

PILEDYN

MANUAL DE USUARIO

DIVISIÓN DE MECÁNICA DE LOS MEDIOS CONTINUOS Y ESTRUCTURAS

**INSTITUTO DE SISTEMAS INTELIGENTES Y APLICACIONES NUMÉRICAS
EN INGENIERÍA**

UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA

LAS PALMAS DE GRAN CANARIA, ENERO 2018

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Introducción | 1 |
| 1.1 | Quiénes somos | 1 |
| 1.2 | Financiación | 1 |
| 1.3 | Términos de licencia | 2 |
| 1.4 | Contacte con nosotros | 2 |
| 2 | PILEDYN | 3 |
| 2.1 | Introducción | 3 |
| 2.2 | Objetivo y justificación | 3 |
| 2.3 | Estructura y funcionamiento del programa | 4 |
| 2.3.1 | Diagramas de flujo | 4 |
| 3 | Instalación | 7 |
| 3.1 | Requisitos previos | 7 |
| 3.2 | Proceso de instalación | 7 |
| 4 | Instrucciones de uso | 9 |
| 4.1 | Módulo 1: introducción de datos del problema | 9 |
| 4.1.1 | Iniciar el preprocesador | 9 |
| 4.1.2 | Introducir los datos de terreno, frecuencias y grupo de pilotes | 11 |
| 4.1.3 | Introducir los datos de la malla | 13 |
| 4.2 | Módulo 2: cálculo | 16 |
| 4.2.1 | Interfaz | 17 |
| 4.2.2 | Línea de comandos | 17 |
| 4.3 | Módulo 3: obtención de datos de impedancia | 18 |
| 5 | Ficheros de entrada y salida de datos | 19 |
| 5.1 | Módulo de preprocesado | 19 |
| 5.1.1 | Configuración del grupo de pilotes | 19 |
| 5.1.2 | Estratigrafía | 21 |
| 5.1.3 | Frecuencias de estudio | 21 |
| 5.1.4 | Opciones de mallado | 21 |
| 5.1.5 | Malla | 22 |
| 5.2 | Módulo de cálculo | 23 |
| 5.2.1 | Fichero de entrada | 23 |
| 5.2.2 | Ficheros de salidas | 26 |
| 5.3 | Módulo de posprocesado | 27 |

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

Quiénes somos

La división de Mecánica de los Medios Continuos y Estructuras (MMCE) del Instituto Universitario de Sistemas Inteligentes y Aplicaciones Numéricas en Ingeniería (SIANI) de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC) es un grupo de investigación que trabaja en el campo de la dinámica de estructuras, generando modelos numéricos con los que simular el comportamiento de estructuras de diferente tipología frente a cargas dinámicas y vibraciones.

Las líneas de investigación del grupo son las siguientes:

- Interacción suelo-estructura y estructura-suelo-estructura.
- Respuesta dinámica de aerogeneradores terrestres y offshore.
- Impedancias de cimentaciones superficiales o enterradas.
- Interacción suelo-agua-estructura. Respuesta sísmica de presas.
- Análisis dinámico de medios porosos.
- Polución acústica. Propagación de ruido barreras acústicas.
- Propagación de ondas en agua.
- Método de Elementos de Contorno (MEC) y su aplicación en problemas dinámicos.
- Ingeniería sísmica.

Financiación

Este trabajo ha sido financiado por la Subdirección General de Proyectos de Investigación of the Ministerio de Economía y Competitividad (MINECO) de España y FEDER a través de los proyectos de investigación BIA2004-03955-C02-02, BIA2007-67612-C02-01, BIA2010-21399-C02-01 y BIA2014-57640-R.



MINISTERIO
DE ECONOMÍA
Y COMPETITIVIDAD



UNIÓN EUROPEA
Fondo Europeo de
Desarrollo Regional (FEDER)
Una manera de hacer Europa

Términos de licencia

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria 2017.

Copyright Notice and Disclaimers: This software package is a copyrighted material of the authors. No part of the packages, either the executable or the source codes, can be used for any commercial applications and distributions without prior written permissions of the original authors. Proper acknowledgment should be given in publications resulting from the use of these software. The authors retain all the rights of these software. There is no warranty, expressed or implied, for the use of these software. The authors are not responsible for any possible damages in using these software and no technical support is available to users of these software.

Contacte con nosotros

E-mail: omaeso@ulpgc.es

Enlaces:

- División de Mecánica de los Medios Continuos y Estructuras
<http://www.mmc.siani.es>
- Instituto Universitario de Sistemas Inteligentes y Aplicaciones Numéricas en Ingeniería (SIANI)
<http://www.siani.es>
- Universidad de Las Palmas de Gran Canaria
<http://www.ulpgc.es>

Dirección:

Parque Científico Tecnológico de la ULPGC. Edificio Polivalente I, 2ª Planta.
Campus de Tafira s/n, 35017. Las Palmas de Gran Canaria, Canarias, España

CAPÍTULO 2

PILEDYN

Introducción

Este programa, PILEDYN, surge del deseo de dar a conocer y distribuir parte de la investigación del grupo, así como generar un programa de cálculo para la respuesta dinámica de cimentaciones pilotadas. Más concretamente, se trata de un software de cálculo destinado a obtener las curvas de impedancia dinámica -en el dominio de la frecuencia- de cimentaciones que consisten en un pilote o en un grupo de pilotes. Toda la formulación del modelo, su implementación en un código de ordenador y su validación numérica ha sido desarrollada en el seno del grupo a lo largo de varios años, y en esta tarea han colaborado un buen número de investigadores a lo largo de su desarrollo.

Las características más importantes de PILEDYN son precisamente su especificidad y sencillez: es una herramienta flexible, que se adapta al usuario; pionera, en cuanto a que no existen alternativas dedicadas tan específicamente a la interacción suelo-estructura de grupos de pilotes, y fácil de usar.

Dicha tarea, además, se lleva a cabo como uno de los objetivos comprometidos en el del Proyecto de Investigación “Avances en el desarrollo de modelos numéricos para la caracterización dinámica de cimentaciones para aerogeneradores” (BIA2014-57640-R), financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad (MINECO) y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER).

Objetivo y justificación

Actualmente existen programas de cálculo de estructuras ampliamente conocidos que permiten el análisis de tipologías diversas. Muchos incluyen el cálculo de la cimentación, siempre de acuerdo con la normativa vigente. Sin embargo, también suelen requerir muchos recursos computacionales, así como licencia de uso con coste variable según el caso.

Por ello, PILEDYN se diseña como alternativa a dichos programas comerciales, cuyo objetivo es el de facilitar una herramienta sencilla e intuitiva para el usuario y que permita un cálculo rápido de las principales variables dinámicas que caracterizan el comportamiento dinámico de un pilote o grupo de pilotes.

Está enfocado a usuarios familiarizados con la dinámica de estructuras, quienes podrán sacar un mayor partido de las funcionalidades ofrecidas; pero también está dirigido a todo aquel que, teniendo conocimientos técnicos previos (Resistencia de materiales, cálculo matricial, etc.), desee adentrarse en el campo de la dinámica estructural y que esto pueda hacerlo de forma pedagógica, sencilla, cómoda y amena. Así pues, dicha herramienta permite la resolución de problemas de interés para la comunidad científica especializada en el ámbito; haciendo posible un planteamiento más intuitivo de dichos problemas y más accesible para profesionales no especializados. Por tanto, PILEDYN está pensado para tener uso especialmente en el sector académico, pero también en el sector de la ingeniería de construcción o de estructuras. Es conocida la gran influencia de los efectos dinámicos en determinadas combinaciones de cimentación, suelo y carga; por lo que disponer de software específico puede hacer más efectiva la labor de proyectistas usuarios, entre otros.

Estructura y funcionamiento del programa

El programa está compuesto por tres partes bien diferenciadas: preprocesador (Módulo 1), procesador o "solver" (Módulo 2) y posprocesador (Módulo 3), siendo el módulo de cálculo el núcleo del programa. Los módulos de pre y posprocesado son elementos de alto nivel destinados a facilitar la entrada y salida de datos del solver. Éstos funcionan de manera independiente entre sí, lo que permite utilizar sólo uno de ellos en caso de ser necesario.

En cuanto al funcionamiento, el solver usa de forma combinada el Método de los Elementos Finitos (MEF) y el Método de los Elementos de Contorno (MEC) para el cálculo de la respuesta del pilote o grupo de pilotes. Por ello, se tienen los beneficios de ambas metodologías, sintetizando cada pilote en elementos finitos unidimensionales y discretizando la estratigrafía con elementos de superficie. El resultado se puede apreciar en la Figura 1.

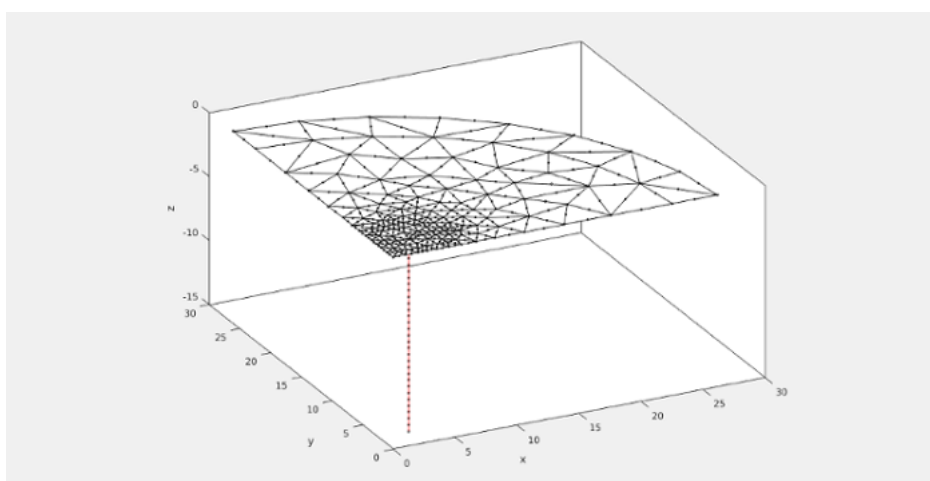


Figura 2.1: Ejemplo de discretización de suelo y pilotes en forma de malla a un 1/4 de simetría.

