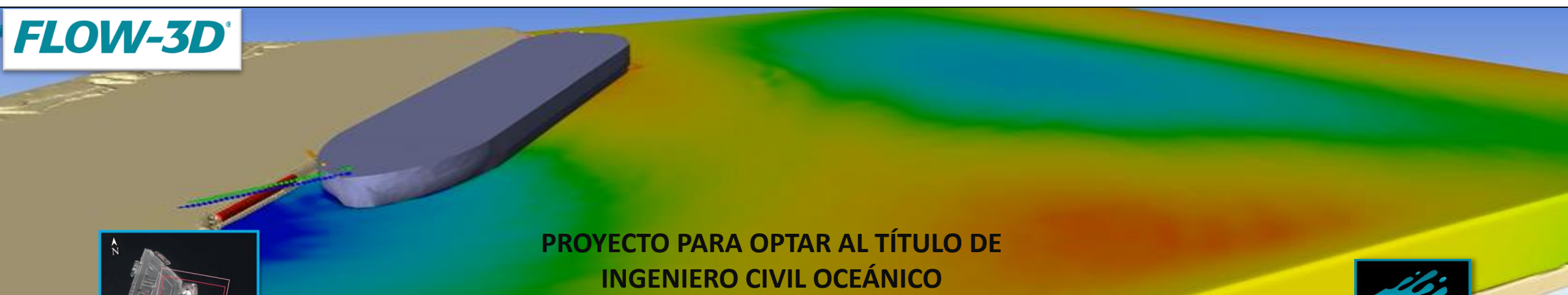


APLICACIÓN DEL MODELO FLOW-3D PARA EL ESTUDIO DEL MOVIMIENTO DE UN BUQUE FIERRERO EN EL SITIO 8 DEL PUERTO DE VALPARAÍSO

FLOW-3D



PROYECTO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL OCEÁNICO



Autor: Dámaris Bermúdez S.
Profesor Guía: Patricio Winckler G.

FECHA: 04/03/2022



INTRODUCCIÓN

Esta memoria pretende analizar la respuesta de un buque herrero atracado, mediante un modelo numérico llamado Flow-3D, modelo que proporciona una plataforma de simulación CFD e incluye metodologías que permite trabajar con fluidos en superficie libre, objetos flotantes, entre otras aplicaciones.

El sistema de estudio se reduce a la configuración del sitio 8 del espigón del Puerto de Valparaíso, considerando como única forzante el oleaje.



Figura 1: Buque Fierrero.

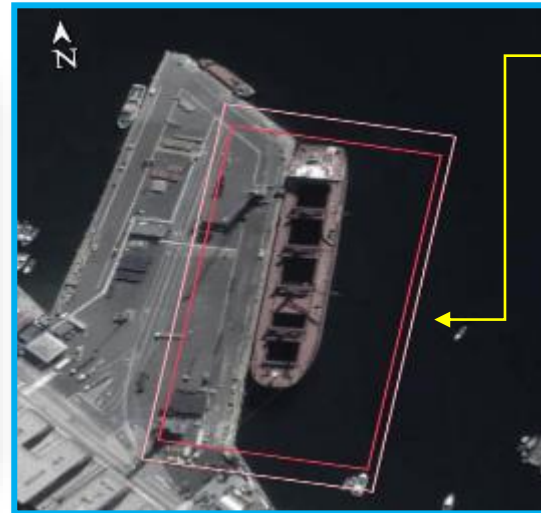


Figura 2: Sitio 8, Puerto de Valparaíso.

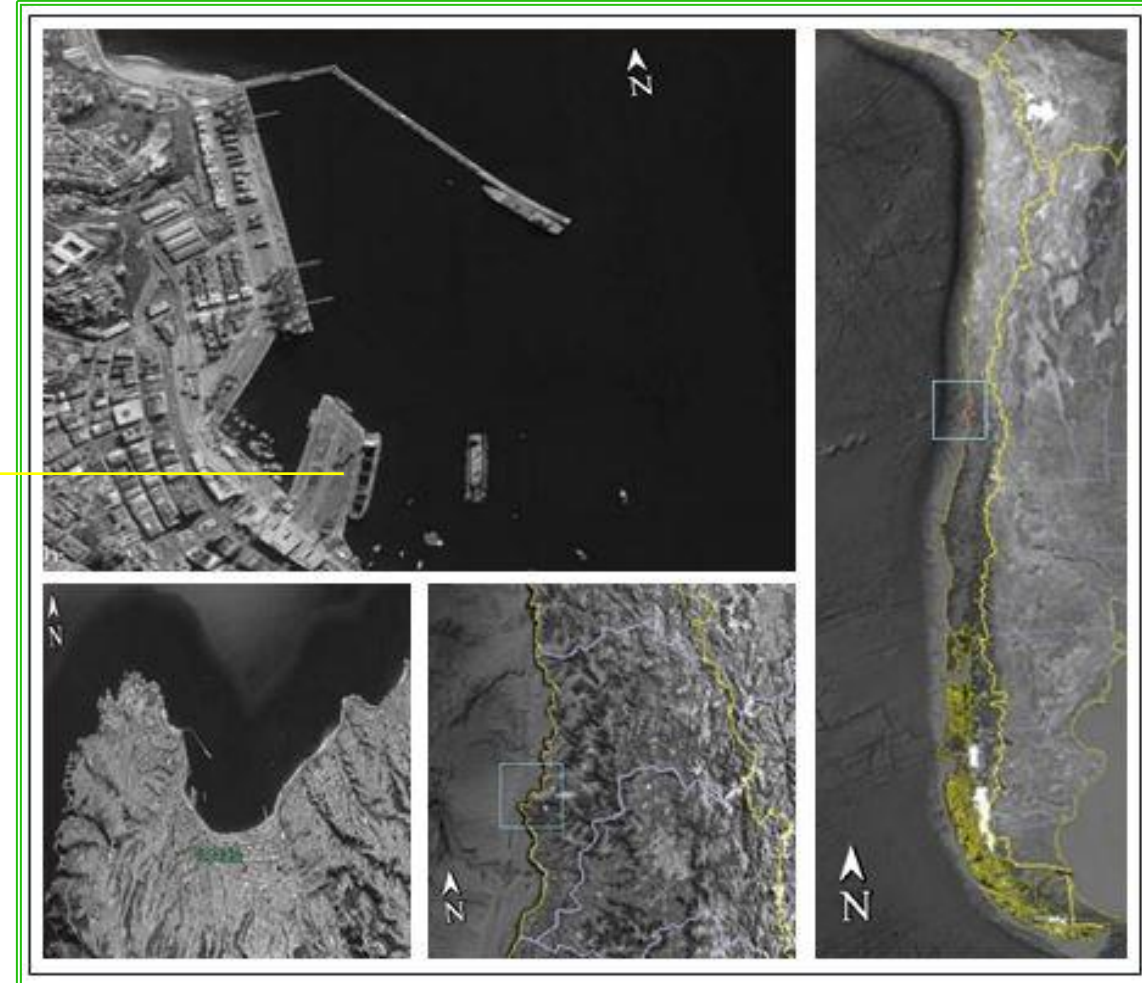


Figura 3: ubicación de la zona de estudio.

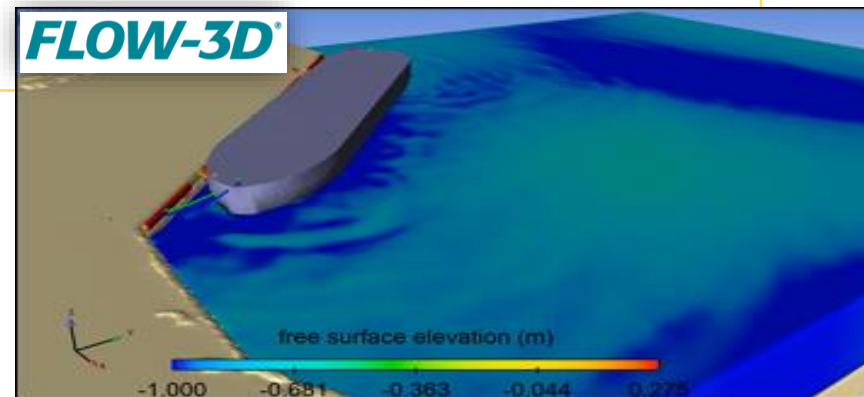
OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Implementar un software CFD para el análisis de los movimientos y tensiones en el sistema de amarras del buque fierrero en el sitio 8 del espigón del puerto de Valparaíso – Chile.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Configurar el modelo Flow-3D con los objetos en sólido.
- Describir los movimientos del buque y las tensiones de las líneas de amarre para los casos propuestos en esta memoria.
- Comparar los movimientos de la nave con los máximos admisibles de desplazamiento propuesto por el PIANC.
- Analizar los valores máximos de cada variable mediante la comparación entre los casos.



MARCO TEÓRICO

FLOW-3D

MODELO HIDRODINÁMICO

ECUACIÓN DE CONTINUIDAD DE MASA

$$\frac{1}{c^2} \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w) = 0$$

ECUACIONES DE MOMENTO

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \left\{ u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right\} &= -\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial p}{\partial x} \right) + f_x \\ \frac{\partial v}{\partial t} + \left\{ u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right\} &= -\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial p}{\partial y} \right) + f_y \\ \frac{\partial w}{\partial t} + \left\{ u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right\} &= -\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial p}{\partial z} \right) + G_z + f_z \end{aligned}$$

INTERFACES DE FLUIDOS Y SUPERFICIES

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \left[\frac{\partial}{\partial x}(Fu) + \frac{\partial}{\partial y}(Fv) + \frac{\partial}{\partial z}(Fw) \right] = 0$$

MODELO DEL BUQUE

DESCRIPCIÓN Y MODELO GENERAL DE OBJETO EN MOVIMIENTO

MÉTODO DE MALLA FIJA PARA OBJETOS MÓVILES

VELOCIDAD DEL CUERPO

$$\vec{V}_p = \vec{V}_G + \vec{\omega} * \vec{r}_{p/G}$$

ECUACIONES DE GOBIERNO DEL MOVIMIENTO

$$\begin{aligned} \dot{\vec{F}} &= m \cdot \frac{d\vec{V}_G}{dt} \\ \vec{T}_G &= [J]^* \frac{d\vec{\omega}}{dt} + \vec{\omega} \times (J \cdot \vec{\omega}) \\ \vec{F} &= \vec{F}_g + \vec{F}_h & \vec{T}_G &= \vec{T}_g + \vec{T}_h \end{aligned}$$

MODELO DE LÍNEAS DE AMARRE (Mooring Lines)

ECUACIÓN DINÁMICA DE MOVIMIENTO

$$m_p \frac{dv_p}{dt} = G + T_1 + T_2$$

METODOLOGÍA



Previo al software

- Batimetría
- Buque
- Defensas
- Propiedades de líneas de amarre
- Datos de oleaje

Pre - proceso

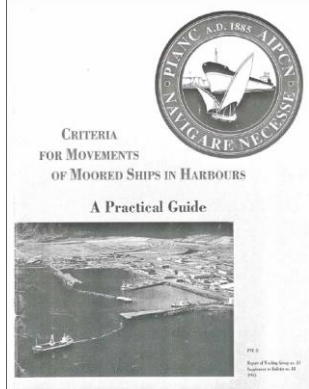
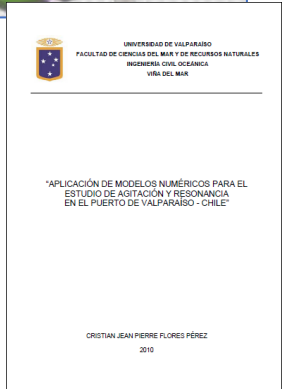
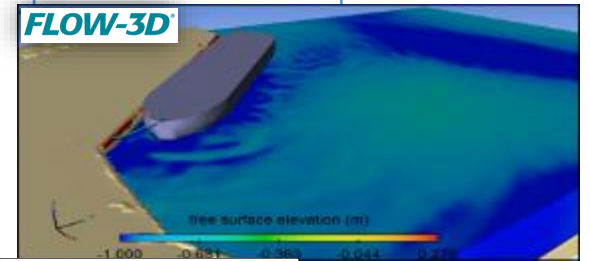
- Ingreso de archivos
- Configuración del modelo CFD

Post - procesamiento

- Corrección de resultados
- visualización de los gráficos

Descripción y análisis de resultados

- Comparación con los máximos admisibles, PIANC (1995).
- Conclusión



METODOLOGÍA

Previo al software

Batimetría

Buque

Defensas

Propiedades de las líneas de amarre

Datos de oleaje

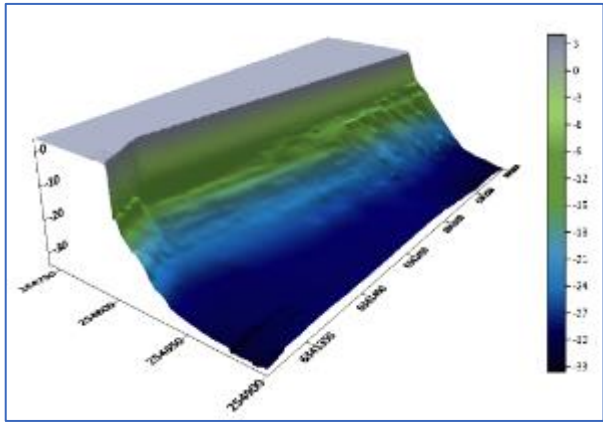


Figura 4: Batimetría del Sitio 8.

