

MEMORIA DEL PROYECTO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL OCEÁNICO



FACULTAD DE INGENIERÍA

**“METODOLOGÍA DE CÁLCULO DEL TRANSPORTE DE
SEDIMENTO MEDIANTE ESPECTRO DE OLEAJE EN LA
ZONA DE ROMPIENTE”**

LEONARDO ANDRÉS RODRÍGUEZ ARGANDOÑA

NOVIEMBRE 2012

II APROBACIÓN

METODOLOGÍA DE CÁLCULO DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTO MEDIANTE ESPECTRO DE OLAJE EN LA ZONA DE ROMPIENTE

LEONARDO ANDRÉS RODRÍGUEZ ARGANDOÑA

COMISIÓN EVALUADORA

CALIFICACIÓN

Nota

Firma

Matías Quezada Labra

Profesor Guía

Carlos Cardenas Martínez

Profesor Evaluador 1

José Beyá Marshall

Profesor Evaluador 2

III 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.

Matías Quezada Labra
Profesor Guía

Leonardo Rodríguez Argandoña
Alumno Memorista

IV AGRADECIMIENTOS

V **CONTENIDOS**

1. INTRODUCCIÓN	1-1
2. OBJETIVOS	2-2
2.1 MOTIVACIÓN.....	2-2
2.2 OBJETIVOS GENERALES.....	2-2
2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2-2
3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3-3
3.1 ESPECTRO DE OLEAJE	3-3
3.2 FORMA DEL ESPECTRO Y RANGO DE SATURACIÓN	3-3
3.3 ESPECTRO TMA PARA PROFUNDIDADES REDUCIDAS	3-3
3.4 SATURACIÓN ESPECTRAL.....	3-4
3.4.1 <i>DECAIMIENTO DE LA OLA EN LA ZONA DE ROMPIENTE</i>	3-5
3.5 TRANSFORMACIÓN DEL OLEAJE PRÓXIMO A LA COSTA	3-9
3.5.1 <i>ROTURA DEL OLEAJE</i>	3-9
3.5.2 <i>CRITERIOS DE ROMPIENTE</i>	3-9
3.6 FORMAS DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS	3-10
3.7 CÁLCULO DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS.....	3-13
3.7.1 <i>FÓRMULA BASADA EN EL FLUJO DE ENERGÍA</i>	3-14
3.7.2 <i>FÓRMULA DE BASE EMPÍRICA</i>	3-16
3.7.3 <i>FÓRMULA DE CORRIENTE LITORAL</i>	3-19
3.7.4 <i>DESCOMPOSICIÓN DEL OLEAJE INCIDENTE</i>	3-23
4. METODOLOGÍA DE ESTUDIO	4-24
4.1 DEFINICIÓN DE LA ZONA DE ROMPIENTE.....	4-25
4.1.1 <i>ESTIMACIÓN DE LA ALTURA DE OLEAJE EN ROMPIENTE</i>	4-25
4.2 ESPECTRO EN LA ZONA DE ROMPIENTE	4-25
4.2.1 <i>ALCANCE DEL MODELO STWAVE</i>	4-26
4.2.2 <i>METODOLOGÍA DE TRANSFORMACIÓN DE OLEAJE MODELO STWAVE</i>	4-26
4.2.3 <i>CARACTERIZACIÓN DE LA PENDIENTE DE FONDO Y MODELOS DE PLAYA IDEALIZADA</i>	4-27
4.2.4 <i>BATIMETRÍAS DE MODELACIÓN IDEALIZADA</i>	4-28
4.2.5 <i>ESPECTROS DE OLEAJE</i>	4-29
4.3 TRNASFERENCIA ESPECTRAL	4-31
4.4 EXPANSIÓN DE LAS ECUACIONES DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS	4-32
5. RESULTADOS	5-34
5.1 DEFINICIÓN DE LA ZONA DE ROMPIENTE.....	5-34
5.1.1 <i>ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DEL OLEAJE</i>	5-34
5.1.2 <i>ESTIMACIÓN DE LA ALTURA DE OLEAJE EN ROMPIENTE</i>	5-38
5.2 PROPAGACIÓN DE OLEAJE MODELO STWAVE	5-40
5.3 COEFICIENTES DE AGITACIÓN A 4 METROS DE PROFUNDIDAD	5-41
5.4 EXPANSIÓN DE LAS ECUACIONES DE TRANSPORTE DE SEDIMENTO	5-43
5.4.1 <i>EXPANSIÓN ECUACIÓN DEL CERC</i>	5-43
5.4.2 <i>ECUACIÓN DE KAMPHUIS</i>	5-44
5.4.3 <i>ECUACIÓN DE LEO C. VAN RIJN</i>	5-45
5.5 CÁLCULO DE LA TASA DE TRANSPORTE, ECUACIONES CLÁSICAS.....	5-47
5.6 CÁLCULO DE LA TASA DE TRANSPORTE ECUACIONES INTEGRANDAS	5-49
5.7 COMPARACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS DE CÁLCULO	5-54
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	6-63
6.1 CONCLUSIONES.....	6-63
6.2 RECOMENDACIONES	6-64
7. REFERENCIAS	7-65
8. ANEXOS	8-67

