

Trabajo fin de carrera

Realización de un tutorial de SEAFEM para analizar el comportamiento de estructuras en la mar

Autores: Canela Mata, Antoni i Segalés Torras, Jordi.

Tutor: Xavier Martinez

Titulación: Diplomatura en Máquinas Navales.

Facultad de Náutica de Barcelona UPC.

AGRADECIMIENTOS

Agradecer el presente trabajo a nuestro director *Dr. Xavier Martínez García* por la oportunidad de realizar este proyecto, así como a los *Dr. Julio García Espinosa* y *Dr. Borja Serván Camas* por el apoyo técnico con el programa SeaFEM.

Agradecer también a las respectivas familias todo el apoyo de estos años de estudio, que ha hecho posible la culminación de esta titulación a los autores.

ÍNDICE

1.	Introducción:	4
2.	Necesidad interacción fluido-estructura:	5
3.	Ejemplos de aplicación:	6
3.1.	Buques:	6
3.2.	Plataforma semisumergible:	6
3.3.	Dispositivo OWC:	7
3.4.	Estructura tipo TLP:	7
3.5.	Estructura tipo SPAR:	8
3.6.	Otras estructuras:	8
4.	Comportamiento en la mar. Teoría :	9
4.1.	Teoría lineal de movimientos y cargas inducidas por las olas:	9
4.2.	Análisis del comportamiento en la mar. Ecuación de la dinámica:	14
5.	Necesidad de un programa de cálculo:	16
6.	Descripción SeaFEM:	17
6.1.	Introducción al programa:	17
7.	Necesidad de un tutorial:	28
7.1.	El entorno:	28
7.2.	La representación:	28
7.3.	El mallado:	28
7.4.	Resultados:	28
8.	Objetivos del tutorial:	29
8.1.	Objetivos generales:	29
8.2.	Tutorial 1 Contenedor:	29
8.3.	Tutorial 2 Boya;	31
8.4.	Tutorial 3 Espigón:	33
9.	Conclusiones:	34
10.	Bibliografía:	35
	ANEXOS	36

1. Introducció:

El presente trabajo, se realiza como la culminación de los conocimientos obtenidos en la titulación de Diplomatura en Máquinas Navales y con el objetivo de cerrar un ciclo estudiantil por parte de los autores. Para ello tras la consulta con el profesor tutor, el cual colaboró con anterioridad con otros proyectos realizados por los autores, se ha considerado oportuna la realización de este trabajo a modo de tutorial.

Este tutorial está compuesto por unos ejemplos explicativos que permiten interactuar, de forma sencilla, con el programa SeaFEM. Este programa permite, mediante el uso del Método de los Elementos Finitos, modelar la mar, tanto su oleaje como sus corrientes así como los elementos que por alguna necesidad se introducen en ella para realizar una función (barcos, plataformas, boyas, elementos para captación de energía, diques, etc.). De este modo se puede conocer la interacción, es decir, las acciones que ejerce el mar sobre dichos elementos, en función del tipo de oleaje y corrientes y el elemento de estudio. Este hecho es muy importante en la fase de diseño de cualquiera de estos elementos dado que muestra las zonas críticas o susceptibles a fallo y las zonas no críticas, de modo que puede dar lugar a un óptimo diseño del elemento.

En este trabajo concretamente se analizan 3 tipos de elementos que son un contenedor que cae a la mar, una boya y la pared de un espigón de un puerto y lo que se muestra es como se representan cada uno de estos elementos, así como la discretización del mar, como se introducen las condiciones de contorno en cada situación y todos los pasos necesarios para que el programa realice el cálculo. Finalmente se enseña cómo se analizan los resultados obtenidos en cada uno de los casos.

2. Necesidad interacción fluido-estructura:

En la naturaleza hay una gran cantidad de fenómenos asociados a los fluidos, motivo por el cual son un tan importante objeto de estudio en ingeniería. Para poder estudiar los fluidos los científicos se han planteado desde hace siglos las formulaciones para comprenderlos, mediante el uso de las matemáticas. Conocidas las principales leyes de la mecánica de fluidos y consideradas oportunas un conjunto de simplificaciones, se han diseñado programas en ordenador para la obtención de soluciones de problemas complejos, los cuales reciben los acrónimos de CFD (Computational Fluid Dynamics).

Este tipo de programas proporcionan información tanto cuantitativa como cualitativa referente a la predicción del flujo de fluido a través de la solución de las ecuaciones comentadas. Este hecho permite a científicos e ingenieros el desarrollo de experimentos numéricos en un entorno virtual pudiendo predecir el comportamiento del elemento que estén estudiando, ante la acción de un fluido.

En el ámbito de la Ingeniería Naval son programas de gran interés y utilidad, dado que las estructuras se diseñan para trabajar en un medio fluido, dinámico, como es el agua de mar. Es por este motivo que en las fases iniciales de diseño de elementos como buques y plataformas esta interacción es tomada en cuenta para conocer las acciones a las que va a estar sometida la estructura para diseñar correctamente los mismos.

3. Ejemplos de aplicación:

En el ámbito de la Ingeniería Naval existen muchos campos en los cuales se diseñan estructuras que son de uso directo en el mar, es decir, en contacto con fluidos de forma permanente. Estos campos pueden ser:

3.1. Buques:

Para el diseño de buques es utilizado para saber cómo este se comportará en condiciones de mar adversas sin que se produzcan daños a la mercancía, o en el caso de buques de pasajeros, para que estos no se mareen.

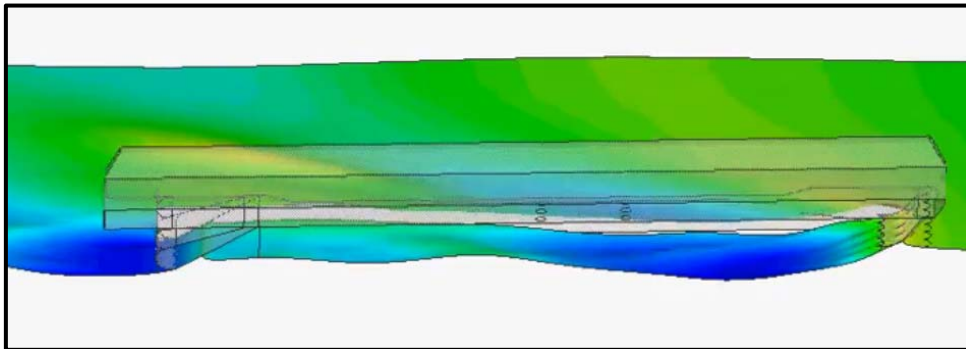


Figura 1: Análisis de un buque.

3.2. Plataforma semisumergible:

Para el diseño de plataformas, como pueden ser de tipo semisumergible, es utilizado para calcular el efecto que tendrán las cargas dinámicas en la estructuras, además de evaluar las condiciones de operación para que el “riser” no rompa durante el proceso de perforación o exploración petrolífera.

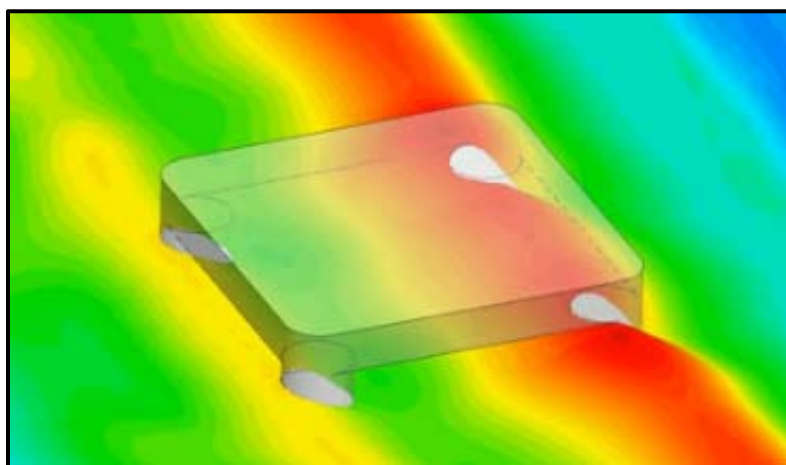


Figura 2: Análisis de una plataforma semisumergible.

3.3. Dispositivo OWC:

Para el diseño de dispositivos de aprovechamiento de la energía del oleaje, este programa permite desarrollar metodologías con el fin de optimizar la geometría de dichas estructuras con el fin de maximizar su rendimiento.

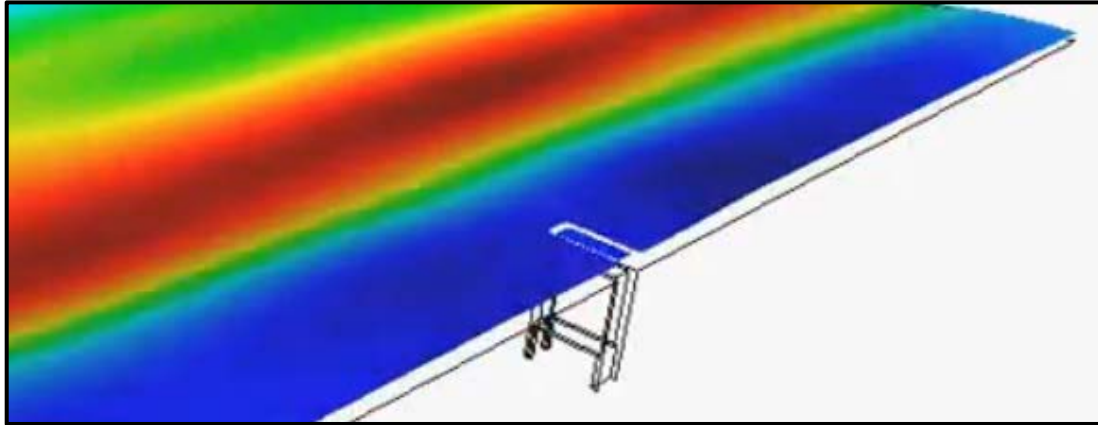


Figura 3: Análisis de un colector OWC.

3.4. Estructura tipo TLP:

Para el diseño de estructuras tipo TLP (Tension Leg Platform), las cuales se utilizan en alta mar para el soporte de aerogeneradores, se utilizan para calcular las condiciones de operación de la estructura (para que no se produzcan aceleraciones demasiado elevadas a la altura del aerogenerador), además del cálculo de las cargas dinámicas debidas al movimiento del soporte.

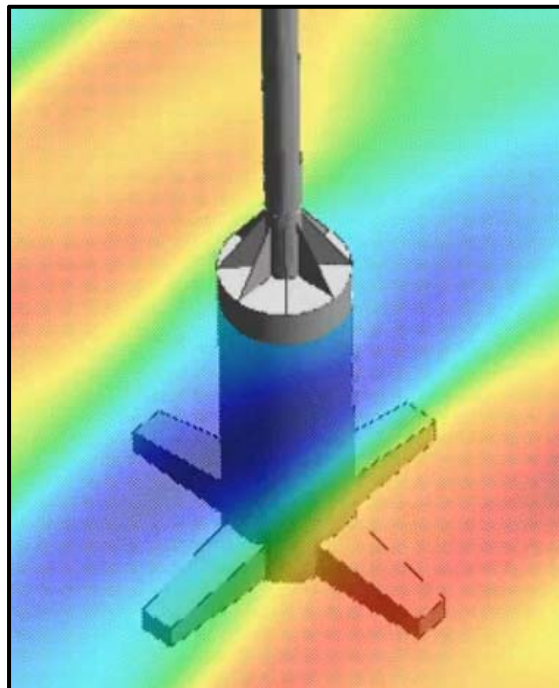


Figura 4: Análisis de una estructura tipo TLP.

3.5. Estructura tipo SPAR:

Para el diseño de estructuras tipo SPAR, las cuales se utilizan en alta mar para el soporte de aerogeneradores, u elementos de perforación y producción de la industria petrolífera.



Figura 5: Análisis de una estructura tipo SPAR.

3.6. Otras estructuras:

Otros ejemplos de aplicación de este programa son el cálculo del comportamiento de elementos de aprovechamiento de energía del oleaje tipo Pelamis o tipo Boya.

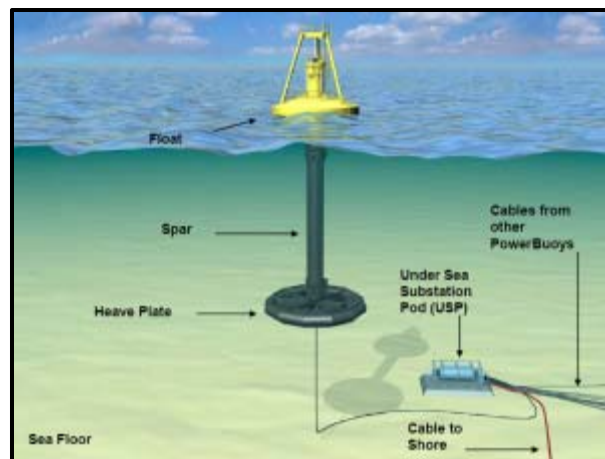


Figura 6: Estructura tipo boya.

Además se puede utilizar para el dimensionamiento de estructuras fijas como pueden ser diques o espigones ya que se puede conocer la distribución de presiones en el mismo en función del tiempo.

4. Comportamiento en la mar. Teoría :

4.1. Teoría lineal de movimientos y cargas inducidas por las olas:

La teoría lineal puede describir, de forma general, los movimientos y cargas inducidas por las olas en estructuras flotantes. De todas formas para condiciones de mar muy severas y para la descripción del movimiento horizontal de estructuras offshore con fondeo, la linealidad ya no se cumple al ser los efectos no lineales bastante importantes.

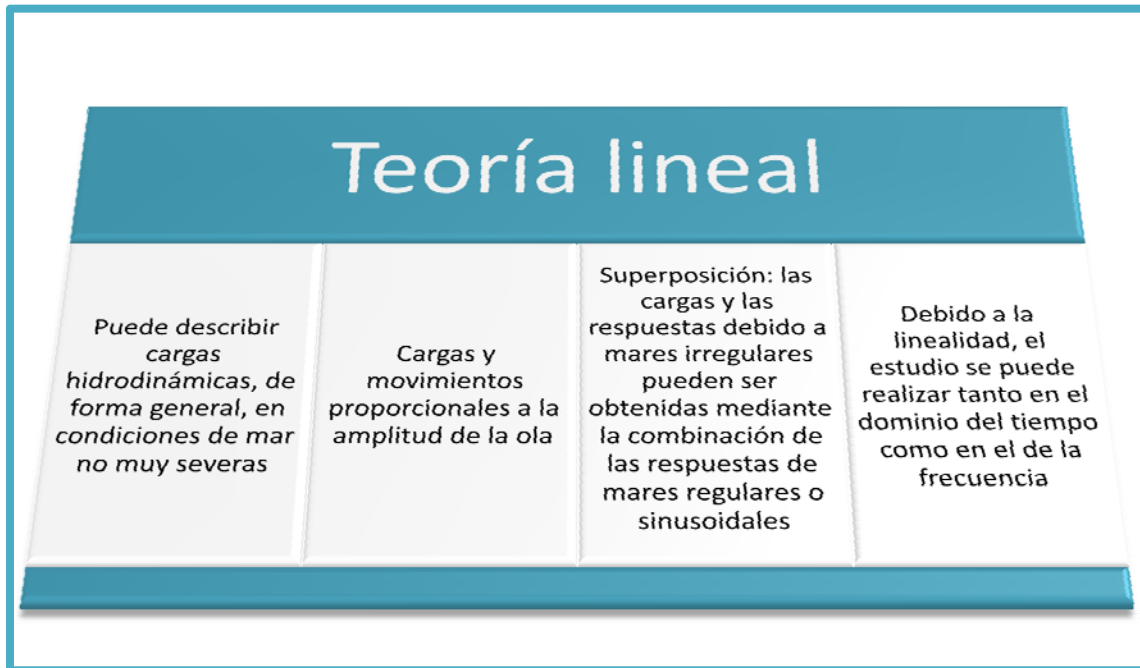


Figura 7: Resumen teoría lineal

- **Respuesta en mares irregulares (teoría superposición):**

Sumando resultados de olas regulares de diferente amplitud, longitud de ola y direcciones de propagación se pueden obtener resultados en mares irregulares.

Escribiendo la elevación de la ola en función de,

$$\zeta = \sum_{j=1}^N A_j \sin(\omega_j t - k_j x + \epsilon_j)$$

Siendo,

$A_j =$ amplitud de la ola

$\omega_j =$ frecuencia angular

$k_j =$ número de ola

$\epsilon_j =$ ángulo de fase aleatorio (distribuido uniformemente entre 0 y 2π)

La amplitud A_j puede ser descrita mediante el espectro de oleaje,

$$\frac{1}{2} A_j^2 = S(\omega_j) \Delta\omega$$

Donde $\Delta\omega = cte$ es la diferencia entre las sucesivas frecuencias, por lo que la varianza,

$$\sigma^2 = \int_0^{\infty} S(\omega_j) d\omega = \sum_{j=1}^N \frac{1}{2} A_j^2$$

La diferencia entre la solución en el dominio del tiempo y el dominio de la frecuencia puede ser observada en la siguiente figura.

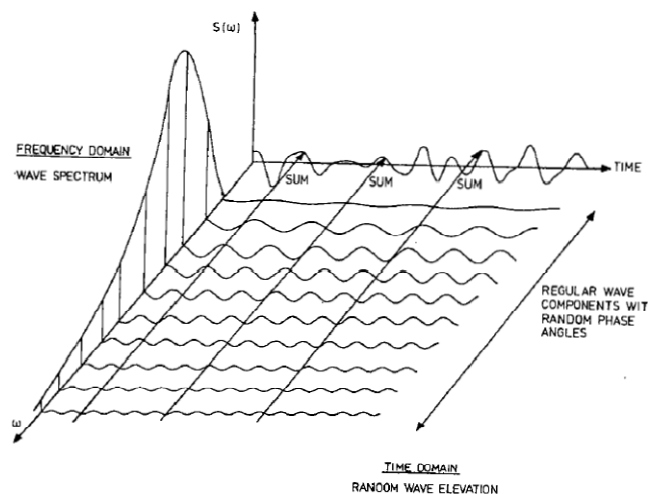


Figura 8: Relación entre el dominio del tiempo y de la frecuencia

Debido a la linealidad se puede analizar la respuesta de cada componente de la ecuación de la elevación de la ola,

$$A_j |H(\omega_j)| \sin(\omega_j t - \delta(\omega_j) + \epsilon_j)$$

Siendo $|H(\omega_j)|$ la función de transferencia y $\delta(\omega_j)$ el ángulo de fase asociado a la respuesta.

- **Respuesta en olas regulares:**

Debido a la linealidad se puede estudiar el problema para una excitación sinusoidal para después utilizar estos resultados para obtener soluciones para casos no lineales mediante la superposición.

La obtención de las cargas hidrodinámicas y el movimiento para olas sinusoidales puede separarse en dos sub-problemas:

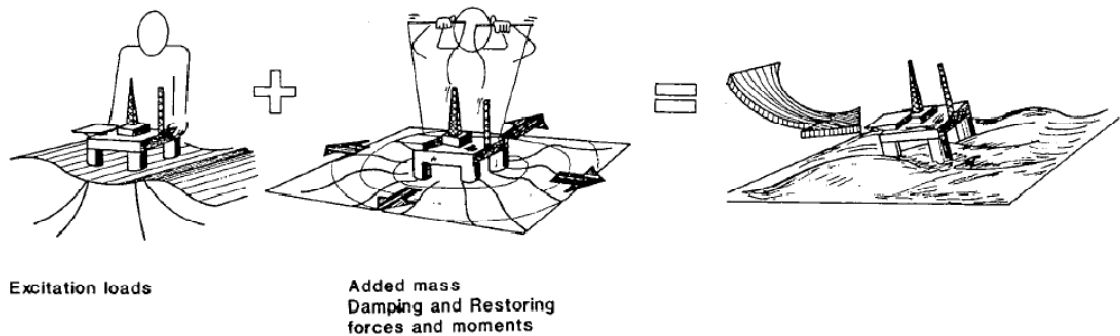


Figura 9: Superposición de las cargas de oleaje, masa añadida, amortiguamiento y rigidez

- **Problema de excitación:**

El movimiento del soporte es restringido y mantenido en su posición de equilibrio y las cargas de excitación son obtenidas como resultado de la variación de presión debido a las olas incidentes. Las cargas hidrodinámicas son llamadas cargas de excitación del oleaje y están compuestas por las fuerzas y momentos de difracción de *Froude-Kriloff*:

$$F_{FK} = -\rho \iint_S \frac{\partial \phi}{\partial t} \cdot n \, dS$$

La cual integra la variación del potencial de oleaje a lo largo de la superficie mojada, o lo que es lo mismo, la distribución de presión debida al oleaje.

- **Problema de radiación:**

El soporte es forzado a oscilar en aguas tranquilas en cada uno de sus grados de libertad con una frecuencia equivalente a las de la excitación de las olas. Estas cargas hidrodinámicas son las llamadas masa añadida, fuerzas de amortiguamiento y fuerzas de restauración o restauradoras.

- **Fuerzas de radiación:**

Las cargas de radiación aparecen debido al movimiento del soporte; el cambio en el momento del fluido debido al movimiento del soporte hace variar la presión en el casco, que induce las cargas.

Estas cargas tienen dos componentes:

Proporcionales a las aceleraciones

Proporcionales a las velocidades

Las condiciones de contorno son:

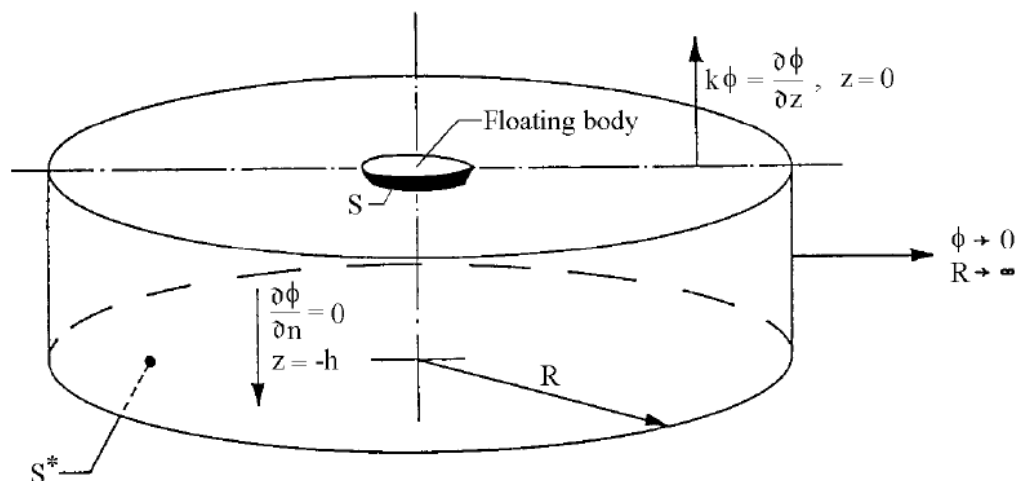


Figura 10: Condiciones de contorno

1) Condición de superficie libre:

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} + g \cdot \frac{\partial \phi}{\partial z} \Big|_{z=0} = 0$$

2) Condición de fondo:

$$\frac{\partial \phi}{\partial z} \Big|_{z=-h} = 0$$

3) Condición cinemática del cuerpo:

$$\frac{\partial \phi}{\partial n} = v_n(x, y, z, t)$$

4) Condición de radiación:

A medida que la distancia se va haciendo grande, R , desde el cuerpo oscilante, el valor del potencial tiende a zero.

$$\lim_{R \rightarrow \infty} \phi = 0$$

Estas condiciones de contorno se verán claramente definidas en el estudio del comportamiento en la mar mediante un programa de elementos finitos, donde se deben indicar manualmente dichas condiciones.

Debido a la linealidad ambas fuerzas (excitación y radiación) pueden ser sumadas para obtener el total de las fuerzas hidrodinámicas.

4.2. Análisis del comportamiento en la mar. Ecuación de la dinámica:

Considerando el siguiente eje de coordenadas,

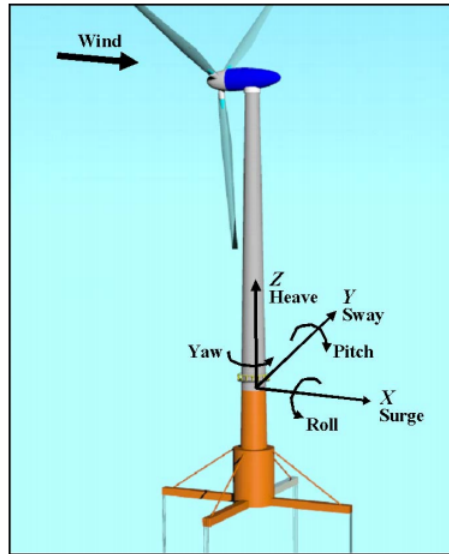


Figura 11: Eje de coordenadas del soporte

Donde,

Desplazamiento	Surge (ζ_1)	"x"
	Sway (ζ_2)	"y"
	Heave (ζ_3)	"z"
Rotación	Roll (ζ_4)	"x"
	Pitch (ζ_5)	"y"
	Yaw (ζ_6)	"z"

Movimientos del soporte

La formulación general de la ecuación diferencial de movimiento para un soporte flotante se puede escribir según,

$$(M + A) \cdot \ddot{\zeta} + B \cdot \dot{\zeta} + C \cdot \zeta = \tau_{exc}$$

Siendo,

M = Matriz de masa e inercia

A = Matriz de masa añadida

B = Matriz de amortiguamiento

C = Matriz de rigidez o restauración

τ_{exc} = Fuerzas excitadoras

Esta ecuación se puede ser obtenida de la siguiente fórmula,

$$F = m \cdot a \rightarrow M \cdot \ddot{\zeta} = \tau$$

Separando el vector en tres componentes,

$$\tau = \tau_{rad} + \tau_{res} + \tau_{exc}$$

Siendo la primera componente debida a las fuerzas de radiación, la segunda debido a las fuerzas restauradoras del cable y soporte y la última debido a las olas incidentes.

A través de *Cummins* (1962), que define las fuerzas de radiación de la siguiente forma,

$$\tau_{rad} = -A_{\infty}\ddot{\zeta} - \int_0^t \bar{K}(t-t')\dot{\zeta}(t')dt'$$

Donde A_{∞} corresponde a la matriz constante del coeficiente de masa añadida, mientras que el segundo término de la ecuación representa los efectos de “memoria” del fluido.

Añadiendo los términos de las fuerzas de restauración,

$$\tau_{res} = -C\zeta$$

Se obtiene:

$$(M + A_{\infty})\ddot{\zeta} + \int_0^t \bar{K}(t-t')\dot{\zeta}(t')dt' + C\zeta = \tau_{exc}$$

5. Necesidad de un programa de cálculo:

Dada la complejidad de la predicción analítica del comportamiento en la mar así como las cargas a las que se somete una estructura ubicada en el mar, el tener a disposición un programa de cálculo que permita la realización de ensayos de forma rápida y sencilla facilita mucho la labor y proceso de diseño.

Estos programas permiten la realización de ensayos con la estructura que se está diseñando, pudiendo tener distintos modelos de la misma, de modo que al ensayarlos se puede observar las diferencias de comportamiento de cada una de ellas, pudiéndose desarrollar patrones de diseño que ayuden a optimizar los futuros ensayos y esto de forma sencilla y rápida mediante el uso de un ordenador.

Sin un programa de cálculo de esta índole las predicciones de comportamiento en la mar de estructuras y buques se realizan en canales de ensayos por medio de modelos a escala que se someten a un patrón de olas que simula el estado de la mar del emplazamiento en el que se va a ubicar la estructura y se miden sus movimientos por medio del uso de sensores. Este proceso es más lento y farragoso ya que comprende el tener disponible una gran instalación y el construir un modelo a escala para ser analizado lo que encarece muchísimo el análisis. Además el proceso de optimización anteriormente comentado se hace más complejo, ya que, el hecho de analizar más de un modelo de estructura, para un proyecto concreto no suele hacerse.



Figura 12: *Ensayos de buque en canal.*

El hecho de tener un programa de cálculo no implica evitar la realización de ensayos de canal lo que si comporta es que el modelo que se ensaya para su futura construcción ha sido optimizado geoméricamente y estructuralmente para el patrón de olas al que va a estar sometido de modo que los resultados de cargas y movimientos han sido predichos de forma aproximada ya con anterioridad.

6. Descripción SeaFEM:

6.1. Introducción al programa:

SeaFEM es un módulo incluido en el programa *Tdyn* o *Ramseries*, el cual es una herramienta avanzada de simulación del comportamiento del mar desarrollado en el Centro Internacional de Métodos Numéricos Aplicados a la Ingeniería, CIMNE, de la UPC, en colaboración con la empresa Compass Ingeniería y Sistemas.

SeaFEM trabaja en el dominio del tiempo y basa su funcionamiento en el Método de los Elementos Finitos, a diferencia del resto de programas que permiten simular el comportamiento del mar, que lo hacen en el dominio de la frecuencia y con el Método de los Elementos de Contorno. Este hecho permite que en este programa se puedan utilizar mallas no estructuradas, con el fin de representar geometrías complejas.

Este módulo está construido en *GID* que es un pre y post procesador universal, adaptable y de fácil manejo, desarrollado por CIMNE.

El funcionamiento de este programa se basa en un conjunto de pasos que deben tener lugar de manera consecutiva, en lo que se denomina pre-proceso, definiendo así el problema. A partir de ahí, se realiza el cálculo y se pasa al post-proceso, donde se analizan los resultados.

- **Preproceso:**

Como se ha comentado en la introducción a esta parte, el pre-proceso es la fase en la que se define el problema. Esta fase consta de varios pasos, como son:

- **Representación geométrica:**

- Geometría del elemento:**

- En primer lugar se debe definir la geometría del elemento objeto de estudio, en este ejemplo, la estructura de un colector para el aprovechamiento de energía del oleaje. Para que el programa realice de manera correcta el cálculo, sin dar lugar a errores, sólo se debe definir la superficie mojada del mismo.

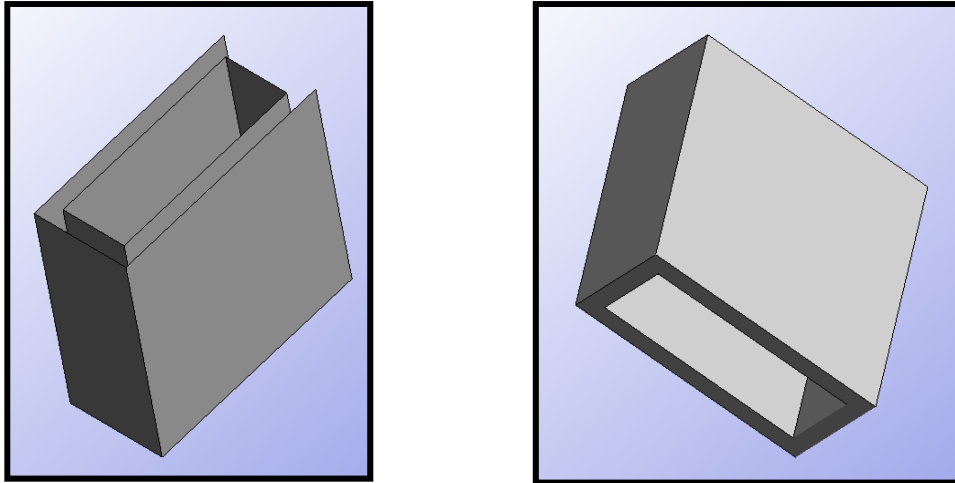


Figura 13: *Vistas de la geometría.*

Geometría de la zona de estudio:

La zona de estudio es la parte del mar que rodea al elemento que se está estudiando. En ésta, tienen lugar los efectos de difracción, reflexión y refracción de las olas, más allá de la misma, se considera que las olas se disipan. Para su definición, se debe representar el espacio que rodea al elemento que se está estudiando, es decir, que tenga al mismo incluido en su interior, y que su profundidad sea igual a la profundidad del mar en la zona que se está simulando.

Para poder realizar el cálculo correctamente, se debe generar el volumen definido entre el semicilindro de la zona y las superficies que definen el colector.

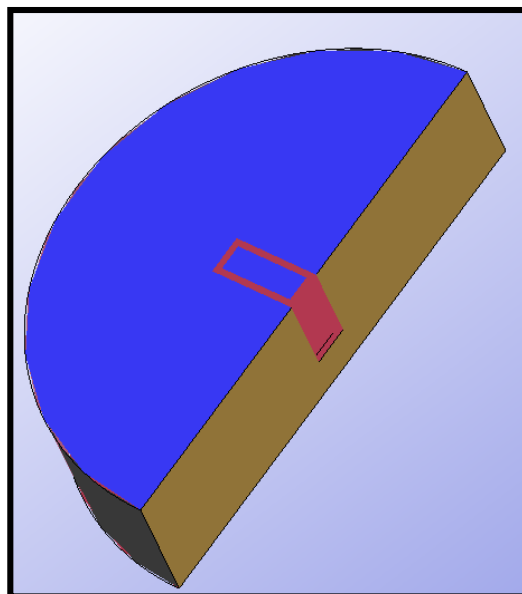


Figura 14: *Geometría de la zona de estudio.*

Definición de la zona de mar abierto:

La zona de mar abierto, es la región que hay más allá de la zona de estudio y de la que se considera que provienen los trenes de olas simulados, de manera que, lo que pasa en dicha zona no produce ningún efecto al objeto de estudio.

Para realizar el cálculo, se deben generar dos volúmenes, uno para cada una de las partes anteriormente definidas.

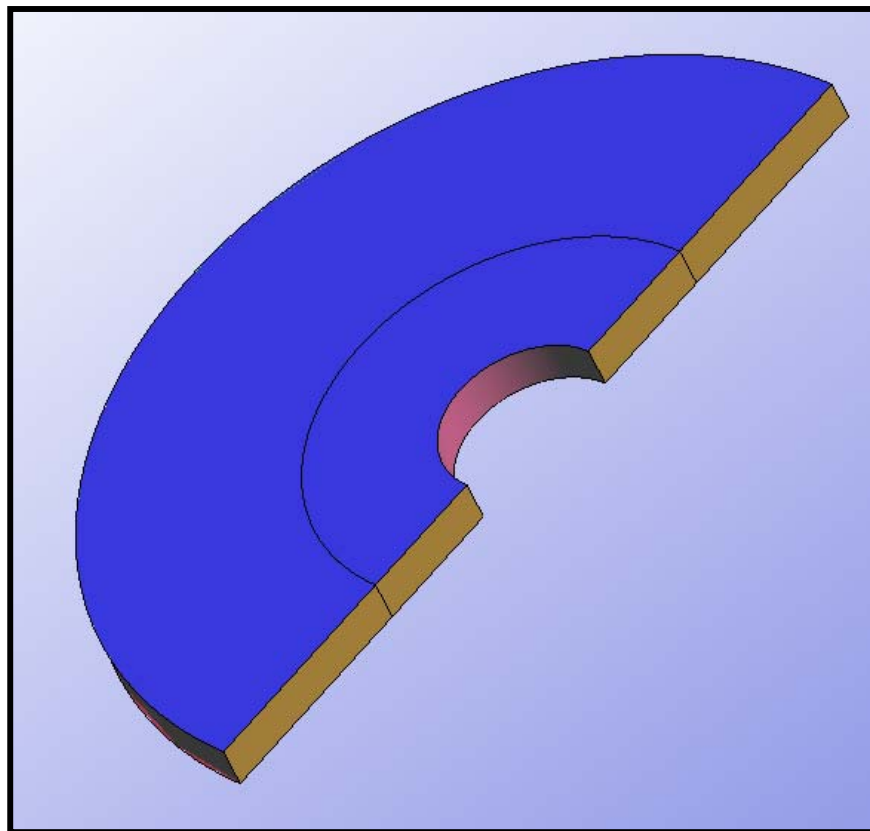


Figura 15: Geometría de la zona de mar abierto

➤ **Definición de los datos de Tdyn:**

Este apartado, lo forman un total de nueve sub-apartados que deben ser definidos para imponer las condiciones del problema, y controlar las variables que tienen lugar en la simulación. Estos apartados son:

Tipo de simulación (Simulation Type):

En este apartado, se debe seleccionar el tipo de simulación que se desea realizar. Concretamente se selecciona *Seakeeping Analysis*.

Datos generales (General Data):

En este apartado, se seleccionan las unidades en las que está representada la geometría, las unidades del sistema, la dirección y magnitud de la aceleración de la gravedad, la densidad del agua y el tipo de archivo de resultado.

Descripción del problema (Problem Description):

En este apartado se define el tipo de batimetría, que puede ser infinita o constante, y si es constante, su valor. Además, se define, si existe, absorción de ola y, si en ese caso, el factor de absorción.

Datos ambientales (Environment Data):

En este apartado, se define el entorno de ola, pudiendo ser del tipo Monocromática, *White Noise* o *Pierson Moskowitz*. En función del tipo de entorno seleccionado, se deben definir un conjunto de datos de la ola, como son, la amplitud, el periodo y la dirección, en el caso de la Monocromática; y la amplitud, la dirección y los datos el periodo más corto y más largo, en la *White Noise*. Finalmente, el periodo medio de la ola principal, la altura de ola significativa, el periodo más corto y el más largo, el número de periodos y direcciones, y la dirección de los trenes de olas superior e inferior del principal sector circular incidente, para el espectro *Pierson Moskowitz*.

Además se define si las hay el tipo de corrientes de la zona, definiendo su velocidad y la dirección en la que se desenvuelven.

Tiempo de análisis (Time Data):

En este apartado, se define la duración del análisis, la frecuencia con la que el programa toma datos (*step*), el momento en que el programa inicia la grabación y el momento de inicialización de captura de datos.

Datos del elemento de estudio (Body Data):

En este apartado, se definen las propiedades del elemento de estudio como su centro de gravedad, su masa y su radio de giro. Además, se definen los grados de libertad que puede tener, pudiendo escoger entre los seis posibles, tres de desplazamiento y tres de giro. Finalmente, se pueden aplicar cargas externas al elemento de estudio, pudiendo escoger entre cargas en cada una de las tres direcciones y momentos respecto de los tres ejes.

Condiciones iniciales (Initial Conditions):

En este apartado se define la posición inicial del elemento, situando la posición del centro de gravedad respecto del origen, así como también se define su posición angular respecto cada uno de los 3 ejes. Además, se define la velocidad que lleva el elemento al iniciar el cálculo, que puede ser lineal en el sentido de cada uno de los 3 ejes, o angular si rota respecto alguno de ellos.

Configuración numérica (Numerical Data):

Este apartado permite configurar la manera en cómo se va a desenvolver el cálculo del problema, pudiendo escoger la unidad de procesador, el *solver*, el preconditionador, la tolerancia del *solver*, su número máximo de iteraciones, el factor de estabilidad, el tiempo de paso máximo entre iteraciones y finalmente la tolerancia.

Condiciones de contorno (Boundary Conditions):

En este apartado, se atribuye una caracterización a cada una de las superficies generadas en la representación geométrica, con el fin de que el programa pueda identificar qué es cada elemento y proporcionarle las propiedades necesarias. Así pues, se define el elemento de estudio, *Body*, seleccionando en este grupo todas las superficies que lo forman. Del mismo modo, se define la superficie libre, *Free Surface*, como la superficie del agua

del mar, la superficie que representa la finalización del mar, Outlet, y el fondo del mar, Bottom.

Adicionalmente, en función de las características del problema, se puede representar una pared, que se incluye en el grupo de Wall, en la que las olas rebotan.

Por otro lado, también puede incluirse, una superficie con presión que forma parte del grupo P Free Surface. Para las superficies que no pertenecen a ninguno de los grupos anteriormente citados, existe un último grupo denominado Others, el cual no atribuye ninguna caracterización a las superficies seleccionadas en el mismo.

➤ **Generación de la malla:**

En este apartado, se convierten las geometrías representadas en elementos discretos de menor tamaño que van a ser analizados por medio del Método de Elementos Finitos. Para ello, se debe asignar un tamaño de malla a todos ellos, ya sean líneas, superficies y los volúmenes.

Con el fin de aligerar el cálculo, es decir, reducir el tiempo computacional, lo que se hace es definir distintos tamaños de malla en función de la importancia del elemento en cuestión. De esta manera, se debe obtener una malla más fina en las superficies del elemento de estudio y la superficie libre de la zona de estudio. Así pues la malla puede agrandarse en el volumen del cilindro de la zona de estudio y agrandarse más aún en la zona de mar abierto. Las transiciones en la malla, es decir, los cambios de una zona de malla fina a una zona de malla menos fina, deben suavizarse al máximo con el fin de observar una progresión en el elemento mallado, y evitar así, los cambios bruscos que pueden inducir a errores en la obtención de resultados.

En las imágenes siguientes, Figuras 34, 35 y 36, se muestra la asignación del tamaño de malla en las distintas líneas, superficies y volúmenes que forman la geometría del ejemplo realizado.

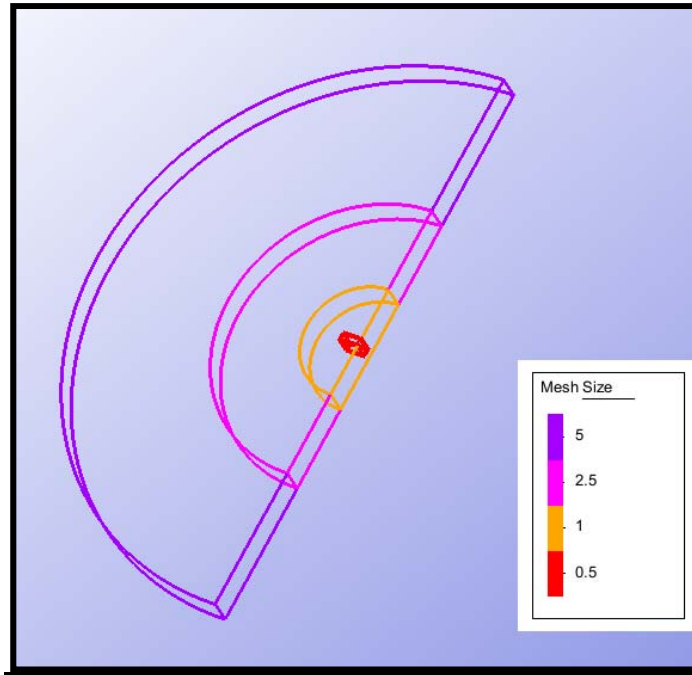


Figura 16: Tamaños de línea.

