



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Memoria del proyecto para optar al Título de

Ingeniero Civil Oceánico

**ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL MECANISMO DE GENERACIÓN DE ONDAS  
INFRAGRAVITATORIAS EN UNA PLAYA CON PERFIL CON BARRA**

Eduardo Alejandro González Pacheco

Abril 2012

## APROBACIÓN

### **ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL MECANISMO DE GENERACIÓN DE ONDAS INFRAGRAVITATORIAS EN UNA PLAYA CON PERFIL CON BARRA.**

Eduardo Alejandro González Pacheco

**COMISIÓN REVISORA**

**NOTA**

**FIRMA**

RODRIGO CIENFUEGOS  
CARRASCO

Profesor guía

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

MAURICIO MOLINA PEREIRA

Docente

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

CATALINA AGUIRRE GALAZ

Docente

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## **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 utilizarla con fines exclusivamente académicos.

---

Eduardo González Pacheco

Alumno

---

Rodrigo Cienfuegos Carrasco

Profesor Guía

*Quisiera expresar mi más sincero agradecimiento a:*

*Mi familia por el apoyo incondicional que me ha demostrado,  
por entregarme cariño y aceptarme con mis defectos y virtudes.*

*Mi bebe "Agustiny" por ser el motor de mi vida,  
por alegrar cada instante con tus travesuras y cariños,  
eres y serás el pilar fundamental de mi vida.*

*Rodrigo Cienfuegos por su ayuda y dedicación desinteresada,  
y en nombre de él a la Pontificia Universidad Católica de Chile  
especialmente al Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental,  
quienes me acogieron como un alumno más.*

*El Instituto Nacional de Hidráulica por proporcionarme sus instalaciones  
y equipamiento técnico necesario para realización  
de las experimentaciones físicas utilizadas en esta memoria.*

*A mis amigos de vida, aulas, canchas y agua,  
gracias por apoyo y los momentos de alegría,  
me siento muy afortunado por elegirlos como integrantes de mi familia.*

**Eduardo González Pacheco**

*No permitas que nadie diga que eres incapaz de hacer algo...  
Si tienes un sueño, debes conservarlo...  
Si quieres algo, sal a buscarlo. Y punto.*

*Will Smith.*

# ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTO TEÓRICO</b>	<b>2</b>
2.1	CLASIFICACIÓN DE LAS ONDAS	2
2.2	ONDAS INFRAGRAVITATORIAS	4
2.3	GRUPO DE OLAS	6
2.4	TENSOR DE RADIACIÓN	9
2.4.1	VARIACIÓN DEL NIVEL MEDIO DEL MAR	13
<b>3</b>	<b>OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS</b>	<b>18</b>
<b>4</b>	<b>METODOLOGÍA</b>	<b>19</b>
4.1	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	19
4.2	EQUIPAMIENTO EXPERIMENTAL	21
4.2.1	CANAL DE OLAS	21
4.2.2	PALETA GENERADORA DE OLEAJE	22
4.2.3	UNIDAD DE CONTROL	22
4.2.4	SONDAS RESISTIVAS	23
4.3	MODELO NUMÉRICO	23
4.3.1	DESCRIPCIÓN SERR-1D	24
4.4	TECNICAS DE ANÁLISIS	27
4.4.1	DOMINIO DEL TIEMPO	27
4.4.2	DOMINIO DE LA FRECUENCIA	30
4.4.3	MODOS PROPIOS	31
<b>5</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>34</b>
5.1	VALIDACIÓN EXPERIMENTAL	34
5.1.1	ESPECTRO FORZANTE	34
5.1.2	REPETIVIDAD NIVEL BAJO	35
5.1.3	REPETIVIDAD NIVEL ALTO	37
5.1.4	COMPARACIÓN MODELACIÓN NUMÉRICA CON SERIES EXPERIMENTALES	38
5.2	PROPAGACIÓN DE OLEAJE A LO LARGO DEL CANAL	41

5.2.1	NIVEL ALTO DE REFERENCIA .....	42
5.2.2	NIVEL BAJO DE REFERENCIA .....	44
5.2.3	ANÁLISIS AMBOS NIVELES REFERENCIA.....	45
5.3	DETERMINACIÓN DE LOS MODOS PROPIOS.....	46
5.4	HISTOGRAMAS.....	48
5.5	ANÁLISIS ESPECTRAL.....	50
5.5.1	NIVEL ALTO DE REFERENCIA .....	50
5.5.2	NIVEL BAJO DE REFERENCIA .....	51
5.5.3	VARIACIÓN ESPECTRAL DE LA BANDA INFRAGRAVITATORIA .....	53
5.6	ALTURA DE LA OLA INFRAGRAVITATORIA.....	56
5.7	CORRELACIONES CRUZADAS.....	58
5.7.1	ANÁLISIS DE CORRELACIONES.....	60
5.7.2	PROPAGACIÓN DE LA ONDA INFRAGRAVITATORIA.....	62
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>65</b>
<b>7</b>	<b>GLOSARIO.....</b>	<b>67</b>
<b>9</b>	<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>69</b>
<b>10</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>73</b>
10.1	GRÁFICOS .....	73
10.1.1	VALIDACIÓN EXPERIMENTAL.....	73
10.1.2	NIVEL BAJO DE REFERENCIA .....	73
10.1.3	NIVEL ALTO DE REFERENCIA .....	82
10.1.4	PROPAGACIÓN DE OLEAJE.....	92
10.2	TABLAS.....	96
10.2.1	VALIDACIÓN EXPERIMENTAL, NIVEL BAJO.....	96
10.2.2	VALIDACIÓN EXPERIMENTAL, NIVEL ALTO.....	99