NDICE DE TABLAS

Tabla 4 - 3: Mallas de propagación aguas profundas y reducidas modelo STWAVE	4-26
Tabla 5 - 1: Incidencia conjunta de altura, periodo y dirección de oleaje.	5-35
Tabla 5 - 2: Incidencia Conjunta de Altura y periodo de oleaje.....	5-35
Tabla 5 - 3: Coeficientes de propagación de altura, caso $H_0 = 1 (m)$	5-42
Tabla 5 - 4: Coeficientes de propagación de direcciones, caso $H_0 = 1 (m)$	5-43
Tabla 5 - 5: Tasa anual de transporte de sedimentos, ecuaciones clásicas.....	5-48
Tabla 5 - 6: Tasa anual de transporte de sedimentos, Metodología Espectral.	5-53
Tabla 5 - 7: Transporte Longitudinal de Sedimentos Método Clásico y Espectral CERC	5-55
Tabla 5 - 8: Transporte Longitudinal de Sedimentos Método Clásico y Espectral Kamphuis.....	5-59
Tabla 5 - 9: Transporte Longitudinal de Sedimentos Método Clásico y Espectral Leo van Rijn.	5-61
Figura A 7 - 1: Battjes & Stive profundidad de rotura $H_0 = 1 (m)$ y T_p de 6 a 24 (s).....	8-72
Figura A 7 - 2: Battjes & Stive profundidad de rotura $H_0 = 3 (m)$ y T_p de 6 a 24 (s).....	8-72
Figura A 7 - 3: Battjes & Stive profundidad de rotura $H_0 = 7 (m)$ y T_p de 6 a 24 (s).....	8-73
Figura A 7 - 6: Puerto de Iquique, carta de navegación 1211.	8-76
Figura A 7 - 7: Bahía de Quintero, carta de navegación 4321.....	8-78
Figura A 7 - 8: Bahía de Valparaíso, carta de navegación 5111.	8-80
Figura A 7 - 9: Coeficiente de propagación de altura, caso $H_{m0} = 1 (m)$	8-84
Figura A 7 - 10: Coeficiente de propagación de dirección, caso $H_{m0} = 1 (m)$	8-84
Figura A 7 - 11: Coeficiente de propagación de alturas, caso $H_{m0} = 3 (m)$	8-86
Figura A 7 - 12: Coeficiente de propagación de direcciones, caso $H_{m0} = 3 (m)$	8-86
Figura A 7 - 13: Coeficiente de propagación de alturas, caso $H_{m0} = 7 (m)$	8-88
Figura A 7 - 14: Coeficiente de propagación de direcciones, caso $H_{m0} = 7 (m)$	8-88

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3 - 1: Espectro saturado después de la rompiente	3-7
Figura 3 - 2: Altura de oleaje en modelo de playa de pendiente constante.....	3-8
Figura 3 - 3: Modos de transporte de sedimentos	3-10
Figura 3 - 4: Distribución transversal de la zona de rompiente.	3-11
Figura 3 - 5: Movimiento del sedimento por incidencia del oleaje.....	3-12
Figura 3 - 6: Descomposición del transporte sólido litoral.	3-13
Figura 3 - 7: Perfil de velocidad debido al efecto no lineal de la onda	3-19
Figura 3 - 8: Característica del transporte de sedimento debido al fondo y dirección de la ola....	3-19
Figura 3 - 9: Tiempo medio de la carga de sedimento.	3-21
Figura 3- 10: Relación de ángulos para el cálculo del transporte longitudinal.....	3-23
Figura 4 - 1: Diagrama de flujo, metodología de cálculo de transporte longitudinal.....	4-24
Figura 4 - 2: Cartas náuticas SHOA, 4321; 5111	4-27
Figura 4 - 3: Malla de propagación, modelo playa-dirección Weste.....	4-28
Figura 4 - 4: Espectro de energía de oleaje, TMA.....	4-29
Figura 4 - 5: Energía, frecuencia y dirección espectral, TMA	4-30
Figura 4 - 6: Tránsito espectral.....	4-31
Figura 4 - 7: Espectro de energía multimodal, y parámetros de resumen asociados.	4-33
Figura 5 - 1: Distribución de ocurrencia de altura de oleaje, Valparaíso 2000 al 2004	5-36
Figura 5 - 2: Distribución de ocurrencia de periodo de oleaje, Valparaíso 2000 al 2004	5-37
Figura 5 - 3: Altura de rompiente, Battjes & Stive 1985, $H_0=1, 3$ y $7 (m)$; $T_p= 10$ y $16 (s)$	5-38
Figura 5 - 4: Profundidad de la rotura, $T_p = 10 (s)$	5-39
Figura 5 - 5: Profundidad de la rotura, $T_p = 16 (s)$	5-39
Figura 5 - 6: Malla de propagación NW, modelo playa.....	5-40

