



Estudio del sobrepaso utilizando generación de oleaje de segundo orden en canales 2D

André Alvarado C.

Profesor guía: Patricio Winckler G.

Fecha: 5 de enero de 2026



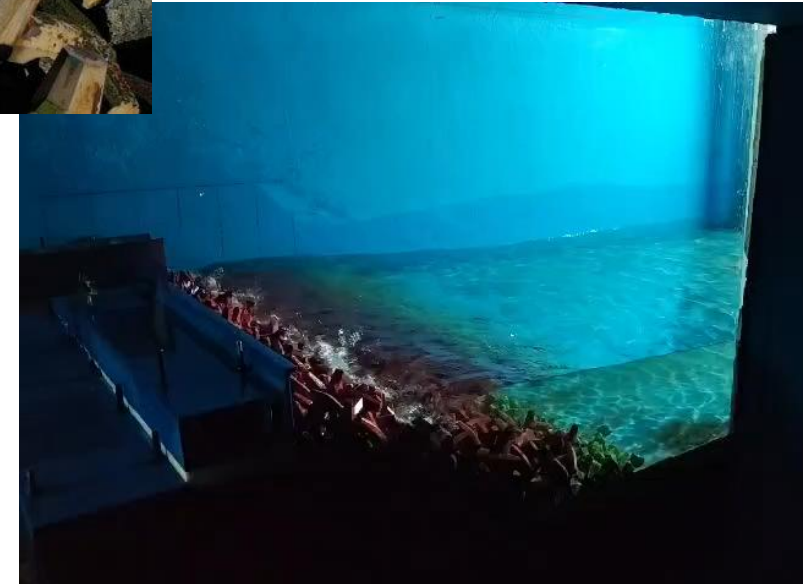
Introducción

El objetivo del modelo es predecir con exactitud el sobrepaso para prevenir inundaciones y daños.

Comúnmente se usa generación de oleaje de primer orden (lineal).



Av. Perú.



Objetivos

Objetivo General

Definir los criterios para el uso de generación de oleaje de segundo orden para optimizar la precisión en mediciones de sobrepaso.

Objetivos Específicos

- **Comparar** datos de sobrepaso entre generación de 1er y 2do orden bajo condiciones controladas.
- **Cuantificar** la sobreestimación del sobrepaso en función de variables del oleaje.
- **Aislar** la energía incidente real mediante separación espectral para garantizar la fiabilidad de los datos, eliminando la contaminación por reflexión.



Alcances y limitaciones



Canal de olas 2D del Instituto Nacional de Hidráulica.

Tipos de
Generación
de oleaje

Repeticiones

$$4 \times 3 \times 10 = 120$$

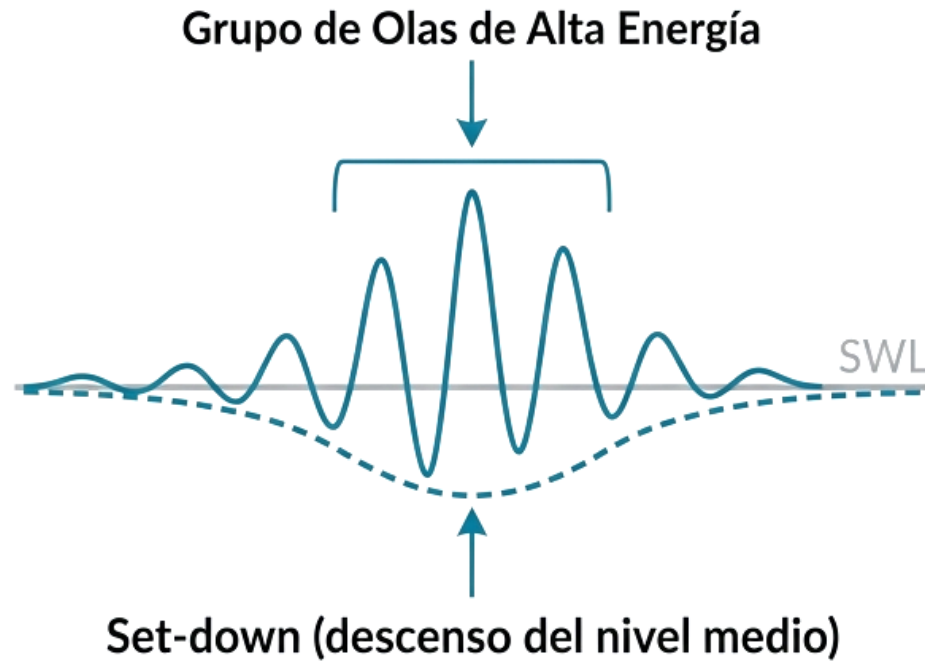
T_p

Ensayos

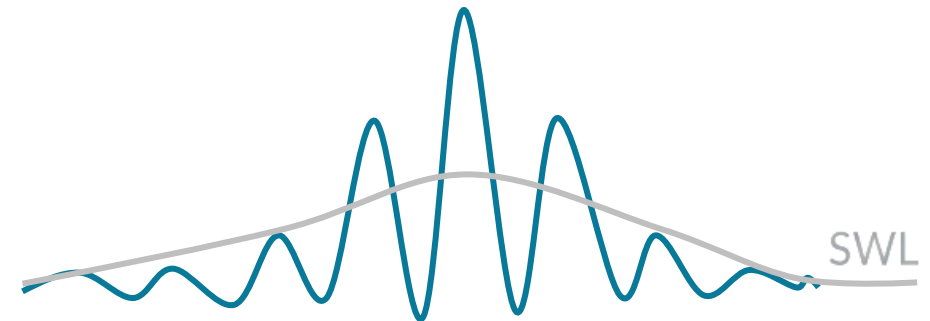
$$120 \times 30 \text{ min} = 3600 \text{ min} = 60 \text{ horas}$$