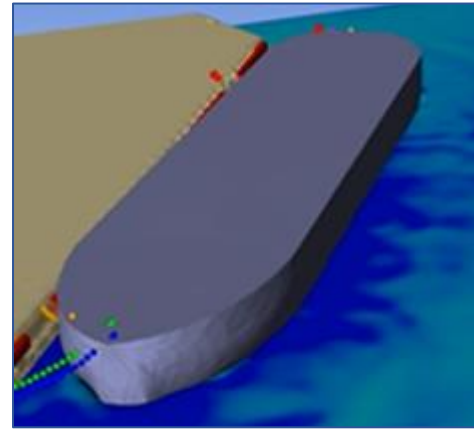


Figura 6: Nave en solido

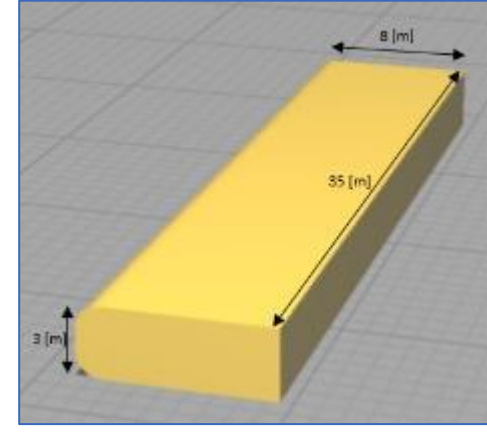


Figura 7: defensa en solido

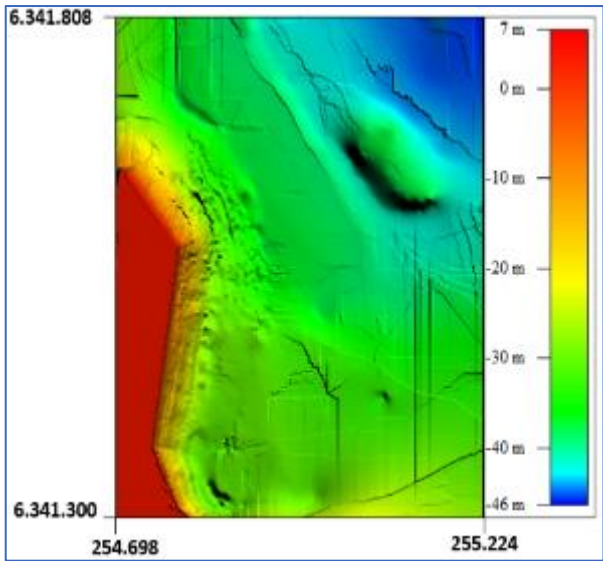


Figura 5: Batimetría superpuesta.

Altura significativa [m]	Periodo peak [s]											Total	C(%)
	0.00-2.00	2.00-4.00	4.00-6.00	6.00-8.00	8.00-10.00	10.00-12.00	12.00-14.00	14.00-16.00	16.00-18.00	18.00-20.00	20+		
0.00	0.05		0.09	0.86	2.07	11.97	14.09	2.52	0.27	0.02		31.88	100
0.05	0.10		0.22	1.02	1.3	7.65	26.26	12.77	3.03	0.26		52.51	68.12
0.10	0.15		0.03	0.54	0.19	0.97	3.21	2.47	1.24	0.26	0.01	8.93	15.61
0.15	0.20			0.26	0.26	0.88	0.63	0.71	0.32	0.08	0.01	3.17	6.68
0.20	0.25			0.03	0.16	0.46	0.5	0.34	0.03	0.01		1.53	3.51
0.25	0.30			0.01		0.12	0.44	0.16	0.05	0.01		0.79	1.98
0.30	0.35					0.08	0.29	0.07	0.01			0.46	1.19
0.35	0.40					0.1	0.14	0.05				0.3	0.73
0.40	0.45						0.2	0.02	0.01			0.23	0.43
0.45	0.50						0.05	0.01	0.01			0.07	0.2
0.50	0.55						0.01	0.03	0.01			0.06	0.13
0.55	0.60							0.03				0.03	0.08
0.60	0.65							0.03				0.03	0.05
0.65+								0.01				0.01	0.01
Total			0.34	2.72	3.97	22.24	45.82	19.23	5.00	0.65	0.02	100	
C (%)	100.00	100.00	100.00	99.66	96.94	92.97	70.72	24.90	5.67	0.67	0.02		

Figura 8: Tabla de incidencia Hs vs Pp.

Nº de casos	Magnitud	T_p	H_z
1	$H_1 T_1$	12 [s]	0,55 [m]
2	$H_1 T_2$	16 [s]	0,55 [m]
3	$H_2 T_2$	16 [s]	0,65 [m]
4	$H_1 T_3$	18 [s]	0,55 [m]

Figura 9: Casos seleccionados.



METODOLOGÍA

Pre-proceso
FLOW-3D

Propiedades Físicas

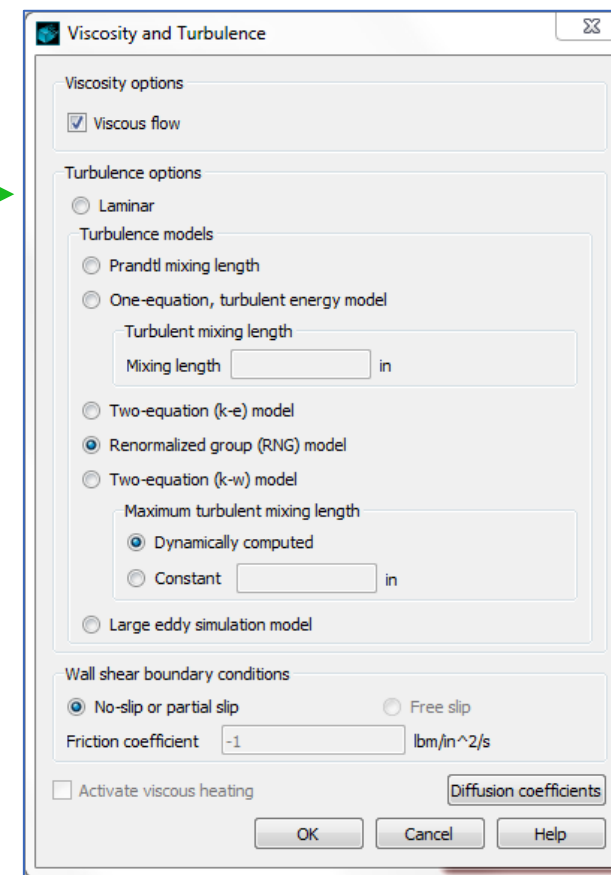
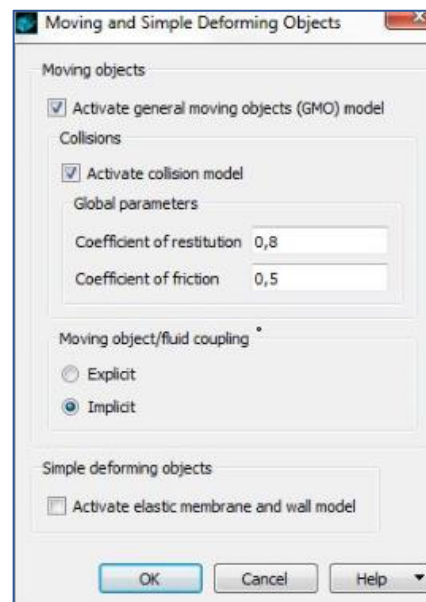
Propiedades del Fluido

Geometría

Malla computacional

Condiciones iniciales y de frontera

Líneas de amarres (Mooring Lines)



METODOLOGÍA

Pre-proceso
FLOW-3D

- Propiedades Físicas
- Propiedades del Fluido
- Líneas de amarres (Mooring Lines)
- Malla computacional
- Condiciones iniciales y de frontera
- Geometria

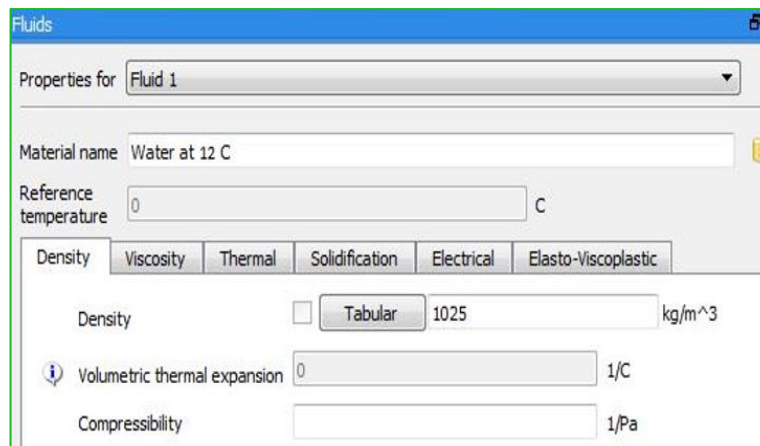


Figura 10: Fluido.

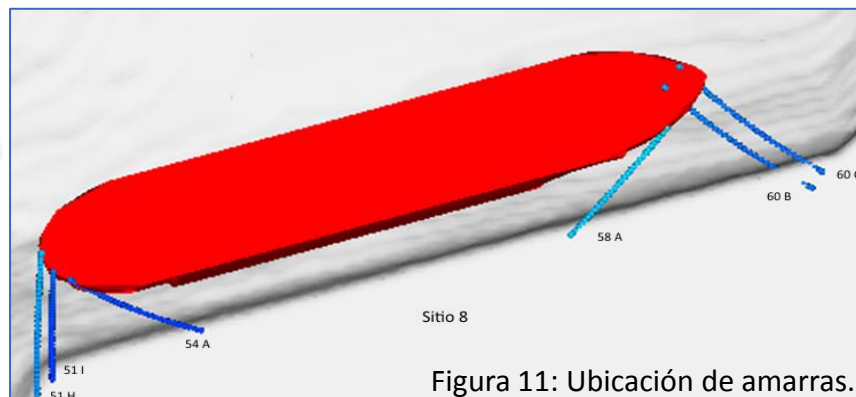


Figura 11: Ubicación de amarros.

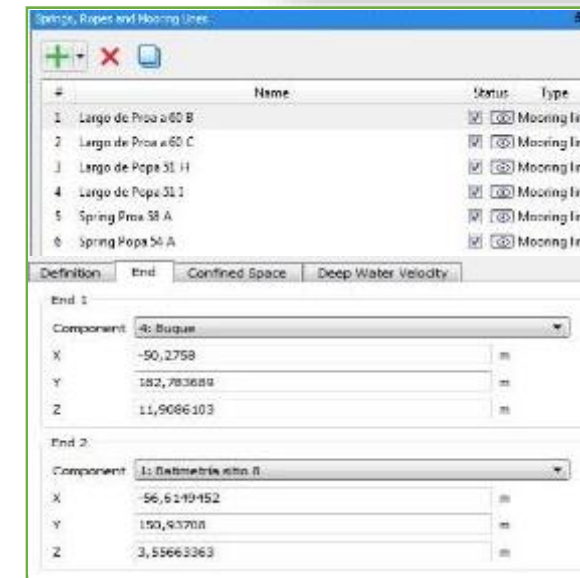
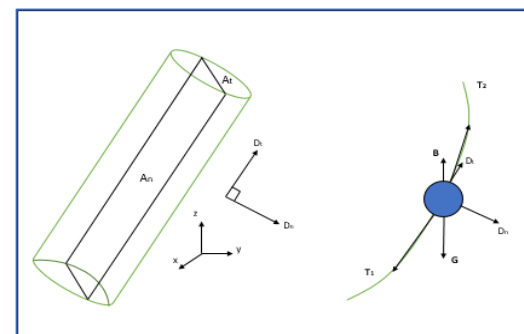
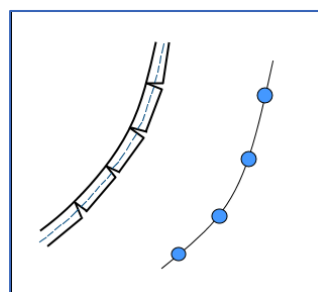


Figura 12: Ubicación de amarros.

Free length	35	m
Spring coefficient per unit length	4,0212386e+07	kg/s^2
Number of segments	31	
Linear density	7,0782	kg/m
Net material density	1410	kg/m^3
Diameter	0,08	m
Normal drag coefficient	1	
Tangential drag coefficient	0,3	
Minimum breaking load	1,137e+06	kg-m/s^2

Figura 13: Propiedades de las líneas de amarros



METODOLOGÍA

Pre-proceso
FLOW-3D

Geometría

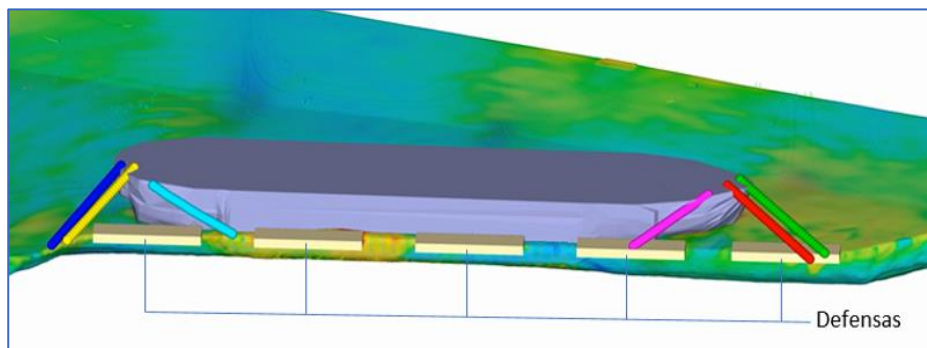


Figura 14: Distribución de los objetos.

Malla computacional

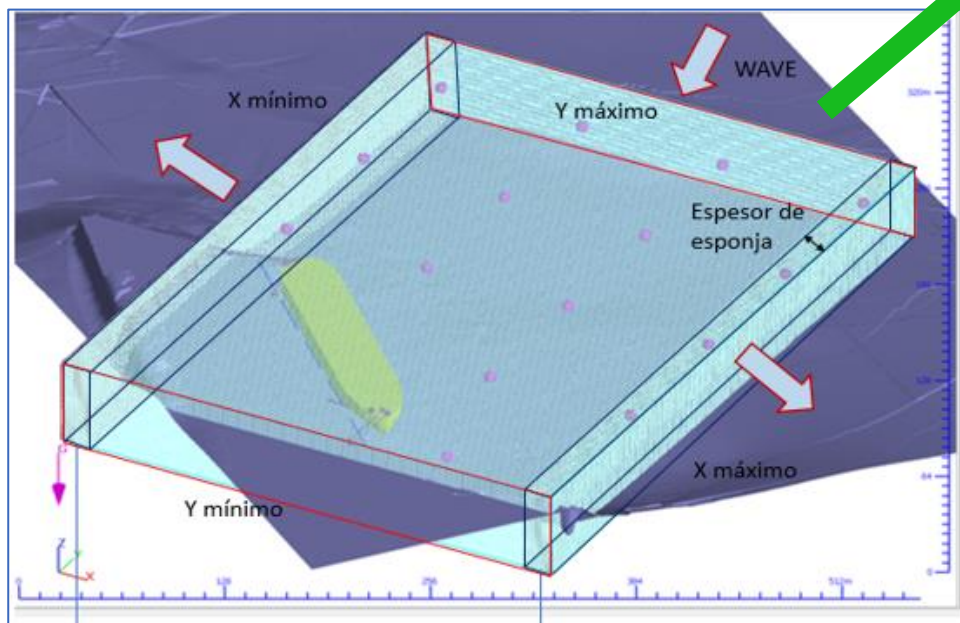


Figura 15: Malla numérica y condiciones de frontera.

