



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TEMA:**

**Desarrollo de código Matlab para generación de modelo analítico de cimentaciones profundas usando resortes no lineales (curvas  $p_y$ ,  $t_z$  y  $q_z$ ).**

**AUTOR:**

**Noritz Molina, Erick Marcel**

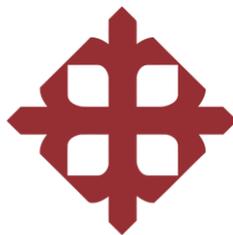
**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de  
INGENIERO CIVIL**

**TUTOR:**

**Ing. Ponce Vásquez, Guillermo Alfonso**

**Guayaquil, Ecuador**

**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 **Noritz Molina Erick Marcel**, 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, 20 días del mes de septiembre del 2018**



**FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **Noritz Molina Erick Marcel**

**DECLARO QUE:**

El Trabajo de Titulación, **Desarrollo de código Matlab para generación de modelo analítico de cimentaciones profundas usando resortes no lineales (curvas  $p_y$ ,  $t_z$  y  $q_z$ )**, 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.

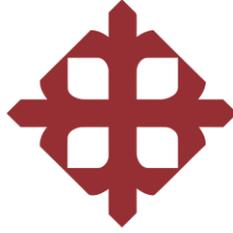
En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

**Guayaquil, 20 de septiembre del 2018**

**EL AUTOR**

---

**Noritz Molina, Erick Marcel**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

## AUTORIZACIÓN

Yo, **Noritz Molina Erick Marcel**

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 Matlab para generación de modelo analítico de cimentaciones profundas usando resortes no lineales (curvas py, tz y qz)**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

**Guayaquil, 20 de septiembre del 2018**

**EL AUTOR:**

---

**Noritz Molina Erick Marcel**

## Urkund Analysis Result

**Analysed Document:** TRABAJO DE TITULO ERICK NORITZ.docx (D40995431)  
**Submitted:** 8/27/2018 4:06:00 PM  
**Submitted By:** claglas@hotmail.com  
**Significance:** 1 %

### Sources included in the report:

<https://www.monografias.com/trabajos5/matlab/matlab.shtml>  
<https://civilparaelmundo.com/disenio-pilotes-acero/>  
<http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/10137>  
<http://www.elconstructorcivil.com/2011/02/tipos-de-pilotes-y-su-capacidad-de.html>

### Instances where selected sources appear:

4

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios y a la Mater por las bendiciones que me han dado y por haberme ayudado en todas las etapas de mi vida y en especial durante mi carrera universitaria, donde me permitieron desarrollar todas las capacidades que me dieron. A mi madre que ha sido mi principal apoyo educándome con valores en cada paso que he dado. A mi papá que me enseñó con ejemplo desde pequeño como hay que vivir y compartir con la familia y al mismo tiempo ser un buen profesional y una buena persona y que ahora en el cielo es mi principal fortaleza. A mis hermanos con quienes he crecido y aprendido durante toda mi vida y de quienes he recibido su cariño y confianza siempre. A mi novia por apoyarme siempre y estar conmigo en los momentos difíciles y en los más felices.

## **DEDICATORIA**

Este trabajo está dedicado para mi papá y mi mamá que siempre se esforzaron por darnos lo mejor a mí y a mis hermanos en educación y valores. Todo lo que he llegado a ser y conseguir ha sido por ellos.



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

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

---

**Ing. Lilia Valarezo Moreno de Pareja, M.S.**

DECANA DE LA FACULTAD

---

**Ing. Oswaldo Ripalda, MsC**

DOCENTE DELEGADO

---

**Ing. Roberto Luque Nuques, MsC**

OPONENTE

# TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN .....	XV
ABSTRACT .....	XVI
INTRODUCCIÓN .....	2
1. CAPÍTULO I .....	3
1.1 Alcance .....	3
1.2. Objetivos .....	5
1.2.1. Objetivo General.....	5
1.2.2. Objetivos específicos.....	5
2. CAPÍTULO II .....	6
2.1. Antecedentes. ....	6
2.2. Programas existentes. ....	6
2.2.1 LPILE. ....	6
2.2.2. FB–MultiPier. ....	7
2.2.3. Código en Matlab para generación de resortes no lineales ....	7
3. CAPÍTULO III.....	12
3.1. SAP2000 v19. ....	12
3.1.1. Elementos frames.....	13
3.1.2. Elementos tipo shells.....	14
3.3.3. Nodos. ....	15
3.3.4. Elementos links – support.....	17
3.2. MATLAB.....	19
3.2.1. Entorno de ventanas.....	20
3.2.2. Comandos de Matlab .....	24
3.3 Microsoft Excel .....	28
4. CAPÍTULO IV .....	30
4.1 Interacción suelo – cimentación – superestructura .....	30

4.2. Cimentaciones.....	31
4.2.1. Cimentaciones superficiales .....	32
4.2.2. Cimentaciones profundas .....	32
5. CAPÍTULO V .....	39
5.1. Descripción y funcionamiento del programa.....	39
5.2. Manual de usuario .....	39
5.3. Ejemplo y muestra de resultados obtenidos.....	46
6. CAPÍTULO VI .....	52
6.1. Conclusiones.....	52
6.2. Recomendaciones.....	52
7. CAPÍTULO VII .....	53
7.1. ANEXO A - GUÍA DEL CÓDIGO DEL MODELO DE CIMENTACIÓN PROFUNDA .....	53
A.1. COORDENADAS.....	54
A.2. ELEMENTOS FRAMES .....	56
A.3. MATERIALES .....	58
A.4. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES.....	59
A.5. ASIGNACIONES .....	62
7.2. ANEXO B - RECOPIACIÓN DE CURVAS PY, TZ Y QZ .....	63
B.1. LINKS.....	64
B.2. ASIGNACIONES DE LINKS .....	65
B.3. PROPIEDADES DE LINKS .....	66
B.4. IMPORTACIÓN DE LINKS.....	67
7.3. ANEXO C - GENERADORES .....	69
C.1. GENERADOR DE EXCELS .....	70
C.2. GENERADOR DE CÓDIGOS.....	71
8. CAPÍTULO VIII .....	72

<b>8.1. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>72</b>
-------------------------------	-----------

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1</b>	<b>Hojas de datos inicial. ....</b>	<b>8</b>
<b>Ilustración 2</b>	<b>Ventana Generador de Curvas. (Matlab, 2017).....</b>	<b>9</b>
<b>Ilustración 3</b>	<b>Resultados de los sondeos Py, Tz y Qz.....</b>	<b>9</b>
<b>Ilustración 4</b>	<b>Sondeo Py1. ....</b>	<b>10</b>
<b>Ilustración 5</b>	<b>Interfaz principal (SAP2000, 2017).....</b>	<b>12</b>
<b>Ilustración 6</b>	<b>Ventana nuevo modelo elemento Frame 3D (SAP2000, 2017) .....</b>	<b>14</b>
<b>Ilustración 7</b>	<b>Ventana nuevo modelo Shells (SAP2000, 2017).....</b>	<b>15</b>
<b>Ilustración 8</b>	<b>Ejemplo de modelo con Nodos y Links (SAP2000, 2017). ..</b>	<b>18</b>
<b>Ilustración 9</b>	<b>Ventana Editor (Matlab, 2017).....</b>	<b>21</b>
<b>Ilustración 10</b>	<b>Ventana Command Window. (Matlab, 2017) .....</b>	<b>22</b>
<b>Ilustración 11</b>	<b>Ventana Current Folder. (Matlab, 2017) .....</b>	<b>22</b>
<b>Ilustración 12</b>	<b>Ventana Workspace. (Matlab, 2017) .....</b>	<b>23</b>
<b>Ilustración 13</b>	<b>Ventana Variables. (Matlab, 2017) .....</b>	<b>23</b>
<b>Ilustración 14</b>	<b>Pilotes prefabricados con refuerzo ordinario. Fuente: Fundamentos Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das. (2001).....</b>	<b>34</b>
<b>Ilustración 15</b>	<b>Empalmes por remaches o soldaduras en pilotes de acero. Fuente: Fundamentos Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das. (2001).....</b>	<b>35</b>
<b>Ilustración 16</b>	<b>Equipos de hincado de pilotes. Fuente: Principio de Ingeniería de Cimentación, Braja M. Das (2001).....</b>	<b>36</b>
<b>Ilustración 17</b>	<b>Códigos de Matlab agrupados en una misma carpeta. Fuente: Autor .....</b>	<b>40</b>
<b>Ilustración 18</b>	<b>Documentos de texto de las curvas Py, Tz y Qz agrupados en una misma carpeta. Fuente: Autor .....</b>	<b>40</b>
<b>Ilustración 19</b>	<b>Libros de Excel agrupados en una misma carpeta. Fuente: Autor .....</b>	<b>41</b>
<b>Ilustración 20</b>	<b>Hoja de Excel vacía con el formato correspondiente para ser leído en el programa SAP2000. (Excel, 2013).....</b>	<b>41</b>
<b>Ilustración 21</b>	<b>Ícono para ubicar carpeta. (Matlab, 2017).....</b>	<b>41</b>
<b>Ilustración 22</b>	<b>Ventana Seleccionar nueva carpeta. (Matlab, 2017) .....</b>	<b>42</b>

<b>Ilustración 23 Ventana Current Folder con el código Generador.m. (Matlab, 2017)</b> .....	<b>42</b>
<b>Ilustración 24 Ícono Run (Matlab, 2017)</b> .....	<b>43</b>
<b>Ilustración 25 Ingreso de datos en la ventana Command Window (Matlab, 2017)</b> .....	<b>43</b>
<b>Ilustración 26 Libro de Excel "Proyecto" creado por el código. Fuente: Autor</b> .....	<b>44</b>
<b>Ilustración 27 Interfaz principal (SAP2000, 2017)</b> .....	<b>45</b>
<b>Ilustración 28 Ventana de importación de libros de Excel. (SAP2000, 2017)</b> .....	<b>45</b>
<b>Ilustración 29 Códigos, documentos de textos y libros de Excel agrupados en una misma carpeta. Fuente: Autor</b> .....	<b>46</b>
<b>Ilustración 30 Libro "DATOSCURVAS". (Excel, 2013)</b> .....	<b>46</b>
<b>Ilustración 31 Sondeo Py15.</b> .....	<b>47</b>
<b>Ilustración 32 Libro generado de Excel "Proyecto". Fuente: Autor</b> .....	<b>48</b>
<b>Ilustración 33 Libro "Proyecto". (Excel, 2013)</b> .....	<b>48</b>
<b>Ilustración 34 Base de datos de errores. (SAP2000, 2017)</b> .....	<b>49</b>
<b>Ilustración 35 Pantalla principal modelo generado. (SAP2000, 2017)</b> ...	<b>49</b>
<b>Ilustración 36 Modelo de Cimentación profunda con resortes no lineales. (SAP2000, 2017)</b> .....	<b>50</b>
<b>Ilustración 37 Modelo de cimentación profunda de vigas y pilotes. (SAP2000, 2017)</b> .....	<b>51</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1 Funciones matemáticas predeterminadas de Matlab.....</b>	<b>26</b>
<b>Tabla 2 Funciones predeterminadas de Matlab .....</b>	<b>26</b>

## RESUMEN

- En este proyecto de investigación se va a proceder a realizar un código generado con el uso del programa Matlab, el cual va a ayudar a modelar diferentes tipos de cimentaciones profundas usando resortes no lineales (curvas  $p_y$ ,  $t_z$  y  $q_z$ ) en el programa SAP2000 v19. Dentro del proyecto se crearán diferentes códigos que generarán matrices, las cuales van a ir llenando varias hojas de Excel creadas dentro de un mismo libro. También se procederá a crear códigos para recolectar y agrupar en el mismo libro de Excel la información generada por el software del proyecto de investigación del Ing. Darío Salmerón Acosta realizado en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil en el semestre B-2017. Este libro de Excel va a presentar un formato ya especificado, el cual tiene la capacidad de ser leído y entendido por el programa SAP2000 v19 y en este poder modelar la cimentación profunda deseada por el usuario.

**Palabras clave:** código, modelo, cimentación profunda, resortes, no lineales, matrices.

## **ABSTRACT**

In this research project we will proceed to create a code generated in the Matlab program, which will help to model deep foundations using non-linear springs (py, tz and qz) in the SAP2000 v19 program. Different codes will be created that will generate matrices, which will fill several Excel sheets of the same book. Codes will also be created to collect and group in the same Excel book the information generated by the software of the research project of Mr. Darío Salmerón Acosta conducted at the Catholic University of Santiago de Guayaquil in the semester B-2017. This Excel workbook will have a form already specified, which has the ability to be read and understood by the SAP2000 v19 program and in this model the deep foundations desired by the user.

**Key words:** code, model, deep foundation, springs, nonlinear, matrices.

## **INTRODUCCIÓN**

Con la ayuda de las curvas  $P_y$ ,  $T_z$  y  $Q_z$  generadas por un código de un proyecto de investigación anterior realizada por Ing. Darío Salmerón, este proyecto de investigación presenta una codificación para crear modelos de cimentaciones profundas con las características deseadas por el usuario para que puedan ser analizadas en el programa SAP2000 v19. Se presentan conceptos relevantes a las cimentaciones, específicamente a las cimentaciones profundas. También se presenta información relevante a la interacción que existe entre el suelo, la cimentación y la superestructura y su importancia de analizar estos elementos como un solo conjunto. Se presenta también información de los comandos utilizados en el programa Matlab para la generación del código. Se detalla los elementos del programa SAP2000 que el código va a crear a partir de las hojas de Excel para realizar el modelo de cimentación profunda que se requiere. Finalmente presenta las conclusiones de la importancia de este código para facilitar la modelación de cimentaciones profundas con el uso de resortes no lineales ( $P_y$ ,  $T_z$  y  $Q_z$ ).

# 1. CAPÍTULO I

## 1.1 Alcance

Se procederá a realizar un código utilizando el programa Matlab en el cual se nos permita generar un modelo analítico de cimentaciones profundas usando resortes no lineales (curvas  $p_y$ ,  $t_z$ ,  $q_z$ ). Se eligió el uso del programa Matlab para realizar el desarrollo del código ya que este presenta un manejo fácil y amigable para el usuario y principalmente porque muchos otros programas de diseño son compatibles con el método de programación de Matlab. Por lo tanto si se requiere realizar algún cambio en los algoritmos del programa se lo podrá hacer sin problema desde cualquiera de los programas compatibles a Matlab, ya sea para mejorar su rendimiento o por agregar nuevas normas de diseño.

Con el uso de Matlab se nos permitirá crear varios algoritmos de manera independiente y al estar una vez terminado se los unificará de tal manera que sea amigable para el usuario para que este solo tenga que ingresar los datos de las diferentes características de la cimentación que se desea modelar.

Las características principales que presentará nuestro algoritmo final son las siguientes:

- El usuario podrá ingresar:
  - las características básicas de la cimentación como:
    - La cantidad de pilotes en cada dirección.
    - Los espaciamientos entre los pilotes en cada dirección.
    - La profundidad de los pilotes en el modelo.
  - El usuario ubicará la cota del cabezal de la cimentación y la cota del suelo de acuerdo al modelo que se desea realizar.
  - El usuario podrá ingresar las características de los pilotes y las vigas que formarán la cimentación como:
    - Peso unitario.
    - Los esfuerzos máximos de la sección.
    - Coeficiente de Poisson.
    - Tipo de pilote (circular o rectangular).
    - Tamaño de la sección de los pilotes.

- Tamaño de la sección de las vigas.
- El código será capaz de:
  - Calcular diferentes propiedades de las vigas y de los pilotes como:
    - Módulo de elasticidad.
    - Módulo de elasticidad transversal.
    - Masa unitaria.
    - Área de las secciones.
    - Inercias de las secciones.
    - Módulos de sección elástico.
    - Módulos de sección plástico.
    - Radios de giro.
  - Agrupar los datos ingresados por el usuario o calculados dentro del código de Matlab en diferentes matrices con un orden específico.
  - Leer documentos de texto y agrupar adecuadamente en varias matrices los valores de los resortes no lineales con sus diferentes curvas  $p_y$ ,  $t_z$  y  $q_z$  generadas anteriormente por el código del trabajo de titulación del Ing. Darío Salmerón de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil en el Semestre B-2017.
  - Generar varias hojas de Excel llenadas con las diferentes matrices explicadas anteriormente, de acuerdo a un formato capaz de ser leído y entendido correctamente por el programa SAP2000 para que este finalmente cree el modelo de la cimentación deseado por el usuario y con los resortes no lineales calculados.

## **1.2. Objetivos**

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

Desarrollar un algoritmo en Matlab el cual permita al usuario generar un modelo analítico de cimentación profunda usando resortes no lineales con sus curvas  $p_y$ ,  $t_z$ ,  $q_z$ .

### **1.2.2. Objetivos específicos.**

- Crear un software amigable al usuario para que tenga un fácil manejo.
- Calcular las propiedades faltantes de las vigas y de los pilotes del modelo deseado por el usuario.
- Generar diferentes matrices con los datos ingresados y los datos calculados en el código.
- Codificar un algoritmo que cree un archivo de Excel con la información de las matrices generadas de tal manera que sea capaz de ser importada en el SAP2000 para que modele la cimentación deseada.

## **2. CAPÍTULO II**

### **2.1. Antecedentes.**

La ingeniería para los proyectos de cimentación y de estructuras se viene aplicando de la misma manera desde las décadas de los 70 y 80, es decir cada una de ellas de manera independiente. Este proyecto de investigación sigue una nueva tendencia la cual tiene la idea de poder integrar la ingeniería de proyecto de cimentación con la ingeniería estructural y la geotecnia. Por consiguiente, será de gran ayuda para muchos ingenieros poseer una herramienta como este software en donde se pueda modelar automáticamente en el programa SAP2000 una cimentación con las propiedades deseadas junto con los resortes no lineales generados por un reporte de ensayos que representan el comportamiento del suelo.

Actualmente LPILE y FB-MultiPier son unos de los programas existentes para el análisis de cimentación, pero al tener un alto costo monetario y al no ser modificable por el usuario, provoca que muchos ingenieros no puedan calcular los resortes por lo tanto el comportamiento del pilote en interacción con el suelo no se puede analizar.

Este proyecto de titulación se verá apoyado por el código generado anteriormente en el proyecto de titulación del Darío Salmerón de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil en el Semestre B-2017. Este código le proporcionará documentos de texto en el que se encontrarán los valores de los resortes no lineales: curvas  $p_y$ ,  $t_z$  y  $q_z$ .

### **2.2. Programas existentes.**

#### **2.2.1 LPILE.**

LPILE es un programa que está basado en procedimientos racionales en donde se estudia un pilote sometido a cargas laterales. Este software puede calcular el esfuerzo cortante, momento de flexión, la deflexión y la respuesta no lineal del suelo con respecto a su profundidad. El programa permite al usuario ingresar los datos en la interfaz que posee y los resultados son presentados con gráficas. Esta característica hace que sea posible la comprobación automática de varias longitudes del pilote con el propósito de

que al usuario se le facilite diseñar un pilote con una penetración adecuada y óptima.

El programa tiene la capacidad de generar internamente curvas p-y para poder modelar suelos que estén estratificados, además a eso el usuario tiene la opción de ingresar manualmente curvas p-y para la capa de suelo que desee.

### **2.2.2. FB–MultiPier.**

FB-MultiPier es un programa informático tridimensional de análisis de elementos finitos no lineales que mod (Computers and Structures, Inc., 2011)ela las interacciones de la estructura, de los pilotes y del suelo bajo cargas estáticas y dinámicas. Los elementos finitos incluyen elementos discretos no lineales los cuales simulan la deformación y deflexiones de los materiales para la redistribución de las fuerzas. Los resortes no lineales que representan la interacción entre los pilotes y las diferentes capas del suelo se generan automáticamente a partir de los parámetros estándar de resistencia del suelo introducidos por el ingeniero. Para los programas orientados al diseño es una necesidad generar de manera automática modelos de elementos que tengan una definición geométrica y paramétrica de la cimentación y la estructura. Los resultados de los análisis son manejados por una simplificada combinación de gráficos bidimensionales y tridimensionales a base de formularios.