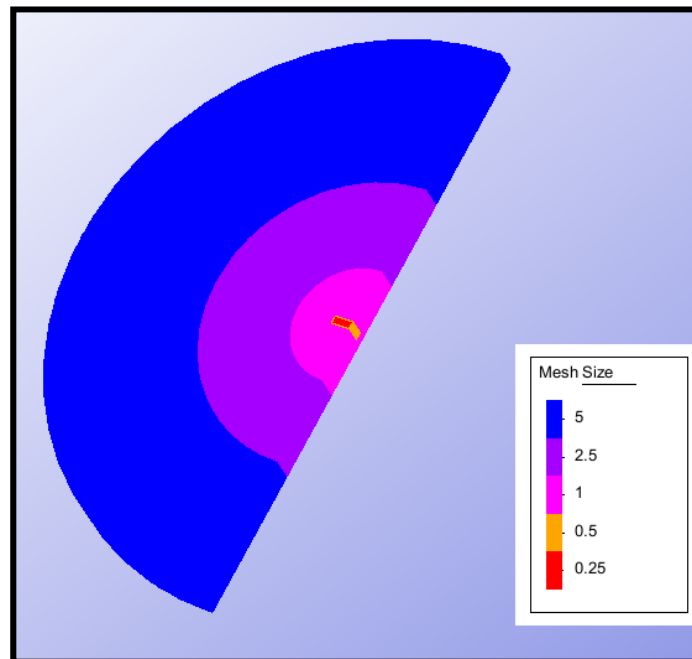


Figura 17: Tamaños de superficie.

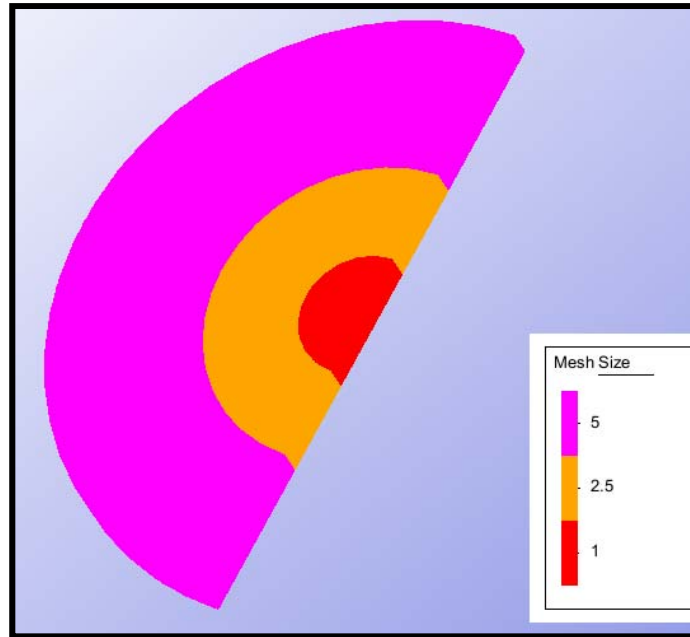


Figura 18: *Tamaños de volumen.*

Una vez asignados los tamaños de malla en cada uno de los elementos se procede a la creación de la malla, que tiene la apariencia siguiente:

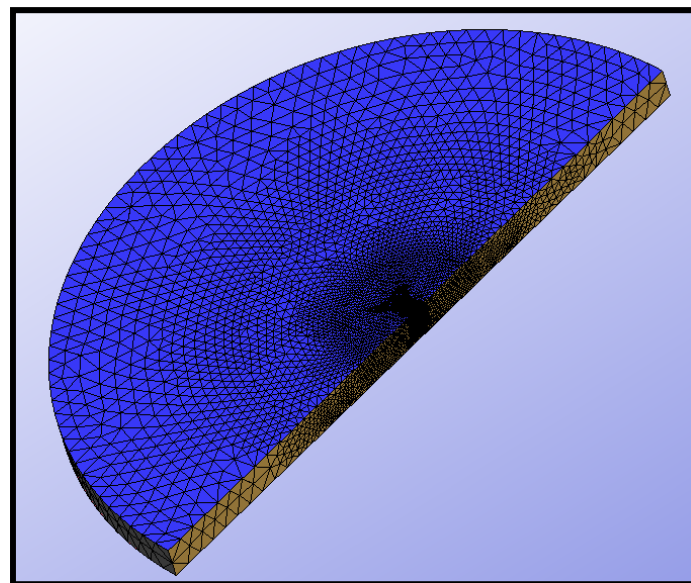


Figura 19: *Figura 16: Visión general de la malla.*

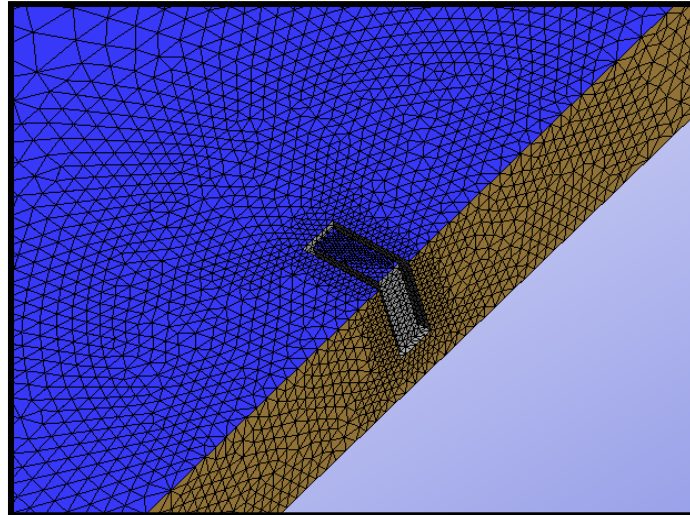


Figura 20: *Visión central de la malla, más refinada.*

Llegado este punto, se procede al cálculo del problema, cuyos resultados se analizan al pasar al post-proceso.

- **Postproceso:**

Como se ha comentado en la introducción de este apartado, el postproceso es el apartado en que una vez realizado el cálculo se permite realizar un análisis visual de los resultados obtenidos. Para ello se debe seleccionar un tipo de resultados a mostrar, el cual dependerá de análisis seleccionado, pudiendo ser este el elemento de estudio “Body”, el fluido “Fluid” o la superficie libre “Free surface”. Para ello se debe seleccionar el icono “Results window” del menú superior, el cual abre una ventana como la siguiente:

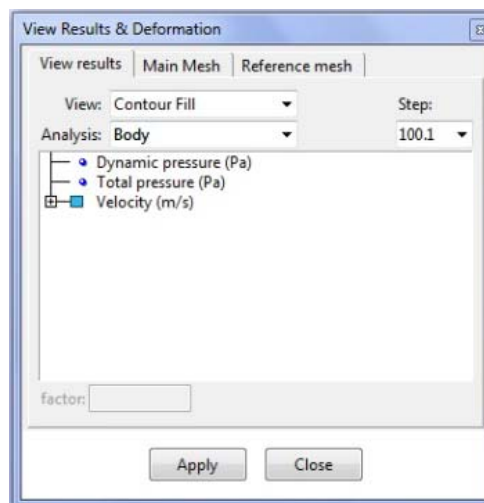


Figura 21: Ventana de resultados.

De este modo seleccionando en el menú “Analysis” el tipo de elemento a analizar, y de la lista “View” el tipo de visualización, que puede ser:

- Display vectors.
- Contour Fill.
- Smooth Contour Fill.
- Contour Lines.
- Contour Ranges.
- Sh Min Max.
- Result Surface.

En base al tipo de análisis seleccionado, se muestra en la parte inferior de la misma ventana, el tipo de datos que se pueden mostrar, como pueden ser presiones, velocidades y deformación de superficies.

Además permite realizar gráficos de las variaciones de cada uno de estos datos en función del tiempo. Para ello, en el menú superior, se debe seleccionar

el icono “Graphs Window” y del mismo modo, seleccionando el tipo de elemento de estudio y el dato a visualizar, se genera un gráfico de se variación temporal.

Finalmente, el programa también permite realizar animaciones, de modo que se observa por medio de cambios en los colores ya sea del objeto de estudio o de la superficie libre, las variaciones en la magnitud que se esté representando.

7. Necesidad de un tutorial:

Al ser los programas de simulación del comportamiento en la mar, unas herramientas de tan alta utilidad en el proceso de diseño en Ingeniería Naval, se considera necesario que todo ingeniero tenga una visión general de cómo funcionan este tipo de programas. Pese a esto el primer contacto con el programa suele ser un poco ajeno para la persona que lo maneja, ya que, poco tiene que ver con las herramientas informáticas comunes que se acostumbra a utilizar y por este motivo se considera necesaria la realización de un tutorial. Las partes del programa que suelen resultar más chocantes al principio son:

7.1. El entorno:

El entorno en el que se desenvuelve el programa resulta generalmente poco familiar la primera vez que se toma contacto con el programa. Este entorno se desenvuelve en el pre y postprocesador GID de CIMNE (Centre Internacional Mètodes Numèrics Enginyeria).

7.2. La representación:

La representación geométrica que se debe realizar tanto del elemento de estudio como de la zona de estudio (mar) se realiza con el pre-procesador GID el cual permite el trazo de líneas mediante coordenadas, desde el origen y luego dispone de varias funciones para intersectarlas, dividir las, juntarlas, etc. De este modo si no se tiene un poco de práctica en dicha realización puede resultar complicado y muy lento de realizar.

7.3. El mallado:

El proceso de mallado tiene la dificultad de seleccionar el tamaño de la malla para cada uno de los elementos representados y como se comenta en el tutorial pueden existir zonas con distintos tamaños de malla en función de la importancia de los datos a obtener.

7.4. Resultados:

El entorno del postproceso es muy parecido al del preproceso pero las funciones que se pueden realizar en el mismo son distintas. Las funciones que permiten visualizar datos son varias tal y como se explica en el tutorial.

8. Objetivos del tutorial:

El tutorial realizado como objeto de este trabajo está basado en tres ejemplos de cálculo llamados “Tutorial 1 Contenedor”, “tutorial 2 Boya” y “Tutorial 3 Espigón”. En base a ello se pueden definir unos objetivos, a nivel de aprendizaje del usuario, generales, es decir, que no dependen del tutorial con el que se trabaje y otros de particulares, es decir, que son propios del tutorial en sí. En este apartado se pretende realizar una descripción concisa de cada tutorial, exponiendo en primer lugar los objetivos generales y luego los particulares de cada uno de ellos.

8.1. Objetivos generales:

- Mostrar cómo se desenvuelve todo el proceso de cálculo de comportamiento en la mar.
- Representación geométrica tanto del modelo como del contorno.
- Pasos para la caracterización de superficies.
- Debe mostrarse como se lleva a cabo todo el proceso de mallado para la discretización de los elementos.
- Ejecución del proceso de cálculo.
- Finalmente se debe mostrar cómo se visualizan los resultados obtenidos en cada uno de los ejemplos desarrollados.

8.2. Tutorial 1 Contenedor:

➤ Descripción:

Este primer tutorial se basa en la suposición de un contenedor flotando en el mar mediterráneo, causa que puede darse en caso de un buque portacontenedores con mala estiba al encontrarse con un temporal y perder parte de la carga. En dicha situación se debe evaluar el comportamiento en la mar del contenedor cuyas dimensiones se exponen a continuación:



- Largo: 6,10 m.
- Ancho: 2,44 m.
- Alto: 2,6 m.
- Peso del contenedor: 2300 kg.
- Peso de la carga: 15000 kg.
- Peso total: 17300 kg.
- Centro de gravedad respecto a la flotación: (0,0;0,0;-0,2).
- Calado: 1,13 m.

Por otro lado se exponen las características del oleaje estimado de forma aproximada para que describa de una forma cuanto más exacta posible las características del oleaje de la zona de estudio.

- Altura de la ola: 5 m.
- Período de la ola: 6 s.
- Tipo de ola: Monocromática.

➤ **Objetivo:**

- El objetivo particular de este tutorial es realizar el estudio de presiones del contenedor con el fin de optimizar su diseño estructural.

8.3. Tutorial 2 Boya:

- Descripción:

Este segundo tutorial se basa en la instalación de una boya en la costa gallega, la cual va anclada al fondo del mar por medio de un cable de acero. Debido a los movimientos relativos de la boya con respecto al fondo del mar, el cable se alarga y se acorta, por lo que ejerce una fuerza sobre la boya que depende de la constante de rigidez del cable. Dicho estudio se realiza para una condición normal de oleaje, siendo las características geométricas de la boya las siguientes:

- Diámetro: 1,5 m.
- Alto: 2 m.
- Peso: 1500 kg.
- Centro de Gravedad: (X, Y, Z) (0,0; 0,0; 1,0) m.
- Radio de giro: 1 m.



Por otro lado se definen las características de un cable estándar utilizado en este tipo de instalaciones que son:

- Profundidad: 100 m.
- Fuerza del cable: 1000 kg.
- Calado que le corresponde debido al propio peso y la fuerza del cable: 1,38 m.
- Punto de aplicación:(X, Y, Z) (0,0; 0,0; -1,38) m.
- Constante de rigidez del cable (efecto muelle):

$$k_{cable} = \frac{\pi D^2 \cdot E}{4 \cdot l_{cable}} = \frac{\pi \cdot 0,05^2 \cdot 210 \cdot 10^6}{4 \cdot 100} = 4123,34 \text{ kN/m}$$

Por último las características del oleaje estimado en dicha zona y utilizadas para este tutorial son:

- Altura ola: 5 m.
 - Periodo ola: 8 s.
 - Tipo de ola: monocromática.
- **Objetivo:**

El objetivo principal de este tutorial es mostrar la forma en cómo se aplica una carga externa al elemento de estudio como es en este caso la fuerza del cable y realizar el estudio de comportamiento en la mar del elemento.

8.4. Tutorial 3 Espigón:

- **Descripción:**

Este tercer tutorial es el estudio de un espigón, situado en la costa mediterránea, con el fin de obtener las cargas que debe soportar fruto de la energía del oleaje a disipar. Dichas cargas son necesarias para poder determinar el talud que va a ser necesario instalar en el caso de construcción o remodelación de un espigón.

En el caso del tutorial se ha considerado la remodelación del espigón de Tarragona, aumentando su longitud para lo cual se representan 200 m de la nueva zona de espigón ubicado según, figura 1.



Figura 22: *Espigón puerto de Tarragona.*

Las características geométricas del espigón a representar son las siguientes:

- Longitud: 200 m.
- Profundidad: 10 m.
- Ancho: El ancho no se representa dado que para conocer la presión que ejercen las olas sobre el espigón, basta con representar su superficie frontal.

Por último las características del oleaje estimado en dicha zona y utilizadas para este tutorial son:

- Altura ola: 5 m
- Periodo ola: 6 s
- Tipo de ola: monocromática

- **Objetivo:**

El objetivo principal de este tutorial es el de ver cómo se puede modelar un elemento estático no flotante, como es un espigón dándole la caracterización de "Body" para que el programa calcule presiones en el mismo y poder obtener conclusiones.

9. Conclusiones:

Tras la realización de este proyecto los autores afirman el haber ampliado y mejorado los conocimientos del programa al que se refiere, el cual había sido utilizado ya, por ambos, en proyectos anteriores. Además se considera que los objetivos propuestos se han cumplido de forma eficaz, ya que, en los tres tutoriales se muestra el desarrollo, seguido por el programa, de todo el proceso de cálculo, y mostrando una particularidad del programa en cada uno de ellos. Por último decir que la realización de este tutorial se ha realizado para personas que no disponen de ningún conocimiento en cuanto al programa como para personas que tienen un conocimiento básico del mismo, de modo que según los autores el tutorial invita a todo tipo de usuarios al uso y aprendizaje del programa.

10. Bibliografía:

Documentos:

- *Massanet Rubí, Cristina; Realización de un tutorial para el cálculo matricial de estructuras navales, Universitat Politècnica de Catalunya, Octubre 2011.*
- *Arbó Joaquín, Francesc Lluís y Canela Mata, Antoni; Diseño y optimización de una planta de energía undimotriz, Universitat Politècnica de Catalunya, Julio de 2011*
- *Segalés Torras, Jordi; Diseño, cálculo y verificación de un aerogenerador marino con fondeo TLP, Universitat Politècnica de Catalunya, Julio 2011.*
- *E.N. Wayman, P.D. Sclavounos, S. Butterfield, J. Jonkman y W. Musial; Coupled Dynamic Modeling of Floating Wind Turbine Systems, Massachusetts Institute of Technology y National Renewable Energy Laboratory, Mayo de 2006.*
- *Jon E. Withee; Fully Coupled Dynamic Analysis of a Floating Wind Turbine System, Massachusetts Institute of Technology y National Renewable Energy Laboratory, June 2004.*
- *Elizabeth Wayman; Coupled Dynamics and Economic Analysis of Floating Wind Turbine Systems, Massachusetts Institute of Technology , Junio de 2006.*

Libros:

- *Frank M. White; Mecánica de Fluidos, 6ª edición, editorial McGraw-Hill, Madrid 2008.*
- *Eugenio Oñate; Cálculo de Estructuras por el Método de los Elementos Finitos, 2ª edición, editorial CIMNE, Barcelona 1995.*
- *Manuel Vázquez y Eloísa López; El Método de los Elementos Finitos Aplicado al Análisis Estructural, 2ª edición, editorial Noela, Madrid 2011.*
- *O. M. Faltinsen; Sea Loads on Ships and Offshore Structures, 1ª edición, editorial Cambridge University Press, Cambridge 1990.*
- *John N. Newman; Marine Hydrodynamics, 1ª edición, editorial MIT press, 1977 Massachusetts.*

Internet:

- <http://www.compassis.com/compass>

ANEXOS

TUTORIAL 1 .- CONTENEDOR

Tutorial contenedor

1 Tutorial contenedor

Autores: Antoni Canela Mata y Jordi Segalés Torras

Tutor: Dr. Xavier Martínez

[Introducción](#)

1.1 Introducción

Descripción del programa:

Seakeeping FEM es una herramienta avanzada de simulación del comportamiento del mar desarrollado en el Centro Internacional de Métodos Numéricos Aplicados a la Ingeniería, CIMNE, de la UPC, en colaboración con la empresa Compass Ingeniería y Sistemas.

Este módulo trabaja en el dominio del tiempo y basa su funcionamiento en el Método de los Elementos Finitos, a diferencia del resto de programas que permiten simular el comportamiento del mar, que lo hacen en el dominio de la frecuencia y con el Método de los Elementos de Contorno. Este hecho permite que en este programa se puedan utilizar mallas no estructuradas, con el fin de representar geometrías complejas.

Este módulo está construido en GID que es un pre y post procesador universal, adaptable y de fácil manejo, desarrollado por CIMNE.

Descripción del tutorial:

Este tutorial es el primero de un conjunto de tres tutoriales con el objetivo de facilitar el uso del programa Seakeeping FEM. Este módulo introductorio pretende que el usuario se familiarice con el entorno del programa y aprenda a manejar sus herramientas más básicas tanto de preproceso como postproceso.

[Inicio tutorial.](#)

1.2 Inicio tutorial

Inicio tutorial:

El funcionamiento de este programa se basa en un conjunto de pasos que deben tener lugar de manera consecutiva, lo que se denomina pre-proceso, definiendo así el problema. A partir de ahí, se realiza el cálculo y se pasa al post-proceso, donde se analizan los resultados.

[Descripción del problema](#)

1.2.1 Descripción del problema

Explicación del modelo a estudiar:

Un buque portacontenedores de carga regular que navega del puerto de *Barcelona* hacia el puerto de *Marsella* a la altura del *Cabo de Begur* se encuentra con un temporal y debido a una mala estiba en el

Descripción del problema

puerto de *Barcelona* algunos contenedores se caen al mar.

Se pide evaluar el comportamiento de un contenedor cargado con 6000 ordenadores portátiles para las condiciones de oleaje que se detallan a continuación:

Características contenedor y carga:

Largo: 6,10 m

Ancho: 2,44 m

Alto: 2,60 m

Peso contenedor: 2300 kg

Peso carga: 15000 kg

Peso total: 17300 kg

CG: (X, Y, Z) (0,0; 0,0; -0,2) m * *Nota: CG referido a la altura de flotación*

Calado: 1,13 m



Características oleaje:

Altura ola: 5 m

Periodo ola: 6 s

Tipo de ola: monocromática

Simplificación del modelo a estudiar:

Para que el programa realice de manera correcta el cálculo, sin dar lugar a errores, sólo se debe definir

Descripción del problema

la superficie mojada del mismo. Para ello, disponiendo del dato del calado, se representa un paralelepípedo con las dimensiones de largo, ancho y calado.

Preproceso

1.2.2 Preproceso

Preproceso:

Como se ha comentado en la introducción a esta parte, el pre-proceso es la fase en la que se define el problema. Esta fase consta de varios pasos, como son:

- [Representación geométrica](#)
- [Definición datos Tdyn](#)
- [Generación de malla](#)
- [Cálculo FEM](#)

1.2.2.1 Representación geométrica

Este apartado consta de 2 partes que son:

- [Representación del modelo](#)
- [Representación del contorno](#)

1.2.2.1.1 Representación del modelo

Representación del modelo:

En esta fase se representa el elemento de estudio. Los pasos a seguir son los siguientes:

0.- Creación del conjunto de capas que permitan visualizar y ocultar los elementos representados:

- Seleccionar el menú capa.
- Seleccionar el comando nuevo siete veces con el fin de crear siete capas nuevas.
- Renombrar las capas con los nombres:

Body

Bottom

Free Surface

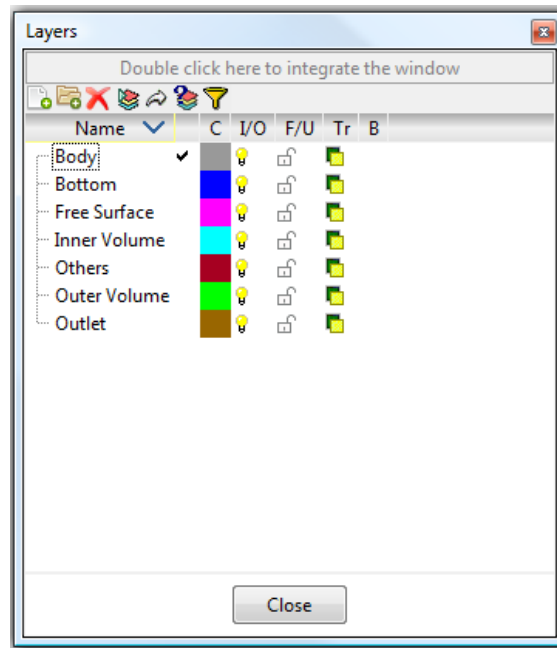
Inner volume

Others

Outer volume

Outlet

Representación del modelo



1.- Crear mediante líneas la base del contenedor en el plano "XY":

- Seleccionar el icono de línea de la barra del lateral izquierdo marcado con un círculo rojo
- Introducir las diferentes coordenadas del rectángulo en la barra de comando:

(3.05, 1.22, 0.00) + Intro

(-3.05, 1.22, 0.00) + Intro

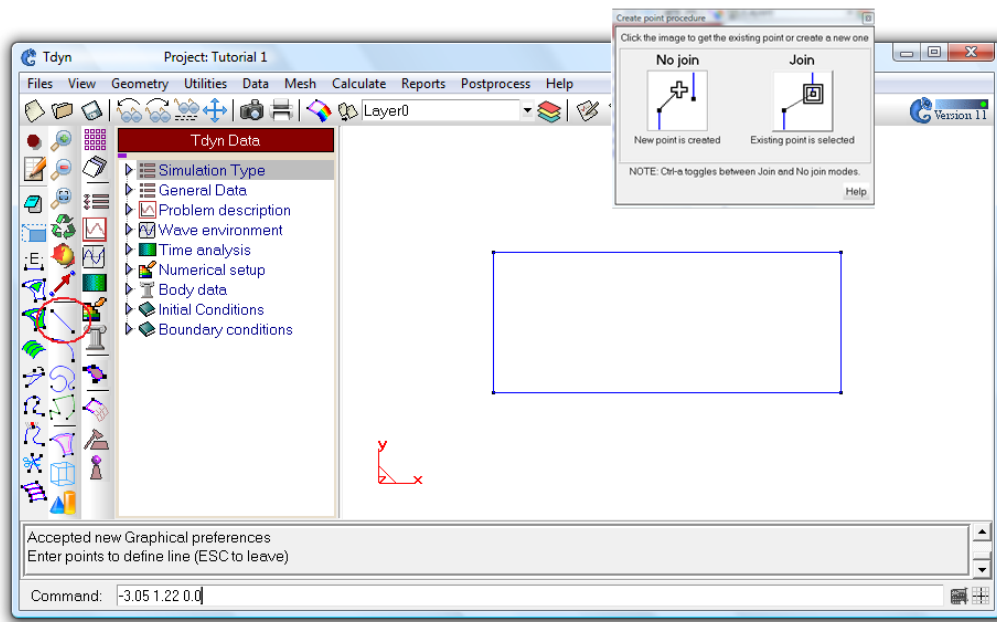
(-3.05, -1.22, 0.00) + Intro

(3.05, -1.22, 0.00) + Intro

(3.05, 1.22, 0.00) + Intro

- Finalmente cuando aparezca el cuadro "Create point procedure" hacer click sobre la opción "Join" que unirá la última línea con el punto inicial.

Representación del modelo



2.- Una vez dibujada la base del rectángulo realizar una extrusión para obtener la tercera dimensión "Z":

- Seleccionar (Menú / Utilities / Copy) y modificar:

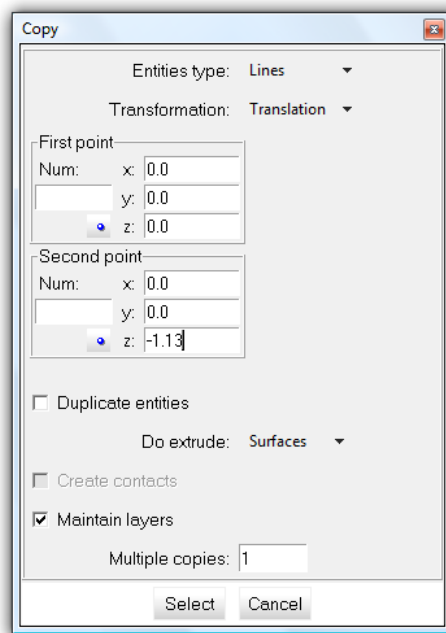
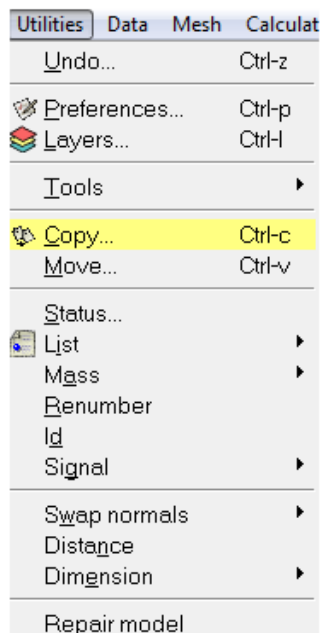
Entities type: Lines

Transformation: Translation

First point: (0.0, 0.0, 0.0)

Second point: (0.0, 0.0, -1.13)

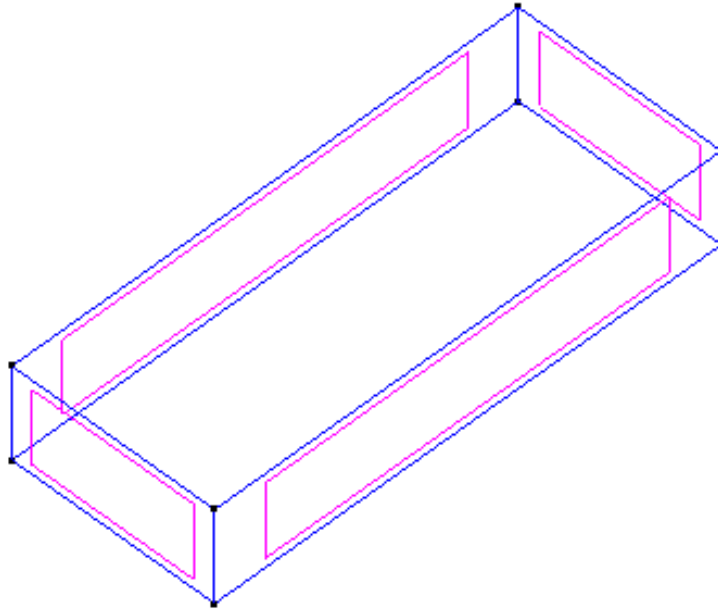
Do extrude: Surfaces



Clicar en "Select", seleccionar las lines del rectángulo y cuando salga el cuadro "Finish" clicarlo.

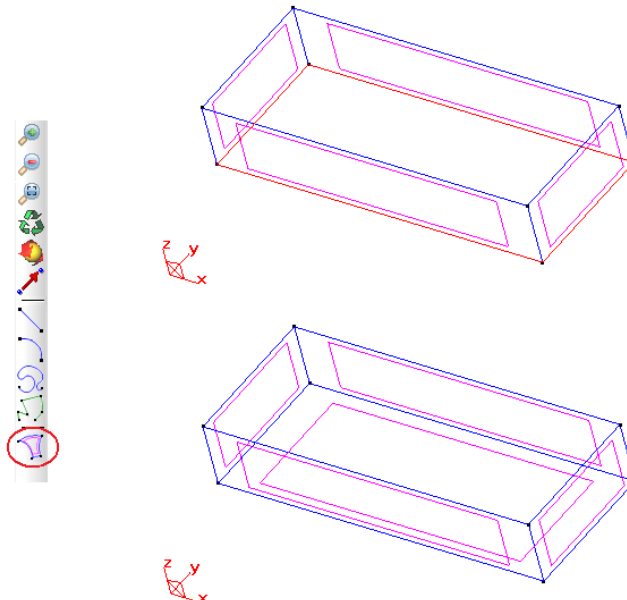
Representación del modelo

- Finalmente se debe obtener un paralelepípedo como el siguiente:



3.- Crear la superficie inferior del paralelepípedo, que es la que falta para la representación de la superficie mojada del contenedor:

- Seleccione el comando de crear superficie.
- Seleccione las 4 líneas inferiores que delimitan la superficie a crear y pulsar esc.

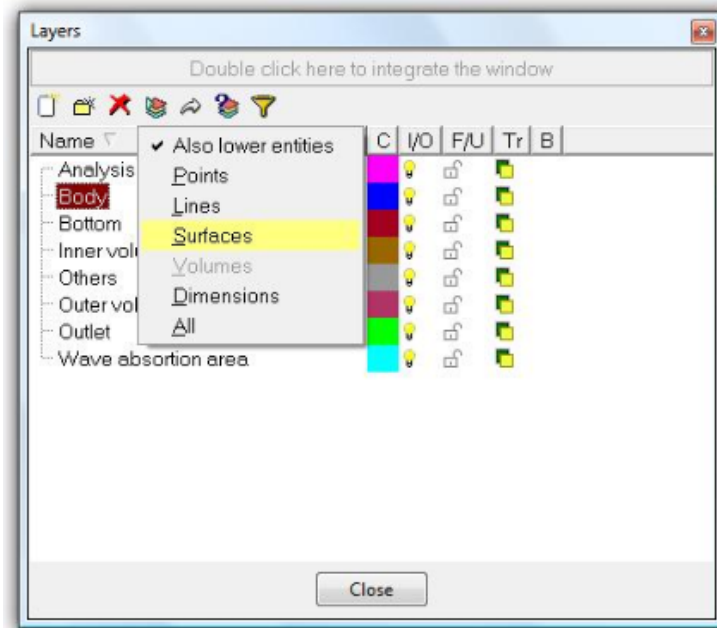


4.- Mover cada uno de los elementos del modelo a la capa correspondiente:

- Seleccione el menú capa.
- Seleccione la capa "Body".

Representación del modelo

- Seleccione el comando de mover a capa-superficies y seleccione las superficies del modelo.



- Seleccione el menú capa.
- Seleccione la capa "Others".
- Seleccione el comando de mover a capa-lineas y seleccione las líneas del modelo.

Representación del contorno

1.2.2.1.2 Representación del contorno

Representación del contorno:

En esta fase se representa la zona significativa de mar que rodea el modelo. Para ello se debe saber que esta zona está formada por 2 partes, una más cercana al elemento de estudio, denominada zona de análisis o "Beach" y otra más alejada del mismo, denominada zona de absorción de las olas.

Los pasos a seguir en este apartado son:

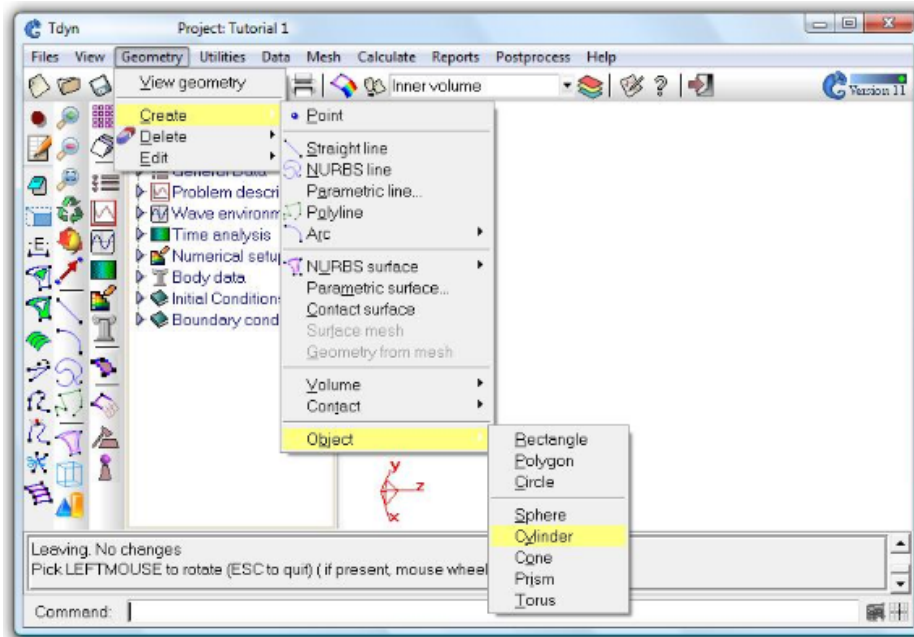
1.- Crear el cilindro que representa la zona de análisis:

Se recomienda que esta zona se represente por medio de un cilindro cuyo radio no sea inferior a una longitud de ola. La profundidad del cilindro depende de la batimetría de la zona, teniendo la opción de que el programa no detecte el lecho marino, para profundidades muy grandes.

En la zona de estudio de este caso la profundidad es de 1200m, por lo que se le da la caracterización de profundidad infinita. En este caso la profundidad representada 20 m para permitir una continuidad en el cálculo del programa.

- Seleccionar (Menu / Geometry / Create / Object / Cylinder):

Representación del contorno

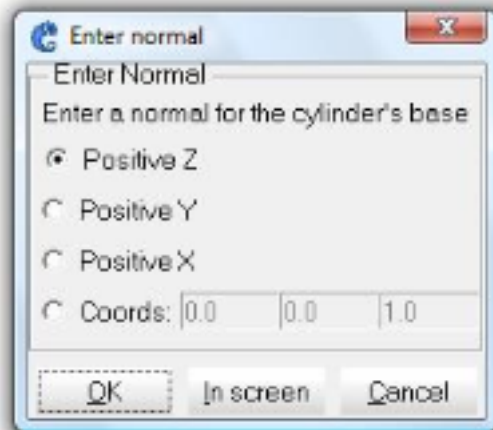


- En la ventana de comando introducir las coordenadas del centro del cilindro:

(0.00, 0.00, 0.00) + Intro

- En la ventana de comando introducir la dirección de la normal de la base del cilindro:

Positive Z + Intro



- En la ventana de comando introducir el radio del cilindro:

60 + Intro

- En la ventana de comando introducir la profundidad del cilindro:

-9 + Intro

2.- Crear el cilindro que representa la zona de absorción de las olas:

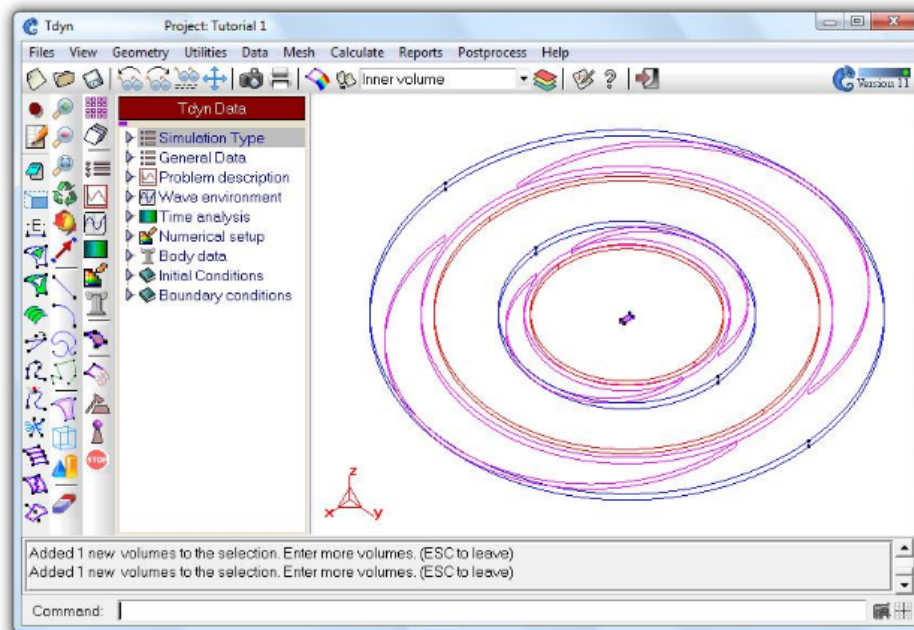
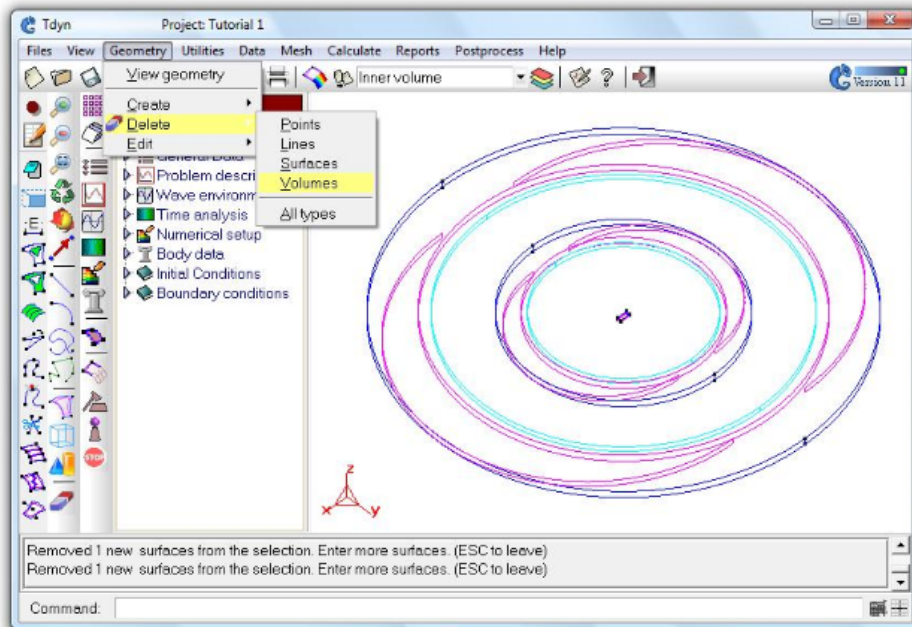
Se recomienda que esta zona se represente por medio de un cilindro cuyo radio no sea inferior a dos longitudes de ola. La profundidad del cilindro depende de la batimetría de la zona, y siempre será igual que la de la zona de análisis.

Representación del contorno

- De la misma manera se crea el segundo cilindro de 120m de radio, y con la misma profundidad.

3.- Modificación de superficies y volúmenes:

- Eliminar los volúmenes que se generan por defecto al crear los cilindros, (Menu / Geometry / Delete /Volumes) y seleccionar ambos volúmenes.



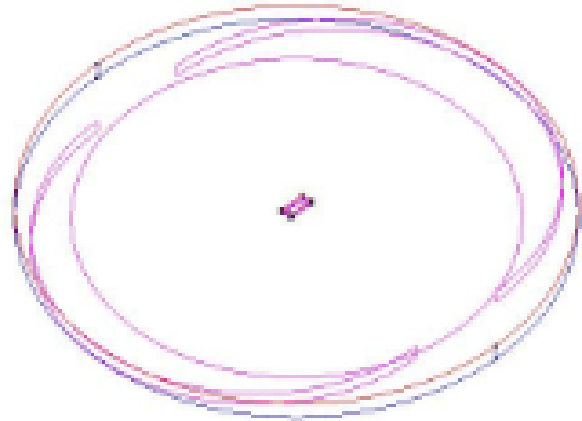
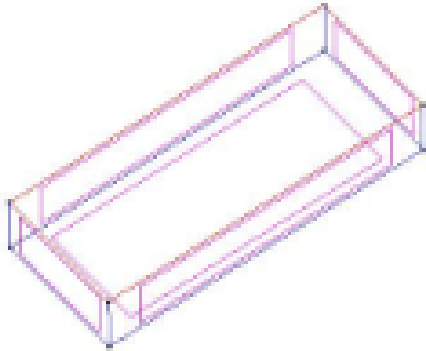
- Eliminar la superficie superior del cilindro interno, (Menu / Geometry / Delete / Surfaces) y seleccionar la superficie.

- Eliminar las superficies superior e inferior del cilindro externo, (Menu / Geometry / Delete / Surfaces) y seleccionar ambas superficies.

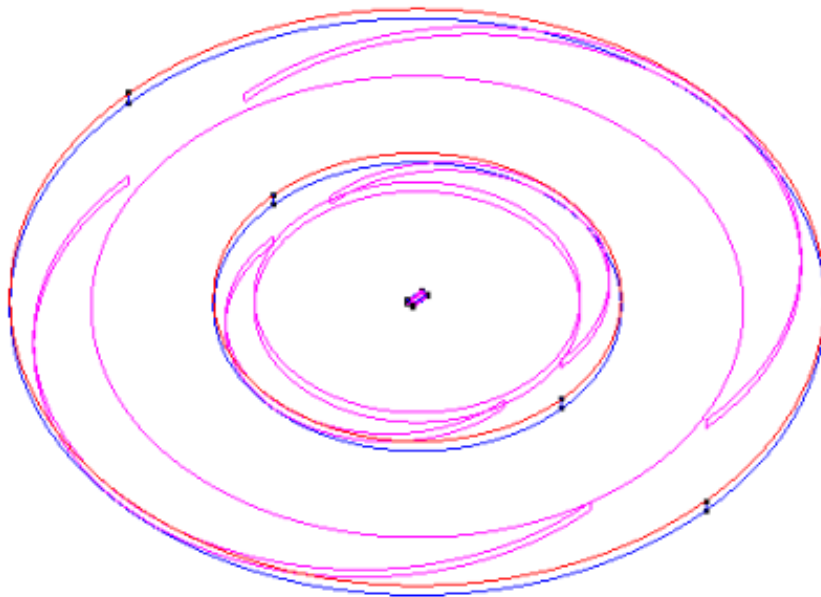
- Crear la superficie libre correspondiente a la zona de estudio, (Menu / Geometry / Delete / Surfaces)

Representación del contorno

y seleccionar las dos líneas que forman la superficie superior del cilindro interno y las líneas superiores del contenedor.



