40
    y=ymatlock*i;
    p=(0.5*(y/Y50)^0.333)*Pu;
    curvapy(1,i+1)=y;
    curvapy(2,i+1)=p;
end
curvapy(1,42)=yfinal;
curvapy(2,42)=Pu;
p=curvapy(2,:);
y=curvapy(1,:);
plot(y,p)
xlabel('Y (m)');
ylabel('P (kN)');
hold on
arc_py_i=[xlsfile,'_py_',Numero,'.txt'];
fID=fopen(arc_py_i,'w');
fprintf(fID,'%6s %8s\r\n','y(m)','P(kN)');
fprintf(fID,'%6.3f %8.4f\r\n',curvapy);
fclose(fID);
```



## A.6. ARCILLA DURA SOBRE NF DE REESE

```
%py arcilla dura sobre el nivel freatico Reese
vars = {'p','y','curvapy','yf'};
clear(vars{:})
Num=np;%numero del nudo donde se genera la curva
Numero= num2str(Num);
% su=25;%su
if su<25
    e50=0.02
elseif su<50
    e50=0.01
    else e50=0.005;%e50
end
% ghamal=10;%ghama
% z=1;%z
% dia=0.6;%D
Y50=2.5*e50*dia;%Y50
if su<=25
    J=0.5;
elseif su<50
    J=0.25;
    else J=1;%J
end
Pul=9*su*dia;%Pul
Pu2=(3+((ghamal/su)*z)+((J/dia)*z))*su*dia;%Pu2
if Pul>Pu2;
    Pu=Pu2;
else Pu=Pul;
end
yreesee=16*Y50/40;%y
% curvapy= zeros(200,2)
% Num=16*Y50/.001
% Numit=round(Num,0)
% curvapy= zeros(Numit,2);
yfinal=32*Y50;

for i=1:40
    y=yreesee*i;
    p=(0.5*(y/Y50)^0.25)*Pu;
    curvapy(1,i+1)=y;
    curvapy(2,i+1)=p;
end
curvapy(1,42)=yfinal;
curvapy(2,42)=Pu;
p=curvapy(2,:);
y=curvapy(1,:);
figure
plot(y,p)
xlabel('Y (m)');
ylabel('P (kN)');
hold on
arc_py_i=[xlsfile,'_py_',Numero,'.txt'];
fID=fopen(arc_py_i,'w');
fprintf(fID,'%6s %8s\r\n','y(m)','P(kN)');
fprintf(fID,'%6.3f %8.4f\r\n',curvapy);
fclose(fID);
```

## A.7. ARCILLA API

```
%py arcilla api
vars = {'p','Y','curvapy','yf'};
clear(vars{:})
Num=np;%numero del nudo donde se genera la curva
Numero= num2str(Num);
%su=25;%su
if su<25
    e50=0.02
elseif su<50
    e50=0.01
    else e50=0.005;%e50
end
e100=1.5*e50;%e100
Yc=2.5*e100*dia;%yc
%dia=0.5;%D
%pol=18;%po
%z=0.25
if su<25
    J=0.5
elseif su<50
    J=0.25
    else J=1;%J
end
Pul=9*su;%pul
Pu2=(3*su)+(pol)+(J*(su*z/dia));%pu2
if Pul>Pu2;
    Pu=Pu2
else Pu=Pul
end

P1=0*Pu;
P2=0.5*Pu;
P3=0.72*Pu;
P4=1*Pu;
P5=1*Pu;
Y1=0*Yc;
Y2=1*Yc;
Y3=3*Yc;
Y4=8*Yc;
Y5=16*Yc;
P=[P1,P2,P3,P4,P5];
y=[Y1,Y2,Y3,Y4,Y5];
figure
plot(y,P)
xlabel('Y (m)');
ylabel('P (kN)');
hold on
curvapy=[y; P];
arc_py_i=[xlsfile,'_py_',Numero,'.txt'];
fID=fopen(arc_py_i,'w');
fprintf(fID,'%6s %8s\r\n','y(m)','P(kN)');
fprintf(fID,'%6.3f %8.4f\r\n',curvapy);
fclose(fID);
```

## **8.4. ANEXO B**

### **GUÍA DEL CÓDIGO DE LAS CURVAS TZ**

#### **B.1. ARENA API**

#### **B.2. ARCILLA API**

## B.1. ARENA API

