



Memoria del proyecto para optar al Título de
Ingeniero Civil Oceánico

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

DÁMARIS TAMARA BERMÚDEZ SALAZAR

Agosto 2021

**UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL OCÉANICA
VALPARAÍSO**

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

DAMARIS TAMARA BERMÚDEZ SALAZAR

COMISIÓN REVISORA

Nota

Firma

PROFESOR GUÍA
SR. PATRICIO WINCKLER G.

PROFESOR INTEGRANTE

PROFESOR INTEGRANTE

DECLARACIÓN

Este trabajo, o algunas de sus partes, no ha sido presentado anteriormente en la universidad de Valparaíso, institución universitaria chilena o extranjera u organismo de carácter estatal, para evaluación, comercialización u otros propósitos. Salvo las referencias citadas en el texto, confirmo que el contenido intelectual de este Proyecto de Título es resultado de mis esfuerzos personales.

La universidad de Valparaíso reconoce expresamente la propiedad intelectual del autor sobre esta Memoria de Titulación. Sin embargo, en caso de ser sometida a evaluación para propósitos de obtención del Título Profesional de Ingeniero Civil Oceánico, el autor renuncia a sus derechos legales sobre la misma y los cede a la Universidad de Valparaíso, la que estará facultada para utilizarla con fines exclusivamente académicos.

Patricio Winckler Grez
Profesor Guía

Dámaris Tamara Bermúdez Salazar
Estudiante Memorista

AGRADECIMIENTOS

En esta sección quiero agradecer:

A Harold Álvarez, General Manager, Flow Science latino América, quien me dio la oportunidad de trabajar con el modelo numérico Flow-3D. Su continua ayuda y seguimiento del proyecto me permitió a la experiencia deseada, obteniendo resultados con la visualización que esperaba.

A mi novio Robin Clair quien me acompañó en todo momento. Su apoyo y consejo me permitió crecer y así continuar con más fuerza.

A mis padres y hermanos.

A mis amigas Valentina Zúñiga, Daphne Vargas y Francisca Quijada por su amistad incondicional.

También agradecer a mi familia que he ido haciendo en el camino (México y Francia): Jaqueline Padilla, Samuel Ponce, Sergio Díaz, Wendolyn Vázquez, Cindy Escobar, Adriely Alcántara Belee Fang, Maëva Ruiz-Gully y a Estefanía Henríquez. Por el tiempo que me dieron para aprender y ser mejor cada día.

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	9
2	OBJETIVOS.....	10
2.1	OBJETIVO GENERAL.....	10
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	10
3	MARCO TEÓRICO	11
3.1	MODELO NUMÉRICO FLOW-3D.....	11
3.1.1	<i>MODELO HIDRODINÁMICO</i>	<i>11</i>
3.1.1.1	ECUACIÓN DE CONTINUIDAD DE MASA	11
3.1.1.2	ECUACIONES DE MOMENTO	12
3.1.1.3	INTERFACES DE FLUIDOS Y SUPERFICIES	13
3.1.2	<i>MODELO DEL BUQUE.....</i>	<i>14</i>
3.1.2.1	DESCRIPCIÓN.....	14
3.1.2.2	MODELO GENERAL DE OBJETO EN MOVIMIENTO	15
3.1.3	<i>MÉTODO DE MALLA FIJA PARA OBJETOS MÓVILES</i>	<i>15</i>
3.1.4	<i>MODELO DE LÍNEAS DE AMARRE</i>	<i>19</i>
4	METODOLOGÍA DE ESTUDIO.....	22
4.1	ZONA DE ESTUDIO	22
4.2	BATIMETRÍA EN EL SITIO DE ESTUDIO	24
4.3	DATOS DE OLEAJE.....	25
4.4	CARACTERÍSTICAS DEL BUQUE FIERRERO	27
4.5	SISTEMA DE AMARRE	28
4.6	SISTEMA DE DEFENSAS.....	30
4.7	SIMULACIÓN NUMÉRICA.....	31
4.7.1	<i>PROCESOS FÍSICOS</i>	<i>32</i>
4.7.2	<i>PROPIEDADES DEL FLUIDO</i>	<i>33</i>
4.7.3	<i>GEOMETRÍA</i>	<i>34</i>
4.7.4	<i>MALLA COMPUTACIONAL.....</i>	<i>35</i>
4.7.5	<i>CONDICIONES INICIALES Y DE FRONTERA.....</i>	<i>36</i>
4.8	CASOS A ANALIZAR	44
5	RESULTADOS	45
5.1	MOVIMIENTOS DE LA NAVE	45
5.1.1	<i>CASO 1</i>	<i>45</i>
5.1.2	<i>CASO 2</i>	<i>47</i>
5.1.3	<i>CASO 3</i>	<i>48</i>
5.1.4	<i>CASO 4</i>	<i>50</i>
5.2	COMPARACIÓN CON LOS MÁXIMOS ADMISIBLES, PIANC.	53
5.2.1	<i>CASO 1</i>	<i>53</i>
5.3	TENSIÓN DE AMARRAS.....	56
5.3.1	<i>CASO 1</i>	<i>56</i>
5.3.2	<i>CASO 2</i>	<i>58</i>
5.3.3	<i>CASO 3</i>	<i>58</i>
5.3.4	<i>CASO 4</i>	<i>59</i>
5.4	SÍNTESIS DE ANÁLISIS	61
5.4.1	<i>SENSIBILIDAD AL PERIODO PEAK</i>	<i>62</i>
5.4.2	<i>SENSIBILIDAD A LA ALTURA SIGNIFICATIVA.....</i>	<i>63</i>