- Crear la superficie libre correspondiente a la zona de absorción de la ola, (Menu / Geometry / Delete / Surfaces) y seleccionar las dos líneas que forman la parte superior de ambos cilindros.



- Crear la superficie inferior, correspondiente al lecho marino entre el cilindro interno y el externo, de la misma manera que se ha hecho con la superficie libre.

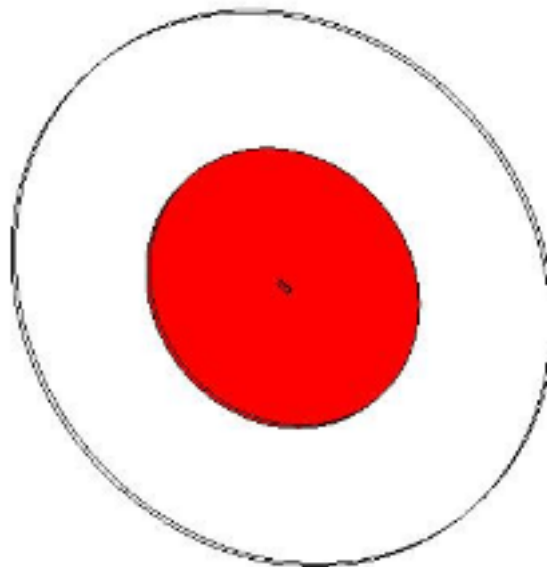
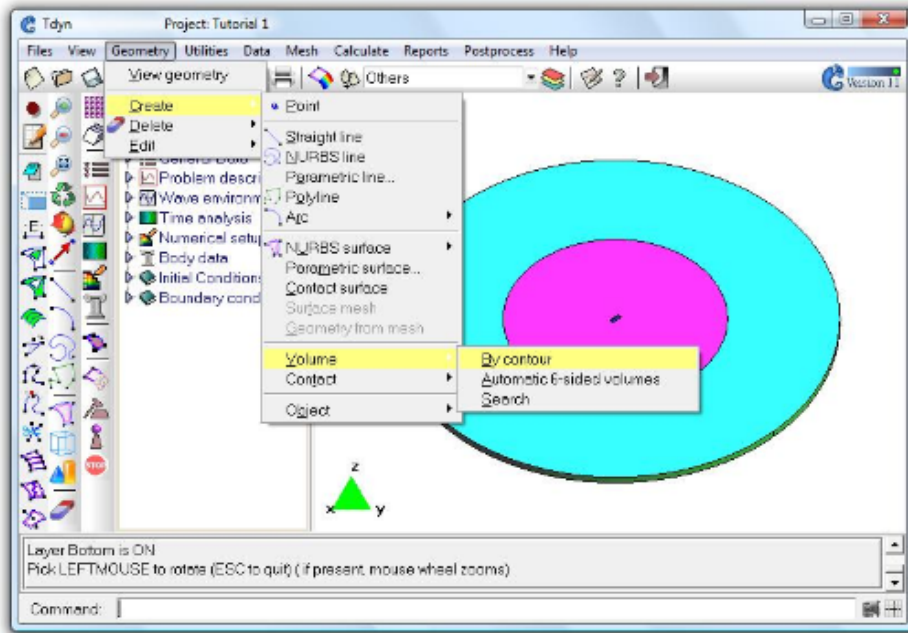
4- Mover cada uno de los elementos representados en la capa correspondiente:

- Superficies superiores de los cilindros interno y externo, mover a la capa "Free Surface".
- Superficie lateral del cilindro externo, mover a la capa "Outlet".
- Superficies inferiores de ambos cilindros, mover a la capa "Bottom".
- Superficies laterales del cilindro interno, mover a la capa "Others".

Representación del contorno

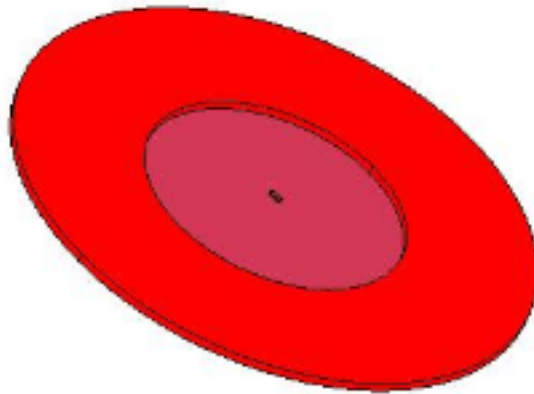
5.- A continuación se deben crear los volúmenes para que el programa pueda realizar de forma correcta el cálculo:

- Crear un volumen correspondiente a la zona de estudio, (Menu / Geometry / Create / Volume / By Contour) y seleccionar todas las superficies del elemento de estudio, ubicadas en la capa "Body" y seleccionar las superficies del cilindro interno ubicadas en las capas "Free Surface", "Bottom", "Others".



- Crear un segundo volumen correspondiente a la zona de mar abierto, para ello seleccionar el (Menu / Geometry / Create / Volume / By Contour) y seleccionar las superficies del cilindro externo ubicadas en las capas "Free Surface", "Outlet", "Bottom" y "Others".

Representación del contorno



6.- Finalmente mover cada uno de los volúmenes a la capa correspondiente:

- Volumen interno, mover a la capa "Inner volume".
- Volumen externo, mover a la capa "outer volume".

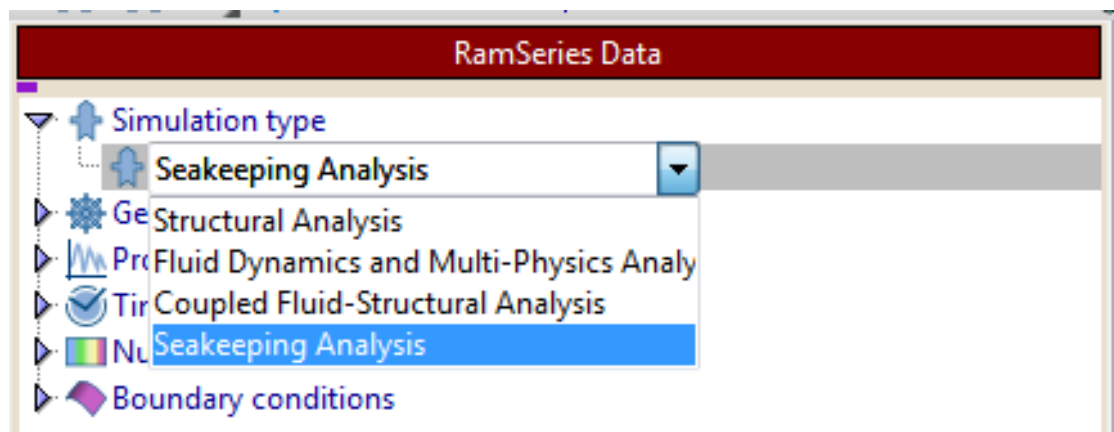
Definición datos Tdyn

1.2.2.2 Definición datos Tdyn

Definición de datos Tdyn:

Este apartado, lo forman un total de nueve sub-apartados que deben ser definidos para imponer las condiciones del problema, y controlar las variables que tienen lugar en la simulación. Estos apartados son:

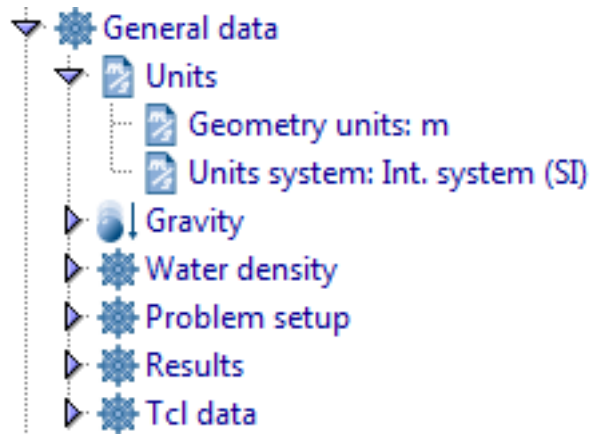
1.- Tipo de simulación, en este apartado se debe seleccionar "Seakeeping Analysis".



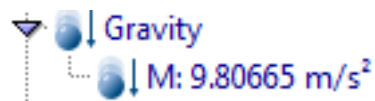
2.- Datos generales, este apartado se divide en 6 subapartados que son:

- Units: Seleccionar unidades en metros y Sistema Internacional.

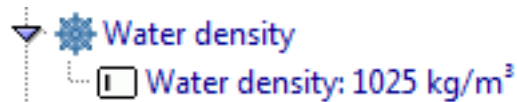
Definición datos Tdyn



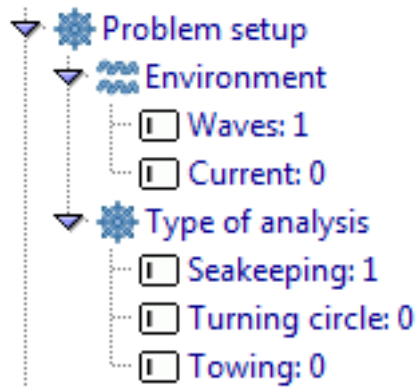
- Gravity: $M = 9,80665 \text{ m/s}^2$.



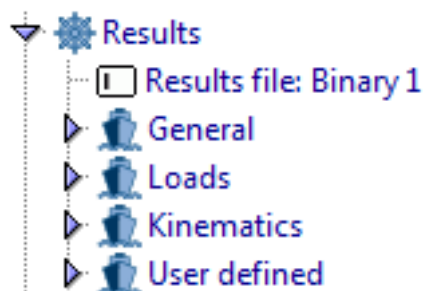
- Water density: Indicar el valor de la densidad del agua, en este caso 1025kg/m³.



- Problem Setup: Seleccionar el tipo de estudio a realizar. Waves=1, Current=0, Seakeeping=1.



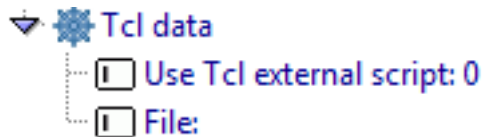
- Results Seakeeping: Indicar el modo de muestra de resultados, para poder ser leídos desde el archivo seleccionar el modo "binary1".



Las otras opciones (General, Loads, Kinematics, User defined) dejar los valores por defecto.

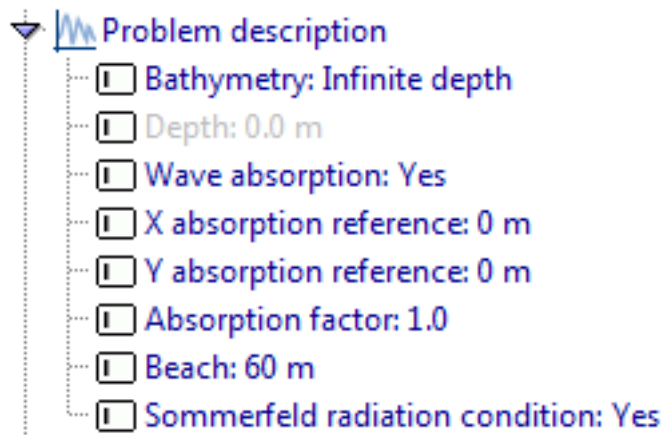
- Tcl data: Para utilizar códigos de programa externos. Dejar valores por defecto.

Definición datos Tdyn



3.- Descripción del problema, este apartado dispone de 6 subapartados que son:

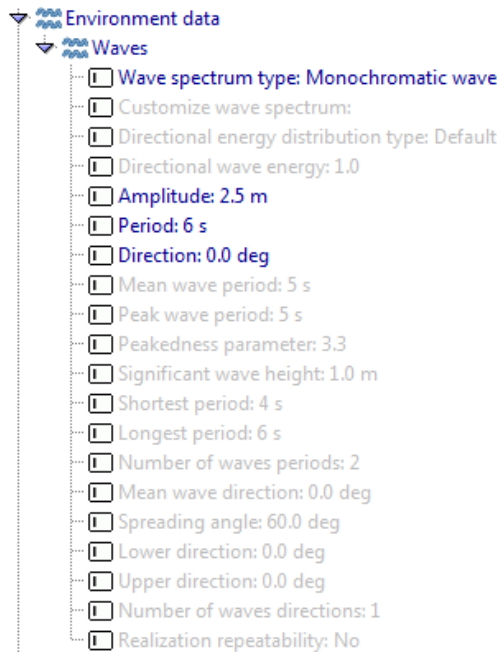
- Bathymetry: En esta opción seleccionar "Infinite depth" puesto que la profundidad es tal que no tiene efecto sobre el comportamiento del oleaje.
- Depth: Al escoger "infinite depth" en el apartado anterior esta opción queda bloqueada. Si fuera un estudio de calado constante se pondría el valor del calado.
- Wave absorption: Seleccionar "yes" puesto que interesa que las olas se disipen tras pasar la zona de estudio.
- Absorption factor: Poner un valor de factor de absorción de la unidad.
- Beach: Esta opción corresponde al radio del cilindro de la zona de estudio, 60m.
- Sommerfeld radiation condition: Seleccionar "yes" puesto que interesa que haya condición de radiación de las olas.



4.- Oleaje ambiental. En este apartado, se define el entorno de ola, pudiendo ser del tipo *Monocromática*, *White Noise* o *Pierson Moskowitz*. En función del tipo de entorno seleccionado, se deben definir un conjunto de datos de la ola. Para este estudio, seleccionar:

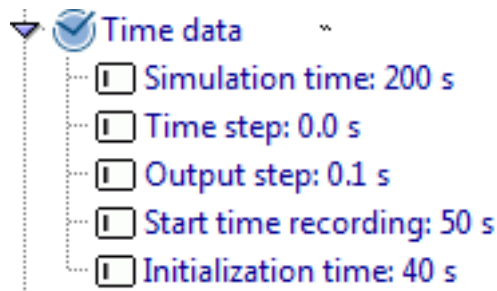
- Wave spectrum type: Monochromatic wave.
- Amplitude: 2,5m
- Period: 6s.
- Direction: Dirección de procedencia de las olas; 0,0deg.

Definición datos Tdyn



5.- Tiempo de análisis. En este apartado, se define la duración del análisis, la frecuencia con la que el programa toma datos (*step*), el momento en que el programa inicia la grabación y el momento de inicialización de captura de datos.

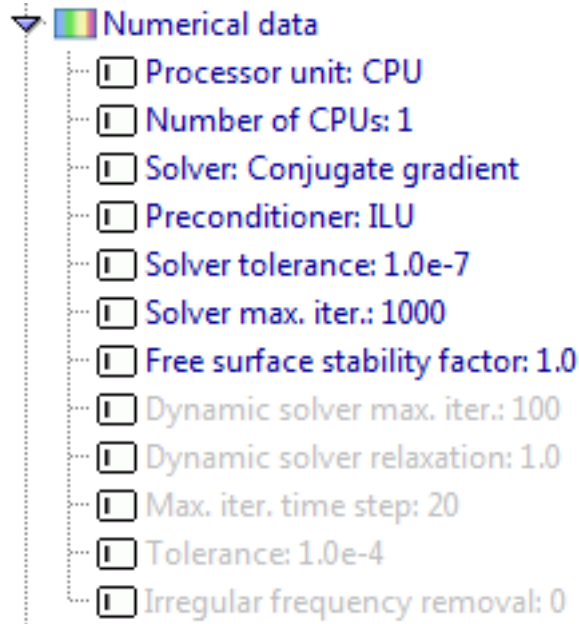
- Simulation time: Indicar un tiempo de 200s.
- Output step: Dejar el valor por defecto 0,1s.
- Start time recording: Dejar el valor por defecto 50s.
- Initialization time: Dejar el valor por defecto 40s.



6.- Configuración numerica. Este apartado permite configurar la manera en cómo se va a desenvolver el cálculo del problema, pudiendo escoger:

- Processor unit: Dejar el valor por defecto CPU.
- Solver: Dejar el valor por defecto conjugate gradient.
- Precond: Dejar el valor por defecto ILU.
- Solver tolerance: Dejar el valor por defecto 1,0e-7.
- Solver max. iter.: Indicar un tiempo de 1000.
- Stability factor: Dejar el valor por defecto 1.0.

Definición datos Tdyn



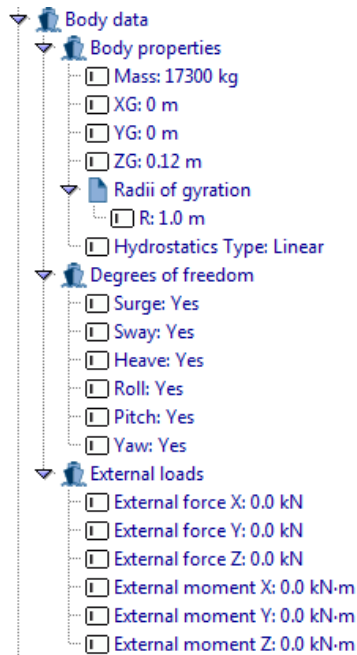
7.- Datos elemento de estudio. En este apartado, se definen las propiedades del elemento de estudio como su centro de gravedad, su masa y su radio de giro. Además, se definen los grados de libertad que puede tener, pudiendo escoger entre los seis posibles, tres de desplazamiento y tres de giro. Finalmente, se pueden aplicar cargas externas al elemento de estudio, pudiendo escoger entre cargas en cada una de las tres direcciones y momentos respecto de los tres ejes.

- Body properties: Indicar una masa de 17300kg, un centro de gravedad (respecto el centro de flotación) en $x=0$, $y=0$ y $z=0.12$. Finalmente en la opción "rady of giration" dejar el valor por defecto de 1.0m.

- Degrees of freedom: Los grados de libertad de Surge, Sway, Heave, Roll, Pitch, Yaw deben estar no restringidos por medio de la opción yes.

- External loads: En este apartado no debe realizarse ningún cambio ya que no se aplica ninguna carga externa.

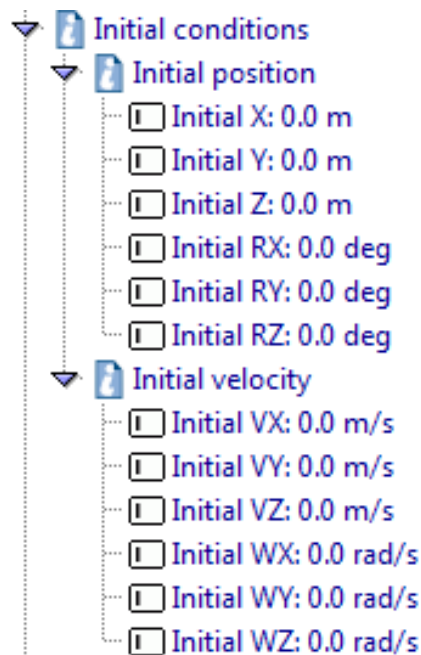
Definición datos Tdyn



8.- Condiciones iniciales. En este apartado se define la posición inicial del elemento, situando la posición del centro de gravedad respecto del origen, así como también se define su posición angular respecto cada uno de los 3 ejes. Además, se define la velocidad que lleva el elemento al iniciar el cálculo, que puede ser lineal en el sentido de cada uno de los 3 ejes, o angular si rota respecto alguno de ellos.

- Initial position: Como la posición inicial del elemento es la misma que durante el período de estudio se dejan todos los valores en 0.

- Initial velocity: Como la velocidad inicial del elemento respecto cualquier eje es nula se dejan todos los valores en 0.

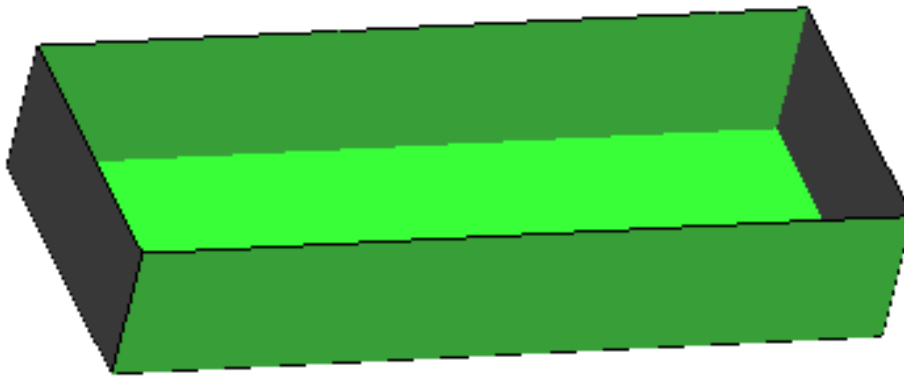


9.- Condiciones de contorno. En este apartado, se atribuye una caracterización a cada una de las

Definición datos Tdyn

superficies generadas en la representación geométrica, con el fin de que el programa pueda identificar qué es cada elemento y proporcionarle las propiedades necesarias. Así pues, se define el elemento de estudio, *Body*, seleccionando en este grupo todas las superficies que lo forman. Del mismo modo, se define la superficie libre, *Free Surface*, como la superficie del agua del mar, la superficie que representa la finalización del mar, *Outlet*, y el fondo del mar, *Bottom*.

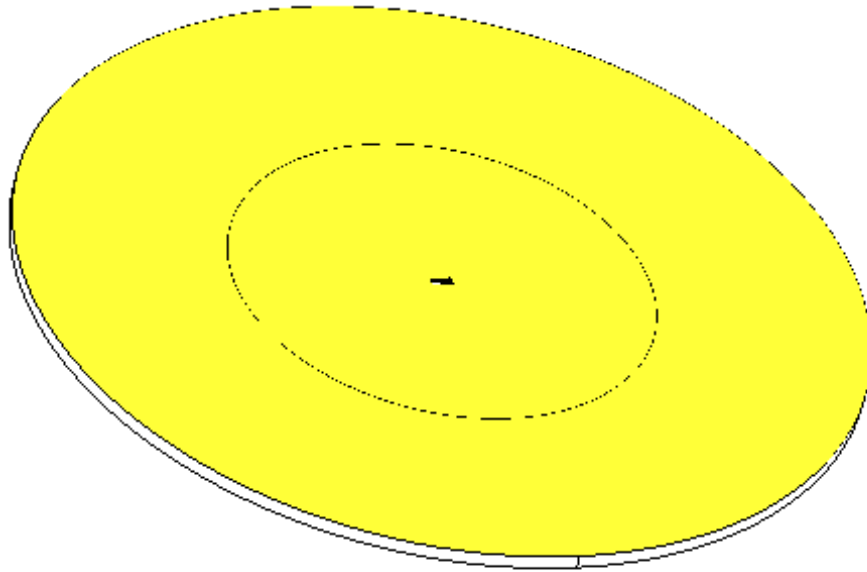
- **Body:** Seleccionar todas las superficies que forman el elemento de estudio, ubicadas en la capa (Body). Para ello, ocultar el resto de capas, hacer doble clic sobre la opción "Body", pulsar la opción "Select" y seleccionar las superficies.



■ Body Auto1 (5)

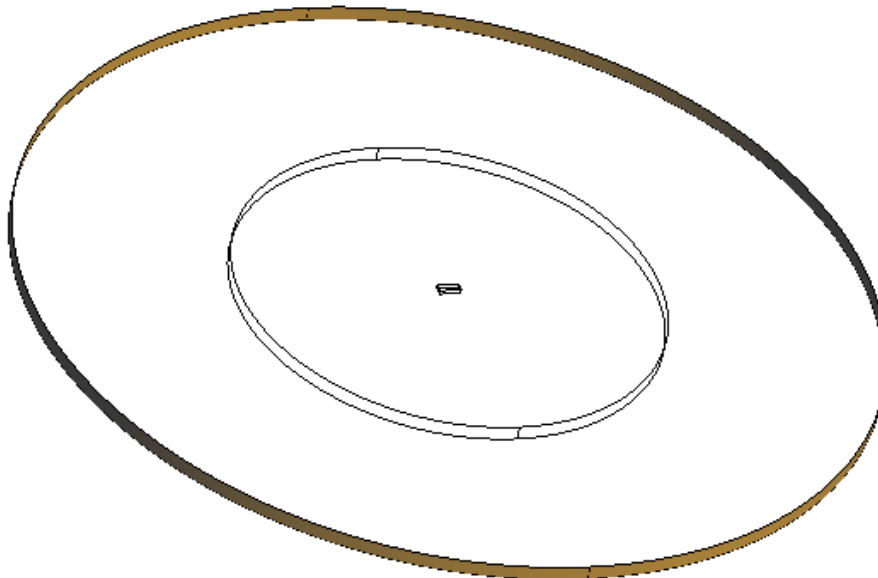
- **Free surface:** Seleccionar las superficies superiores de los cilindros, ubicadas en las capas "Free Surface". Seguir los mismos pasos que en el caso del "body" pero ocultando las capas que no corresponden a la "Free Surface".

Definición datos Tdyn



Free surface Auto1 (2)

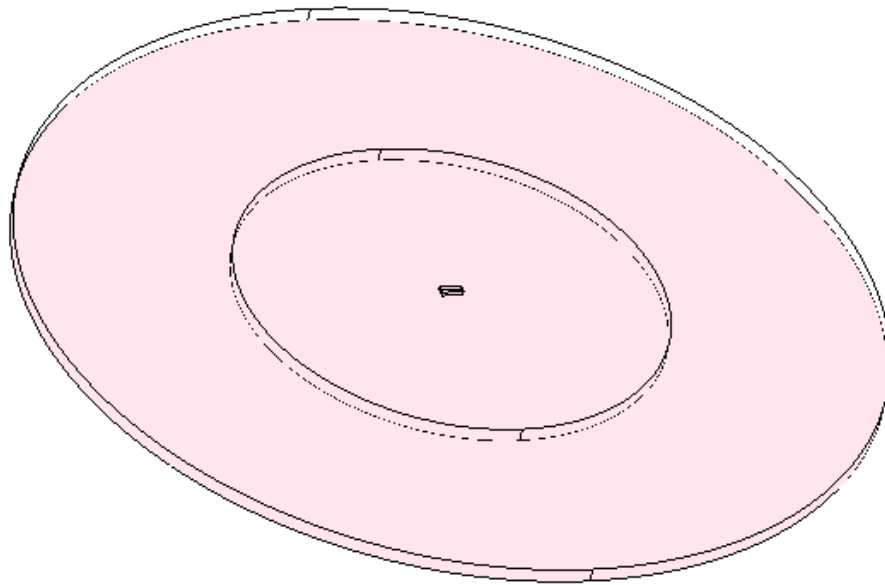
- Outlet: Seleccionar las superficies externas del cilindro grande, ubicadas en la capa (Outlet).



Outlet Auto1 (2)

- Bottom: Seleccionar las superficies inferiores de los dos cilindros, ubicadas en la capa (Bottom).

Definición datos Tdyn



Bottom Auto1 (2)

- Others: En este estudio no hay ninguna superficie que deba ser caracterizada por esta condición.
- Wall: En este estudio no hay ninguna superficie que deba ser caracterizada por esta condición.
- P Free Surface: En este estudio no hay ninguna superficie que deba ser caracterizada por esta condición.

Generación de malla

1.2.2.3 Generación de malla

Generación malla:

En este apartado, se convierten las geometrías representadas en elementos discretos de menor tamaño que van a ser analizados por medio del Método de Elementos Finitos.

Los diferentes elementos a mallar son los siguientes:

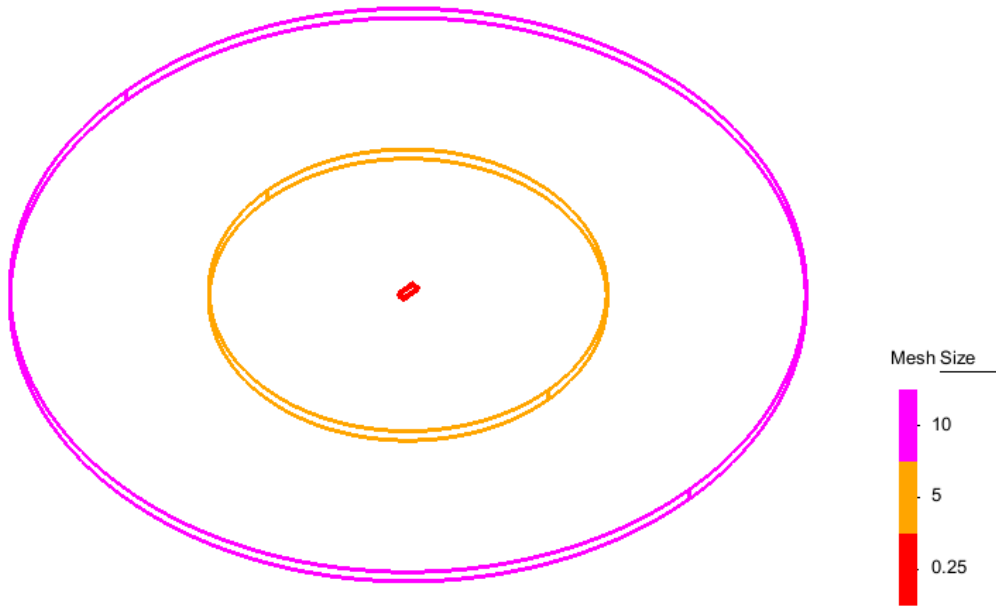
- Mallado de líneas
- Mallado de superficies
- Mallado de volúmenes

Con el fin de aligerar el cálculo, es decir, reducir el tiempo computacional, lo que se hace es definir distintos tamaños de malla en función de la importancia del elemento en cuestión. De esta manera, se debe obtener una malla más fina en las superficies del elemento de estudio y la superficie libre de la zona de estudio. Así pues la malla puede agrandarse en el volumen del cilindro de la zona de estudio y agrandarse más aún en la zona de mar abierto. Las transiciones en la malla, es decir, los cambios de una zona de malla fina a una zona de malla menos fina, deben suavizarse al máximo con el fin de observar una progresión en el elemento mallado, y evitar así, los cambios bruscos que pueden inducir a errores en la obtención de resultados.

Generación de malla

1.- Realización del mallado de líneas:

Como ya se ha comentado, para el mallado de líneas (así como para cualquier otro mallado) se definirán diferentes dimensiones en función de la línea. Las dimensiones dependerán básicamente de cada caso de estudio a analizar. Para este tutorial se han escogido las siguientes dimensiones:

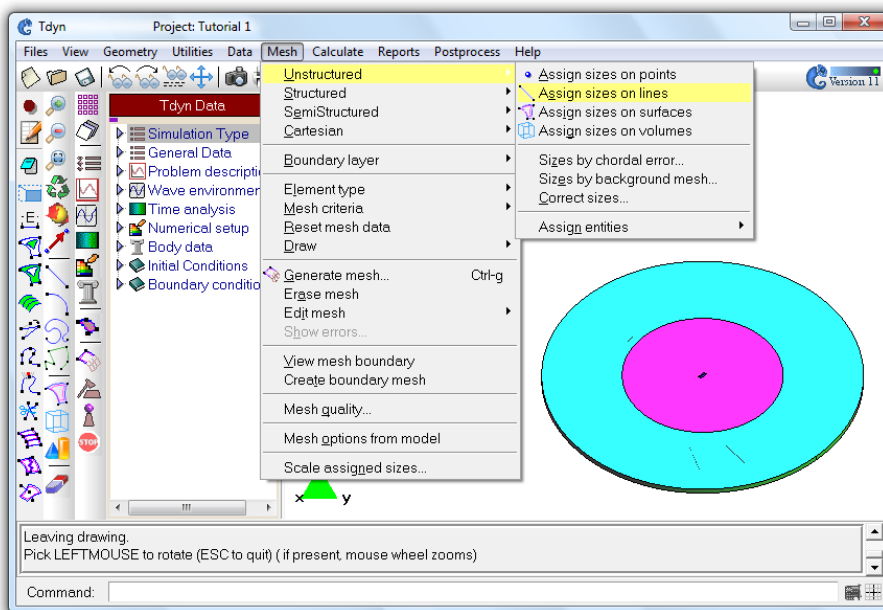


Líneas correspondientes a la parte del "body": 0,25

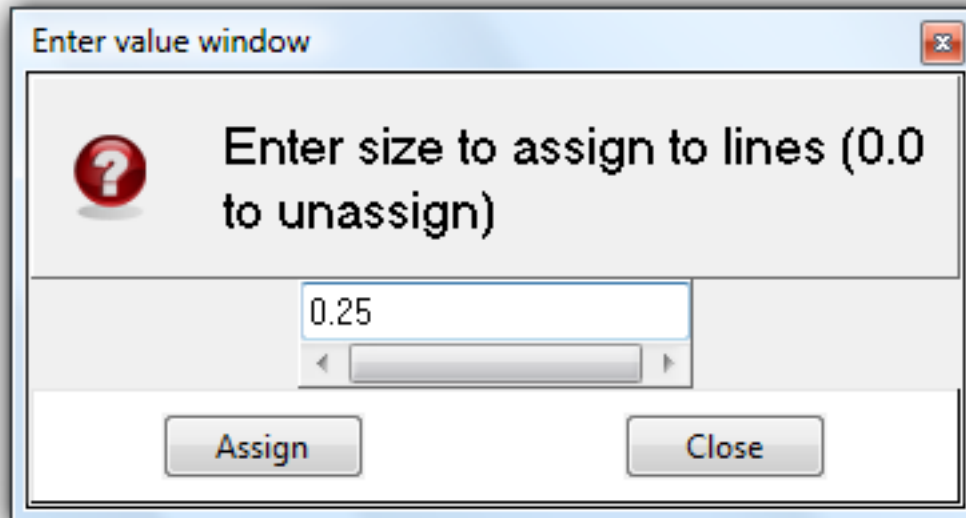
Líneas correspondientes al cilindro interior: 5

Líneas correspondientes al cilindro exterior: 10

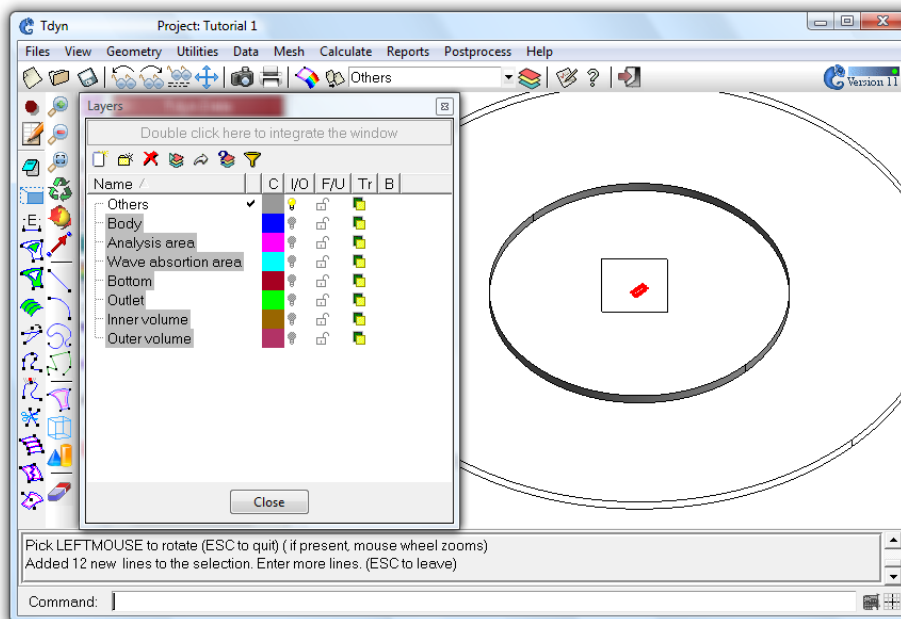
- Seleccionar el comando "Menu"->"Mesh"->"Unstructured"->"Assign size on lines".



Generación de malla



- Cuando aparezca el comando "Enter value window" introducir la dimensión del mallado de las líneas del body (0,25) + intro
- Seleccionar las líneas correspondientes a la parte del body + esc

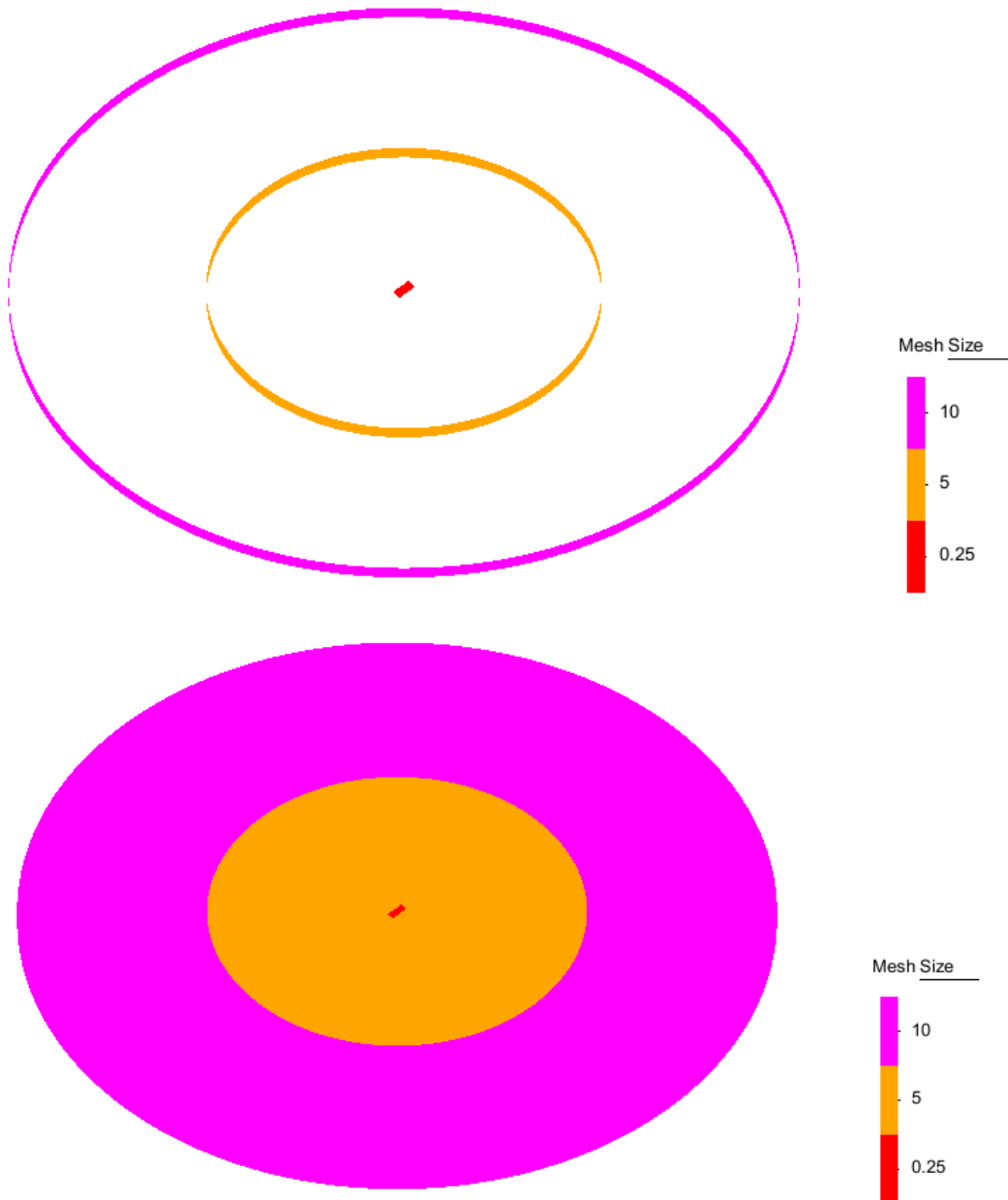


- Introducir la dimensión del mallado de las líneas correspondientes al cilindro interior (5,00) + intro
- Seleccionar las líneas correspondientes a la parte del cilindro interior + esc
- Introducir la dimensión del mallado de las líneas correspondientes al cilindro exterior (10,00) + intro
- Seleccionar las líneas correspondientes a la parte del cilindro exterior + esc
- Cuando vuelva a aparecer el comando "Enter value window" pulsar esc (la descripción del mallado de superficies ha finalizado)

2.- Realización del mallado de superficies:

Generación de malla

Al igual que en el caso de las líneas, las dimensiones de la malla de las superficies variarán en función de la superficie. Para este tutorial las dimensiones son las siguientes:



Superficies correspondientes a la parte del "body": 0,25

Superficies correspondientes al cilindro interior: 5

Superficies correspondientes al cilindro exterior: 10

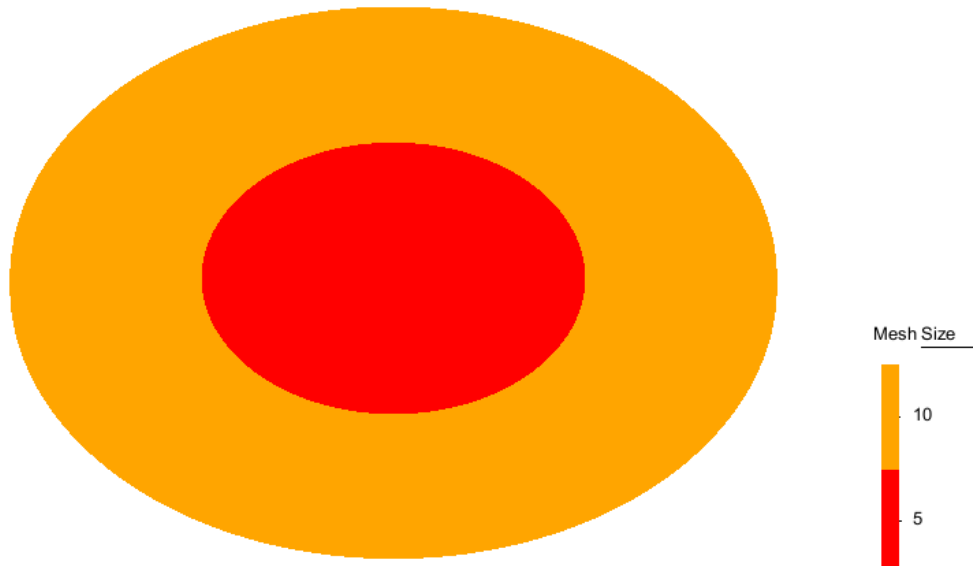
- Seleccionar el comando "Menu"->"Mesh"->"Unstructured"->"Assign size on surfaces".
- Cuando aparezca el comando "Enter value window" introducir la dimensión del mallado de las superficies del body (0,25) + intro
- Seleccionar las superficies correspondientes a la parte del body + esc

Generación de malla

- Introducir la dimensión del mallado de las superficies correspondientes al cilindro interior (5,00) + intro
- Seleccionar las superficies correspondientes a la parte del cilindro interior + esc
- Introducir la dimensión del mallado de las superficies correspondientes al cilindro exterior (10,00) + intro
- Seleccionar las superficies correspondientes a la parte del cilindro exterior + esc
- Cuando vuelva a aparecer el comando "Enter value window" pulsar esc (la descripción del mallado de líneas a finalizado)

3.- Realización del mallado de volúmenes:

Al igual que en el caso de las líneas y las superficies, las dimensiones de la malla de los volúmenes variarán en función del volumen. Para este tutorial las dimensiones son las siguientes:

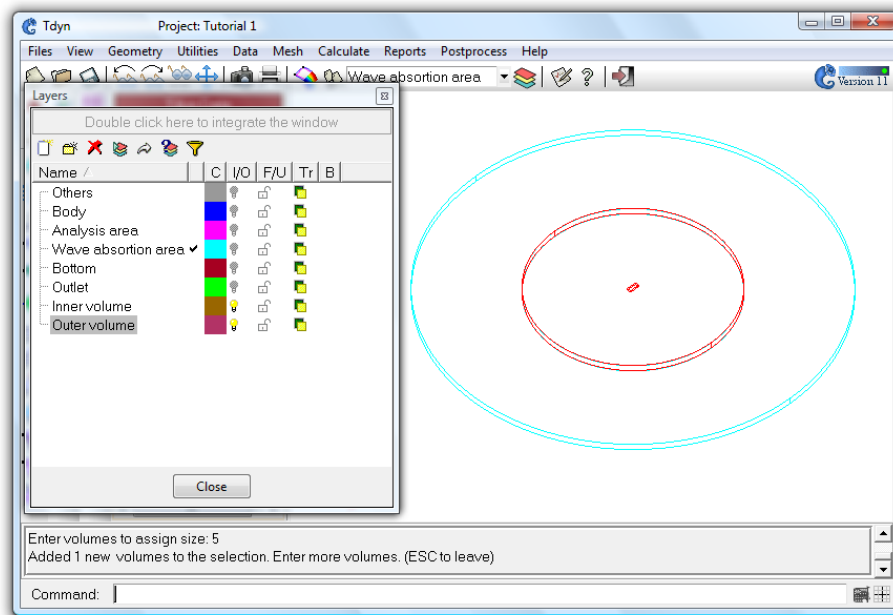


Volumen correspondiente al cilindro interior: 5

Volumen correspondiente al cilindro exterior: 10

- Seleccionar el comando "Menu"->"Mesh"->"Unstructured"->"Assign size on volumes".
- Cuando aparezca el comando "Enter value window" introducir la dimensión del mallado correspondiente al volumen interior (5) + intro
- Seleccionar el volumen interior + esc

Generación de malla



- Introducir la dimensión del mallado correspondiente al cilindro exterior (10,00) + intro
- Seleccionar el volumen exterior + esc
- Cuando vuelva a aparecer el comando "Enter value window" pulsar esc (la descripción del mallado de volúmenes a finalizado)

Cálculo FEM

1.2.2.4 Cálculo FEM

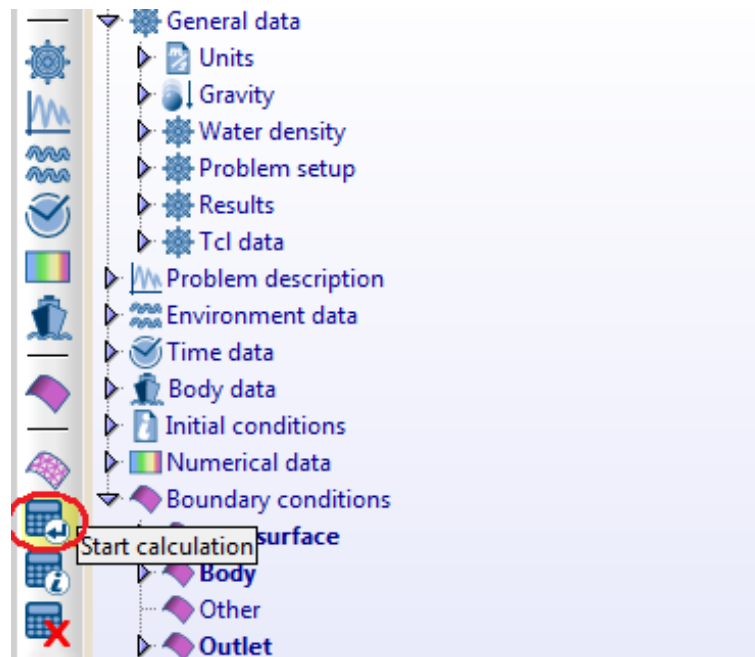
Cálculo FEM:

En este apartado se explica como se inicializa el cálculo del programa mediante el Método de los Elementos Finitos, que permite pasar a la segunda parte del tutorial, es decir, al postproceso para el análisis de resultados.

