



FACULTAD DE INGENIERÍA

**Memoria de titulación para optar al Título de
Ingeniero Civil Oceánico**

**DISEÑO DE UN TERMINAL MARÍTIMO MULTIBOYA PARA
TRANSFERENCIA DE PETRÓLEO EN CORONEL, REGIÓN
DEL BIOBÍO, CHILE.**

Javier Ignacio Herrera Vicenzot

Mayo 2019

UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO

FACULTAD DE INGENIERÍA

“DISEÑO DE UN TERMINAL MARÍTIMO MULTIBOYA PARA TRANSFERENCIA DE PETRÓLEO EN CORONEL, REGIÓN DEL BIOBÍO, CHILE.”

Javier Ignacio Herrera Vicenzot

COMISIÓN REVISORA	NOTA	FIRMA
Sr. Patricio Winckler Grez. Profesor guía	_____	_____
Sr. Matías Carvajal Ramírez. Revisor	_____	_____
Sr. Jorge Rojas Alcaíno. Revisor	_____	_____

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL OCEÁNICO,
VALPARAÍSO, CHILE
2019

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.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi gratitud a la empresa consultora SAIMIC LTDA, que hizo posible que desarrolle este proyecto, sobre todo a Matías Carvajal, quien fue mi compañero de trabajo y siempre con buena voluntad respondía mis dudas y me aportaba un buen consejo.

Agradecer al profesor Patricio Winckler por su aporte en mi carrera y su buena disposición a ayudar.

Agradecer al profesor Álvaro Valdivia, que marcó un antes y un después en mi formación.

A Russell por su amor infinito, las aventuras vividas y la confianza que ha depositado en mí.

A mi familia, gracias por su paciencia y apoyo incondicional.

A Felipe Bravo, que siempre me motivó a terminar este proyecto, poniéndole empeño toda una temporada en la biblioteca.

A mis amigos de carrera: Seba, Mauro, Jazzman, Federici, Gonya, Guti, Marco. Gracias por los momentos vividos durante este proceso.

“Un buen viajero no tiene planes fijos ni la intención de llegar” Lao-Tse

CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	UBICACIÓN DEL PROYECTO.....	4
1.2	ALCANCES Y LIMITACIONES.....	6
2	OBJETIVOS	7
2.1	OBJETIVOS GENERALES.....	7
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	7
3	MARCO TEÓRICO	8
3.1	TERMINALES MULTIBOYA.....	8
3.1.1	AMARRE DE BOYA CONVENCIONAL (CBM).....	8
3.1.2	BOYAS DE AMARRE (ABMs).....	9
3.2	COMPONENTES DEL SISTEMA DE AMARRE.....	10
3.3	DISEÑO DE PARTES INDIVIDUALES DE BOYAS DE AMARRE.....	14
3.3.1	CADENAS DE ANCLAJE.....	14
3.3.2	ANCLAJES DE PESO MUERTO (SINKER).....	17
3.4	MÉTODOS DE ANÁLISIS DE AMARRE.....	19
3.5	SISTEMA DE TRANSFERENCIA DE CARGA.....	20
3.5.1	CAÑERÍAS SUBMARINAS.....	20
3.5.2	MANGUERAS FLEXIBLES.....	21
3.6	PIPELINE END MANIFOLD (PLEM).....	24
3.7	BOYARÍN DE LEVANTE.....	25
4	METODOLOGÍA	27
4.1	ESTUDIO DE CONDICIONES NATURALES DEL SECTOR.....	27
4.1.1	ESTUDIO DE OLEAJE.....	27
4.1.2	ESTUDIO DE MAREAS Y CORRIENTES.....	33
4.1.3	ESTUDIO DE VIENTOS.....	33
4.2	DOWNTIME OPERACIONAL.....	33
4.2.1	DOWNTIME POR OLEAJE.....	34
4.2.2	DOWNTIME POR VIENTOS.....	34
4.2.3	DOWNTIME POR CORRIENTES.....	34
4.3	PROPUESTA DE LAYOUT.....	34
4.4	CÁLCULO DE FONDEO.....	36
4.5	SISTEMA DE FIJACIÓN CAÑERÍAS SUBMARINAS.....	39
4.6	SISTEMA DE CAÑERÍAS FLEXIBLES:.....	40
4.7	DEFINICIÓN BOYARÍN DE LEVANTE.....	42
5	RESULTADOS	43
5.1	ESTUDIO DE CONDICIONES NATURALES DEL SECTOR.....	43
5.1.1	ESTUDIO DE OLAS.....	43
5.1.2	ESTUDIO DE CORRIENTES.....	47
5.1.3	ESTUDIO DE MAREAS.....	50
5.1.4	ESTUDIO DE VIENTOS.....	51
5.2	ESTIMACIÓN DEL DOWNTIME OPERACIONAL.....	52
5.2.1	DOWNTIME POR OLEAJE.....	52
5.2.2	DOWNTIME POR VIENTO.....	55
5.2.3	DOWNTIME POR CORRIENTES.....	56
5.3	LAYOUT DEL TERMINAL MARÍTIMO.....	57