Marco Teórico 1er y 2do orden

Realidad / 2do Orden



1er Orden (lineal)



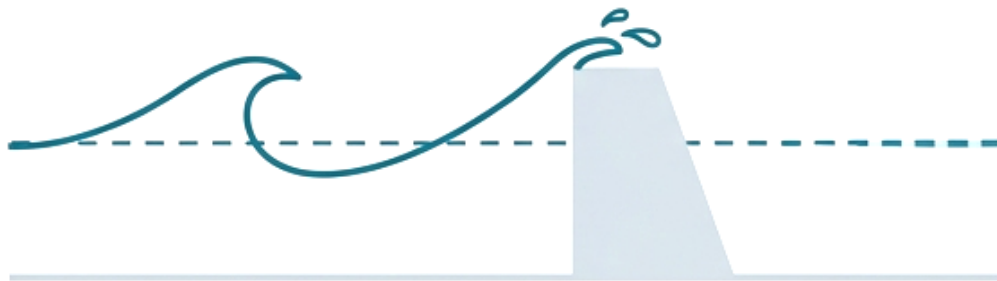
- En la naturaleza, los **grupos de olas altas** generan una **fuerza de compresión interna** (conocida como "radiation stress").
- Para equilibrar esta fuerza, el **nivel medio** del agua desciende debajo del grupo de olas.
- Este fenómeno es el "**set-down**", un efecto **no lineal** fundamental de segundo orden.

Marco Teórico 1er y 2do orden

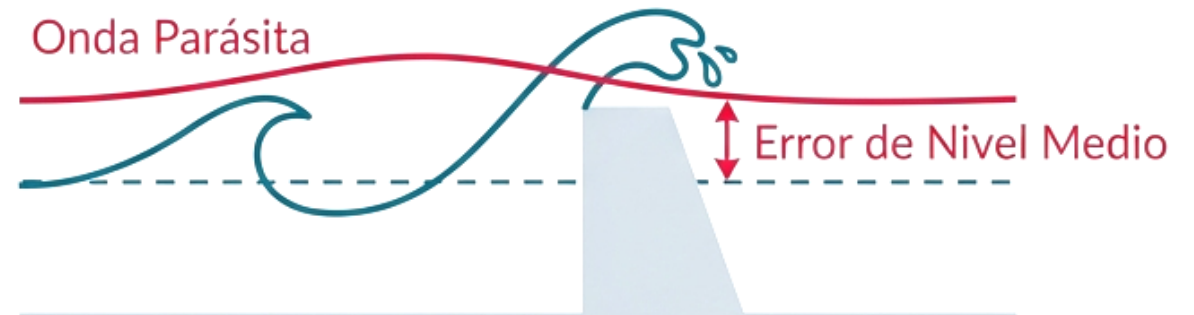
Las ondas parásitas, al reflejarse en el canal, elevan artificialmente el nivel medio del agua frente a la estructura que se está ensayando.

El resultado es una sobreestimación significativa del caudal de sobrepaso. El modelo mide un volumen de agua que supera la defensa que es irreal.

Realidad



Modelo Lineal



Marco Teórico

Trabajos anteriores

COMPARACIÓN DEL SOBREPASO DEL OLEAJE EN CANALES EXPERIMENTALES, UTILIZANDO TEORÍAS DE GENERACIÓN DE OLEAJE DE 1^{er} Y 2^{do} ORDEN. CASO DE ANÁLISIS: AV. PERÚ, VIÑA DEL MAR, CHILE, EN CANAL BIDIMENSIONAL DEL INSTITUTO NACIONAL DE HIDRÁULICA (CHILE).

IGNACIO BEYÁ M.¹

RESUMEN

En algunos estudios en modelación física, la generación de oleaje irregular utilizando teoría de 1er orden es suficientemente apropiada. Sin embargo, otros estudios requieren que la conformación de las olas sea más precisa, dando paso a la utilización de teorías de generación de 2do orden. Estos efectos de 2do orden pueden jugar un rol importante en la respuesta de estos modelos físicos (Hughes, 1993).

Este estudio analiza las diferencias que se generan al utilizar teorías de generación de oleaje de 1er y 2do orden, específicamente sobre los espectros de oleaje y el caudal de sobrepaso en el modelo físico de Av. Perú en Viña del Mar, desarrollado en el Instituto Nacional de Hidráulica (INH).