Inicio del cálculo:

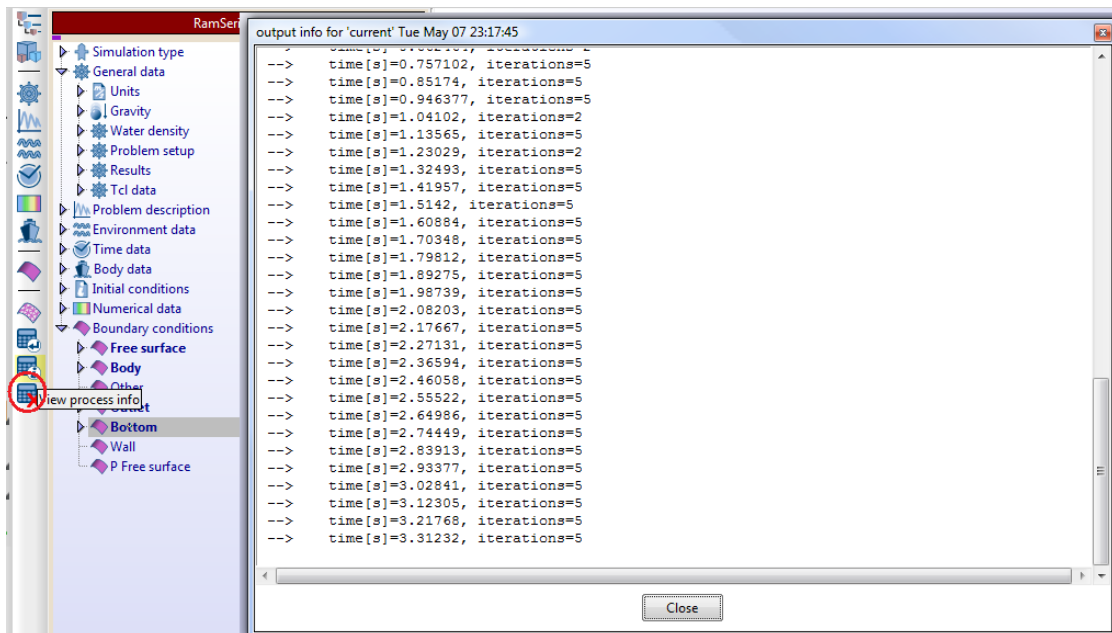
En el menú de la izquierda "Start Calculation".

Cálculo FEM



Seguimiento del cálculo:

En el menú de la izquierda "View process info".



Parada del cálculo:

En el menú de la izquierda "Cancel calculation process".

Postproceso

1.2.3 Postproceso

Postproceso:

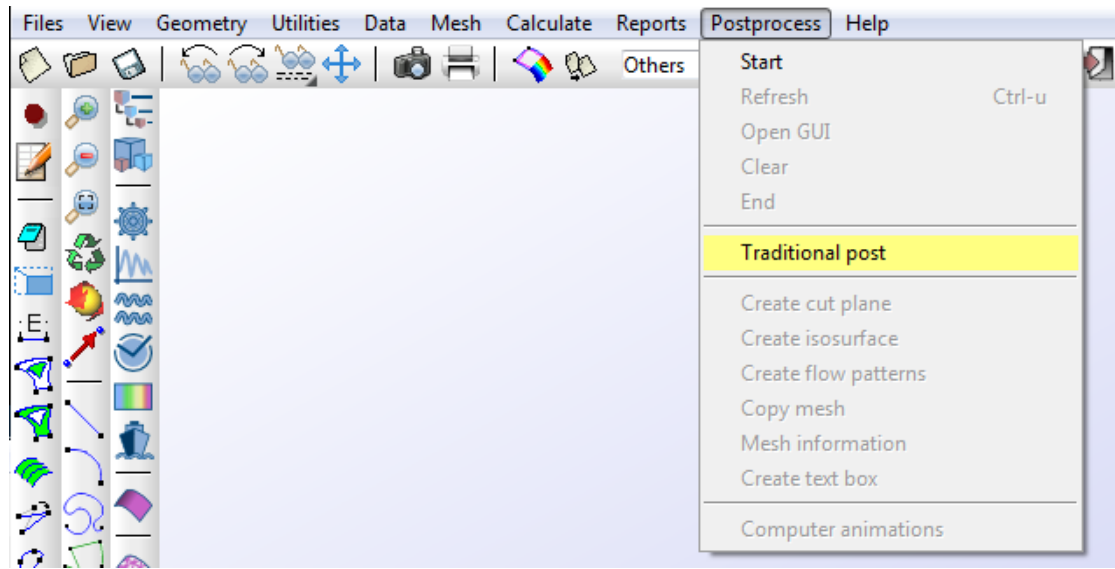
Postproceso

La parte de postproceso se divide en diferentes partes. En este tutorial se estudiarán las siguientes:

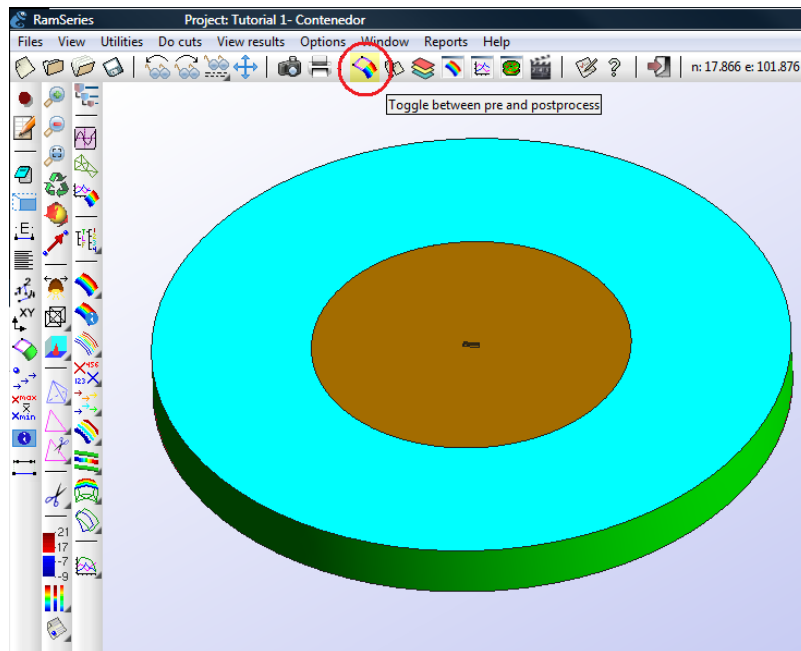
- [Comportamiento olas superficie](#)
- [Cargas en el modelo](#)

Para acceder al Posproceso:

En el menú superior seleccionar (Postprocess / Traditional post)



Nos aparecerá la siguiente ventana. En caso de querer volver al preproceso clicar sobre el icono indicado en la siguiente imagen:



A partir de ahora ya se pueden analizar los resultados.

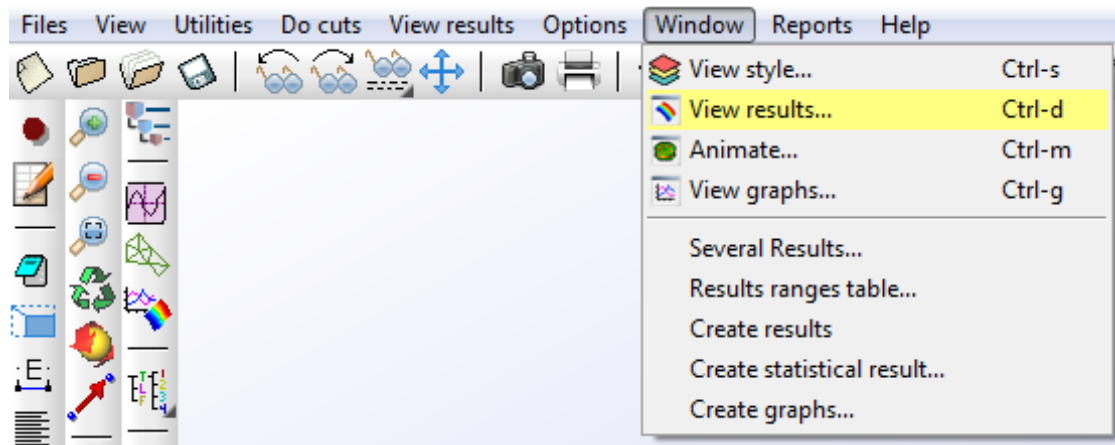
[Comportamiento olas superficie](#)

Comportamiento olas superficie

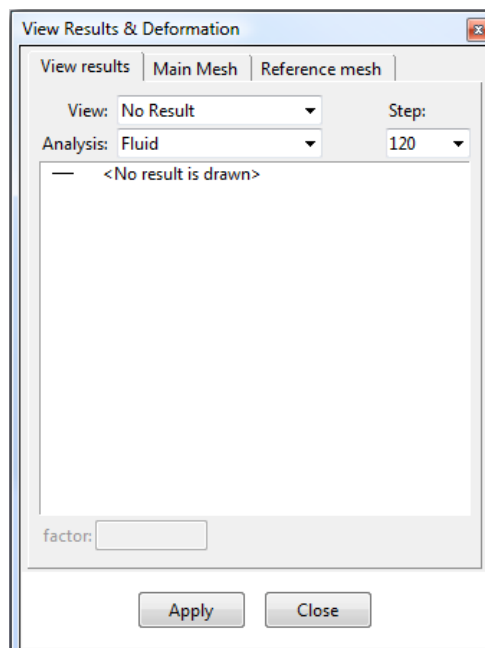
1.2.3.1 Comportamiento olas superficie

Comportamiento de las olas en la superficie:

Este apartado se basa en el estudio de las olas. Primeramente seleccionar en el menú: (Window / View results)



Y aparecerá la siguiente ventana:



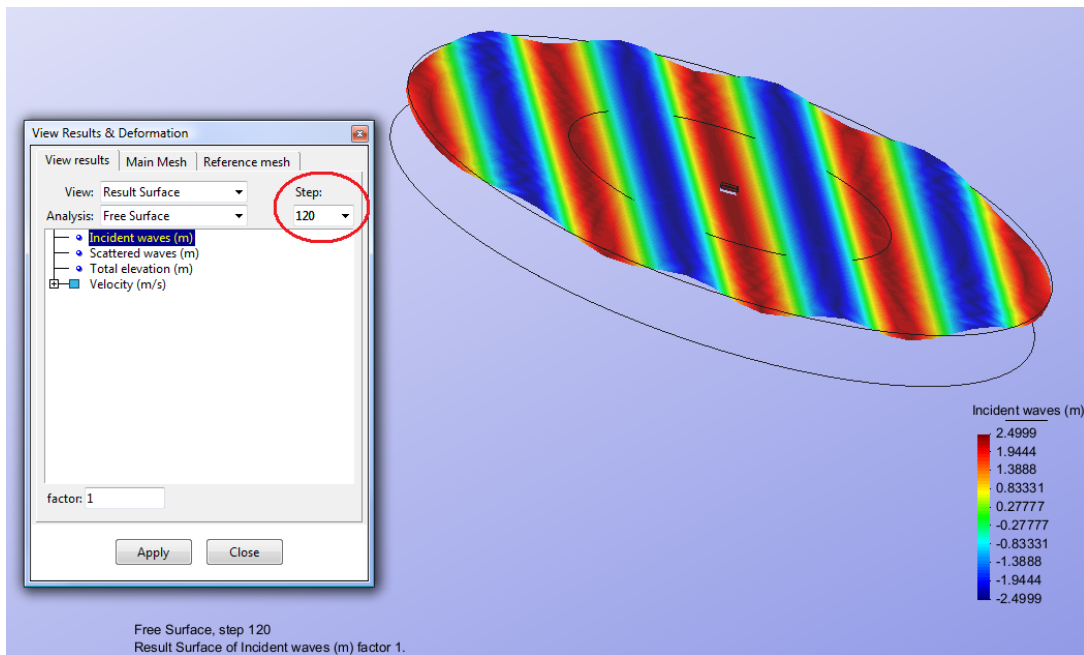
A partir de aquí ya se puede estudiar el oleaje.

1.- Olas incidentes:

Las olas incidentes son las olas que le llegan al soporte

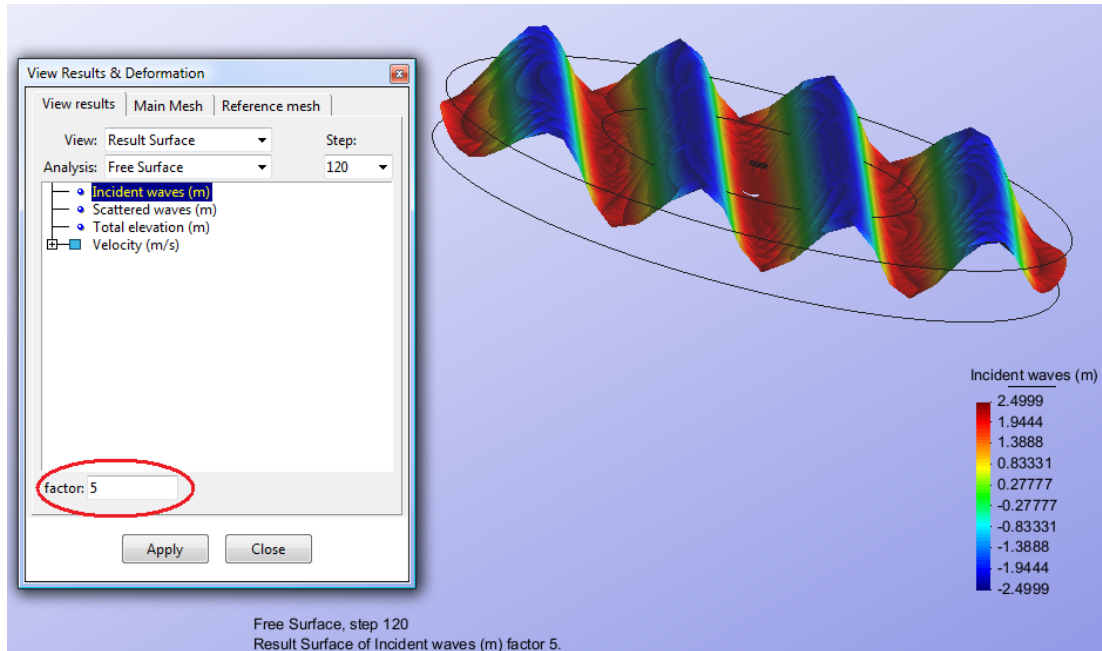
- Seleccionar: (View / Result Surface)
- Seleccionar: (Analysis / Free Surface)
- Escoger: Incident waves

Comportamiento olas superficie



De esta forma se puede observar la condición de oleaje para cada instante de tiempo. Modificar "Step" para analizar otro instante.

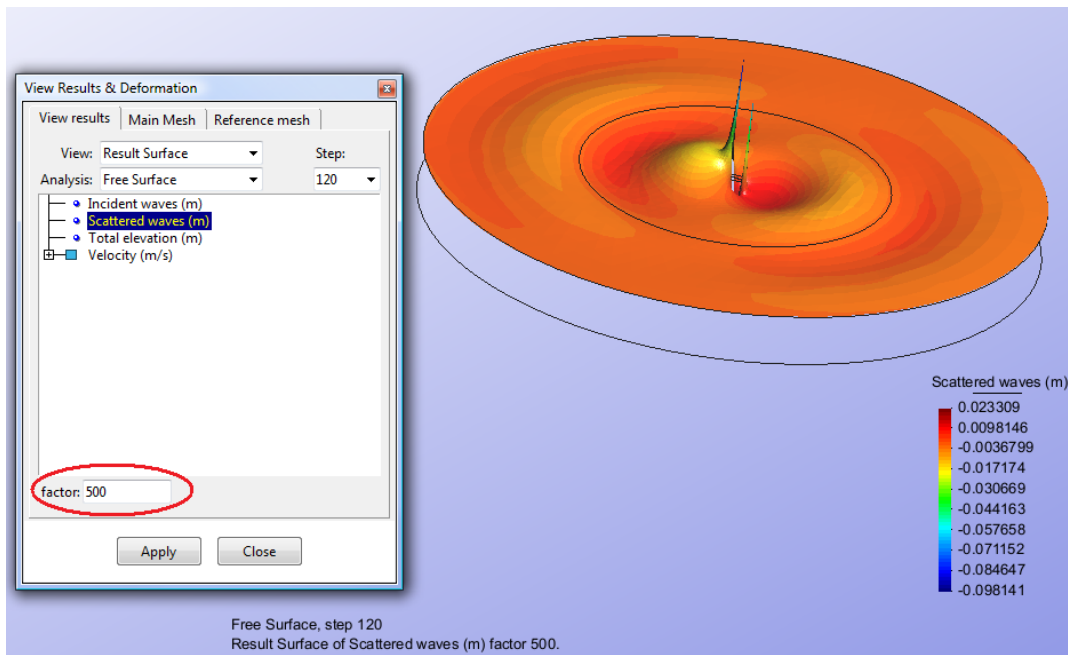
Mediante el factor de amplificación "factor" se puede "modificar" la amplitud de las olas para una mejor visualización:



2.- Olas reflejadas:

Son aquellas olas producidas debidas al choque del agua con el objeto. Siguiendo los mismo pasos que en el caso anterior, pero seleccionando "Scattered waves":

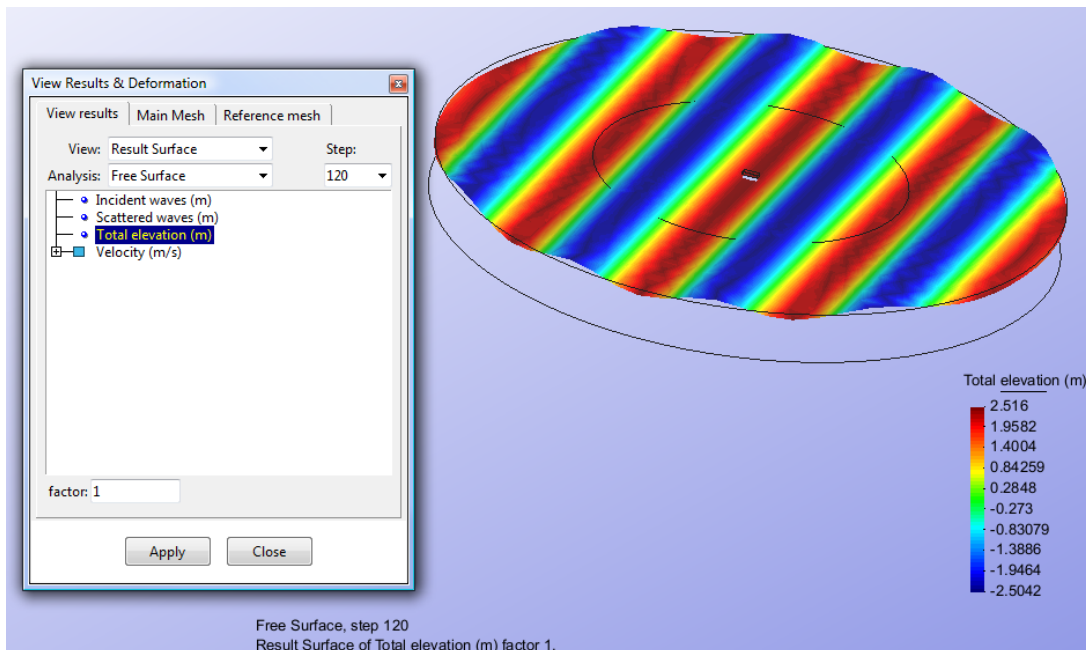
Comportamiento olas superficie



En este caso se ha escogido un factor 500 para una mejor apreciación del fenómeno.

3.- Olas incidentes + reflejadas:

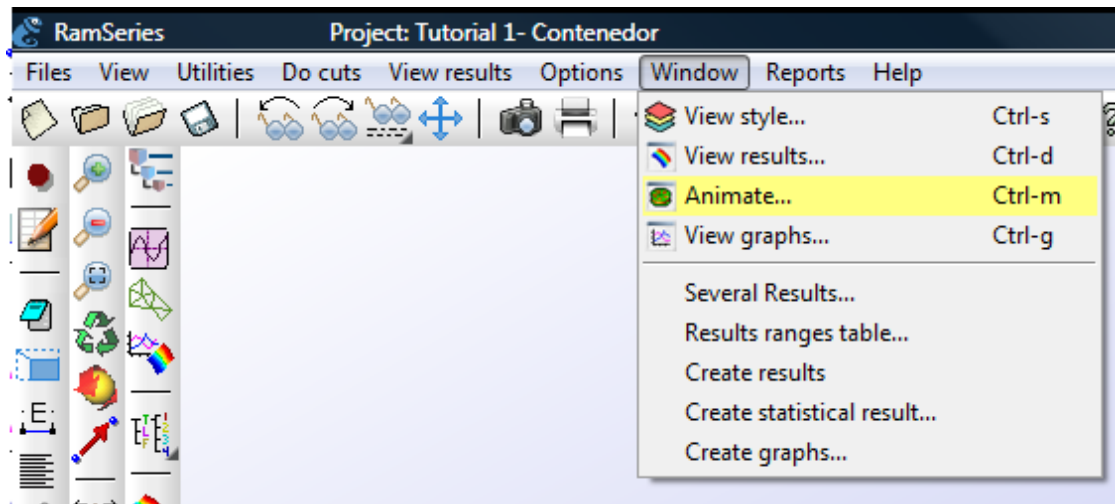
Es el resultado de juntar los dos fenómenos anteriores.



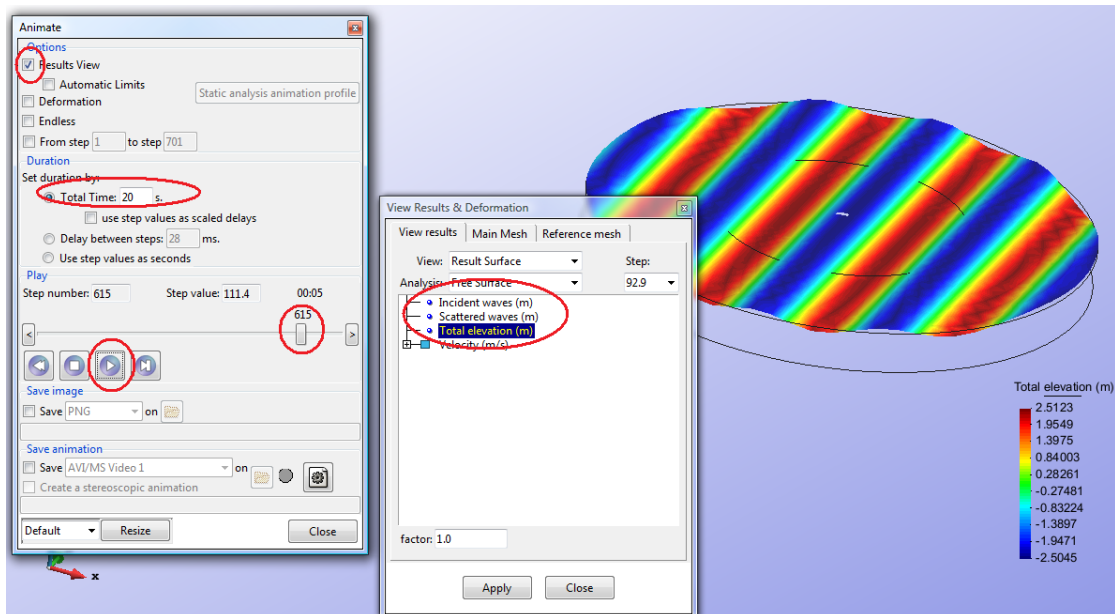
4.- "Animate":

Si quiere observar como van evolucionando los dos fenómenos anteriores en función del tiempo, seleccionar el menú: (Window /Animate)

Comportamiento olas superficie



A partir de aquí y con la ayuda de la siguiente imagen:



- 1.- Seleccionar el tipo de oleaje a observar (View Results & Deformation)
- 2.- Seleccionar "Results View" (Animate)
- 3.- Escoger el tiempo de duración de la animación: "Set duration by: Total time"
- 4.- Indicar en que instante se quiere empezar a reproducir la animación: "Barra de tiempo de reproducción"
- 5.- Empezar animación: "Play"

Cargas en el modelo

1.2.3.2 Cargas en el modelo

Cargas en el modelo:

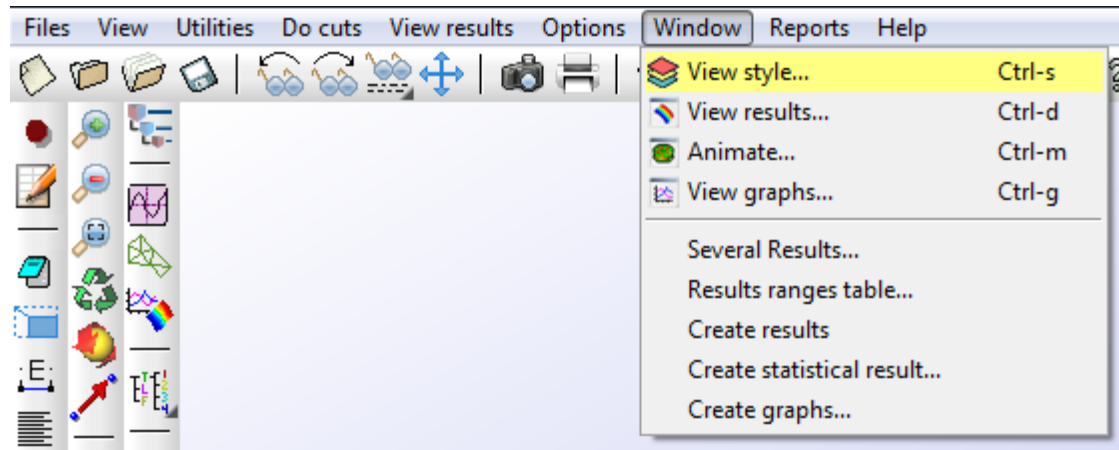
En este apartado se representan las diferentes cargas a las que es sometido un objeto libremente

Cargas en el modelo

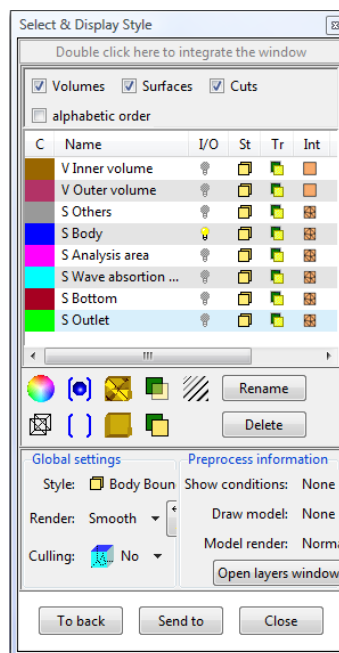
flotando en el agua debido al efecto del oleaje y la profundidad (presión del agua).

Primeramente, para una mejor visualización de las cargas, se deberán esconder algunas capas:

- Seleccionar en el menú: (Window / View Style)



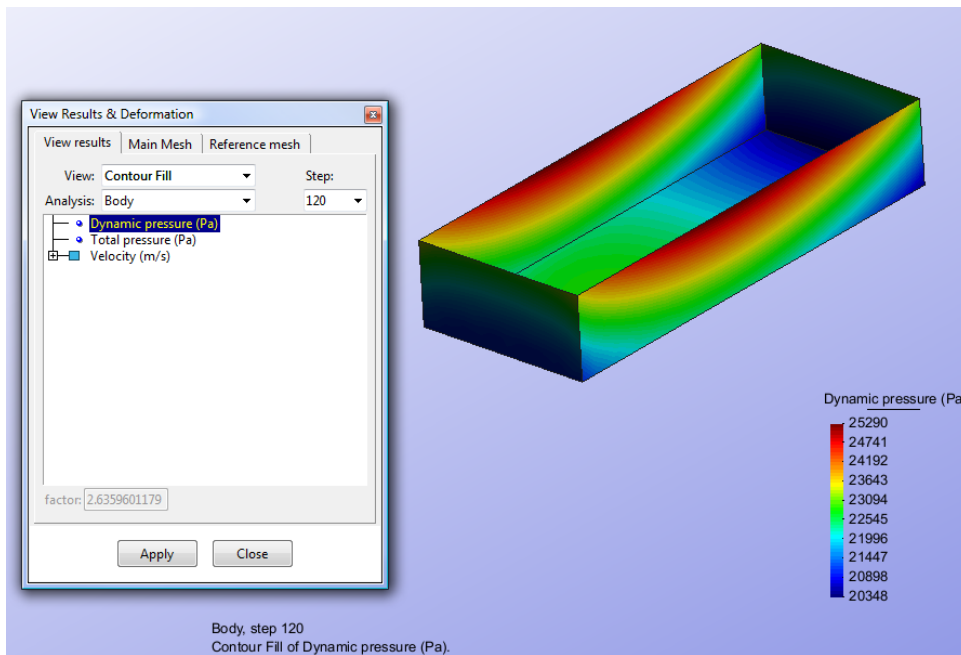
- Dejar seleccionar solo la capa "Body":



1.- Presión dinámica:

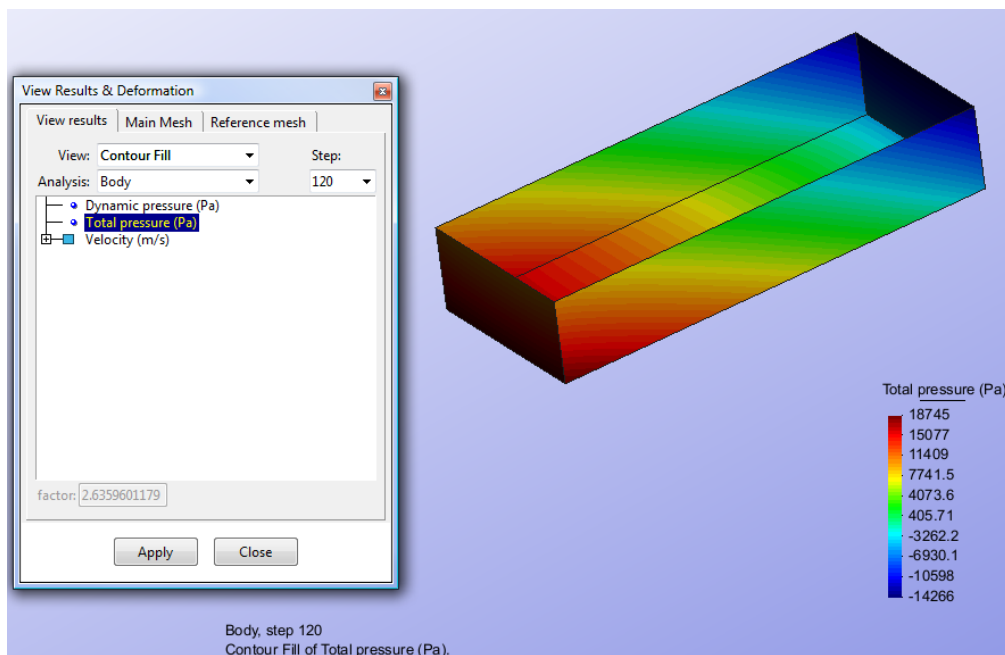
- Seleccionar en el menú: (Window/ View Results)
- View: Contour Fill
- Analysis: Body
- Seleccionar: Dynamic pressure

Cargas en el modelo



2.- Presión total:

- Seleccionar: Total pressure



3.- "Animate":

En caso de querer ver como evoluciona la presión en función del tiempo, igual que en el apartado anterior "Comportamiento de las olas en la superficie":

- 1.- Seleccionar el menú: (Window /Animate)
- 2.- Seleccionar el tipo de oleaje a observar (View Results & Deformation)
- 3.- Seleccionar "Results View" (Animate)

Cargas en el modelo

4.- Escoger el tiempo de duración de la animación: "Set duration by: Total time"

5.- Indicar en que instate se quiere empezar a reproducir la animación: "Barra de tiempo de reproducción"

5.- Empezar animación: "Play"



TUTORIAL 2 .- BOYA

Tutorial boya

1 Tutorial boya

Tutorial boya

Autores: Antoni Canela Mata y Jordi Segalés Torras

Tutor: Dr. Xavier Martínez

[Inicio tutorial](#)

1.1 Inicio tutorial

Inicio tutorial:

El funcionamiento de este programa se basa en un conjunto de pasos que deben tener lugar de manera consecutiva, en lo que se denomina pre-proceso, definiendo así el problema. A partir de ahí, se realiza el cálculo y se pasa al post-proceso, donde se analizan los resultados.

[Descripción del Problema](#)

1.1.1 Descripción del Problema

Descripción del problema:

Se está estudiando la posibilidad de instalar una parque eólico marino en la zona de Camariñas de la costa gallega pero son necesarios más datos de oleaje y viento de la zona, por lo que se opta por la opción de la instalar una boya que recoja datos de oleaje y viento de manera periódica.

Se pide evaluar el comportamiento de la boya para su condición normal de trabajo, cuyo oleaje es de 8 segundos de periodo y 5 metros de altura. Estudiarlo para una ola monocromática.

Datos boya:

Dimensiones boya:

Diámetro: 1,5 m

Alto: 2 m

Características boya:

Peso: 1500 kg

Centro de Gravedad: (X, Y, Z) (0,0; 0,0; -1,0) m * *Nota: Centro de gravedad referido a la altura de flotación.*

Radio de giro: 1 m

Características cable:

Profundidad: 100 m

Fuerza del cable: 1000 kg

Calado que le corresponde debido al propio peso y la fuerza del cable: 1,38 m

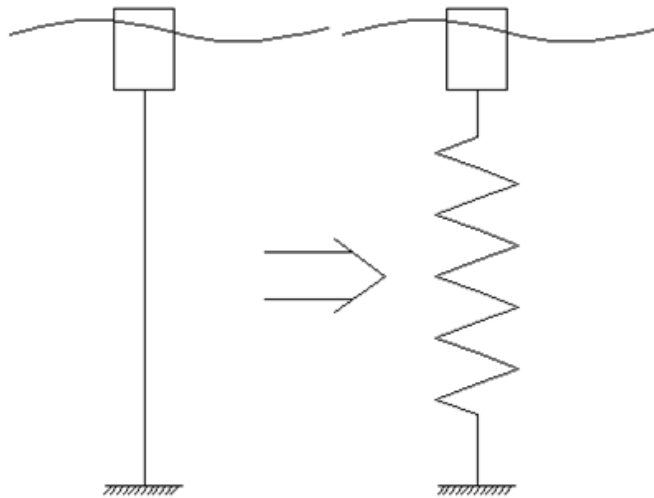
Descripción del Problema

Punto de aplicación: (X, Y, Z) (0,0; 0,0; -1,38) m

Constante de rigidez del cable (efecto muelle):

Debido a los movimientos relativos de la boya con respecto al fondo del mar, el cable se alargará y se acortará, por lo que ejercerá una fuerza sobre la boya que dependerá de la constante de rigidez del cable:

$$k_{\text{cable}} = \frac{\pi D^2 \cdot E}{4 \cdot l_{\text{cable}}} = \frac{\pi \cdot 0,05^2 \cdot 210 \cdot 10^6}{4 \cdot 100} = 4123,34 \text{ kN/m}$$



Características oleaje:

Altura ola: 5 m

Periodo ola: 8 s

Tipo de ola: monocromática

Simplificación del modelo a estudiar:

Para que el programa realice de manera correcta el cálculo, sin dar lugar a errores, sólo se debe definir la superficie mojada del mismo. Para ello, disponiendo del dato del calado, se representa un paralelepípedo con las dimensiones de largo, ancho y calado.