De ésta manera, lo que se hace es generar las ecuaciones del terreno, las de los pilotes, así como ecuaciones de ensamblaje, para después obtener un sistema de ecuaciones. La resolución de este sistema de ecuaciones permite obtener los desplazamientos y esfuerzos que sufre el pilote en el problema estudiado (Véase el diagrama de flujo de la Módulo 2).

Los módulos de pre y posprocesado, como se menciona previamente, preparan la introducción y facilitan la lectura de los datos de entrada y salida del solver.

El preprocesador, concretamente, toma los datos del problema, genera o lee una malla ya creada y escribe el fichero de entrada del solver (Véase el diagrama de flujo de la Módulo 1). Para ello, se sirve de dos malladores: MESH2D y Gmsh. El posprocesador, en cambio, toma el fichero de salida de solver y procesa los resultados para graficarlos y reescribirlos en un nuevo fichero, con un formato cómodo y sencillo de interpretar por el usuario (Véase el diagrama de flujo de la Módulo 3).

Con todo, y para facilitar el manejo de datos y ficheros, PILEDYN se ha elaborado para ejecutar desde la interfaz gráfica y desde línea de comandos.

Diagramas de flujo

Como se ha indicado previamente, PILEDYN opera en 3 módulos: preprocesado, procesado de los datos propiamente dicho y posprocesado. A continuación se muestran algunos diagramas de flujo, para mostrar ahora de forma esquematizada su comportamiento:

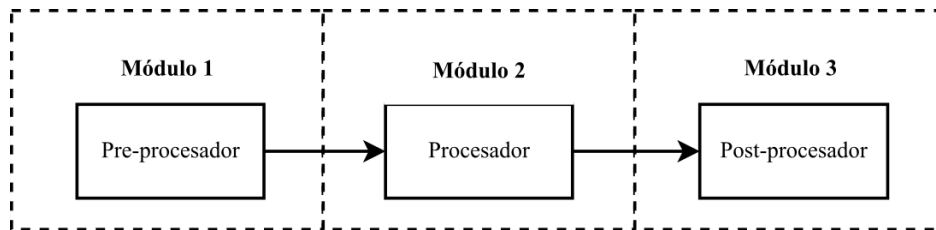


Figura 2.2: Diagrama de flujo global de PILEDYN

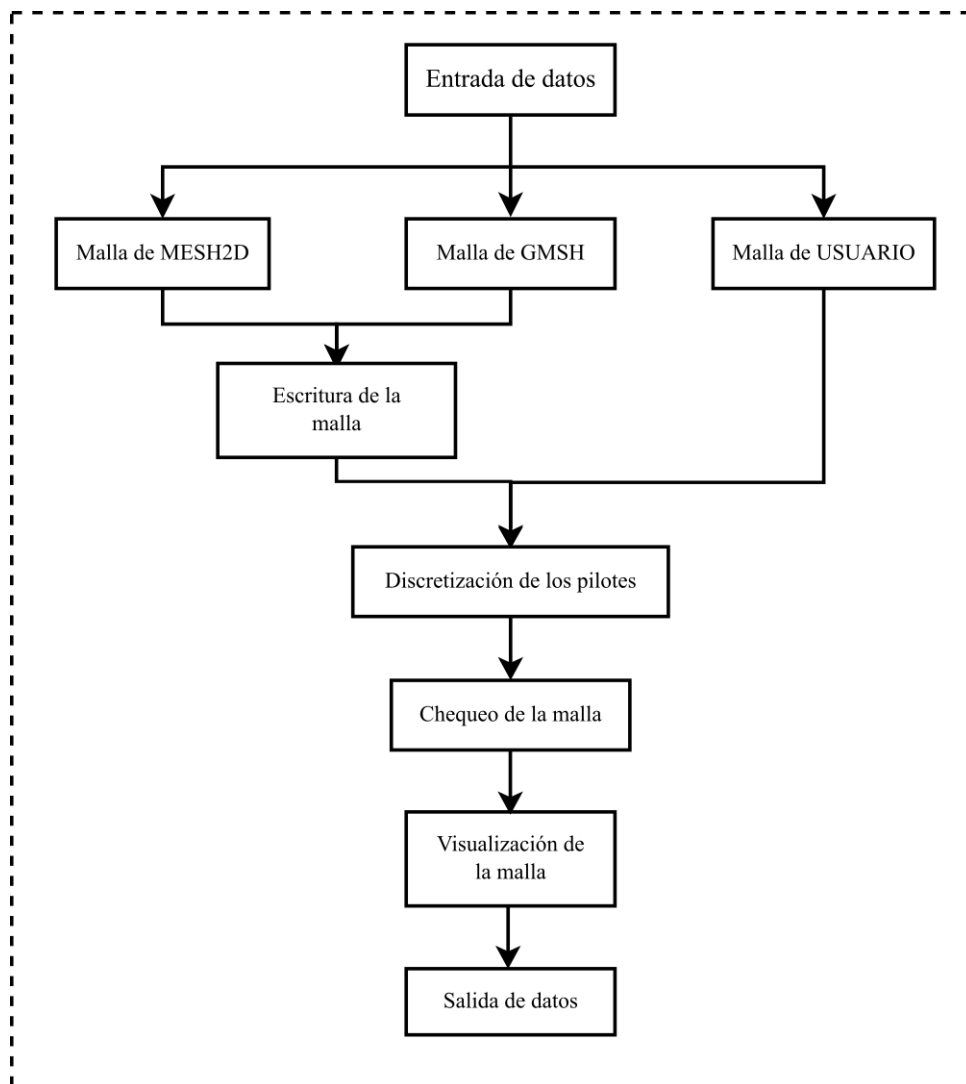


Figura 2.3: Diagrama de flujo del módulo 1 (preprocesado)

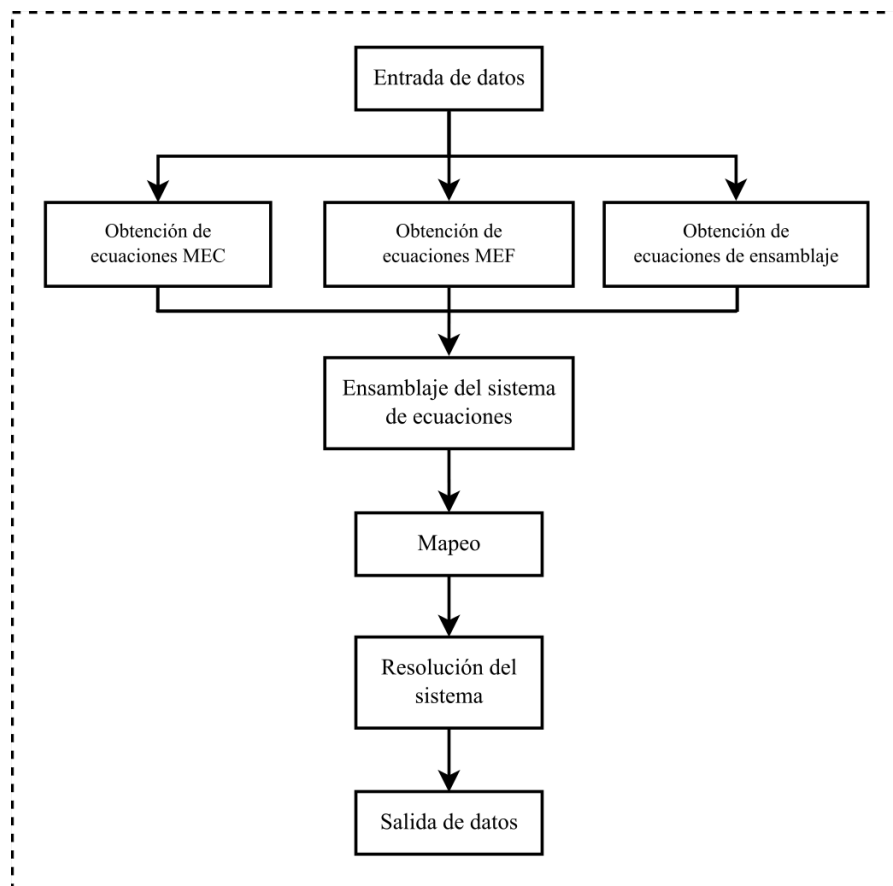


Figura 2.4: Diagrama de flujo del módulo 2 (cálculo)

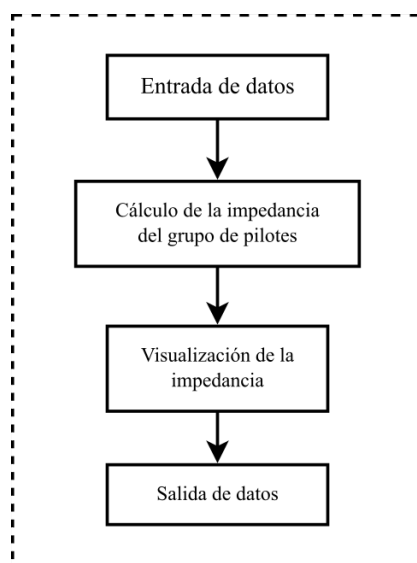


Figura 2.5: Diagrama de flujo del módulo 3 (posprocesado)

CAPÍTULO 3

INSTALACIÓN

El módulo de cálculo de PILEDYN está escrito en lenguaje FORTRAN, mientras que en los módulos de pre y posprocesado se utiliza MatLab. Ambos lenguajes están muy extendidos en ingeniería y se pueden usar en los principales sistemas operativos. Además, PILEDYN está disponible tanto para el entorno Windows como GNU/Linux.