Condiciones Iniciales y de frontera

Type Stokes and Cnoidal (Fourier series method)

The wave is assumed to come from a flat bottom reservoir, which is outside the computational domain.

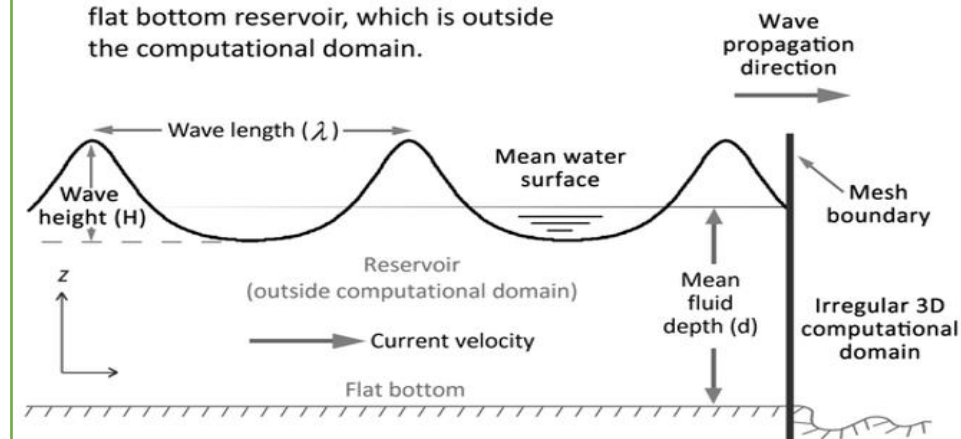


Figura 16-1: Condición de generación de onda superficial.

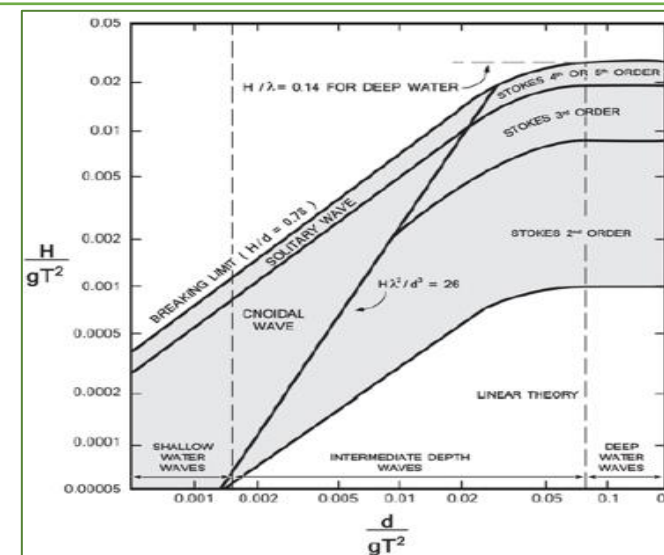


Figura 16-2: Teorías de oleaje.

METODOLOGÍA

Pre-proceso

Configuración del modelo:

- Condiciones iniciales y de frontera
- Configuración de datos de salida
- Configuración numérica

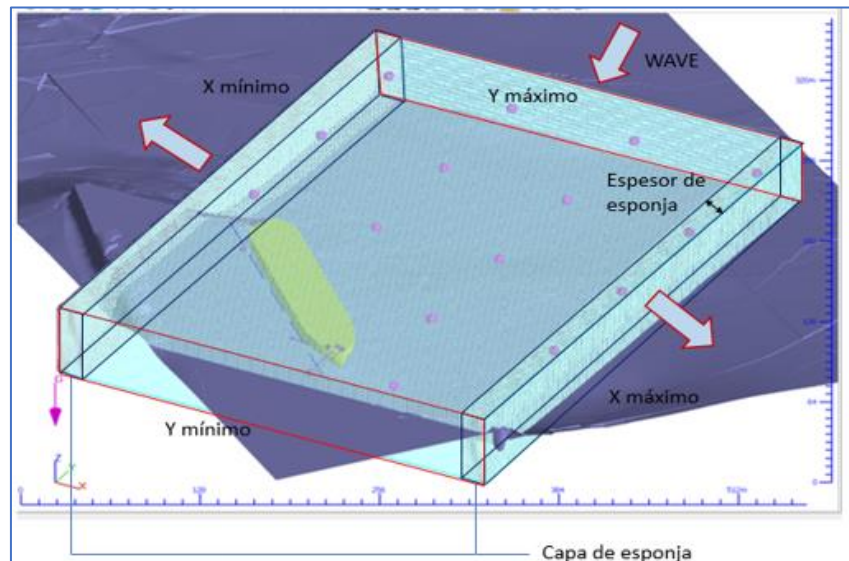


Figura 17: Condiciones de frontera.

Boundaries

Boundary	Type	Events
X Min	Outflow	<input type="checkbox"/> Events
X Max	Outflow	<input type="checkbox"/> Events
Y Min	Symmetry	<input type="checkbox"/> Events
Y Max	Wave	<input type="checkbox"/> Events
Z Min	Wall	<input type="checkbox"/> Events
Z Max	Pressure	<input type="checkbox"/> Events

Pressure

Pressure at time Time 0 Pa

Stagnation pressure

Outflow

Initial

Global

Fluid

Void

Height/Volume Use fluid elevation

Height/Volume

Fluid at height 0 m

Interval Output interval 10 s

Figura 19: Configuraciones de la condición inicial y de fronteras.

Numerics

Volume-of-fluid advection

Volume-of-fluid advection Automatic

Advanced Options

Momentum advection

Order of approximation First order

Immersed boundary method

Fluid flow solver options

Solve momentum and continuity equations

Use constant velocity field

Use zero velocity field

Other explicit/implicit solver options

	Explicit	Implicit	Convergence Controls
Heat transfer	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	Convergence Controls
Elastic stress	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	Convergence Controls
Surface tension pressure	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
Free surface pressure	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
Bubble pressure	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
Advection	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	Convergence Controls
Moving object / Fluid coupling	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
Shallow water	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	

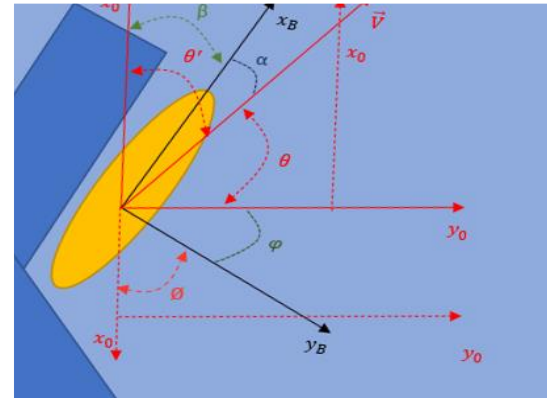
Figura 18: Configuración numérica.

METODOLOGÍA

Post-procesamiento

Flow sight

- Visualización
- Transformación vectorial: Cálculo de multiplicadores



- x_0 y y_0 eje de referencia del modelo
- x_B y y_B eje de referencia de la nave

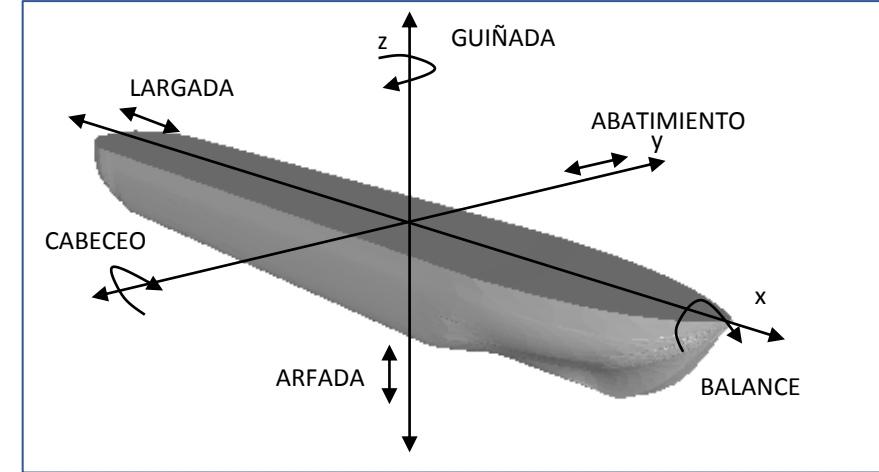


Figura 20: movimientos de un barco.