```
% tz arena api
vars = {'p', 'y', 'curvatz', 'yf'};
clear(vars{:})
Num=np;%numero del nudo donde se genera la curva
Numero= num2str(Num);
%N160
phi=((N160*15.4)^0.5)+20;%phi
K=0.8;%K
angulo=phi-5;%angulofriccion
%pol=16;%Po
fmax=K*pol*tand(angulo);
f1=0*fmax;
f2=1*fmax;
f3=1*fmax;
z1=0;
z2=0.10;
z3=0.20;
P=[f1,f2,f3];
y=[z1,z2,z3];
plot(y,P)
xlabel('Y (m)');
ylabel('P (kN)');
hold on
curvatz=[y; P];
arc_tz_i=[xlsfile, '_tz_', Numero, '.txt'];
fID=fopen(arc_tz_i, 'w');
fprintf(fID, '%6s %8s\r\n', 'y(m)', 'P(kN/m2)');
fprintf(fID, '%6.3f %8.4f\r\n', curvatz);
fclose(fID);
```

## B.2. ARCILLA API

```
%tz arcilla api
vars = {'p','y','curvatz','yf'};
clear(vars{:})
Num=np;%numero del nudo donde se genera la curva
Numero= num2str(Num);
%su=25;%su
%pol=18;%Po
%dia=0.4;%D
factor2=su/pol;%factor2
factorad=0.5*(factor2^-0.25);%alpha
fmax= factorad*su;%fmax
f0=0;
f1=0.30*fmax;
f2=0.50*fmax;
f3=0.75*fmax;
f4=0.90*fmax;
f5=1*fmax;
f6=0.90*fmax;
f7=0.90*fmax;
z0=0;
z1=0.0016*dia;
z2=0.0031*dia;
z3=0.0057*dia;
z4=0.0080*dia;
z5=0.010*dia;
z6=0.0200*dia;
z7=0.0400*dia;
P=[f0,f1,f2,f3,f4,f5,f6,f7];
y=[z0,z1,z2,z3,z4,z5,z6,z7];
plot(y,P)
xlabel('Y (m)');
ylabel('P (kN)');
hold on
curvatz=[y; P];
arc_tz_i=[xlsfile,'_tz_',Numero, '.txt'];
fID=fopen(arc_tz_i,'w');
fprintf(fID,'%6s %8s\r\n','y(m)','P(kN)');
fprintf(fID,'%6.3f %8.4f\r\n',curvatz);
fclose(fID);
```

## **8.5. ANEXO C**

### **GUÍA DEL CÓDIGO DE LAS CURVAS QZ**

#### **C.1. ARENA API**

#### **C.2. ARCILLA API**

## C.1. ARENA API

```
%qz arena api
vars = {'p','y','curvaqz','yf'};
clear(vars{:})
Num=np;%numero del nudo donde se genera la curva
Numero= num2str(Num);
%N160=21;%N160
phi=((N160*15.4)^0.5)+20;%phi
Nq=(2.718281828^(pi*tand(phi)))*tand(45+(phi/2))^2;%Nq
%dia=0.5;%D
A=dia*dia;%A
%pol=18;%po
q=pol*Nq;%q
Qp=q*A;%Qp
Q0=0;
Q1=Qp*0.25;
Q2=Qp*0.50;
Q3=Qp*0.75;
Q4=Qp*0.90;
Q5=Qp*1;
Q6=Qp*1;
z0=0;
z1=0.002*dia;
z2=0.013*dia;
z3=0.042*dia;
z4=0.073*dia;
z5=0.100*dia;
z6=0.200*dia;
P=[Q0,Q1,Q2,Q3,Q4,Q5,Q6];
y=[z0,z1,z2,z3,z4,z5,z6];
figure
plot(y,P)
xlabel('Y (m)');
ylabel('P (kN)');
hold on
curvaqz=[y; P];
arc_qz_i=[xlsfile,'_qz_',Numero,'.txt'];
fID=fopen(arc_qz_i,'w');
fprintf(fID,'%6s %8s\r\n','y(m)','P(kN)');
fprintf(fID,'%6.3f %8.4f\r\n',curvaqz);
fclose(fID);
```

## C.2. ARCILLA API