[Preproceso](#)

1.1.2 Preproceso

Preproceso:

Como se ha comentado en la introducción a esta parte, el pre-proceso es la fase en la que se define el problema. Esta fase consta de varios pasos, como son:

Preproceso

- Representación geométrica
- Definición datos Tdyn
- Generación de malla
- Cálculo FEM

1.1.2.1 Representación geométrica

Este apartado consta de 3 partes que son:

- Representación del modelo
- Representación del contorno

1.1.2.1.1 Representación del modelo

Representación del modelo:

En esta fase se representa el elemento de estudio. Los pasos a seguir son los siguientes:

0.- Creación del conjunto de capas que permitan visualizar y ocultar los elementos representados:

- Seleccionar el menú capa.
- Seleccionar el comando nuevo seis veces con el fin de crear seis capas nuevas.
- Renombrar las capas con los nombres:

Body

Bottom

Free Surface

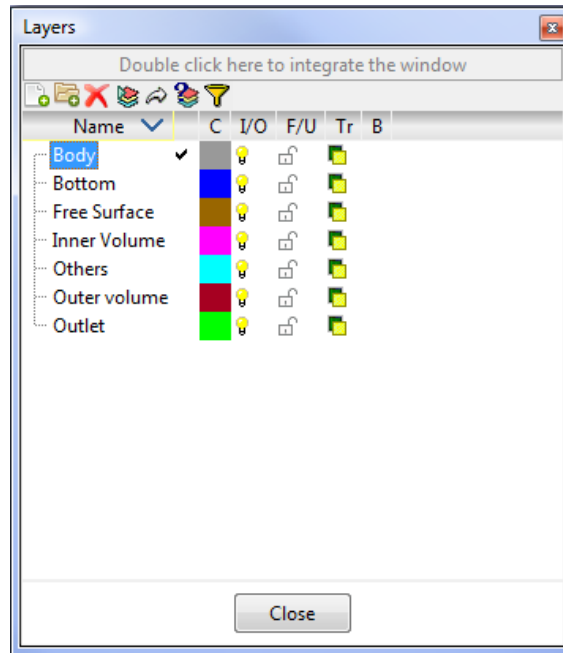
Inner Volume

Others

Outer Volume

Outlet

Representación del modelo



1.- Crear mediante líneas la base del contenedor en el plano "XY":

- Seleccionar: Menu / Geometry / Create / Object / Cylinder



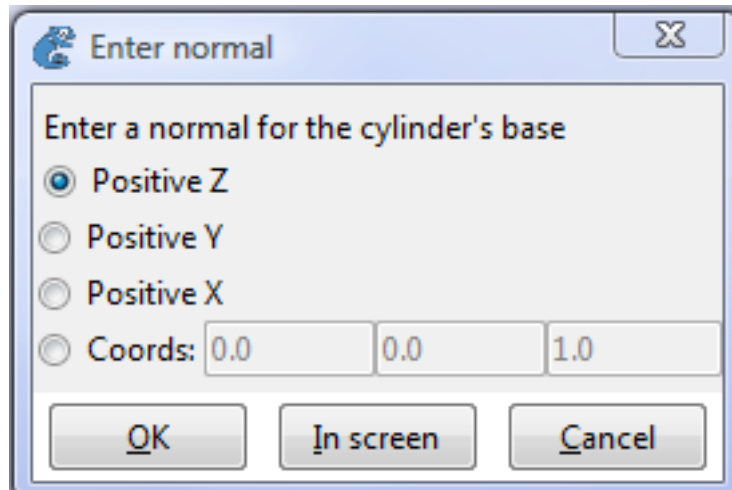
- Introducir las diferentes coordenadas del cilindro en la barra de comando:

Posición x: 0 + Intro

Posición y: 0+ Intro

Normal del cilindro: Positive Z + OK

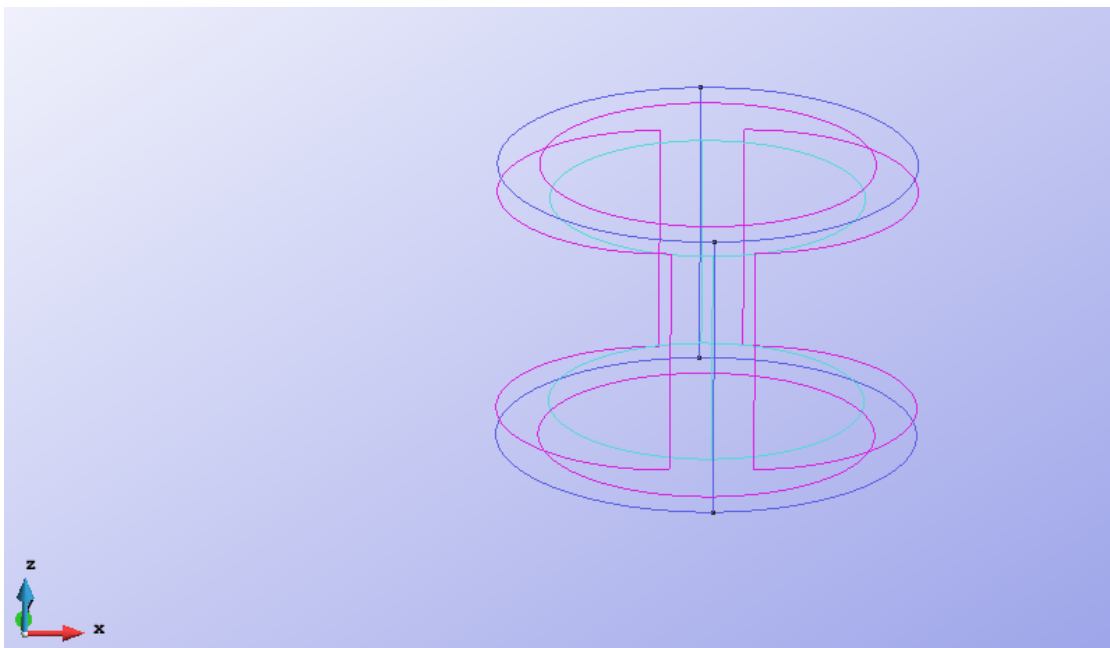
Representación del modelo



Radio del cilindro: $1 + Intro$

Altura del cilindro (calado): $-1.38 + Intro$

Y el resultado es el siguiente,

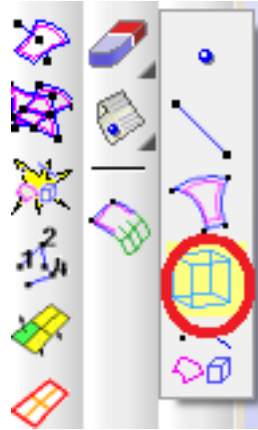


3.- Eliminar los volúmenes y superficies sobrantes:

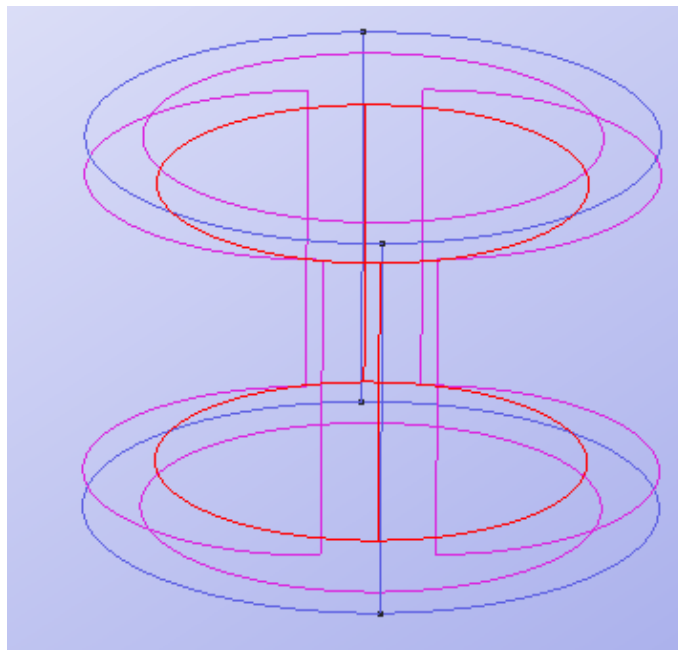
- Eliminar el volumen del cilindro:

Seleccionar el icono "goma" del menú principal y escoger la goma de borrar volúmenes

Representación del modelo

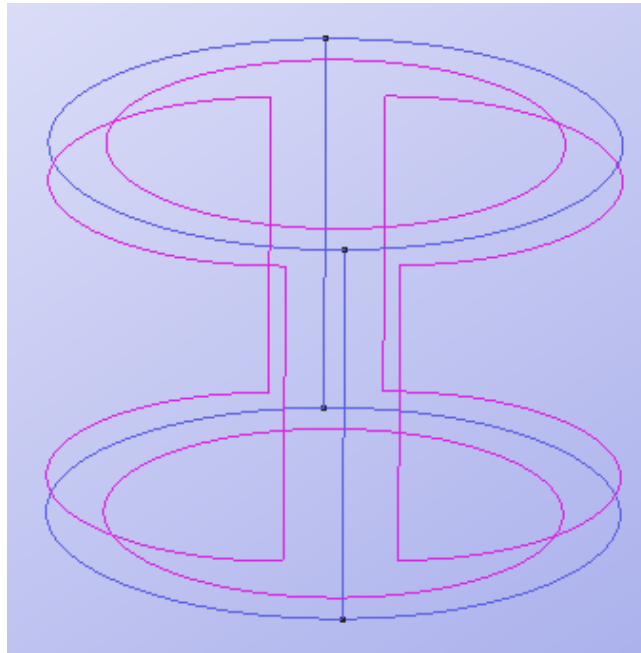


Seleccionar el volumen + ESC



+ ESC

Representación del modelo



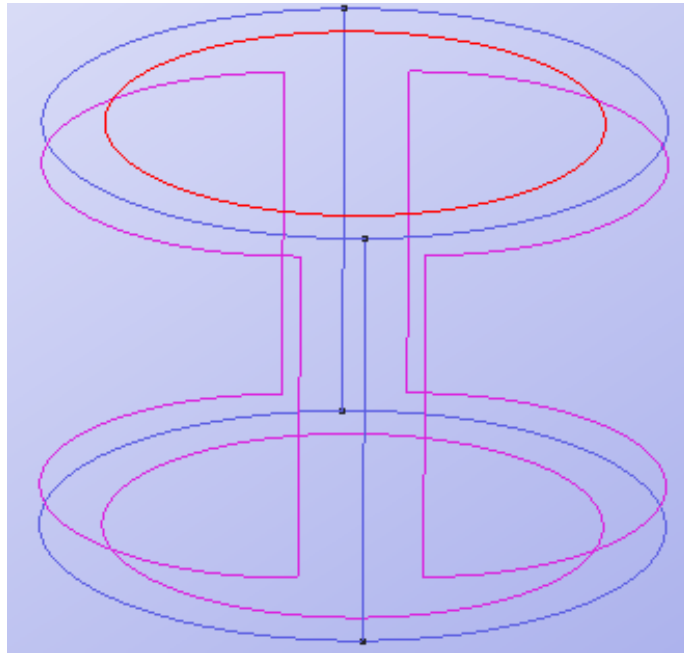
- Eliminar la superficie superior del cilindro:

Seleccionar el icono "goma" del menu principal y escoger la goma de borrar superficies.

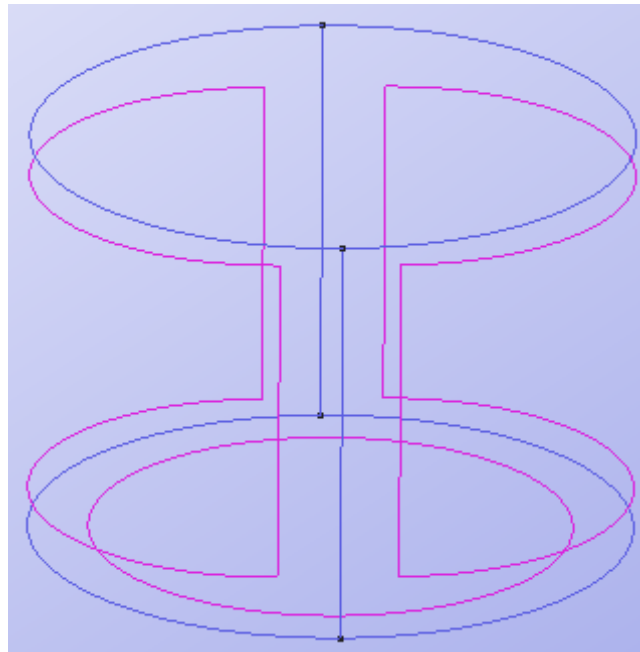


Seleccionar la superficie superior + ESC

Representación del modelo



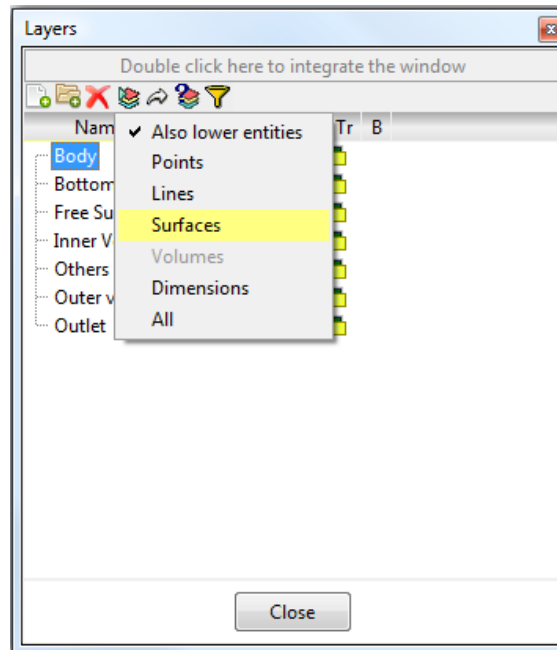
+ ESC



4.- Mover cada uno de los elementos del modelo a la capa correspondiente:

- Seleccione el menú capa.
- Seleccione la capa "Body".
- Seleccione el comando de mover a capa-superficies y seleccione las superficies del modelo.

Representación del modelo



- Seleccione el menú capa.
- Seleccione la capa "Others".
- Seleccione el comando de mover a capa-líneas y seleccione las líneas del modelo.

Representación del contorno

1.1.2.1.2 Representación del contorno

Representación del contorno:

1.- Creación el cilindro que representa la zona de análisis:

Radio del cilindro: 60 m.

Altura del cilindro: 20 m (Para reducir el consumo de recursos del problema, se puede reducir la altura del cilindro (profundidad). Sin embargo la altura nunca será menor a 3 veces el calado)

- Seleccionar: Menu / Geometry / Create / Object / Cylinder
- Introducir las diferentes coordenadas del cilindro en la barra de comando:

Posición x: 0 + Intro

Posición y: 0 + Intro

Normal del cilindro: Positive Z + OK

Radio del cilindro: 60 + Intro

Altura del cilindro (calado): -20 + Intro

2.- Crear el cilindro que representa la zona de absorción de las olas:

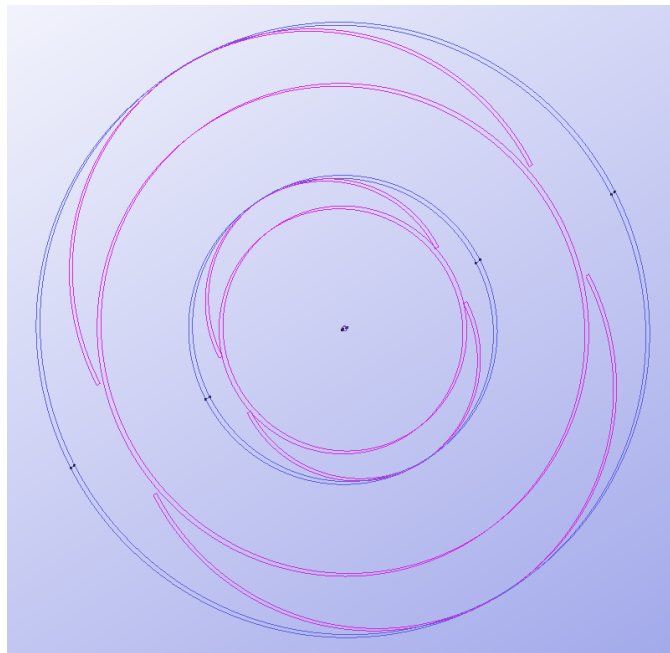
- De la misma manera se crea el segundo cilindro de 120 m de radio, y con la misma profundidad.

Representación del contorno

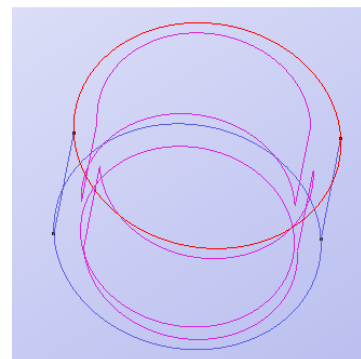
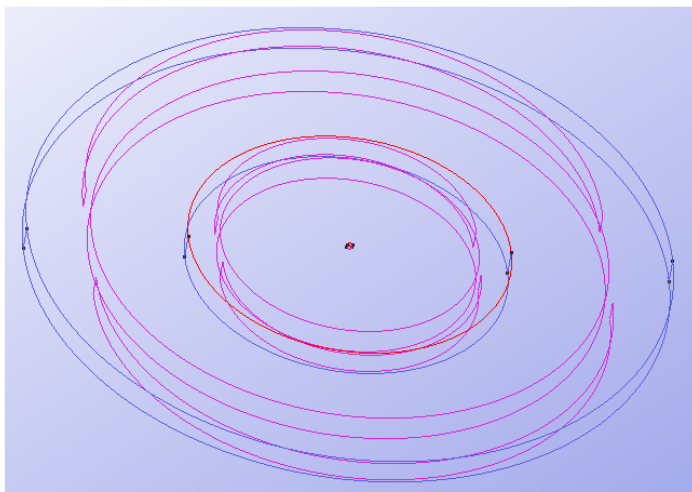
3.- Modificación de superficies y volúmenes:

- Eliminar los volúmenes que se generan por defecto al crear los cilindros, seleccionando (Menu / Geometry / Delete / Volumes) y seleccionar ambos volúmenes.
- Eliminar la superficie superior del cilindro interno, seleccionando el menú "Geometry": Delete-Surfaces y seleccionar la superficie.
- Eliminar las superficies superior e inferior del cilindro externo, seleccionando (Menu / Geometry / Delete / Surfaces) y seleccionar ambas superficies.

Tiene que quedar de la siguiente forma:

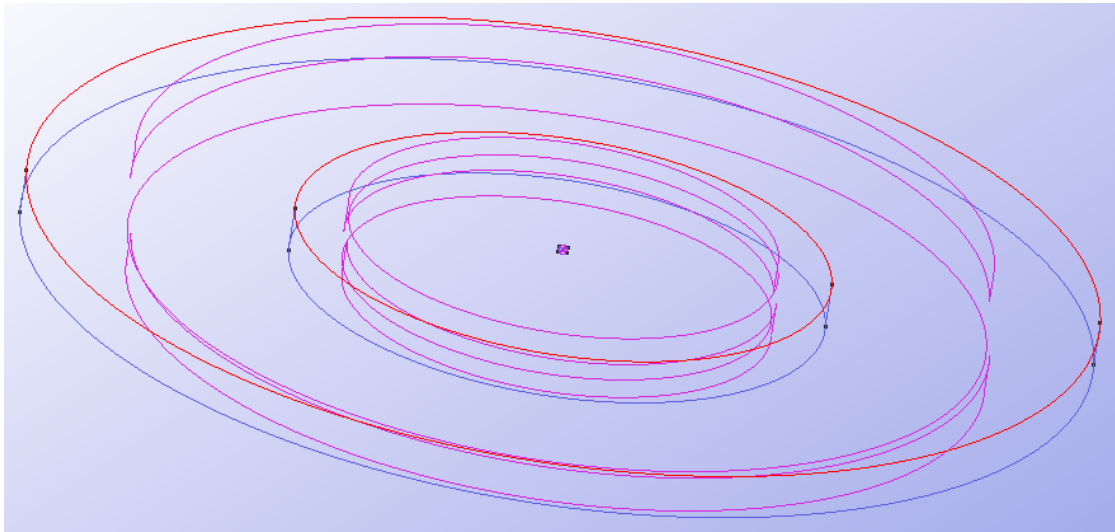


- Crear la superficie libre correspondiente a la zona de estudio, (Menu / Geometry / Create / Surface) y seleccionar las dos líneas que forman la superficie superior del cilindro interno y las dos líneas superiores de la boya.

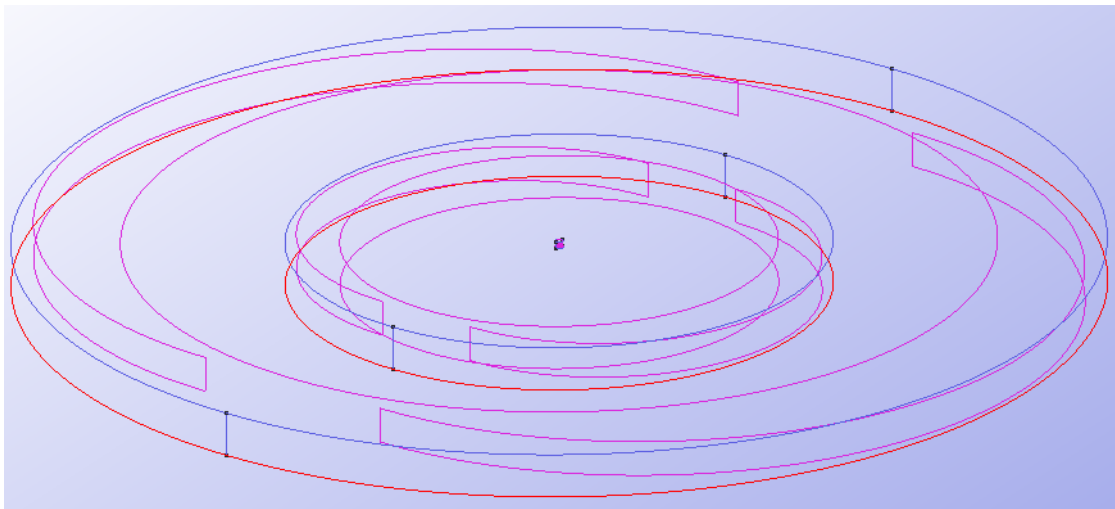


Representación del contorno

- Crear la superficie libre correspondiente a la zona de absorción de la ola, (Menu / Geometry / Create / Surface) y seleccionar las dos líneas que forman la parte superior de ambos cilindros.



- Crear la superficie inferior, correspondiente al lecho marino entre el cilindro interno y el externo, de la misma manera que se ha hecho con la superficie libre.



4- Mover cada uno de los elementos representados en la capa correspondiente:

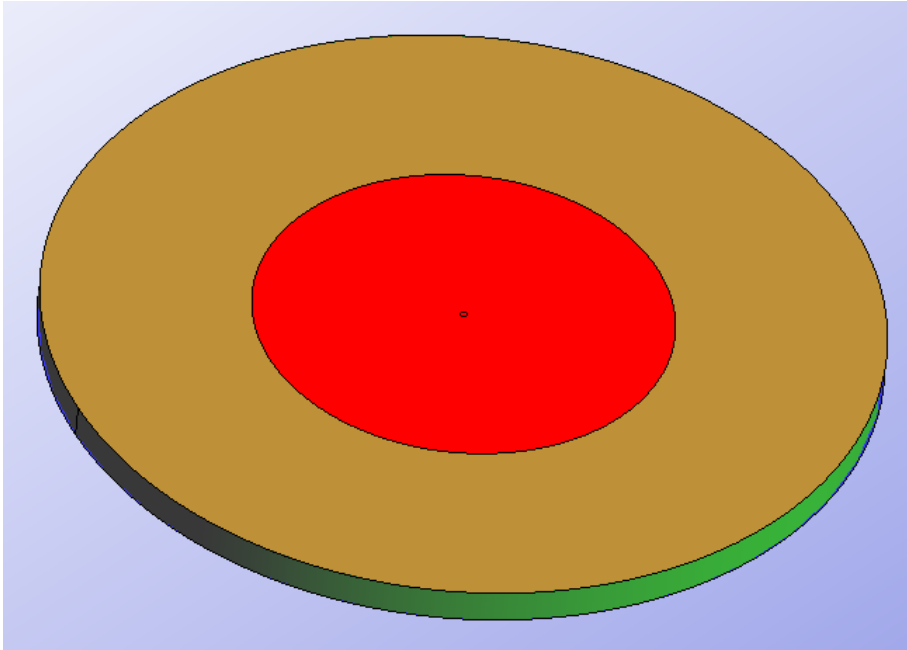
- Superficies superiores de ambos cilindros, mover a la capa "Free Surface".
- Superficie lateral del cilindro externo, mover a la capa "Outlet".
- Superficies inferiores de ambos cilindros, mover a la capa "Bottom".
- Superficies laterales del cilindro interno, mover a la capa "Others".

5.- A continuación se deben crear los volúmenes para que el programa pueda realizar de forma correcta el cálculo:

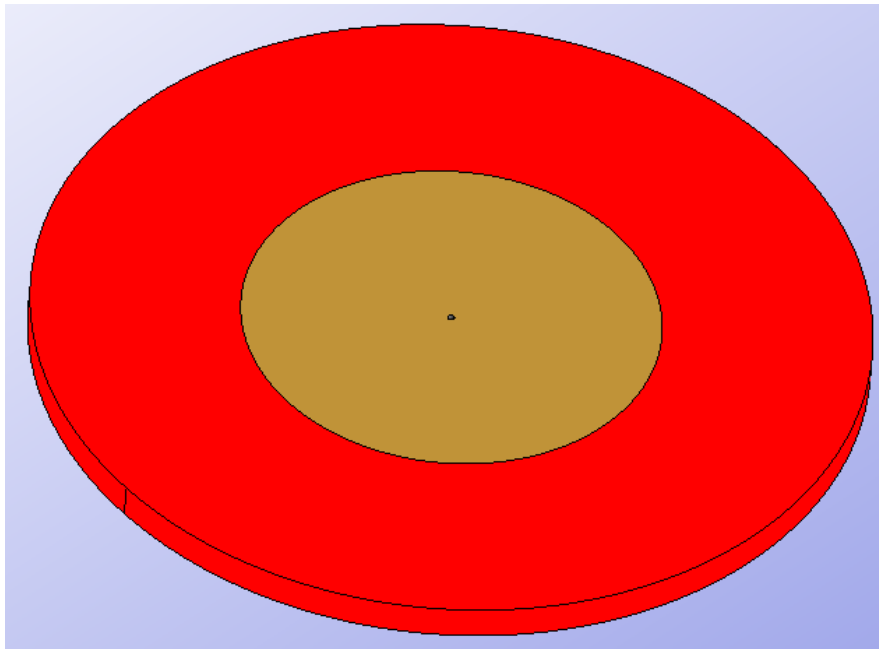
- Crear un volumen correspondiente a la zona de estudio, (Menu / Geometry / Create / Volume / By Contour) y seleccionar todas las superficies del elemento de estudio ubicadas en la capa "Body" y las

Representación del contorno

superficies del cilindro interno ubicadas en las capas "Free Surface", "Bottom", "Others".

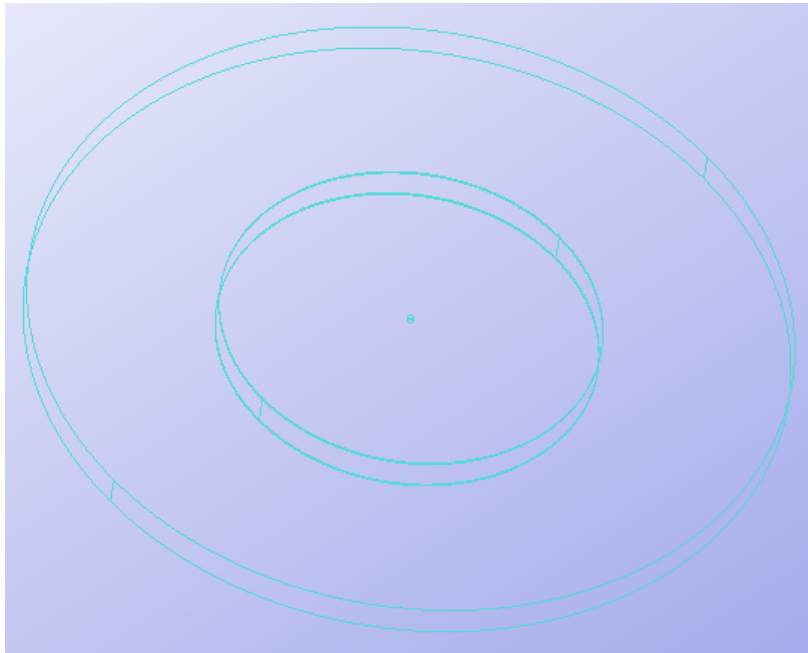


- Crear un segundo volumen correspondiente a la zona de mar abierto, (Menu / Geometry / Create / Volume / By Contour) y seleccionar las superficies del cilindro externo ubicadas en las capas "Free Surface", "Outlet", "Bottom" y "Others".



Los volúmenes que se deben obtener son los siguientes:

Representación del contorno



6.- Finalmente mover cada uno de los volúmenes a la capa correspondiente:

- Volumen interno, mover a la capa "Inner Volume".
- Volumen externo, mover a la capa "Outer Volume".

Definición datos Tdyn

1.1.2.2 Definición datos Tdyn

Definición de datos Tdyn:

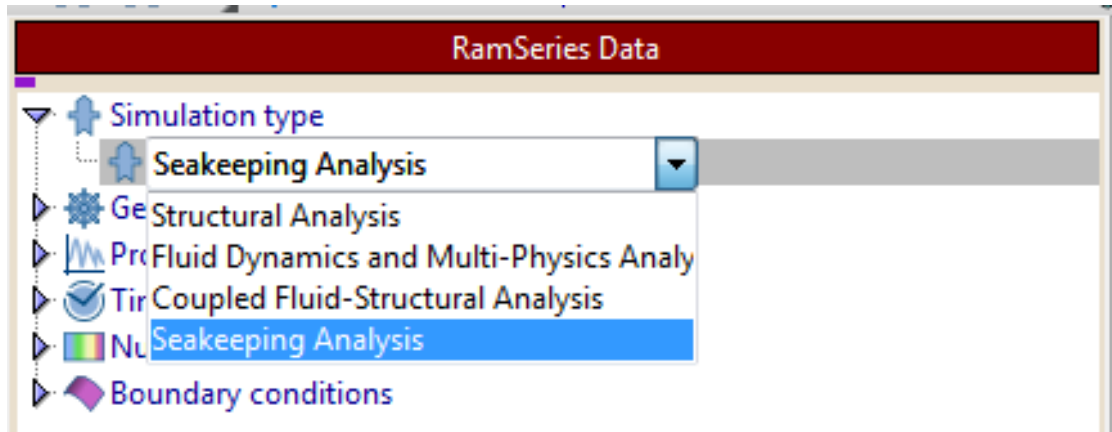
Este apartado, lo forman un total de nueve sub-apartados que deben ser definidos para imponer las condiciones del problema, y controlar las variables que tienen lugar en la simulación. Estos apartados son:

Definición de datos Tdyn:

Este apartado, lo forman un total de nueve sub-apartados que deben ser definidos para imponer las condiciones del problema, y controlar las variables que tienen lugar en la simulación. Estos apartados son:

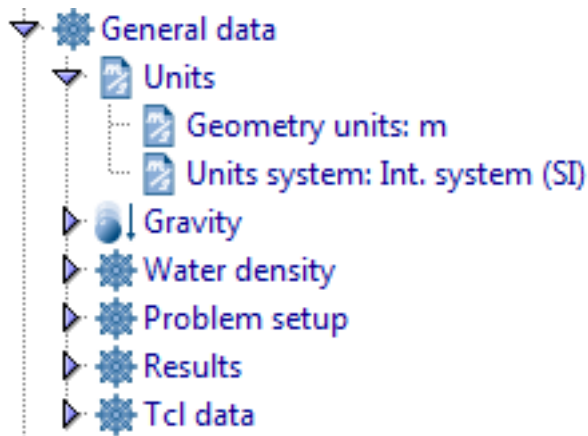
- 1.- Tipo de simulación, en este apartado se debe seleccionar "Seakeeping Analysis".

Definición datos Tdyn

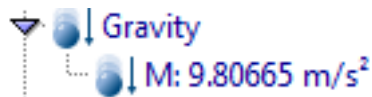


2.- Datos generales, este apartado se divide en 6 subapartados que son:

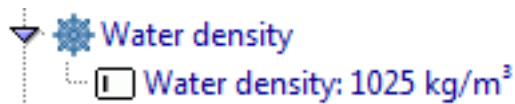
- Units: Seleccionar unidades en metros y Sistema Internacional.



- Gravity: $M = 9,80665 \text{ m/s}^2$.

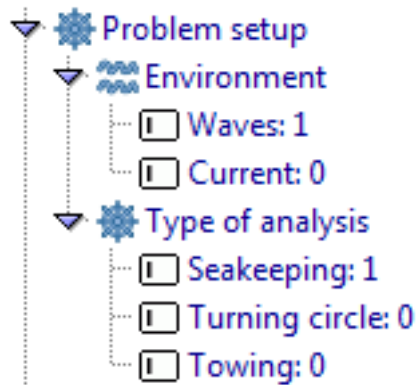


- Water density: Indicar el valor de la densidad del agua, en este caso 1025 kg/m^3 .

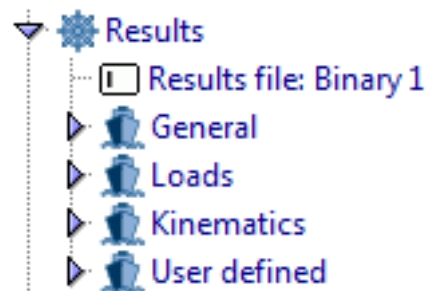


- Problem Setup: Seleccionar el tipo de estudio a realizar. Waves=1, Current=0, Seakeeping=1.

Definición datos Tdyn

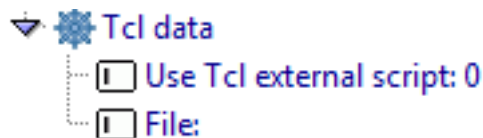


- Results Seakeeping: Indicar el modo de muestra de resultados, para poder ser leídos des de el archivo seleccionar el modo "binary1".



Las otras opciones (General, Loads, Kinematics, User defined) dejar los valores por defecto.

- Tcl data: Para utilizar códigos de programa externos. Dejar valores por defecto



3.- Descripción del problema, este apartado dispone de 6 subapartados que son:

- Bathymetry: En esta opción seleccionar "Infinite depth" puesto que la profundidad es tal que no tiene efecto sobre el comportamiento del oleaje.

- Depth: Al escoger "infinite depth" en el apartado anterior esta opción queda bloqueada. Si fuera un estudio de calado constante se pondría el valor del calado.

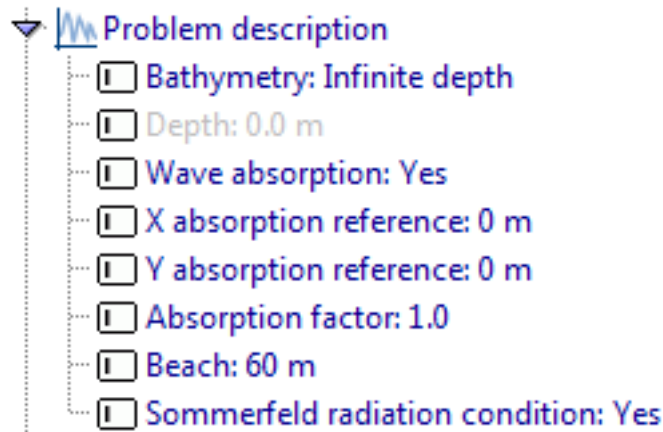
- Wave absorption: Seleccionar "yes" puesto que interesa que las olas se disipen tras pasar la zona de estudio.

- Absorption factor: Poner un valor de factor de absorción de la unidad.

- Beach: Esta opción corresponde al radio del cilindro de la zona de estudio, 60m.

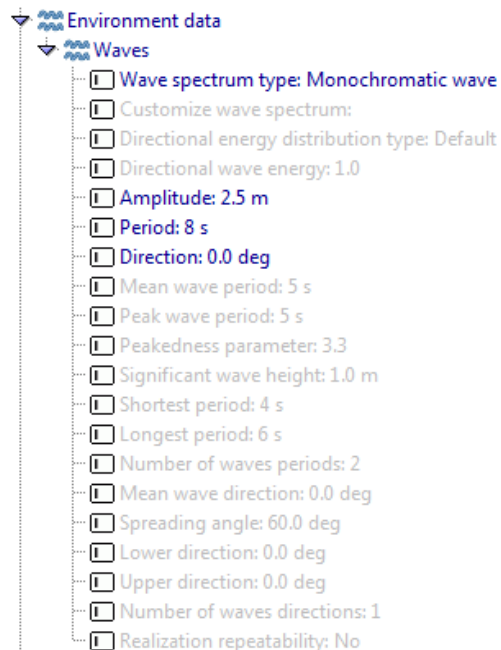
- Sommerfeld radiation condition: Seleccionar "yes" puesto que interesa que haya condición de radiación de las olas.

Definición datos Tdyn



4.- Oleaje ambiental. En este apartado, se define el entorno de ola, pudiendo ser del tipo *Monocromática*, *White Noise* o *Pierson Moskowitz*. En función del tipo de entorno seleccionado, se deben definir un conjunto de datos de la ola. Para este estudio, seleccionar:

- Wave spectrum type: Monochromatic wave.
- Amplitude: 2,5m
- Period: 8s.
- Direction: Dirección de procedencia de las olas; 0,0deg.

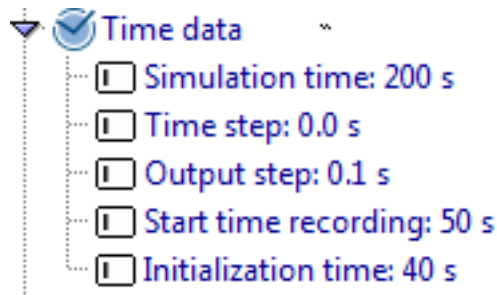


5.- Tiempo de análisis. En este apartado, se define la duración del análisis, la frecuencia con la que el programa toma datos (*step*), el momento en que el programa inicia la grabación y el momento de inicialización de captura de datos.

- Simulation time: Indicar un tiempo de 200s.
- Output step: Dejar el valor por defecto 0,1s.
- Start time recording: Dejar el valor por defecto 50s.

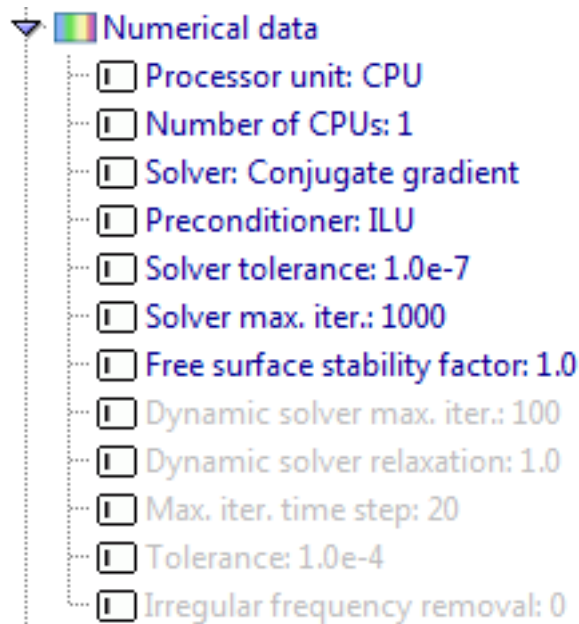
Definición datos Tdyn

- Initialization time: Dejar el valor por defecto 40s.



6.- Configuración numerica. Este apartado permite configurar la manera en cómo se va a desenvolver el cálculo del problema, pudiendo escoger:

- Processor unit: Dejar el valor por defecto CPU.
- Solver: Dejar el valor por defecto conjugate gradient.
- Precond: Dejar el valor por defecto ILU.
- Solver tolerance: Dejar el valor por defecto 1,0e-7.
- Solver max. iter.: Indicar un tiempo de 1000.
- Stability factor: Dejar el valor por defecto 1.0.



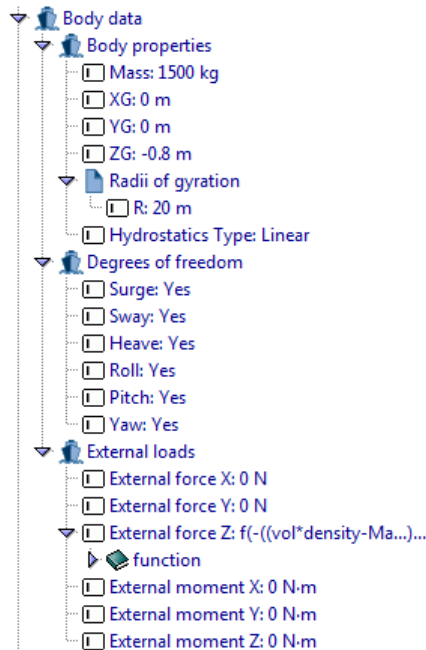
7.- Datos elemento de estudio. En este apartado, se definen las propiedades del elemento de estudio como su centro de gravedad, su masa y su radio de giro. Además, se definen los grados de libertad que puede tener, pudiendo escoger entre los seis posibles, tres de desplazamiento y tres de giro. Finalmente, se pueden aplicar cargas externas al elemento de estudio, pudiendo escoger entre cargas en cada una de las tres direcciones y momentos respecto de los tres ejes.

- Body properties: Indicar una masa de 1500kg un centro de gravedad (respecto el centro de flotación) en $x=0$, $y=0$ y $z=-0.38$. Finalmente en la opción "rady of giration" dejar el valor por defecto de 1.0m.

Definición datos Tdyn

- Degrees of freedom: Los grados de libertad de Surge, Sway, Heave, Roll, Pitch, Yaw deben estar no restringidos por medio de la opción yes.
- External loads: En Z se debe aplicar la fuerza del cable.

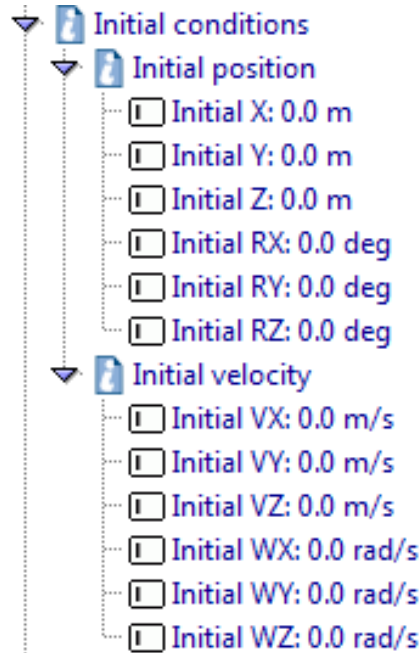
$$F_{cable} = -(\nabla_{boya} \cdot \rho_{agua} - P_{boya}) - k_{cable} \cdot \delta z$$



8.- Condiciones iniciales. En este apartado se define la posición inicial del elemento, situando la posición del centro de gravedad respecto del origen, así como también se define su posición angular respecto cada uno de los 3 ejes. Además, se define la velocidad que lleva el elemento al iniciar el cálculo, que puede ser lineal en el sentido de cada uno de los 3 ejes, o angular si rota respecto alguno de ellos.

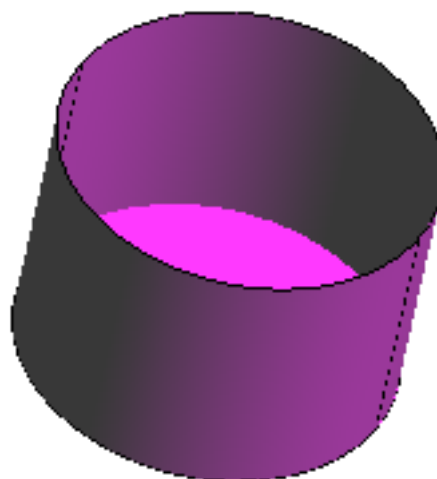
- Initial position: Como la posición inicial del elemento es la misma que durante el período de estudio se dejan todos los valores en 0.
- Initial velocity: Como la velocidad inicial del elemento respecto cualquier eje es nula se dejan todos los valores en 0.

Definición datos Tdyn



9.- Condiciones de contorno. En este apartado, se atribuye una caracterización a cada una de las superficies generadas en la representación geométrica, con el fin de que el programa pueda identificar qué es cada elemento y proporcionarle las propiedades necesarias. Así pues, se define el elemento de estudio, *Body*, seleccionando en este grupo todas las superficies que lo forman. Del mismo modo, se define la superficie libre, *Free Surface*, como la superficie del agua del mar, la superficie que representa la finalización del mar, *Outlet*, y el fondo del mar, *Bottom*.

- *Body*: Seleccionar todas las superficies que forman el elemento de estudio, ubicadas en la capa (Body). Para ello, ocultar el resto de capas, hacer doble clic sobre la opción "Body", pulsar la opción "Select" y seleccionar las superficies.

