



FACULTAD DE INGENIERÍA

Memoria del proyecto para optar al Título de
Ingeniero Civil Oceánico

**“Desarrollo de un sistema de medición del movimiento en
naves menores en un modelo a escala mediante el uso de
cámaras”**

Francisca Quijada Mateluna

Enero 2021

APROBACIÓN

“DESARROLLO DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN DEL MOVIMIENTO EN NAVES MENORES EN UN MODELO A ESCALA MEDIANTE EL USO DE CÁMARAS”

Francisca Quijada Mateluna

COMISIÓN REVISORA

Nota

Firma

Patricio Winckler Grez

Profesor guía:

Francisco Molteni Pérez

Docente:

Jaime Leyton Espoz

Docente:

DECLARACIÓN

Este trabajo, o alguna de sus partes, no han sido presentados 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 exclusivamente 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 los propósitos de obtención del Título Profesional de Ingeniero Civil Oceánico, el autor renuncia a los derechos legales sobre la misma y los cede a la Universidad de Valparaíso, la que estará facultada para utilizarla con fines exclusivamente académicos.

Francisca Quijada Mateluna

Alumno Memorista

Patricio Winckler Grez

Profesor guía

AGRADECIMIENTOS

A mi familia y en especial a mi hermana quien me apoyo en los momentos más difíciles, con su amor y cariño incondicional.

A mis amigos, quienes me dieron grandes momentos que estarán conmigo durante toda mi vida.

Al equipo de Fablab UV quienes me prestaron sus instalaciones y enseñaron a usar nuevas herramientas que me sirvieron para el desarrollo de las experiencias en esta memoria.

Al señor Leonardo Rodríguez, por todos sus consejos y su ayuda en mi formación como futuro ingeniero.

Finalmente deseo dar gracias a cada uno de los docentes que me ayudaron en este proceso; Francisco Molteni, Rodrigo Sazo, Rene Daza y en especial a mi profesor guía quien sin su ayuda no podría estar finalizando esta etapa de mi vida.

Gracias a todos.

CONTENIDO

DECLARACIÓN.....	3
AGRADECIMIENTOS.....	4
1 INTRODUCCIÓN.....	13
2 OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
3 MARCO TEÓRICO	15
3.1 OLEAJE.....	15
3.2 CLASIFICACIÓN DEL MOVIMIENTO DE LAS EMBARCACIONES	18
3.2.1 CÁLCULO DEL DESPLAZAMIENTO Y GIRO DE LA NAVE	19
3.3 ANÁLISIS DIMENSIONAL Y SEMEJANZA.....	22
3.3.1 SEMEJANZA GEOMÉTRICA	22
3.3.2 SEMEJANZA CINEMÁTICA	22
3.3.3 SEMEJANZA DINÁMICA.....	23
3.4 PROPIEDADES GEOMÉTRICAS DE LA NAVE.....	23
3.4.1 CÁLCULO DEL ÁREA MEDIANTE LA REGLA DE TRAPECIO.....	23
3.4.2 CÁLCULO DE VOLUMEN DE LA NAVE	24
3.4.3 DISEÑO DE LA NAVE MEDIANTE EL SOFTWARE FUSION 360	25
3.4.4 PROCESAMIENTO DE VIDEOS MEDIANTE SOFTWARE TRACKER	25
4 METODOLOGÍA.....	26
4.1 DISEÑO Y CONSTRUCCION DE LA NAVE.....	26
4.1.1 DISEÑO DE LA NAVE EN SOFTWARE FUSION 360.....	26
4.1.2 IMPRESIÓN Y ENSAMBLAJE.....	27
4.2 INSTRUMENTOS DEL LABORATORIO.....	30
4.2.1 PALETA GENERADORA DE OLEAJE	31
4.2.2 SONDAS RESISTIVAS	31
4.2.3 DISIPADOR.....	32
4.3 DISTRIBUCIÓN Y VISTAS DE LAS CÁMARAS	33
4.3.1 SEGUIMIENTO DE LOS PUNTOS.....	37