6	CONCLUSIÓN	64
7	DISCUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	65
8	ANEXOS	66
8.1	SIMULACIONES PREVIAS	66
9	REFERENCIAS	69

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 3-1 Grados de libertad de un buque</i>	14
<i>Tabla 4-1. Clima de oleaje en el Sitio 8.</i>	26
<i>Tabla 4-2: Combinaciones de períodos peak y alturas significativas</i>	26
<i>Tabla 4-3: Características principales del buque Japin Arrow.</i>	27
<i>Tabla 4-4: Datos para la interpolación.</i>	28
<i>Tabla 4-5: Casos de estudio.</i>	44
<i>Tabla 5-1: Resultados de los movimientos máximos.</i>	52
<i>Tabla 5-2: Criterio para el movimiento de barcos atracados, (PIANC, 1995).</i>	53
<i>Tabla 5-3: Resultados de las tensiones máximas.</i>	61
<i>Tabla 5-4 Casos simulados.</i>	61
<i>Tabla 5-5 Sensibilidad al período peak.</i>	62
<i>Tabla 5-6 Sensibilidad a la altura significativa.</i>	63

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1-1 Puerto de Valparaíso, V Región de Valparaíso, Chile.</i>	9
<i>Figura 3-1 Movimientos lineales y angulares.</i>	14
<i>Figura 3-2 Sistema de referencia.</i>	16
<i>Figura 3-3: Segmentos discretos de una línea de amarre y representación de partículas de masa de los segmentos.</i>	20
<i>Figura 3-4: Fuerzas aplicadas sobre un segmento de línea de amarre.</i>	20
<i>Figura 4-1: Ubicación geográfica del Puerto de Valparaíso.</i>	22
<i>Figura 4-2: Ubicación geográfica del espigón, sitio 8.</i>	23
<i>Figura 4-3: Verticalidad del muro.</i>	23
<i>Figura 4-4: Batimetría sitio de estudio.</i>	24
<i>Figura 4-5: Proyección de la batimetría del sitio 8, Surfer 15.</i>	24
<i>Figura 4-6: Batimetrías superpuestas.</i>	25
<i>Figura 4-7: Buque en Sólido.</i>	27
<i>Figura 4-8: Sistema de amarre en el sitio 8.</i>	28
<i>Figura 4-9: Dimensiones del sólido de defensa.</i>	30
<i>Figura 4-10: Ubicación de las defensas en el software Flow-3D.</i>	30
<i>Figura 4-11: Interface and simulation manager.</i>	31
<i>Figura 4-12: Model Setup Tab.</i>	32
<i>Figura 4-13: Activación de los procesos físicos.</i>	32
<i>Figura 4-14: Configuración del fluido.</i>	33
<i>Figura 4-15: Configuración de objetos.</i>	34
<i>Figura 4-16: Configuración de malla de cálculo.</i>	35
<i>Figura 4-17: Malla computacional.</i>	36