### **2.2.3. Código en Matlab para generación de resortes no lineales**

Para el desarrollo completo de este proyecto de investigación va a ser necesario el apoyo de un código capaz de generar resortes no lineales (curvas py, tz y qz), el cual ya ha sido desarrollado anteriormente y del cual se hará uso. Este software programado en Matlab fue realizado por el Ing. Darío Salmerón, el cual fue su trabajo de titulación en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil dentro del Semestre B-2017. Este programa presenta un funcionamiento amigable, por lo cual se hace sencillo obtener los

resultados deseados por el usuario, y nos va a permitir calcular los resortes no lineales el cual representarán el suelo alrededor de los pilotes a las diferentes profundidades. El código está capacitado para poder leer el reporte de los ensayos de laboratorio por una hoja de Excel dada al usuario para que sea llenado de acuerdo al suelo deseado. Este código trabaja con los modelos de curvas no lineales desarrollados por API, O'Neill, Matlock, etc., de los cuales el usuario tendrá la posibilidad de elegir el modelo indicado que se pueda adaptar al tipo de suelo dado. Al ejecutarse el código el usuario podrá ingresar las propiedades que tendrá el pilote, como su profundidad y resistencia a la compresión, donde se generarán las respectivas curvas. Al finalizarse los resultados serán mostrados por el programa a través de formatos de textos y de gráficos de las curvas que fueron generadas.

### 2.2.3.1. Manual de usuario.

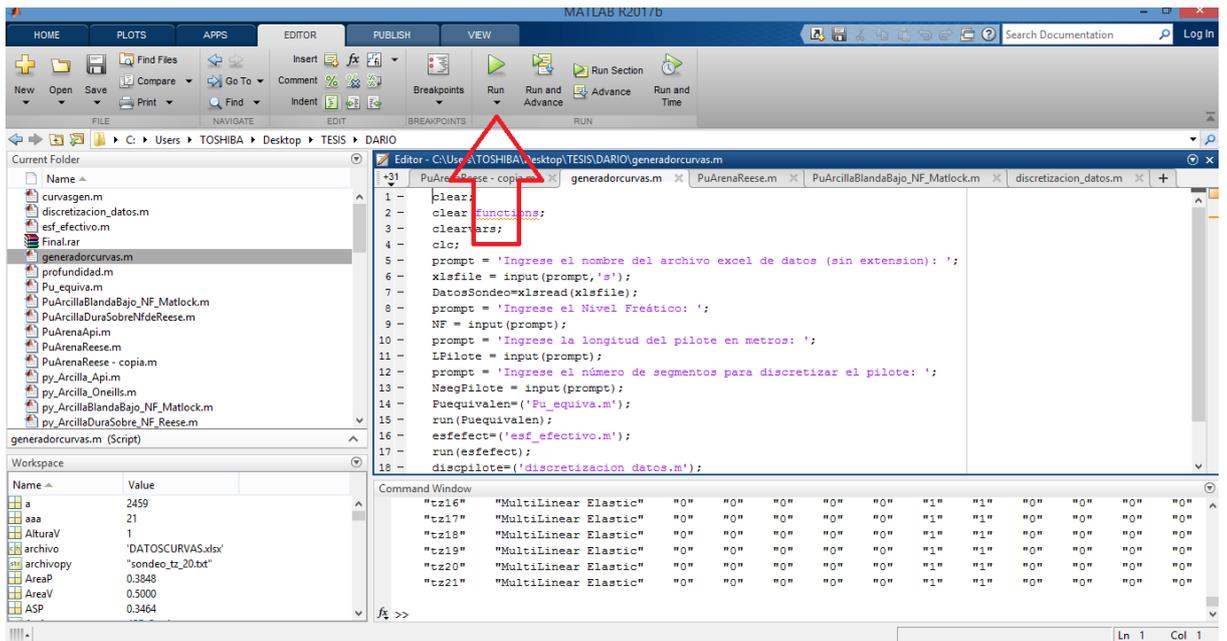
Para un mejor entendimiento de este software tenemos un manual de usuario el cual se puede usar como guía para que se lo maneje con mayor facilidad.

1. Para comenzar a utilizar el código el usuario primero debe llenar una hoja de Excel, llamada "SONDEO", con los datos de la estratigrafía del suelo del cual se desea calcular las curvas.

CAPA	DESDE	HASTA	ESPEJOR DEL ESTRATO (z) (m)	sucs	(N1)60	Su (KN/m2)	DIÁMETRO DEL PILOTE (m)	γ peso específico (KN/m <sup>3</sup> )	K (KN/m3)	CURVA PY	CURVA TZ	CURVA QZ
1			0									
2			0									
3			0									
4			0									
5			0									
6			0									
7			0									

Ilustración 1 Hojas de datos inicial.

2. Una vez abierto este código, el usuario lo procederá a correr aplastando el ícono "Run".



**Ilustración 2 Ventana Generador de Curvas. (Matlab, 2017)**

3. Para finalizar los resultados del programa se encontrarán en documentos de texto, los cuales tendrá la información completa de las diferentes curvas deseadas.

sondeo_py_1	24/07/2018 9:09	Documento de tex...	1 KB
sondeo_py_2	24/07/2018 9:09	Documento de tex...	1 KB
sondeo_py_3	24/07/2018 9:09	Documento de tex...	1 KB
sondeo_py_4	24/07/2018 9:09	Documento de tex...	1 KB
sondeo_py_5	24/07/2018 9:09	Documento de tex...	1 KB
sondeo_py_6	24/07/2018 9:09	Documento de tex...	1 KB
sondeo_py_7	24/07/2018 9:09	Documento de tex...	1 KB
sondeo_py_8	24/07/2018 9:09	Documento de tex...	1 KB
sondeo_py_9	24/07/2018 9:09	Documento de tex...	1 KB
sondeo_py_10	24/07/2018 9:09	Documento de tex...	1 KB
sondeo_py_11	24/07/2018 9:09	Documento de tex...	1 KB
sondeo_py_12	24/07/2018 9:09	Documento de tex...	1 KB
sondeo_py_13	24/07/2018 9:09	Documento de tex...	1 KB
sondeo_py_14	24/07/2018 9:09	Documento de tex...	1 KB
sondeo_py_15	24/07/2018 9:09	Documento de tex...	1 KB
sondeo_py_16	24/07/2018 9:09	Documento de tex...	1 KB
sondeo_py_17	24/07/2018 9:09	Documento de tex...	1 KB
sondeo_py_18	24/07/2018 9:09	Documento de tex...	1 KB
sondeo_py_19	24/07/2018 9:09	Documento de tex...	1 KB
sondeo_py_20	24/07/2018 9:09	Documento de tex...	1 KB
sondeo_py_21	24/07/2018 9:09	Documento de tex...	1 KB
sondeo_tz_1	24/07/2018 9:09	Documento de tex...	1 KB
sondeo_tz_2	24/07/2018 9:09	Documento de tex...	1 KB
sondeo_tz_3	24/07/2018 9:09	Documento de tex...	1 KB
sondeo_tz_4	24/07/2018 9:09	Documento de tex...	1 KB
sondeo_tz_5	24/07/2018 9:09	Documento de tex...	1 KB

**Ilustración 3 Resultados de los sondeos Py, Tz y Qz.**

y(m)	P(kN)
0.000	0.0000
0.003	13.3846
0.006	16.8596
0.009	19.2968
0.012	21.2368
0.015	22.8750
0.018	24.3068
0.021	25.5871
0.024	26.7506
0.027	27.8206
0.030	28.8140
0.034	29.7432
0.037	30.6176
0.040	31.4447
0.043	32.2303
0.046	32.9794
0.049	33.6958
0.052	34.3830
0.055	35.0437
0.058	35.6803
0.061	36.2950
0.064	36.8895

*Ilustración 4 Sondeo Py1.*

### **2.2.3.2. Curvas Py, Tz y Qz.**

El uso de las curvas Py es un método de cálculo que interpreta la interacción existente entre el suelo y el fuste del pilote representándola por resortes discretos que presentan un comportamiento no lineal. Han existido varios autores que han representado el comportamiento de los resortes mediante unas funciones parametrizadas haciendo ensayos in situ, con relaciones empíricas o en laboratorios. Se realiza una serie de mecanismos en el suelo alrededor del pilote para representar la resistencia del suelo 'p' como una función no lineal de una deflexión 'y'. Las curvas generadas 'Py' van variando totalmente de acuerdo a la profundidad a lo largo del pilote. Este método ha funcionado con mucho éxito para poder diseñar pilotes, pero las investigaciones siguen continuando, esperando encontrar la caracterización de una variedad de suelos especiales.

Las curvas Tz son las curvas que describen la transferencia axial cortante que hay en el pilote como una función al desplazamiento axial existente entre el

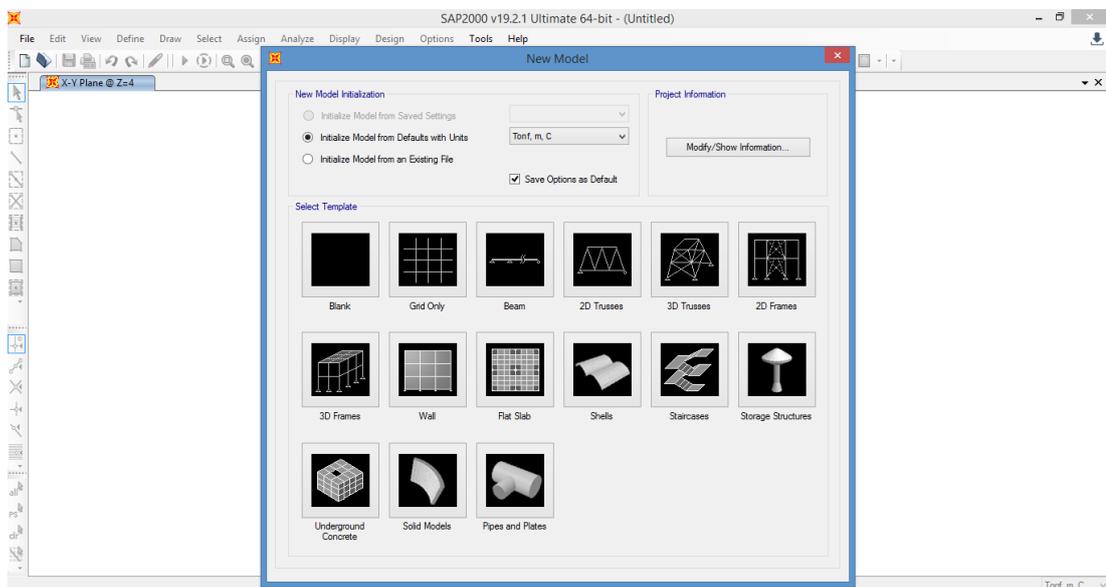
suelo-pilote ( $t_z$ ), haciendo modelar el apoyo axial el cual proporsiona el suelo a todo el largo del fuste.

Las curvas  $Q_z$  son utilizadas para la modelación del desplazamiento de la punta con relación a la carga en la punta ( $Q_z$ ). Se asume que con el desplazamiento de la punta del pilote aumenta la resistencia de punta o la carga de punta.

### 3. CAPÍTULO III

#### 3.1. SAP2000 v19.

El programa SAP2000 es un programa conocido mundialmente que es especializado en estructuras, donde las principales funcionalidades que presenta benefician directamente al ingeniero civil, aunque este programa también se lo utiliza dentro de la ingeniería mecánica pero donde cumple un desempeño más básico. El SAP2000 fue desarrollado en los Estados Unidos donde el resultado que se buscaba era obtener un programa de diseño y análisis de estructuras por el método de elementos finitos. El programa se basa en otro programa que fue escrito en ANSI Fortran-77 a comienzos de la década de los setenta por la compañía Computers & Structures, Inc. Originalmente el programa se lo llamaba SOLIDSAP que hacían referencia a sus siglas en inglés, después fue avanzando con sus versiones SAP 3, SAP IV, SAP 80, SAP 90 y el más actual SAP2000, la que presenta sus diferentes versiones.



*Ilustración 5 Interfaz principal (SAP2000, 2017)*

El SAP2000 tiene implementado una amplia variedad de códigos de diseño para que exista un dimensionamiento adecuado para cualquier tipo de estructuras, ya sea de hormigón o metálicas. Se puede realizar dentro del programa diferentes tipos de análisis estructurales, ya sea como no lineal de segundo orden, estático lineal, análisis sísmico con detalles de gran nivel de los esfuerzos, tensiones, pandeo global, movimientos y ratios de

aprovechamiento de la estructura. SAP2000 tiene en su interfaz gráfica de entorno Windows opciones que le permiten al ingeniero poder diseñar, modelar y analizar diferentes tipos de estructuras, usando los diferentes tipos de elementos que encontramos en el programa, como:

- Elementos FRAMES
- Elementos SHELLS
- JOINTS
- LINKS – SUPPORTS

### **3.1.1. Elementos frames**

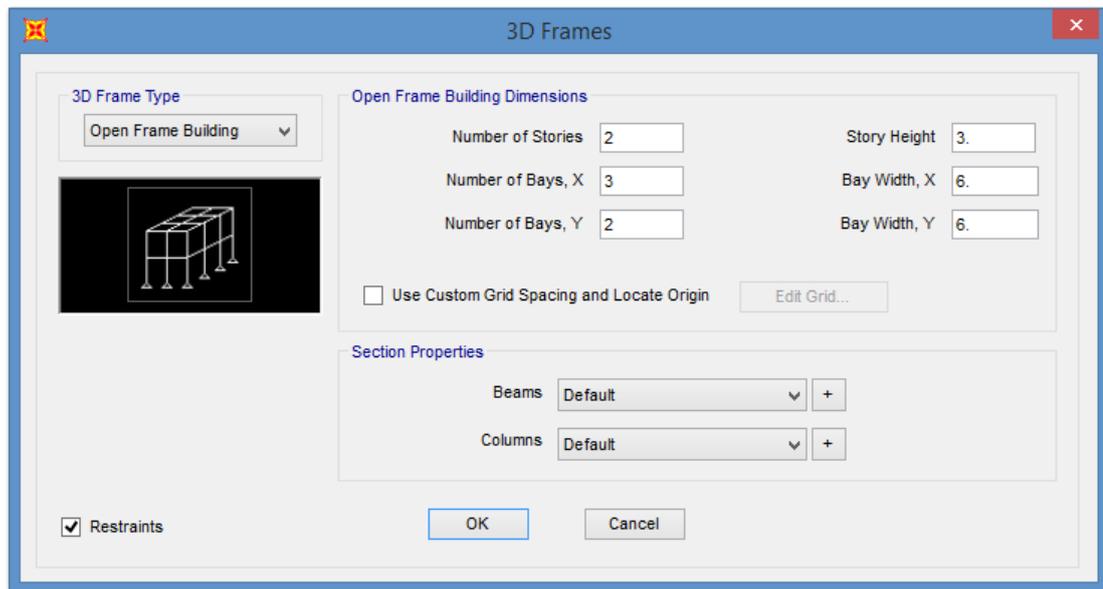
Los elementos frames en SAP2000 son utilizados principalmente para la modelación de vigas, columnas, apoyos y elementos de armaduras ya sea para sistemas bidimensionales o tridimensionales. El comportamiento no lineal se encuentra disponible por medio del uso de rótulas en los Frames. Para la modelación de vigas y columnas el programa tiene en cuenta varios factores como la flexión biaxial, la torsión, la deformación axial y la cizalladura biaxial que son características en el comportamiento de los frames.

Los frames se modelan como líneas rectas que conectan dos nodos ya antes asignados por el usuario. Cada uno de los elementos frames creados por el usuario posee su sistema de coordenadas propio para poder definir las propiedades de la sección y sus cargas y también para la interpretación de los resultados.

Una de las características de los elementos frames es que pueden ser prismáticos o no prismáticos. Cuando el elemento frame se lo formula como no prismático se permite que la longitud de este pueda ser dividido en varios segmentos según la variación que tengas sus propiedades. Las diferentes fuerzas como la axial, torsional o cortante puede variar a lo largo de cada segmento de forma lineal, como también lo puede ser la carga del peso. Cada elemento frame creado en el programa puede tener cargas de gravedad, cargas de esfuerzo y deformación, cargas múltiples concentradas o distribuidas y cargas por cambio de temperatura. Cada elemento también

presenta fuerzas internas producidas en sus extremos de los cuales el usuario también puede especificar el número de puntos de salida de resultados.

Como ya se especificó anteriormente un elemento frame es representado por una línea recta la cual conecta dos puntos, pero pueden variar si los puntos de inserción son modificados. Los dos puntos donde se encuentra representado el elemento son denominados en el programa como extremo i y extremo j, respectivamente, y estos dos puntos no puedes tener una misma ubicación dentro del espacio.



*Ilustración 6 Ventana nuevo modelo elemento Frame 3D (SAP2000, 2017)*

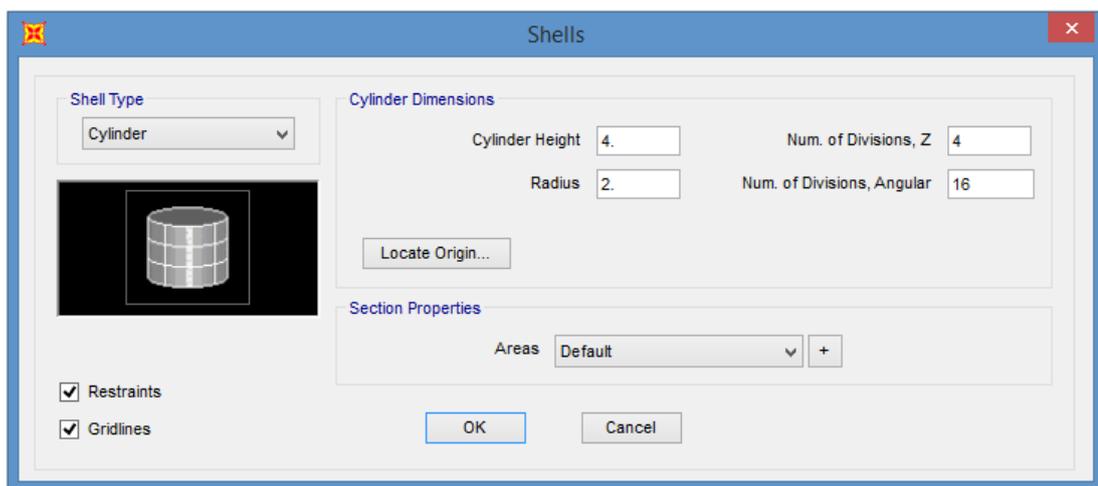
### **3.1.2. Elementos tipo shells.**

El elemento shell es un tipo de objeto de área que se utiliza en el SAP2000 para modelar losas, membranas, palcas y caparazones ya sea para estructuras planas o tridimensionales. El material de este tipo de elemento puede ser homogéneo o en capas de acuerdo al espesor que presente.

El elemento tipo shell homogéneo combina los comportamientos independientes de la membrana y la placa, y se acoplan si el elemento shell está combinado. Para el comportamiento de la membrana el programa utiliza una formulación isoperimétrica en los que se incluye los componentes de rigidez en el plano de translación y una componente de rigidez rotacional de perforación en la dirección del plano del elemento. Para cada elemento shell

homogéneo que exista dentro de la estructura se puede elegir que el modelo tenga un comportamiento de membrana pura, de placa pura o de shell completo. A menos de que toda la estructura sea plana y esté adecuadamente restringida se recomienda utilizar el comportamiento de shell completo.

Los elementos tipo shell en capas permite al usuario definir cualquier cantidad de capas de acuerdo a la dirección del espesor, y cada una de estas capas con una ubicación independiente como también su grosor, comportamiento y material. A diferencia del elemento shell homogéneo los grados de libertad de perforación no se usan y no deben cargarse. Las rotaciones normales al plano del elemento están sujetas a la rotación del cuerpo rígido para así evitar la inestabilidad del elemento. Para los cálculos de la flexión se utiliza una formulación Mindlin/Reissner en las que siempre se incluye las deformaciones transversales de corte. Los desplazamientos que se dan fuera del plano son cuadráticos y a su vez son consistentes con los desplazamientos dentro del plano. El elemento shell en capas por lo general representa el comportamiento del shell completo, aunque esto se puede controlar también en una base de capa por capa. El comportamiento de la membrana y de la placa se acoplarán, al menos que la estratificación sea completamente simétrica en la dirección del espesor.