A continuación se indican los requisitos previos y los pasos a seguir para instalar PILEDYN:

Requisitos previos

Por cómo es la estructura del programa es necesario que su equipo tenga instalados los siguientes programas:

- **Matlab, Octave**

Precisamente por estar elaborado con MatLab, el uso de los módulos de pre y posprocesado requiere tener instalado MatLab o algún otro programa que entienda su sintaxis.

Si bien las alternativas existentes son Octave, Scilab, Freemat y Spyder, sólo se asegura el correcto funcionamiento de los módulos de pre y posprocesado en Octave. Por otro lado, sólo es posible ejecutar el programa desde interfaz gráfica con Matlab.

- **Gmsh [Opcional]**

Se debe tener previamente instalado para poder usarlo como mallador cuando se ejecute el preprocesador. La página web del programa es "<http://gmsh.info/>". En ella podrá descargar el instalador adecuado para su sistema operativo.

- **MESH2D [Opcional]**

Lo mismo que sucede con Gmsh: se debe tener previamente instalado MESH2D para poder usarlo como mallador cuando se ejecute el preprocesador. Podrá descargarse el mallador en la página "<https://github.com/dengwirda/mesh2d>", clicando en el botón "Clone or download" y luego en "Download ZIP".

Proceso de instalación

A continuación se indica el procedimiento para instalar PILEDYN, independientemente de qué sistema operativo se use:

1. Descargar el programa.

- (a) Vaya a la página "<http://www.mmc.siani.es/>" y clique en "PILELYN".

- (b) Ahora, rellene el formulario y clique en la opción de descarga adecuada para su sistema operativo.

- (c) Marque la casilla "I agree to the terms" y el captcha, para aceptar los términos de licencia.
- (d) Clique en el botón "Download". Espere a que termine la descarga, y ¡listo!

2. Descomprimir el paquete descargado.

El ejecutable y documentación adjunta se ofrece en formato ".zip". Dicha documentación comprende varios ficheros de ejemplo y el manual de usuario (éste documento), cuyo uso se aconseja en especial cuando se empieza a usar PILEDYN.

3. Mover la carpeta descomprimida a la localización donde desee tener el programa [Opcional]

4. ¡Hemos acabado! Ya puede empezar a usarlo.

CAPÍTULO 4

INSTRUCCIONES DE USO

Para obtener valores de impedancia usando PILEDYN se necesita completar unos pocos pasos:

1. Introducir los datos del problema.
 - (a) Terreno, grupo de pilotes y frecuencias de estudio
 - (b) Malla
2. Ejecutar el módulo de cálculo.
3. Obtener los datos de impedancias.

Como se indica en el capítulo anterior, PILEDYN consta de 3 módulos, que se usan para completar dichos pasos. Así pues, en éste capítulo se explica cómo usar dichos módulos y cuales son las principales cuestiones a tener en cuenta usando el programa.

Módulo 1: introducción de datos del problema

El módulo de preprocesado se encarga de preparar los datos del problema para el módulo de cálculo. Ésto puede hacerse a través de una interfaz o ejecutando desde línea de comandos. A continuación se muestran los pasos a seguir según el caso:

Iniciar el preprocesador

Interfaz

Para ejecutar el preprocesador desde la interfaz basta con ejecutar la función de la interfaz, llamada "PILEDYN_preGUI.m", en el entorno Matlab.

Una vez abierta la interfaz (4.1), se pueden introducir los datos a mano o desde archivos previos, que pueden ser ficheros de texto concretos para cada tipo de dato (Frecuencias, estratigrafía, etc.) o, directamente, un archivo de variable de MatLab (con extensión '.mat').

También en la interfaz, se pueden guardar los datos que tenga almacenados en ese momento la interfaz en el formato de los archivos mencionados. El nombre de dichos ficheros es coincidente al del nombre que se le de al problema en la interfaz, salvo por la extensión. Las posibles extensiones de los ficheros son las mostradas en la tabla 5.1.

Comando

Para ejecutar desde línea de comandos, hay que llamar a la función "PILEDYN_preFILE.m", que necesita los siguientes datos de entrada:

1. *Generar malla*
Dos opciones: Si(1) / No(0). Con éste parámetro se diferencia si se genera una malla o se aporta una ya creada y guardada.

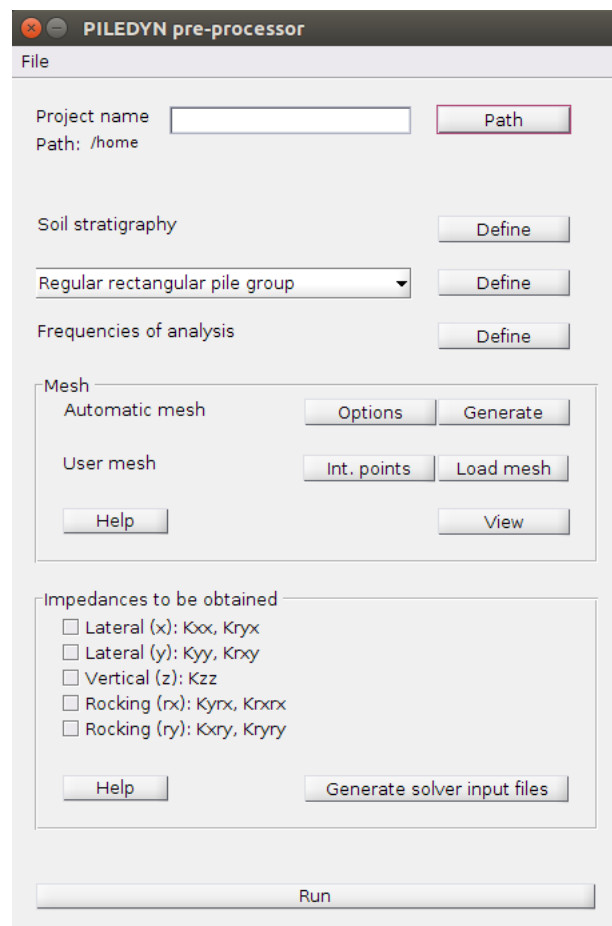


Figura 4.1: Interfaz

2. Visualizar mallas

También dos opciones: Si(1) / No(0). Muy útil si ya se conoce la malla previamente o se están preparando muchos problemas juntos y no se dese tener tantas ventanas emergentes.

3. Nombre del problema

Se asume que la carpeta donde se guardarán y de donde se leeran ficheros se llama así. Además, cuando no se indican expresamente, da nombre a los ficheros de datos de entrada, ya que éstos siempre se pueden diferenciar gracias a que tienen una extensión diferente.

Nótese que así se llaman los ficheros de datos generados por la interfaz; lo cual permite, por ejemplo, utilizar la interfaz y guardar los datos cuando la malla visualizada sea satisfactoria, para después ejecutar desde comando.

4. Ruta

Conduce a la carpeta, cuyo nombre es igual al del problema, que contiene los ficheros de entrada. Puede ser una ruta parcial o completa.

5. Nombre del Fichero de configuración de los pilotes

6. Nombre del Fichero de Estratigrafía

7. Nombre del Fichero de Frecuencias

8. Nombre del Fichero de Opciones de mallado o de Malla [Opcional]

Al especificar si se malla o se carga la malla, se presupone que se introduce sólo uno de los dos ficheros, según el caso.

Nótese que al ejecutar de ésta manera el preprocesador, lo que se hace es escribir el fichero de entrada para el módulo de cálculo. Es muy recomendable prestar atención a la malla generada. Una malla demasiado fina requiere mayores recursos que una más gruesa (memoria RAM, tiempo de computación).

Introducir los datos de terreno, frecuencias y grupo de pilotes

Los datos sobre el terreno, las frecuencias y el pilote o grupo de pilotes caracterizan el problema dinámico que se resuelve. Se recomienda por ello introducirlos en primer lugar.

Se puede hacer de dos maneras: manual, introduciendo los datos uno a uno a través de la interfaz, o automática, cargando los datos desde un fichero el que se han guardado los datos previamente.

A continuación se detalla cómo introducir, guardar y cargar datos:

Introducir datos manualmente

Para empezar, se definen los siguientes datos:

1. Nombre del proyecto:

El nombre del proyecto sirve para designar el nombre de los ficheros con los resultados, que se distinguen entre sí únicamente por un sufijo, que señala el tipo de impedancia calculada (4.1). Para indicarlo, basta con introducir dicho nombre en la casilla que se encuentra a la derecha del texto "Project name", en la parte superior de la interfaz (Véase 4.1).

2. Carpeta del proyecto:

Clique en "Path". Emergerá una ventana. Introduzca en ella la ruta de la carpeta donde desea que se guarden los ficheros de los resultados. Dicha carpeta, además, es donde se presupone que están los ficheros de entrada (en caso de haberlos). Si los ficheros de un tipo u otro están en otra carpeta, el programa no podrá acceder a ellos.

3. Datos del terreno:

A la derecha del texto "Soil stratigraphy" está el primer botón "Define". Cliquelo y emergerá la interfaz que se muestra en la figura 4.2. Rellene los datos.