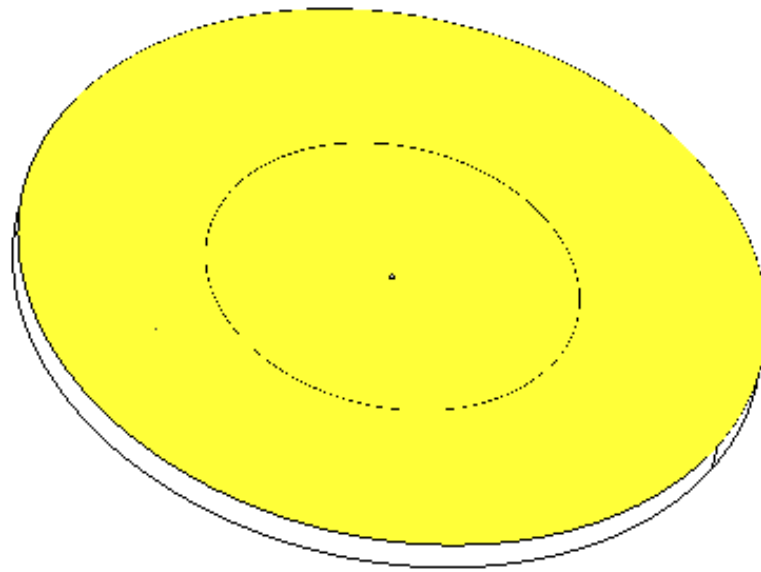


■ Body Auto1 (3)

- *Free surface*: Seleccionar las superficies superiores de los cilindros, ubicadas en las capas "Free Surface". Seguir los mismos pasos que en el caso del "body" pero ocultando las capas que no

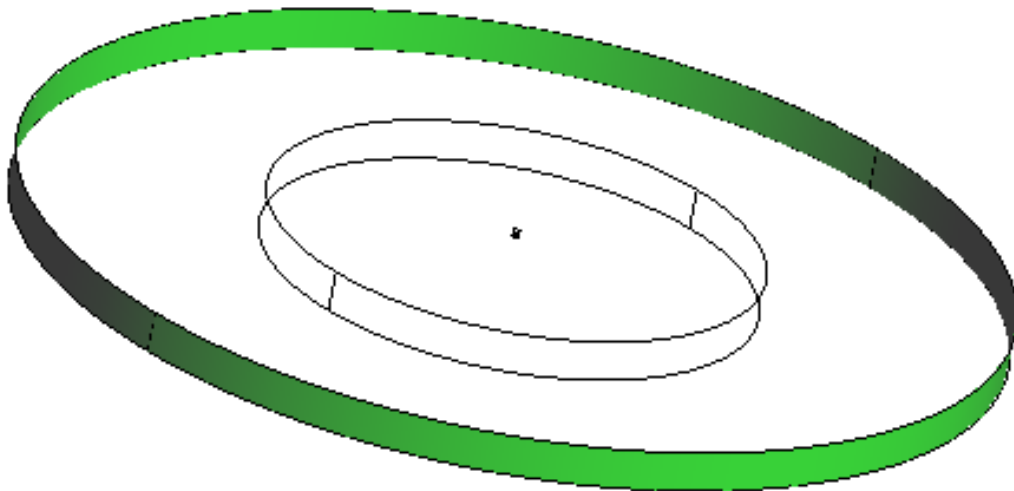
Definición datos Tdyn

corresponden a la "Free Surface".



Free surface Auto1 (2)

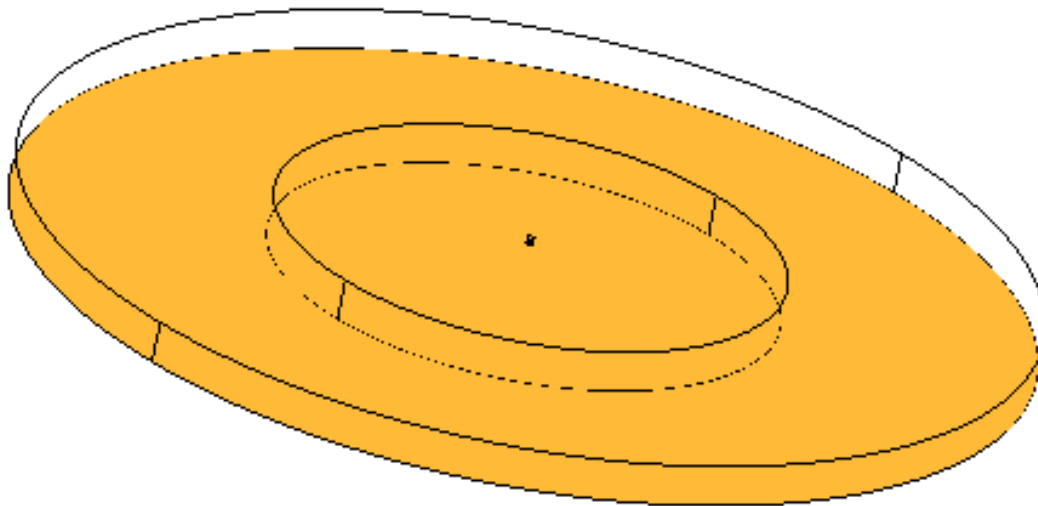
- Outlet: Seleccionar las superficies externas del cilindro grande, ubicadas en la capa (Outlet).



Outlet Auto1 (2)

- Bottom: Seleccionar las superficies inferiores de los dos cilindros, ubicadas en la capa (Bottom).

Definición datos Tdyn



■ Bottom Auto1 (2)

- Others: En este estudio no hay ninguna superficie que deba ser caracterizada por esta condición.
- Wall: En este estudio no hay ninguna superficie que deba ser caracterizada por esta condición.
- P Free Surface: En este estudio no hay ninguna superficie que deba ser caracterizada por esta condición.

Generación de malla

1.1.2.3 Generación de malla

En este apartado, se convierten las geometrías representadas en elementos discretos de menor tamaño que van a ser analizados por medio del Método de Elementos Finitos.

Los diferentes elementos a mallar son los siguientes:

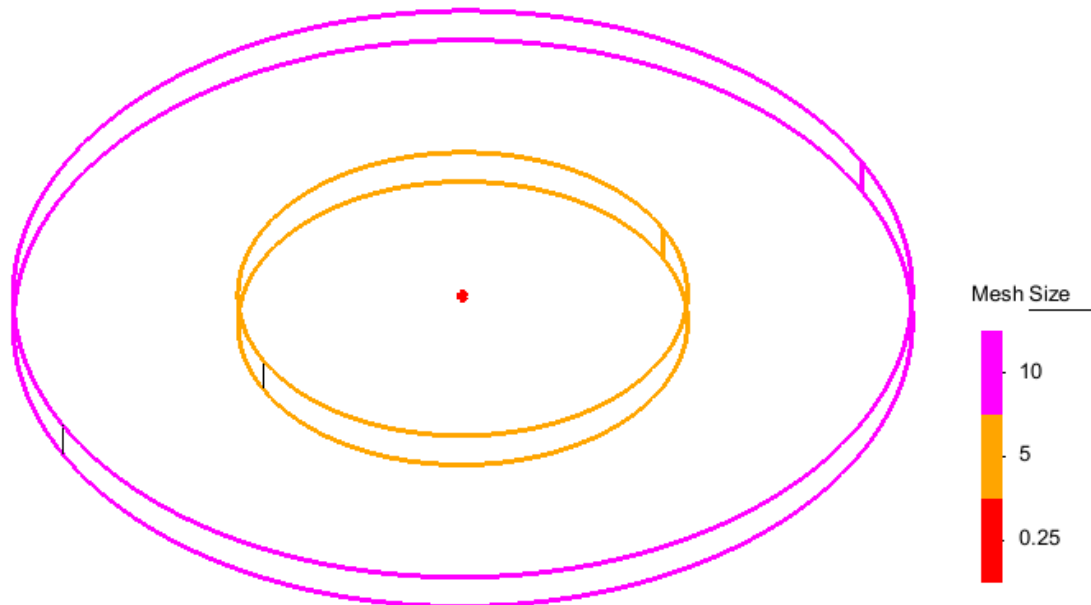
- Mallado de líneas
- Mallado de superficies
- Mallado de volúmenes

Con el fin de aligerar el cálculo, es decir, reducir el tiempo computacional, lo que se hace es definir distintos tamaños de malla en función de la importancia del elemento en cuestión. De esta manera, se debe obtener una malla más fina en las superficies del elemento de estudio y la superficie libre de la zona de estudio. Así pues la malla puede agrandarse en el volumen del cilindro de la zona de estudio y agrandarse más aún en la zona de mar abierto. Las transiciones en la malla, es decir, los cambios de una zona de malla fina a una zona de malla menos fina, deben suavizarse al máximo con el fin de observar una progresión en el elemento mallado, y evitar así, los cambios bruscos que pueden inducir a errores en la obtención de resultados.

1.- Realización del mallado de líneas:

Generación de malla

Como ya se ha comentado, para el mallado de líneas (así como para cualquier otro mallado) se definirán diferentes dimensiones en función de la línea. Las dimensiones dependerán básicamente de cada caso de estudio a analizar. Para este tutorial se han escogido las siguientes dimensiones:



Líneas correspondientes a la parte del "body": 0,25

Líneas correspondientes al cilindro interior: 5

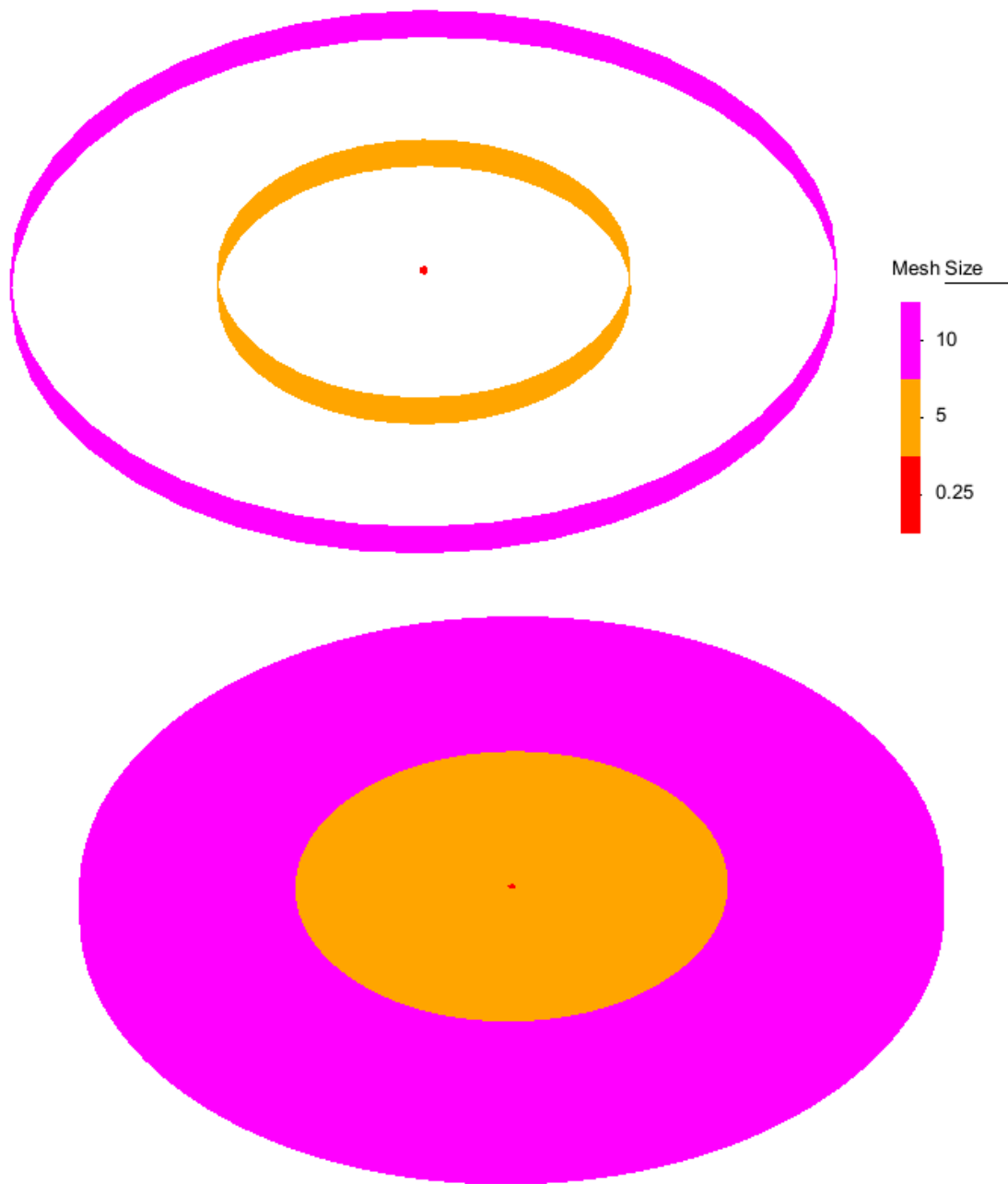
Líneas correspondientes al cilindro exterior: 10

- Seleccionar (Menu /Mesh / Unstructured /Assign size on lines).
- Cuando aparezca el comando "Enter value window" introducir la dimensión del mallado de las líneas del body (0,25) + intro
- Seleccionar las líneas correspondientes a la parte del body + esc
- Introducir la dimensión del mallado de las líneas correspondientes al cilindro interior (5,00) + intro
- Seleccionar las líneas correspondientes a la parte del cilindro interior + esc
- Introducir la dimensión del mallado de las líneas correspondientes al cilindro exterior (10,00) + intro
- Seleccionar las líneas correspondientes a la parte del cilindro exterior + esc
- Cuando vuelva a aparecer el comando "Enter value window" pulsar esc (la descripción del mallado de superficies ha finalizado)

2.- Realización del mallado de superficies:

Al igual que en el caso de las líneas, las dimensiones de la malla de las superficies variarán en función de la superficie. Para este tutorial las dimensiones son las siguientes:

Generación de malla



Superficies correspondientes a la parte del "body": 0,25

Superficies correspondientes al cilindro interior: 5

Superficies correspondientes al cilindro exterior: 10

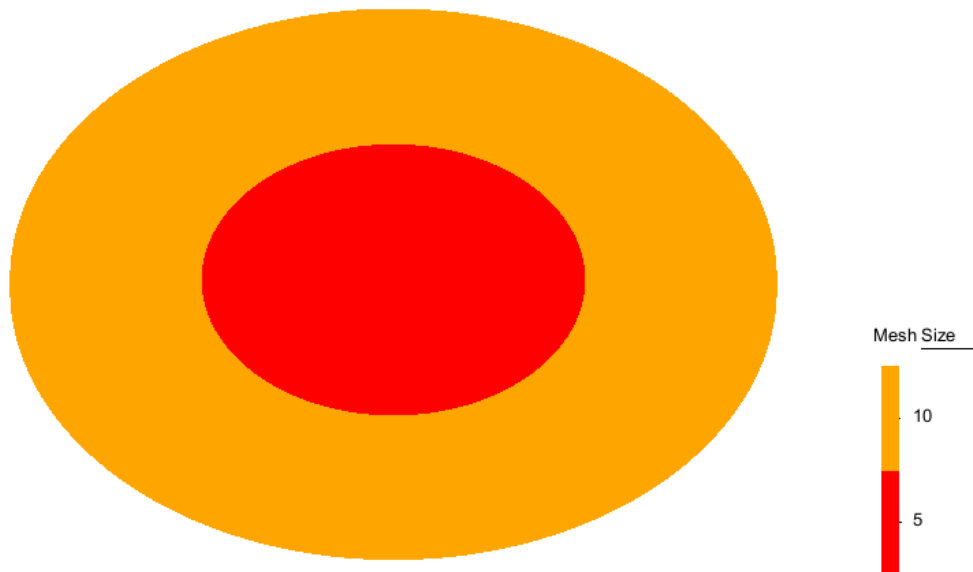
- Seleccionar (Menu /Mesh / Unstructured /Assign size on surfaces).
- Cuando aparezca el comando "Enter value window" introducir la dimensión del mallado de las superficies del body (0,25) + intro
- Seleccionar las superficies correspondientes a la parte del body + esc
- Introducir la dimensión del mallado de las superficies correspondientes al cilindro interior (5,00) + intro
- Seleccionar las superficies correspondientes a la parte del cilindro interior + esc

Generación de malla

- Introducir la dimensión del mallado de las superficies correspondientes al cilindro exterior (10,00) + intro
- Seleccionar las superficies correspondientes a la parte del cilindro exterior + esc
- Cuando vuelva a aparecer el comando "Enter value window" pulsar esc (la descripción del mallado de líneas a finalizado)

3.- Realización del mallado de volúmenes:

Al igual que en el caso de las líneas y las superficies, las dimensiones de la malla de los volúmenes variarán en función del volumen. Para este tutorial las dimensiones son las siguientes:



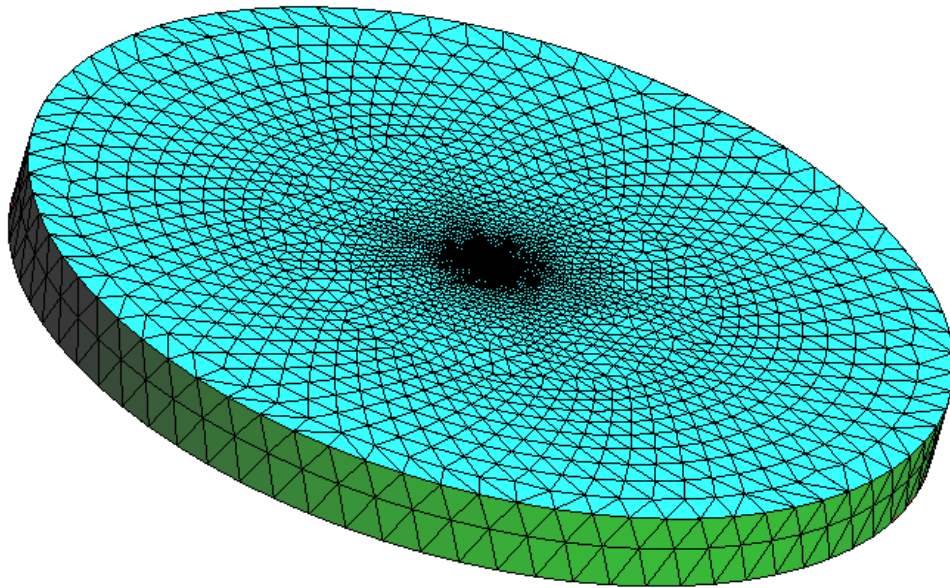
Volumen correspondiente al cilindro interior: 5

Volumen correspondiente al cilindro exterior: 10

- Seleccionar (Menu /Mesh / Unstructured /Assign size on volumes).
- Cuando aparezca el comando "Enter value window" introducir la dimensión del mallado correspondiente al volumen interior (5) + intro
- Seleccionar el volumen interior + esc
- Introducir la dimensión del mallado correspondiente al cilindro exterior (10,00) + intro
- Seleccionar el volumen exterior + esc
- Cuando vuelva a aparecer el comando "Enter value window" pulsar esc (la descripción del mallado de volúmenes a finalizado)

Una vez generada la malla:

Generación de malla



Cálculo FEM

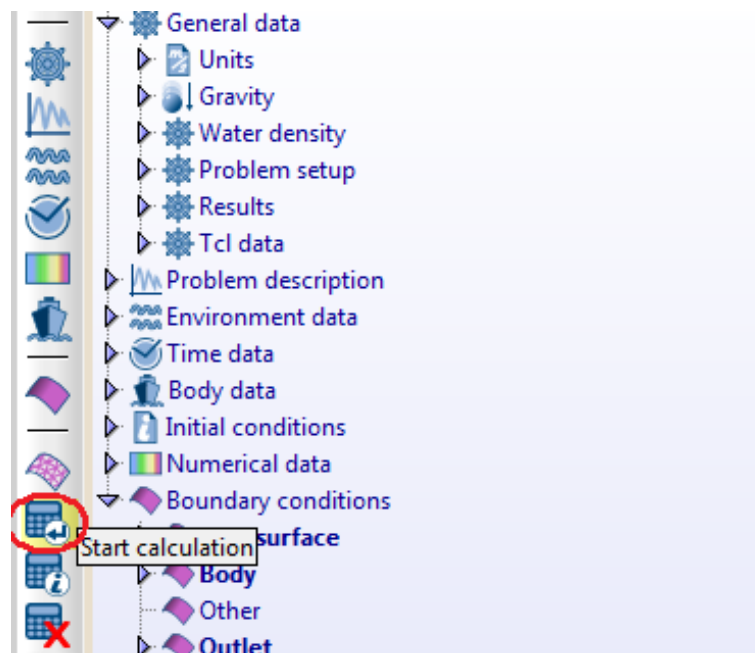
1.1.2.4 Cálculo FEM

Cálculo FEM:

En este apartado se explica como se inicializa el cálculo del programa mediante el Método de los Elementos Finitos, que permite pasar a la segunda parte del tutorial, es decir, al postproceso para el análisis de resultados.

Inicio del cálculo:

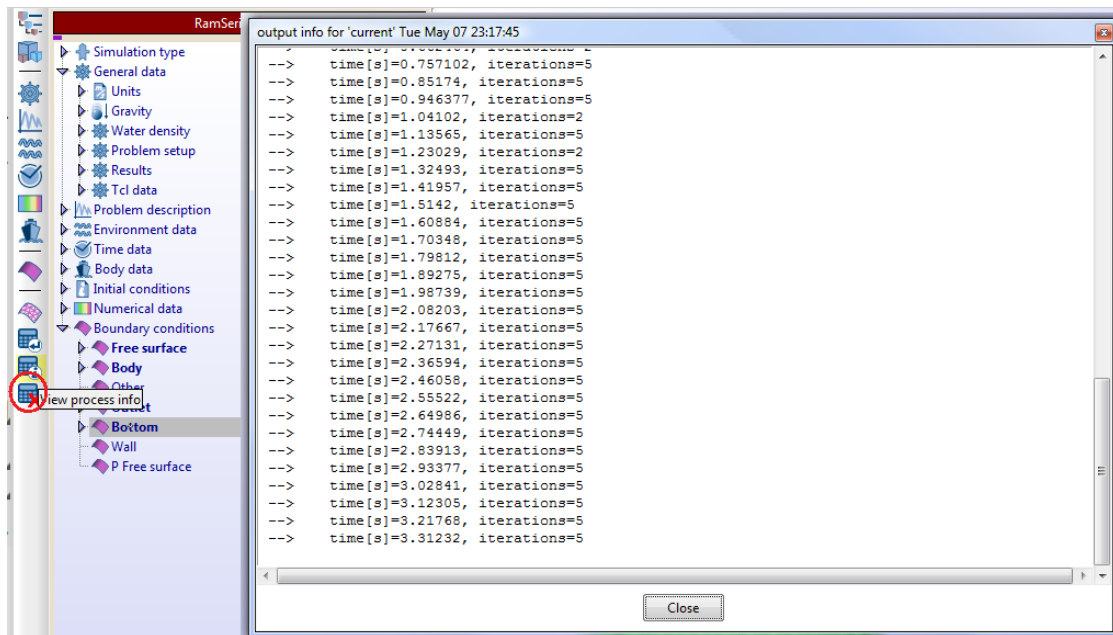
En el menú de la izquierda "Start Calculation".



Cálculo FEM

Seguimiento del cálculo:

En el menú de la izquierda "View process info".



Parada del cálculo:

En el menú de la izquierda "Cancel calculation process".

Postproceso

1.1.3 Postproceso

Postproceso:

En este tutorial se pretende que el lector sea capaz de analizar el [Comportamiento en la mar](#) de cualquier objeto flotante en la mar.

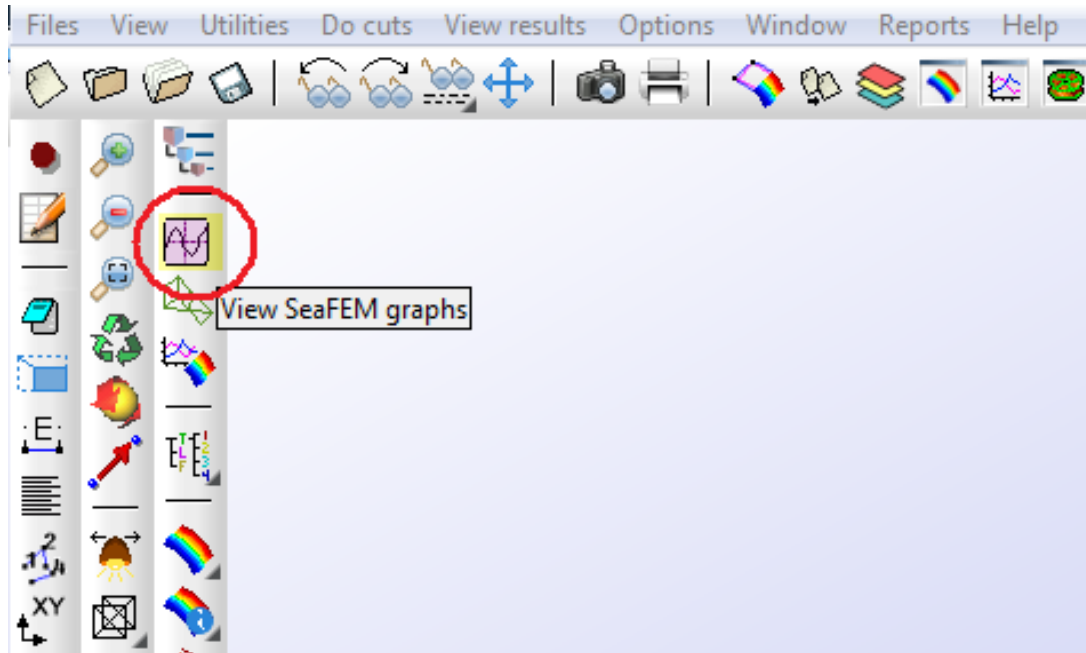
En este caso no se hace referencia ni al comportamiento del oleaje en la superficie ni las cargas del modelo para no ser redundantes. El método de análisis sería el mismo que en el tutorial 1 "Contenedor".

1.1.3.1 Comportamiento en la mar

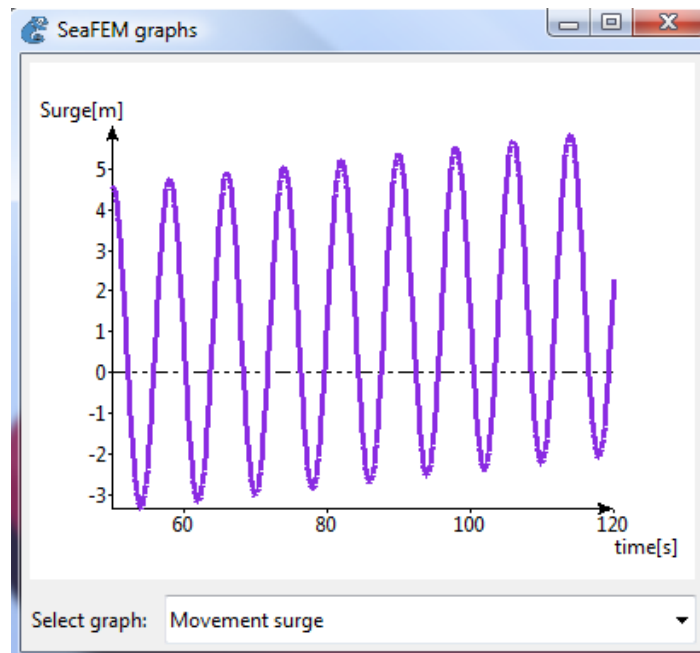
Comportamiento en la mar:

Para analizar el comportamiento en la mar se debe clicar el icono "View SeaFEM graphs):

Comportamiento en la mar



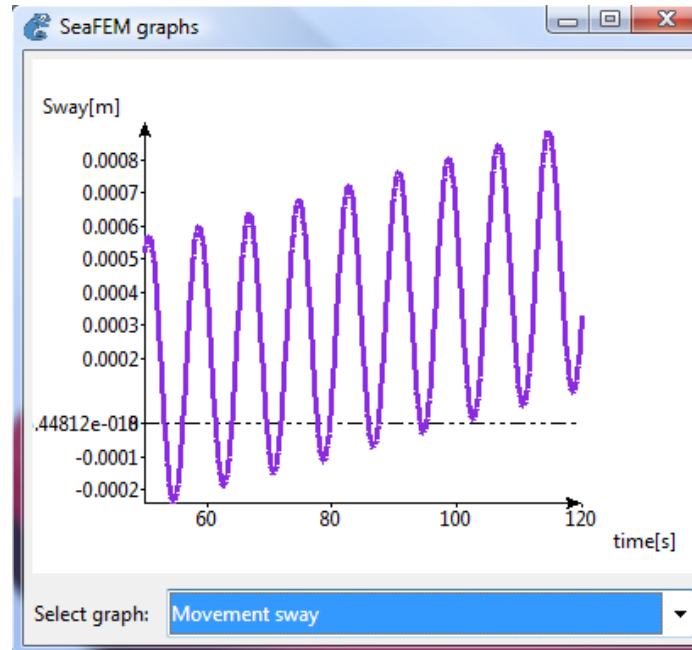
1.- Análisis del Surge:



Como puede observarse, el movimiento del surge es un movimiento oscilatorio función del oleaje. Debido a que no se han restringido los movimientos laterales de la boya (solo movimiento vertical), se ve una tendencia de ir aumentando el surge con el tiempo.

2.- Análisis del Sway:

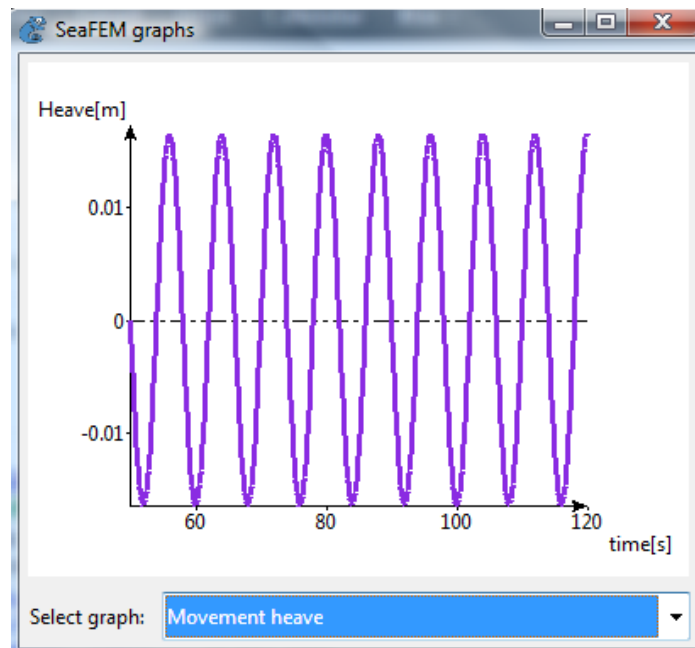
Comportamiento en la mar



Como se puede observar el Sway también tiene tendencia a "irse". A diferencia del Surge, en el Sway el desplazamiento es prácticamente despreciable (de orden de una diezmilésima) debido a que está en la dirección perpendicular del oleaje. Al ser el objeto totalmente simétrica

o. el movimiento Sway no debería oscilar siempre alrededor del eje de abscisas correspondiente a 0 m. La razón de que el movimiento que "se vaya" puede ser por motivos del mallado ya que no se debe olvidar que una mallado siempre es una representación aproximada de la geometría.

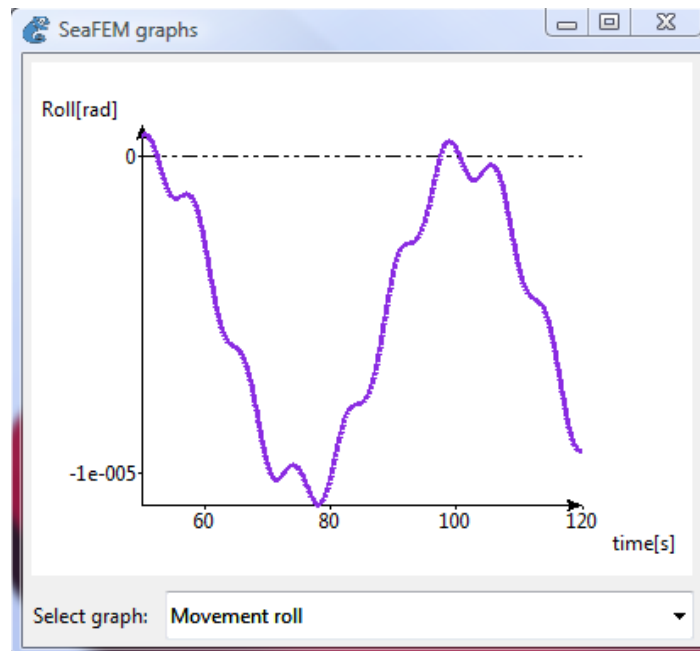
3.- Análisis del Heave:



Como es lógico, se puede observar como en todo momento el Heave oscila alrededor de la altura de flotación. En caso contrario la representación no sería correcta y significaría que ahy un error a la hora de preparar el caso de estudio (preproceso).

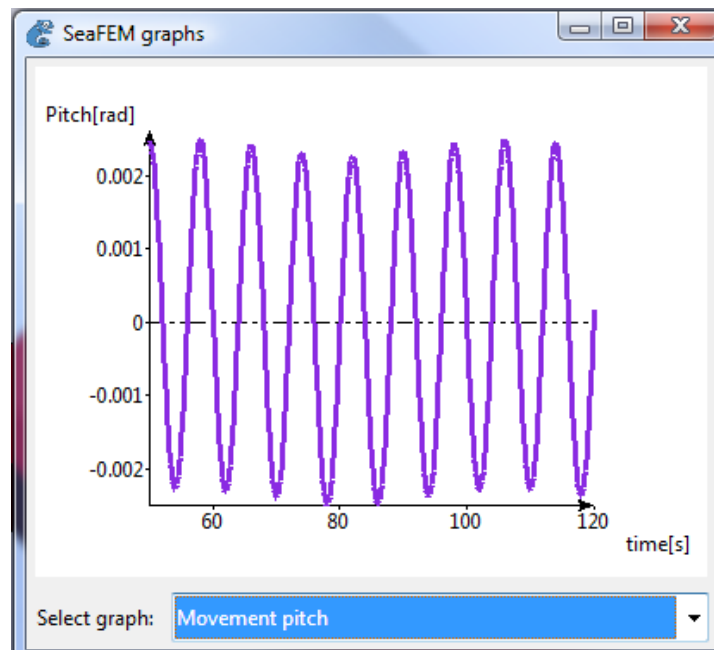
Comportamiento en la mar

4.- Análisis del Roll:



El Roll corresponde al giro del soporte respecto al eje "x". Al ser el movimiento perpendicular a la dirección del oleaje se justifica los valores tan pequeños del movimiento (cienmilésimas de radiante). Como en el caso del Sway, se atribuye a problemas del mallado las pequeñas fluctuaciones que se observan en la imagen.

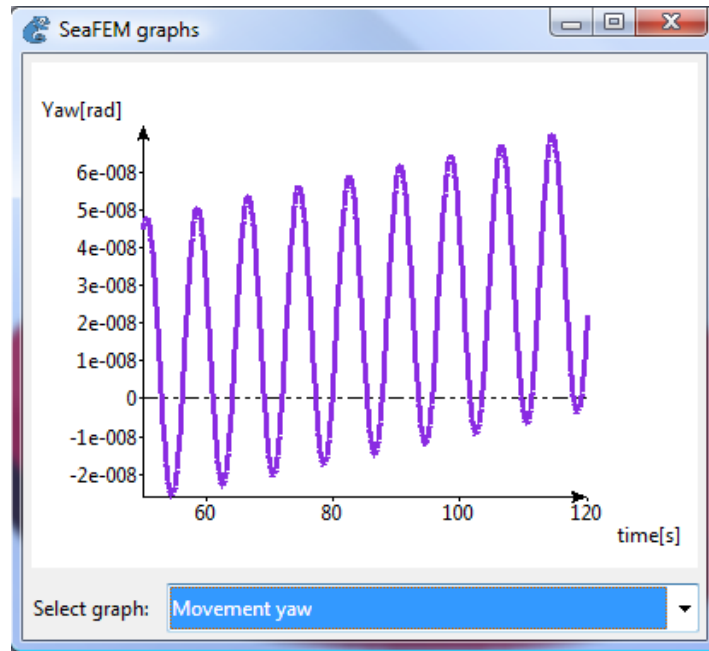
5.- Análisis del Pitch:



El Roll corresponde al giro del soporte respecto al eje "y". Como puede observarse los valores son más grandes al encontrarse el movimiento en la misma dirección que el oleaje.

Comportamiento en la mar

6.- Análisis del Yaw:



En condiciones teóricas el movimiento de Yaw no debería oscilar debido a la simetría del objeto. Al igual que en otros movimientos, esto es debido al efecto del mallado.

TUTORIAL 3 .- ESPIGÓN

Tutorial Presión espigón

1 Tutorial Presión espigón

Autores: Antoni Canela Mata y Jordi Segalés Torras

Tutor: Dr. Xavier Martínez

[Inicio tutorial](#)

1.1 Inicio tutorial

Inicio tutorial:

El funcionamiento de este programa se basa en un conjunto de pasos que deben tener lugar de manera consecutiva, en lo que se denomina pre-proceso, definiendo así el problema. A partir de ahí, se realiza el cálculo y se pasa al post-proceso, donde se analizan los resultados.

[Explicación y simplificación del modelo a estudiar](#)

1.1.1 Explicación y simplificación del modelo a estudiar

Explicación del modelo a estudiar:

Debido al aumento del tráfico de productos en el puerto de Tarragona, en especial, los graneles los buques pasan mucho tiempo fondeados frente al mismo esperando su momento para entrar a cargar o descargar productos. Por este motivo, tanto los navieros se han quejado a las autoridades portuarias ya que este hecho dificulta su planificación de actividades aumentandose en muchas ocasiones el tiempo de plancha, de modo que estos dejan de obtener ciertos beneficios.

Por este motivo las autoridades portuarias estudian la posibilidad de alargar el espigón del puerto con la finalidad de ubicar en el mismo un número mayor de terminales de carga y acelerar así estos procesos, reduciendo el tiempo que pasan los buques fondeados, que es tiempo en que el buque resulta improductivo para en Naviero.

Para dicho estudio se requiere saber cual es la energía del oleaje incidente en el espigón y así poder dimensionar el talúd que va a hacer frente y a disipar dicha energía, de modo que es interesante realizar una modelización del espigón en SeaFEM y conociendo el oleaje que va a incidir en el mismo, calcular las presiones que va a soportar.

Imágen del espigón:

Explicación y simplificación del modelo a estudiar



Características oleaje:

Altura ola: 5 m

Periodo ola: 6 s

Tipo de ola: monocromática

Simplificación del modelo a estudiar:

Para que el programa realice de manera correcta el cálculo, sin dar lugar a errores, sólo se define la pared frontal del talúd, que es la que recibe de forma directa la acción de las olas, con una longitud de 200 m y en base a esto se conoce la distribución de presiones en la misma.

Preproceso

1.1.2 Preproceso

Preproceso:

Compuesto por:

- Representación geométrica
- Definición datos Tdyn
- Generación de malla
- Cálculo FEM

Representación geométrica

1.1.2.1 Representación geométrica

Este apartado consta de 2 partes que son:

- Representación del modelo
- Representación del contorno

1.1.2.1.1 Representación del modelo

Representación del modelo:

En esta fase se representa el elemento de estudio. Los pasos a seguir son los siguientes:

0.- Creación del conjunto de capas que permitan visualizar y ocultar los elementos representados:

- Este paso se realiza igual que en el primer tutorial de ejemplo.

1.- Crear mediante líneas la base del body en el plano "XY":

- Para este tipo de problema, en el que se van a analizar las presiones del muro de un espigón, se crea un body de 1 m de ancho y 150 m de largo.

- Seleccionar el icono de línea de la barra del lateral izquierdo marcado con un círculo rojo

- Introducir las siguientes coordenadas

(0.00, 0.00, 0.00) + Intro

(-1.00, 0.00, 0.00) + Intro

(-1.00, 150, 0.00) + Intro

+ ESC

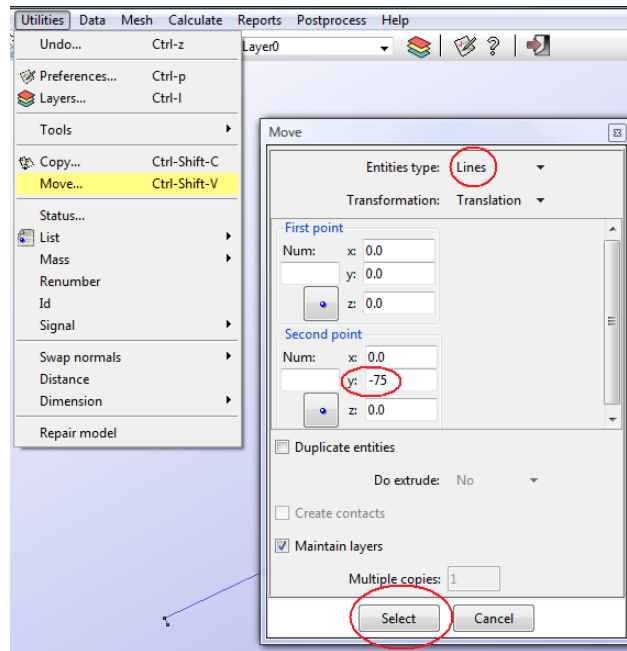
- Se acaban de definir 2 dimensiones del rectángulo. Para centrarlo se debe:



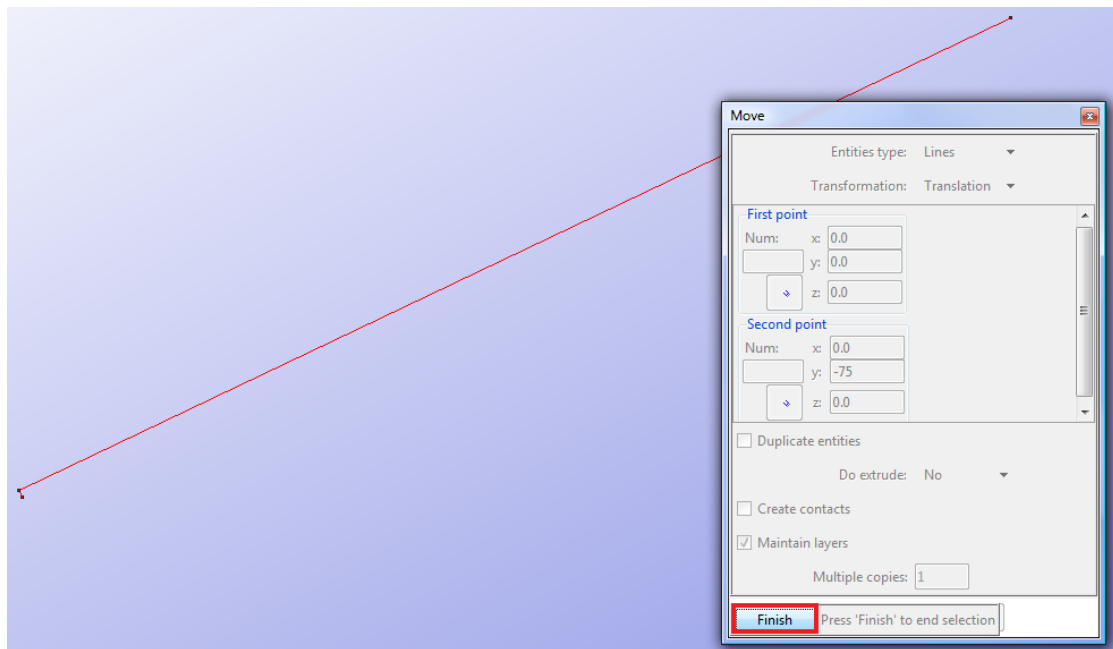
(Utilities / move / Lines) A partir de aquí se selecciona en la opción second point, y en Y se escribe -75 dejando la x y la z en . Se seleccionan las 2 líneas dibujadas + intro. Este paso nos ha centrado dichas

Representación del modelo

líneas que son nuestro muro en el eje de referencia.