Figura 4-18: Configuración para las condiciones de contorno.	36
Figura 4-19: Configuración de frontera en eje x.	37
Figura 4-20: Capas de esponjas en el eje x.	37
Figura 4-21: Configuración de frontera en eje Y máximo.	38
Figura 4-22: Onda de Stokes.	38
Figura 4-23: Rangos de aplicación de las distintas teorías del oleaje.	39
Figura 4-24: Condiciones de frontera en eje Z Max.	40
Figura 4-25: Condición Inicial, Flow 3D.	41
Figura 4-26: Plano de la elevación del fluido.	41
Figura 4-27: Configuración de datos de salida.	42
Figura 4-28: Configuración Numérica, Flow-3D.	43
Figura 5-1: Gráficos de movimientos lineales del caso 1.	45
Figura 5-2: Gráficos de movimientos angulares del caso 1.	46
Figura 5-3: Gráficos de movimientos lineales del caso 2.	47
Figura 5-4: Gráficos de los movimientos angulares del caso 2.	48
Figura 5-5: Gráficos de movimientos lineales del caso 3.	49
Figura 5-6: Gráficos de movimientos angulares del caso 3.	50
Figura 5-7: Gráficos de movimientos lineales del caso 4.	51
Figura 5-8: Gráficos de los movimientos angulares del caso 4.	52
Figura 5-9: Gráfico del movimiento de largada (eje x) - Surge.	53
Figura 5-10: Gráfico del abatimiento (eje y) - Sway.	54
Figura 5-11: Gráfico de arfada (eje z) - Heave.	54
Figura 5-12: Gráfico de balance (alrededor del eje x) - Roll.	55
Figura 5-13: Gráfico de cabeceo (alrededor del eje y) - Pitch.	55
Figura 5-14: Gráfico de guiñada (alrededor del eje z) - Yaw.	56
Figura 5-15: Gráficos de tensiones de amarres, para altura de 0,55 [m] y período de 12 [s].	57
Figura 5-16: Gráficos de tensiones de amarres, para altura de 0,55 [m] y período de 16 [s].	58
Figura 5-17: Gráficos de tensiones de amarres, para altura de 0,65 [m] y período de 16 [s].	59
Figura 5-18: Gráficos de tensiones de amarres, para altura de 0,55 [m] y período de 18 [s].	60
Figura 8-1: Prueba 1 con $H = 0,65$ [m] y $P=16$ [s].	66
Figura 8-2: Prueba 2 movimiento de arfada.	67
Figura 8-3: Prueba 2, movimientos lineales.	67
Figura 8-4: Prueba 2, tensiones máximas.	68

RESUMEN

El proyecto tiene como objetivo implementar un modelo de una nave fierrera, y, a partir del mismo, calcular los movimientos, tensiones de amarres y esfuerzos en las defensas. Esto se logra mediante la utilización del modelo numérico Flow-3D, asignando algunos antecedentes reales obtenidos de la empresa TCVAL.

El modelo se implementa en el sitio 8 del puerto de Valparaíso. La nave y las defensas en sólido son construidos mediante el software AutoCAD y para la batimetría se realiza un procesamiento previo para luego ser ingresada al software. También, se trabaja con un único fluido, el agua, y a este se le incorpora las condiciones de borde, correspondientes al oleaje incidente, borde de esponja y de presión. Con referencia a la dirección del oleaje, se opta por trabajar con una dirección este, condición ficticia al sitio, para evitar el sentido del oleaje hacia la condición de frontera, generadora del oleaje.

El software entrega series de tiempo de los movimientos y tensiones de amarre que experimenta el sólido flotante. Seguidamente se procede con la comparación de estos resultados con los criterios para los movimientos de buques amarrados en puertos (PIANC) y finalmente se incluye un análisis de sensibilidad.