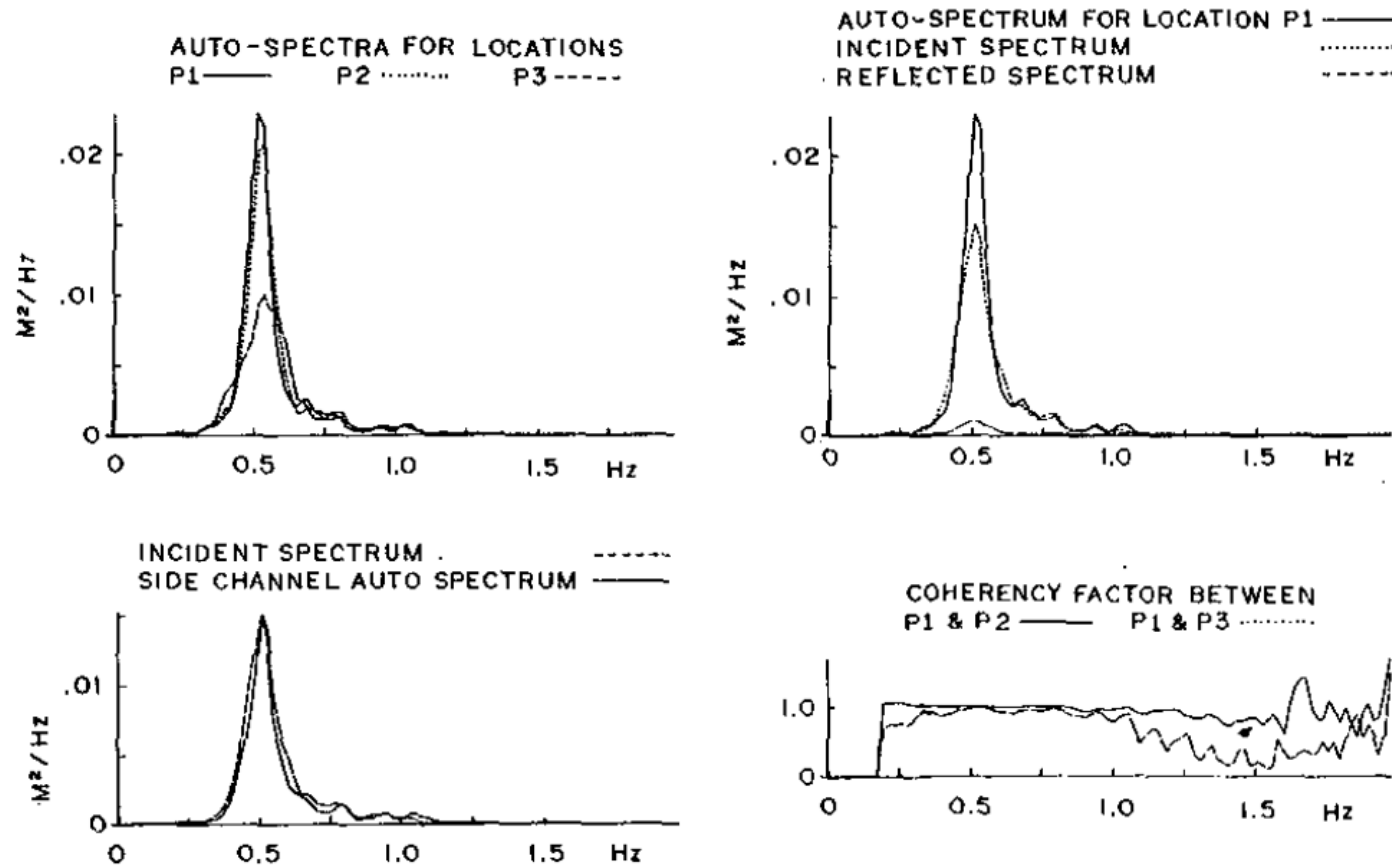
Las diferencias más importantes entre los resultados obtenidos al generar oleaje de 1er orden, respecto a los obtenidos utilizando teoría de 2do orden son: 1) la presencia de picos de energía espectral del oleaje de baja frecuencia, el cual se vuelve más evidente en los registros de las sondas de oleaje ubicadas en aguas más someras, y 2) la sobreestimación del caudal de sobrepaso medio en hasta un 90% aproximadamente para los casos en que las componentes sub-armónicas del oleaje fueron generadas usando teoría de 1er orden.

Sub-armónicos:
componentes de baja frecuencia de un espectro de oleaje.

Super-armónicos:
componentes de alta frecuencia de un espectro de oleaje.