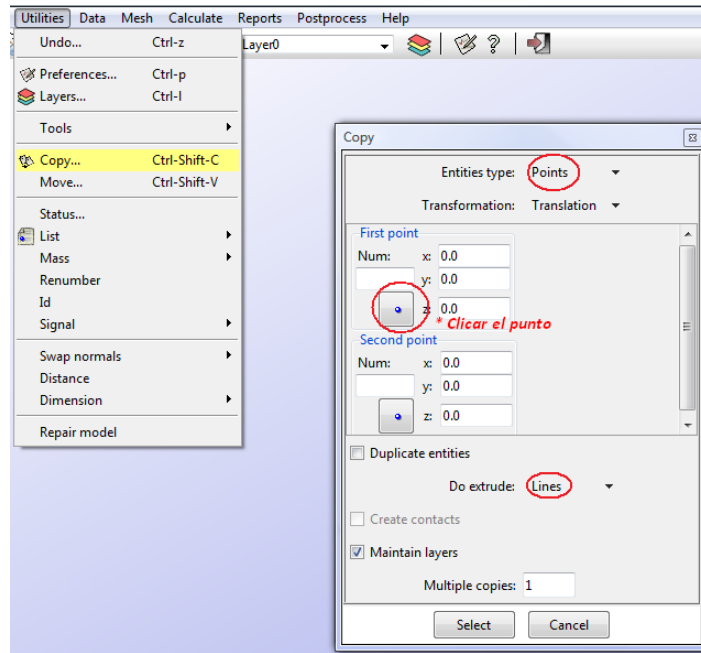
Se seleccionan las dos líneas y se clic en "Finish"



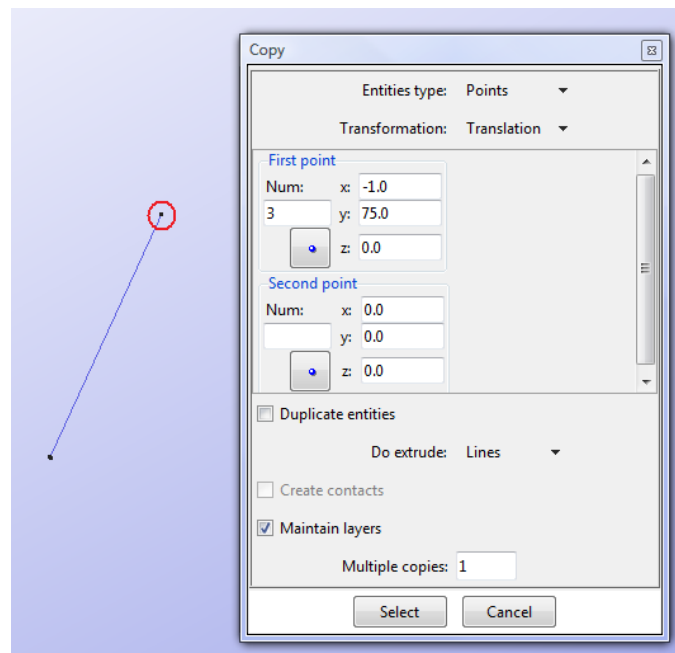
- A partir de aquí se debe realizar la tercera línea que delimita el Body. Para ello se debe:

(Utilities / copy / points / extrude Lines) A partir de aquí se selecciona en la opción first point, seleccionando el extremo de la línea larga y en second point se copian las mismas coordenadas poniendo en 0 la de x. Se selecciona el punto + intro.

Representación del modelo

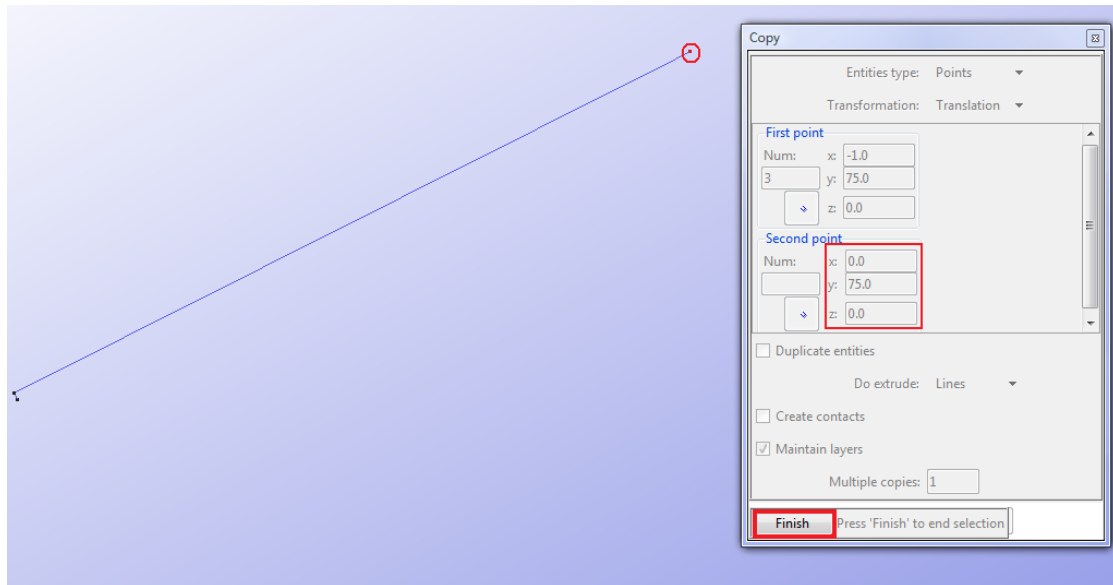


Al seleccionar el punto aparecerán las siguientes coordenadas

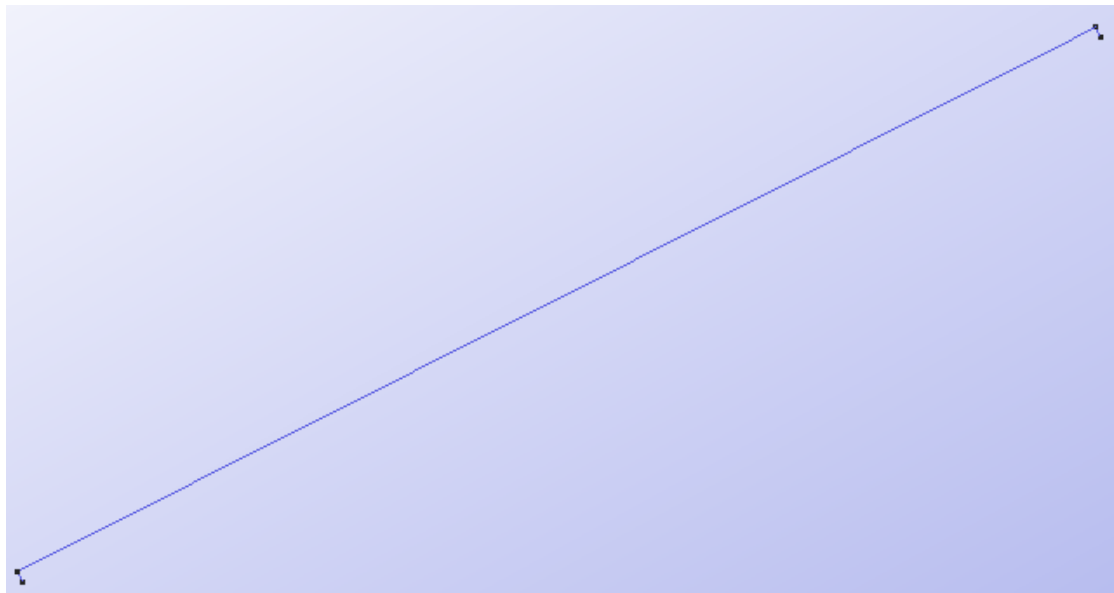


Ahora solo falta copiar las coordenadas en "Second point" dejando la coordenada "x" en 0

Representación del modelo



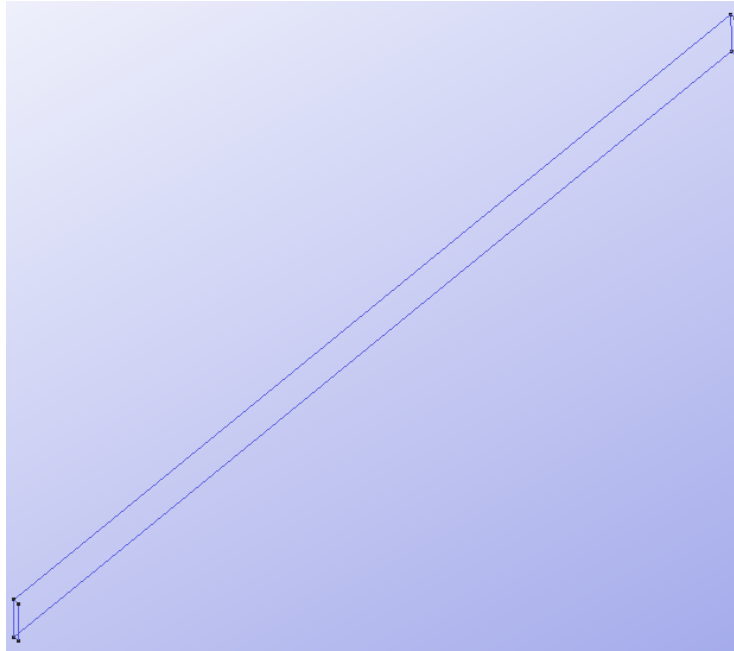
Se selecciona el tercer punto y se clicca en "Finish". El resultado es el siguiente:



2.- Una vez dibujada la base del rectángulo realizar una extrusión para obtener la tercera dimensión "Z". Para ello se debe:

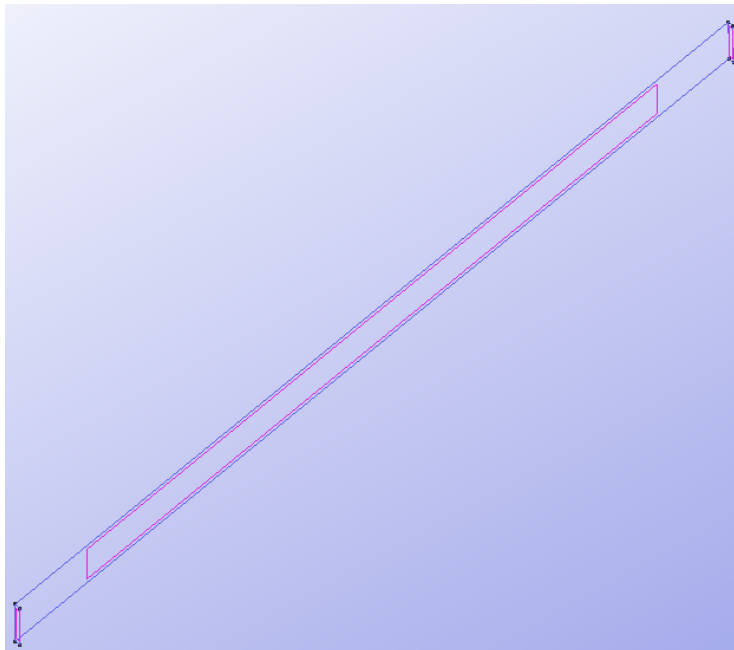
(Utilities / copy / lines / extrude Lines) A partir de aquí se selecciona en la opción first point, seleccionando el extremo de la línea corta y en second point se copian las mismas coordenadas poniendo en 10 la de Z. Se seleccionan las 3 líneas + intro.

Representación del modelo



3.- Crear las 3 superficies que engloban este conjunto de líneas. Para ello se debe:

Como se ha visto en el primer ejemplo con la opción "Create Surface" y seleccionando las líneas que engloban una superficie, se crean dichas superficies.



4.- Mover cada uno de los elementos del modelo a la capa correspondiente:

Igual que en los primeros ejemplos.

[Representación del contorno](#)

Representación del contorno

1.1.2.1.2 Representación del contorno

Representación del contorno:

En esta fase se representa la zona significativa de mar que rodea el modelo que para este ejemplo sencillo no se diferencian distintas zonas, sino que se va a realizar un mallado uniforme en toda la zona de estudio.

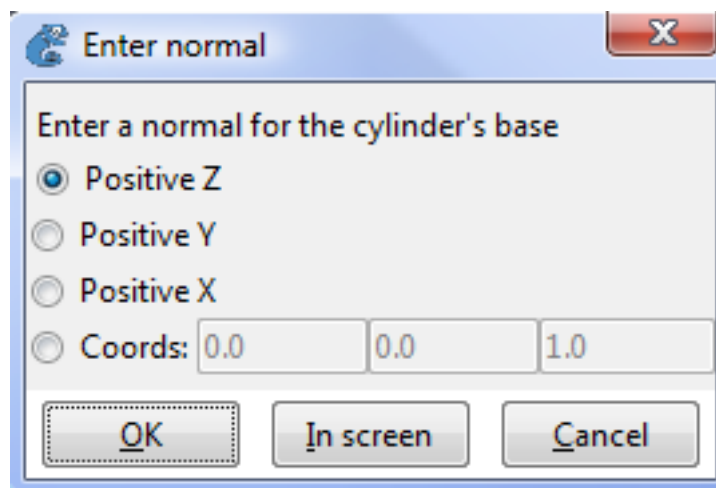
Los pasos a seguir en este apartado son:

1.- Crear el semicilindro que representa la zona de análisis:

Se recomienda que esta zona se represente por medio de un cilindro cuyo radio no sea inferior a una longitud de ola. La profundidad del cilindro depende de la batimetría de la zona, teniendo la opción de que el programa no detecte el lecho marino, para profundidades muy grandes.

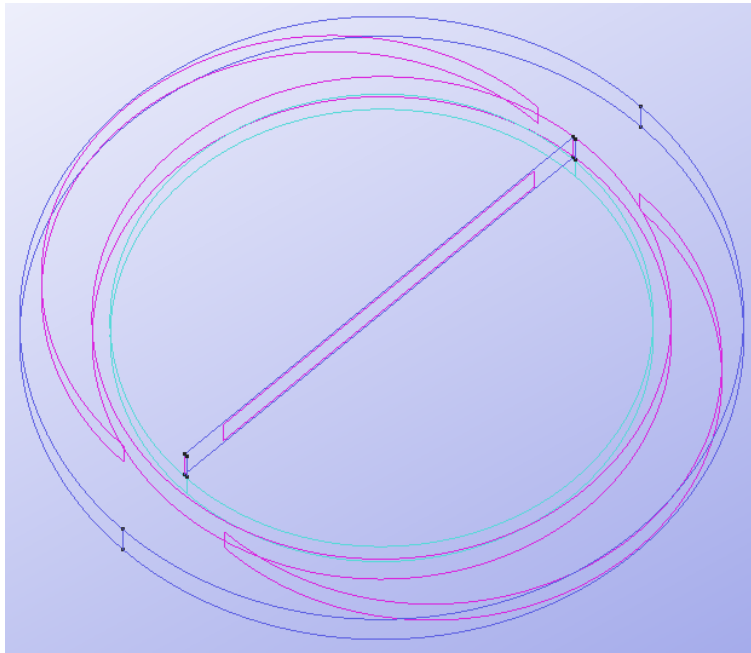
En la zona de estudio de este caso la profundidad es de 10m, por lo que se le da la caracterización de profundidad no es infinita.

- Seleccionar el (Menu / Geometry / Create / Object / Cylinder).
- En la ventana de comando introducir las coordenadas del centro del cilindro:
(0.00, 0.00, 0.00) + Intro
- En la ventana de comando introducir la dirección de la normal de la base del cilindro:
Positive Z + Intro



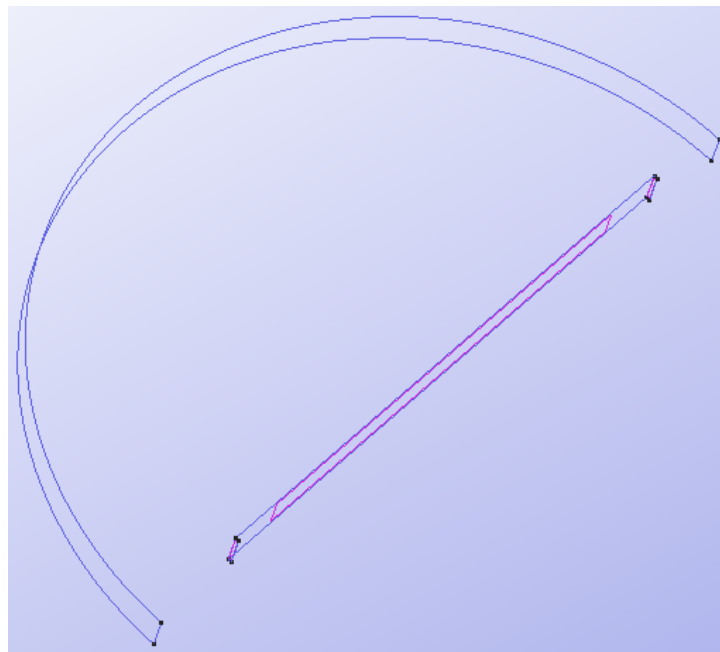
- En la ventana de comando introducir el radio del cilindro:
100 + intro
- En la ventana de comando introducir la profundidad del cilindro:
-10 + intro

Representación del contorno



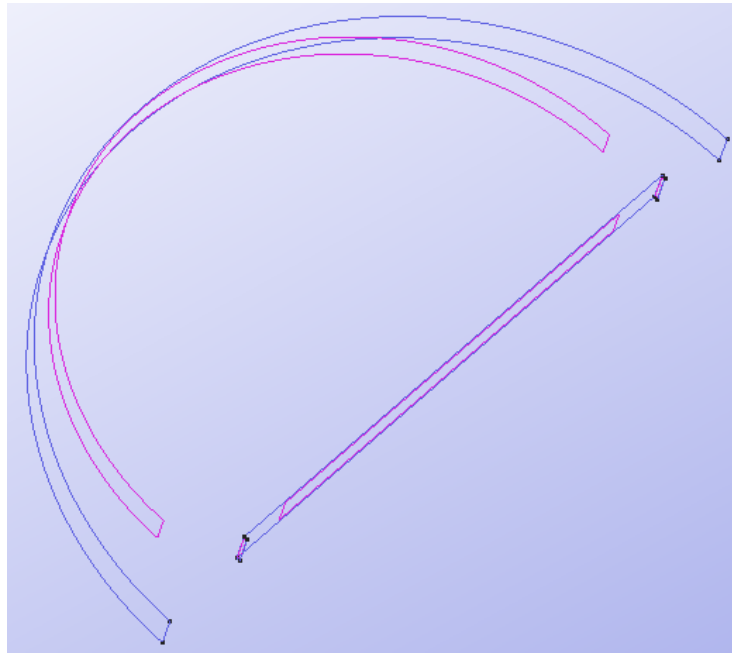
- División del cilindro en 2 partes. Para ello se debe:

Eliminar el volumen que se ha generado al crear el cilindro y todas las superficies, tanto laterales como exteriores. Luego se eliminan las líneas de medio cilindro quedando:



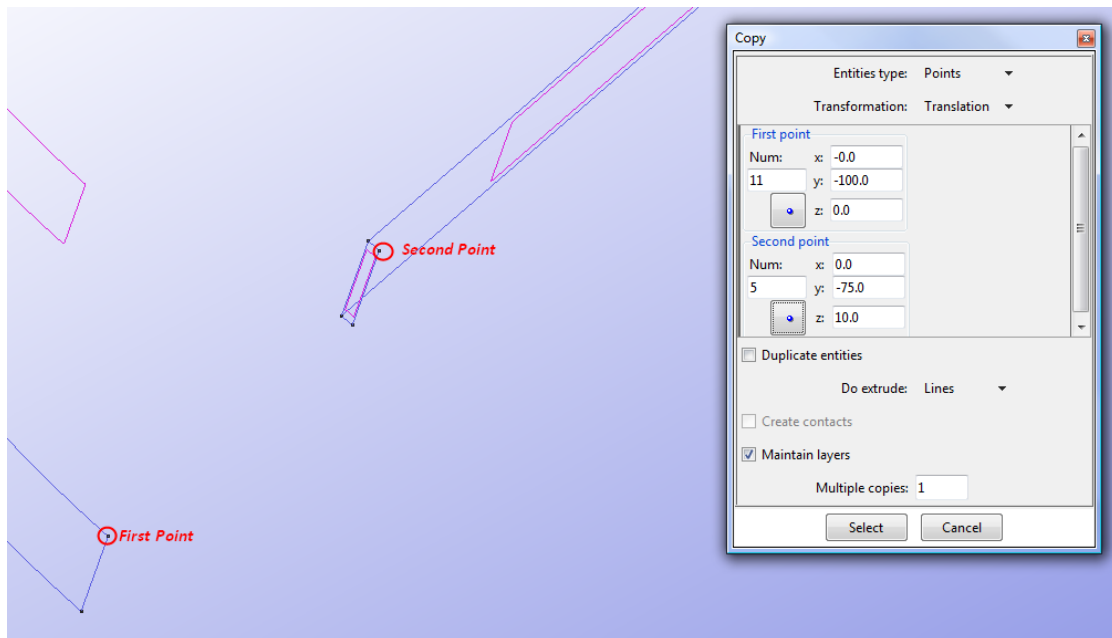
Ahora solo falta crear la superficie lateral, seleccionando las paredes del semi-cilindro

Representación del contorno



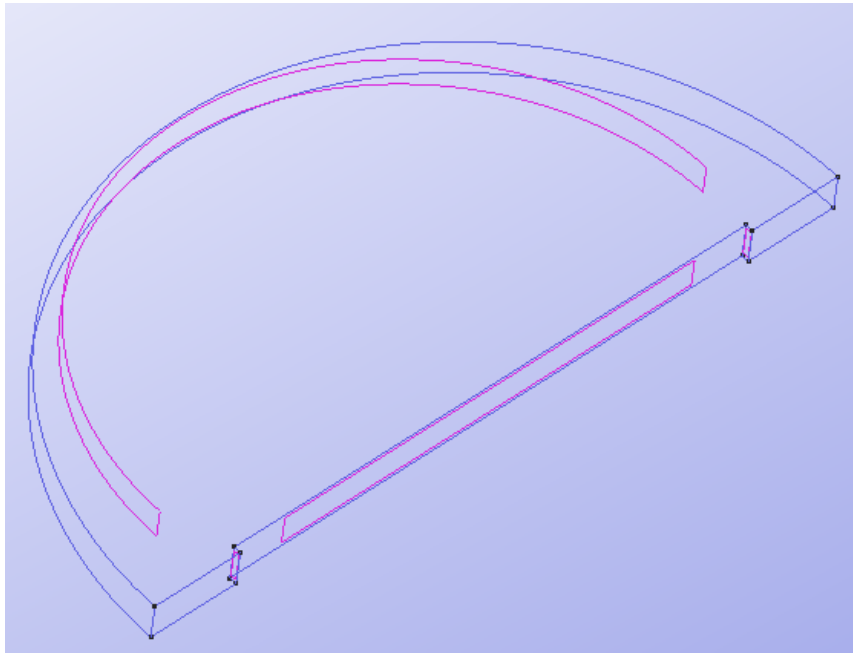
- Unión semicilindro pared. Para ello se debe:

Realizar una extrusión de cada uno de los 4 puntos generando una línea que una el Body con el semicilindro. Para ello se usa el comando (Utilities / Copy / Points / Extrude Lines) se selecciona como "point 1" el punto superior izquierdo del semicilindro y como "second point" el superior izquierdo del Body, finalmente select y se selecciona el punto superior izquierdo del semicilindro + intro.



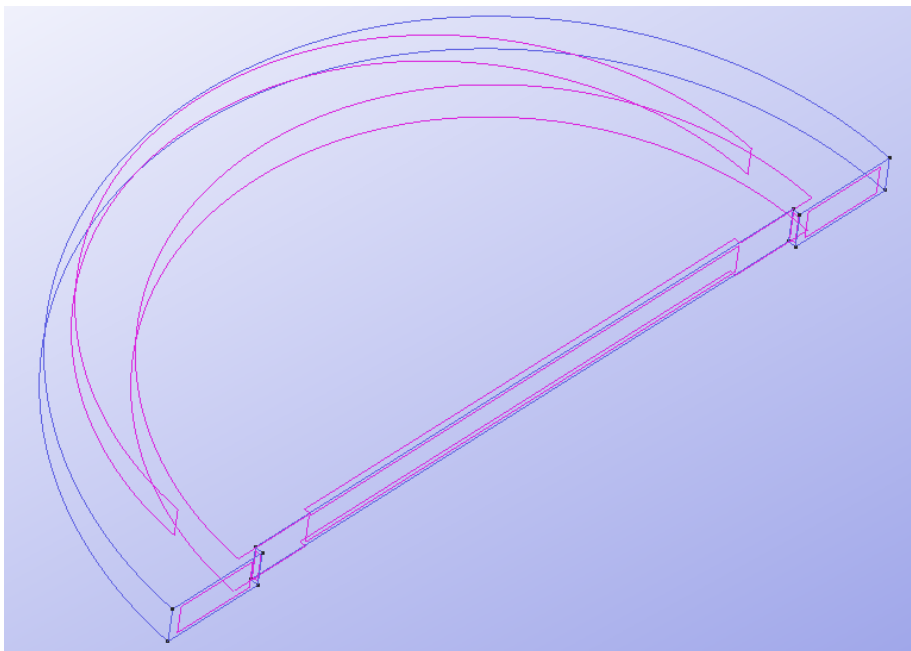
Al realizar la misma operación con los otros 3 puntos se consigue dicha unión.

Representación del contorno



4- Crear las superficies que faltan. Para ello se debe:

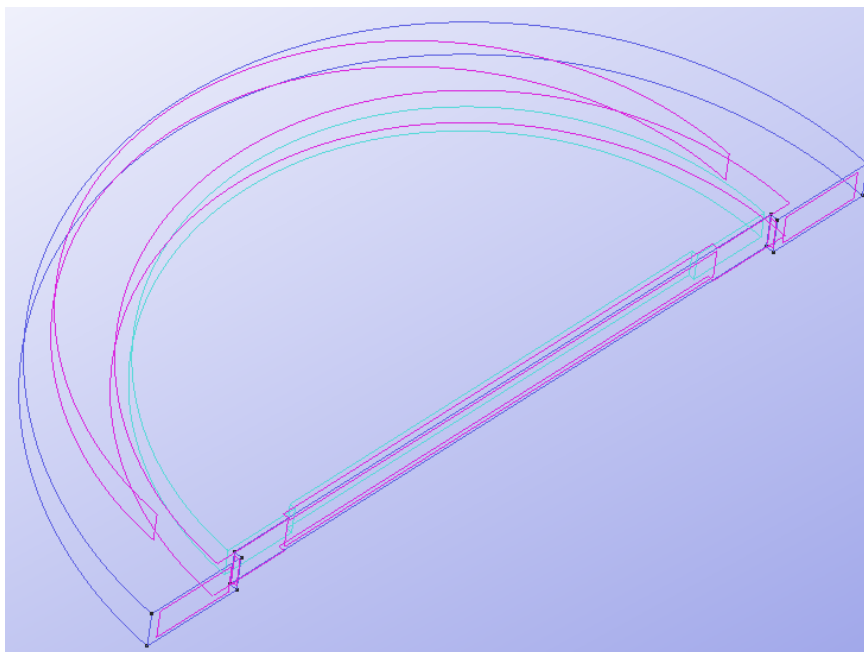
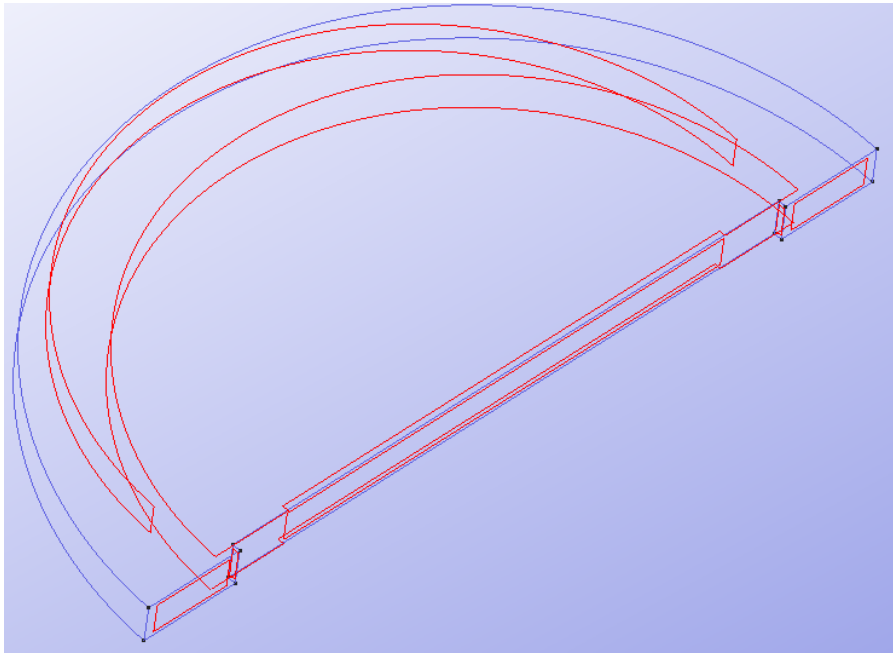
Seleccionar la opción de crear superficie y seleccionar las líneas que forman cada una de las superficies, de modo que el modelo queda así.



4.- A continuación se deben crear un volumen para que el programa pueda realizar de forma correcta el cálculo:

- Crear un volumen correspondiente a la zona de estudio, (Menu /Geometry / Create / Volume /By contour) y seleccionar todas las superficies.

Representación del contorno



6.- Finalmente mover cada uno de los volúmenes a la capa correspondiente:

Igual que en los otros tutoriales.

[Definición datos Tdyn](#)

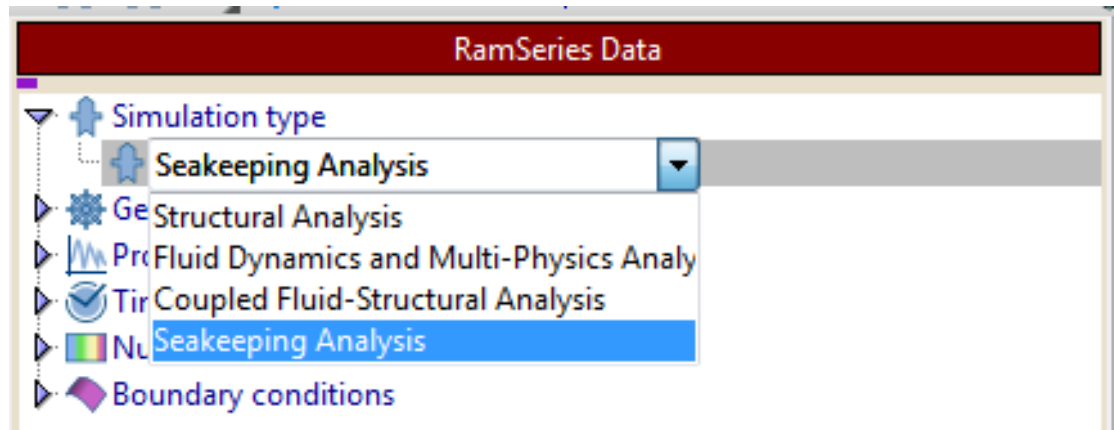
1.1.2.2 Definición datos Tdyn

Definición de datos Tdyn:

Este apartado, lo forman un total de nueve sub-apartados que deben ser definidos para imponer las condiciones del problema, y controlar las variables que tienen lugar en la simulación. Estos apartados son:

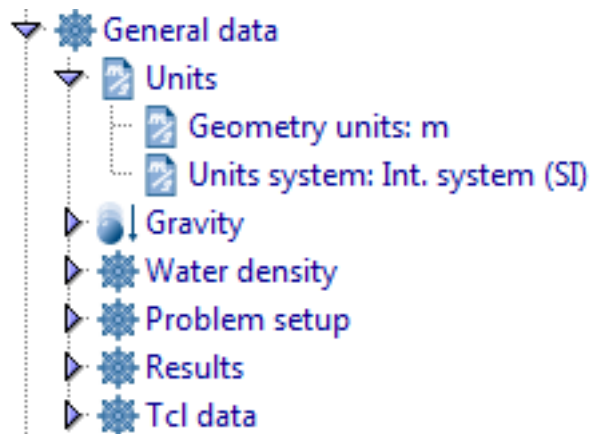
Definición datos Tdyn

1.- Tipo de simulación, en este apartado se debe seleccionar "Seakeeping Analysis".

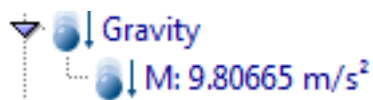


2.- Datos generales, este apartado se divide en 6 subapartados que son:

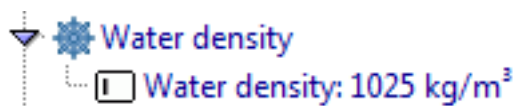
- Units: Seleccionar unidades en metros y Sistema Internacional.



- Gravity: $M = 9,80665 \text{ m/s}^2$.

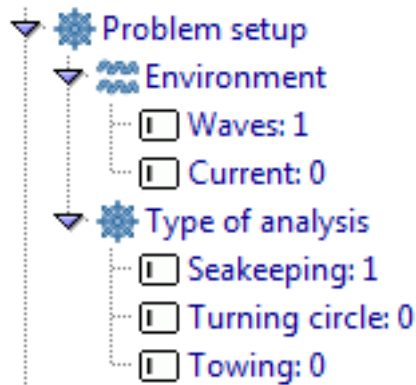


- Water density: Indicar el valor de la densidad del agua, en este caso 1025 kg/m^3 .

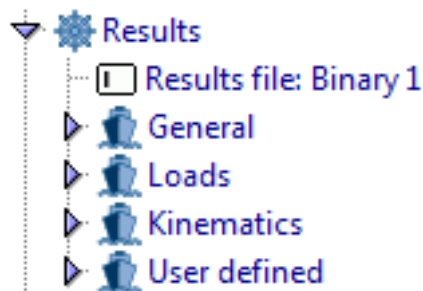


- Problem Setup: Seleccionar el tipo de estudio a realizar. Waves=1, Current=0, Seakeeping=1.

Definición datos Tdyn

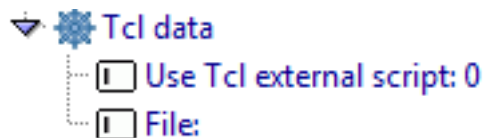


- Results Seakeeping: Indicar el modo de muestra de resultados, para poder ser leídos des de el archivo seleccionar el modo "binary1".



Las otras opciones (General, Loads, Kinematics, User defined) dejar los valores por defecto.

- Tcl data: Para utilizar códigos de programa externos. Dejar valores por defecto



3.- Descripción del problema, este apartado dispone de 6 subapartados que son:

- Bathymetry: En esta opción seleccionar "Constant depth" puesto que la profundidad se considera constante a la orilla y de 10 m.

- Depth: Al escoger "Constant depth" en el apartado anterior esta opción queda desbloqueada a la cual se puede el valor de 10 m.

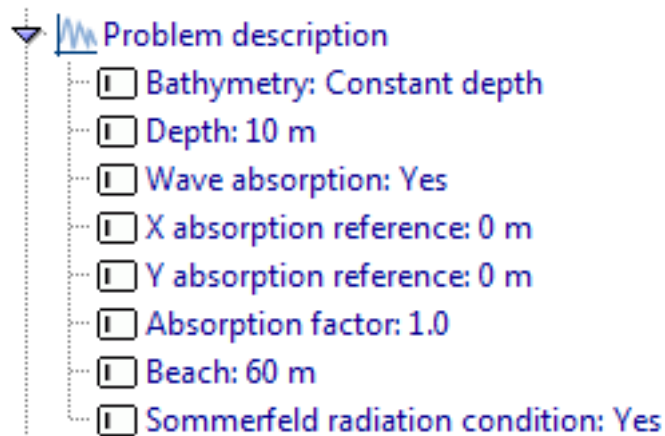
- Wave absorption: Seleccionar "yes" puesto que interesa que las olas se disipen tras pasar la zona de estudio.

- Absorption factor: Poner un valor de factor de absorción de la unidad.

- Beach: Esta opción corresponde al radio del cilindro de la zona de estudio, 100m.

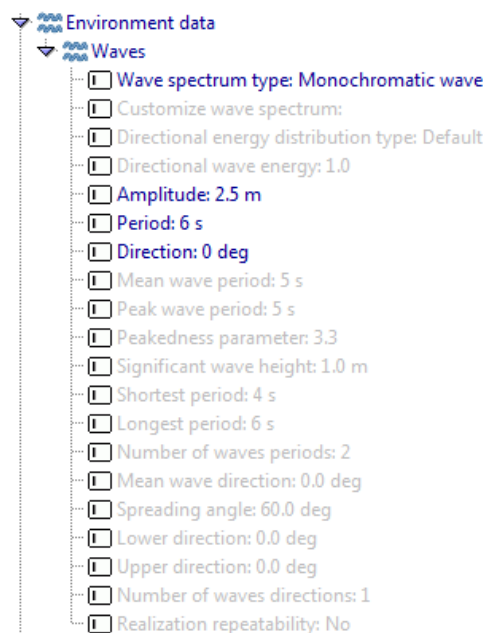
- Sommerfeld radiation condition: Seleccionar "yes" puesto que interesa que haya condición de radiación de las olas.

Definición datos Tdyn



4.- Oleaje ambiental. En este apartado, se define el entorno de ola, pudiendo ser del tipo Monocromática, *White Noise* o *Pierson Moskowitz*. En función del tipo de entorno seleccionado, se deben definir un conjunto de datos de la ola. Para este estudio, seleccionar:

- Wave spectrum type: Monochromatic wave.
- Amplitude: 2,5m
- Period: 6s.
- Direction: Dirección de procedencia de las olas; 0,0deg.

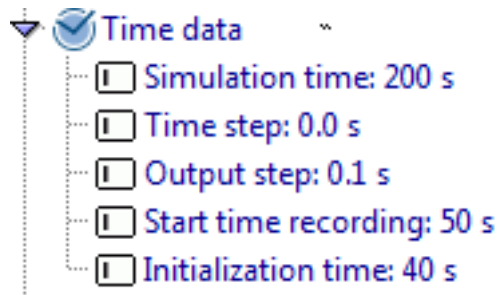


5.- Tiempo de análisis. En este apartado, se define la duración del análisis, la frecuencia con la que el programa toma datos (*step*), el momento en que el programa inicia la grabación y el momento de inicialización de captura de datos.

- Simulation time: Indicar un tiempo de 200s.
- Output step: Dejar el valor por defecto 0,1s.
- Start time recording: Dejar el valor por defecto 50s.

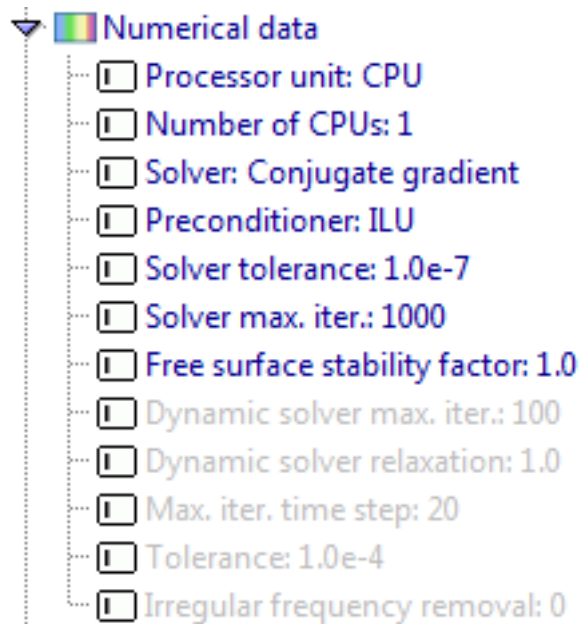
Definición datos Tdyn

- Initialization time: Dejar el valor por defecto 40s.



6.- Configuración numerica. Este apartado permite configurar la manera en cómo se va a desenvolver el cálculo del problema, pudiendo escoger:

- Processor unit: Dejar el valor por defecto CPU.
- Solver: Dejar el valor por defecto conjugate gradient.
- Precond: Dejar el valor por defecto ILU.
- Solver tolerance: Dejar el valor por defecto 1,0e-7.
- Solver max. iter.: Indicar un tiempo de 1000.
- Stability factor: Dejar el valor por defecto 1.0.



7.- Datos elemento de estudio. En este apartado, se definen las propiedades del elemento de estudio como su centro de gravedad, su masa y su radio de giro. Además, se definen los grados de libertad que puede tener, pudiendo escoger entre los seis posibles, tres de desplazamiento y tres de giro. Finalmente, se pueden aplicar cargas externas al elemento de estudio, pudiendo escoger entre cargas en cada una de las tres direcciones y momentos respecto de los tres ejes.

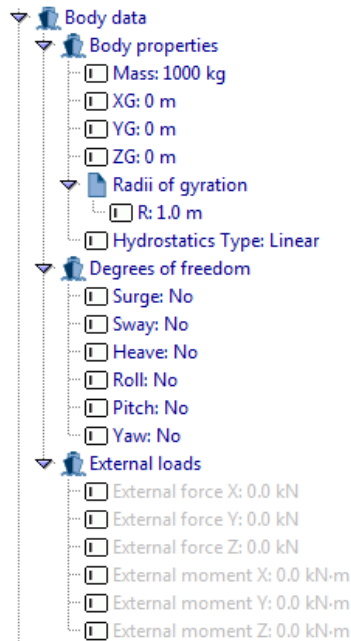
- Body properties: Indicar una masa de 1000 kg, un centro de gravedad (respecto el centro de flotación) en $x=0$, $y=0$ y $z=0$. Finalmente en la opción "rady of giration" dejar el valor por defecto de 1.0m. Como la pared es un elemento estático su centro de gravedad no hace falta que sea

Definición datos Tdyn

especificado, por lo que se deja en cero.

- Degrees of freedom: Los grados de libertad de Surge, Sway, Heave, Roll, Pitch, Yaw deben estar restringidos por medio de la opción no.

- External loads: En este apartado no debe realizarse ningún cambio ya que no se aplica ninguna carga externa.