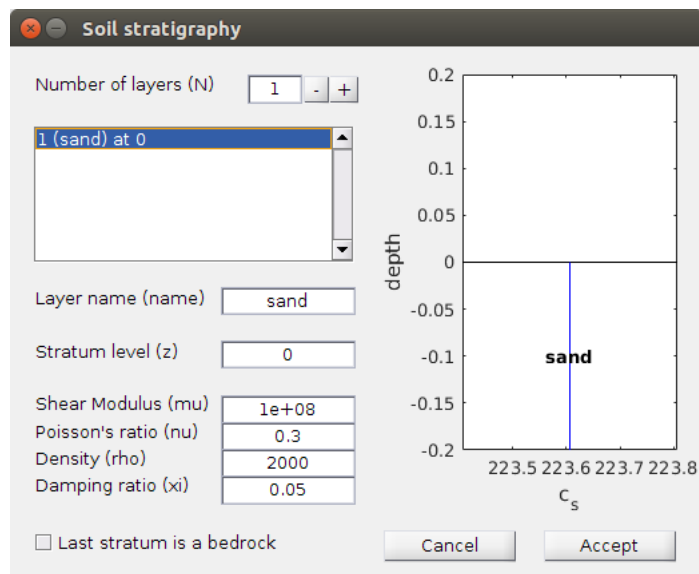


Figura 4.2: Interfaz para introducir datos sobre el terreno.

4. Datos del grupo de pilotes:

Ahora, a la debajo del texto "Soil stratigraphy" hay un desplegable. En él se selecciona el tipo de configuración del grupo de pilotes. Una vez seleccionada una opción del desplegable, clique en el botón "Define" que hay a la derecha del desplegable y emergerá la interfaz que se muestra en la figura 4.3. Rellene los datos.

5. Datos de frecuencias:

Vaya al tercer botón "Define". Cliquelo y emergerá la interfaz que se muestra en la figura 4.4. Rellene los datos.

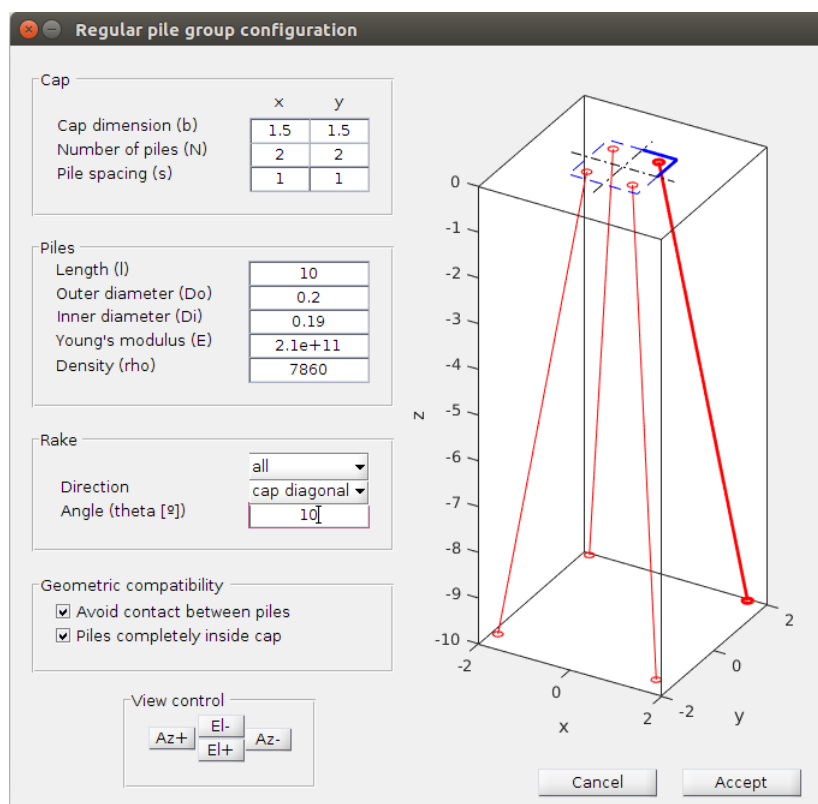


Figura 4.3: Interfaz para introducir datos sobre el grupo de pilotes.

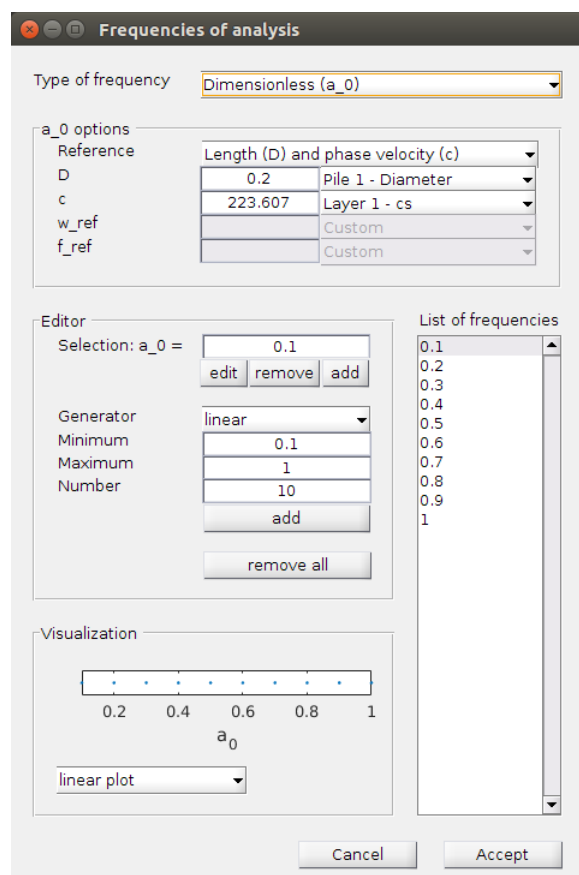


Figura 4.4: Interfaz para introducir las frecuencias de estudio.

NOTA: Preste atención a las unidades de medida. Los resultados no serían muy fiables si los valores introducidos no son coherentes.

Guardar datos

Una vez se han introducido los datos en la interfaz es interesante guardarlos, para poder usarlos de posteriormente sin necesidad de introducir todo de nuevo. Para ello, haga lo siguiente:

1. Clique en el menú "File", que se encuentra en la parte superior de la interfaz, y luego clique en "Save". Emergerá una ventana.
2. Seleccione en ella el tipo de dato que desea guardar y clique en "Aceptar".
Nótese que puede guardarse los datos en forma de variable de Matlab ('.mat') o de fichero de texto ('.soi', '.pil', '.fre', '.mop' o '.mes', dependiendo del tipo de dato). Para saber más acerca de los tipos de fichero, consulte el capítulo 5.
3. ¡Datos guardados!

Éste es un buen momento para pararse un momento a comprobar si se han escrito correctamente los datos o, si ha guardado los datos en ficheros, para familiarizarse con su formato.

Cargar datos automáticamente

Para cargar los datos automáticamente, se necesita tenerlos previamente guardados. Pueden estar almacenados vía fichero de texto o vías variable de Matlab.

Así pues, se pueden cargar los datos desde la interfaz o directamente desde línea de comandos, haciendo lo siguiente:

1. Vaya a "File" y clique en la opción "Load". Emergerá una ventana.
2. Seleccione el fichero o variable que desea cargar. ¡Nada más!

En el caso de los ficheros de texto, pueden generarse a mano o guardando los datos, como se indica en el apartado anterior (Guardar datos). Si quiere saber más acerca del formato de los ficheros, vaya al capítulo 5.

Introducir los datos de la malla

Una vez se tienen los datos del terreno, de las frecuencias y del pilote o grupo de pilotes, se puede generar la malla o cargar los datos de una malla guardada previamente. Los pasos a seguir para cada caso se definen a continuación:

Generar la malla

Para generar la malla, se hace lo siguiente:

1. Seleccionar las opciones de mallado.
 - Clique en "Options". Emergerá una ventana como la que se muestra en la figura 4.6.
 - Ahora, seleccione el mallador y, si no desea usar los valores por defecto, dele valores a los parámetros.
Seleccionar las opciones de mallado adecuadas para el caso es un factor importante para la obtención de resultados fiables, por lo que se recomienda leer el apartado siguiente con atención.
2. Mallar
 - Clique ahora en "Generate". Si la malla es muy fina, podría tomar un poco de tiempo.
 - Espere hasta que termine el proceso. Si el proceso de mallado ocurre sin fallos, aparecerá un letrero indicando el espacio en memoria RAM necesario estimado para los cálculos (Véase la figura 4.5).
 - Clique en "View", para ver una imagen de la malla recién generada. Puede apreciar un ejemplo en la figura 2.1, del capítulo 2.

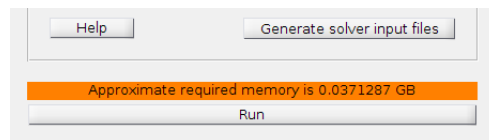


Figura 4.5: Aviso del espacio de memoria RAM necesario para calcular estimado

¡OJO!: Preste especial atención al mensaje de memoria RAM necesaria. Si se exceden las capacidades de su equipo, los cálculos no se podrán hacer y, probablemente, tendrá que apagar y reiniciar su ordenador. Para evitar eso, haga pruebas con los parámetros de mallado hasta estar satisfecho con la malla obtenida.