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de las ondas (Johnson, Johnson, Mansard, & Ploeg, 1978) .....	3
Tabla 2: Valores espectrales infragravitatorios para obtención de la amplitud.....	54
Tabla 3: Repeticiones nivel bajo.....	96
Tabla 4: Repetividad nivel alto .....	96
Tabla 5: Correlaciones del repeticiones del punto de control para el nivel bajo .....	97
Tabla 6: Correlaciones para repeticiones en ubicación $x=22$ [m].....	97
Tabla 7: Correlaciones para repeticiones en ubicación $x=30.75$ [m] .....	97
Tabla 8: Correlaciones para repeticiones en ubicación $x=31.75$ [m] .....	98
Tabla 9: Correlaciones para repeticiones en ubicación $x=36$ [m].....	98
Tabla 10: Correlaciones para repeticiones en ubicación $x=41.5$ [m].....	98
Tabla 11: Correlaciones de las repeticiones del punto de control para el nivel alto .....	99
Tabla 12: Correlaciones para repeticiones en ubicación $x=17$ [m].....	99

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Frecuencias características asociadas a las ondas (Holthuijsen, 2007) .....	2
Figura 2: Grupo de olas (Holthuijsen, 2007) .....	6
Figura 3: Derivación del tensor de radiación (Holthuijsen, 2007) .....	9
Figura 4: Balance de momentum (Holthuijsen, 2007) .....	11
Figura 5: Gradientes del tensor de radiación, (Holthuijsen, 2007) .....	13
Figura 6: Balance de los gradientes de presión y tensor de radiación, (Holthuijsen, 2007)...	14
Figura 7: Variaciones del nivel medio del mar, (Holthuijsen, 2007).....	16
Figura 8: Generación de oleaje experimental, (Liu & Frigaard, 2001) .....	20
Figura 9: Diagrama experimental para ambos niveles de referencia .....	21
Figura 10: Paleta generadora de oleaje.....	22
Figura 11: Sondas resistivas .....	23
Figura 12: Esquema de rotura y definición de variables, (Cienfuegos & Mignot, 2009) .....	25
Figura 13: Zero-downcrossing, (Liu & Frigaard, 2001).....	28
Figura 14: Histogramas, (Liu & Frigaard, 2001).....	29
Figura 15: Componentes armónicos, (Holthuijsen, 2007). .....	30
Figura 16: Comparación de espectro generado versus el espectro teórico, (elaboración propia).....	35
Figura 17: Repetividad de señal nivel bajo $x=0$ [m], (elaboración propia) .....	36
Figura 18: Sensibilidad modelo numérico para el nivel bajo, (elaboración propia).....	39
Figura 19: Sensibilidad modelo numérico para el nivel alto, (elaboración propia).....	41
Figura 20: Propagación de olas a lo largo del canal nivel alto, (elaboración propia). .....	43
Figura 21: Propagación de olas a lo largo del canal nivel bajo, (elaboración propia). .....	44
Figura 23: Altura significativa a lo largo del canal, (elaboración propia).....	46
Figura 23: Modos propios asociados a su onda característica nivel alto, (elaboración propia) .....	47
Figura 24: Modos propios asociados a su onda característica nivel bajo, (elaboración propia). .....	47