*Ilustración 7 Ventana nuevo modelo Shells (SAP2000, 2017)*

### **3.3.3. Nodos.**

Los nodos son elementos de gran importancia y fundamentales dentro de la modelación y el análisis de cualquier estructura. Los nodos son los puntos de

conexión existentes entre los elementos y son las principales ubicaciones de la estructura en la cual son determinados los desplazamientos. Los componentes de desplazamientos en los nodos, ya sea de traslación o rotación, se los denomina grados de libertad.

Los nodos cumplen una gran variedad de funciones dentro del SAP2000 que son:

- Ser el punto de conexión de los elementos en las estructuras.
- Cumplir la función de soporte en la estructura usando restricciones y/o resortes.
- Se pueden aplicar restricciones en los nodos para especificar el comportamiento y las condiciones de simetría del cuerpo rígido.
- Se pueden aplicar cargas concentradas en los nodos.
- En los nodos pueden colocarse las masas agrupadas y la inercia rotativa.
- Realmente todas las cargas y masas que se aplican a las estructuras se transfieren a los nodos.
- Todas las cargas y masas que se aplican a las estructuras se transfieren a los nodos.
- Los nodos son las ubicaciones principales de la estructura en la cual los desplazamientos van a determinarse.

En el modelo de análisis los nodos corresponden a objetos puntuales en el modelo de objeto estructural. En la interfaz gráfica que presenta el SAP2000 los nodos se crean automáticamente en los extremos de cada elemento frame y también en las esquinas de cada área de elemento shell, pero también los nodos se pueden definir de forma independiente a cualquier elemento. Los nodos se los puede considerar también como elementos y cada uno puede tener su propio sistema de coordenadas locales para poder definir sus grados de libertad, restricciones, cargas y propiedades de unión. Aunque en la mayoría de los casos el sistema de coordenadas X-Y-Z se usa como sistema de coordenadas local para las uniones del modelo realizado. Los nodos actúan de manera independiente una de otras a menos de que estas estén conectadas con otros elementos del modelo.

Existen seis grados de libertad de desplazamiento en cada uno de los nodos: tres de traslación y tres de rotación. A lo largo del sistema de coordenadas local de cada unión se encuentran alineados estos componentes de desplazamiento. Las juntas del modelo pueden cargarse directamente con cargas concentradas o de forma indirecta mediante desplazamientos de tierra las cuales actúan a través de restricciones, soportes de resorte u objetos de enlace/soporte de una unión. Estos desplazamientos de traslación y rotación se producen en cada unión existente. También es mostrado las fuerzas de reacción y los momentos que se encuentran actuando en cada nodo.

#### **3.3.4. Elementos links – support.**

Los elementos links son enlaces de conexión entre dos uniones. Los elementos support es un resorte de un solo empalme. En ambos elementos sus propiedades se definen de la misma forma. Cada uno de estos elementos está compuesto por seis tipos de resortes separados, que se ubicada uno en cada uno de los grados de libertad (axial, cizalladura, torsión y flexión). Existen dos categorías de propiedades en las que se pueden definir estos dos tipos de elementos: lineal/no lineal y dependiente de frecuencia. A uno de estos elementos se le debe asignar la propiedad lineal o la propiedad no lineal. La propiedad dependiente de frecuencia es opcional asignarla en los elementos links o support. Los conjuntos de propiedades dependientes de frecuencia contienen propiedades de rigidez y amortiguación los cuales se usarán para todos los análisis de la propiedad dependiente de frecuencia.

Con estos elementos se pueden modelar los siguientes tipos de comportamiento no lineal:

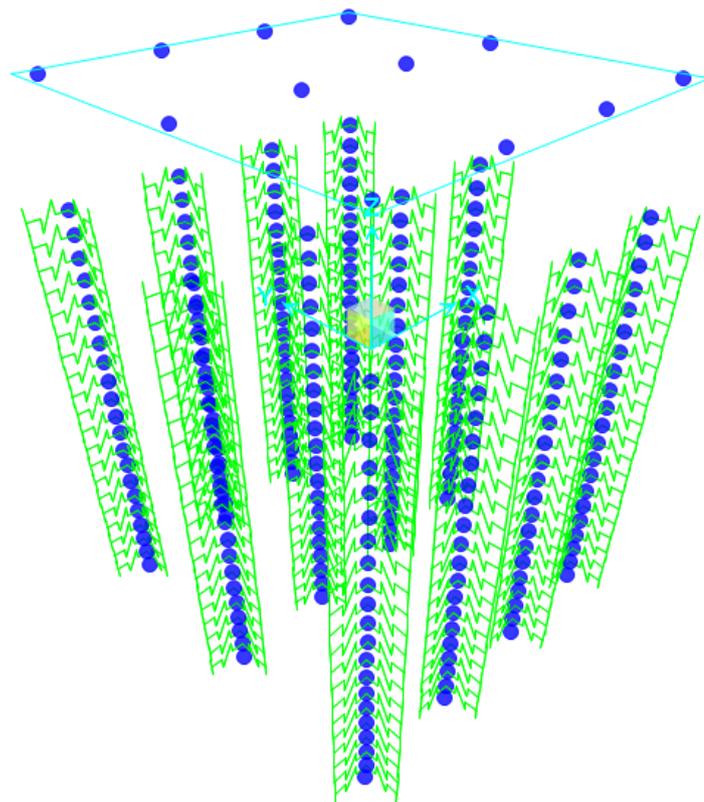
- Amortiguación visco elástica.
- Elasticidad uniaxial multilineal.
- Plasticidad uniaxial.
- Plasticidad uniaxial multilineal con varios tipo de comportamientos: cinemático y pivote.
- Aislador de base de plasticidad biaxial.

- Aislador de base de péndulo de fricción, con o sin prevención de levantamiento.

Cada elemento posee su propio sistema de coordenadas locales para definir sus propiedades y para interpretar la salida de datos, como también se le puede poner carga por gravedad a cada uno. En las salidas de datos se incluyen la deformación del elemento y sus fuerzas internas en las juntas.

Para la conexión de los elementos links o support se puede tomar unas de las siguientes dos configuraciones:

- Un link que conecta dos uniones, I y J; donde comparten la misma ubicación en el espacio creando un elemento de longitud cero.
- Un support que conecta una sola junta, J, a tierra.



*Ilustración 8 Ejemplo de modelo con Nodos y Links (SAP2000, 2017)*

### **3.2. MATLAB**

MATLAB es un programa de desarrollo de aplicaciones orientado para la realización de diferentes tipos de proyectos en donde se halle implicado cálculos matemáticos elevados y una visualización gráfica de los resultados obtenidos. En este programa se encuentra integrado análisis numérico, cálculo matricial y visualización gráfica en un entorno completo y amigable para el usuario. El nombre de MATLAB viene de la abreviatura de “Matrix Laboratory” (laboratorio matricial), y nace como una solución a la necesidad de obtener herramientas de cálculo mejores y más poderosas para las resoluciones de problemas complejos en donde se iba a aprovechar la gran capacidad de proceso de datos de los computadores. Este programa fue originalmente escrito para ofrecer un acceso fácil al software matricial desarrollado por LINPACK y EISPACK. Hoy en día MATLAB es mundialmente reconocido y usado en una variedad de áreas de aplicación profesional como en la física, diferentes ingenierías, área financiera y hasta investigación médica.

MATLAB es un software de trabajo interactivo donde las matrices es su elemento básico. A diferencia de los lenguajes de programación tradicional como Basic, Fortran o C este programa realiza con una mayor rapidez resoluciones numéricas de mismos tipos de problemas en un tiempo mucho menor.

Actualmente MATLAB posee un nivel alto de implantación dentro de las escuelas, universidades y en departamentos de investigación de varias compañías de diferentes áreas a nivel mundial. Dentro del ámbito universitario MATLAB ha llegado a convertirse en una herramienta básica para los docentes utilizándolo para la impartición de curso universitarios en las áreas ingeniería, procesos digitales de imagen, algebra lineal, etc. Matlab presenta un mayor uso áreas de cálculo numérico, de computación, en prototipos de algoritmos, estadísticas, etc.

Una de las principales características de MATLAB es que este dispone de una amplia gama de programas que funcionan como apoyos especializados los cuales se los denomina Toolboxes, que ayuda significativamente a extender

el número de funciones dentro del programa principal. Los Toolboxes actualmente se ubican en la mayoría de áreas dentro de la ingeniería y la simulación, donde se destaca principalmente el toolbox de procesos de señal, imágenes, estadística, análisis, financiero, simulación de sistemas dinámicos, etc.

El uso de MATLAB presenta las siguientes ventajas al usuario:

- Se puede resolver problemas de una gran complejidad en un tiempo menor y con mayor facilidad.
- Es un programa con una mayor facilidad de aprendizaje de sus fundamentos que cualquier otro lenguaje de programación de mayor complejidad.
- La herramienta de depuración en la mayor parte de los casos no es necesaria, ya que los errores se muestran al usuario y se proporcionan ayuda al momento de ir escribiendo el código.

### **3.2.1. Entorno de ventanas.**

El programa Matlab consiste en un entorno de ventanas en su interfaz con una parte principal y tres partes de apoyo:

#### **3.2.1.1. Editor**

Matlab presenta un editor incorporado en el que se puede crear y editar scripts o funciones de comandos que el usuario desee ejecutar. Para iniciar el Editor, si este no aparece abierto, existe una pestaña en la parte superior del interfaz del Editor donde el usuario puede crear un código nuevo o abrir uno guardado anteriormente. En esta ventana pueden ingresarse los comandos y ejecutarse como un script. Estos comandos son guardados con una extensión .m. Para ejecutar la secuencia del comando se debe aplastar el botón F5 del teclado, o presionar en el ícono Guardar y ejecutar ubicado en la parte superior del interfaz.

Dentro de los comandos se pueden establecer puntos de interrupción que sirven para detener la ejecución en líneas deseadas para la depuración.

También existe la opción de agregar comentarios que son escritos precediendo la línea utilizando el símbolo “%”, el cual funciona para abrir y cerrar los comentarios. Además el usuario puede dividir el código en celdas de editor escribiendo dos signos de porcentaje, “%%”, al inicio de cada línea. Esto ayudará a organizar el código en secciones lógicas. Existe también la posibilidad de evaluar celdas independientemente de una en una aplastando el ícono evaluar celda ubicado sobre la parte superior de esta ventana. Un bloque de código arbitrario también puede ejecutarse en cualquier momento sólo resaltándolo y presionando el botón F9 en el teclado.

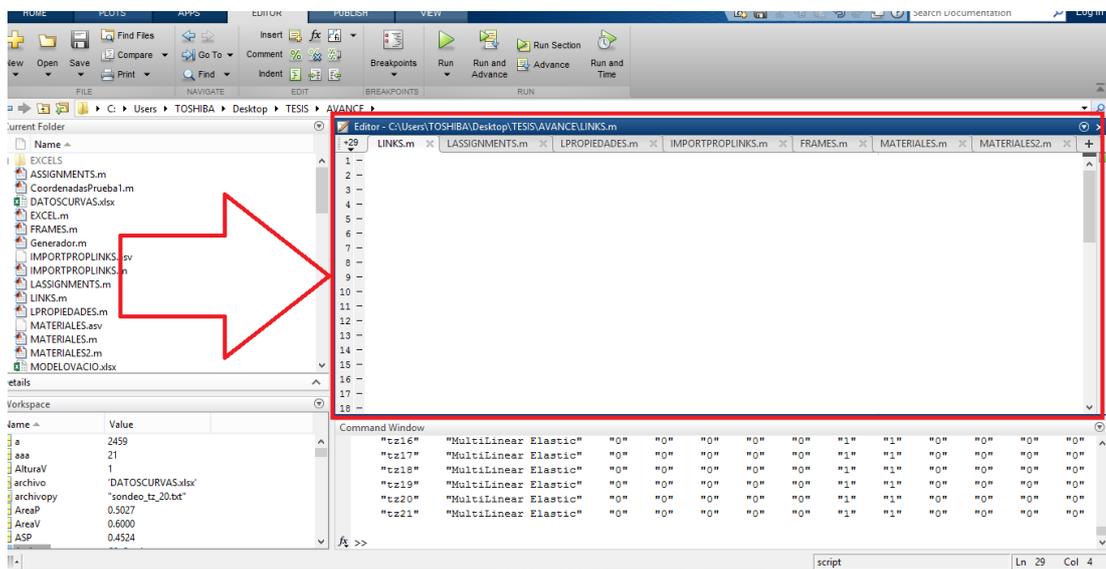


Ilustración 9 Ventana Editor (Matlab, 2017)

### 3.2.1.2. Command Window

Es la ventana donde el usuario que corre el código generado en el Editor va dándole las instrucciones al programa o ingresando los datos mientras el código va corriendo.

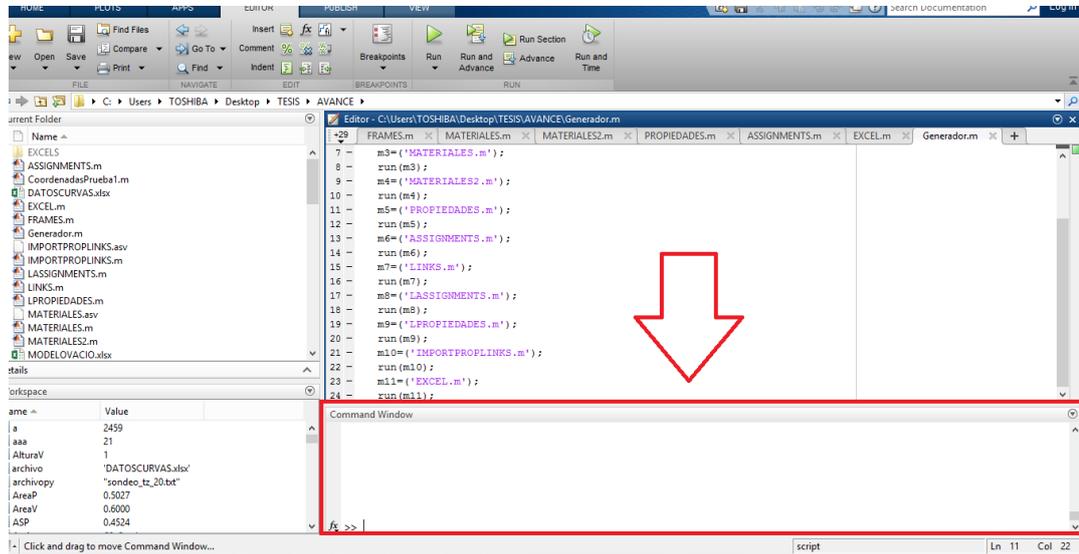


Ilustración 10 Ventana Command Window. (Matlab, 2017)

### 3.2.1.3. Current Folder

Esta ventana muestra el contenido de la carpeta de trabajo donde se va a encontrar todos los códigos y archivos que se desean utilizar para poder correr el programa correctamente. La dirección de la carpeta de trabajo se puede modificar aplastando en el ícono “Browse for folder”.

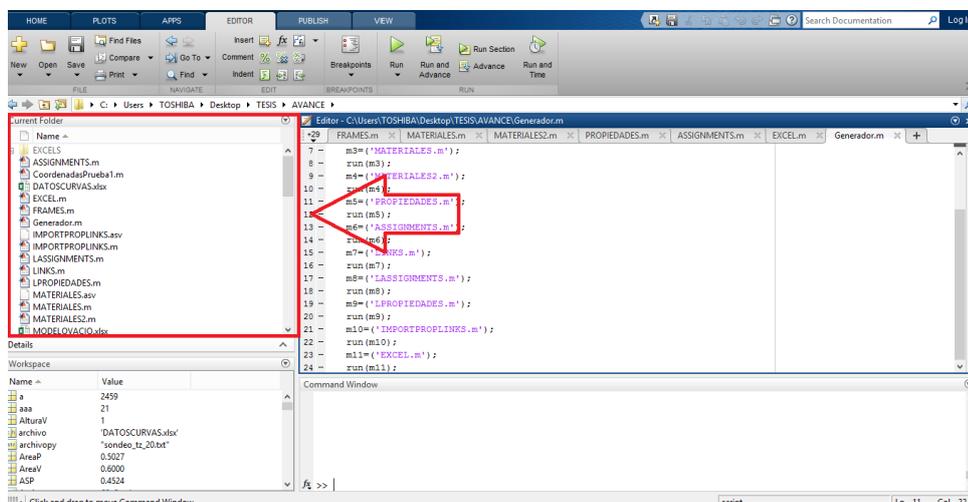


Ilustración 11 Ventana Current Folder. (Matlab, 2017)

### 3.2.1.4. Workspace

Workspace es una ventana que muestra al usuario todas las variables actuales y los objetos definidos del código mientras este está siendo ejecutado. Estas se pueden arrastrar y colocar donde sea conveniente para el usuario. Al aplastar una de las variables mostradas en la ventana se abrirá automáticamente otra ventana independiente donde se va a mostrar toda la información guardada en el programa de esta variable y además de poder cambiar sus valores.

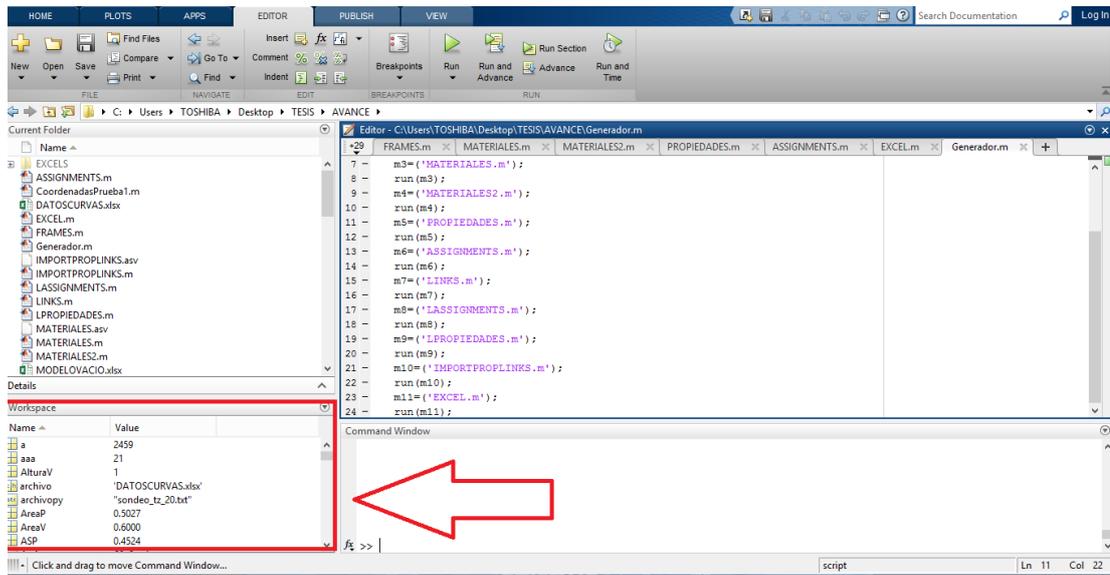


Ilustración 12 Ventana Workspace. (Matlab, 2017)

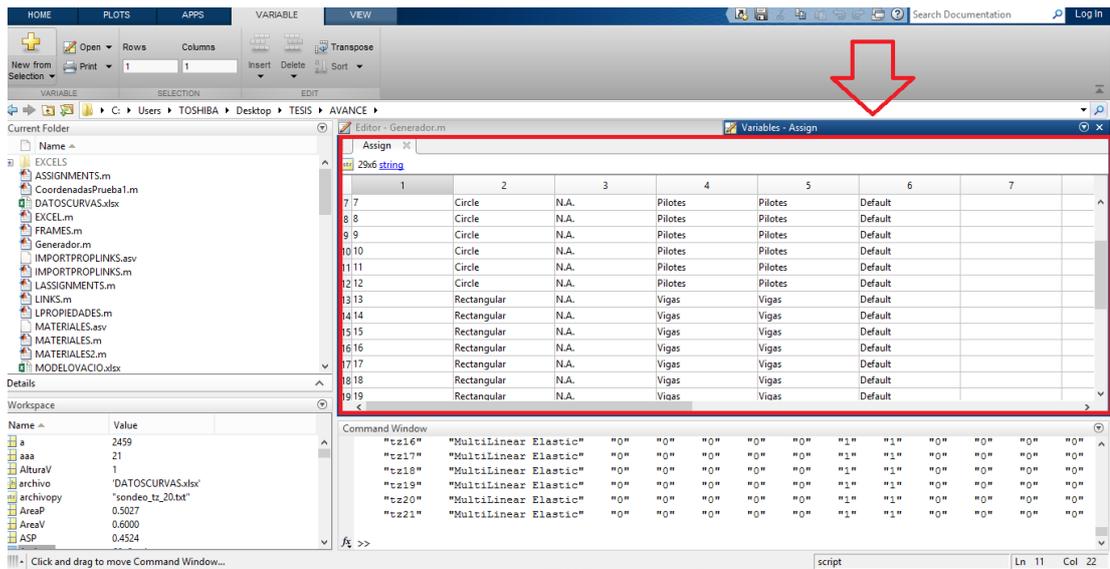


Ilustración 13 Ventana Variables. (Matlab, 2017)

### 3.2.2. Comandos de Matlab

#### 3.2.2.1. Operaciones aritméticas

Para realizar cálculos aritméticos (suma, resta, multiplicación, división, potenciación, raíz cuadrada y residuo) en Matlab sólo es necesario tener en cuenta lo siguiente:

- Simbología usada para cada operación:
  - + (Suma).
  - – (Resta).
  - \* (Multiplicación).
  - / (División).
  - ^ (Potenciación).
- Orden de prioridad de operaciones:
  - Las expresiones son evaluadas de izquierda a derecha.
  - La potenciación tiene el orden de prioridad más alto.
  - Seguido por la multiplicación y división con la misma prioridad.
  - Finalizando con la suma y la resta con prioridades también iguales.
  - Se puede hacer uso de paréntesis para modificar el orden, generando la evaluación comience desde el paréntesis que se encuentre más al interior y continua hacia afuera.