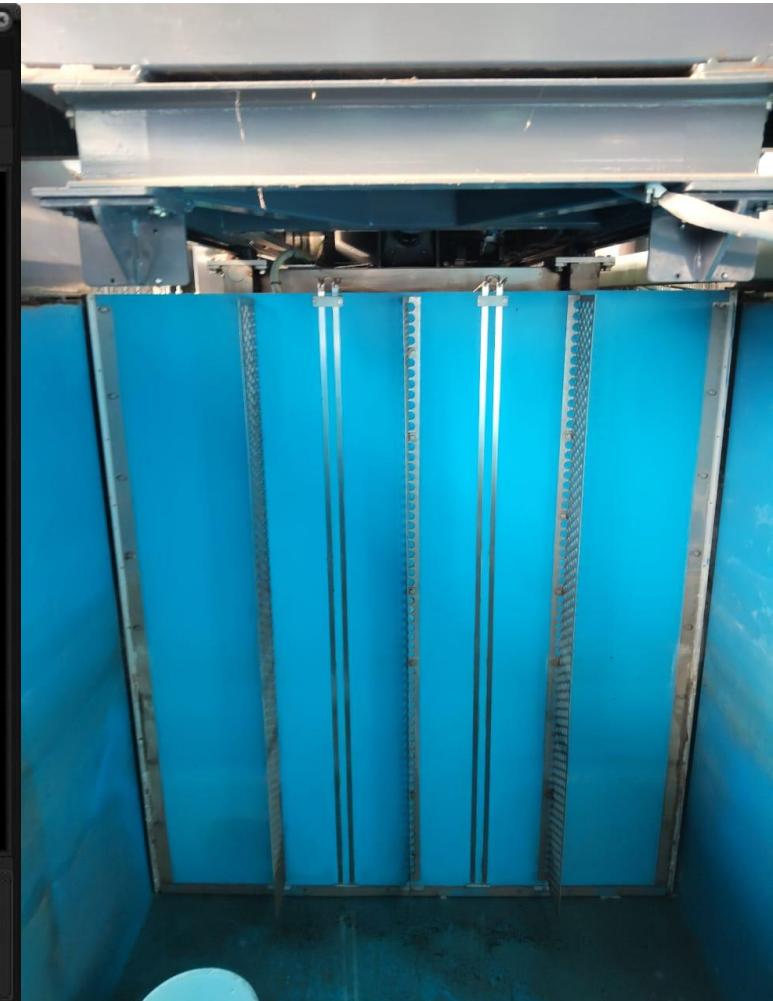
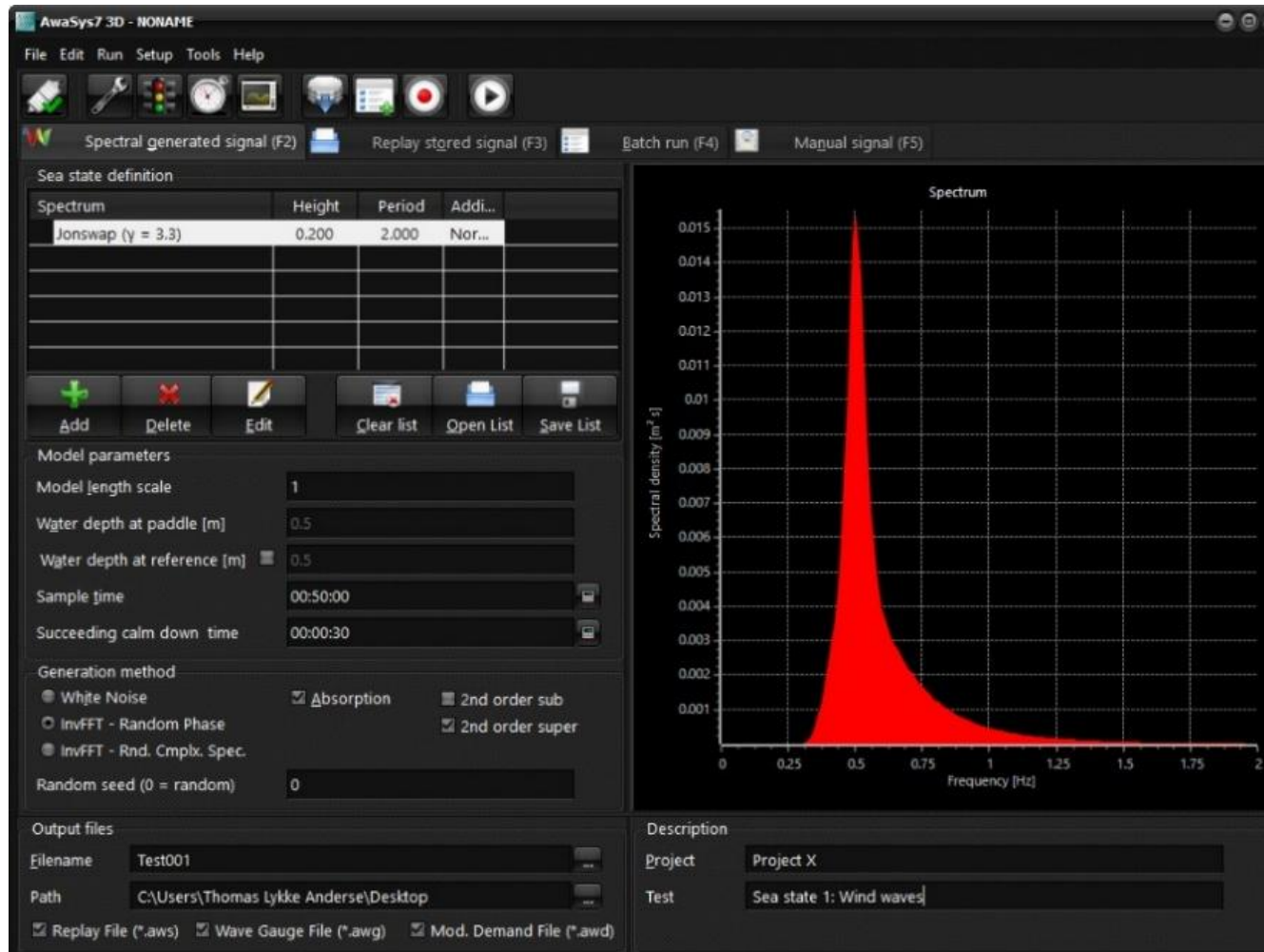
Marco Teórico