5.3.1	BUQUE A SER AMARRADO Y SUS PROPIEDADES	57
5.3.2	DETERMINACIÓN DE LA CONFIGURACIÓN DEL AMARRE.....	58
5.3.3	SELECCIÓN DE ALTERNATIVA	70
5.3.4	TRAZADO CAÑERÍAS SUBMARINAS	70
5.4	CÁLCULO DE FONDEO	71
5.4.1	CÁLCULO DE CARGAS SOBRE EL BUQUE	71
5.4.2	CÁLCULO DE CARGAS SOBRE LOS ELEMENTOS DE AMARRE.....	73
5.4.3	DISEÑO DE LOS ELEMENTOS DE FONDEO.....	75
5.5	DISEÑO DE LÍNEA DE TRANSFERENCIA DE PETRÓLEO	84
5.5.1	CARACTERÍSTICAS CAÑERÍAS SUBMARINAS RÍGIDAS	84
5.5.2	MONTAJE Y LANZAMIENTO AL MAR DE LAS CAÑERÍAS SUBMARINAS	84
5.5.3	DISEÑO DE MUERTOS DE FIJACIÓN	86
5.6	CAÑERÍAS FLEXIBLES	106
5.6.1	DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE FLEXIBLES.....	107
5.7	DEFINICIÓN DEL BOYARÍN DE LEVANTE.....	107
6	DISCUSIONES Y OBRAS COMPLEMENTARIAS	110
6.1	OBRAS COMPLEMENTARIAS.....	110
6.1.1	ZONA DE PLAYA Y TERRENO DE PLAYA	110
6.1.2	CASETA DE VÁLVULA	110
6.1.3	SISTEMA DE SEÑALIZACIÓN MARÍTIMA.....	110
6.1.4	SISTEMA DE ADUCCIÓN DE AGUA DE MAR	110
6.2	DISCUSIONES Y RECOMENDACIONES	111
7	CONCLUSIONES.....	113
ANEXO A.	CLIMA MEDIO DE OLEAJE EN EL SECTOR DE ESTUDIO	117
ANEXO B.	FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD	121
ANEXO C.	MATRICES DE COMPARACIÓN.....	122
ANEXO D.	CALCULO DE FUERZAS SOBRE EL BUQUE.....	126
ANEXO E.	VERIFICACIÓN DE ELEMENTOS DE FONDEO	136
I.	VERIFICACIÓN BOYA Nº1 (ALETA ESTRIBOR).....	136
II.	VERIFICACIÓN BOYA Nº2 (POPA)	140
III.	VERIFICACIÓN BOYA Nº3 (ALETA BABOR)	144
IV.	VERIFICACIÓN ANCLAJE AMURA ESTRIBOR.....	148
V.	VERIFICACIÓN ANCLAJE AMURA BABOR	150
ANEXO F.	FICHA TÉCNICA DE CAÑERIAS DE ACERO.....	152
ANEXO G.	FICHA TÉCNICA VÁLVULA BREAK AWAY.....	153
ANEXO H.	FICHA TÉCNICA BOYARÍN DE LEVANTE	154
ANEXO I.	FICHA TÉCNICA CADENAS PARA FONDEO CON MALLETE.....	155
ANEXO J.	FICHA TÉCNICA BOYA DE AMARRE	156
ANEXO K.	BOYAS DE AMARRE Y PERNADAS DE TRABAJO	157
ANEXO L.	DIMENSIONAMIENTO MUERTOS DE FIJACIÓN PARA CAÑERÍAS SUBMARINAS	165
ANEXO M.	TERMINALES MARÍTIMOS PETROLEROS EN CHILE	167