```
%qz arcilla api
vars = {'p','y','curvaqz','yf'};
clear(vars{:})
Num=np;%numero del nudo donde se genera la curva
Numero= num2str(Num);
%su=25;%su
%dia=0.5;%D
A=dia^2;%A
q=9*su;%q
Qp=q*A;
Q0=0;
Q1=Qp*0.25;
Q2=Qp*0.50;
Q3=Qp*0.75;
Q4=Qp*0.90;
Q5=Qp*1;
Q6=Qp*1;
z0=0;
z1=0.002*dia;
z2=0.013*dia;
z3=0.042*dia;
z4=0.073*dia;
z5=0.100*dia;
z6=0.200*dia;
P=[Q0,Q1,Q2,Q3,Q4,Q5,Q6];
y=[z0,z1,z2,z3,z4,z5,z6];
figure
plot(y,P)
xlabel('Y (m)');
ylabel('P (kN)');
hold on
curvaqz=[y; P];
arc_qz_i=[xlsfile,'_qz_',Numero, '.txt'];
fID=fopen(arc_qz_i, 'w');
fprintf(fID, '%6s %8s\r\n', 'y(m)', 'P(kN)');
fprintf(fID, '%6.3f %8.4f\r\n', curvaqz);
fclose(fID);
```



## **ANEXO D**

### **GUÍA DEL CÓDIGO DE LAS CURVAS (PY, TZ, QZ)**

**D.1. CÓDIGO PARA EL RECONOCIMIENTO DE DATOS DE LAS CURVAS.**

**D.2. CÓDIGO GENERADOR DE LAS CURVAS.**

**D.3. CÓDIGO PARA LA DISCRETIZACIÓN DEL PILOTE**

**D.4. CÓDIGO GENERADOR DE ESFUERZO EFECTIVO**

## D.1. CÓDIGO PARA EL RECONOCIMIENTO DE DATOS DE LAS CURVAS (PY, TZ, QZ)

```
for np=1:NptoPilote
    z=DatosTOTALEsptos(np,14); %profundidad
    Su=DatosTOTALEsptos(np,7); %Su arcilla
    N160=DatosTOTALEsptos(np,6); %numero de golpes arena
    dia=DatosTOTALEsptos(np,8); %diametro pilote
    krig=DatosTOTALEsptos(np,10); %k
    EsfEfec=DatosTOTALEsptos(np,16); %esfuerzo efectivo
    ghamal=DatosTOTALEsptos(np,15); %peso especifico efectivo
    if DatosTOTALEsptos(np,11)==1; %
        curvpy=('py_Arena_Oneills.m');
    elseif DatosTOTALEsptos(np,11)==2
        curvpy=('py_Arena_Api.m');
    elseif DatosTOTALEsptos(np,11)==3
        curvpy=('py_Arena_Reese.m')
    elseif DatosTOTALEsptos(np,11)==4
        curvpy=('py_ArcillaBlandaBajo_NF_Matlock.m')
    elseif DatosTOTALEsptos(np,11)==5
        curvpy=('py_ArcillaDuraSobre_NF_Reese.m')
    elseif DatosTOTALEsptos(np,11)==6
        curvpy=('py_Arcilla_Api.m')
        else curvpy=('py_Arcilla_Oneills.m')
    end
    run(curvpy);

    if DatosTOTALEsptos(np,12)==1; %
        curvTZ=('TZ_Arena_API.m');
    else curvTZ=('TZ_Arcilla_API.m');
    end
    run(curvTZ);

    if DatosTOTALEsptos(np,13)==1; %
        curvQZ=('QZ_Arena_API.m');
    else curvQZ=('QZ_Arcilla_API.m');
    end
    run(curvQZ);

end
```

## D.2. CÓDIGO GENERADOR DE LAS CURVAS.