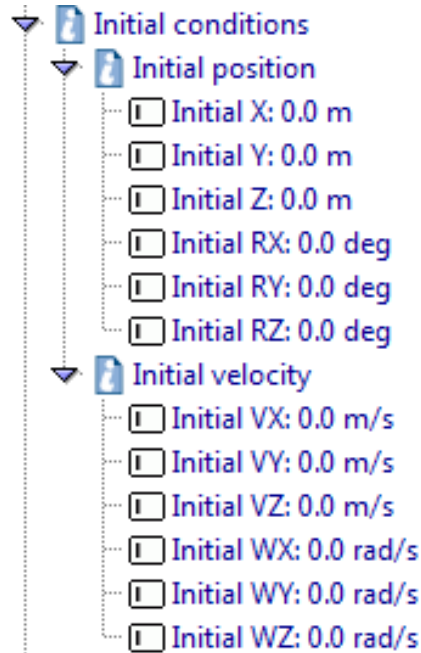


8.- Condiciones iniciales. En este apartado se define la posición inicial del elemento, situando la posición del centro de gravedad respecto del origen, así como también se define su posición angular respecto cada uno de los 3 ejes. Además, se define la velocidad que lleva el elemento al iniciar el cálculo, que puede ser lineal en el sentido de cada uno de los 3 ejes, o angular si rota respecto alguno de ellos.

- Initial position: Como la posición inicial del elemento es la misma que durante el período de estudio se dejan todos los valores en 0.

- Initial velocity: Como la velocidad inicial del elemento respecto cualquier eje es nula se dejan todos los valores en 0.

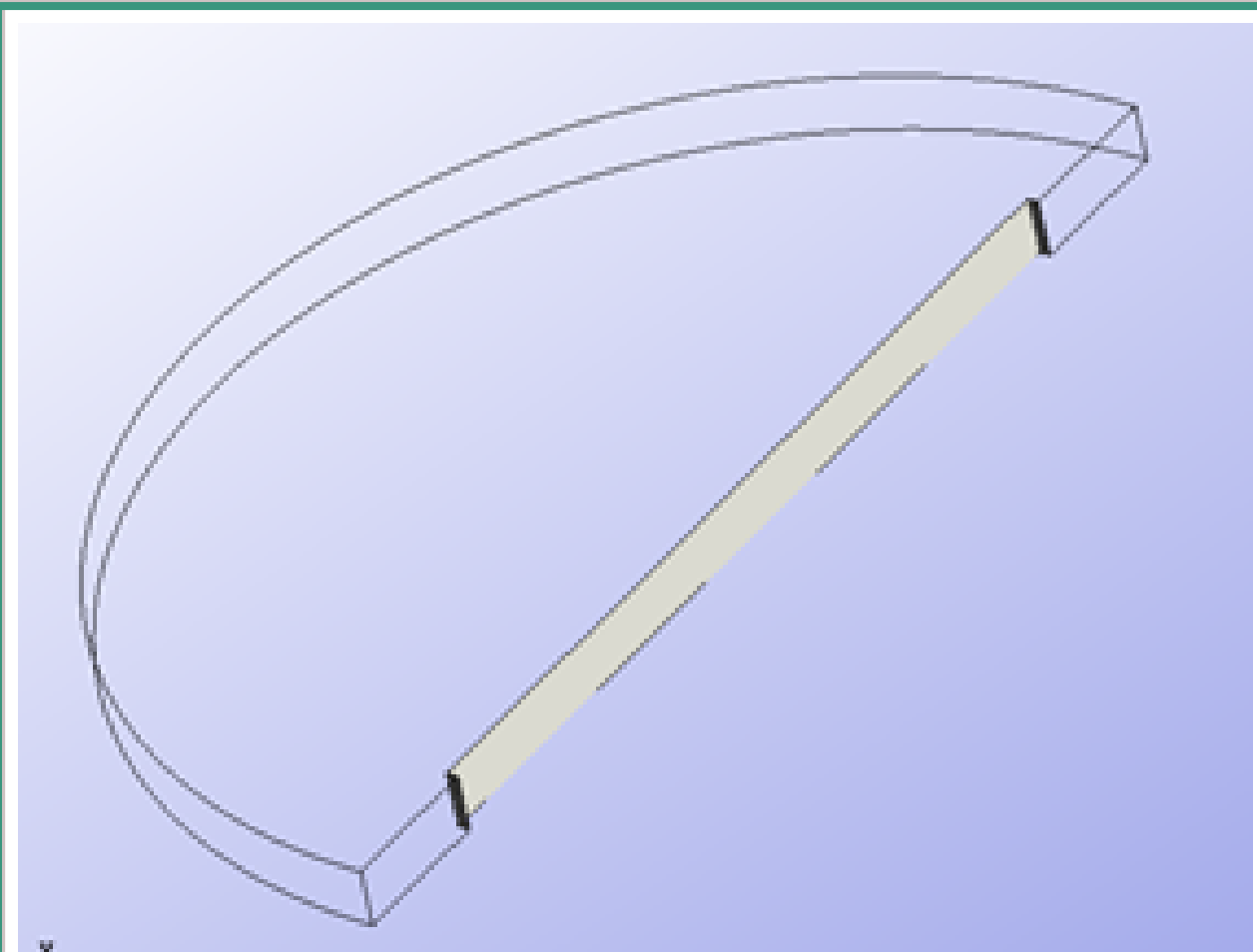
Definición datos Tdyn



9.- Condiciones de contorno. En este apartado, se atribuye una caracterización a cada una de las superficies generadas en la representación geométrica, con el fin de que el programa pueda identificar qué es cada elemento y proporcionarle las propiedades necesarias. Así pues, se define el elemento de estudio, *Body*, seleccionando en este grupo todas las superficies que lo forman. Del mismo modo, se define la superficie libre, *Free Surface*, como la superficie del agua del mar, la superficie que representa la finalización del mar, *Outlet*, y el fondo del mar, *Bottom*.

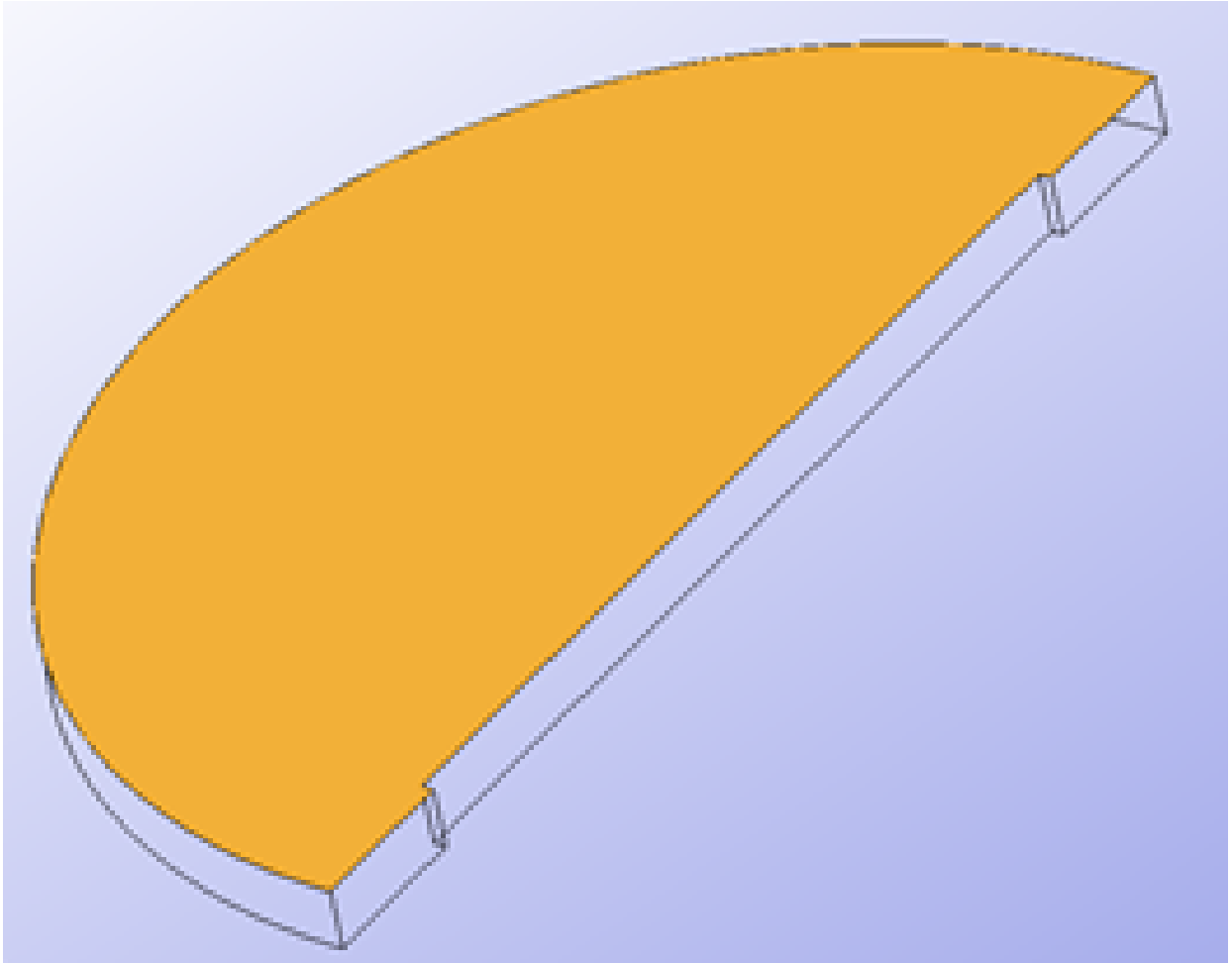
- *Body*: Seleccionar todas las superficies que forman el elemento de estudio, ubicadas en la capa (Body). Para ello, ocultar el resto de capas, hacer doble clic sobre la opción "Body", pulsar la opción "Select" y seleccionar las superficies.

Definición datos Tdyn



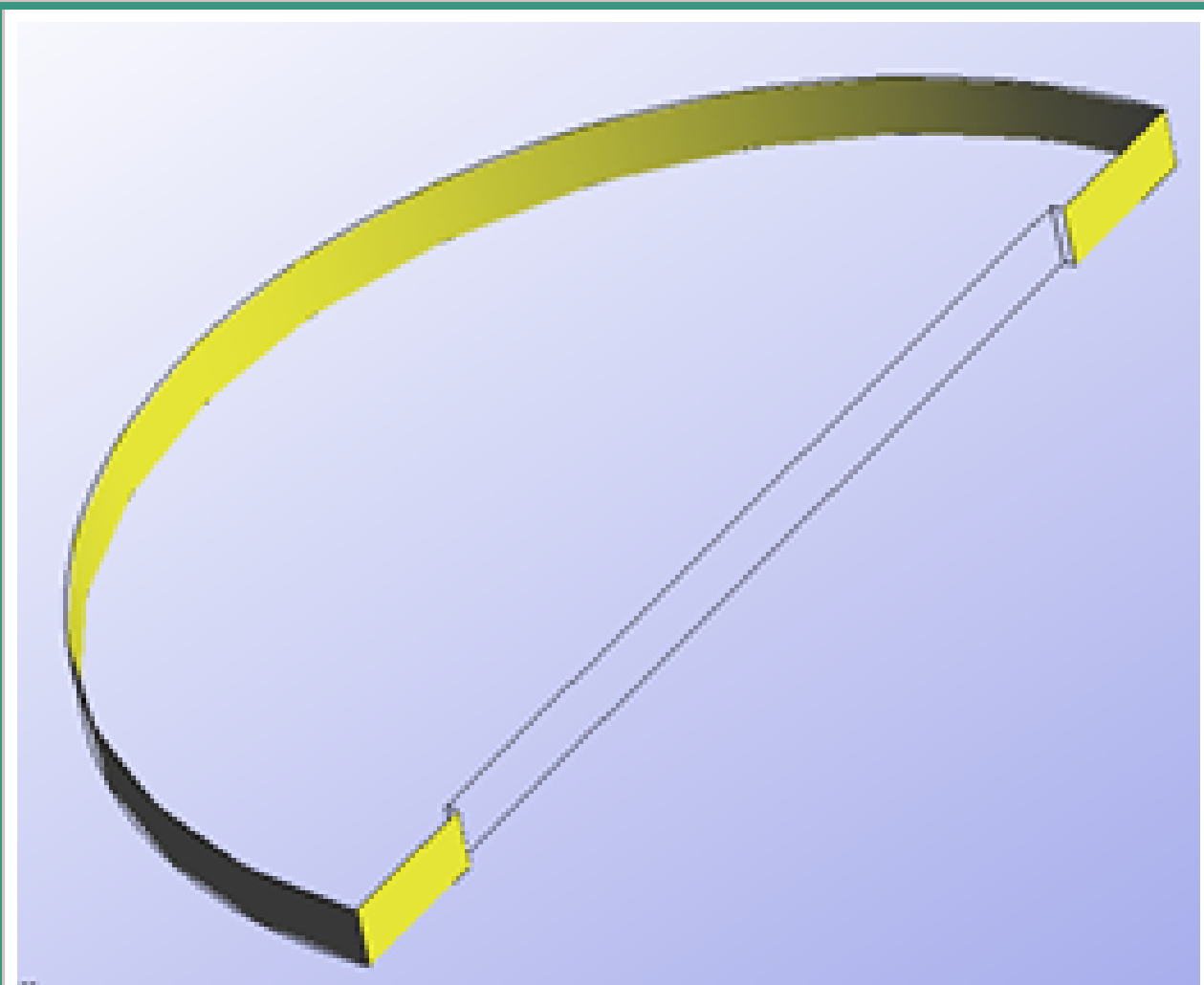
- Free surface: Seleccionar las superficies superiores de los cilindros, ubicadas en las capas (wave absorption area y analysis area). Seguir los mismos pasos que en el caso del "body" pero ocultando las capas que no corresponden a la "Free Surface".

Definición datos Tdyn



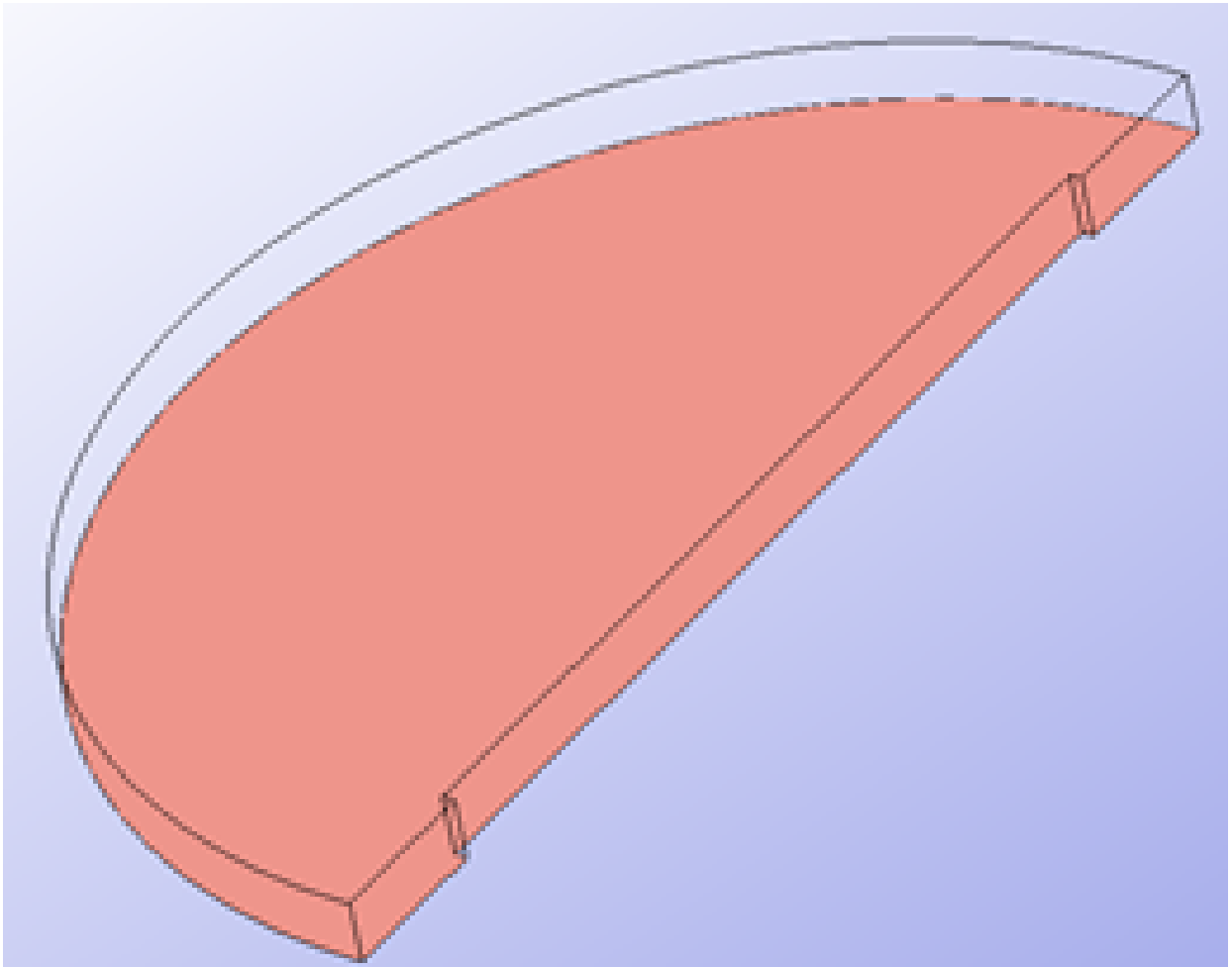
- Outlet: Seleccionar las superficies externas del cilindro grande, ubicadas en la capa (Outlet).

Definición datos Tdyn



- Bottom: Seleccionar las superficies inferiores de los dos cilindros, ubicadas en la capa (Bottom).

Definición datos Tdyn



- Wall: En este estudio no hay ninguna superficie que deba ser caracterizada por esta condición.

- P Free Surface: En este estudio no hay ninguna superficie que deba ser caracterizada por esta condición.

Generación de malla

1.1.2.3 Generación de malla

En este apartado, se convierten las geometrías representadas en elementos discretos de menor tamaño que van a ser analizados por medio del Método de Elementos Finitos.

Los diferentes elementos a mallar son los siguientes:

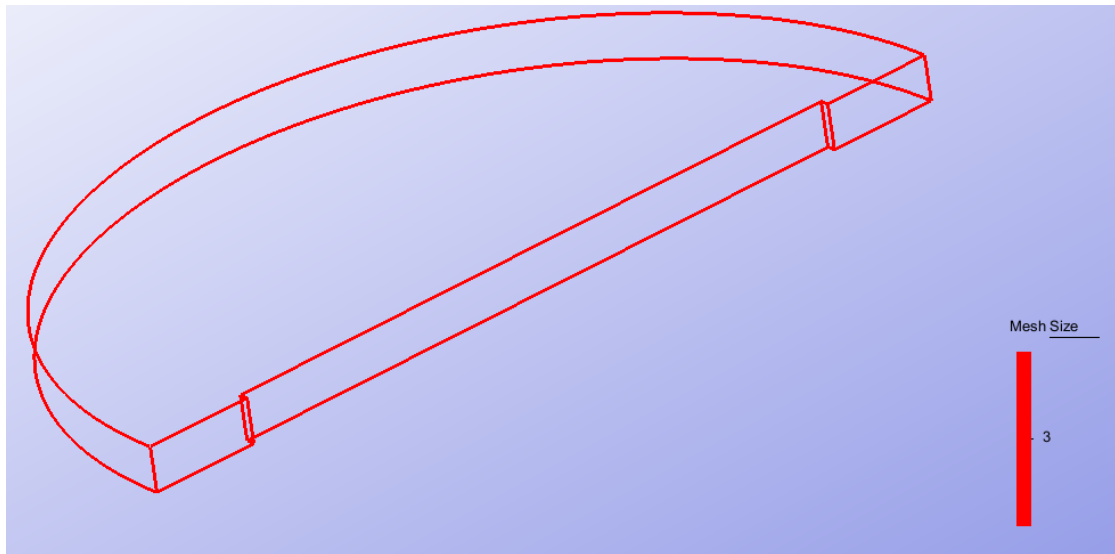
- Mallado de líneas
- Mallado de superficies
- Mallado de volúmenes

En este tutorial simplificado se usa un mismo tamaño de malla para todas las líneas, superficies y para el volumen, dicho tamaño es de 3 m.

1.- Realización del mallado de líneas:

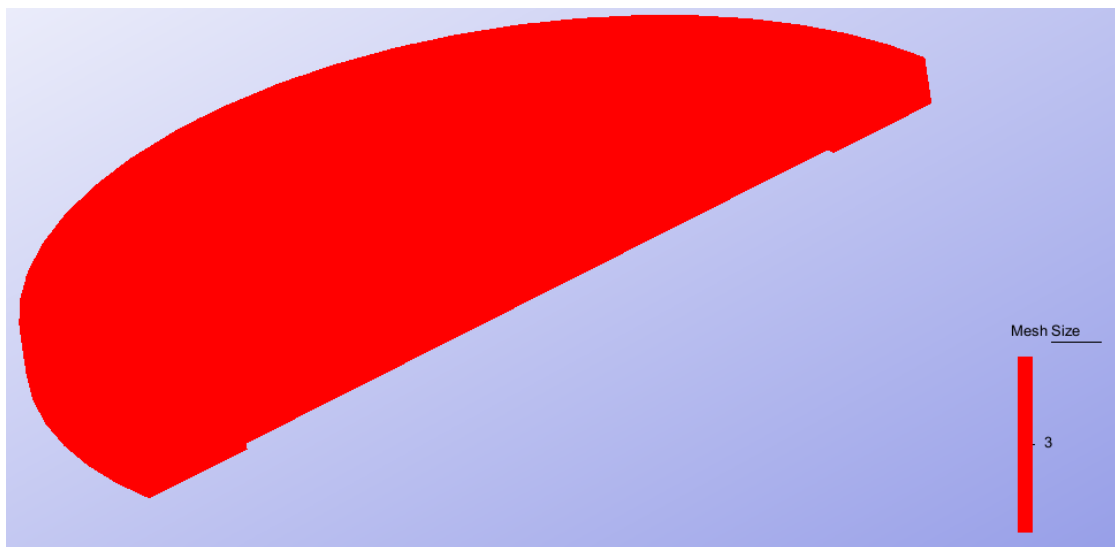
Generación de malla

Se selecciona la opción (Mesh / Unstructured /Assign size on lines / 3) y se seleccionan todas las líneas.



2.- Realización del mallado de superficies:

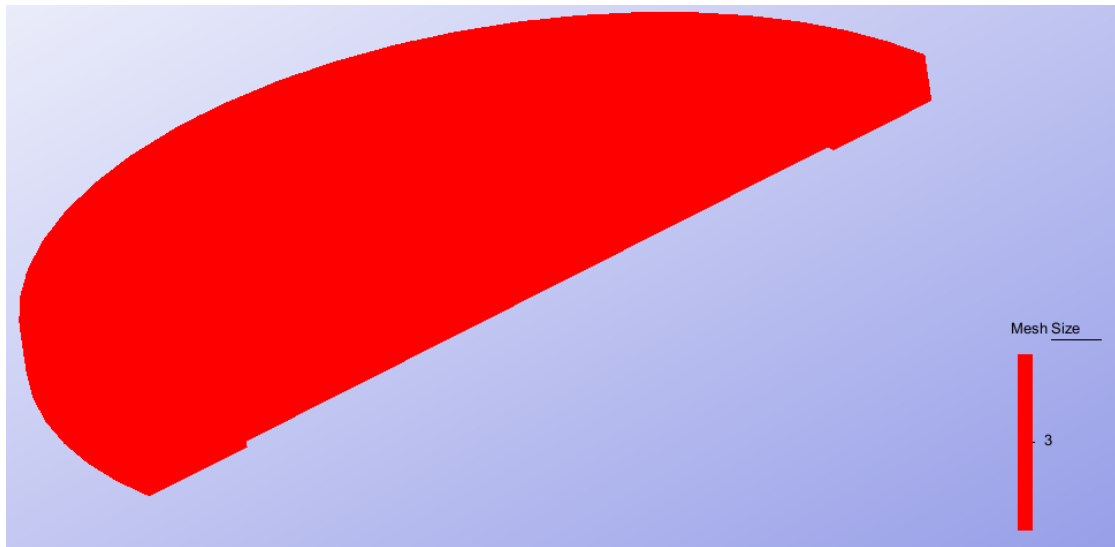
Se selecciona la opción (Mesh / Unstructured /Assign size on surfaces / 3) y se seleccionan todas las superficies.



3.- Realización del mallado de volúmenes:

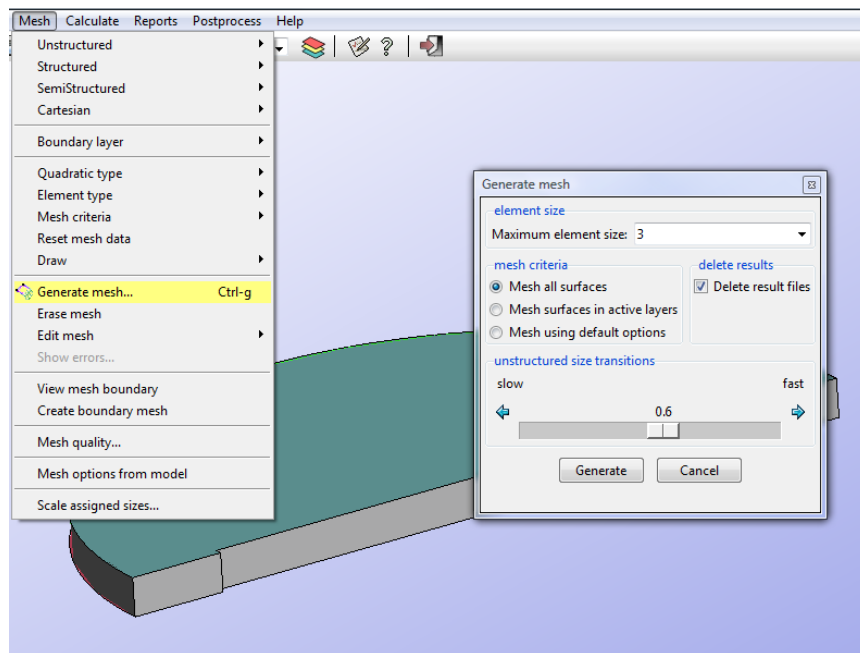
Se selecciona la opción (Mesh / Unstructured /Assign size on Volumes / 3) y se selecciona el volumen.

Generación de malla



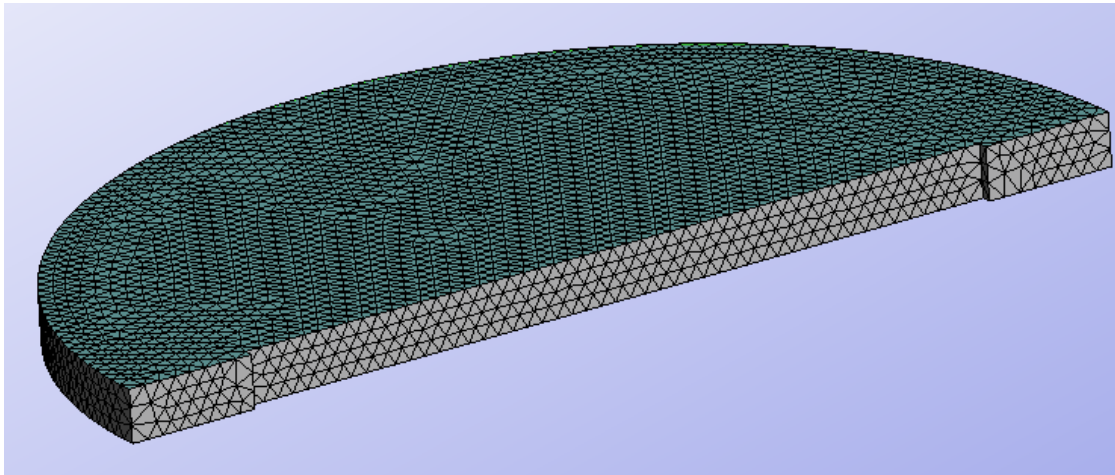
4.- Generación de la malla:

Una vez definidos todos los tamaños de malla se debe generar la malla, para ello (Mesh / Generate Mesh / Maximum element size 3 / y seleccionar una velocidad de mallado media de 0,6).



Una vez generada la malla queda de la siguiente forma,

Generación de malla



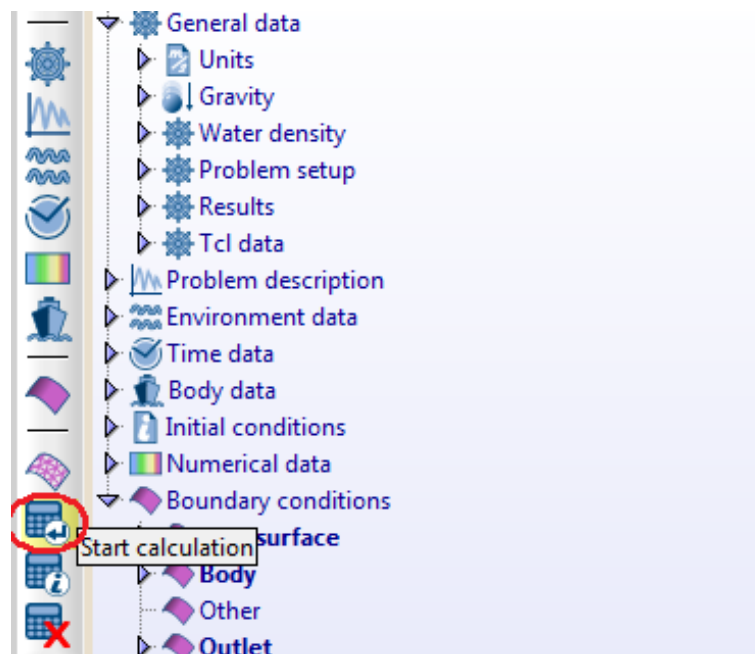
Cálculo FEM

1.1.2.4 Cálculo FEM

En este apartado se explica como se inicializa el cálculo del programa mediante el Método de los Elementos Finitos, que permite pasar a la segunda parte del tutorial, es decir, al postproceso para el análisis de resultados.

Inicio del cálculo:

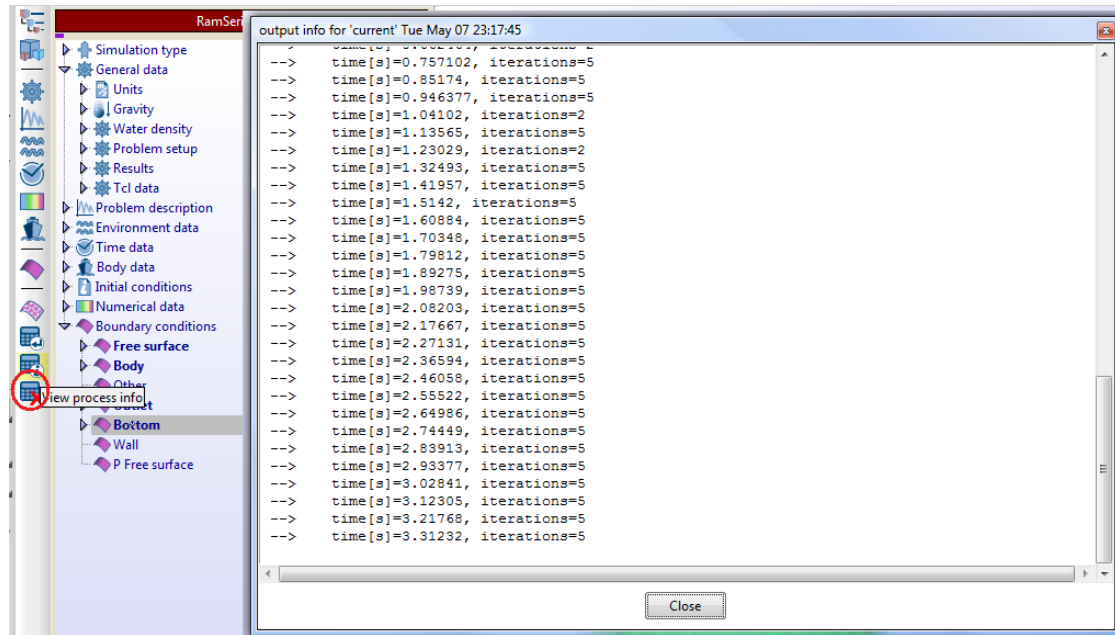
En el menú de la izquierda "Start Calculation".



Seguimiento del cálculo:

En el menú de la izquierda "View process info".

Cálculo FEM



Parada del cálculo:

En el menú de la izquierda "Cancel calculation process".

Postproceso

1.1.3 Postproceso

En este tutorial solo nos centraremos en el:

- [Análisis de la presión en la pared del espigón](#)

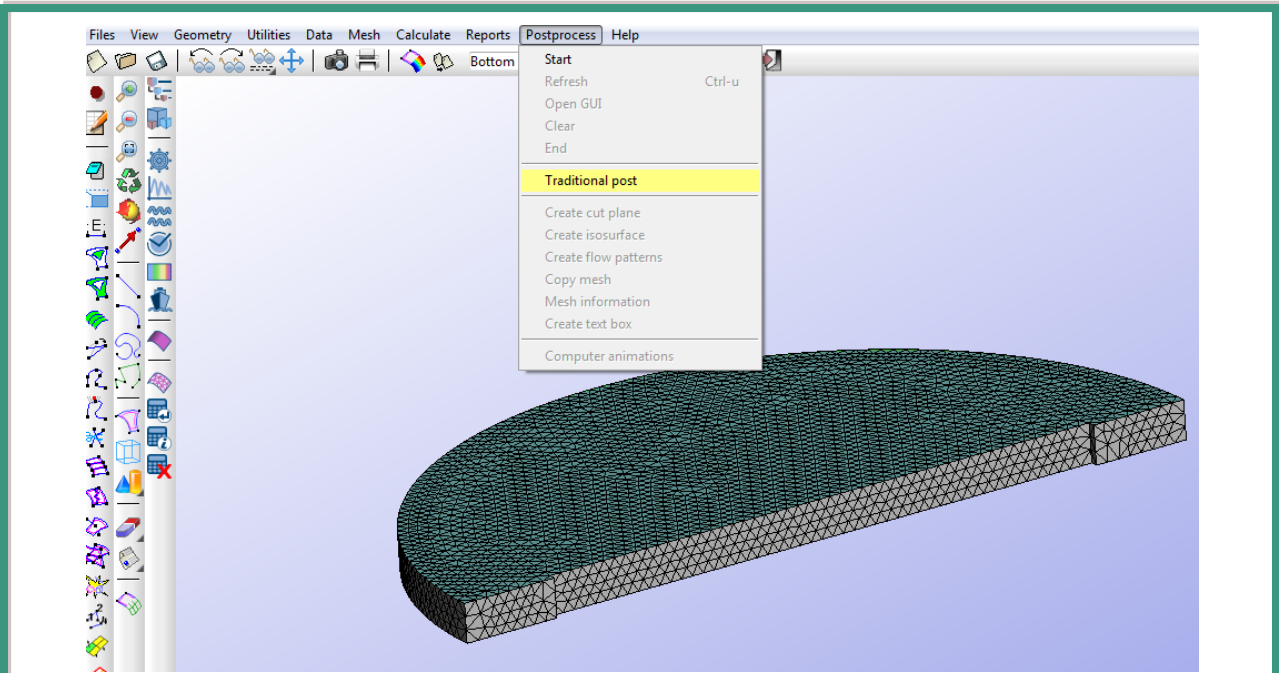
1.1.3.1 Análisis de la presión en la pared del espigón

En este apartado se representan las diferentes cargas a las que se somete el muro del espigón debido al oleaje. Para ello se debe pasar del preproceso al postproceso y utilizar las funciones de las que dispone el programa para la visualización de datos.

1- Paso al postproceso:

En el menú superior seleccionar (Postprocess / Traditional post)

Análisis de la presión en la pared del espigón



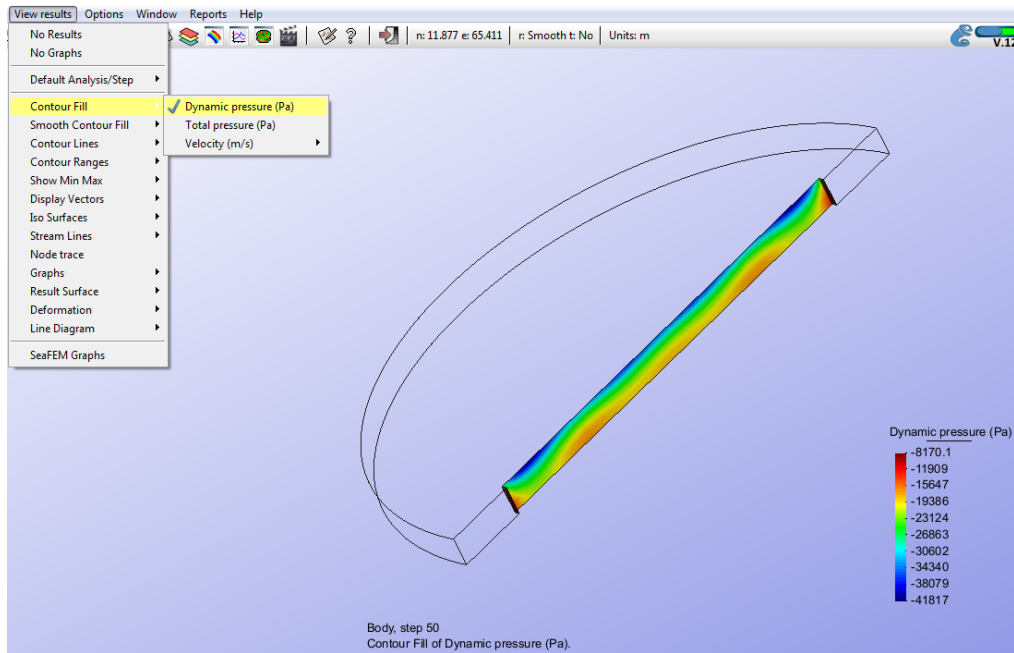
2- Análisis de las presiones del muro:

Primero seleccionar el menú superior (View Results / Default Analysis/Step / Body).

Node	50	52.5	55	57.5	60	62.5	65	67.5
50.1	52.6	55.1	57.6	60.1	62.6	65.1	67.6	
50.2	52.7	55.2	57.7	60.2	62.7	65.2	67.7	
50.3	52.8	55.3	57.8	60.3	62.8	65.3	67.8	
50.4	52.9	55.4	57.9	60.4	62.9	65.4	67.9	
50.5	53	55.5	58	60.5	63	65.5	68	
50.6	53.1	55.6	58.1	60.6	63.1	65.6	68.1	
50.7	53.2	55.7	58.2	60.7	63.2	65.7	68.2	
50.8	53.3	55.8	58.3	60.8	63.3	65.8	68.3	
50.9	53.4	55.9	58.4	60.9	63.4	65.9	68.4	
51	53.5	56	58.5	61	63.5	66	68.5	
51.1	53.6	56.1	58.6	61.1	63.6	66.1	68.6	
51.2	53.7	56.2	58.7	61.2	63.7	66.2	68.7	
51.3	53.8	56.3	58.8	61.3	63.8	66.3	68.8	
51.4	53.9	56.4	58.9	61.4	63.9	66.4	68.9	
51.5	54	56.5	59	61.5	64	66.5	69	
51.6	54.1	56.6	59.1	61.6	64.1	66.6	69.1	
51.7	54.2	56.7	59.2	61.7	64.2	66.7	69.2	
51.8	54.3	56.8	59.3	61.8	64.3	66.8	69.3	
51.9	54.4	56.9	59.4	61.9	64.4	66.9	69.4	
52	54.5	57	59.5	62	64.5	67	69.5	
52.1	54.6	57.1	59.6	62.1	64.6	67.1	69.6	
52.2	54.7	57.2	59.7	62.2	64.7	67.2	69.7	
52.3	54.8	57.3	59.8	62.3	64.8	67.3	69.8	
52.4	54.9	57.4	59.9	62.4	64.9	67.4	69.8	...More...

Posteriormente, (View Results / Contour fill / Dynamic pressure (Pa)).

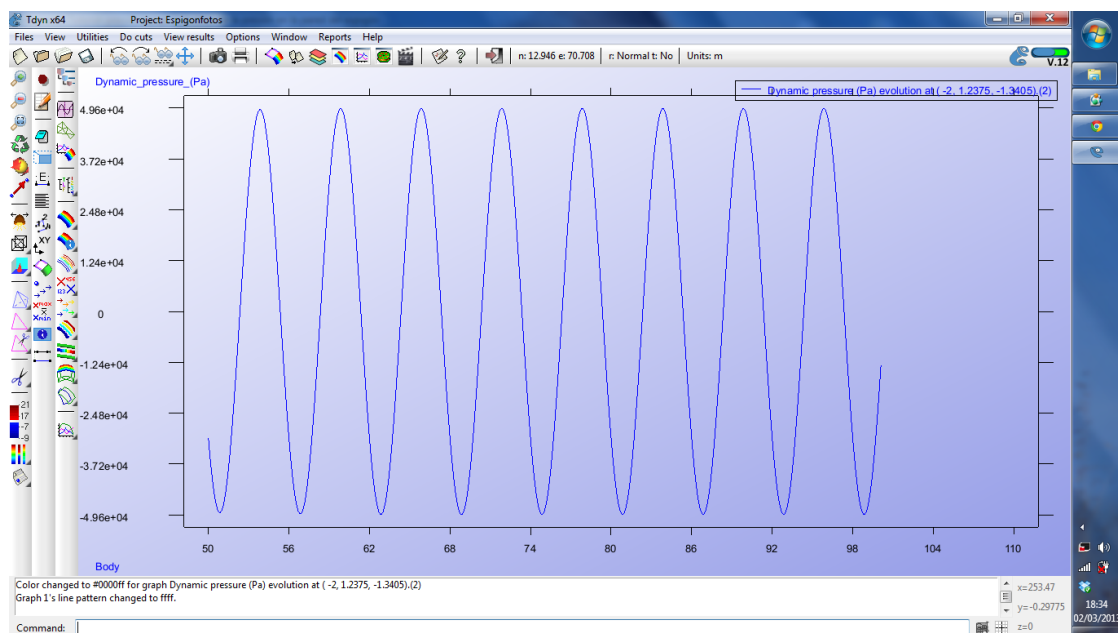
Análisis de la presión en la pared del espigón



A partir de aquí se puede realizar una animación de como varía la presión en el muro en función de la incidencia del oleaje mediante el comando (Window / Animate) viéndose en cada paso de tiempo la variación de la presión en todos los puntos de la pared.

3-Análisis de la variación de presiones en un punto del muro:

Para ello este programa tiene la capacidad de generar gráficos, que permiten observar dichas variaciones en puntos concretos del muro. Para ello el comando a utilizar es (Window / View Graphs / View / point evolution / analysis / body /Dynamic Pressure) a partir de aquí el programa pide las coordenadas del punto de estudio, que si consideramos el origen de coordenadas (0,0,0) el gráfico presenta el siguiente aspecto.



Que muestra en ordenadas los valores de presión y en abscisas el tiempo.

Análisis de la presión en la pared del espigón

4-Tratamiento de datos:

Este programa permite la extracción de los datos calculados en archivos de formato tipo "Excel", para facilitar su tratamiento en caso de requerirlo. Para ello, una vez establecido un tipo de análisis se debe (Reports / Add results / Dynamic pressure / ok). Generandose un excel con las variaciones de presión en función del tiempo.