ANEXO N. VERIFICACIÓN ESTABILIDAD DE CAÑERÍAS SUBMARINAS	168
GLOSARIO DE TÉRMINOS	169
BIBLIOGRAFÍA.....	171

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Configuración de amarre multiboya típico para carga de combustible.....	3
Figura 1.2. Localización del área de estudio, con referencia a la planimetría regional	4
Figura 1.3. Localización del área de estudio en referencia a Carta del Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile.....	5
Figura 3.1. Layout de amarre de boya convencional (CBM)	8
Figura 3.2. Layout todas las boyas de amarre (ABMs).....	9
Figura 3.3. Componentes típicos del sistema de fijación de amarre sin carga	10
Figura 3.4. Componentes típicos del sistema de fijación de amarre bajo máxima carga..	11
Figura 3.5. Tipos de anclaje simplificados.....	13
Figura 3.6. Componentes de una boya de amarre	14
Figura 3.7. Cadenas de fondeo.....	15
Figura 3.8. Ejemplo de arreglos de cadena.....	15
Figura 3.9. Notación para muerto y cadena del ancla para boyas de amarre.....	16
Figura 3.10. Tipos de anclaje por peso muerto	17
Figura 3.11. Bloque de hormigón con barra de acero	18
Figura 3.12. Tuberías de acero sin costura.....	21
Figura 3.13. Ejemplo de configuración de flexibles en un sistema de amarre multiboya ..	22
Figura 3.14. Conexión manifold con mangueras flexibles	23
Figura 3.15. Manguera desmontable para el caso de una monoboya	24
Figura 3.16 . Layout simplificado para tubería PLEM.....	25
Figura 3.17. Boyarín de levante típico con conexión al flexible	26
Figura 4.1. Ubicación nodo N10 Talcahuano	27
Figura 4.2. Extensión mallas numéricas.....	29
Figura 4.3. Propagación de oleaje de altura unitaria SW y $T_p=15s$	31
Figura 4.4. Propagación de oleaje de altura unitaria W y $T_p=15s$	31
Figura 4.5. Propagación de oleaje de altura unitaria NW y $T_p=15s$	32
Figura 4.6. Cálculo de aproximación del largo de flexibles.....	41
Figura 5.1. Serie de tiempo H_s [m] en la zona del proyecto	44
Figura 5.2. Gráfico de correlación método Weibull-Petraukas $k=1$	45
Figura 5.3. Gráfico H retorno [m] vs T retorno [años]	46
Figura 5.4. Rosa de corrientes.....	49
Figura 5.5. Rosa de vientos	52
Figura 5.6. Cálculo de downtime en por oleaje	53
Figura 5.7. Cálculo de downtime en por oleaje dirección NW	54
Figura 5.8. Estimación de downtime operacional por viento.....	55
Figura 5.9. Estimación de downtime operacional por corriente	56
Figura 5.10. Buque tanque de diseño	57
Figura 5.11. Aproximación buque en CBM.....	60
Figura 5.12. Aproximación buque en ABM.....	60
Figura 5.13. Alternativa layout nave LOA 242.8, CBM con 3 boyas de amarre y 2 anclas a proa	63
Figura 5.14. Alternativa layout nave LOA 242.8, CBM con 5 boyas de amarre y 2 anclas a proa	66
Figura 5.15. Alternativa layout nave LOA 242.8, ABM con 5 boyas de amarre	69
Figura 5.16. Fuerzas y momentos por viento sobre el buque en lastre y en carga.....	72
Figura 5.17. Modelo de sistema de amarre para la nave	73