```
clear;
clear functions;
clearvars;
clc;
prompt = 'Ingrese el nombre del archivo excel de datos (sin
extension): ';
xlsfile = input(prompt,'s');
DatosSondeo=xlsread(xlsfile);
% Ka=xlsread('Book3');
prompt = 'Ingrese el Nivel Freático: ';
NF = input(prompt);
prompt = 'Ingrese la longitud del pilote en metros: ';
LPilote = input(prompt);
prompt = 'Ingrese el número de segmentos para discretizar el pilote:
';
NsegPilote = input(prompt);
esfefect=('esf_efectivo.m');
run(esfefect);
discpilote=('discretizacion_datos.m');
run(discpilote);
curvasexe=('curvasgen.m');
run(curvasexe);
```

### D.3. CÓDIGO PARA LA DISCRETIZACIÓN DEL PILOTE

```
%LPilote=10;
%NsegPilote=11;
NPtoPilote=NsegPilote+1;
LsegPilote=LPilote/NsegPilote;
PtoPilote=zeros(NPtoPilote,2);
NDatos2=NDatos+3;
for i=1:NPtoPilote
    PtoPilote(i,1)=i;
    PtoProf=round((i-1)*LsegPilote,2);
    PtoPilote(i,2)=PtoProf;
end
DatosTOTALESptos=zeros(NPtoPilote,16);

for i=1:NPtoPilote;
    Profptoi=PtoPilote(i,2);
    for p=1:TamMat;
        profcomp = DatosTOTALES(p,14);
        if profcomp==Profptoi;
            for g=1:NDatos2
                DatosTOTALESptos(i,g)=DatosTOTALES(p,g);
            end
        else
            end
    end
end
end
```

#### D.4. CÓDIGO GENERADOR DE ESFUERZO EFECTIVO

```
% NF=2.0;
NCapas= size(DatosSondeo, 1);
NDatos= size(DatosSondeo, 2);
LonPerfil=DatosSondeo(NCapas,3);
NumLonPerfilDis=LonPerfil/.01;
TamMat=NumLonPerfilDis+1;