4.4	CASOS A ANALIZAR	40
5	RESULTADOS	41
5.1	MODELACIÓN DE LA NAVE A ESCALA	41
5.1.1	MOVIMIENTOS DE LA NAVE	43
5.1.2	CORRELACIÓN LINEAL	52
6	CONCLUSIONES	56
7	REFERENCIAS	58
8	ANEXOS.....	60
8.1	PLANOS DE LA NAVE	60
8.2	TABLAS DE LAS LÍNEAS DE AGUA DE LA NAVE	63
8.3	DATOS DEL LABORATORIO.....	66
8.4	DIMENSIONES DEL CANAL DE OLAS.....	106
8.5	OTROS ELEMENTOS UTILIZADOS	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3-1:Periodo-energía de las ondas	15
Figura 3-2: Elementos de una ola progresiva.....	16
Figura 3-3: Validez de las teorías de oleaje.	17
Figura 3-4: Sistemas del buque	19
Figura 3-5: Sistema de referencia.....	20
Figura 3-6: Sistema de referencia en un tiempo t(s).....	20
Figura 3-7: Distancia mínima para el punto P.	21
Figura 3-8: Regla del trapecio.....	23
Figura 3-9: Procesamiento con el Software Tracker.....	25
Figura 4-1: Unificación de los planos (izquierda) e inclusión de la superficie (derecha)...	26
Figura 4-2: Nave menor.....	27
Figura 4-3: Filamento Esun Pla + y cloroformo técnico.	27
Figura 4-4: Piezas de la nave menor.	28
Figura 4-5: Ensamblaje de la nave menor.....	29
Figura 4-6: Primera prueba en laboratorio	29
Figura 4-7: Laboratorio de modelación física de la Universidad de Valparaíso..	30
Figura 4-8: Paleta del oleaje.	31
Figura 4-9: Sondas resistivas.....	32
Figura 4-10: Playa disipadora (izquierda) y malla disipadora (derecha).	32
Figura 4-11: Distribución de las cámaras respecto del eje de coordenadas.....	33
Figura 4-12: Vista frontal de la posición de las cámaras en el canal de olas.....	34
Figura 4-13: Vista en planta de la disposición de las cámaras en el canal de olas.....	34
Figura 4-14: Vista lateral (Cámara XZ).	35
Figura 4-15: Vista frontal (cámara YZ).	35
Figura 4-16: Vista planta (Cámara XY).	35
Figura 4-17: Elementos sobre cubierta.	36
Figura 4-18: Longitud de la cadena.....	36
Figura 4-19: Sistema de amarre de la embarcación.....	37
Figura 4-20: Desplazamiento y rotación de la vista en planta XY, donde se obtiene los movimientos en el eje Y (Sway) y en el eje X (Surge) y el movimiento de rotación en el eje Z (Yaw).....	38
Figura 4-21: Desplazamiento y rotación en la vista frontal YZ, donde se obtiene los movimientos en el eje Z (Heave) y en el eje Y (Sway) y el movimiento de rotación en el eje X (Roll).....	39
Figura 4-22: Desplazamiento y rotación en la vista lateral XZ, donde se obtiene los movimientos en el eje Z (Heave) y en el eje X (Surge) y el movimiento de rotación en el eje Y (Pitch).....	39
Figura 5-1: Plano de las semi-mangas.....	42
Figura 5-2: Vista de la cámara en planta (YX) en el ensayo OH2T2R2.....	44
Figura 5-3: Vista de la cámara frontal (ZY) en el ensayo OH2T2R2.....	44
Figura 5-4: Vista de la cámara Lateral (ZX) en el ensayo OH2T2R2.....	45