#### 3.2.2.2. Variables

El uso de variables ofrece al usuario de Matlab extender las posibilidades de operaciones para su código. Las variables permiten usuario determinar valores específicos nombrándolo como este lo desee para luego poder utilizarlo dentro de cualquier operación en el código.

Ejemplo:

- Base=20.
- Altura=15.
- Area=Base\*Altura

Se debe tener en cuenta algunas reglas para el uso de variables:

- Matlab distingue las diferencias entre las letras mayúsculas y minúsculas para nombrar variables.
- La variable puede ser nombrada hasta con 31 caracteres.
- Para nombrar una variable debe comenzarse obligatoriamente con una letra.
- No se debe nombrar variables mediante comandos que tengan un significado en Matlab.

En Matlab existen variables predefinidas con un valor asignado por defecto:

- ans: contiene los resultados.
- pi: contiene el valor de  $\pi$ .
- eps: contiene el número positivo más pequeño, que en el caso de sumárselo a 1 generaría un número mayor que 1 en el programa.
- inf: contiene el valor infinito, que puede ser también obtenido por una división por cero.
- NaN: contiene una expresión indeterminada.

Para borrar ya sea una variable deseada o todas las variables del código se usa el comando clear.

### 3.2.2.3. Funciones predefinidas.

En el programa Matlab viene incorporado una serie de funciones correspondientes a las funciones matemáticas con mayor uso:

Matlab	Matemáticas
exp (x)	$e^x$
log (x)	$\ln(x)$
log10 (x)	$\log_{10}(x)$
log2 (x)	$\log_2(x)$

sqrt (x)	$\sqrt{x}$
sin (x)	sen(x)

**Tabla 1 Funciones matemáticas predeterminadas de Matlab**

También existen otras funciones predefinidas con uso frecuente en Matlab como:

abs (x)	<b>Valor absoluto</b>
fix (x)	Redondear hacia cero
floor (x)	Redondear hacia menos infinito
ceil (x)	Redondear hacia más infinito
round (x)	Redondear hacia el entero más próximo
rem (x)	Residuo al dividir m entre n
rand	Número aleatorio entre 0 y 1

**Tabla 2 Funciones predeterminadas de Matlab**

### 3.2.2.4. Matrices

Las matrices son el tipo de dato básico dentro del programa Matlab, ya que su nombre viene de la palabra matriz. Los elementos de una matriz son introducidos por filas, separando cada elemento de la fila por espacios en blancos o por comas (,), y separando cada fila de otra con un punto y coma (;).

Existen ciertas matrices especiales de uso frecuente que dispones de órdenes especificadas en Matlab como:

- ones (n): Matriz cuadrada (n x n) integrada de unos.
- ones (m, n): Matriz (m x n) integrada de unos.
- zeros (n): Matriz cuadrada (n x n) formada por ceros.
- zeros (m, n): Matriz (m x n) formada por ceros.
- eye (m, n): Matriz (m x n) con la diagonal principal formada por unos y el resto de elementos ceros.

Una vez que ya se encuentre definida una matriz el usuario puede acceder a sus elementos ya sea para conocer sus valores, utilizarlos o modificarlos. El usuario puede acceder a los elementos deseados de diferentes formas:

- M (i, j): Devuelve el elemento (i, j) de la matriz M.

- $M(i1:i2, j)$ : Devuelve el elemento  $j$  de las filas encontradas entre la  $i1$  y la  $i2$ .
- $M(i, j1:j2)$ : Devuelve el elemento  $i$  de las filas encontradas entre la  $j1$  y la  $j2$ .
- $M(:, j)$ : Devuelve el elemento  $j$  de todas las filas de la matriz  $M$ , es decir, la columna  $j$ .
- $M(i, :)$ : Devuelve el elemento  $i$  de todas las columnas de la matriz  $M$ , es decir, la fila  $i$ .

Para la obtención de información sobre los tamaños de las matrices generadas el usuario puede utilizar los comandos “length” y “size”:

- `size (M)`: Genera un vector con las dimensiones que componen la matriz  $M$ .
- `size (M, 1)`: Devuelve el número de filas de la matriz  $M$ .
- `size (M, 2)`: Devuelve el número de columnas de la matriz  $M$ .
- `length (A)`: Devuelve el valor de  $\max(\text{size}(A))$ .

### **3.2.2.5. Bucles.**

#### **3.2.2.5.1. Bucle FOR**

Este bucle repite las iteraciones un número de veces determinado por el usuario. En el bucle FOR se debe definir en tres partes como se deben realizar las repeticiones. Primero se define el nombre de la variable con la numeración que esta tendrá al inicio del bucle. Seguido a esto se debe determinar los intervalos de variación que se desea que vaya teniendo la variable en cada repetición de bucle. Y finalmente se impone la condición de numeración tope con la que la variable se comparará antes de cada repetición para definir si esta se realiza o queda finalizada. Para definir hasta donde termina el código que se va a generar dentro de bucle se debe cerrar el bucle con el comando “end”. Este es un bucle realmente útil cuando el usuario tiene claro el número de repeticiones que necesita que el bucle realice para su código.

### **3.2.2.5.2. Bucle IF**

Este bucle es utilizado cuando el usuario desea que un grupo de código sólo se genere si una variable cumple una condición específica. Si esta no se cumple el código no se genera y el usuario tiene la opción de definir más condiciones para generar otro grupo de código utilizando el comando “else if” o puede cerrar el bucle con el comando “end”.

### **3.2.2.5.3. Bucle WHILE**

El bucle WHILE se lo utiliza para que una acción sea repetida mientras se esté cumpliendo una condición impuesta por el usuario. Este bucle resulta más útil si el usuario no conoce con exactitud el número de interacciones deseadas para el código. Tiene un funcionamiento parecido al bucle IF, a diferencia que este va repitiéndose mientras la condición se esté cumpliendo.

## **3.3 Microsoft Excel**

Excel es una aplicación perteneciente a Microsoft Office que funciona como hoja de cálculo. Es un programa líder en su área y es utilizada mayormente dentro de las tareas contables y financieras con los usos de fórmulas, gráficos y con un sencillo lenguaje de programación.

Dentro del programa el usuario puede elaborar formatos y tablas donde se incluyan cálculos matemáticos con el uso de fórmulas las cuales van desde las operaciones básicas como son:

- Suma (+).
- Resta (-).
- Multiplicación (\*).
- División (/).
- Potenciación (^).

Hasta el uso de elementos denominados funciones, que son fórmulas pre configuradas, como por ejemplo:

- Autosuma.

- Promedio.
- Contar
- Max y min.
- Buscar.
- Ordenar y filtrar.
- Rellenar.

Otras de las funciones que presenta Microsoft Excel y la cual es muy utilizada por el usuario es el uso de gráficos que trabajan en función de valores dados en tablas creadas por el usuario dentro del mismo programa. Existen varios tipos de gráficos disponibles en el programa como grafico de dispersión, gráfico circular, gráfico de barras, etc. Estos ayudan al usuario a representar de mejor manera los valores de su tabla ya sea para trabajos estadísticos, ensayos de laboratorios o lo que necesite representar en las celdas.

Una de las herramientas importantes dentro de este programa es la posibilidad que le brinda al usuario de poder importar y exportar los datos de sus archivos con otras aplicaciones. El programa presenta una afinidad y compatibilidad con varias aplicaciones reconocidas como SAP2000 o MATLAB, lo que representa de gran ayuda al usuario al momento de importar o exportar sus archivos de Excel. Estas herramientas existentes en el programa facilita mucho la elaboración de diferentes trabajos en otros programas especializados, lo que hace a Excel una aplicación completa.

## 4. CAPÍTULO IV

### 4.1 Interacción suelo – cimentación – superestructura

El suelo que soporta, la cimentación y la superestructura forman entre ellos un solo elemento, por lo que es importante siempre considerarlos como un conjunto en el análisis. Es de mucha importancia tener en cuenta el estudio de la interacción que comparten el suelo, la cimentación y la superestructura, ya que cualquier deformación que se produzca en el terreno afectará directamente a la cimentación y la superestructura que se encuentre apoyada sobre esta. La interacción suelo – estructura se la puede definir como una expresión de compatibilidad la cual permita encontrar un sistema de reacciones que pueda producir los mismo desplazamientos y deformaciones en el suelo y en la cimentación y que se vean aplicadas de formas simultaneas a ambos elementos.

A lo largo de las últimas décadas los avances realizados en la ingeniería de cimientos han ido más lentos que los que se han dado en la ingeniería estructural, por lo que los problemas relacionados a esta interacción que se da entre ambos elementos son bastantes complejos. Uno de los principales problemas existentes en esta interacción es que para la ingeniería de cimientos normalmente se utiliza factores de seguridad muy elevados y además de que se requiere de métodos de aproximación, los cuales se tornan diferentes a los métodos utilizados en la ingeniería estructural.

La mayoría de los suelos se encuentran compuestos por materiales en estado sólidos, líquidos y gaseosos, que dificultan la distribución de esfuerzos en la masa de terreno. Para la determinación de las propiedades de esfuerzo – deformación se puede utilizar la propiedad trifásica que presentan los suelos para estimar los desplazamientos verticales y horizontales de la masa del suelo cuando este se encuentre sometido a un incremento de esfuerzos. Existen varios factores que influyen en el estudio de la tensión – deformación del suelo como el tiempo, forma y aplicación de cargas sobre la estructura, la densidad del suelo y la proporción de agua y aire de los poros.

Para la realización de los cálculos correctos y la elección más conveniente del tipo de cimentación se necesita que el ingeniero tenga en cuenta también

varios factores como la estratigrafía de la zona, sismos, vientos, condiciones hidráulicas y posibles cambios de las mismas en un futuro. Ya una vez que fueron analizados estos factores se deberán plantearse hipótesis que permitan calcular las fuerzas que están soportando los cimientos y la posible respuesta que tendrá el suelo al transmitirlo esas cargas. Las propiedades de esfuerzo – deformación – tiempo deberán de conocerse en cada una de las capas del subsuelo hasta que los cálculos de la interacción suelo – estructura no se vean afectados.

#### **4.2. Cimentaciones.**

Los cimientos son elementos que funcionan como enlace entre el suelo y la estructura y cumple la función de soportar todas las cargas que están actuando sobre él como su propio peso, el peso de la superestructura y las demás fuerzas que se encuentren actuando sobre ella. EL cimiento distribuye estas cargas sobre el terreno de tal manera que evita que se produzcan tensiones excesivas que causarían rotura en la masa del suelo, asentamiento de la estructura y un basculamiento.

Cuando se tiene un suelo con una capa superficial muy débil la cimentación debe profundizarse hasta lograr alcanzar capas con mayor resistencia. Existen varias de que se puede realizar este tipo de cimentación definidos según el tipo de suelo y de la estructura:

- Por excavación a cielo abierto
- Por cajones hincados
- Por pilotes

Para la elección de la cimentación a usarse, debe tenerse en cuenta la estructura que está soportando el suelo y además las características que presenta el terreno donde se sitúa. Esta debe llegar a ser lo más económica posible una vez que ya se haya alcanzado un nivel de seguridad totalmente adecuada para la cimentación.

A su vez se debe prevenir con anticipación que la cimentación calculada se verá afectada por una posible agresividad del terreno, por lo que esta debe

estar protegida de modificaciones artificiales o naturales que se den en el suelo como congelamientos, cambios de volumen, excavaciones próximas a la estructura, variación del nivel freático, etc.

Las cimentaciones se las clasifican en superficiales y profundas, pero también existe una solución intermedia entre ambos casos que serían los pozos de cimentación.

#### **4.2.1. Cimentaciones superficiales**

Son cimentaciones utilizadas en zonas en el que el terreno donde se ubica la estructura presenta cualidades adecuadas en su superficie como en las diferentes cotas próximas a la parte inferior de donde se establecerá la estructura. A su vez las cimentaciones superficiales se clasifican en dos: losas y zapatas.

Las losas se llegan a emplear cuando las cargas que son transmitidas al terreno son elevadas con respecto a la planta que se va a cimentar, ya sea depósitos elevados, grandes silos, etc.

Las zapatas es el tipo de cimentación superficial más común. Estas se emplean cuando el suelo alcanza la resistencia adecuada a cotas de poca profundidad, en relación a las cargas transmitidas, teniendo un terreno que sea suficientemente homogéneo como para que este no sufra asentamientos diferenciales.

#### **4.2.2. Cimentaciones profundas**

Las cimentaciones profundas o pilotes son elementos estructurales de fundición de forma de columna y pueden ser cilíndricos, prismáticos, tronco-cónicos, en H, entre otros. Este tipo de cimentación se lo utiliza cuando existe una baja capacidad portante en el estrato superior del suelo por lo cual las cargas deben ser transmitidas a estratos más fuertes ubicados a mayor profundidad. También los pilotes cumplen la función de resistir fuerzas horizontales generadas por el suelo, las resisten con flexión mientras estas aún resisten las cargas verticales producidas por la superestructura. Aunque

sean más costosas las cimentaciones profundas garantizan una mayor seguridad estructural. Los pilotes también son buenas alternativas en suelos expansivos para evitar que existan daños en la estructura por la expansión y contracción del suelo, siempre teniendo en cuenta que sus longitudes sobrepasen la zona de actividad.

Las cimentaciones profundas o pilotes se pueden clasificar de diferentes maneras de acuerdo a los aspectos con que se lo identifique que son:

- Según el material.
- Según la forma de colocación.
- Según la forma en que trabajan

#### **4.2.2.1. Según el material**

Las cimentaciones profundas están clasificadas según el material del cual estén fabricados en pilotes de hormigón, pilotes de acero y pilotes de madera, siendo los pilotes de hormigón y los de acero los más utilizados.

##### **4.2.2.1.1. Pilotes de hormigón**

Los pilotes trabajados en este material pueden ser prefabricados o fundidos in situ. Los pilotes que son prefabricados son preparados usando hormigón reforzado, ya que estos deben resistir los esfuerzos provocados por la transportación así también como los momentos de flexión producidos por cargas verticales y laterales ocasionados durante y después del hincado.

Los pilotes fundidos in situ son construidos realizando un agujero en el suelo y posteriormente llenado este de hormigón y pueden ser con ademe o sin ademe, y en ambos casos igual presentan un pedestal en el fondo. El pedestal es un bulbo de hormigón expandido que se forma haciendo caer un martillo sobre el hormigón fresco. Los que son con ademe se los hace hincando una funda de acero dentro del suelo utilizando un mandril ubicado dentro de la funda. Una vez que el pilote llegue a alcanzar una profundidad adecuada, el mandril es retirado y se llena con hormigón la funda. Los pilotes sin ademe se

los fabrica hincando primero la funda a la profundidad adecuada y después llenándola de hormigón fresco y retirando la funda gradualmente.

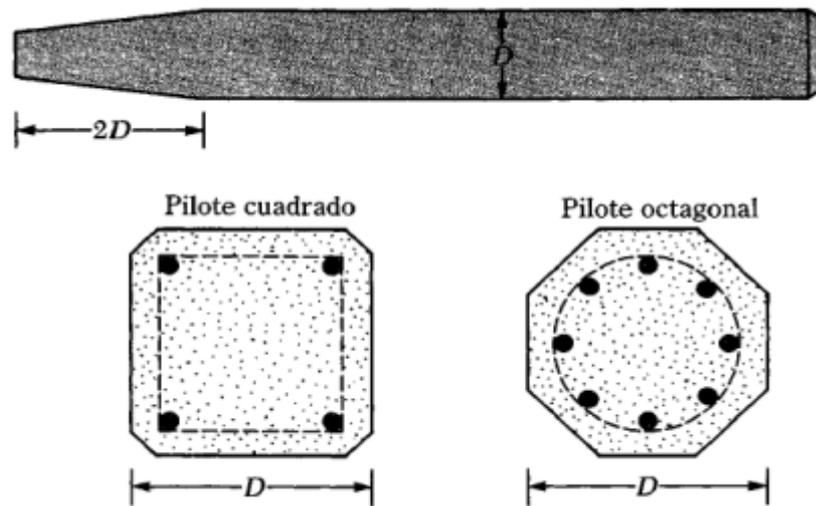


Ilustración 14 Pilotes prefabricados con refuerzo ordinario. Fuente: Fundamentos Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das. (2001)

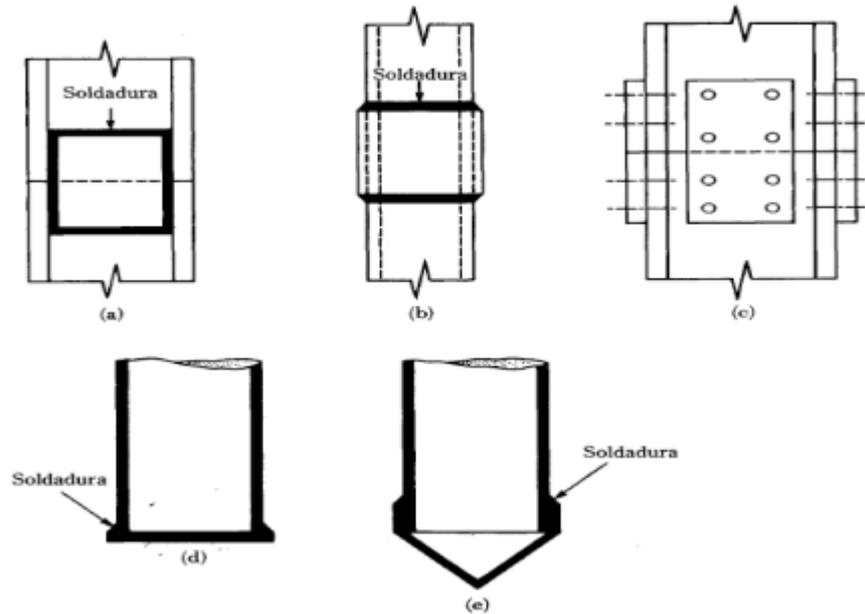
(Impe, 2001)

#### 4.2.2.1.2. Pilotes de acero.

Los pilotes de acero generalmente son fabricados con perfiles H laminados o tubos. Los pilotes de acero de tubo se los hincan en el terreno ya sea con sus extremos cerrados o abiertos. Las secciones con perfiles H se las prefiere por la igualdad de espesor que tienen sus almas y sus alas, a diferencia de las de alas anchas y las secciones I, donde los espesores de su alma son menores a la de sus alas. También en muchos casos los pilotes de acero a base de tubos se los rellena con hormigón después de haber sido hincados.