Separación de espectros incidentes y reflejados



Metodología

Paleta generadora de Oleaje



Metodología

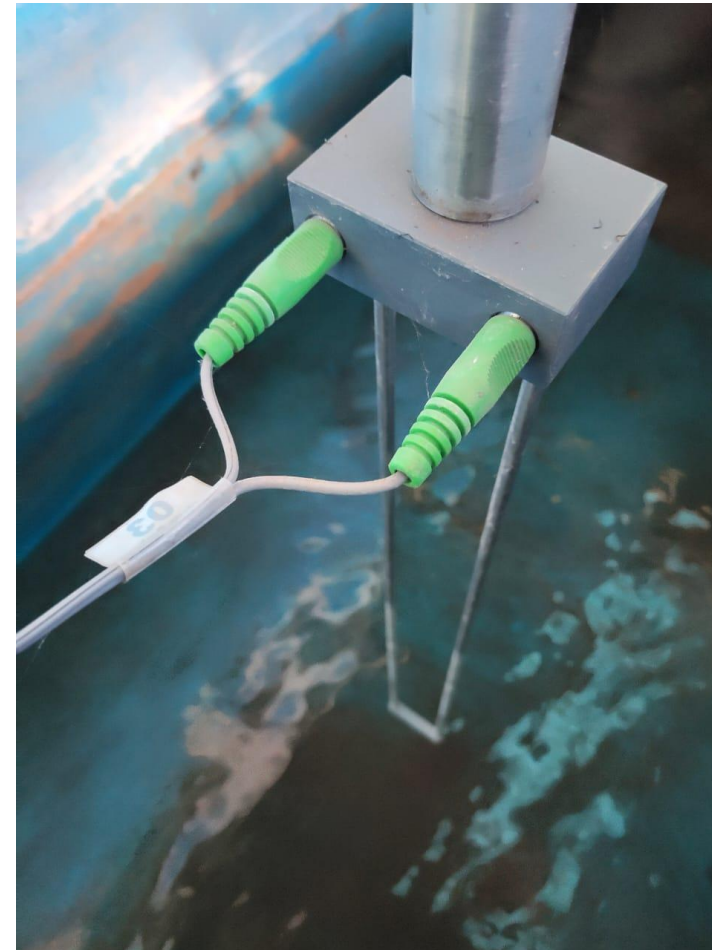


Cajón de sobrepaso

Metodología



Limnómetro



Sonda resistora

Metodología



1. Número de Repeticiones

¿Cuántas pruebas son necesarias para que el promedio y la desviación típica converjan?



2. Duración del Ensayo

¿Cuántas olas se requieren para que el caudal de sobrepaso se estabilice?

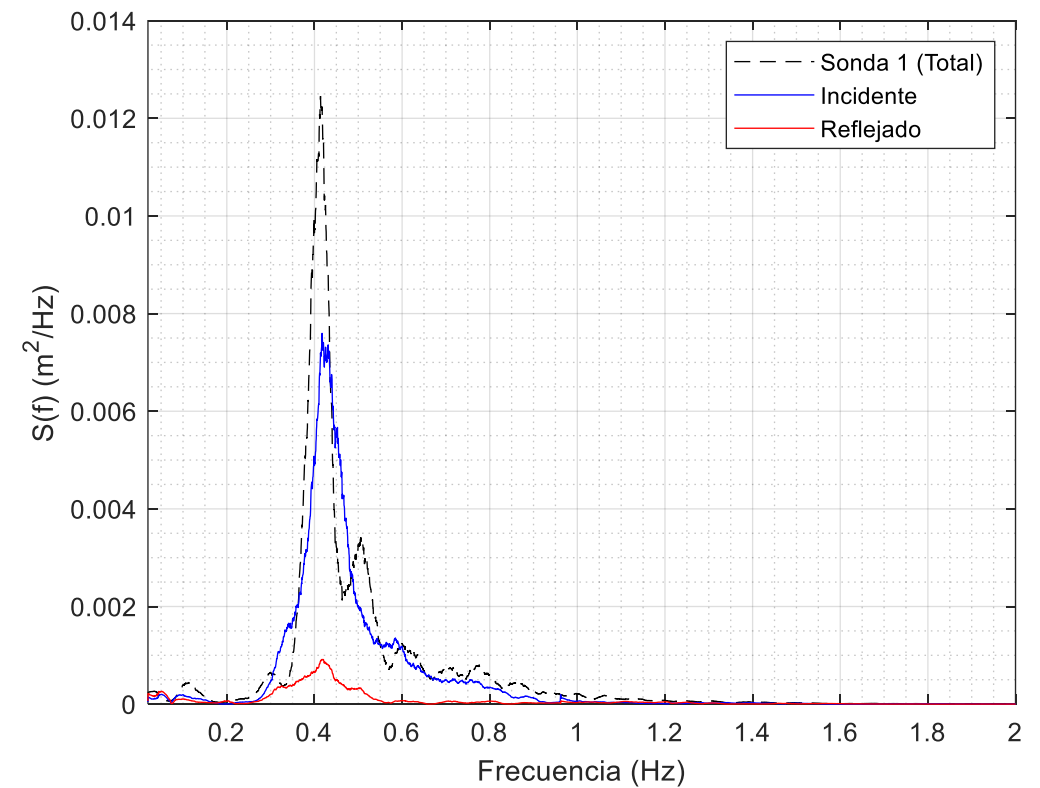
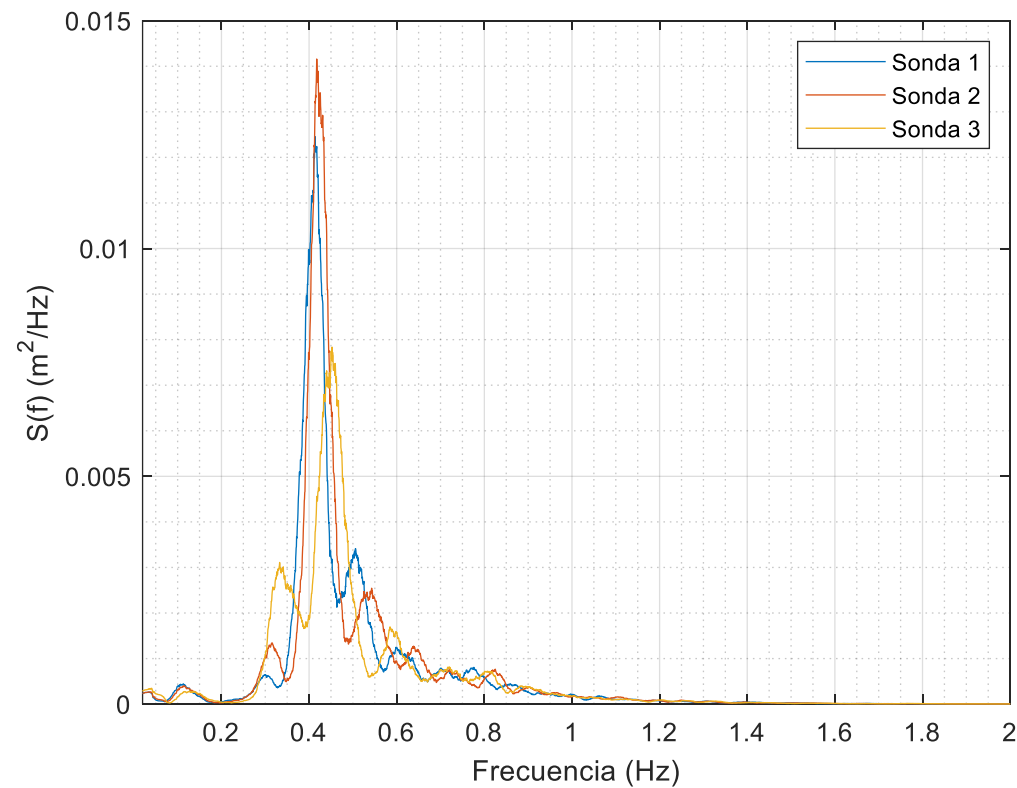