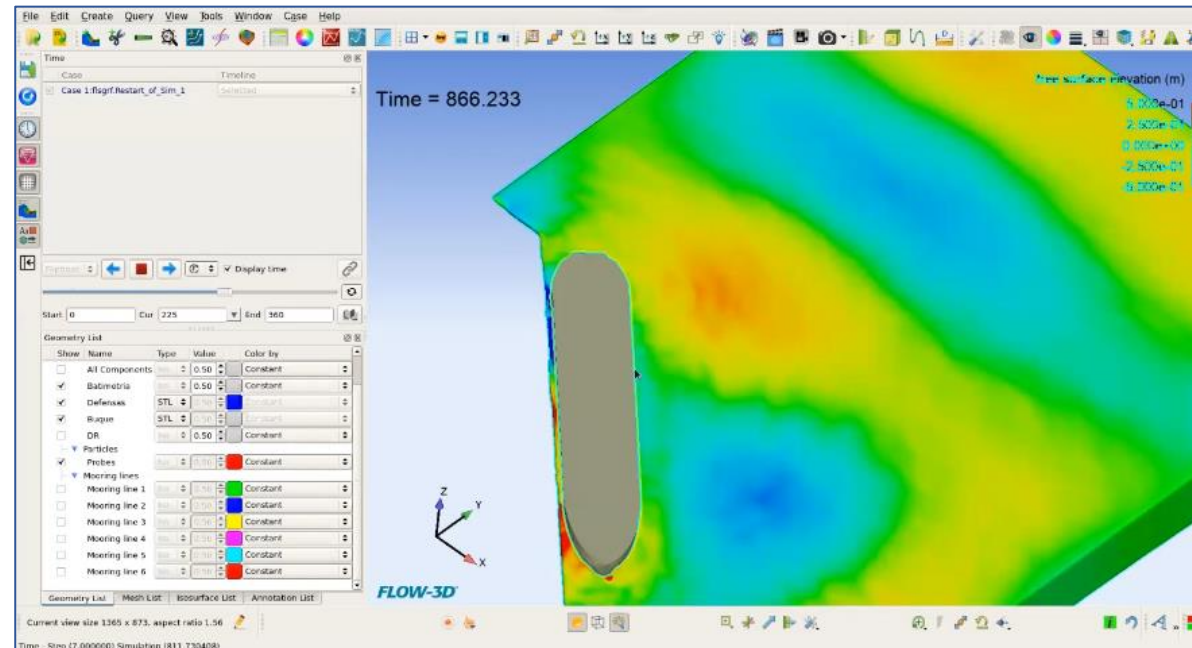


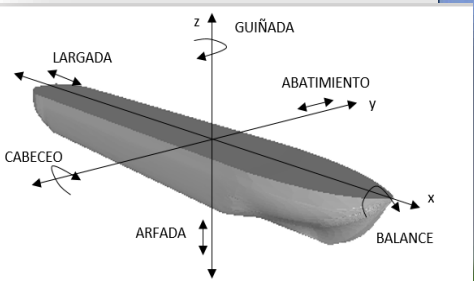
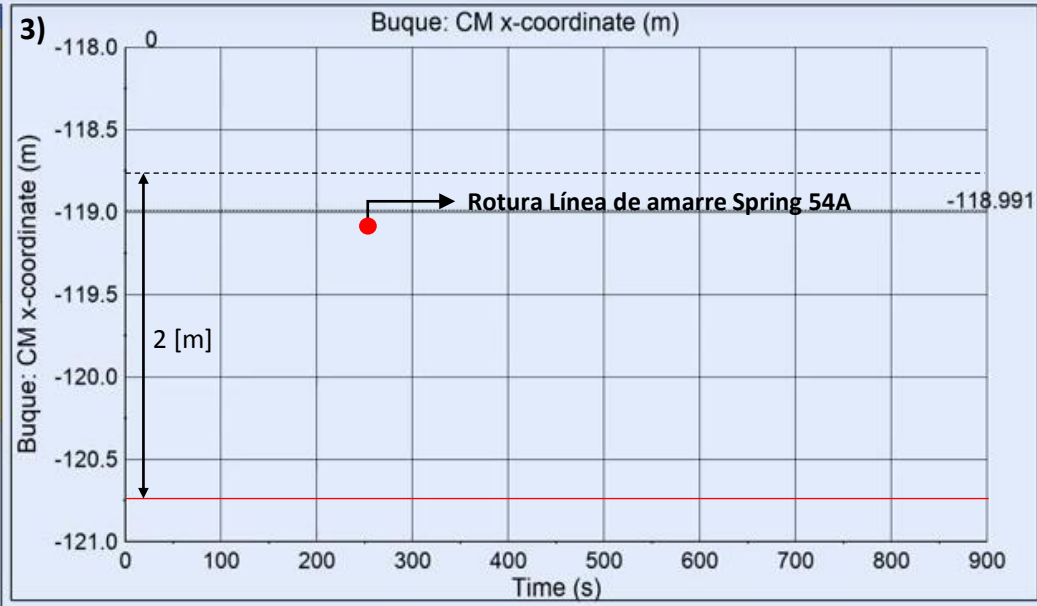
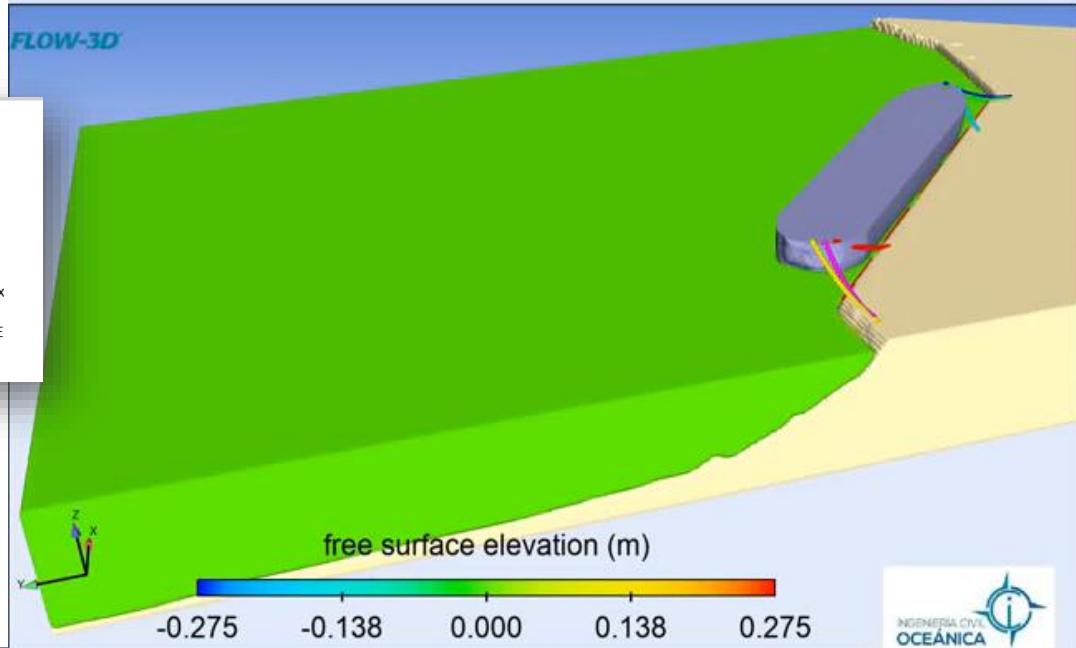
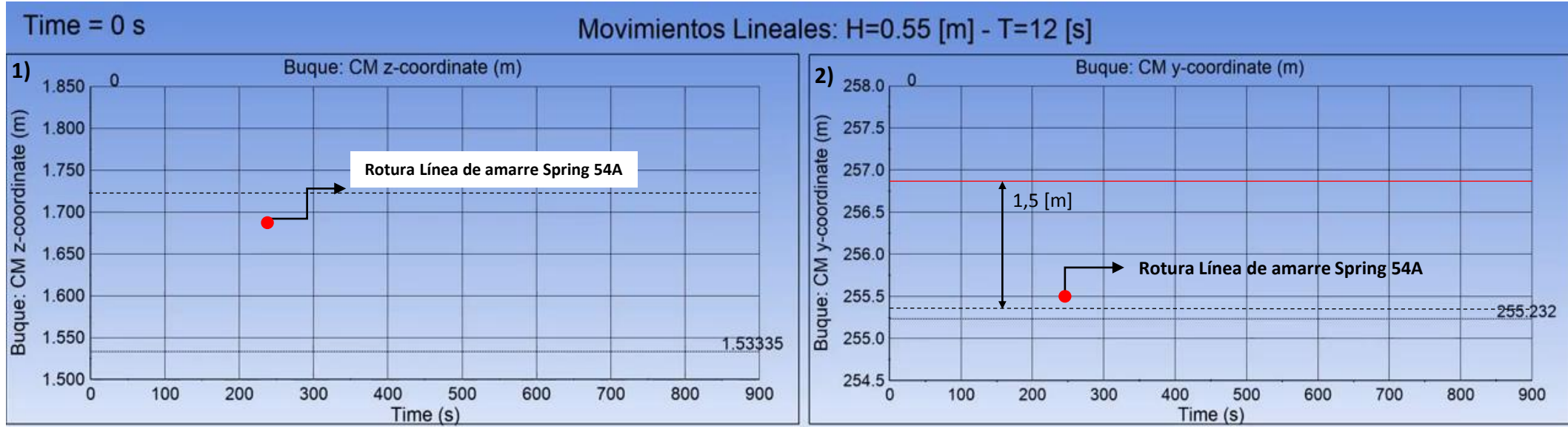
Figura 21: Flow Sight.

RESULTADOS

CASO 1

Tipo de buque	General Cargo
Largada	2 [m]
Abatimiento	1,5 [m]
arfada	1 [m]
Balance	5 [°]
Cabeceo	2 [°]
Guiñada	3 [°]

Criterio para el movimiento de barcos atracados (PIANC, 1995)

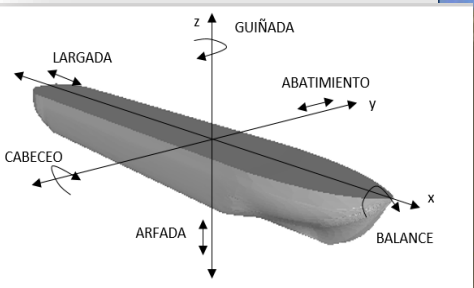
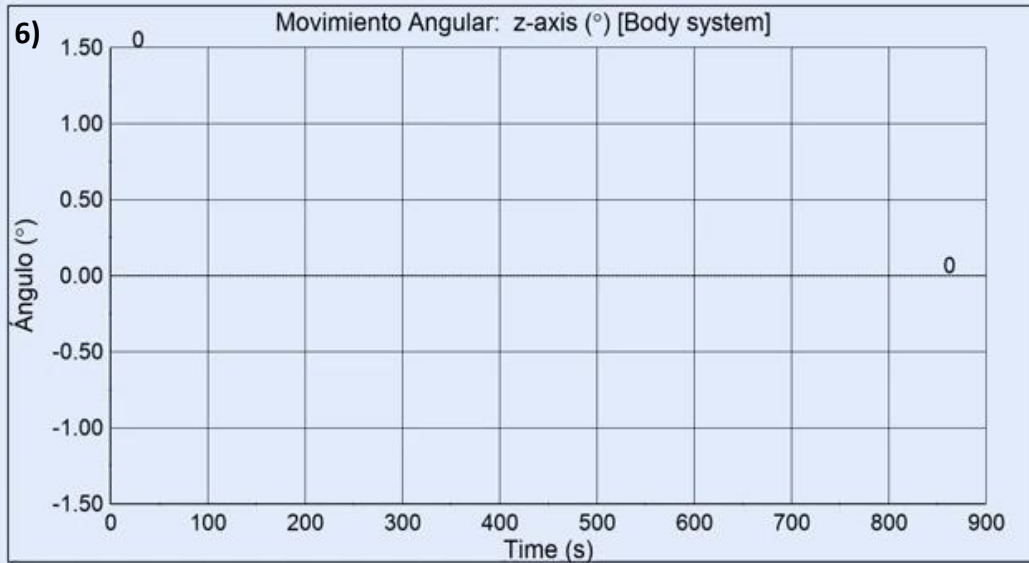
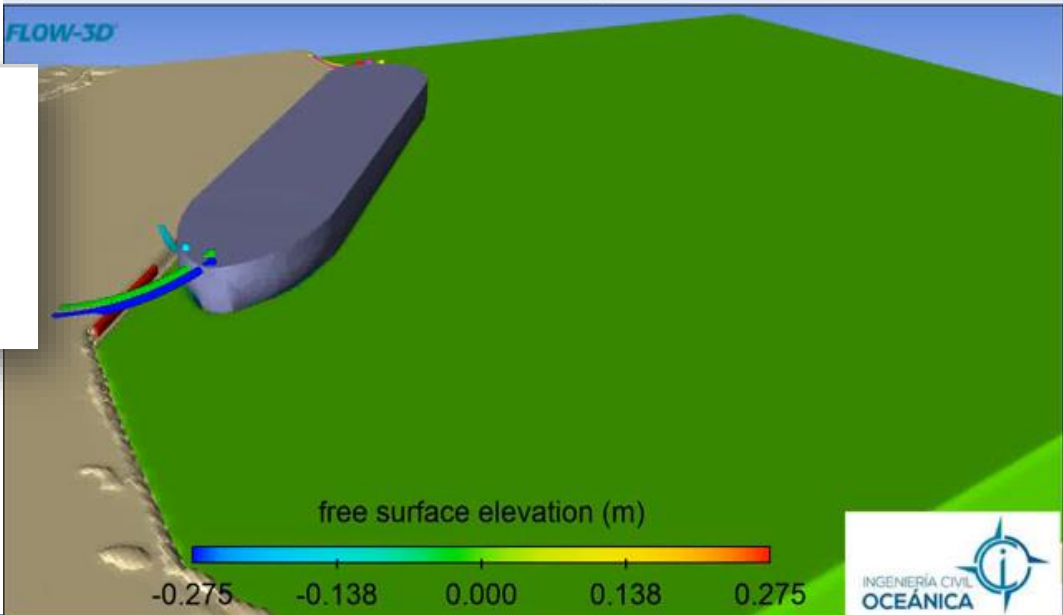
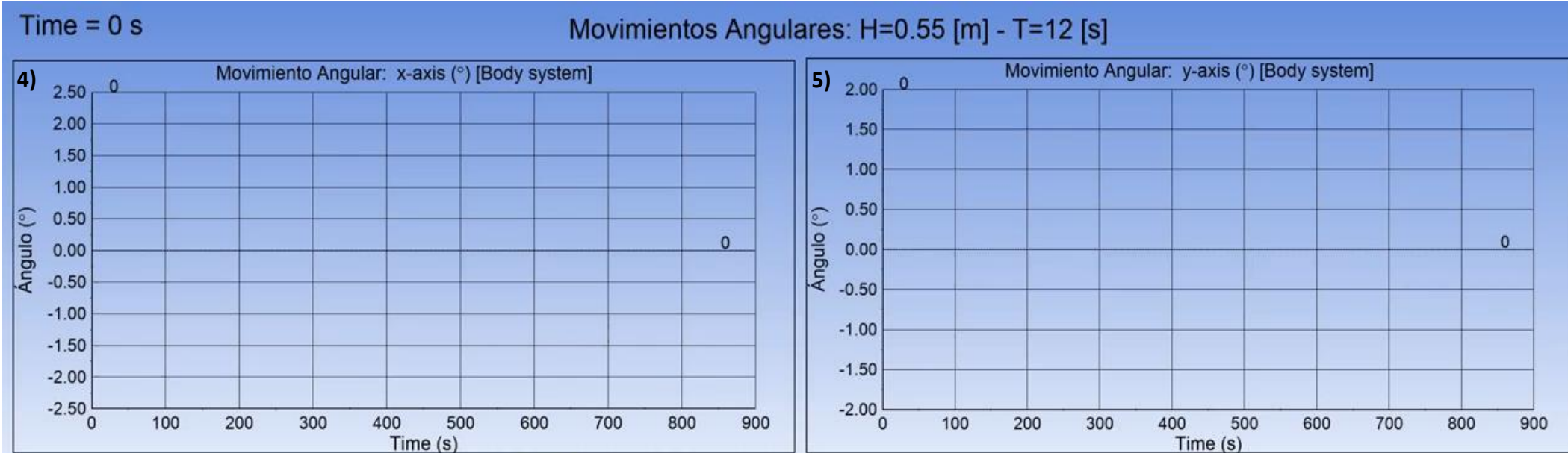


RESULTADOS

CASO 1

Tipo de buque	General Cargo
Largada	2 [m]
Abatimiento	1,5 [m]
arfada	1 [m]
Balance	5 [°]
Cabeceo	2 [°]
Guiñada	3 [°]

Criterio para el movimiento de barcos atracados (PIANC, 1995)

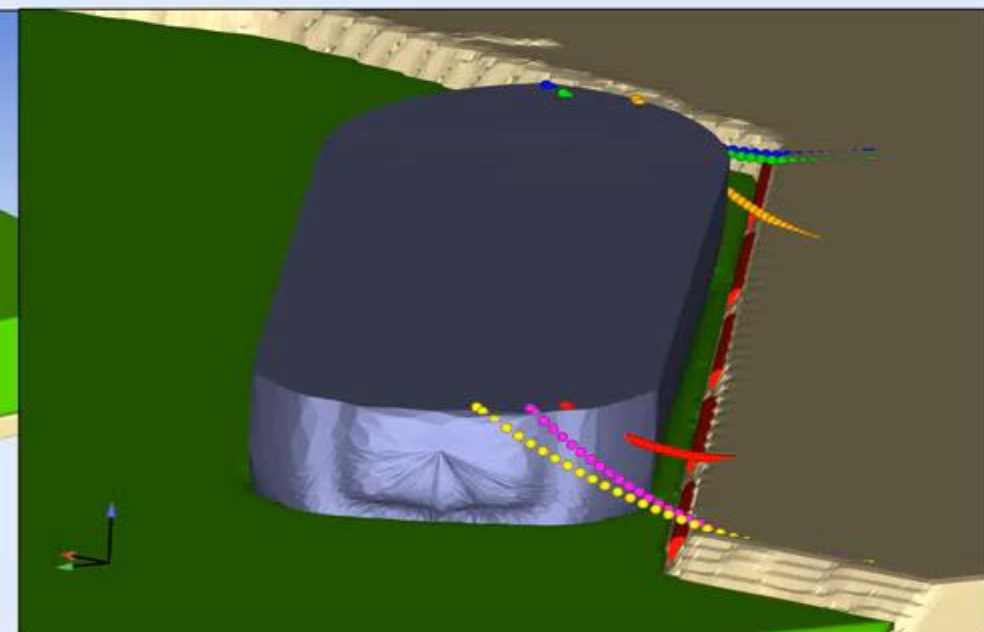
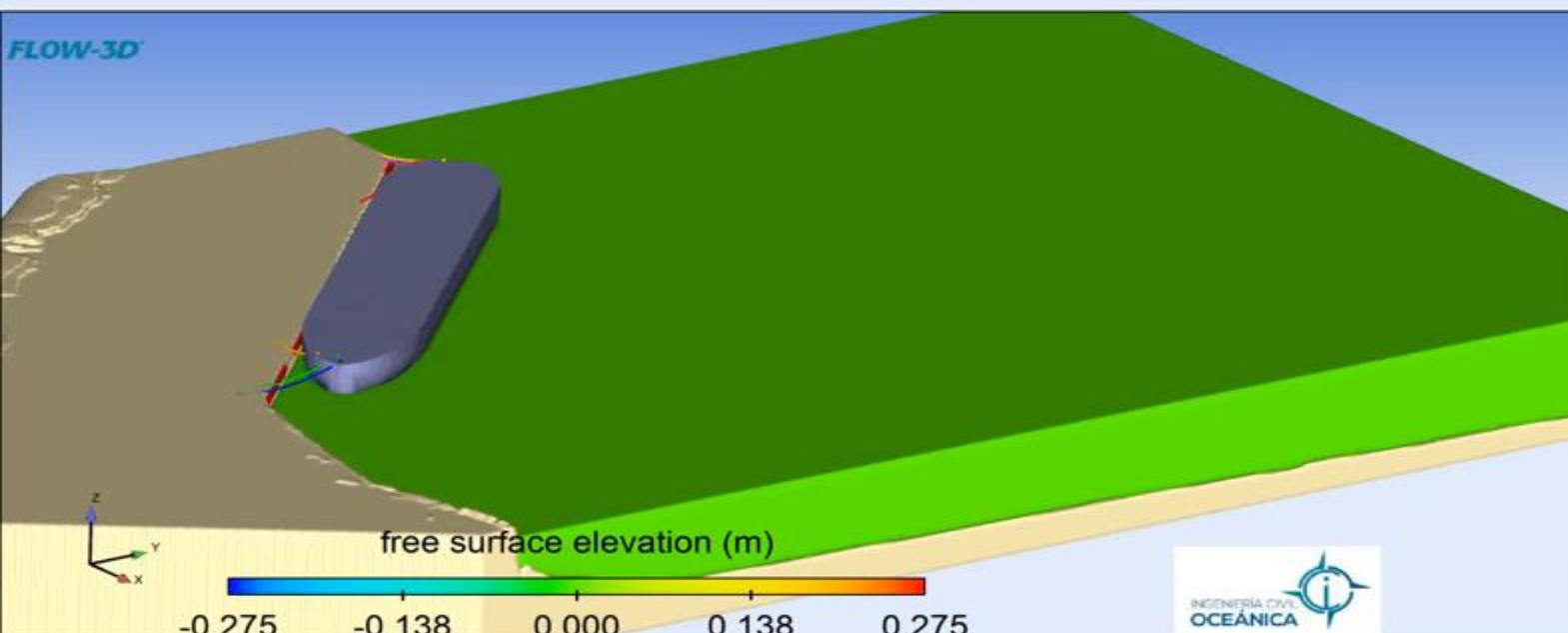