Los empalmes por soldadura o remaches que se realizan normalmente en los pilotes de acero son:

- Empalme típico de soldadura para pilotes de tubo.
- Empalme típico de soldadura para pilotes H.
- Empalme de pilotes H con remaches o pernos.
- Punta de hincado con placa plana para pilotes de tubo.
- Punta de hincado cónica para pilotes de tubo.



*Ilustración 15 Empalmes por remaches o soldaduras en pilotes de acero. Fuente: Fundamentos Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das. (2001)*

#### **4.2.2.2. Según la forma de colocación**

Sin tomar en cuenta si los pilotes son de madera, acero o de hormigón, los pilotes según su forma de colocación se clasifican en: hincados, roscados, con tubos recuperables, con tubos perdidos, excavados y perforados.

##### **4.2.2.2.1. Hincados**

Los pilotes hincados se los usa como apoyo puntuales en las cimentaciones de edificaciones en suelos que no poseen capacidad portante. El hincado se lo realiza con maquinaria pesada, hasta encontrarse con una capa de suelo que tenga la capacidad portante necesaria o hasta encontrarse con un estrato rocoso. En el libro de Das (1999) se indica que mayormente los pilotes se hincan al suelo por medio de martillos o con el uso de hinchadores vibratorios, o en circunstancias especiales, se pueden insertar a través de chorros de agua con presión. Existen algunos tipos de martillos que se utilizan para el hincado de los pilotes que son: martillo de caída libre, martillo diésel, martillo de aire de acción simple y martillo de aire de doble acción. Durante el hincado un cabezal se conecta sobre la parte superior del pilote y un cojinete es

utilizado entre el pilote y el cabezal con el fin de poder reducir la fuerza de impacto y repartir en un tiempo más largo, sin embargo sigue siendo de uso opcional. El cojinete es colocado sobre el cabezal del pilote y el martillo cae sobre este.

Uno de los avances recientes que se ha realizado es el uso de vibradores de alta frecuencia, que son mucho más eficaces y efectivos, además el ruido que producen es casi nulo en comparación al producido por los martillos.

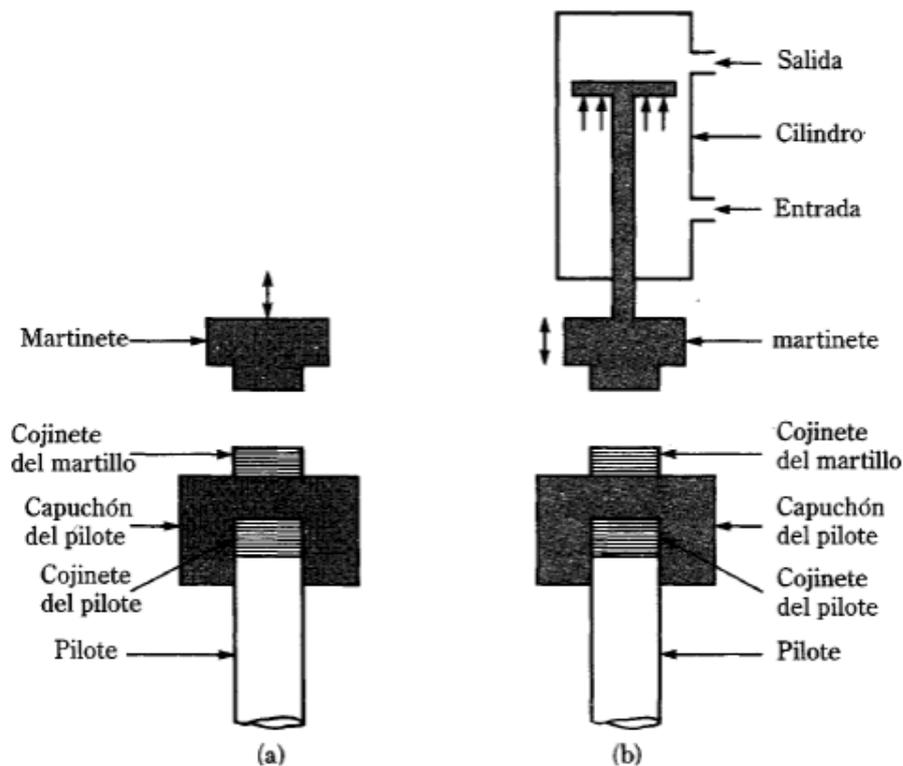


Ilustración 16 Equipos de hincado de pilotes. Fuente: Principio de Ingeniería de Cimentación, Braja M. Das (2001)

#### 4.2.2.2. Roscados

Los pilotes roscados es un sistema el cual mediante un cabezal de giro axial se penetra el suelo con una punta provista de un tornillo de Arquímedes, el cual permite el incremento del área portante. En suelos resistentes se utilizan normalmente roscas de cuerpo cónico y hélices poco salientes, en cambio en suelos blandos sus cuerpos son cilíndricos y más salientes.

#### **4.2.2.2.3. Con tubos recuperables**

Para la colocación de tubos recuperables se necesita realizar una perforación en el terreno y colocar una camisa recuperable que sea fuerte y de gran espesor para poder contener las paredes de la perforación. Durante el proceso de hincado se debe colocar un tapón de piedra picada en el extremo inferior, el cual se va a martillar con una masa de forma cilíndrica alargada con gran espesor. El tapón deberá comenzar a hincarse desde la superficie y el forro será arrastrado e irá descendiendo. Una vez que el forro alcance la profundidad requerida se lo fija para que no descienda más y al tapón se lo martilla para que sea expulsado del forro. Luego se debe vaciar un cierto volumen de hormigón y compactarlo con el mismo martillo, lo cual va a producir la formación de una expansión en el bulbo, de forma que la extremidad inferior del pilote tendrá una base expandida con mayor diámetro que el fuste. El forro se va extrayendo al mismo tiempo que se va vaciando y compactando el hormigón.

#### **4.2.2.2.4. Con tubos perdidos**

Los pilotes con tubos perdidos utiliza el mismo proceso solo que se coloca una camisa de acero delgada la cual permitirá proteger el exterior del pilote y una vez alcanzada la profundidad adecuada se vacía el hormigón.

#### **4.2.2.2.5. Perforados**

Los pilotes perforados penetran en el suelo generando desplazamientos al entrar en el suelo, lo que produce perturbaciones en el mismo, desplazando la masa del suelo. Una vez ya concluida la perforación se vacía el hormigón.

#### **4.2.2.2.6. Excavados**

Los pilotes excavados tienen un proceso parecido en el cual se realiza un hueco en el suelo que puede ser con diferentes formas, pero a diferencia de los perforados estos no generan un desplazamiento considerable dentro del suelo.

#### **4.2.2.3. Según su forma de trabajo**

Existen tres tipos de pilotes según la forma de trabajo, los pilotes que trabajan por punta, los pilotes por resistencia por fricción lateral y los de punta y fricción al mismo tiempo.

##### **4.2.2.3.1. Pilotes trabajando por punta**

Cuando los pilotes se encuentran en un estrato con poca capacidad de resistir cargas, pero su altura llega a alcanzar un estrato resistente, el pilote está trabajando por punta. El comportamiento de estos pilotes es parecido a las de las columnas que transmiten las cargas de la superestructura al suelo firme, por la compresión directamente.

##### **4.2.2.3.2. Pilotes trabajando por resistencia por fricción lateral**

Estos pilotes trabajan por fricción lateral cuando el suelo resistente se encuentra a grandes profundidades y el pilote debe permanecer sobre un estrato de mucho espesor y con poca capacidad portante, por lo que las cargas que son transmitidas por la estructura son soportadas principalmente por la fricción lateral existente o por la adherencia que hay entre las caras del pilotes por todo el fuste y el suelo.

##### **4.2.2.3.3. Por fricción y punta**

En terrenos intermedios, donde se presenta cierta capacidad portante, la resistencia de todo el pilote viene de la suma de las resistencias provocada por la fricción lateral y por la punta.

## **5. CAPÍTULO V**

### **5.1. Descripción y funcionamiento del programa**

Con el uso del programa Matlab se ha creado un código capaz de modelar una cimentación profunda para el programa SAP2000, captando los datos necesarios con las características deseadas por el usuario. En el programa se podrá definir la cantidad de pilotes, el espaciamiento entre ellos, sus profundidades y las características de las secciones de pilotes y de las vigas que las conectan, como también el usuario podrá elegir la cota donde estará ubicado el suelo y la cota del cabezal de los pilotes. Este programa también tendrá la capacidad de leer los documentos de texto con la información de las curvas generadas por el algoritmo realizado en el proyecto de titulación del Ing. Darío Salmerón. Una vez captado los documentos de texto el programa agrupará la información necesaria de las curvas  $p_y$ ,  $t_z$  y  $q_z$  en matrices para poder unificar las curvas junto con el modelo de la cimentación profunda. Para finalizar el programa creará un libro de Excel de varias hojas las cuales estarán debidamente llenadas con los datos y propiedades del modelo de la cimentación profunda deseada por el usuario y sus curvas. De esta manera una vez creado el libro de Excel el usuario podrá importarlo desde el programa SAP2000 para que el modelo se genere automáticamente y pueda hacer uso de él.

### **5.2. Manual de usuario**

Previo a comenzar a correr el programa el usuario debe tener ubicado dentro de una misma carpeta tres principales grupos de archivos:

- Los algoritmos del programa creados en MATLAB.

▲ ASSIGNMENTS	19/07/2018 21:57	Archivo M	1 KB
▲ CoordinadasPrueba1	07/08/2018 15:55	Archivo M	2 KB
▲ EXCEL	07/08/2018 9:37	Archivo M	1 KB
▲ FRAMES	26/07/2018 10:10	Archivo M	2 KB
▲ Generador	07/08/2018 16:03	Archivo M	1 KB
▲ IMPORTPROPLINKS	10/08/2018 10:54	Archivo M	3 KB
▲ LASSIGNMENTS	03/08/2018 9:46	Archivo M	1 KB
▲ LINKS	10/08/2018 11:39	Archivo M	2 KB
▲ LPROPIEDADES	09/08/2018 9:24	Archivo M	1 KB
▲ MATERIALES	11/07/2018 11:32	Archivo M	1 KB
▲ MATERIALES2	11/07/2018 11:32	Archivo M	1 KB
▲ PROPIEDADES	19/07/2018 21:27	Archivo M	5 KB

Ilustración 17 Códigos de Matlab agrupados en una misma carpeta. Fuente: Autor

- Los documentos de texto con las curvas Py, Tz y Qz de los sondeos del suelo, generados por el código del Ing. Darío Salmerón en su proyecto de investigación.

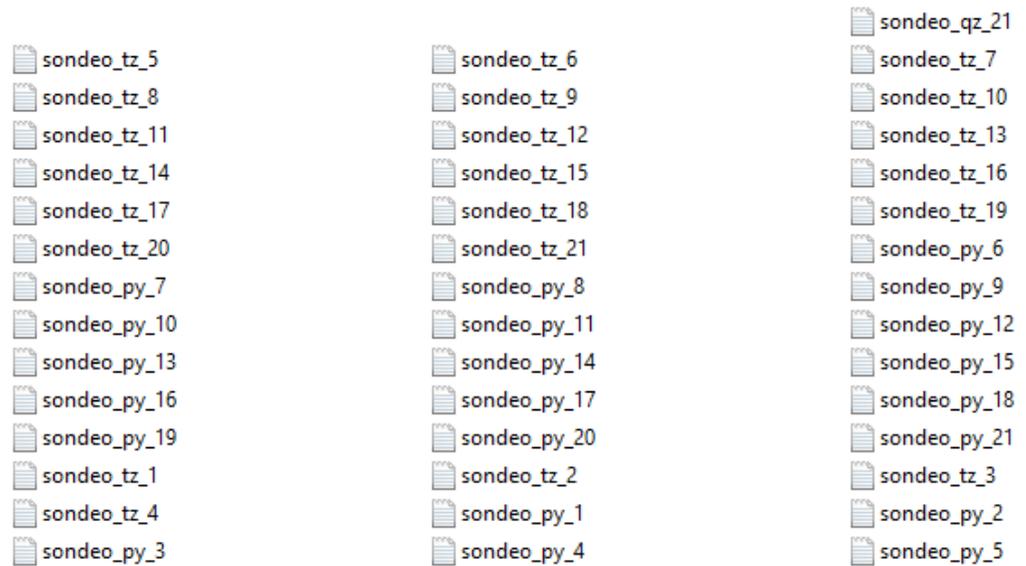


Ilustración 18 Documentos de texto de las curvas Py, Tz y Qz agrupados en una misma carpeta. Fuente: Autor

- Los dos libros de Excel: uno de un modelo base de celdas vacías para llenarlos con los datos del modelo y otro que servirá para llamar a los documentos de texto con los valores de los sondeos del suelo.

Ilustración 19 Libros de Excel agrupados en una misma carpeta. Fuente: Autor

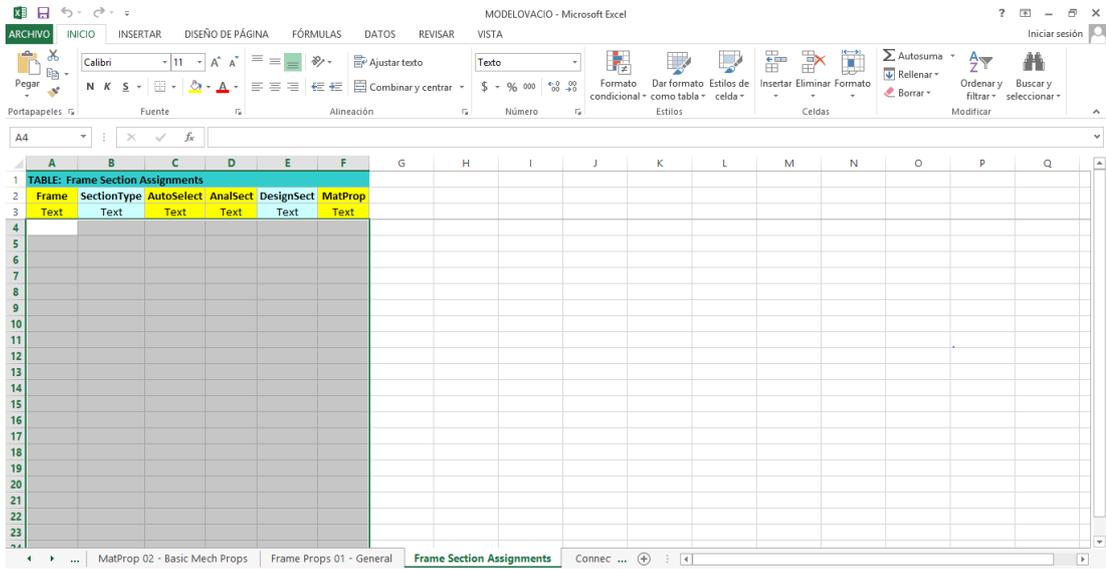


Ilustración 20 Hoja de Excel vacía con el formato correspondiente para ser leído en el programa SAP2000. (Excel, 2013)

Al tener ya lista la carpeta procedemos a entrar al programa MATLAB y ubicamos la carpeta para poder ser leída por el programa de la siguiente manera:

1. El usuario tiene que aplastar en el siguiente ícono que se lo encuentra en el interfaz inicial del MATLAB.

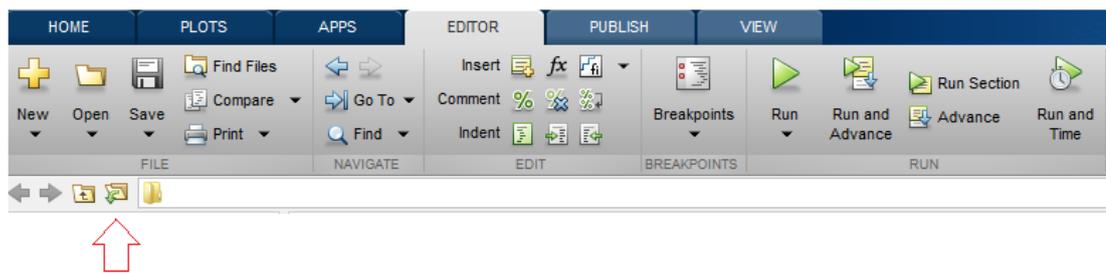


Ilustración 21 Ícono para ubicar carpeta. (Matlab, 2017)

2. Se debe seleccionar la carpeta donde se agruparon los archivos antes mencionados.

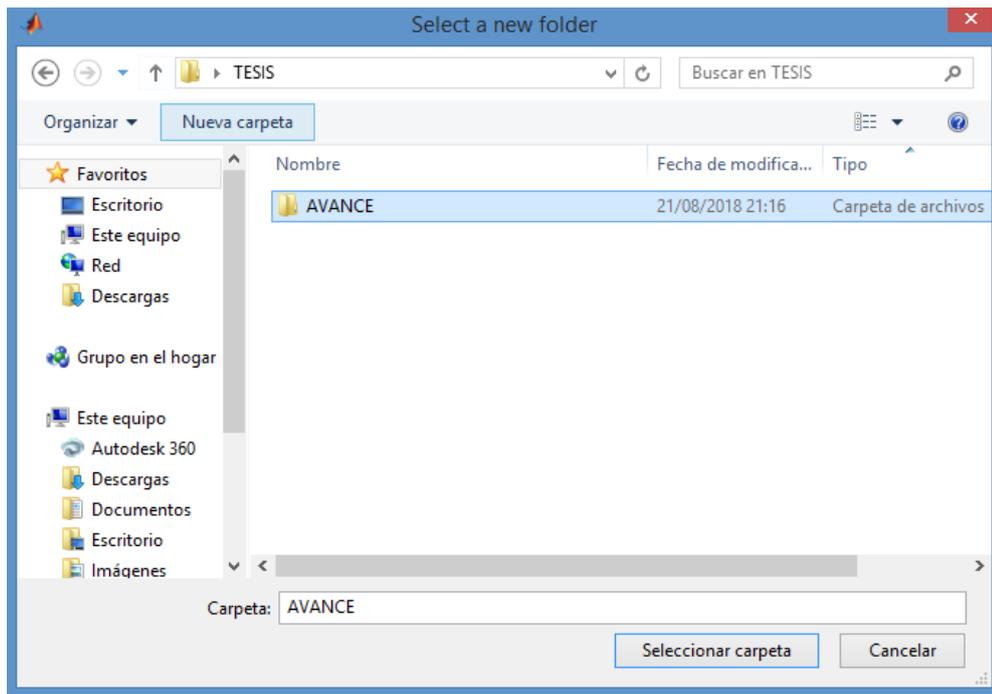


Ilustración 22 Ventana Seleccionar nueva carpeta. (Matlab, 2017)

A continuación se ve a mostrar los pasos a seguir por el usuario para que el programa corra:

1. En la pestaña “Current Folder” que aparece en la interfaz del MATLAB seleccionamos el código “Generador.m”.

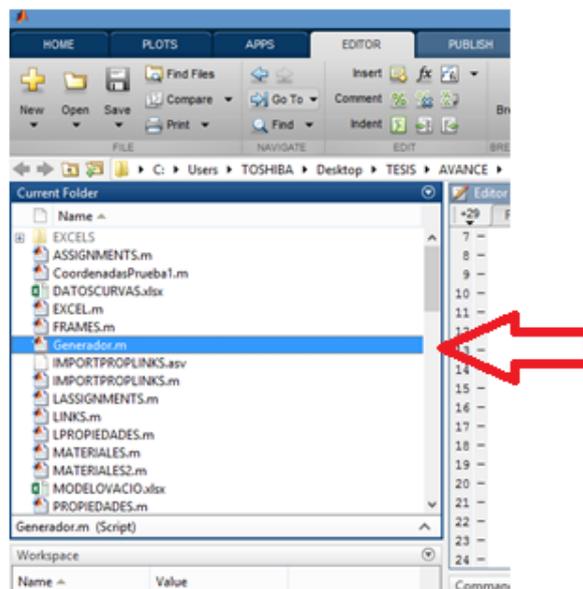


Ilustración 23 Ventana Current Folder con el código Generador.m. (Matlab, 2017)

2. Una vez ya abierto el código “Generador.m”, se aplasta el ícono “Run” de la interfaz del programa para ejecutar el código.