Opciones de mallado

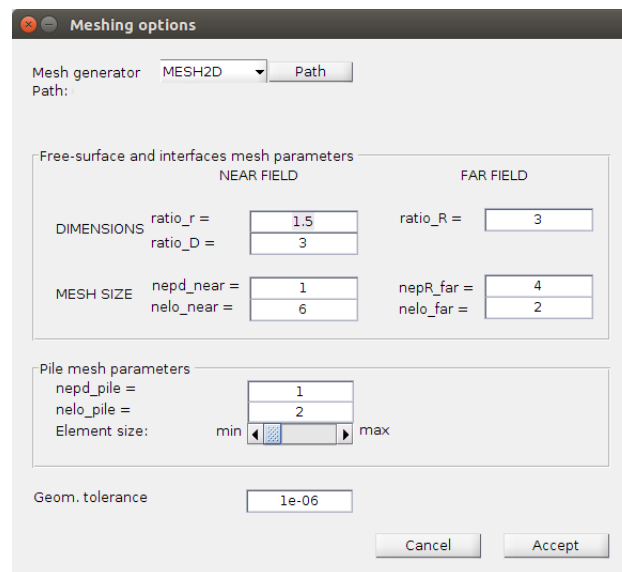


Figura 4.6: Interfaz para definir las opciones de mallado.

Se han establecido algunos parametros predefinidos como opciones de mallado para poder ajustar y tener cierto control sobre la generación de la malla. Si no son definidos por el usuario, se usan los valores por defecto. Los parámetros en cuestión, como se puede ver en la figura 4.7, son los siguiente:

Mallador

En la parte superior de la ventana, puede seleccionar el mallador. Si la ruta por defecto necesita ser cambiada, clique en el botón "Path" y seleccione la ruta hacia el mallador adecuada.

Parámetros para definir la superficie libre e interfaces

El set de parámetros está dispuesto de acuerdo a su rol en la malla. Es necesario definir las dimensiones del campo cercano y lejano, así como el tamaño de la malla. Éstos parámetros juntos con algunas longitudes características de la cimentación (dimensiones del encepado, coordenadas y diámetros de los pilotes), las velocidades de propagación de onda de los estados presentes en el terreno, y la frecuencia máxima de estudio, permiten definir una malla apropiada para el caso.

Nótese que la malla generada se usa por igual para todas las frecuencias de estudio, a pesar de que es bastante conservador en términos de tamaño de los elementos para intervalos de frecuencia bajos y de truncamiento de la malla para las frecuencias altas. Por otro lado, para cada superficie, ya sea la superficie libre o una interfase entre estratos, se calcula la máxima cota del pilote en el *eje x* y el *eje y*, x_{pile} y y_{pile} , para el set de pilotes que cortan con la superficie. Las dimensiones del campo cercano son r_x y r_y , y se calculan como se muestra en la figura 4.7. La dimensión del campo lejano R es simplemente $ratio_R$ multiplicado por la mayor dimensión de la cimentación.

NOTA: Para las estratigrafías con roca madre o "bedrock", se recomienda cambiar hacer $ratio_R \geq 4$.

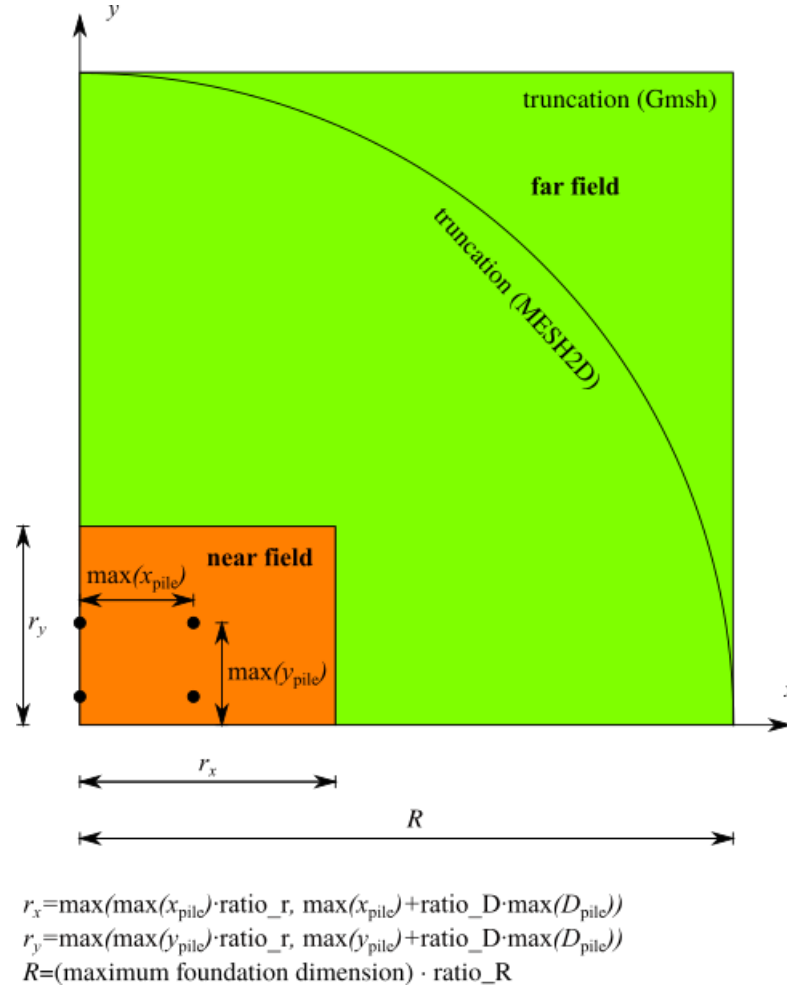


Figura 4.7: Disposición de las dimensiones del campo cercano y lejano y cómo se calculan.

- **Discretización del terreno**

Se tiene un tamaño de malla para el área de campo lejano y otro para el área de truncamiento. Véase:

- **Campo cercano**

El tamaño de malla para el área de campo cercano se halla calculando el mínimo entre dos tamaños de malla: $ms1$, tamaño de malla basado en el número de elementos para el diámetro mínimo de los pilotes, y $ms2$, tamaño de malla basado en el número de elementos por longitud de onda mínima. Sus expresiones son:

$$ms1 = \min(D_{pile}) / nepd_near$$

$$ms2 = \min(\lambda) / nelo_near$$

donde $\min(D_{pile})$ es el diámetro mínimo, $nepd_near$ es el número de elementos por diámetro definido, λ es la longitud de onda, $\min(\lambda) = \min(c_{s-layer\ i}, c_{s-layer\ i+1}) / \max(f)$ y $nelo_near$ es el número de elementos por longitud de onda definido.

- **Campo lejano**

El tamaño de malla en el truncamiento de la malla se calcula como el mínimo entre dos tamaños de malla: $ms1$, tamaño de malla basado en el número de elementos por radio de truncamiento de la malla, y $ms2$, tamaño de malla basado en el número de elementos por longitud de onda mínima. En éste caso, las expresiones de $ms1$ y $ms2$ son:

$$ms1 = R / nepR_far$$

$$ms2 = \min(\lambda) / nelo_far$$

donde $nepR_{near}$ es el número de elementos por radio de truncamiento de la malla, $\min(\lambda) = \min(c_{s-layer\ i}, c_{s-layer\ i+1})/\max(f)$, y nep_{far} es el número de elementos por longitud de onda definido.

- **Discretización de los pilotes**

El tamaño de los elementos del pilote está entre dos límites: $msmin$, tamaño de malla basado en el número de elementos por longitud de onda mínima, y $msmax$, tamaño de malla basado en el número de elementos por diámetro de pilote. Sus expresiones son:

$$msmin = \min(\lambda)/nep_{pile}$$

$$msmax = D/nepd_{pile}$$

donde $\min(\lambda) = (c_s)/\max(f)$, nep_{pile} es el número de elementos por longitud de onda mínima y $nepd_{pile}$ es el número de elementos por diámetro. El parámetro $nepd_{pile}$ debe ser menor a 1, es decir, los elementos del pilote deben ser siempre de tamaño mayor o igual al correspondiente diámetro de pilote.

Cargar malla previa

Para cargar los datos de una malla existente, basta con seguir unos pocos pasos:

1. Clique en "Load mesh". Se abrirá una ventana.
2. Seleccione el fichero de malla que desea usar.
3. ¡Listo!

Si se carga satisfactoriamente la malla, aparecerá un letrero en la interfaz informando del espacio estimado de memoria RAM necesaria para hacer los cálculos con dicha malla.

En cambio, si ha habido algún problema, emergerá una ventana de error con el mensaje "Error when loading user mesh". Si eso ocurre lo más probable es que el fichero no tenga el formato adecuado. Para saber cómo es dicho formato vaya al apartado correspondiente del capítulo 5 o bien, clique en el botón "Help" (situado a la izquierda del botón "View").

NOTA: Sólo se aconseja cargar la malla en lugar de generar una nueva si se usa la configuración concreta con la que se generó dicha malla (mismo terreno + mismo grupo de pilotes) o bien, si se tiene ya cierto rodaje en el tema de dinámica de estructuras, cimentaciones pilotadas, etc.

Módulo 2: cálculo

Teniendo los datos del problema listos, se necesita generar el fichero de entrada y ejecutar el módulo de cálculo. Para empezar, debe tener en cuenta que el fichero se llama de manera diferente según qué impedancia seleccione calcular. Así, el nombre del fichero será:

$$\text{nombre_del_proyecto} + \text{sufijo} + ".dat"$$

Es decir, que lo que varía es el sufijo que se añade al nombre del proyecto. En la tabla 4.1 se indica qué sufijo se añade en cada caso:

| Modo de vibración | GDL | Sufijo |
|-------------------|------------------------------|--------|
| 1 | Desplazamiento lateral en x | "_x" |
| 2 | Desplazamiento lateral en y | "_y" |
| 3 | Desplazamiento vertical en z | "_z" |
| 4 | Rotación en y | "_rx" |
| 5 | Rotación en x | "_ry" |

Tabla 4.1: Ficheros de impedancias: Modos de vibración, gdl y sufijo.