RESULTADOS

CASO 1

Time = 0 s

Esfuerzos de Tensión Máximos: Amarras

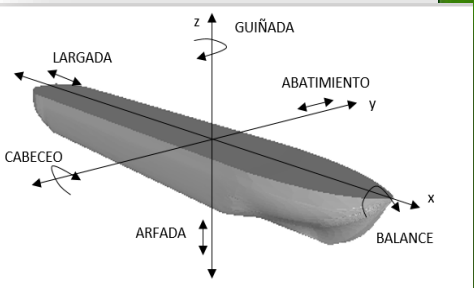
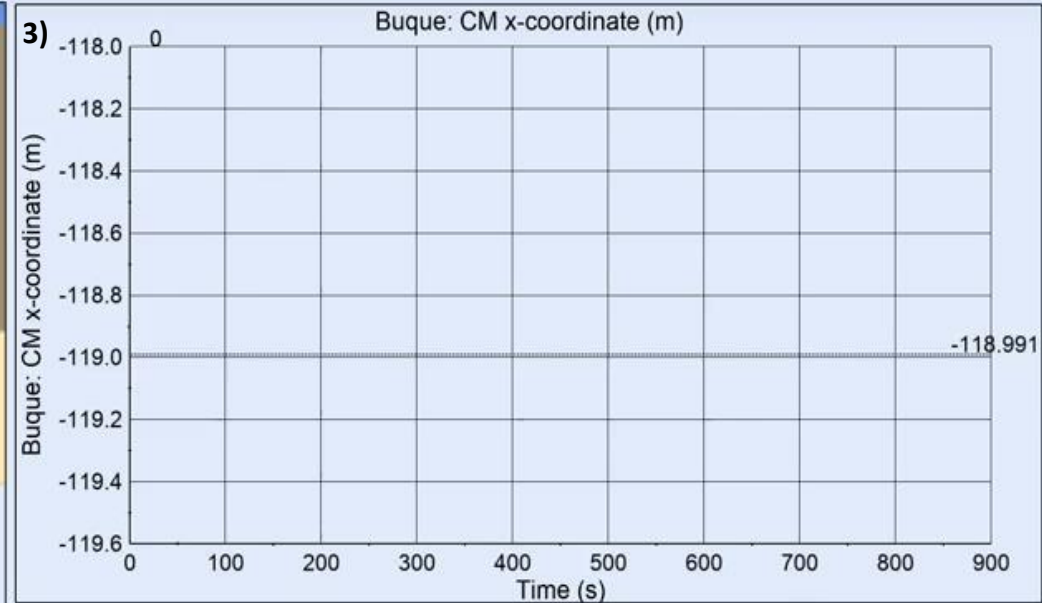
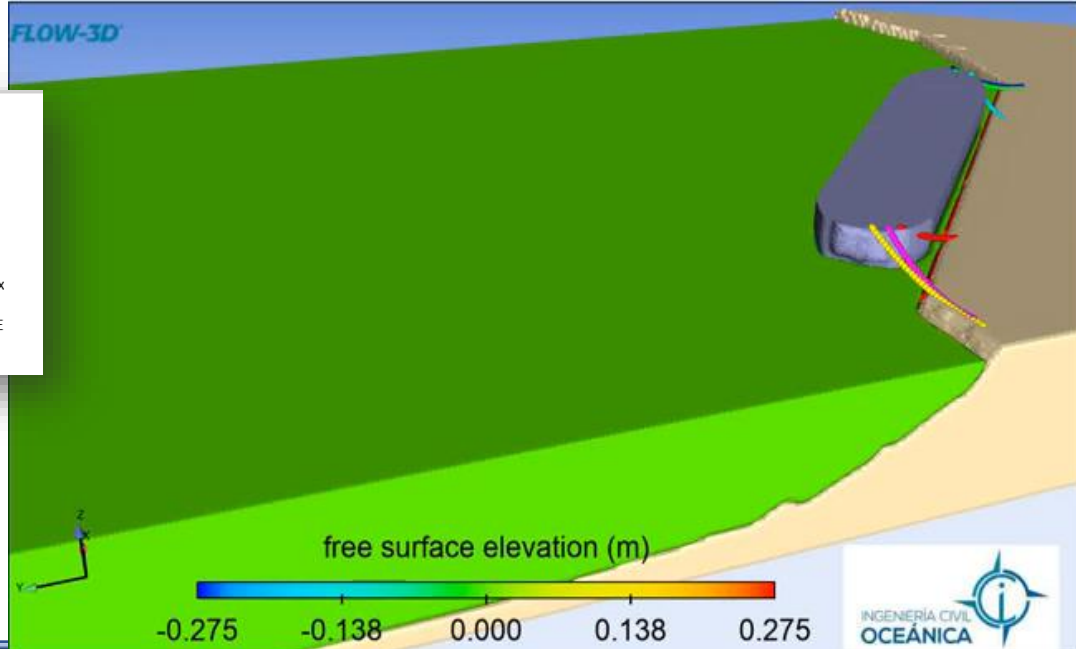
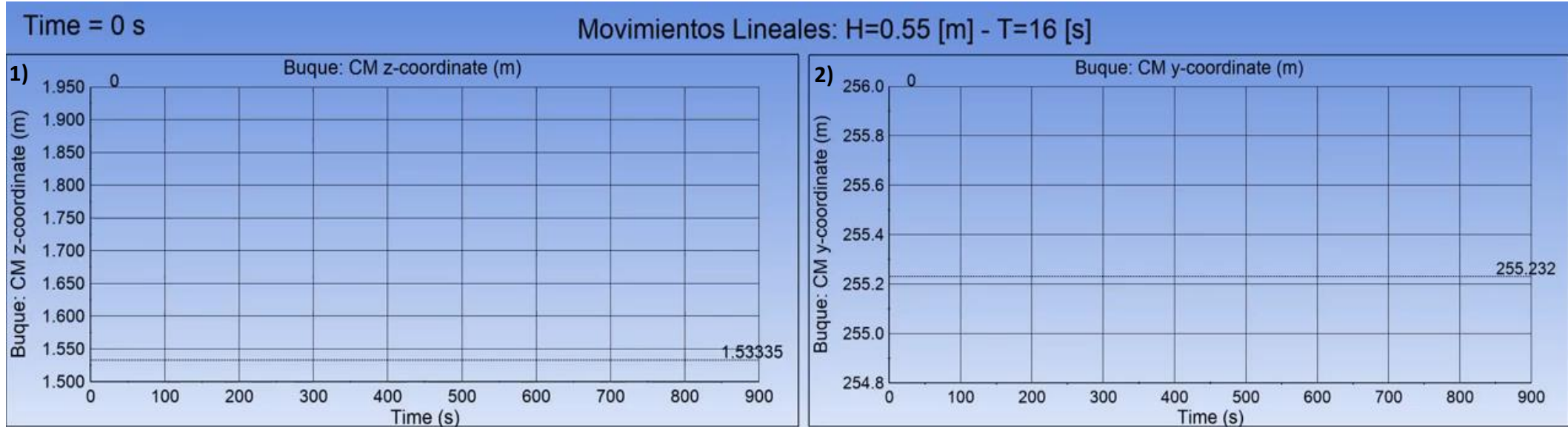


RESULTADOS

CASO 2

Tipo de buque	General Cargo
Largada	2 [m]
Abatimiento	1,5 [m]
arfada	1 [m]
Balance	5 [°]
Cabeceo	2 [°]
Guiñada	3 [°]

Criterio para el movimiento de barcos atracados (PIANC, 1995)

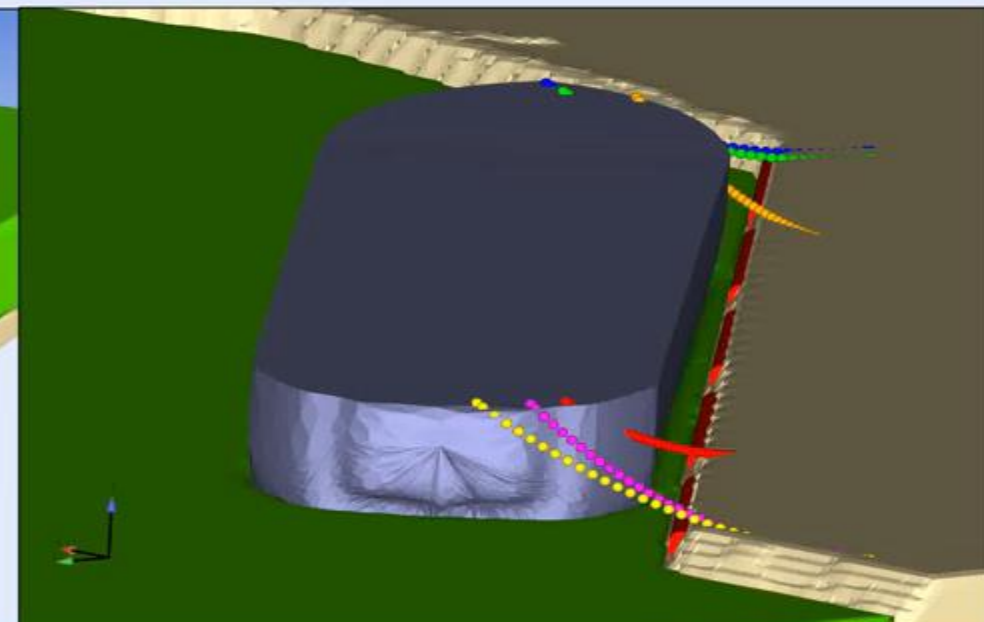
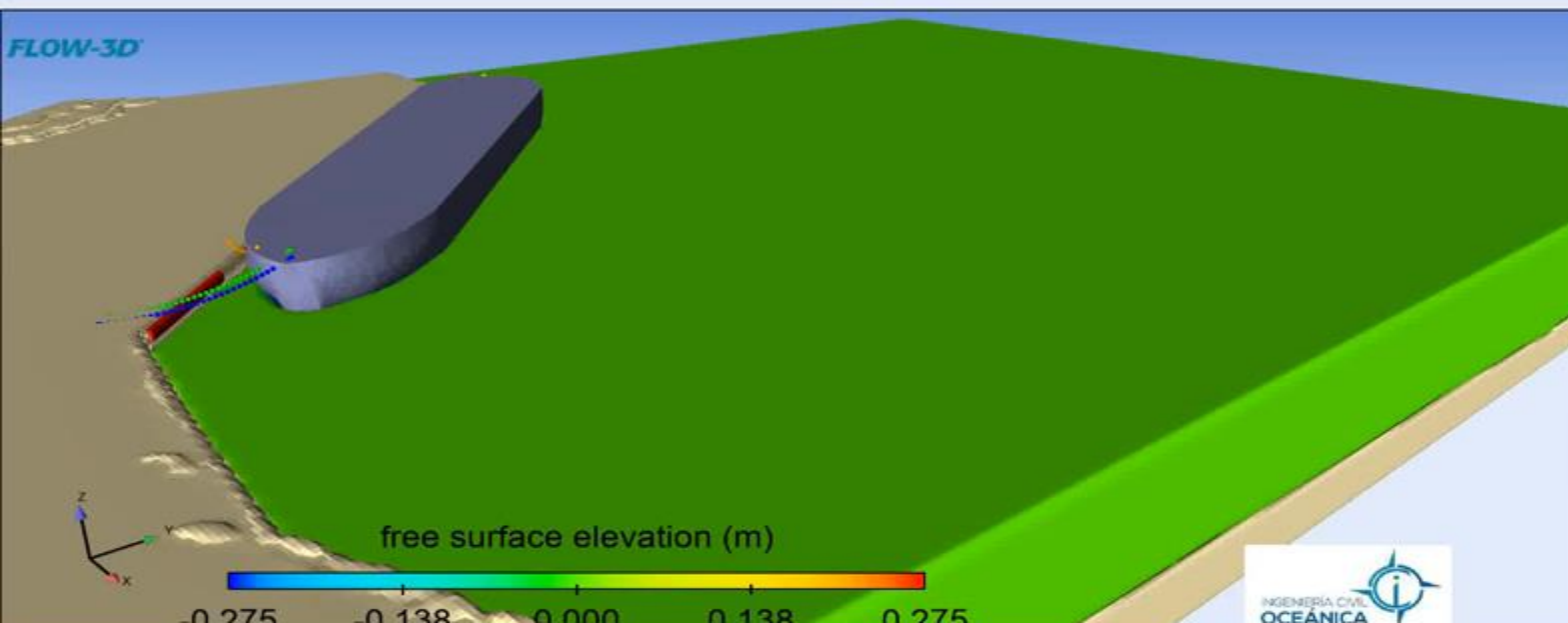
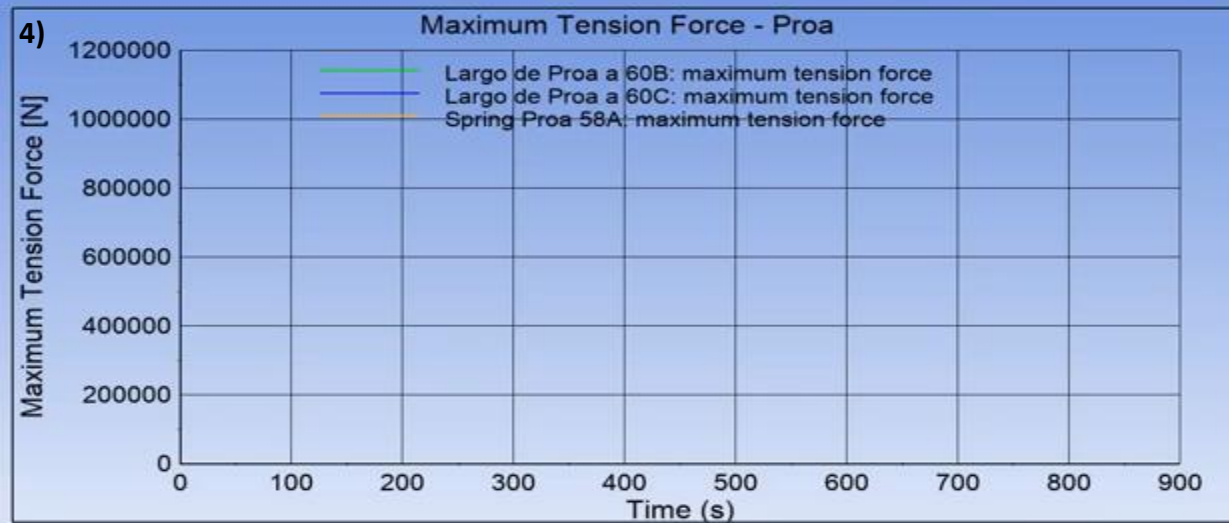