Figura 25: Histogramas nivel bajo de referencia, (elaboración propia). .....	48
Figura 26: Histogramas nivel alto de referencia, (elaboración propia) .....	49
Figura 27: Análisis espectral nivel alto, (elaboración propia). .....	51
Figura 28: Análisis espectral nivel bajo, (elaboración propia). .....	52
Figura 29: Ancho de banda infragravitatoria, (elaboración propia).....	53
Figura 30: Ondas asociadas a los modos propios nivel alto, (elaboración propia).....	55
Figura 31: Ondas asociadas a los modos propios nivel bajo, (elaboración propia). .....	56
Figura 32: Alturas Hrms infragravitatorias, (elaboración propia). .....	57
Figura 33: Factor de agrupamiento vs Hrms, (elaboración propia). .....	58
Figura 34 : Envoltente de señal, (elaboración propia).....	59
Figura 35: Correlación entre la envoltente de la señal y las ondas infragravitatorias en cada posición para los resultados experimentales y modelo numérico para el nivel alto, (elaboración propia). .....	60
Figura 36: Correlación entre la envoltente de la señal y las ondas infragravitatorias en cada posición para los resultados experimentales y modelo numérico para el nivel bajo, (elaboración propia). .....	61
Figura 37: Correlación entre la envoltente de la señal en la ubicación inicial y las ondas infragravitatorias en cada posición para los resultados experimentales y modelo numérico Nivel alto, (elaboración propia).....	63
Figura 38: Correlación entre la envoltente de la señal en la ubicación inicial y las ondas infragravitatorias en cada posición para los resultados experimentales y modelo numérico Nivel bajo, (elaboración propia). .....	64
Figura 39: Modelo numérico combinación 25[°] y offset -0.1 [mm] Nb, (elaboración propia). 74	
Figura 40: Modelo numérico combinación 25[°] y offset -0.5 [mm] Nb, (elaboración propia). 75	
Figura 41: Modelo numérico combinación 28[°] y offset -0.1 [mm] Nb, (elaboración propia). 76	
Figura 42: Modelo numérico combinación 28[°] y offset -0.5 [mm] Nb, (elaboración propia). 77	
Figura 43: Modelo numérico combinación 28[°] y offset -1 [mm] Nb, (elaboración propia)... 78	
Figura 44: Modelo numérico combinación 29[°] y offset -0.1 [mm] Nb, (elaboración propia). 79	
Figura 45: Modelo numérico combinación 29[°] y offset -0.5 [mm] Nb, (elaboración propia). 80	
Figura 46 : Modelo numérico combinación 29[°] y offset -1 [mm] Nb, (elaboración propia)... 81	
Figura 47: Modelo numérico combinación 25[°] y offset -0.1 [mm] Na, (elaboración propia). 83	
Figura 48: Modelo numérico combinación 25[°] y offset -0.5 [mm] Na, (elaboración propia). 84	

Figura 49: Modelo numérico combinación 25[°] y offset -1 [mm] Na, (elaboración propia)....	85
Figura 50: Modelo numérico combinación 28[°] y offset -0.1 [mm] Na, (elaboración propia).	86
Figura 51: Modelo numérico combinación 28[°] y offset -0.5 [m] Na, (elaboración propia)....	87
Figura 52: Modelo numérico combinación 28[°] y offset -1 [mm] Na, (elaboración propia)....	88
Figura 53: Modelo numérico combinación 29[°] y offset -0.5 [mm] Na, (elaboración propia).	89
Figura 54: Modelo numérico combinación 29[°] y offset -1 [mm] Na, (elaboración propia)....	90
Figura 55: Sensibilidad modelo numérico para el nivel bajo para diferentes ángulos, (elaboración propia). .....	91
Figura 56: Sensibilidad modelo numérico para el nivel alto para diferentes ángulos, (elaboración propia). .....	91
Figura 57: Periodos nivel alto, (elaboración propia).....	92
Figura 58: Alturas nivel alto, (elaboración propia).....	93
Figura 59: Periodos nivel bajo, (elaboración propia).....	94
Figura 60: Alturas nivel bajo, (elaboración propia).....	95

## **RESUMEN**

Las ondas infragravitatorias son generadas de forma natural producto de procesos de propagación y rotura de grupos de olas. Estas ondas son capaces de penetrar dársenas y regiones semicerradas generando problemas de resonancia, además de incidir importantemente en el transporte de sedimentos y la morfología de las playas.

Para estimar este tipo de ondas de baja frecuencia, se realizó un estudio experimental en el canal de olas del Instituto Nacional de Hidráulica en dos niveles de referencia considerando una batimetría cuya característica principal es la presencia de una barra longitudinal. Este análisis será contrastado con los valores entregados por el modelo numérico SERR-1D.

Los resultados proporcionados por este estudio indican la liberación de la onda asociada al grupo de olas incidentes (Bound Wave) producto de la rotura, lo que genera una onda infragravitatoria que viaja a la velocidad del grupo. A medida que se acerca la onda infragravitatoria a sectores de menor profundidad, comienza a ganar relevancia, tendiendo a converger con el bore, para posteriormente ser reflejada en la línea de costa. Cabe mencionar que una fracción de la onda Infragravitatoria es reflejada por la acción de la barra.

Esta generación está directamente relacionada con la profundidad local, observándose que para el nivel bajo las ondas de alta frecuencia del grupo son destruidas por efectos de la rotura del oleaje en la zona de la barra. En cambio, para el nivel alto, las ondas asociadas al grupo de olas persisten después de la barra, conteniendo la onda forzada una mayor cantidad de tiempo, para luego romper en sectores de menor profundidad, liberando la onda infragravitatoria.