Figura 5.18. Resultantes de la envolvente de las combinaciones de carga (tonf)	74
Figura 5.19. Planta configuración Boya N°1	76
Figura 5.20. Planta configuración Boya N°2.....	77
Figura 5.21. Planta configuración Boya N°3.....	77
Figura 5.22. Configuración muerto de término pernada 1 y 2.....	78
Figura 5.23. Configuración muerto de término pernada 3 y 4.....	78
Figura 5.24. Configuración muerto de término pernada 5 y 6.....	79
Figura 5.25. Configuración retenida Boya N°1	79
Figura 5.26. Configuración retenida Boya N°2	80
Figura 5.27. Configuración retenida Boya N°3	80
Figura 5.28. Catenaria de cadena suspendida Boya N°1	81
Figura 5.29. Catenaria de cadena suspendida Boya N°2.....	81
Figura 5.30. Catenaria de cadena suspendida Boya N°3.....	82
Figura 5.31. Catenaria de cadena suspendida ancla amura babor	82
Figura 5.32. Catenaria suspendida ancla amura estribor	83
Figura 5.33. Esquema muerto tipo tronco piramidal.....	87
Figura 5.34. Diagrama de cuerpo libre cañería-muerto de fijación	93
Figura 5.35. Resumen gráfico de los cálculos obtenidos	94
Figura 5.36. Esquema sistema de elementos de término.....	96
Figura 5.37. Muerto de término unitario	97
Figura 5.38. Aplicación de fuerza en caso deriva Buque dirección S-N	99
Figura 5.39. Planta trazado cañerías de petróleo con disposición de muertos de fijación	100
Figura 5.40. Planta trazado inicial cañerías de petróleo con disposición de muertos de fijación	101
Figura 5.41. Planta trazado final cañerías de petróleo con disposición de muertos de fijación	102
Figura 5.42. Alzado longitudinal de cañerías con disposición de muertos de fijación	103
Figura 5.43. Alzado longitudinal parte inicial de cañerías con disposición de muertos de fijación	104
Figura 5.44. Alzado longitudinal parte final de cañerías con disposición de muertos de fijación	105
Figura 5.45. Flexible Mainline 512	106
Figura 5.46. Estados de carga sobre el boyarín de levante	108
Figura A.1. Histograma de Hs [m].....	118
Figura A.2. Histograma de Dirección	119
Figura A.3. Histograma de Tp [s]	119
Figura A.4. Rosa de altura de oleaje Hs[m].....	120
Figura A.5. Rosa de período de oleaje Tp [s].....	120
Figura H.1. Ficha técnica boyarín de levante	154
Figura J.1. Hawsepiped and Tension Bar Mooring Buoy.....	156
Figura K.1. Boya N°1 con retenida.....	159
Figura K.2. Boya N°1 – pernada 1 y pernada 2.....	160
Figura K.3. Boya N°2 con retenida.....	161
Figura K.4. Boya N°2 – pernada 3 y pernada 4.....	162
Figura K.5. Boya N°3 con retenida.....	163
Figura K.6. Boya N°2 – pernada 5 y pernada 6.....	164