3. Tipo de Semilla

¿Debe la secuencia de olas ser idéntica (fija) o variable (aleatoria) para ser representativa?

Resultados

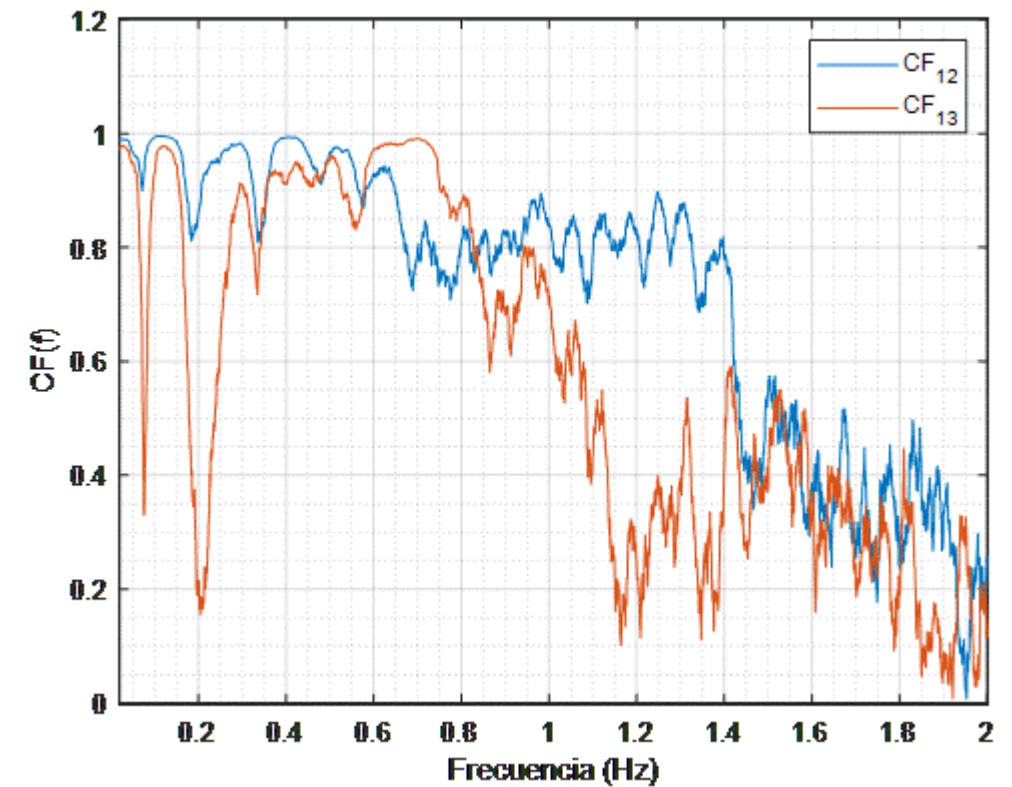
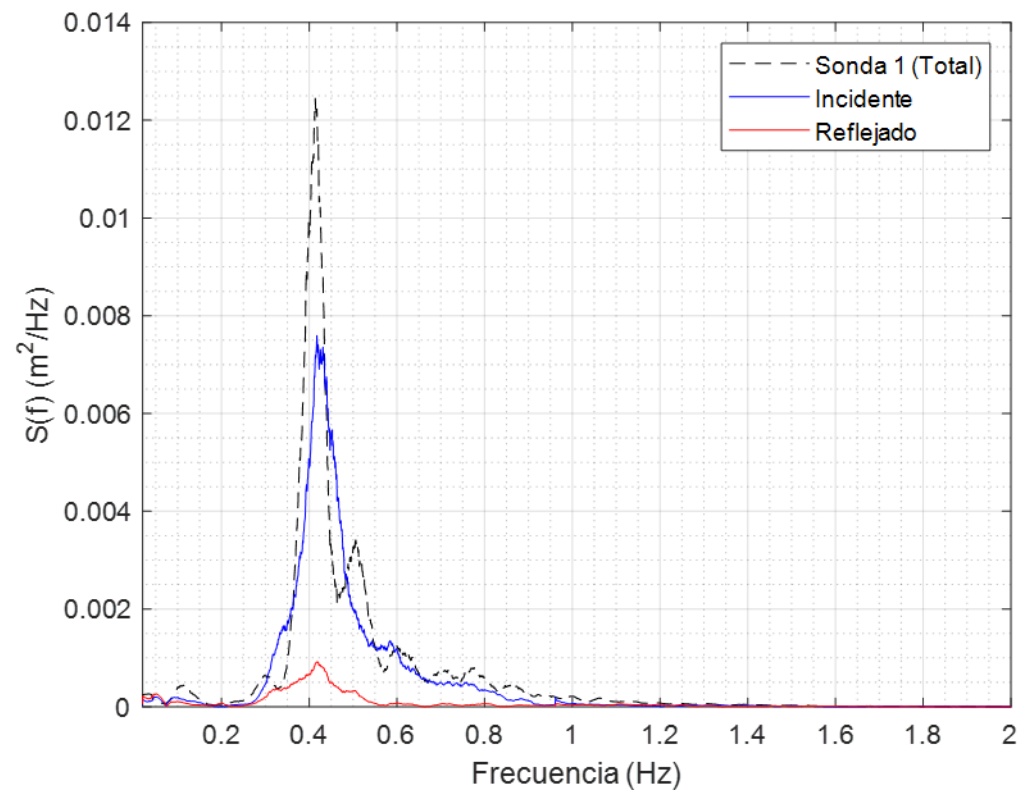
Separación espectral de oleaje incidente y reflejado