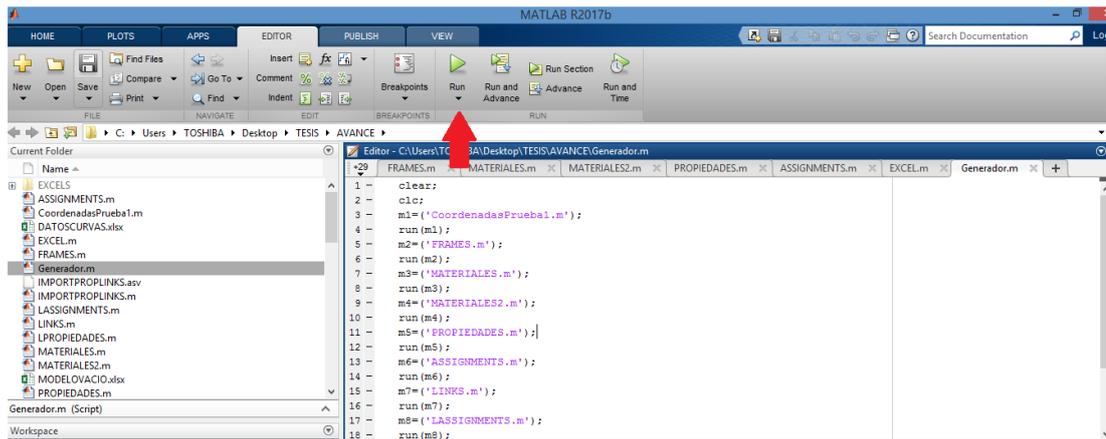


Ilustración 24 Ícono Run (Matlab, 2017)

- Una vez que comience el código, el usuario deberá ingresar cada uno de los valores que le pide el programa en la pestaña “Command Window”

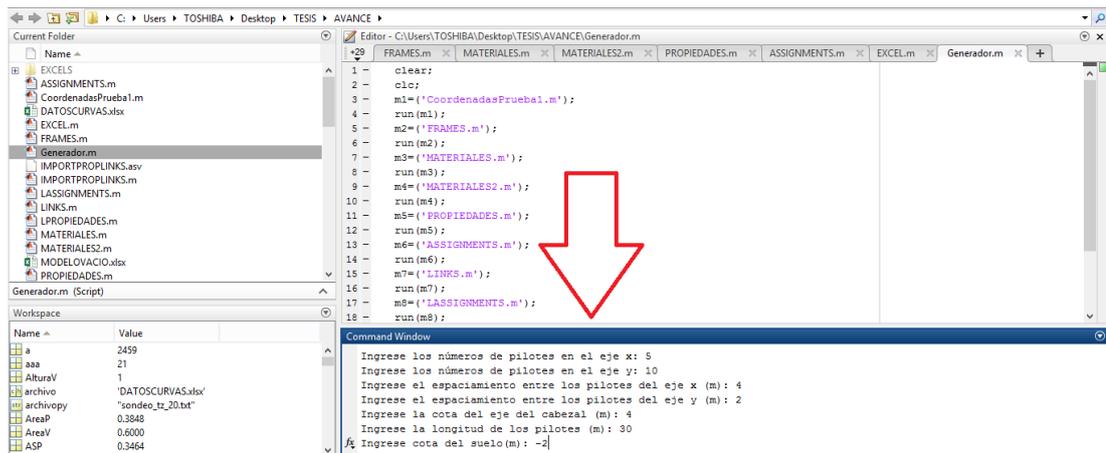


Ilustración 25 Ingreso de datos en la ventana Command Window (Matlab, 2017)

- Los datos que deberá ingresar el usuario son:
  - Número de pilotes en el eje X.
  - Número de pilotes en el eje Y.
  - Espaciamiento de pilotes en el eje X.
  - Espaciamiento de pilotes en el eje Y.
  - Cota del eje del cabezal (m).
  - Longitud del pilote (m).
  - Cota del suelo (m).

- Peso unitario de los pilotes (ton/m<sup>3</sup>).
- Peso unitario de las vigas (ton/m<sup>3</sup>).
- F'c de los pilotes.
- F'c de las vigas.
- Coeficiente de Poisson de los pilotes.
- Coeficiente de Poisson de las vigas.
- Elegir entre pilote circular o cuadrado.
- Diámetro del pilote, para sección circular (m).
- Base de la sección del pilote, para sección cuadrada (m).
- Base de la sección de la viga (m).
- Altura de la sección de la viga (m).

4. Al finalizar de correr el código, este habrá creado un libro de Excel nuevo llamado "Proyecto", el cual poseerá la información y datos necesarios del modelo de cimentación profunda deseado por el usuario, con sus curvas Py, Tz y Qz.

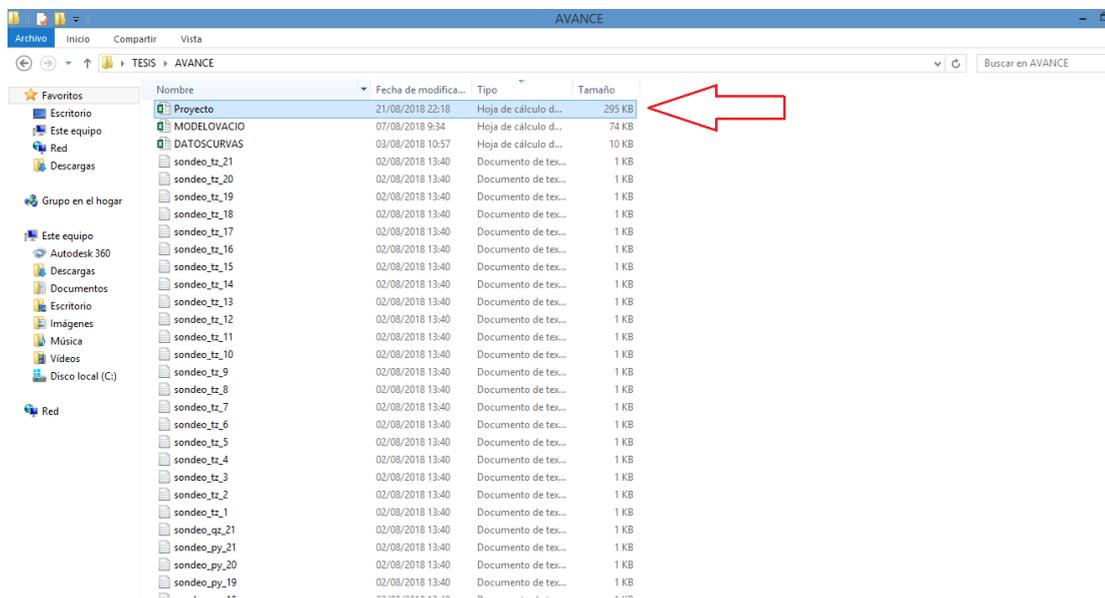


Ilustración 26 Libro de Excel "Proyecto" creado por el código. Fuente: Autor

5. Una vez que el código haya creado el libro de Excel “Proyecto” el usuario deberá acceder al programa SAP2000 v19.

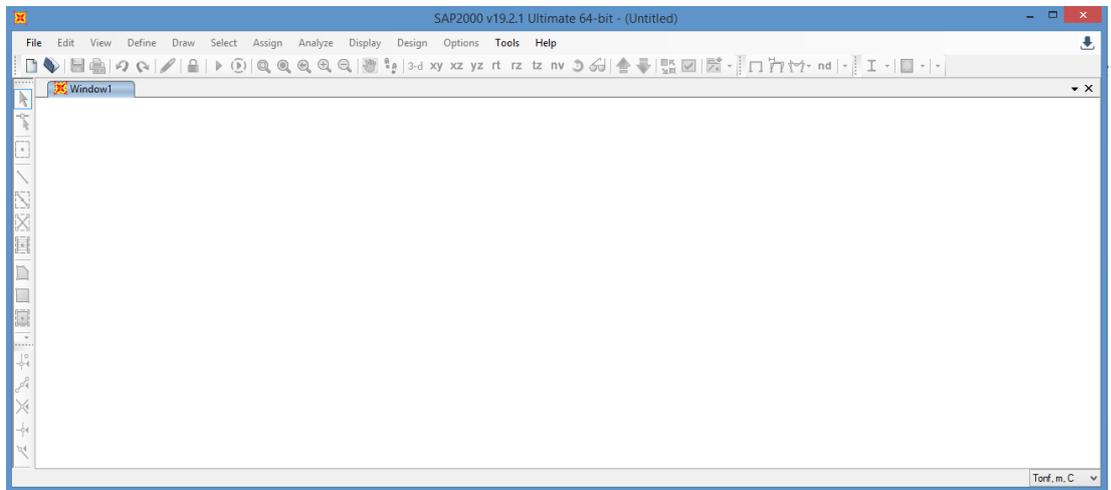


Ilustración 27 Interfaz principal (SAP2000, 2017)

6. Para terminar de crear el modelo de cimentación profunda y ver los resultados simplemente el usuario tendrá que importar al programa el archivo de Excel mencionado.

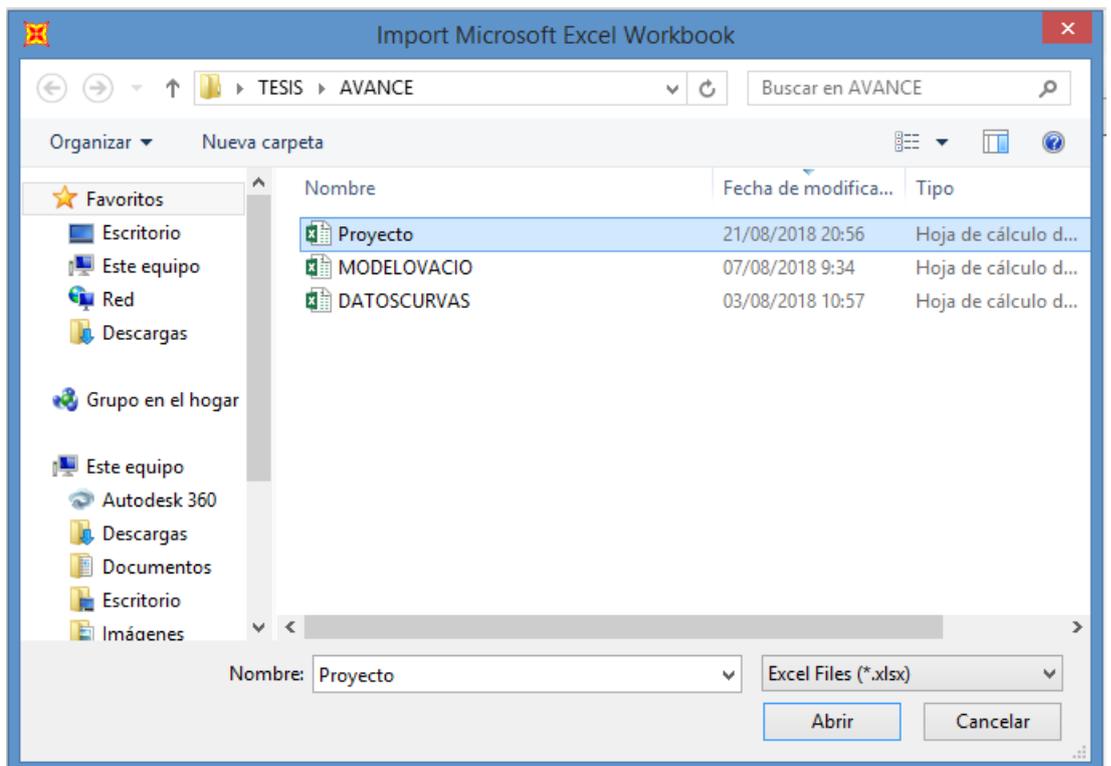


Ilustración 28 Ventana de importación de libros de Excel. (SAP2000, 2017)

### 5.3. Ejemplo y muestra de resultados obtenidos.

Para la comprobación de que el código está funcionando correctamente se hará un ejemplo de un modelo de cimentación profunda y se verá los resultados obtenidos.

1. Se agrupará en una misma carpeta todos los códigos de Matlab, los documentos de texto con las curvas Py, Tz y Qz de los sondeos del suelo y los dos libros de Excel: uno de un modelo base de SAP2000 con celdas vacías y otro para llamar a los documentos de texto con los valores de los sondeos del suelo.



Ilustración 29 Códigos, documentos de textos y libros de Excel agrupados en una misma carpeta.  
Fuente: Autor

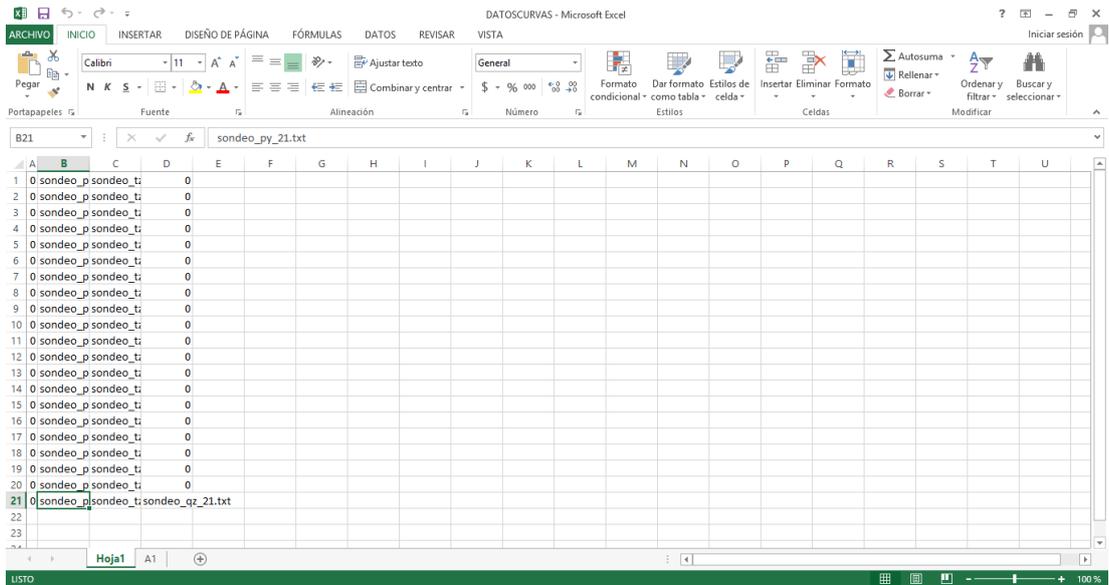


Ilustración 30 Libro "DATOSCURVAS". (Excel, 2013)

y(m)	P(kN)
0.00000	0.0000
0.00021	37.2049
0.03299	817.0507
0.06578	1242.9498
0.09857	1589.4345
0.13136	1892.6402
0.16414	2167.2395
0.19693	2420.9964
0.22972	2658.6338
0.26251	2883.2889
0.29530	3097.1767
0.32808	3301.9326
0.73819	5811.4015
0.88583	5811.4015

Ilustración 31 Sondeo Py15.

2. Se correrá el programa, en donde se ingresarán cada uno de los valores que se va pidiendo de la siguiente manera:

- Número de pilotes en el eje X = 4.
- Número de pilotes en el eje Y = 3.
- Espaciamiento de pilotes en el eje X (m) = 5
- Espaciamiento de pilotes en el eje Y (m) = 8
- Cota del eje del cabezal (m) = 4
- Longitud del pilote (m) = 25
- Cota del suelo (m) = -1
- Peso unitario de los pilotes (ton/m<sup>3</sup>) = 2.4
- Peso unitario de las vigas (ton/m<sup>3</sup>) = 2.4
- F'c de los pilotes (kg/cm<sup>2</sup>) = 280
- F'c de las vigas (kg/cm<sup>2</sup>) = 350
- Coeficiente de Poisson de los pilotes = 0.2

- Coeficiente de Poisson de las vigas = 0.2
- Elegir entre pilote circular o cuadrado = circular
- Diámetro del pilote, para sección circular (m) = 0.8
- Base de la sección de la viga (m) = 0.6
- Altura de la sección de la viga (m) = 1

3. Una vez concluido de correr el código se habrá creado un libro de Excel llamado "Proyecto".



Ilustración 32 Libro generado de Excel "Proyecto". Fuente: Autor

Frame	JointI	JointJ	IsCurved	Length	CentroidX	CentroidY	CentroidZ	GUID
Text	Text	Text	Yes/No	m	m	m	m	Text
1	1	10001	No	25	0	0	-8.5	474859c2-151b-45e4-afde-b23b0c99d7b0
2	2	10002	No	25	5	0	-8.5	5bd7fd0-300c-44f9-86c5-2c5ed6d87882
3	3	10003	No	25	10	0	-8.5	757d7c22-75b5-436b-8579-8b4e044233ef
4	4	10004	No	25	15	0	-8.5	35d19585-f8ae-42ab-99ee-fd1ecbf17816
5	5	10005	No	25	0	8	-8.5	b0dbcf18-e3f9-4f1f-9884-34a5148430d5
6	6	10006	No	25	5	8	-8.5	1a3909eb-ecb0-4622-8524-1d95eeaedc0
7	7	10007	No	25	10	8	-8.5	edbb265e-71e5-4d9f-86ce-e09adbf8ad7b
8	8	10008	No	25	15	8	-8.5	2e82ad92-64d3-40a6-b83e-617a8212a31e
9	9	10009	No	25	0	16	-8.5	da18528c-8196-48e8-8705-9e621226c7af
10	10	10010	No	25	5	16	-8.5	3ee841f0-4f03-45be-a944-a4b712cd0c09
11	11	10011	No	25	10	16	-8.5	79b6dacb-af9b-440f-83fd-c95f1c1617840
12	12	10012	No	25	15	16	-8.5	7881b4ca-dd49-476d-aad4-efb1b595670f
13	1	2	No	5	2.5	0	4	ab30e6b6-8cb3-48fe-9e4b-48348e7daecd
14	2	3	No	5	7.5	0	4	5b3fc219-9347-4a56-9273-3a10f860b332
15	3	4	No	5	12.5	0	4	7785d1dd-14fe-4f19-a92a-bcccc079b46a
16	5	6	No	5	2.5	8	4	70eed54c-4fb2-4f43-b474-72baccab8b
17	6	7	No	5	7.5	8	4	d9049724-b601-47e2-aca2-5e8ff949f0ad
18	7	8	No	5	12.5	8	4	85ad98b6-6973-4a33-8da5-1dc9155d702c
19	9	10	No	5	2.5	16	4	5b102cd2-cd26-4a43-94ed-3209da8ed94d
20	10	11	No	5	7.5	16	4	cca58dde-06dc-4513-b13c-0dc66763ac29
21	11	12	No	5	12.5	16	4	068123b2-7b8e-4e0f-b1a9-8ad57b2fb15b
22	1	5	No	8	0	4	4	d13d4c44-3449-4d28-a966-371ca2beafc7
23	5	9	No	8	0	12	4	ba031f49-86f6-4761-8043-ec4f0575341

Ilustración 33 Libro "Proyecto". (Excel, 2013)

4. Se abrirá el programa SAP2000 v19 y se procederá a importar el libro de Excel “Proyecto” para poder ver el modelo de cimentación profunda deseada con las características de esta y los resultados que nos brinda el código.