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Resumen ventajas y desventajas de tipos de anclajes.....	11
Tabla 3.2. Ejemplo de configuración de flexibles para sistemas de amarre multiboya	22
Tabla 4.1. Cartas náuticas del SHOA	28
Tabla 4.2. Especificaciones de mallas numéricas utilizadas para propagación de oleaje. 28	
Tabla 4.3. Direcciones de oleaje incidente en coordenadas náuticas	30
Tabla 4.4. Escala numérica de juicios para la toma de decisiones.....	35
Tabla 4.5. Esquema del modelo jerárquico	36
Tabla 4.6. Combinaciones de carga.....	38
Tabla 4.7. Criterios de movimientos para condiciones de trabajo seguras	42
Tabla 5.1. Matriz de coeficientes de agitación (K_a).....	43
Tabla 5.2. Matriz de direcciones	43
Tabla 5.3. Alturas de ola máximas método POT	45
Tabla 5.4. Período de retorno asociado a distribución Weibull $k=1$	46
Tabla 5.5. Tabla de incidencia de corrientes - correntómetro superficial	47
Tabla 5.6. Tabla de incidencia de corrientes - correntómetro profundo.....	48
Tabla 5.7. Caracterización de la marea de la Bahía de Coronel	50
Tabla 5.8. Tabla de incidencia de vientos en el sector de estudio.....	51
Tabla 5.9. Máxima altura significativa de oleaje para diferentes direcciones.....	53
Tabla 5.10. Características nave de diseño	57
Tabla 5.11. Profundidades de los elementos de amarre y fondeo de la alternativa 1	62
Tabla 5.12. Profundidades de los elementos de amarre y fondeo alternativa 2.....	65
Tabla 5.13. Profundidades de los elementos de amarre y fondeo alternativa 3.....	68
Tabla 5.14. Matriz de selección de alternativas mediante método AHP	70
Tabla 5.15. Parámetros oceanográficos para fuerzas sobre la nave.....	71
Tabla 5.16. Fuerzas y momentos sobre el buque en lastre y en carga	72
Tabla 5.17. Fuerza de amarre-LOA 242.8 -Modelo SAP2000.....	74
Tabla 5.18. Resumen de configuraciones calculadas para las boyas de amarre	75
Tabla 5.19. Poder de agarre vs ángulo de inclinación de cadena	83
Tabla 5.20. Características cañerías submarinas rígidas.....	84
Tabla 5.21. Dimensiones muerto de fijación	87
Tabla 5.22. Parámetros oceanográficos considerados.....	88
Tabla 5.23. Velocidades máximas de ola y corriente por veril.....	91
Tabla 5.24. Cargas hidrodinámicas sobre la cañería	92
Tabla 5.25. Separación máxima entre muertos de fijación	95
Tabla 5.26. Características cañería flexible Mainline 512	106
Tabla 5.27. Pesos de los elementos asociados al boyarín y cadena de levante.	108
Tabla A.1. Tabla de incidencia Hs-Dir.....	117
Tabla A.2. Tabla de incidencia Tp-Dir.....	117
Tabla A.3. Tabla de incidencia Hs [m]-Tp[s].....	118
Tabla B.1. Funciones de distribución de probabilidad clima extremo	121
Tabla F.1. Propiedades cañerías de acero	152
Tabla G.1. Tensión de rotura válvula break away	153
Tabla I.1. Ficha técnica cadenas para fondeo.....	155
Tabla K.1. Listado general de elementos Boya N°1 (Aleta estribor).....	157
Tabla K.2. Listado general de elementos Boya N°2 (Popa)	158
Tabla K.3. Listado general de elementos Boya N°3 (Aleta babor).....	158

RESUMEN

El presente proyecto se denomina “Diseño de un Terminal Marítimo Multiboya para Transferencia de Petróleo en Coronel, Región del Biobío, Chile”, cuyo objetivo principal es diseñar un fondeadero destinado para el amarre de naves Oil Tanker, además del sistema de transferencia de carga mediante cañerías submarinas. Esto permitiría llevar los combustibles líquidos desde el buque hasta las instalaciones proyectadas en los tanques de almacenamiento.

Las obras de este proyecto se clasifican en dos tipos:

- Obras asociadas a la estructuración y operación del terminal marítimo, con un fondeadero para naves, mediante un sistema de boyas de amarre ancladas al fondo marino.
- Obras asociadas a la transferencia de petróleo entre planta y fondeadero, mediante dos cañerías submarinas; una para productos livianos y otra para productos pesados.