Resultados

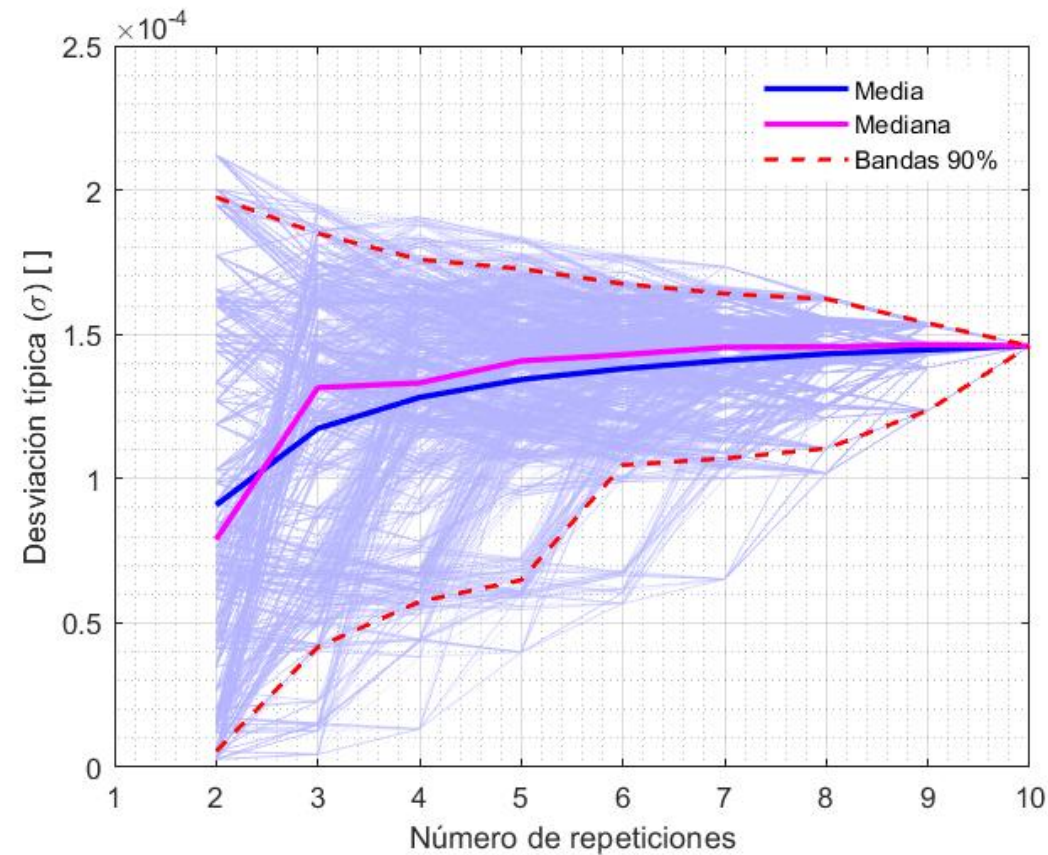
Separación espectral de oleaje incidente y reflejado

