



UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO

FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR Y DE RECURSOS NATURALES
INGENIERÍA CIVIL OCEÁNICA

“VERIFICACIÓN DE UN TRAMO DE OBRA DEL PROYECTO “REPOSICIÓN INFRAESTRUCTURA MARÍTIMA MUELLE CALETA PORTALES”, MEDIANTE METODOLOGÍA R.O.M. 0.0”

Memoria de Título

PAMELA LORETO CEPEDA CORRALES

TUTORES: ASUNCIÓN BAQUERIZO AZOFRA
MIGUEL ÁNGEL LOSADA RODRIGUEZ
PATRICIO WINCKLER GREZ

VIÑA DEL MAR 2009

UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR Y DE RECURSOS
NATURALES
INGENIERÍA CIVIL OCEÁNICA

PAMELA LORETO CEPEDA CORRALES

Comisión Evaluadora

Calificación

Nota

Firma

Ernesto Gómez A.

Evaluador 1

Patricio Winckler G.

Evaluador 2

Mauricio Reyes

Evaluador 3

Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Oceánico

DECLARACIÓN

Este trabajo o alguna 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 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 utilizar con fines exclusivamente académicos.

.....

Pamela Cepeda

.....

Patricio Winckler G.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mi familia que me apoyó desde principio cuando decidí cambiar mi rumbo, y estudiar ingeniería. Han sido mis papás y mis hermanas, un pilar fundamental en este camino.

A mis compañeros de la Universidad, a mis profesores, y en especial al profesor Ernesto Gómez por su apoyo y consejos que ha tenido para mí en estos últimos 3 años. A Patricio Winckler por su gran labor de educador y por dedicar su tiempo a nosotros. A mi director de carrera Sergio Bidart que siempre ha dado su apoyo a los alumnos, y al profesor Hernán Cortés que fue un gran compañero cuando estuvimos trabajando juntos. Todos han sido una gran guía para mi desarrollo profesional.

Quiero agradecer además a mis compañeros del grupo de Puertos y Costas, y en especial a mis compañeros de Máster, que juntos hemos pasado por muchos momentos.

A Asunción Baquerizo por su dedicación a la enseñanza, y por escucharme cuando lo necesita. A Miguel Ángel Losada como director y tutor, por su gran aporte a la enseñanza.

Y a Jesús que ha sido fundamental en este tiempo cuando me encuentro lejos de mi familia, y que ahora es mi familia. Gracias por estar conmigo, apoyarme y acompañarme cuando lo he necesitado.

INDICE

AGRADECIMIENTOS	4
1 INTRODUCCIÓN	12
1.1 INTRODUCCIÓN.....	12
1.2 MOTIVACIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO	12
2 PROYECTO REPOSICIÓN INFRAESTRUCTURA MARÍTIMA MUELLE CALETA PORTALES 14	
2.1 ANTECEDENTES DE LA ACTUACIÓN	14
2.1.1 MARCO HISTÓRICO	14
2.1.2 OBJETIVOS.....	16
2.2 ANÁLISIS SECTOR PESQUERO CALETA PORTALES	17
2.2.1 ORGANIZACIÓN CALETA PORTALES	18
2.2.2 ANÁLISIS DE LA OFERTA	19
2.2.3 ANÁLISIS DE LA OPERACIÓN CALETA PORTALES.....	19
2.3 DESCRIPCIÓN DE LA ALTERNATIVA DE PROYECTO	21
2.3.1 CONFIGURACIÓN FÍSICA	21
2.3.2 TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	23
3 APLICACIÓN METODOLOGÍA ROM 0. 0 A UN TRAMO DE OBRA	25
3.1 INTRODUCCIÓN.....	25
3.2 TRAMO DE OBRA.....	26
3.3 INTERVALO DE TIEMPO	28
3.4 CRITERIOS GENERALES DE PROYECTO	28
3.4.1 CARÁCTER GENERAL DEL TRAMO I	28
3.4.2 CRITERIOS GENERALES.....	31
3.4.3 MÉTODO DE VERIFICACIÓN DEPENDIENTE DEL CÁRACTER DE LA OBRA	31

3.5	FACTORES DE PROYECTO	33
3.5.1	PARÁMETROS.....	33
3.5.2	AGENTES	35
3.5.3	ACCIONES.....	35
3.6	MODO DE FALLO PÉSIMO ADSCRITO A UN ESTADO LÍMITE ÚLTIMO.....	36
3.7	VERIFICACIÓN DEL TRAMO I EN LA VIDA ÚTIL.....	37
3.7.1	ANÁLISIS DE DATOS HISTÓRICOS DEL CLIMA MARÍTIMO.....	37
3.7.2	SIMULACIÓN DEL CLIMA MARÍTIMO DURANTE LA VIDA ÚTIL.....	43
3.7.3	RESULTADOS	45
4	CONCLUSIÓN	47
	ANEXO 1. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	49
	ANEXO 2. DEFINICIONES	52
	ANEXO 3. ESTUDIO DE OLEAJE.....	55
	ANEXO 4. ECUACIÓN DE MORISON ET AL. (1950).....	83
	ANEXO 5. DESCRIPCIÓN MODELO DE PROPAGACIÓN SWAN.....	90