Figura 5 - 7: Malla de propagación W, modelo playa.	5-40
Figura 5 - 8: Malla de propagación Sur Weste, modelo playa.	5-41
Figura 5 - 9: Coeficiente de agitación para $H_{m0}=1$ m, Playa de pendiente constante.	5-41
Figura 5 - 10: Variación direccional de oleaje para $H_{m0}=1$ m, playa de pendiente constante.	5-42
Figura 5 - 11: Comparación tasa de transporte longitudinal, ecuaciones clásicas.	5-48
Figura 5 - 12: Panel superior, espectro de energía de oleaje (22/01/2000 21:00)	5-50
Figura 5 - 13: Panel superior, espectro de energía de oleaje (13/06/2000 15:00)	5-51
Figura 5 - 14: Comparación tasa de transporte longitudinal, metodología espectral	5-54
Figura 5 - 15: Comparación transporte longitudinal clásico, espectral Bailard (K_1).....	5-56
Figura 5 - 16: Comparación transporte longitudinal clásico, espectral Losada y Medina (K_2).....	5-57
Figura 5 - 17: Comparación transporte longitudinal clásico, espectral Korman & Inman (α_3).....	5-58
Figura 5 - 18: Comparación transporte longitudinal clásico, Kamphuis.....	5-60
Figura 5 - 19: Comparación transporte longitudinal clásico, espectral Leo van Rijn.....	5-62
Figura A 7 - 1: Battjes & Stive profundidad de rotura $H_0= 1$ (m) y T_p de 6 a 24 (s).....	8-72
Figura A 7 - 2: Battjes & Stive profundidad de rotura $H_0= 3$ (m) y T_p de 6 a 24 (s).....	8-72
Figura A 7 - 3: Battjes & Stive profundidad de rotura $H_0= 7$ (m) y T_p de 6 a 24 (s).....	8-73
Figura A 7 - 6: Puerto de Iquique, carta de navegación 1211.....	8-76
Figura A 7 - 7: Bahía de Quintero, carta de navegación 4321.....	8-78
Figura A 7 - 8: Bahía de Valparaíso, carta de navegación 5111.....	8-80
Figura A 7 - 9: Coeficiente de propagación de altura, caso $H_0= 1$ (m).	8-84
Figura A 7 - 10: Coeficiente de propagación de dirección, caso $H_0= 1$ (m).	8-84
Figura A 7 - 11: Coeficiente de propagación de alturas, caso $H_0= 3$ (m).	8-86
Figura A 7 - 12: Coeficiente de propagación de direcciones, caso $H_0= 3$ (m).	8-86
Figura A 7 - 13: Coeficiente de propagación de alturas, caso $H_0= 7$ (m).	8-88
Figura A 7 - 14: Coeficiente de propagación de direcciones, caso $H_0= 7$ (m).	8-88

VI RESUMEN

En este proyecto de título se busca desarrollar una metodología de cálculo para el transporte longitudinal de sedimentos en la zona de rompiente, para ello se utilizó espectros de energía de oleaje y criterios de saturación espectral en aguas reducidas, con la finalidad de cuantificar la tasa de transporte de sedimento, aplicando condiciones espectrales a las ecuaciones clásicas de gabinete y expandiendo las formulaciones de transporte, representadas como $Q_t=f(s(\theta,f))$ y de esta forma hacerlas compatibles con los espectros de oleaje en la zona de rompiente.

Finalmente se presentan las comparaciones de las tasas de transporte de sedimentos utilizando las ecuaciones tradicionales de gabinete en base a parámetros de resumen de oleaje, y características batimétricas experimentales (lineales) versus la tasa de transporte de sedimento utilizando los espectros de oleaje y la expansión de las ecuaciones clásicas de transporte longitudinal representadas en función de la frecuencia y la dirección, evaluadas en la zona de rompiente.