De ésta manera, si tuviéramos un problema con nombre *Test1* y seleccionásemos el modo de vibración *lateral en y*, el nombre resultante para el fichero de entrada al módulo de cálculo sería *Test1_y.dat*. Así pues, una vez se tiene el fichero de entrada, ¡ya se puede mandar a calcular al programa!

Dependiendo de si se quiere hacer desde interfaz o desde línea de comandos, los pasos son:

Interfaz

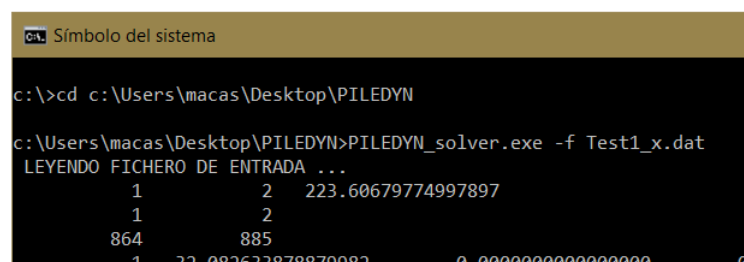
En éste caso, partimos de la interfaz del módulo de preprocesado. Véase:

1. Seleccione las casillas de las impedancias que quiera calcular.
En caso de duda, clique en "Help". En la ventana emergente podrá leer más sobre los modos de vibración y sus impedancias.
2. Clique en "Generate input files".
Si los ficheros se generan sin problemas, emergerá una ventana con el mensaje "File creation succeded". Podrá encontrar los ficheros en la carpeta del proyecto.
3. Finalmente, clique en "Run".
Ahora sólo tiene que esperar a que terminen los cálculos. Encontrará los ficheros de resultados en la carpeta del proyecto también.

Línea de comandos

Si se manda a ejecutar al módulo de cálculo desde línea de comandos es igualmente sencillo. Sólo tiene que hacer lo siguiente:

1. Abra un terminal.
 - Windows: Vaya al menú de búsqueda en la barra de tareas y busque "cmd". Debería abrir una ventana llamada "Símbolo del sistema". Ése es su terminal.
 - GNU/Linux: basta con hacer click derecho y seleccionar la opción "Abrir Terminal".
2. Cambie la ruta del terminal. El objetido es estar en la carpeta o directorio PILEDYN.
 - Ejemplo para Windows: "cd C:\Users\User1\ProgramFiles\PILEDYN"
 - Ejemplo para GNU/Linux: "cd Escritorio/PILEDYN"
3. Ejecute el módulo de cálculo en el terminal. Nótese que se necesita especificar el nombre del fichero de entrada.
 - Ejemplo para Windows: "PILEDYN.solver.exe -f Test1_y.dat"
 - Ejemplo para GNU/Linux: "PILEDYN_solver -f Test1_y.dat"

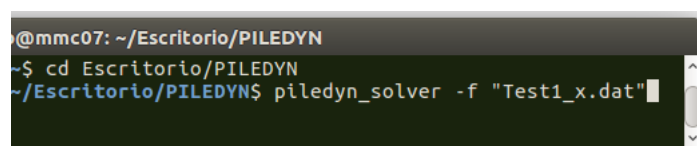


```

c:\>cd c:\Users\macas\Desktop\PILEDYN

c:\Users\macas\Desktop\PILEDYN>PILEDYN_solver.exe -f Test1_x.dat
LEYENDO FICHERO DE ENTRADA ...
      1      2      223.60679774997897
      1      2
    864      885
      1  32 082633878879982  0 0000000000000000 0
  
```

Figura 4.8: Ejemplo de comando para ejecutar el módulo de cálculo en entorno Windows.



```

@mmc07: ~/Escritorio/PILEDYN
~$ cd Escritorio/PILEDYN
~/Escritorio/PILEDYN$ piledyn_solver -f "Test1_x.dat"
  
```

Figura 4.9: Ejemplo de comando para ejecutar el módulo de cálculo en entorno GNU/Linux.

4. Espere a que se terminen los cálculos... y ¡listo!
Cuando eso suceda, debería tener tres nuevos archivos. Todos toman el mismo nombre que el fichero de entrada, pero se diferencian porque se le añade distinta extensión: ".imp.txt", ".time.txt" y ".sei.txt". En caso de duda, en el fichero "Test1_y.txt.time" (por ejemplo) podrá consultar si están todas las frecuencias de estudio. Si están todas, el programa a terminado de calcular.

Módulo 3: obtención de datos de impedancia

El módulo de cálculo devuelve los resultados en forma de fichero. El formato nos da los valores de impedancia de forma indirecta: para poder acceder a valores de impedancia directamente, hace falta operar. De eso se encarga el módulo de posprocesado.

De ésta manera, el módulo de posprocesado toma los datos del fichero de salida del módulo de cálculo y los devuelve simplificados y adimensionales en ficheros de texto y gráficas. Para ello, necesitamos hacer lo siguiente:

1. Seleccionar la ventana de comandos de Matlab/Octave.
2. Cambiar a la carpeta de PILEDYN, si es necesario, y ejecutar un comando como el mostrado en la figura 4.10 (Adáptense los argumentos de entrada según el caso).

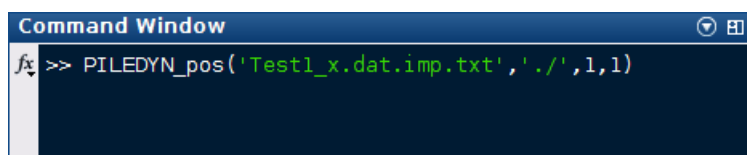


Figura 4.10: Ejemplo de comando para ejecutar el módulo de posprocesado.

Como se puede apreciar, lo que se hace es llamar a la función "Piledyn_pos.m", que tiene los siguientes argumentos:

- *Nombre del fichero de entrada*
Es decir, el nombre del fichero de salida del procesador. Éste contiene por defecto el modo de vibración que calcula (Si se han generado en PILEDYN), y por tanto, las impedancias que se pueden calcular con él.
- *Ruta*
Ruta que lleva al fichero en cuestión.
- *Diámetro de los pilotes*
Se usa para adimensionar las curvas a obtener. Si no se desea adimensionar, basta con introducir un valor igual a 1.
- *Coeficiente de del suelo*
Se usa para adimensionar las curvas a obtener. Si no se desea adimensionar, basta con introducir un valor igual a 1.
- *Modo de vibración* [Opcional]
Cuando el nombre del fichero de entrada al posprocesador lleva implícito el modo de vibración, se puede obviar éste argumento, pero si se introduce un nombre cualquiera (ejemplo: "ResultadosProblema1.txt"), es necesario indicar qué modo de vibración se estudia.

3. ¡Listo!, ¡hemos terminado!

CAPÍTULO 5

FICHEROS DE ENTRADA Y SALIDA DE DATOS

El programa PILEDYN se compone de tres módulos: un preprocesador, un procesador o solver y un posprocesador. Cada uno de ellos puede funcionar de forma independiente, siempre y cuando se disponga de los datos de entrada que requiera el módulo en cuestión.

Si bien las instrucciones que se muestran en el capítulo 4 son suficientes para hacer funcionar el programa, en éste capítulo se pretende facilitar la elaboración de dichos ficheros y la lectura de los de salida; indicando qué valores poner, en qué orden y porqué, es decir, el formato de cada uno.

Módulo de preprocesado

El módulo de preprocesado prepara los datos del problema y genera un archivo que puede entender el módulo de cálculo. Los datos del problema, a su vez, se pueden guardar en 5 ficheros que detallan la configuración del grupo de pilotes, la estratigrafía del terreno, los datos relativos a las frecuencias de estudio y, en su caso, los parámetros de mallado o la malla del terreno.

| Tipo de dato | Extensión del fichero |
|---------------------|-----------------------|
| Configuración | .pil |
| Estratigrafía | .soi |
| Frecuencias | .fre |
| Opciones de mallado | .mop |
| Malla | .mes * |

Tabla 5.1: Extensión ficheros de entrada preprocesador

Todos ellos se nombran por defecto como el caso de estudio, teniendo una extensión diferente según el caso, como se muestra en la tabla 5.1. Además, cada uno tiene su propio formato (*Ojo: se puede confundir ".mes" con ".msh", típica extensión de mallas de otros programas). Véase a continuación:

Configuración del grupo de pilotes

Dentro de la configuración del grupo de pilotes, lo primero a indicar es el tipo de grupo: si regular o genérico, entendiendo por regular todo grupo $N \times N$ o $M \times N$ cuyos pilotes compartan las mismas propiedades y sean equidistantes entre sí, distinguiendo entre distancia en el eje x e y .

Grupo regular

Así, el aspecto del fichero de entrada para definir un grupo regular de pilotes sería el siguiente, que se construye siguiendo los pasos que se muestran a continuación:

```

< regular >
< longitud del encepado en x >    < longitud del encepado en y >
< n° de pilotes en x >            < n° de pilotes en y >
< distancia entre pilotes en x >  < distancia entre pilotes en y >
< longitud de los pilotes >
< Rake >
< RakeDirection >
< RakeAngle >
< Do > < Di > < E > < rho >

```

- Se indica que el grupo es regular.
- Se introducen parejas de valores, correspondientes al valor a lo largo del eje x y del eje y de la longitud del encepado, el número de pilotes y la distancia entre pilotes.
- Después, la longitud de los pilotes y tres parámetros que definen su inclinación:
 - *Rake*: indica si existe inclinación o no, y en qué pilotes. Toma valor (1) si los pilotes son verticales; valor (2), si se inclinan sólo los exteriores y valor (3), si se inclinan todos los pilotes.
 - *RakeDirection*: indica la dirección en la que se inclinan los pilotes. Toma valor (1) si se inclinan a lo largo de x ; (2), si se inclinan a lo largo de y y valor (3), si se inclinan gradualmente hacia la diagonal del encepado
 - *RakeAngle*: indica el ángulo de inclinación respecto a la horizontal, en grados $([-90^\circ, +90^\circ])$.
- Y finalmente, en lo que a los pilotes respecta, sólo queda indicar las propiedades físicas de los pilotes. Se introducen, pues, el diámetro exterior (Do), el diámetro interior (Di) y el módulo de Young (E) y la densidad (ρ) de los pilotes, donde $Di = 0$ si la sección es llena y $Di \rightarrow Do$, si es hueca.