RESULTADOS

CASO 2

Time = 0 s

Esfuerzos de Tensión Máximos: Amarras - H=0.55 [m] - T=16 [s]

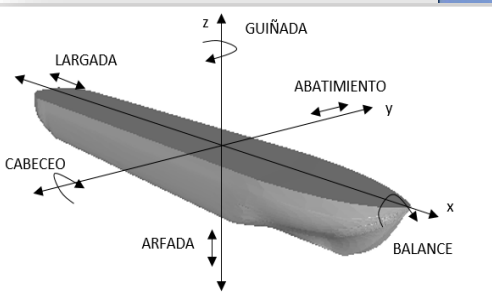
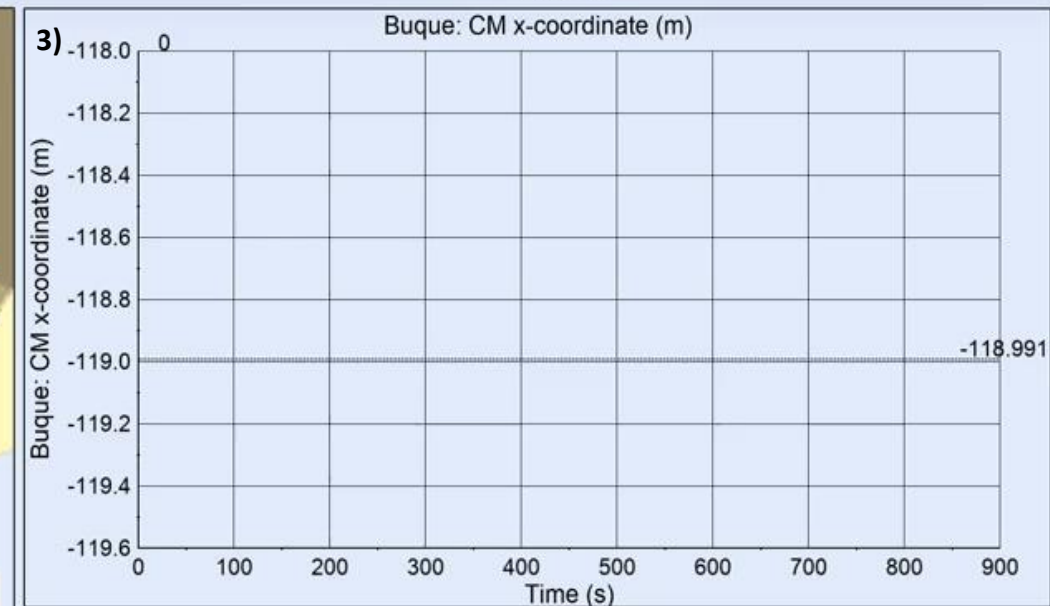
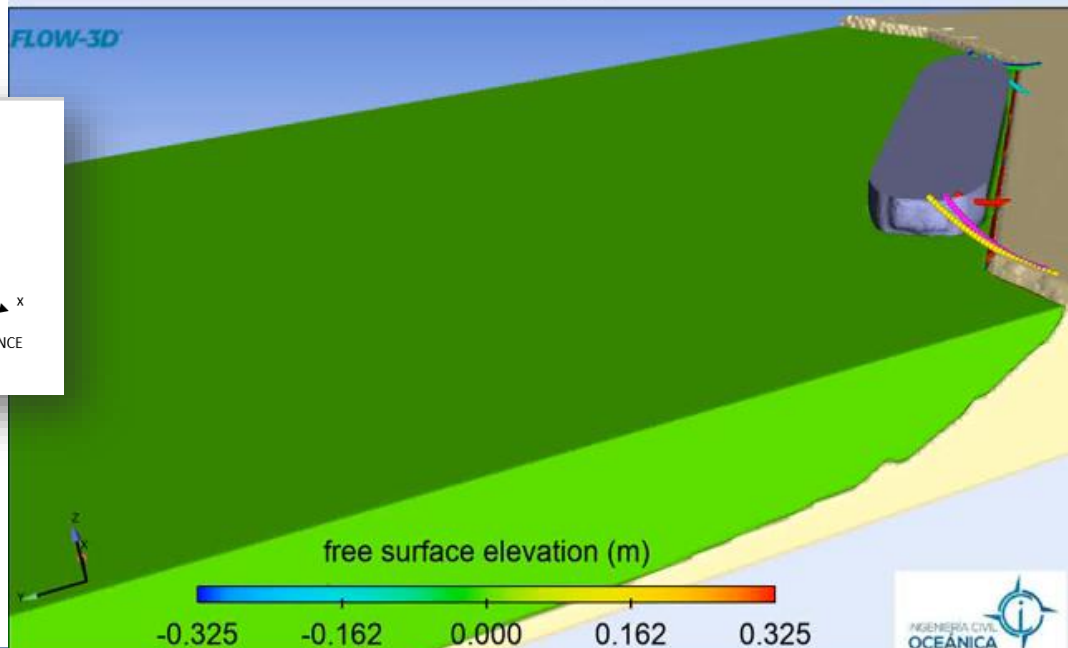
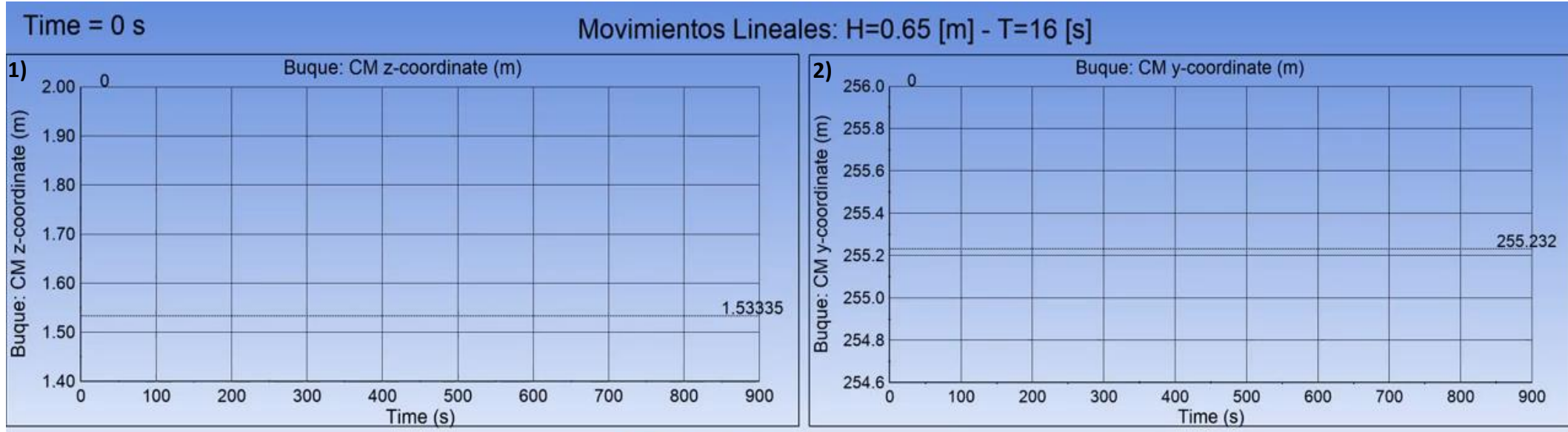


RESULTADOS

CASO 3

Tipo de buque	General Cargo
Largada	2 [m]
Abatimiento	1,5 [m]
arfada	1 [m]
Balance	5 [°]
Cabeceo	2 [°]
Guiñada	3 [°]

Criterio para el movimiento de barcos atracados (PIANC, 1995)

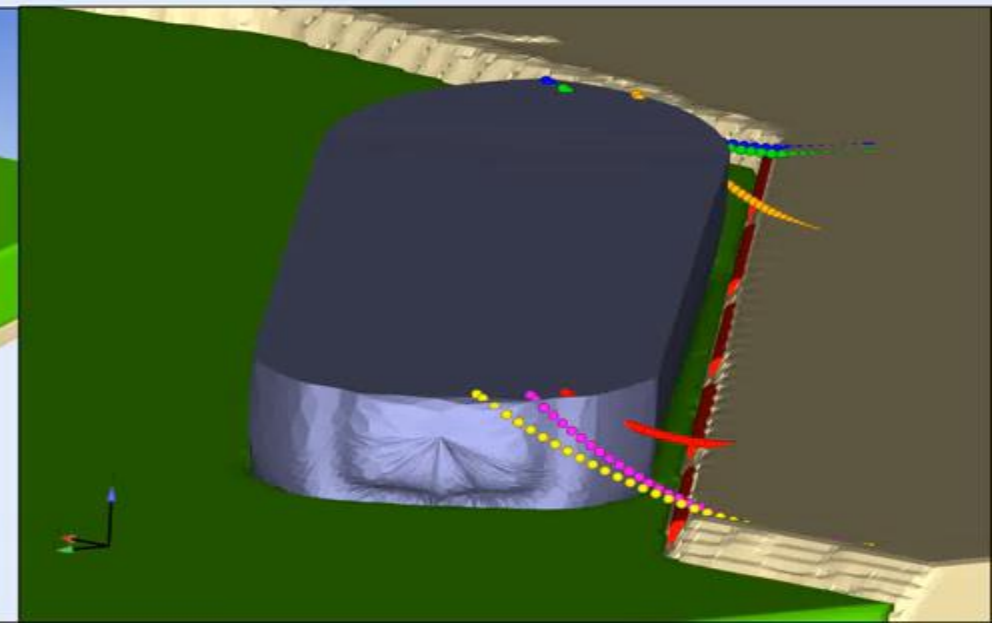
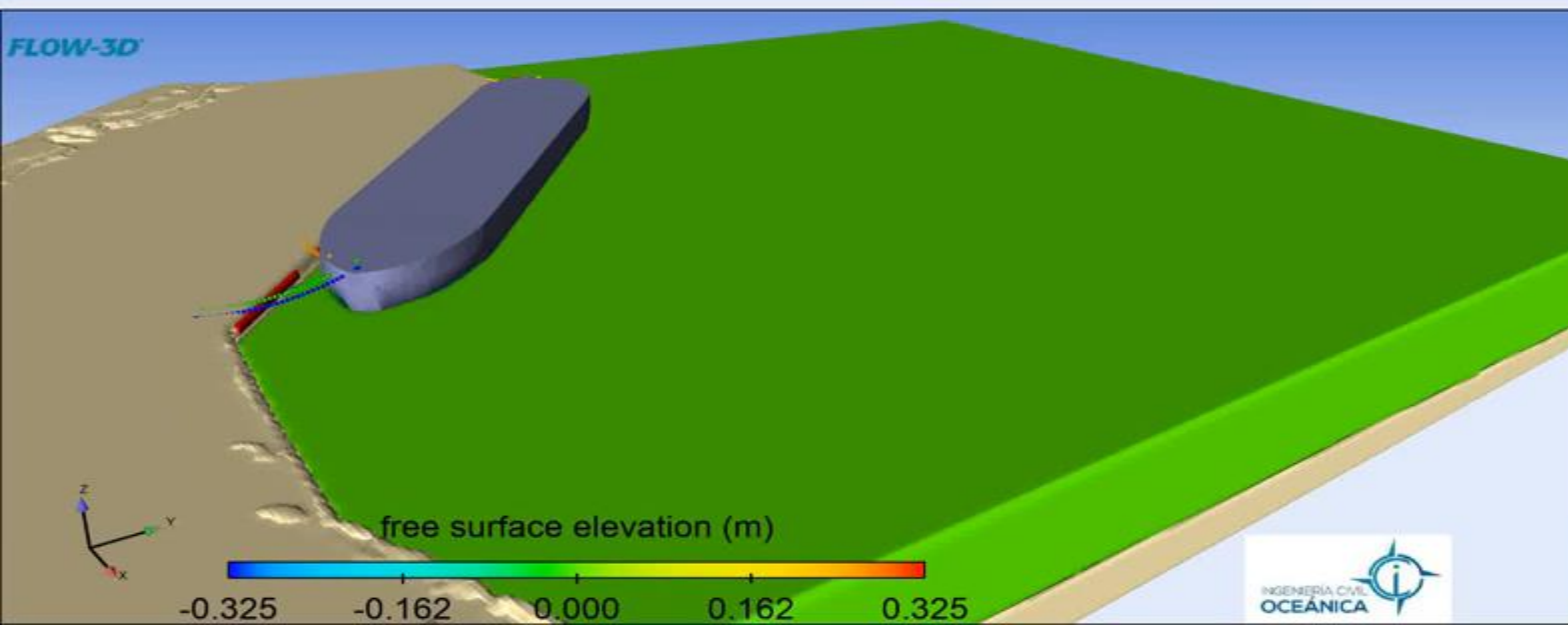