Figura 5-5: Vista de la cámara frontal ZY para el ensayo OH2T2R2.....	45
Figura 5-6: Desplazamiento vertical del punto P captado por la vista frontal ZY (Ensayo OH2T2R2).	46
Figura 5-7: Vista de la cámara en planta XY para el ensayo OH2T2R2.	47
Figura 5-8: Desplazamiento lateral del punto P captado por la vista planta XY (Ensayo OH2T2R2).	47
Figura 5-9: Vista de la cámara lateral ZX para el ensayo OH2T2R2.	48
Figura 5-10: Desplazamiento vertical del punto P captado por la vista lateral ZX (Ensayo OH2T2R2).	48
Figura 5-11: Desnivelación obtenida del ensayo OH2T2R2.	49
Figura 5-12: Desplazamiento y ángulos de giro de la nave (Ensayo OH2T2R2).	50
Figura 5-13: Segmento del desplazamiento y ángulos de giro de la nave (Ensayo OH2T2R2).	51
Figura 5-14: Matriz de correlación vista lateral (Ensayo OH2T2R2).	52
Figura 5-15: Gráficos de correlación para la vista lateral (Ensayo OH2T2R2).	53
Figura 5-16: Matriz de correlación vista frontal (Ensayo OH2T2R2).	53
Figura 5-17: Gráficos de correlación vista frontal (Ensayo OH2T2R2)	54
Figura 8-1: Planos generales de la nave menor.....	60
Figura 8-2: Planos longitudinales, horizontales y transversales de la nave menor	61
Figura 8-3: Planos cuadernas de la nave menor.....	62
Figura 8-4: Vista de la cámara lateral ZX para el ensayo OH1T1R1.	66
Figura 8-5: Desplazamiento vertical del punto P captado por la vista lateral ZX (Ensayo OH1T1R1).	66
Figura 8-6: Correlación cámara lateral ZX (Ensayo OH1T1R1).	67
Figura 8-7: Gráficos de correlación cámara lateral ZX (Ensayo OH1T1R1).	67
Figura 8-8: Desplazamiento y ángulo de giro (Ensayo OH1T1R1).	68
Figura 8-9: Datos de los resistores (Ensayo OH1T1R1)	68
Figura 8-10: Vista de la cámara lateral ZX para el ensayo OH1T1R2.	69
Figura 8-11: Desplazamiento vertical del punto P captado por la vista lateral ZX (Ensayo OH1T1R2).	69
Figura 8-12: Correlación cámara lateral ZX (Ensayo OH1T1R2).	70
Figura 8-13: Gráficos de correlación cámara lateral ZX (Ensayo OH1T1R2).	70
Figura 8-14: Desplazamiento y ángulo de giro (Ensayo OH1T1R2)	71
Figura 8-15: Datos de los resistores (Ensayo OH1T1R2)	71
Figura 8-16: Vista de la cámara lateral ZX para el Ensayo OH1T1R3.	72
Figura 8-17: Desplazamiento vertical del punto P captado por la vista lateral ZX (Ensayo OH1T1R3).	72
Figura 8-18: Correlación cámara lateral ZX (Ensayo OH1T1R3).	73
Figura 8-19: Gráficos de correlación cámara lateral ZX (Ensayo OH1T1R3)	73
Figura 8-20: Desplazamiento y ángulo de giro (Ensayo OH1T1R3)	74
Figura 8-21: Datos de los resistores (Ensayo OH1T1R3)	74
Figura 8-22: Vista de la cámara frontal ZY para el ensayo OH1T2R1	75