Grupo genérico

En caso de no tener un grupo regular, se pueden introducir los datos relativos a los pilotes pilote a pilote. Primero, se indica el tipo de grupo y las dimensiones del encepado:

```

< generic >
< longitud del encepado en x >    < longitud del encepado en y >

```

Después, podemos encontrar dos formatos:

- (A) introduce las coordenadas x , y y z de cabeza y punta

```

< rake >
< id pilote 1 > < coord. x cabeza > < coord. y cabeza > ...
    < coord. z cabeza > < Rake > < RakeAngle > < RakeDirection >
< ... >
< id pilote N > < coord. x cabeza > < coord. y cabeza > ...
    < coord. z cabeza > < Rake > < RakeAngle > < RakeDirection >

```

- (B) señala las coordenadas x , y y z de cabeza y el ángulo y dirección en que se inclinan los pilotes.

```

< coordinates >
< id pilote 1 > < coord. x cabeza > < coord. y cabeza > ...
    < coord. z cabeza > < coord. x punta > < coord. y punta > ...
    < coord. z punta >
< ... >
< id pilote N > < coord. x cabeza > < coord. y cabeza > ...
    < coord. z cabeza > < coord. x punta > < coord. y punta > ...
    < coord. z punta >

```


Así, necesitamos especificar qué formato de sigue, para después indicar los valores descritos. Después, queda únicamente especificar las propiedades físicas de cada pilote, que son de nuevo Do , Di , E y ρ :

```
< id pilote 1 > < Do > < Di > < E > < rho >
< ... >
< id pilote N > < Do > < Di > < E > < rho >
```

Estratigrafía

Definir el terreno, a diferencia de los pilotes, necesita de pocos parámetros: sólo hay que indicar el número de estratos (dominios) presentes en el terreno y las propiedades de cada uno de ellos, empezando por el estrato más superficial y acabando con el más profundo, incluyendo la roca madre o *bedrock* (si es el caso):

```
< n° de dominios >
< id dom. 1 > < z > < 0 > < G > < nu > < rhos > < xi >
< ... >
< id dom. Ndom > < z > < 0 > < G > < nu > < rhos > < xi >
```

siendo dichas propiedades el nombre del estrato (*id dom.*), la cota vertical del estrato (z), si se trata de un *bedrock* (en cuyo caso la línea acaba aquí), el módulo de rigidez (G), el coeficiente de Poisson (ν) y la densidad (ρ) y coeficiente de amortiguamiento (ξ) del suelo o estrato.

Frecuencias de estudio

Los parámetros a especificar en relación a las frecuencias de estudio tampoco son muchos; únicamente los siguientes:

```
< tipo de frecuencia >
< n° de frecuencias >
< valor de frecuencia 1 > ... < valor de frecuencia N >

< tipo de frecuencia de referencia >
< valor de referencia 1 > < valor de referencia 2** >
```

donde el tipo de frecuencia se refiere a si se usa:

1. Frecuencia adimensional (a_0)
(**) Nótese que en el caso de seleccionar el la frecuencia de referencia adimensional, se introducen dos valores en lugar de uno: los correspondientes al Do y a la velocidad de propagación de onda en el estrato (cs) que se consideren.
2. Frecuencia radial (ω)
3. Frecuencia dimensional (f)

Opciones de mallado

Las opciones de mallado son parámetros que se han introducido con el objetivo de dar más control al usuario sobre la malla que se obtiene. En el apartado "Opciones de mallado" del capítulo 4, se describe para qué sirve cada parámetro. Ahora, se muestra el formato del fichero correspondiente.

Para empezar, como se permite generar la malla por dos vías, se indica qué mallador se usa, si MESH2D (1) o Gmsh(2); tras lo cual se definen el resto de parámetros:

```

< 1 | 2 >
< ratio_r > < ratio_D >
< ratio_R >
< nepl_near > < nepl_far > < nepd_pile >
< nelo_near > < nelo_far > < nelo_pile >
< t >
< tolerancia >

```

Malla

Si con los parámetros mostrados no fuera suficiente para llegar a la malla deseada, se puede introducir una propuesta por el usuario directamente, siempre y cuando tenga un formato *entendible* para el programa y se cumplan algunos requerimientos mínimos:

Formato del fichero de malla

El fichero debería tener una pinta tal que:

```

< Nn >
< id. nodo 1 > < coordenada x > < coordenada y > < coordenada z >
< ... >
< id. nodo Nn > < coordenada x > < coordenada y > < coordenada z >

< Ne >
< id. elemento 1 > < 2 > < Ne node > < id. surp. > ...
    < id. nodo 1 > ... < id. nodo Ne node >
< ... >
< id. elemento Ne > < 2 > < Ne node > < id. surp. > ...
    < id. nodo 1 > ... < id. nodo Ne node >

```

donde Nn es el número total de nodos en la malla, Ne es el número total de elementos en la malla, $Nenode$ es el número de nodos en el elemento (puede cambiar de elemento a elemento) e id hace referencia al identificador (número entero) del nodo, elemento o superficie.

De ésta manera, tenemos primero el número de nodos, seguido de una lista donde se detalla las coordenadas de cada nodo; y tenemos el número de elementos y otra lista donde se describe el tipo de elemento (2, siempre cuadrático), el número de nodos de dicho elemento, la superficie en la que se encuentra el elemento y los identificadores de los nodos que componen el elemento.

Ojo: sólo se consideran elementos cuadráticos de 9 o 6 nodos (cuadriláteros o triangulares, prespectivamente), y el criterio de ordenación de los nodos asumido es el estandar mostrado en la figura 5.1

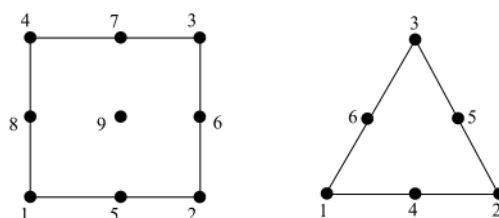


Figura 5.1: Orden de los nodos para elementos cuadráticos cuadriláteros (9 nodos) y triangulares (6 nodos).

Otras consideraciones

Cuando el fichero de la malla tiene el formato correcto, sus valores pueden ser leídos, pero ésta no es condición suficiente para garantizar que la malla dé resultados fiables. Para ello, se debe comprobar si se cumplen ciertas condiciones. éstas son:

- Todos los nodos deben estar en el primer cuadrante ($x \geq 0, y \geq 0, z \leq 0$).
 - La superficie libre y las interfases entre estratos deben estar a su respectiva cota en z . Nótese que la superficie libre debe estar en $z = 0$.
 - Cada superficie libre e interfase entre estratos debe tener dos superficies. La primera corresponde a la discretización propiamente dicho, mientras que la segunda superficie sirve como cierre de la primera superficie con una sola capa de elementos (llamados "elementos de cierre", casualmente). Por ejemplo, una estratigrafía compuesta por tres estratos tiene:
 - superficie libre ($z = z_1 = 0$)
 - interfase entre el estrato 1 y 2 ($z = z_2$)
 - interfase entre el estrato 2 y 3 ($z = z_3$)
- Así, la superficie libre contendría las superficies 1 y 2, la primera interfase tendría las superficies 3 y 4 y la segunda interfase, las superficies 5 y 6.
- Los puntos de intersección entre pilotes y superficie (superficie libre o interfases entre estratos) deben estar definidos entre los nodos de la malla. Éstos se facilitan en un fichero de texto plano ("*project_path/project_name_ip.txt*") clicando en el botón "Int. points" en la interfaz.
 - Todos los elementos de la malla deben tener orientación positiva respecto al *eje z*.

Módulo de cálculo

El módulo de cálculo, núcleo del programa, toma los datos de entrada y devuelve los de salida vía fichero para ambos casos. A continuación se describe el formato de ambos ficheros.

Fichero de entrada

Éste fichero, como se ha dicho anteriormente, resume los datos del problema. Empieza con la estratigrafía, comenzando por especificar el número de estratos o dominios presentes en el terreno y se define el vector de frecuencias para el que se calcula el grupo de pilotes:

```
< n° dominios > < n° frecuencias > < frecuencia de referencia >
< frecuencia-adimensional 1 > ... < frecuencia-adimensional N >
```

Después de lo cual, se definen los estratos. Primero, indicando lo siguiente para cada dominio:

```
< id de dominio 1 > < 2 >
< ... > < 2 >
< id de dominio Nd > < 2 >
```

donde N_d es el número total de dominios. Luego, indicando las características del estrato:

```
< id de dominio > < 0 >
< id de dominio > < G > < nu > < xi > < rho > < 0 >
```

donde G es la constante de rigidez del suelo, nu es su coeficiente de Poisson, xi es el coeficiente de amortiguamiento y rho es la densidad del suelo.