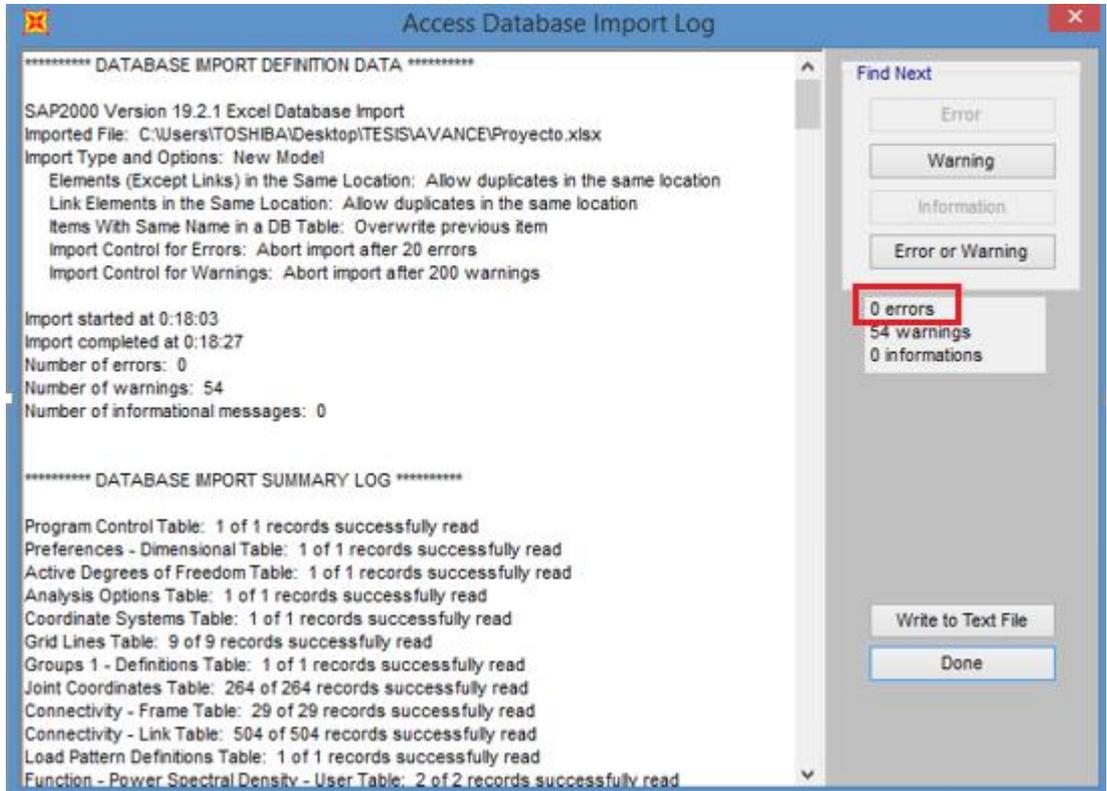


Ilustración 34 Base de datos de errores. (SAP2000, 2017)

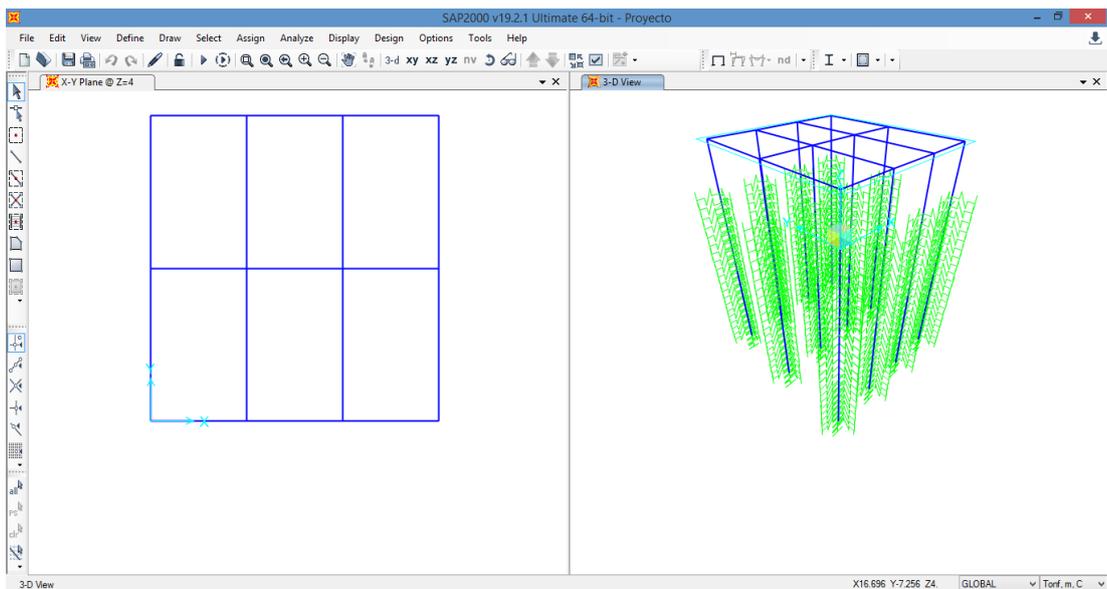
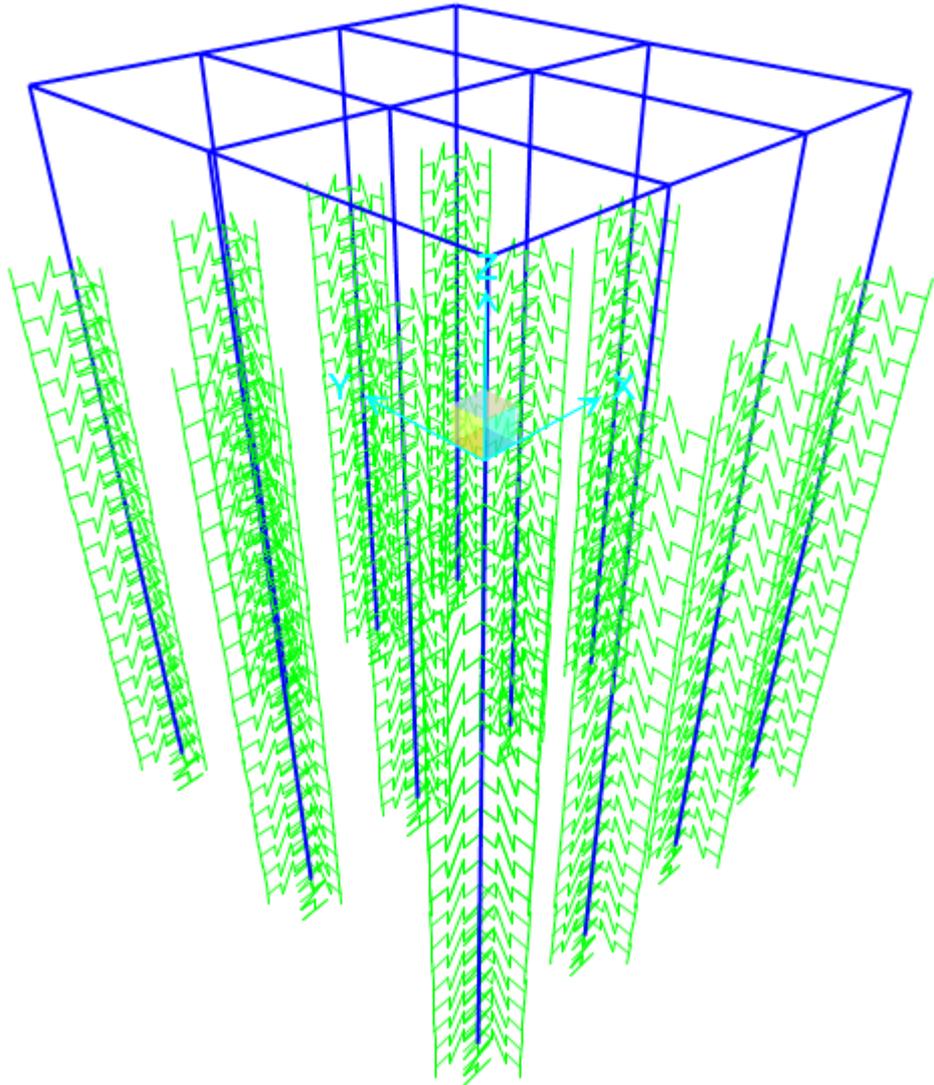


Ilustración 35 Pantalla principal modelo generado. (SAP2000, 2017)



*Ilustración 36 Modelo de Cimentación profunda con resortes no lineales. (SAP2000, 2017)*

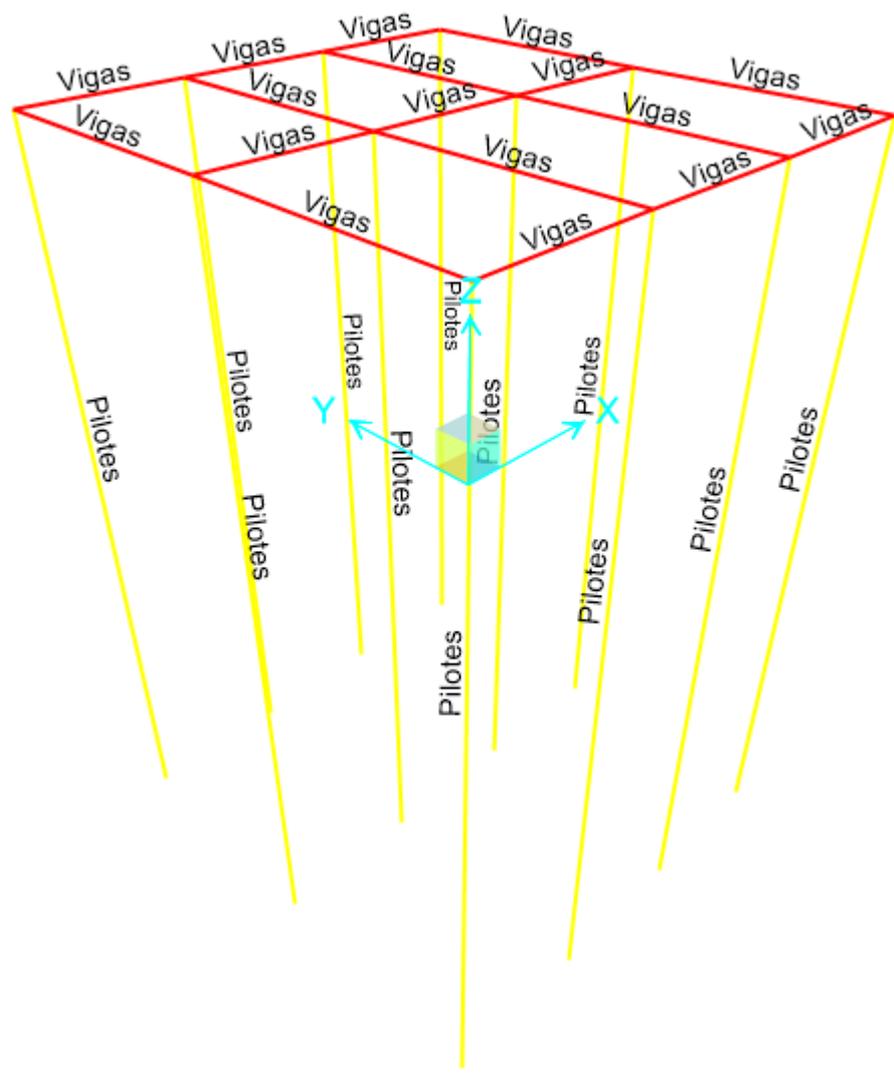


Ilustración 37 Modelo de cimentación profunda de vigas y pilotes. (SAP2000, 2017)

## 6. CAPÍTULO VI

### 6.1. Conclusiones.

Con la ejecución del código generado en este proyecto de investigación se puede llegar a la conclusión los resultados mostrados son totalmente satisfactorios, ya que el modelo en el programa SAP2000 a partir de este se mostró correctamente generado. Con estos resultados podemos concluir que con este código el usuario será capaz de:

- Desarrollar un modelo de cimentación profunda en el programa SAP2000, de acuerdo a las características especificadas de sus elementos (pilotes, cabezal, suelo, etc.) que desea generar.
- Recopilar la información de los resortes no lineales generada en los documentos de texto y poder unificarlo junto con el modelo de la cimentación profunda para obtener las curvas  $P_y$ ,  $T_z$  y  $Q_z$  de los pilotes.
- Utilizarlo como estudiante o profesional, ya que el programa presenta un ambiente amigable, es fácil de ejecutar y le permite ahorrar tiempo modelando la cimentación.

### 6.2. Recomendaciones.

- El usuario deberá percatarse de las unidades que le pide el código al momento de ingresar los diferentes valores de las propiedades de la cimentación, ya que en los desarrollos de las fórmulas para la modelación se utiliza las unidades especificadas.
- El usuario deberá tener cuidado antes de ejecutar el programa de tener en una misma carpeta todos los códigos de Matlab, los documentos de texto de las curvas y los dos libros de Excel antes mencionados, para que este pueda ser ejecutado correctamente y no presente problemas.

## **7. CAPÍTULO VII**

### **7.1. ANEXO A - GUÍA DEL CÓDIGO DEL MODELO DE CIMENTACIÓN PROFUNDA**

**A.1. COORDENADAS.**

**A.2. ELEMENTOS FRAMES.**

**A.3. MATERIALES.**

**A.4. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES.**

**A.5. ASIGNACIONES.**

## A.1. COORDENADAS.

```
npx=input('Ingrese los números de pilotos en el eje x: ');
npy=input('Ingrese los números de pilotos en el eje y: ');
ex=input('Ingrese el espaciamiento entre los pilotos del eje x (m): ');
ey=input('Ingrese el espaciamiento entre los pilotos del eje y (m): ');
cotacabecal=input('Ingrese la cota del eje del cabezal (m): ');
lpz=input('Ingrese la longitud de los pilotos (m): ');
cotapunta=cotacabecal-lpz;
Npilotes=npx*npy;
cx=1;
cy=4;
Coor(1,2)="GLOBAL";
for i=1:1:(npx*npy*2)
    Coor(i,2)="GLOBAL";
    Coor(i,3)="Cartesian";
    Coor(i,7)="No";
end
for i=1:1:(npx*npy)
    Coor(i,1)=i;
    Coor((npx*npy)+i,1)=(10000+i);
end
for z=cotacabecal:-lpz:cotapunta
    for y=0:ey:(ey*npy)-ey
        for x=0:ex:(ex*npx)-ex
            cy=4;
            Coor(cx,cy)=x;
            cy=5;
            Coor(cx,cy)=y;
            cy=6;
            Coor(cx,cy)=z;
            cx=cx+1;
        end
    end
end
for i=1:1:(npx*npy*2)
    Coor(i,8)=Coor(i,4);
    Coor(i,9)=Coor(i,5);
    Coor(i,10)=Coor(i,6);
end
CotaSuelo=input('Ingrese cota del suelo(m): ');
Nseg=20;
Cseg=(Npilotes*2)+1;
for i=Cseg:1:Cseg+(Npilotes*Nseg)-1
    Coor(i,1)=i;
    Coor(i,2)="GLOBAL";
    Coor(i,3)="Cartesian";
    Coor(i,7)="No";
end
LPenterrado=cotapunta-CotaSuelo;
tf=LPenterrado/Nseg;
cx=Cseg;
cy=4;
for y=0:ey:(ey*npy)-ey
    for x=0:ex:(ex*npx)-ex
        for z=CotaSuelo:tf:(cotapunta-tf)
            cy=4;
            Coor(cx,cy)=x;
            Coor(cx,cy+4)=x;
            cy=5;
            Coor(cx,cy)=y;
```

```
        Coor (cx, cy+4) =y;  
        cy=6;  
        Coor (cx, cy) =z;  
        Coor (cx, cy+4) =z;  
        cx=cx+1;  
    end  
end  
end
```

## A.2. ELEMENTOS FRAMES

```
Frame(1,4)="No";
NumeroFrames=(npx*ncpy)+(npx*(ncpy-1))+(ncpy*(npx-1));
CentroideZ=cotacabezal-(lpz/2);
for i=1:1:NumeroFrames;
    Frame(i,4)="No";
    Frame(i,1)=i;
end
NumeroPilotes=npx*ncpy;
for i=1:1:NumeroPilotes
    Frame(i,2)=i;
    ii=i+10000;
    Frame(i,3)=ii;
    Frame(i,5)=lpz;
    Frame(i,8)=CentroideZ;
end
y=0;
for j=0:ey:(ey*(ncpy-1))
    for i=0:ex:(ex*(npx-1))
        y=y+1;
        Frame(y,6)=i;
        Frame(y,7)=j;
    end
end
i=1;
j=1;
jj=0;
while NumeroPilotes>i
    Frame((j+NumeroPilotes),2)=i;
    Frame((j+NumeroPilotes),3)=i+1;
    Frame((j+NumeroPilotes),5)=ex;
    Frame(j+NumeroPilotes,8)=cotacabezal;
    r=rem((i+1),npx);
    if r==0
        disp(i);
        i=i+1;
        disp(i);
    end
    j=j+1;
    i=i+1;
    jj=jj+1;
end
ix=(ex*(npx-1))-(ex/2);
iy=ey*(ncpy-1);
j=NumeroPilotes+1;
for l=0:ey:iy
    for k=(ex/2):ex:ix
        Frame(j,6)=k;
        Frame(j,7)=l;
        j=j+1;
    end
end
i=1;
j=1;
ii=1;
jj=jj+NumeroPilotes;
k=1;
while NumeroPilotes>ii
    Frame((j+jj),2)=i;
    Frame((j+jj),3)=i+npx;
```

```

Frame((j+jj),5)=ey;
Frame((j+jj),8)=cotacabezal;
r=rem((ii+1),npy);
j=j+1;
i=i+npix;
ii=ii+1;
if r==0
    disp(i);
    i=k+1;
    k=k+1;
    ii=ii+1;
    disp(i);
end
end
iy=(ey*(npy-1))-(ey/2);
ix=ex*(npix-1);
j=1;
for l=0:ex:ix
    for k=(ey/2):ey:iy
        Frame(jj+j,7)=k;
        Frame(jj+j,6)=l;
        j=j+1;
    end
end
end

```

### A.3. MATERIALES

```

Materiales(1,1)="Pilotes";
Materiales(2,1)="Vigas";
PesoUPilotes=input('Ingresar el peso unitario de los pilotes en ton/m3: ');
PesoUVigas=input('Ingresar el peso unitario de las vigas en ton/m3: ');
Materiales(1,2)=PesoUPilotes;
Materiales(2,2)=PesoUVigas;
UnidadMasaP=PesoUPilotes/9.80665;
UnidadMasaV=PesoUVigas/9.80665;
Materiales(1,3)=UnidadMasaP;
Materiales(2,3)=UnidadMasaV;
FcP=input('Ingresar el f'c de los pilotes en kg/cm2');
FcV=input('Ingresar el f'c de las vigas en kg/cm2');
EPilotes=sqrt(FcP)*15100*9.842;
EVigas=sqrt(FcV)*15100*9.842;
Materiales(1,4)=EPilotes;
Materiales(2,4)=EVigas;
UPilotes=input('Ingresar el Coeficiente de Poisson de los pilotes: ');
UVigas=input('Ingresar el Coeficiente de Poisson de las vigas: ');
Materiales(1,6)=UPilotes;
Materiales(2,6)=UVigas;
GPilotes=EPilotes/(2*(1+UPilotes));
GVigas=EVigas/(2*(1+UVigas));
Materiales(1,5)=GPilotes;
Materiales(2,5)=GVigas;

```

```

Materiales2(1,1)="Pilotes";
Materiales2(2,1)="Vigas";
Materiales2(1,2)="Concrete";
Materiales2(2,2)="Concrete";
Materiales2(1,3)="Isotropic";
Materiales2(2,3)="Isotropic";
Materiales2(1,4)="No";
Materiales2(2,4)="No";
Materiales2(1,5)="Green";
Materiales2(2,5)="Blue";