Figura 8-23: Desplazamiento vertical del punto P captado por la vista lateral ZX (Ensayo OH1T2R1)	75
Figura 8-24: Correlación cámara lateral ZX (Ensayo OH1T2R1).....	76
Figura 8-25: Gráficos de correlación de la cámara lateral ZX (Ensayo OH1T2R1).....	76
Figura 8-26: Vista de la cámara frontal ZY para el Ensayo OH1T2R1	77
Figura 8-27: Desplazamiento vertical del punto P captado por la vista frontal ZY (Ensayo OH1T2R1)	77
Figura 8-28: Correlación la cámara frontal ZY (Ensayo OH1T2R1).....	78
Figura 8-29: Gráficos de correlación la cámara frontal ZY (Ensayo OH1T2R1)	78
Figura 8-30: Vista de la cámara en planta XY para el ensayo OH1T2R1	79
Figura 8-31: Desplazamiento vertical del punto P captado por la vista planta XY (Ensayo OH1T2R1)	79
Figura 8-32: Desplazamiento y ángulo de giro (Ensayo OH1T2R1)	80
Figura 8-33: Datos de los resistores (Ensayo OH1T2R1)	80
Figura 8-34: Vista de la cámara lateral ZX para el ensayo OH1T2R2	81
Figura 8-35: Desplazamiento vertical del punto P captado por la vista lateral ZX (Ensayo OH1T2R2)	81
Figura 8-36: Correlación Vista de la cámara lateral ZX (Ensayo OH1T2R2)	82
Figura 8-37: Gráficos de correlación Vista de la cámara lateral ZX (Ensayo OH1T2R2) ..	82
Figura 8-38: Vista de la cámara frontal ZY para el ensayo OH1T2R2.....	83
Figura 8-39: Desplazamiento vertical del punto P captado por la vista frontal ZY (Ensayo OH1T2R2)	83
Figura 8-40: Correlación Vista de la cámara frontal ZY (Ensayo OH1T2R2)	84
Figura 8-41: Gráficos de correlación Vista de la cámara frontal ZY (Ensayo OH1T2R2) ..	84
Figura 8-42: Vista de la cámara en planta XY para el ensayo OH1T2R2	85
Figura 8-43: Desplazamiento vertical del punto P captado por la vista planta YX (Ensayo OH1TR2)	85
Figura 8-44: Desplazamiento y ángulo de giro (Ensayo OH1T2R2)	86
Figura 8-45: Datos de los resistores (Ensayo OH1T2R2)	86
Figura 8-46: Vista de la cámara lateral ZX para el ensayo OH1T2R3	87
Figura 8-47: Desplazamiento vertical del punto P captado por la vista lateral ZX (Ensayo OH1T2R3)	87
Figura 8-48: Correlación cámara lateral ZX (Ensayo OH1T2R3).....	88
Figura 8-49: Gráficos de correlación cámara lateral ZX (Ensayo OH1T2R3)	88
Figura 8-50: Vista de la cámara en planta XY para el Ensayo OH1T2R3.....	89
Figura 8-51: Desplazamiento vertical del punto P captado por la vista planta YX (Ensayo OH1T2R3)	89
Figura 8-52: Desplazamiento y ángulo de giro (Ensayo OH1T2R3)	90
Figura 8-53: Datos de los resistores (Ensayo OH1T2R3)	90
Figura 8-54: Vista de la cámara en planta XY para el ensayo OH2T1R1	91
Figura 8-55: Desplazamiento vertical del punto P captado por la vista en planta YX (Ensayo OH2T1R1)	91

Figura 8-56: Desplazamiento y ángulo de giro (Ensayo OH2T1R1)	92
Figura 8-57: Datos de los resistores (Ensayo OH2T1R1)	92
Figura 8-58: Vista de la cámara en planta XY para el ensayo OH2T1R2	93
Figura 8-59: Desplazamiento vertical del punto P captado por la vista en planta YX (Ensayo OH2T1R2)	93
Figura 8-60: Desplazamiento y ángulo de giro (Ensayo OH2T1R2)	94
Figura 8-61: Datos de los resistores (Ensayo OH2T1R2)	94
Figura 8-62: Vista de la cámara frontal ZY para el ensayo OH2T2R1	95
Figura 8-63: Desplazamiento vertical del punto P captado por la vista frontal ZY (Ensayo OH2T2R1)	95
Figura 8-64: Correlación cámara frontal ZY (Ensayo OH2T2R1)	96
Figura 8-65: Gráfico de correlación cámara frontal ZY (Ensayo OH2T2R1)	96
Figura 8-66: Vista de la cámara en planta XY para el ensayo OH2T2R1	97
Figura 8-67: Desplazamiento vertical del punto P captado por la vista en planta YX (Ensayo OH2T2R1)	97
Figura 8-68: Desplazamiento y ángulo de giro (Ensayo OH2T2R1)	98
Figura 8-69: Datos de los resistores (Ensayo OH2T2R1)	98
Figura 8-70: Vista de la cámara lateral ZX (Ensayo OH2T2R1)	99
Figura 8-71: Desplazamiento vertical del punto P captado por la vista ZX (Ensayo OH2T2R1)	99
Figura 8-72: Vista de la cámara lateral ZX para el ensayo OH2T2R3	100
Figura 8-73: Desplazamiento promedio vista de la cámara en lateral ZX para el Ensayo OH2T2R3.	100
Figura 8-74: Correlación cámara lateral ZX (Ensayo OH2T2R3)	101
Figura 8-75: Gráficos de correlación cámara lateral ZX (Ensayo OH2T2R3)	101
Figura 8-76: Vista de la cámara en planta XY para el ensayo OH2T2R3	102
Figura 8-77: Desplazamiento promedio vista de la cámara en planta XY para el ensayo OH2T2R3.	102
Figura 8-78: Vista de la cámara frontal ZY para el ensayo OH2T2R3	103
Figura 8-79: Desplazamiento vertical del punto P captado por la vista frontal ZY (Ensayo OH2T2R3)	103
Figura 8-80: Coeficientes de correlación cámara frontal YZ (Ensayo OH2T2R3)	104
Figura 8-81: Gráficos de correlación cámara frontal YZ (Ensayo OH2T2R3)	104
Figura 8-82: Desplazamientos y ángulos (Ensayo OH2T2R3)	105
Figura 8-83: Datos de los resistores (Ensayo OH2T2R3)	105
Figura 8-84: Dimensiones de la vista frontal y en planta del canal de olas	106
Figura 8-85: Letrero	107