DatosTOTALES=zeros(TamMat,16);
for i=1:TamMat
    Prof=round((i-1)*0.01,2);
    DatosTOTALES(i,14)=Prof;
end
for i=1:NDatos
    DatosTOTALES(1,i)=DatosSondeo(1,i);
end
for i=2:TamMat
    Profi=DatosTOTALES(i,14);
    for m=1:NCapas;
        if Profi>DatosSondeo(m,2);
            for g=1:NDatos
                DatosTOTALES(i,g)=DatosSondeo(m,g);
            end
        end
    end
end
end
% calculo de gamma efectivo
for i=1:TamMat
    if DatosTOTALES(i,14)>NF;
        DatosTOTALES(i,15)=DatosTOTALES(i,9)-10;
    else
        DatosTOTALES(i,15)=DatosTOTALES(i,9);
    end
end
end
% calculo de esfuerzo efectivo
Esf_Efe=0;
for i=2:TamMat
    Esf=0.01*DatosTOTALES(i,15);
    EsfTotal=Esf_Efe+Esf;
    DatosTOTALES(i,16)=EsfTotal;
    Esf_Efe=EsfTotal;
end
Profy=DatosTOTALES(:,14);
EsfEfec=DatosTOTALES(:,16);
figure
c=[0 EsfTotal];
for e=2:NCapas
    f=[DatosSondeo(e,2) DatosSondeo(e,2)] ;
    plot(c,f);
    hold on;
end
plot(EsfEfec,Profy);
axis ij;
ylim=(DatosSondeo(NCapas,3));
axis ([0 EsfTotal 0 ylim])
```

## 9. BIBLIOGRAFÍA

(Referencia sección G.8.6 y G.8.7 API RP2A LRFD). (s.f.).

Administration, F. D. (s.f.).

*Bridge Software Florida Institute*. (2018).

*Bridge Software Institue*. (2018).

Engineering Software Ensoft Inc. (2018). *Ensoft Inc*.

Florida Department of Transportation y Federal Highway Administration. (s.f.).

Florida Department of Transportation y Federal Highway Administration(FHWA). (2002). *"FB-Pier User's Guide Manual"*. Gainesville (Florida).

Florida, U. d. (2017). *FB-Multiplier*.

Reese, L. y Wang S, Ensoft Inc.,. (1997). *"LPILE Plus 3.0 Technical Manual"*.

Universidad de Florida. (2017). *FB-Multiplier*.

VÁSCONEZ, T. P. (2010). *Comportamiento de pilotes individuales bajo carga lateral evaluación de un caso real*. Guayaquil.



Presidencia  
de la República  
del Ecuador



Plan Nacional  
de Ciencia, Tecnología,  
Innovación y Saberes



SENESCYT

Secretaría Nacional de Educación Superior,  
Ciencia, Tecnología e Innovación

## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Salmerón Acosta, Darío Fernando**, con C.C: # 0923812358 autor del trabajo de titulación: **Desarrollo de código en Matlab para generación de resortes no lineales que representen el comportamiento del suelo (curvas PY, TZ Y QZ) a distintas profundidades para análisis de pilote** previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

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

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

Guayaquil, **9 de marzo del 2018**

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

Nombre: **Salmerón Acosta, Darío Fernando**

C.C: **0923812358**



## **REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

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

<b>TEMA Y SUBTEMA:</b>	Desarrollo de código en Matlab para generación de resortes no lineales que representen el comportamiento del suelo (curvas PY, TZ Y QZ) a distintas profundidades para análisis de pilote		
<b>AUTOR:</b>	Darío Fernando, Salmerón Acosta		
<b>TUTOR:</b>	Guillermo Alfonso, Ponce Vásquez		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Ingeniería		
<b>CARRERA:</b>	Ingeniería Civil		
<b>TITULO OBTENIDO:</b>	Ingeniero Civil		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	9 de marzo de 2018	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	94
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Geotecnia, Cimentaciones, Mecánica de suelos, Análisis Estructural		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	resortes, no lineales, curvas, deflexión, software, parámetros, profundidad.		

- **RESUMEN :**

Este trabajo de investigación presenta la formulación de expresiones para curvas p-y, tz y qz para arenas y arcillas bajo carga estática en el programa Matlab. Se presentan conceptos que son relevantes para cualquier método de análisis de cimentaciones profundas bajo carga lateral y axial. Se presenta el concepto del método p-y, concepto de cimentaciones profundas bajo carga axial del método tz y qz, que corresponden a cargas axiales en el fuste y punta del pilote correspondientemente. Detalles para el cálculo del comportamiento de transferencia de carga para una pila bajo una variedad de condiciones. Las curvas que describen la transferencia de carga lateral y axial a lo largo del pilote en función de la profundidad y de la deflexión lateral. Se procederá a realizar un código o Software en el programa Matlab el cual será muy útil al momento de calcular los resortes no lineales que nos ayudarán a representar el suelo. Basta con ingresar los parámetros relevantes en el programa, para obtener las curvas particulares del sitio en estudio.





<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>CON</b>	Teléfono: 59399909126 E-mail: <b>dfsa-fernando@hotmail.com</b>
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::</b>	<b>LA</b>	<b>Nombre: Clara Glas Cevallos</b> Teléfono: +593-4 -2206956 E-mail: <b>clara.glas@cu.ucsg.edu.ec</b>
<b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>		
<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>		
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>		
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>		