RESULTADOS

CASO 3

Time = 0 s

Esfuerzos de Tensión Máximos: Amarras - H=0.65 [m] - T=16 [s]

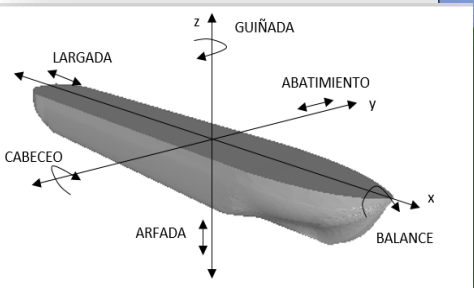
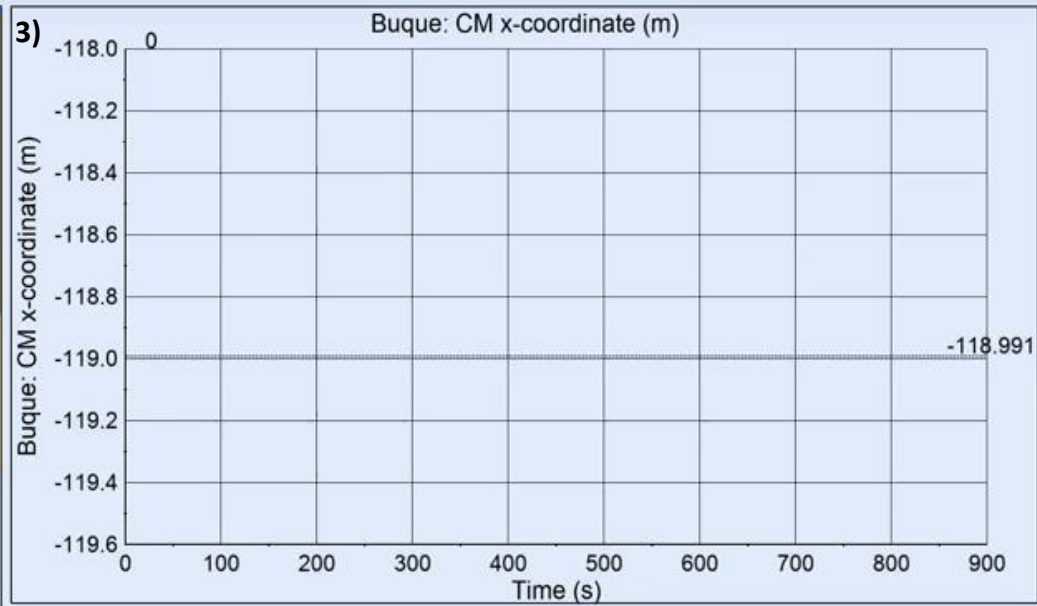
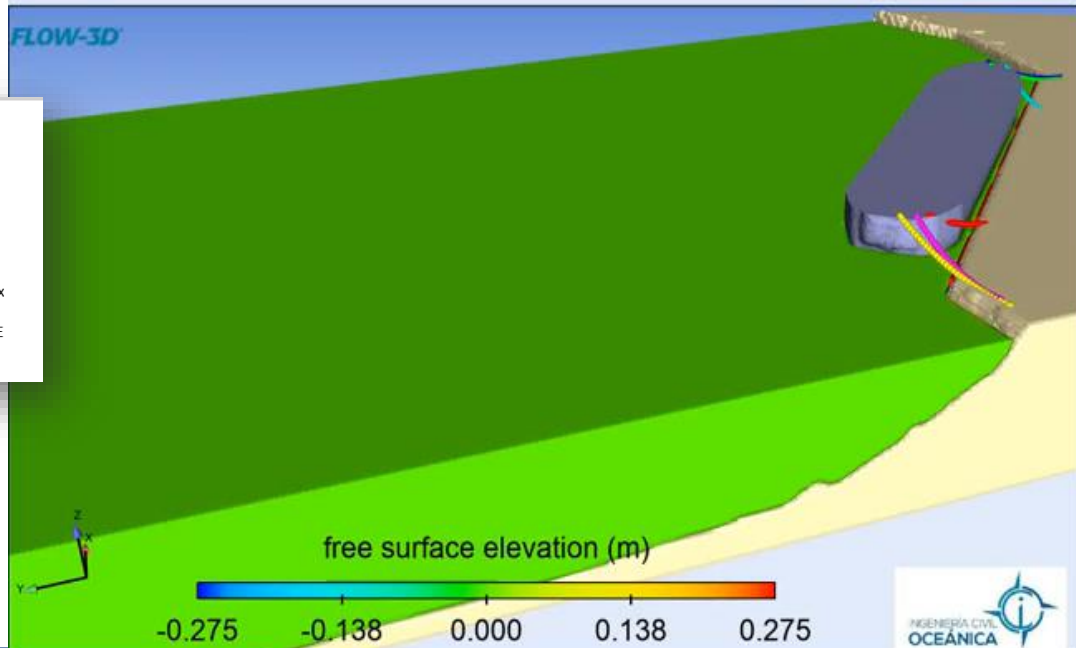
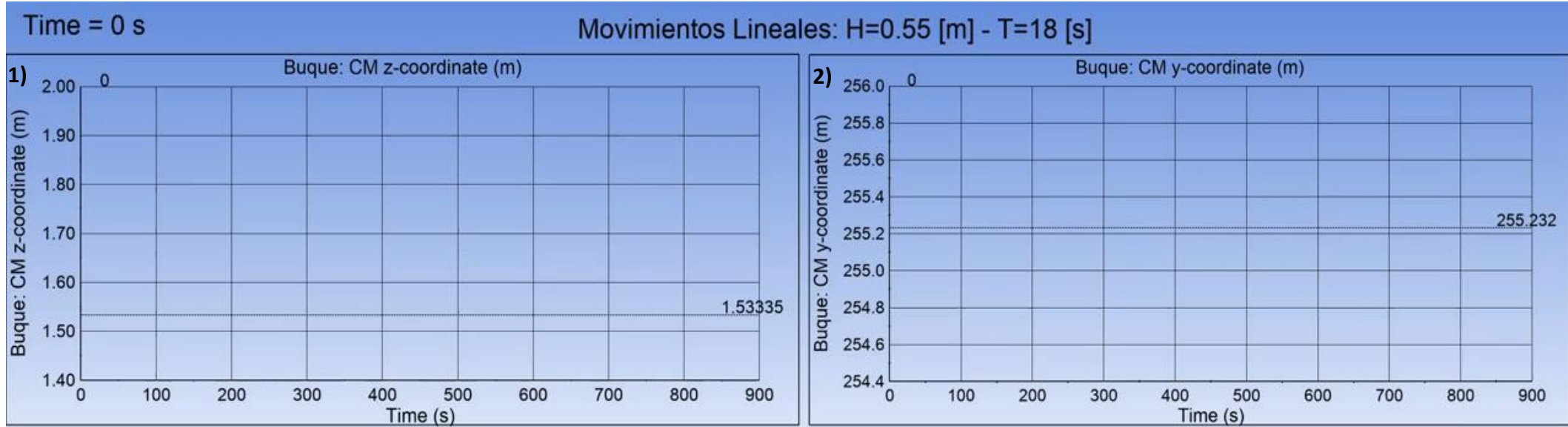


RESULTADOS

CASO 4

Tipo de buque	General Cargo
Largada	2 [m]
Abatimiento	1,5 [m]
arfada	1 [m]
Balance	5 [°]
Cabeceo	2 [°]
Guiñada	3 [°]

Criterio para el movimiento de barcos atracados (PIANC, 1995)

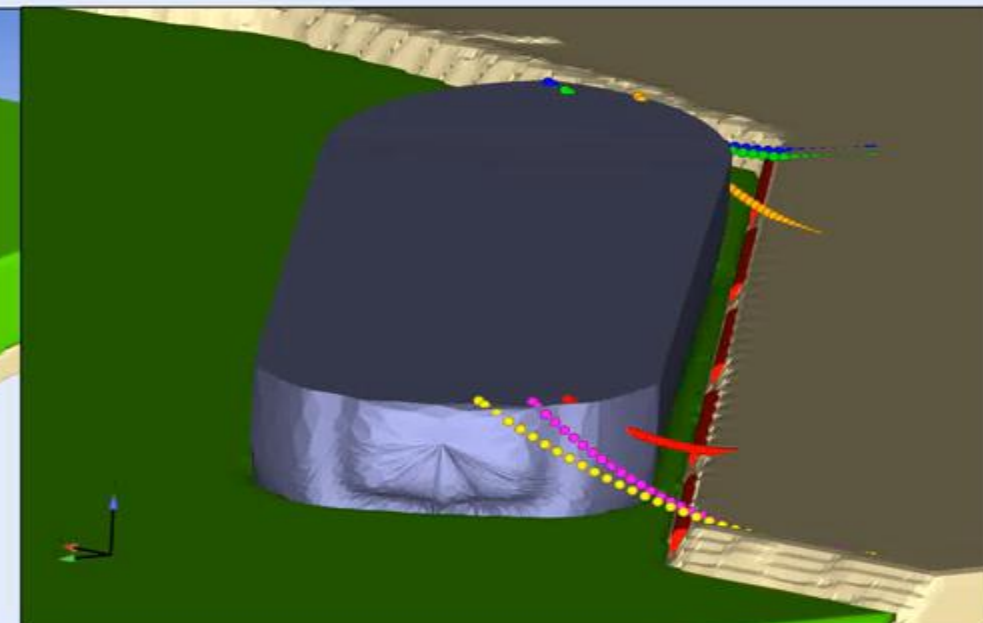
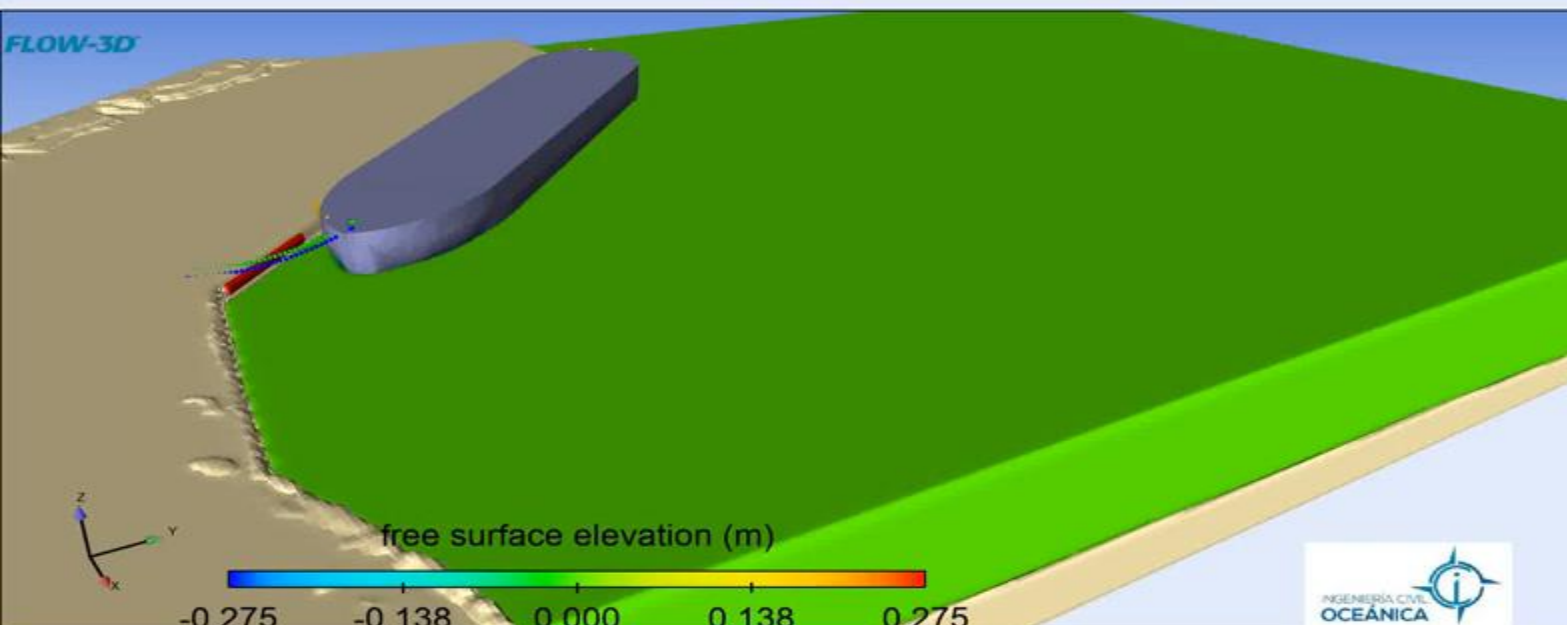
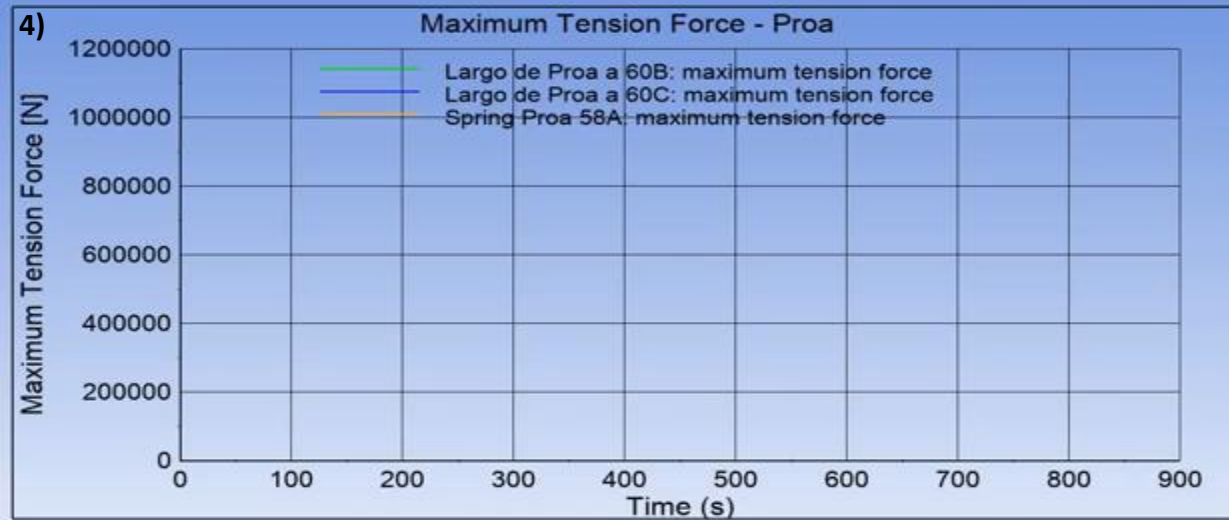