INDICE TABLAS

Tabla 1: Organización Caleta Portales. Fuente: Ref.5.	18
Tabla 2: Organización Administrativa Caleta Portales. Fuente: Ref.5.	19
Tabla 3: Disposición de elementos para las labores de pesca. Fuente: Ref.5.....	19
Tabla 4: Detalle mano de obra por salida. Fuente: Ref.5.	20
Tabla 5: Ingresos y costos de Caleta Portales. Fuente: Ref.5.	20
Tabla 6: Resumen de los Criterios generales de proyecto para el tramo I.	31
Tabla 7. Métodos de verificación según el carácter general de la obra. Fuente: Ref.8.	32
Tabla 8. Tabla de incidencia Altura de ola H_{m0} v/s período T_p	61
Tabla 9. Porcentaje de ocurrencia para las diferentes direcciones.	62
Tabla 10. Tabla de incidencia Altura de ola H_{m0} v/s Dirección media DirM.	62
Tabla 11. Tabla de incidencia Período T_p v/s Dirección media de oleaje DirM.	63
Tabla 12. Tabla de incidencia Altura de ola H_{smax} v/s Periodo de pico T_p	66
Tabla 13. Tabla de incidencia Altura de ola H_{smax} v/s Dirección de oleaje DirM.	66
Tabla 14. Tabla de incidencia Periodo de oleaje T_p v/s Dirección de oleaje DirM.....	66
Tabla 15. Característica de la malla computacional para modelo SWAN	71
Tabla 16. Casos de propagación.	72
Tabla 17. Coordenadas de los puntos de control en la zona de estudio.....	73

INDICE FIGURAS

Figura 1. Muelle destruido en el año 2000 por el Mercante AVON. Fuente: Ref.4.	15
Figura 2. Mercante AVON varado en playa caleta Portales. Fuente: Archivos Patricio Winckler	15
Figura 3. Detalle ubicación de la caleta Portales, Valparaíso, V Región	17
Figura 4. Caletas pesqueras de mayor influencia en la Bahía de Valparaíso. Fuente: Ref.5.	18
Figura 5. Disposición del actual muelle frente al muelle destruido. Fuente: Ref.4.	22
Figura 6. Perfil muelle caleta Portales (Zona Cabezo). Fuente: Archivos Patricio Winckler	23
Figura 7. Actual muelle caleta Portales. Fuente: Archivos Patricio Winckler.	24
Figura 8. Disposición de los diferentes tramos identificados de caleta Portales. Fuente: Ref.6.	27
Figura 9. Detalle en planta del Muelle Cabezo	28
Figura 10. Ordenación de los factores de Proyecto según ROM 0.0	33
Figura 11. Disposición del Tramo I Muelle Cabezo. Fuente: Ref.6.	34
Figura 12. Esquema simulación durante la vida útil	39
Figura 13. Ajuste de la variable aleatoria altura de ola a una función de máximos, Fchet	40
Figura 14. Función de densidad de probabilidad empírica, y ajuste a una distribución Weibull, $\delta = 2.05$ y $\lambda = 12.85$	41
Figura 15. Función de densidad de probabilidad empírica, y ajuste a una distribución Frechet, $\beta = 0.53$ $\delta = 13.96$ y $\lambda = 220.13$	42
Figura 16. Función de densidad de probabilidad empírica, y ajuste a una distribución Normal, $\delta = 8.72$ y $\lambda = 24.94$	42
Figura 17. Estructura triangular de un temporal dividido en estados de mar de 3h.	44
Figura 18. Histograma de altura de ola obtenida de la simulación y del régimen de temporales.	45
Figura 19. Cálculo de la fuerza en cada ola individual generada, correspondiente a un estado de mar.	46
Figura 20. Ubicación del nodo de Valparaíso correspondiente a la base de información utilizada.	56
Figura 21. Histograma correspondiente a la presentación en frecuencia de H_{m0}	58
Figura 22. Histograma correspondiente a la presentación en frecuencia de T_p	58
Figura 23. Histograma correspondiente a la presentación en frecuencia de $DirM$	59