Una vez hecho ésto, podemos definir la malla del terreno. Empezando por los nodos, tenemos el número de nodos de la malla de suelo y el número de nodos de la malla total (suma de nodos de suelo y pilotes):

```
< n° de nodos de malla de suelo > < n° de nodos total >
```

tras lo cual, se define una lista con el identificador (siempre un valor entero) y las coordenadas de los nodos:

```
< id nodo 1 > < coordenada x > < coordenada y > < coordenada z >
< ... >
< id nodo N > < coordenada x > < coordenada y > < coordenada z >
```

Hecho ésto, podemos definir los elementos de la malla del suelo, indicando el número de elementos de la malla, el identificador del elemento de mayor numeración y el número máximo de elementos por dominio:

```
< n° elementos > < id elemento de mayor numeración > < 0 >
```

indicando después el número de nodos que componen el elemento y el identificador de dichos nodos para cada elemento:

```
< id elem. 1 > < n° nodos elem. > < id nodo 1 > ... < id nodo Ne>
< ... >
< id elem. Ne > < n° nodos elem. > < id nodo 1 > ... < id nodo Ne>
```

donde N_e representa el nodo de mayor numeración del elemento.

Seguidamente, teniendo los nodos y elementos de la malla, podemos empezar a definir los contornos. Así, se indica el número de contornos, el identificador del contorno de mayor numeración y el número máximo de contornos por dominio:

```
< n° cont. > < id cont. mayor numeración > < n.º máx. cont./dom >
```

Para, después, asociar la información de los elementos de malla a los contornos, al indicar el número de nodos y el identificador del primer y último elemento no ficticio para cada contorno (En caso de que el contorno incluya elementos ficticios, estos se incluyen en el numero total):

```
< id contorno 1 > < n.º nodos cont. > < id primer elem. > ...
< id último elem. no ficticio >
< ... >
< id contorno Nc > < n.º nodos cont. > < id primer elem. > ...
< id último elem. no ficticio >
```

A continuación, se asocian los contornos a los distintos dominios, indicando la cantidad y qué contornos pertenecen a cada dominio (En el caso de que la normal interior al dominio coincida con la normal con que se definió el contorno, el numero del contorno se precede de un signo menos, para definir cual es la normal exterior):

```
< id dom. 1 > < n° cont. dom. > < id cont.1 > ... < id cont.Ndom >...
< -id dom2 >
< ... >
< id dom. Nc-1 > < n° cont. dom. > < id cont.1 > ... < id cont.Ndom >...
< -id domNc >
< id dom. Nc > < n° cont. dom. > < id cont.1 > ... < id cont.Ndom >
```

donde N_{dom} representa el contorno de mayor numeración del dominio.

También se indican las condiciones de contorno a aplicar en cada contorno, creando otra lista:

```
< id contorno1 > < CC >
```

donde CC representa la condición de contorno aplicada. Según el tipo de contorno en el que nos encontremos, ésta podrá tomar valor "22" (superficie libre), "7" (interfase entre estratos) o "32" (bedrock).

Además, se deben definir las condiciones de simetría del problema, aportando lo que llamaremos *vector alfa* en función de la impedancia que se desea calcular:

```
< ux(sim.)      > < uy(sim.)      > < uz(sim.)      > < s(sim.)      >
< ux(anti-sim.)> < uy(anti-sim.)> < uz(anti-sim.)> < s(anti-sim.)>
```

Dicho vector se construye hallando el vector unitario de cada desplazamiento para el caso de simetría y anti-simetría, tomando como referencia el desplazamiento o giro correlativo a la impedancia que se desea calcular. Así, por ejemplo, el vector para la impedancia en x quedaría:

```
< 1 > < -1 > < 1 > < 1 >
< 1 > < -1 > < -1 > < -1 >
```

Por otro lado, se incluyen los siguientes valores y se indica el número de líneas de carga por dominio, así como el número de líneas de carga total:

```
< 0 > < 1 >
< 0 >
< 1 >

< id dominio > < n° de líneas de carga del dominio >
```

Para, una vez hecho eso, definir las líneas de carga (ldc) de cada dominio. Se empieza identificando la primera línea de carga y la última del dominio:

```
< id ldc inicial del dominio > < id ldc final del dominio >
```

Y, a continuación, se definen los nodos correspondientes a cabeza y punta de la línea de carga, si dichos nodos coinciden con un nodo de la superficie de elementos de contorno (Se debe poner un "1" en tal caso, para realizar una estrategia de colocación no nodal, y "0", en caso contrario), así como sus coordenadas:

```
< id nodo punta > < id nodo cabeza >
< 0 > < 1 > < 0 > < 0 | 1 >
< coordenada x nodo punta > < coordenada x nodo cabeza >
< coordenada y nodo punta > < coordenada y nodo cabeza >
< coordenada z nodo punta > < coordenada z nodo cabeza >
```

Debe tenerse en cuenta que los nodos de los pilotes estén numerados de forma creciente en el sentido positivo del *eje z*. Además, los nodos en los acoplamientos entre líneas de carga se duplican.

Una vez especificado lo anterior para cada línea de carga, se necesitan las características físicas, es decir, modulo de Young (E), la diferencia de densidades (ρ) entre pilote y suelo, el área de la sección transversal del pilote (A), la inercia (I) y el radio exterior del pilote (R_{ext}):

```
< E > < (rho pilote - rho del suelo) > < A > < I > < Rext >
```

Así como las condiciones de contorno en los extremos del pilote. Para ello se indica primero si estamos en el primer estrato o no. Si no es el caso, se introduce simplemente lo siguiente:

```
< 0 > < 0 >
```

mientras que si estamos en el primer estrato, necesitamos detallar qué tipo de impedancia se va a calcular. De forma genérica, nos queda lo siguiente:

```
< 0 > < 1 >  
  
< 0 > < x >  
< 0 > < y >  
< 0 > < z >  
< 0 > < rx >  
< 0 > < ry >
```

donde x , y , z , rx y ry toman distintos valores. Así, se anulan todos los valores excepto el específico de cada caso, según el modo de vibración que se observe:

- Vibración horizontal en el eje x : $x = 1$
- Vibración horizontal en el eje y : $y = 1$
- Vibración vertical en z : $z = 1$
- Vibración rotando en el eje x : $z = (\text{coordenada y nodo cabeza})$, $rx = -1$
- Vibración rotando el eje y : $z = (\text{coordenada x nodo cabeza})$, $ry = 1$

Finalmente, se debe definir el acoplamiento entre las mismas en los distintos dominios, para dar entidad al pilote a través de la estratigrafía. Para ello, se indica el identificador de cada línea de carga para un mismo punto (nótese que, como se dijo anteriormente, los nodos en las interfases están doblados), quedando una pareja de nodos por cada intersección entre pilote y cambio de estrato:

```
< n° de acoplamientos de ldc >  
< id nodo ldc 1 > < id nodo ldc 2 >
```

Ficheros de salidas

El módulo de cálculo devuelve 3 ficheros. Cada uno contiene información diferente. Véase:

- Fichero de impedancias
Su extensión es ".imp.txt" (Ejemplo: "Test1_y.dat.imp.txt"). En él se encuentran los resultados de los cálculos para impedancias.
- Fichero de esfuerzos internos
Su extensión es ".sei.txt" (Ejemplo: "Test1_y.dat.sei.txt"). En éste, los resultados están referidos a los esfuerzos internos.
- Fichero de tiempos
Su extensión es ".time.txt" (Ejemplo: "Test1_y.dat.time.txt"). En éste último fichero, lo que tenemos es una tabla con el número de grados de libertad y una tabla donde se relaciona la frecuencia, el tiempo de montaje del sistema de ecuaciones, el tiempo de resolución del sistema de ecuaciones, el tiempo total y el tiempo acumulado hasta el momento. Todo, en función de la frecuencia correspondiente.

Es interesante familiarizarse con estos ficheros, puesto que pueden ser una herramienta útil tener para un mejor control del módulo de cálculo. Para nuestro caso, el fichero de resultados de impedancias es el de mayor interés. Por ello, se muestra su formato a continuación:

```

[pilote 1]
< id frec. > < frec. > < frec. ref. > < ldc > < coord. x cabeza > ...
    < coord. y cabeza > < coord. z cabeza > < coord. x punta > ...
    < coord. y punta > < coord. z punta > < Fx_r > < Fx_i > < Fy_r > ...
    < Fy_i > < Fz_r > < Fz_i > < My_r > < My_i > < -Mx_r > < -Mx_i >

[...]

[pilote Np]
< id frec. > < frec. > < frec. ref. > < ldc > < coord. x cabeza > ...
    < coord. y cabeza > < coord. z cabeza > < coord. x punta > ...
    < coord. y punta > < coord. z punta > < Fx_r > < Fx_i > < Fy_r > ...
    < Fy_i > < Fz_r > < Fz_i > < My_r > < My_i > < -Mx_r > < -Mx_i >

```

donde F_x , F_y y F_z se refieren a las fuerzas en el *eje x*, en el *eje y* y en el *eje z*, M_x y M_y son los momento en el *eje x* e *y*, r e i se refieren a la componente real e imaginaria (son todo esfuerzos complejos) y Np es el número de pilotos.

Dicho de otro modo, se tienen 20 columnas en las que se definen los datos de frecuencia, la línea de carga y las fuerzas sobre la cabeza del pilote, por pilote.

Módulo de posprocesado

El modelo de posprocesado toma el fichero de salida del procesador, descrito en el apartado anterior, y lo traduce en tantos archivos de texto y gráficas como impedancias se hayan calculado. De ésta manera, se obtiene una visual rápida con los resultados (por la gráfica) y se almacenan los datos para posibles usos posteriores (por el fichero).

Los ficheros de impedancia tienen el siguiente formato:

```

< Frecuencia 1 > < k > < c >
<      ...      >
< Frecuencia Nf > < k > < c >

```

donde k es la parte real de la impedancia, c es la parte imaginaria de la impedancia y Nf es el número de frecuencias.