RESULTADOS

CASO 4

Time = 0 s

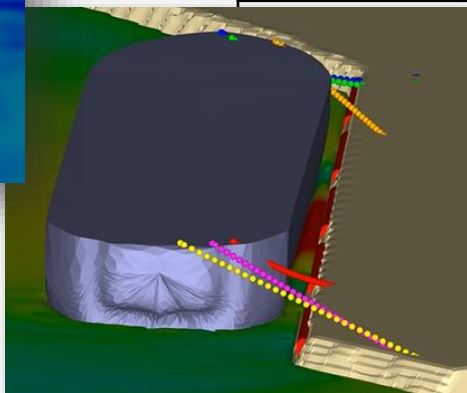
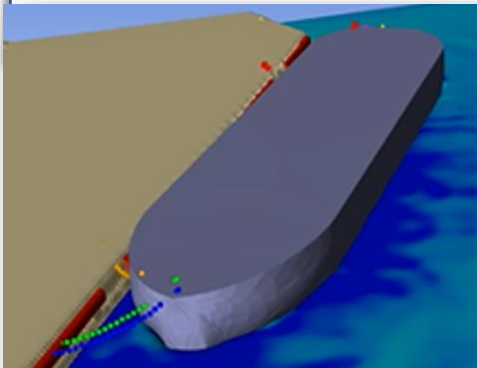
Esfuerzos de Tensión Máximos: Amarras - H=0.55 [m] - T=18 [s]



SÍNTESIS DE ANÁLISIS DE RESULTADOS

Sensibilidad al período peak

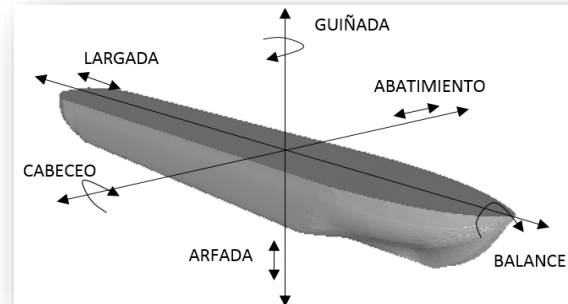
- La rotura de la amarra Spring popa 54A produjo que la nave sobrepasara el límite máximo admisible para el movimiento de abatimiento.
- El caso 1 presentó ser el caso más desfavorable dado que se llegaron a romper 3 amarras.



	Variables	Unidad	Caso 1	Caso 2	Caso 4	Caso 2	Caso 3
	Rotura		Si	No	No	No	No
Oleaje	H_s	[m]	0,55	0,55	0,55	0,55	0,65
	T_p	[s]	12	16	18	16	16
	P	[m ² s]	3,6	4,8	5,4	4,8	6,8
Desplazamientos	Arfada	[cm]	10	17,5	22,5	17,5	15,5
	Largada	[cm]	130	52,5	60,5	52,5	61
	Abatimiento	[cm]	300	54,5	58,5	54,5	55
Giros	Balance	[°]	1,55	0,79	0,85	0,79	1,14
	Cabeceo	[°]	1,3	0,72	0,65	0,72	0,8
	Guiñada	[°]	1,75	0,44	0,48	0,44	0,45
Tensiones	Spring popa 54A	[kN]	1200	750	1000	750	950
	Largo de popa 51I	[kN]	840	402	380	402	745
	Largo de popa 51H	[kN]	1090	460	450	460	750
	Spring proa 58 A	[kN]	700	500	720	500	640
	Largo de proa 60 C	[kN]	1200	680	590	680	705
	Largo de proa 60 B	[kN]	1200	660	610	660	697

Sensibilidad a la altura significativa

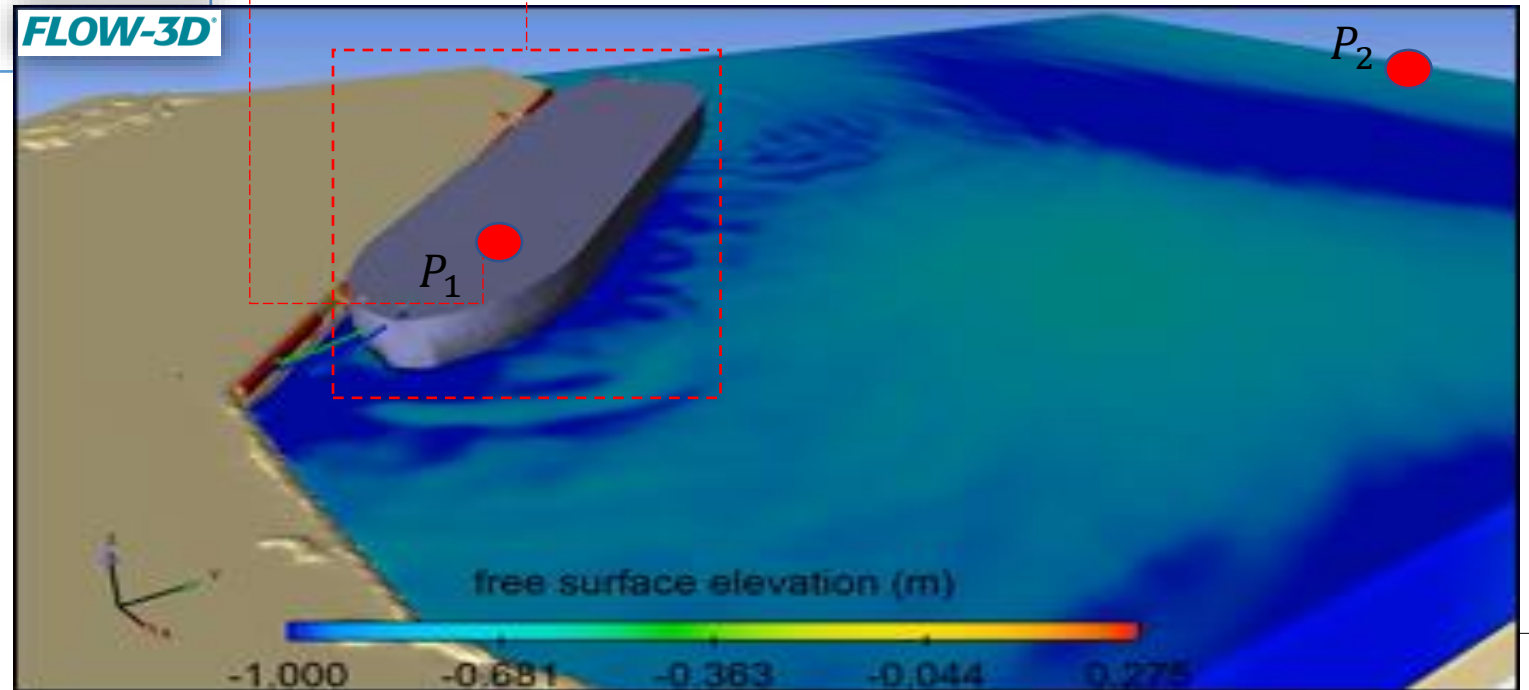
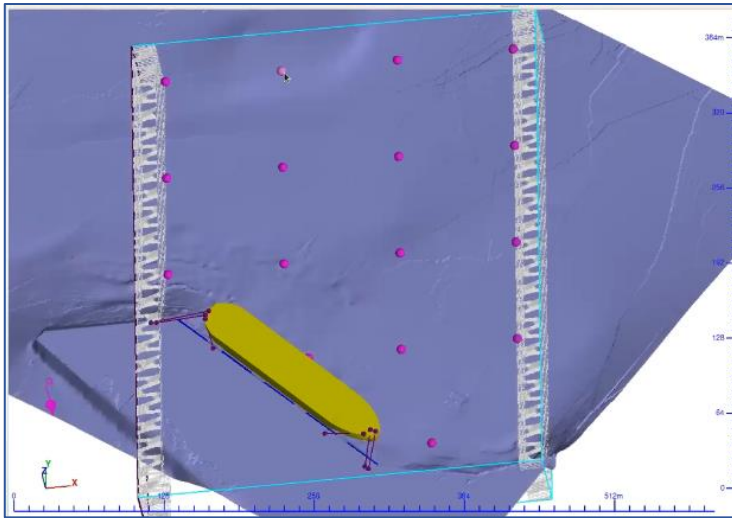
- Los movimientos en el caso 3 fueron mayores que el caso 2. el balance fue el giro que mostró ser más sensible al cambio que los otros movimientos.
- Las líneas de amarres más susceptibles al cambio fueron las amarras de popa.





ANÁLISIS DE SIMULACIÓN

- ➔ Estabilidad del modelo
- ➔ Barco con densidad homogénea
- ➔ Punto de las condiciones del oleaje
- ➔ Tiempo de procesamiento





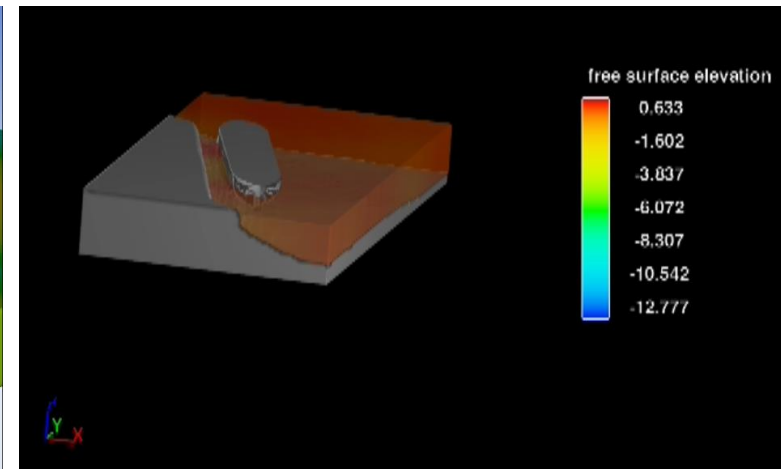
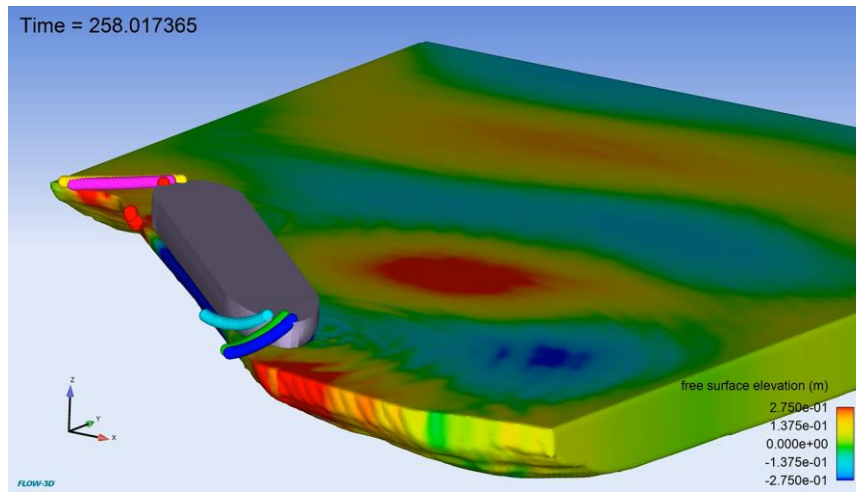
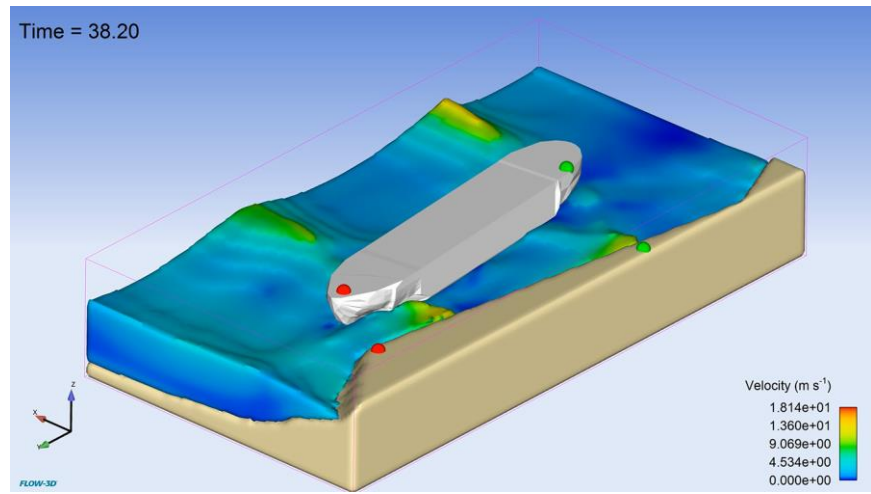
➔ En esta memoria se logró implementar el modelo numérico Flow-3D, para la obtención de magnitudes que definen: los movimientos de un buque y las tensiones de amarres.

A partir del análisis de resultados se concluye que:

- ➔ Las tensiones de las líneas de amarres presentaron ser más susceptibles que los movimientos.
- ➔ Las tensiones aumentaron de forma importante al disminuir el período peak y al aumentar la altura significativa.
- ➔ El giro de la nave que presentó mayor sensibilidad al aumentar la altura significativa fue el movimiento de balance.
- ➔ El sistema de amarre falló en el caso 1 ($T1=12$ [s] y $H1=0,55$), por lo que se recomienda que la nave no opere bajo estas condiciones de oleaje. Con un punto de vista asociado al movimiento de la nave, esta no podría operar entre los rangos de tiempo [249, 600] y [750, ∞].

Con lo que respecta a la experiencia en el software, se concluye que:

- ➔ El modelo es una herramienta amigable para el usuario, apto para el desarrollo de proyectos de nivel de pregrado.
- ➔ Los factores decisivos: contar con la información en detalle y el tiempo.



FLOW-3D