Figura 24. Gráfico de dispersión Hm0 v/s Tp.	60
Figura 25. Gráfico de dispersión Hm0 v/s DirM	60
Figura 26. Gráfico de dispersión Tp v/s DirM	61
Figura 27. Método POT. Fuente: Ref.12.....	63
Figura 28. Histograma correspondiente a la presentación en frecuencia de Hsmax de cada temporal.	64
Figura 29. Histograma correspondiente a la presentación en frecuencia de Tp de cada temporal.	64
Figura 30. Histograma correspondiente a la presentación en frecuencia de Dir de cada temporal.	65
Figura 31. Dominio de propagación para modelo SWAN	67
Figura 32. Batimetría de Valparaíso N° 5111	68
Figura 33. Batimetría de Valparaíso digitaliza por Surfer.	69
Figura 34. Detalle de los puntos de control en la zona de estudio.	73
Figura 35. Histograma de dirección de oleaje que llega a la zona de estudio.	74
Figura 36. Histograma de alturas de ola en la zona de estudio correspondiente a direcciones N, NW y NNW.	75
Figura 37. Propagación dirección de oleaje, NNW	76
Figura 38. Gráfico de coef. de propagación Hsmax=4, Dir=NNW	76
Figura 39. Gráfico de coef. de propagación Hsmax=6, Dir=NNW	77
Figura 40. Histograma de altura de ola en la zona de estudio correspondiente a direcciones WNW y W	77
Figura 41. Propagación dirección de oleaje, WNW	78
Figura 42. Gráfico de coef. de propagación Hsmax=4, Dir=WNW	79
Figura 43. Gráfico de coef. de propagación Hsmax=6, Dir=WNW	79
Figura 44. Histograma de altura de ola en la zona de estudio correspondiente a direcciones WSW y SW y SSW.....	80
Figura 45. Propagación dirección de oleaje, SW	81
Figura 46. Gráfico de coef. de propagación Hsmax=4, Dir=SW	81
Figura 47. Gráfico de coef. de propagación Hsmax=6, Dir=SW	82

RESUMEN

El siguiente Proyecto de Título presenta la aplicación de la metodología propuesta en la ROM 0.0, “Procedimiento general y bases de cálculo en el proyecto de obras marítimas y portuarias”, para verificar la seguridad de un tramo de obra del Muelle Caleta Portales (Valparaíso, V Región), durante su vida útil.

Para su realización, se analizan los antecedentes y los objetivos del proyecto " Reposición de Infraestructura Marítima del Muelle Caleta Portales" llevado a cabo por la Dirección de Obras Portuarias, DOP tras la destrucción del muelle anterior por el mercante Avon en el año 2000. A partir de dicha información se evalúan, para el tramo “cabezo”, el carácter general que mide las repercusiones económicas, sociales y ambientales que ocurrirían en el caso de que se produjera un modo de fallo pésimo.

Conocido el carácter general, se determinan los Criterios Generales recomendados por la ROM 0.0 y se analizan los factores de proyecto que incluyen la definición de los parámetros, agentes y acciones.

De entre los modos de fallo *Deformación, Inestabilidad* ó *Colapso progresivo* (Ref.10), se estima el modo de fallo pésimo *Pérdida del equilibrio estático* del muelle de pilotes y se elige para realizar su verificación, el método de Nivel III durante la vida útil de la obra frente a la acción predominante del oleaje. Este tipo de modo de fallo se encuentra adscrito a un estado límite último, y se refiere a aquel estado que produce la ruina o colapso de la obra debido a la ocurrencia e interacción de agentes climáticos sobre la estructura. Una de las primeras simplificaciones es que no se plantea un modelo estructural, sino que se estudia la verificación de un pilote, utilizando para el cálculo de la fuerza, la ecuación de Morison et al. (1950) (ANEXO 4).

La ecuación de Morison et al. (1950) (Ref.15 y 16) se basa en la teoría lineal de oleaje y sólo es válida cuando la relación D/L es menor a 0.05. Estima una fuerza de arrastre dependiente de la velocidad, y una fuerza de inercia, dependiente de la aceleración del fluido sobre una estructura cilíndrica vertical. Para el desarrollo de esta ecuación, es necesario el conocimiento de parámetros físicos de la estructura como su diámetro y longitud, densidad, régimen del flujo, y de parámetros del oleaje como su velocidad y aceleración.

Para ello, se analizan cuatro años de datos de oleaje (2000-2004) medidos en zona de aguas profundas a más de 35[m] de Caleta Portales, y se obtiene el régimen de temporales. Los datos se propagan con el modelo SWAN.

La ROM 0.0 establece que mientras las actuaciones más pequeñas se pueden verificar con los métodos clásicos de coeficientes de seguridad Global o Parcial (Nivel I), para las acciones de mayor envergadura, recomienda recurrir a métodos probabilísticos de verificación (Nivel II ó momentos estadísticos y técnicas de optimización, y Nivel III ó integración y simulación numérica). En este proyecto se estudia la ocurrencia de las variables aleatorias en forma probabilista, y por lo tanto, se simulan con Técnica Monte Carlo los ciclos de sollicitación durante la vida útil. La interpolación de la simulación en los estados de mar propagados, y finalmente la obtención de olas individuales en la zona de estudio, alimentarán la ecuación de verificación, y dará respuestas sobre la ocurrencia o no del modo de fallo.

Para el desarrollo de la Memoria de Título se ha consultado una serie bibliográfica acorde con el tema propuesto (ANEXO 1). Además, se anexa un apartado con las definiciones necesarias para seguir el procedimiento ROM 0.0 utilizado en esta Memoria (ANEXO 2), los fundamentos teóricos de la ecuación de Morison et al. (1950) (ANEXO 4) para el cálculo de las fuerzas sobre el pilote, y los fundamentos teóricos del modelo de propagación SWAN (ANEXO 5).