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4-1: Códigos y valores en los ensayos de oleaje.....	40
Tabla 4-2: Características del oleaje.....	40
Tabla 5-1: Dimensiones de las secciones de la nave menor.....	41
Tabla 5-2: Semi manga de la línea de la crujía (cm)	42
Tabla 5-3: Cálculo del volumen.....	43
Tabla 8-1: Cálculo línea de agua N°1	63
Tabla 8-2: Cálculo línea de agua N°2	63
Tabla 8-3: Cálculo línea de agua N°3	64
Tabla 8-4: Cálculo línea de agua N°4	64
Tabla 8-5: Cálculo línea de agua N°5	65
Tabla 8-6: Cálculo línea de agua	65

RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo captar el movimiento de una nave menor frente al oleaje generado en el canal de olas de la Universidad de Valparaíso. Para lograr este cometido, se propuso el desarrollo de un modelo a escala de una nave menor.

El modelo a escala se diseñó basándose en los planos de una nave menor obtenidos de Bibliocad. Posteriormente, se empleó el software Fusión 360 para realizar la confección del plano en 3D, con el cual se imprimió en las impresoras disponibles en FabLab de la Universidad de Valparaíso. Para efectuar los ensayos, se utilizaron las herramientas que dispone el laboratorio de modelación física o LabOcéano (cámaras, trípodes, paleta de oleaje, entre otros).

El registro filmográfico se realizó mediante la implementación de cámaras Gopro, las que realizaron una medición simultánea del movimiento a una distancia que asegurara una medición clara y completa de toda la nave. Además, se tuvieron otras consideraciones en el momento de registrar los datos en video, como una iluminación constante.

Las mediciones tuvieron una duración de al menos 5 minutos. Los datos obtenidos fueron procesados y analizados empleando el Software Tracker que permite a los usuarios analizar vídeos de experimentos físicos, extrayendo los datos de la imagen de manera sencilla. Además se realizó una correlación lineal en los movimientos de la nave obtenidos del procesamiento de los videos y la desnivelación instantánea del agua obtenida de los resistores instalados en el canal. Como conclusión general se observó una alta correlación en los casos entre ambas variables de menor altura y mayor periodo pero, no así en la correlación en casos con una altura mayor.

Por otra parte, las herramientas empleadas en el diseño y modelación en 3D (Fusion 360 y AutoCAD), demostraron ser útiles para el desarrollo de modelos físicos de diferentes fenómenos. Se recomienda su uso por su bajo costo y accesibilidad. A pesar de ser propensas a tener fallas menores en la producción y un alto tiempo de impresión de cada pieza.