```

#### A.4. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES.

```
Propiedades(1,1)="Pilotes";
Propiedades(2,1)="Vigas";
Propiedades(1,2)="Pilotes";
Propiedades(2,2)="Vigas";
Propiedades(1,19)="Yes";
Propiedades(2,19)="Yes";
Propiedades(1,20)="No";
Propiedades(2,20)="No";
Propiedades(1,21)="Yellow";
Propiedades(2,21)="Red";
Propiedades(1,24)="No";
Propiedades(2,24)="No";
Propiedades(1,25)=1;
Propiedades(2,25)=1;
Propiedades(1,26)=1;
Propiedades(2,26)=1;
Propiedades(1,27)=1;
Propiedades(2,27)=1;
Propiedades(1,28)=1;
Propiedades(2,28)=1;
Propiedades(1,29)=1;
Propiedades(2,29)=1;
Propiedades(1,30)=1;
Propiedades(2,30)=1;
Propiedades(1,31)=1;
Propiedades(2,31)=1;
Propiedades(1,32)=1;
Propiedades(2,32)=1;
TP=0;
while (TP==0)
    TipoPilote=input('¿Qué tipo de pilote va a usar? circular(c) o
rectangular(r): ', 's');
    if TipoPilote=='r'
        TP=1;
        Propiedades(1,3)="Rectangular";
        BaseP=input('Ingrese la base del pilote (m): ');
        Propiedades(1,4)=BaseP;
        AlturaP=BaseP;
        Propiedades(1,5)=AlturaP;
        AreaP=BaseP*AlturaP;
        Propiedades(1,6)=AreaP;
        mP=AlturaP/BaseP;
        CoeficienteBP=(1/3)-(0.20656/mP);
        JP=(BaseP*BaseP*BaseP*AlturaP*CoeficienteBP);
        Propiedades(1,7)=JP;
        InerciaXP=(BaseP*AlturaP*AlturaP*AlturaP)/12;
        Propiedades(1,8)=InerciaXP;
        InerciaYP=(AlturaP*BaseP*BaseP*BaseP)/12;
        Propiedades(1,9)=InerciaYP;
        Propiedades(1,10)=0;
        ASP=AreaP*0.833333;
        Propiedades(1,11)=ASP;
        Propiedades(1,12)=ASP;
        SY=(2*InerciaXP)/BaseP;
        Propiedades(1,13)=SY;
        SX=(2*InerciaYP)/AlturaP;
        Propiedades(1,14)=SX;
        ZY=BaseP*BaseP*AlturaP/4;
        ZX=BaseP*AlturaP*AlturaP/4;
```

```

Propiedades(1,15)=ZY;
Propiedades(1,16)=ZX;
RX=sqrt((InerciaXP/AreaP));
Propiedades(1,17)=RX;
RY=sqrt((InerciaYP/AreaP));
Propiedades(1,18)=RY;
elseif TipoPilote=='c'
TP=1;
Propiedades(1,3)="Circle";
DiametroP=input('Ingrese el diametro del pilote (m): ');
Propiedades(1,4)=DiametroP;
RadioP=DiametroP/2;
AreaP=pi*RadioP*RadioP;
Propiedades(1,5)=0;
Propiedades(1,6)=AreaP;
RadioP=DiametroP/2;
InerciaP=(pi*RadioP*RadioP*RadioP*RadioP)/4;
Propiedades(1,8)=InerciaP;
Propiedades(1,9)=InerciaP;
JP=InerciaP*2;
Propiedades(1,7)=JP;
Propiedades(1,10)=0;
ASP=AreaP*0.9;
Propiedades(1,11)=ASP;
Propiedades(1,12)=ASP;
S=InerciaP/RadioP;
Propiedades(1,13)=S;
Propiedades(1,14)=S;
ZP=DiametroP*DiametroP*DiametroP/6;
Propiedades(1,15)=ZP;
Propiedades(1,16)=ZP;
R=sqrt((InerciaP/AreaP));
Propiedades(1,17)=R;
Propiedades(1,18)=R;
else
disp("Ingrese solo rectangular o circular");
end
end
end

```

```

Propiedades(2,3)="Rectangular";
BaseV=input('Ingrese la base de la viga (m): ');
Propiedades(2,4)=BaseV;
AlturaV=input('Ingrese la altura de la viga (m): ');
Propiedades(2,5)=AlturaV;
AreaV=BaseV*AlturaV;
Propiedades(2,6)=AreaV;
mV=AlturaV/BaseV;
CoeficienteBV=(1/3)-(0.20656/mV);
JV=(BaseV*BaseV*BaseV*AlturaV*CoeficienteBV);
Propiedades(2,7)=JV;
InerciaYV=(BaseV*AlturaV*AlturaV*AlturaV)/12;
Propiedades(2,8)=InerciaYV;
InerciaXV=(AlturaV*BaseV*BaseV*BaseV)/12;
Propiedades(2,9)=InerciaXV;
Propiedades(2,10)=0;
ASV=AreaV*0.833333;
Propiedades(2,11)=ASV;
Propiedades(2,12)=ASP;
SYV=(2*InerciaYV)/BaseV;

```

```

Propiedades (2,13)=SYV;
SXV=(2*InerciaXV)/AlturaV;
Propiedades (2,14)=SXV;
ZYV=BaseV*BaseV*AlturaV/4;
ZXV=BaseV*AlturaV*AlturaV/4;
Propiedades (2,15)=ZYV;
Propiedades (2,16)=ZXV;
RXV=sqrt((InerciaXV/AreaV));
Propiedades (2,17)=RXV;
RYV=sqrt((InerciaYV/AreaV));
Propiedades (2,18)=RYV;
TotalWTP=AreaP*lpz*PesoUPilotes*NumeroPilotes;
TotalMP=TotalWTP/9.80665;
Propiedades (1,22)=TotalWTP;
Propiedades (1,23)=TotalMP;
nvx=(npx-1)*npy;
mvx=nvx*ex;
nvy=(npy-1)*npx;
mvy=nvy*ey;
mv=mvx+mvy;
TotalWTV=AreaV*mv*PesoUVigas;
TotalMV=TotalWTV/9.80665;
Propiedades (2,22)=TotalWTV;
Propiedades (2,23)=TotalMV;

```

## A.5. ASIGNACIONES

```
Assign(1,3)="N.A.";
for i=1:1:NumeroFrames;
    Assign(i,3)="N.A.";
    Assign(i,6)="Default";
    Assign(i,1)=i;
end
NumeroPilotes=npix*ncpy;
for i=1:1:NumeroPilotes
    Assign(i,4)="Pilotes";
    Assign(i,5)="Pilotes";
    if TipoPilote=='r'
        Assign(i,2)="Rectangular";
    elseif TipoPilote=='c'
        Assign(i,2)="Circle";
    end
end
NumeroVigas=(npix*(ncpy-1))+(ncpy*(npix-1));
for i=(NumeroPilotes+1):1:(NumeroVigas+NumeroPilotes)
    Assign(i,4)="Vigas";
    Assign(i,5)="Vigas";
    Assign(i,2)="Rectangular";
end
```

## **7.2. ANEXO B - RECOPIACIÓN DE CURVAS PY, TZ Y QZ**

### **B.1. LINKS.**

### **B.2. ASIGNACIONES DE LINKS.**

### **B.3. PROPIEDADES DE LINKS.**

### **B.4. IMPORTACIÓN DE LINKS.**

## B.1. LINKS.

```
NResortes=Nseg+1;
NResortesTotales=NResortes*Npilotes;
Link(1,1)=1;
for i=1:1:NResortesTotales*2
    Link(i,1)=i;
    Link(i,4)=0;
end
j=1;
for i=Cseg:1:(NResortesTotales+Npilotes)
    Link(j,2)=i;
    Link(j,3)=i;
    j=j+1;
end
for i=Cseg:1:(NResortesTotales+Npilotes)
    Link(j,2)=i;
    Link(j,3)=i;
    j=j+1;
end
CPunta=Nseg*Npilotes+1;
for i=10001:1:(Npilotes+10000)
    Link(j,2)=i;
    Link(j,3)=i;
    j=j+1;
end
for i=10001:1:(Npilotes+10000)
    Link(j,2)=i;
    Link(j,3)=i;
    j=j+1;
end
cx=1;
cy=5;
for y=0:ey:( (ey*np $y$ ) -ey)
    for x=0:ex:( (ex*np $x$ ) -ex)
        for z=CotaSuelo:tf:(cotapunta-tf)
            cy=5;
            Link(cx,cy)=x;
            cy=6;
            Link(cx,cy)=y;
            cy=7;
            Link(cx,cy)=z;
            cx=cx+1;
        end
    end
end
z=cotapunta;
for y=0:ey:( (ey*np $y$ ) -ey)
    for x=0:ex:( (ex*np $x$ ) -ex)
        cy=5;
        Link(cx,cy)=x;
        cy=6;
        Link(cx,cy)=y;
        cy=7;
        Link(cx,cy)=z;
        cx=cx+1;
    end
end
```

## B.2. ASIGNACIONES DE LINKS

```
Linka(1,2)="MultiLinear Elastic";
for i=1:1:NResortesTotales
    Linka(i,1)=i;
    Linka(i,2)="MultiLinear Elastic";
    Linka(i,3)="SingleJoint";
    Linka(i,5)="None";
    Linka(i,6)=1;
end
ii=1;
for i=1:1:Npilotes
    for j=1:1:Nseg
        w=num2str(j);
        j2=['py',w];
        k=cellstr(j2);
        Linka(ii,4)=k;
        ii=ii+1;
    end
end
for i=(Nseg*Npilotes)+1:1:(NResortes*Npilotes)
    k=num2str(NResortes);
    jj=['py',k];
    Linka(i,4)=jj;
end
```

### B.3. PROPIEDADES DE LINKS

```
LinkP(1,2)="MultiLinear Elastic";
for i=1:1:NResortes
    k=num2str(i);
    jj=['py',k];
    LinkP(i,1)=jj;
    LinkP(i,2)="MultiLinear Elastic";
    LinkP(i,3)=0;
    LinkP(i,4)=0;
    LinkP(i,6)=0;
    LinkP(i,5)=0;
    LinkP(i,7)=0;
    LinkP(i,8)=1;
    LinkP(i,9)=1;
    LinkP(i,10)=0;
    LinkP(i,11)=0;
    LinkP(i,12)=0;
    LinkP(i,13)=0;
    j=i;
end
ii=1;
for i=j+1:1:NResortes*2
    k=num2str(ii);
    jj=['tz',k];
    ii=ii+1;
    LinkP(i,1)=jj;
    LinkP(i,2)="MultiLinear Elastic";
    LinkP(i,3)=0;
    LinkP(i,4)=0;
    LinkP(i,6)=0;
    LinkP(i,5)=0;
    LinkP(i,7)=0;
    LinkP(i,8)=1;
    LinkP(i,9)=1;
    LinkP(i,10)=0;
    LinkP(i,11)=0;
    LinkP(i,12)=0;
    LinkP(i,13)=0;
    j=i;
end
```

## B.4. IMPORTACIÓN DE LINKS

```
archivo=['DATOSCURVAS.xlsx'];
[DatosCurvas,txt]=xlsread(archivo);
aaa=size(DatosCurvas,1);
a=1;
LinkProp(1,1)="py1";
for i=1:aaa
    k=num2str(i);
    kk=['py',k];
    archivopy=string(txt(i,1));
    DatosPy1=importdata(archivopy);
    Py=DatosPy1.data(:,);
    Pi=Py(:,2)/9.81;
    Yi=Py(:,1);
    s=size(Pi,1);
    jj=1;
    LinkProp(a,3)="No";
    LinkProp(a,4)="Yes";
    LinkProp(a,5)=0;
    LinkProp(a,6)=0;
    LinkProp(a,7)=0;
    for j=s:-1:1
        LinkProp(a,8)=jj;
        LinkProp(a,9)=-Pi(j,1);
        LinkProp(a,10)=-Yi(j,1);
        LinkProp(a,1)=kk;
        LinkProp(a,2)="U2";
        a=a+1;
        jj=jj+1;
    end
    for j=2:s
        LinkProp(a,1)=kk;
        LinkProp(a,8)=jj;
        LinkProp(a,9)=Pi(j,1);
        LinkProp(a,10)=Yi(j,1);
        LinkProp(a,2)="U2";
        a=a+1;
        jj=jj+1;
    end
    jj=1;
    LinkProp(a,3)="No";
    LinkProp(a,4)="Yes";
    LinkProp(a,5)=0;
    LinkProp(a,6)=0;
    LinkProp(a,7)=0;
    for j=s:-1:1
        LinkProp(a,1)=kk;
        LinkProp(a,8)=jj;
        LinkProp(a,9)=-Pi(j,1);
        LinkProp(a,10)=-Yi(j,1);
        LinkProp(a,2)="U3";
        a=a+1;
        jj=jj+1;
    end
    for j=2:s
        LinkProp(a,1)=kk;
        LinkProp(a,8)=jj;
        LinkProp(a,9)=Pi(j,1);
        LinkProp(a,10)=Yi(j,1);
        LinkProp(a,2)="U3";
```

```

        a=a+1;
        jj=jj+1;
    end
end
for i=1:(aaa-1)
    k=num2str(i);
    kk=['tz',k];
    archivopy=string(txt(i,2));
    DatosTz1=importdata(archivopy);
    Tz=DatosTz1.data(:,:);
    Ti=Py(:,2);
    Zi=Py(:,1);
    s=size(Ti,1);
    jj=1;
    LinkProp(a,3)="No";
    LinkProp(a,4)="Yes";
    LinkProp(a,5)=0;
    LinkProp(a,6)=0;
    LinkProp(a,7)=0;
    for j=s:-1:1
        LinkProp(a,8)=jj;
        LinkProp(a,9)=-Ti(j,1);
        LinkProp(a,10)=-Zi(j,1);
        LinkProp(a,1)=kk;
        LinkProp(a,2)="U1";
        a=a+1;
        jj=jj+1;
    end
    for j=2:s
        LinkProp(a,1)=kk;
        LinkProp(a,8)=jj;
        LinkProp(a,9)=Ti(j,1);
        LinkProp(a,10)=Zi(j,1);
        LinkProp(a,2)="U1";
        a=a+1;
        jj=jj+1;
    end
end
end

```

## **7.3. ANEXO C - GENERADORES**

### **C.1. GENERADOR DE EXCELS**

### **C.2. GENERADOR DE CÓDIGOS**

## C.1. GENERADOR DE EXCELS

```
copyfile('MODELOVACIO.xlsx', 'Proyecto_1.xlsx');
movefile('Proyecto_1.xlsx', 'Proyecto.xlsx');
xlsfile="Proyecto.xlsx";
openxls=xlsfile;
sheet1='Joint Coordinates';
sheet2='MatProp 01 - General';
sheet3='MatProp 02 - Basic Mech Props';
sheet4='Frame Props 01 - General';
sheet5='Connectivity - Frame';
sheet6='Connectivity - Link';
sheet7='Link Property Assignments';
sheet8='Link Props 01 - General';
sheet9='Link Props 03 - MultiLinear';
sheet10='Frame Section Assignments';
% sheet6='Frame Section Assignments';
% sheet7='Grid Lines';

xlswrite(xlsfile,Coor,sheet1,'A4')
xlswrite(xlsfile,Materiales2,sheet2,'A7')
xlswrite(xlsfile,Materiales,sheet3,'A7')
xlswrite(xlsfile,Propiedades,sheet4,'A4')
xlswrite(xlsfile,Assign,sheet10,'A4')
xlswrite(xlsfile,Frame,sheet5,'A4')
xlswrite(xlsfile,Link,sheet6,'A4')
xlswrite(xlsfile,Linka,sheet7,'A4')
xlswrite(xlsfile,LinkP,sheet8,'A4')
xlswrite(xlsfile,LinkProp,sheet9,'A4')
% xlswrite(xlsfile,Frame,sheet6,'A4')
% xlswrite(xlsfile,Frame,sheet7,'A4')
```

## C.2. GENERADOR DE CÓDIGOS

```
clear;
clc;
m1=('CoordenadasPrueba1.m');
run(m1);
m2=('FRAMES.m');
run(m2);
m3=('MATERIALES.m');
run(m3);
m4=('MATERIALES2.m');
run(m4);
m5=('PROPIEDADES.m');
run(m5);
m6=('ASSIGNMENTS.m');
run(m6);
m7=('LINKS.m');
run(m7);
m8=('LASSIGNMENTS.m');
run(m8);
m9=('LPROPIEDADES.m');
run(m9);
m10=('IMPORTPROPLINKS.m');
run(m10);
m11=('EXCEL.m');
run(m11);
```

## 8. CAPÍTULO VIII

### 8.1. BIBLIOGRAFÍA

- Computers and Structures, Inc. (2011). *CSI Analysis Reference Manual For SAP2000*. Berkeley, California, USA.
- Das, B. M. (2001). *Fundamentos Ingeniería Geotécnica*. Ciudad de México: International Thomson Editores.
- Florida Department of Transportation y Federal Highway Administration(FHWA). (2002). *“FB-Pier User’s Guide Manual”*. Gainesville (Florida).
- Impe, L. C. (2001). *Single Piles and Pile Groups under Lateral Loading*. Balkema, div. of Taylor & Francis Publishers.
- Mathworks. (2018). *MATLAB Primer*. Natick, Massachusetts, USA.



**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, Noritz Molina, Erick Marcel, con C.C: # 0918056755 autor del trabajo de titulación: Desarrollo de código Matlab para generación de modelo analítico de cimentaciones profundas usando resortes no lineales (curvas py, tz y qz) 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, 20 de septiembre de 2018

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

Nombre: Noritz Molina, Erick Marcel

C.C: 0918056755



Presidencia  
de la República  
del Ecuador



Plan Nacional  
de Ciencia, Tecnología,  
Innovación y Saberes



**SENESCYT**  
Secretaría Nacional de Educación Superior,  
Ciencia, Tecnología e Innovación

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

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

<b>TEMA Y SUBTEMA:</b>	Desarrollo de código Matlab para generación de modelo analítico de cimentaciones profundas usando resortes no lineales (curvas py, tz y qz).		
<b>AUTOR(ES)</b>	Noritz Molina, Erick Marcel		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	Ing. Ponce Vásquez, Guillermo Alfonso		
<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>	20 de septiembre de 2018	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	90
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Ingeniería de cimentación Cálculo estructural Programación		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	código, modelo, cimentación profunda, resortes, no lineales, matrices.		
<b>RESUMEN/ABSTRACT</b>			
<p>En este proyecto de investigación se va a proceder a realizar un código generado con el uso del programa Matlab, el cual va a ayudar a modelar diferentes tipos de cimentaciones profundas usando resortes no lineales (curvas py, tz y qz) en el programa SAP2000 v19. Dentro del proyecto se crearán diferentes códigos que generarán matrices, las cuales van a ir llenando varias hojas de Excel creadas dentro de un mismo libro. También se procederá a crear códigos para recolectar y agrupar en el mismo libro de Excel la información generada por el software del proyecto de investigación del Ing. Darío Salmerón Acosta realizado en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil en el semestre B-2017. Este libro de Excel va a presentar un formato ya especificado, el cual tiene la capacidad de ser leído y entendido por el programa SAP2000 v19 y en este poder modelar la cimentación profunda deseada por el usuario.</p>			
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	



**Presidencia  
de la República  
del Ecuador**



**Plan Nacional  
de Ciencia, Tecnología,  
Innovación y Saberes**



**SENESCYT**  
Secretaría Nacional de Educación Superior,  
Ciencia, Tecnología e Innovación

<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b> +593-4-2680505	E-mail: ericknoritz@gmail.com
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::</b>	<b>Nombre:</b> Clara Glas Cevallos	
	<b>Teléfono:</b> +593-4 -2206956	
	<b>E-mail:</b> clara.glas@cu.ucsg.edu.ec	
<b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>		
<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>		
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>		
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>		