Factor de Coherencia



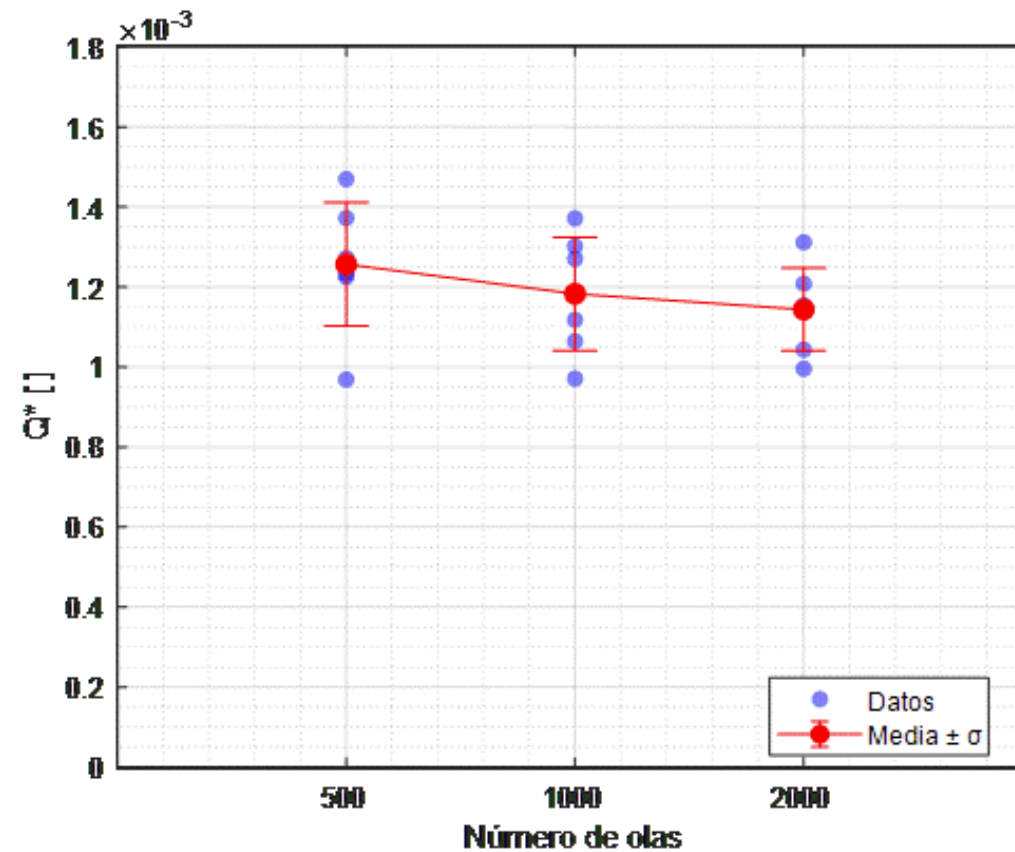
Resultados

Número de repeticiones



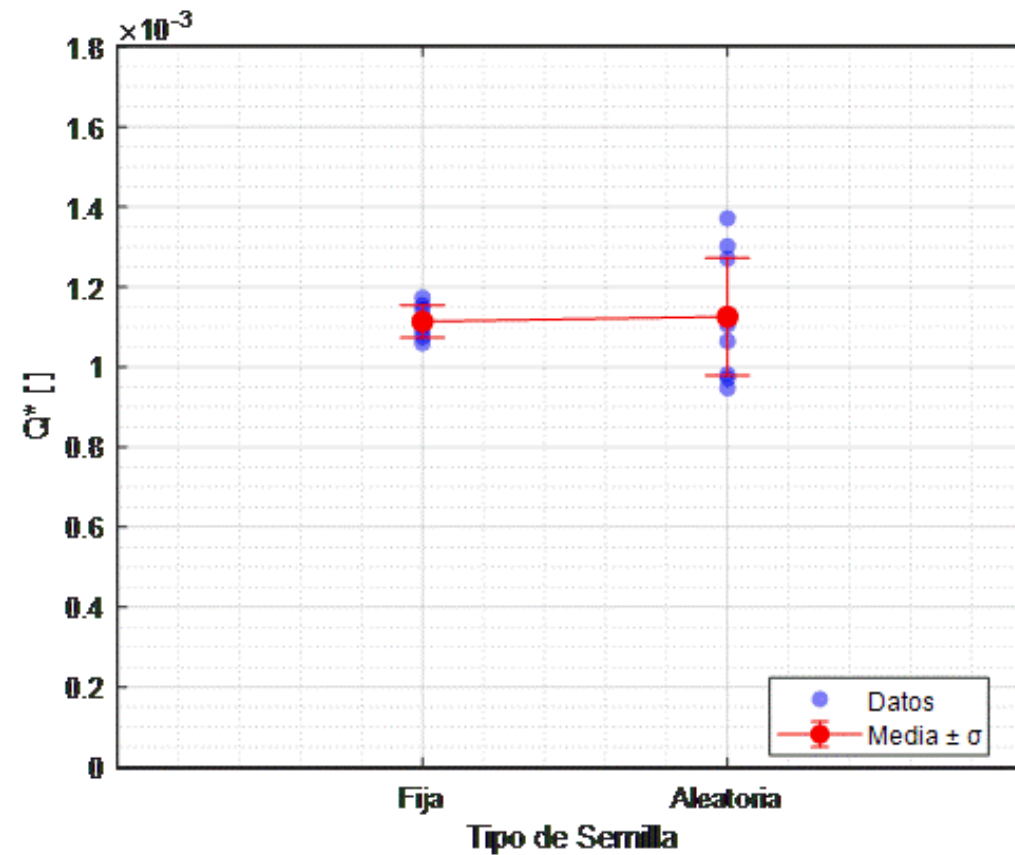
Resultados

Número de olas (duración)



Resultados

Tipo de semilla



Resultados

Tipo de generación de oleaje

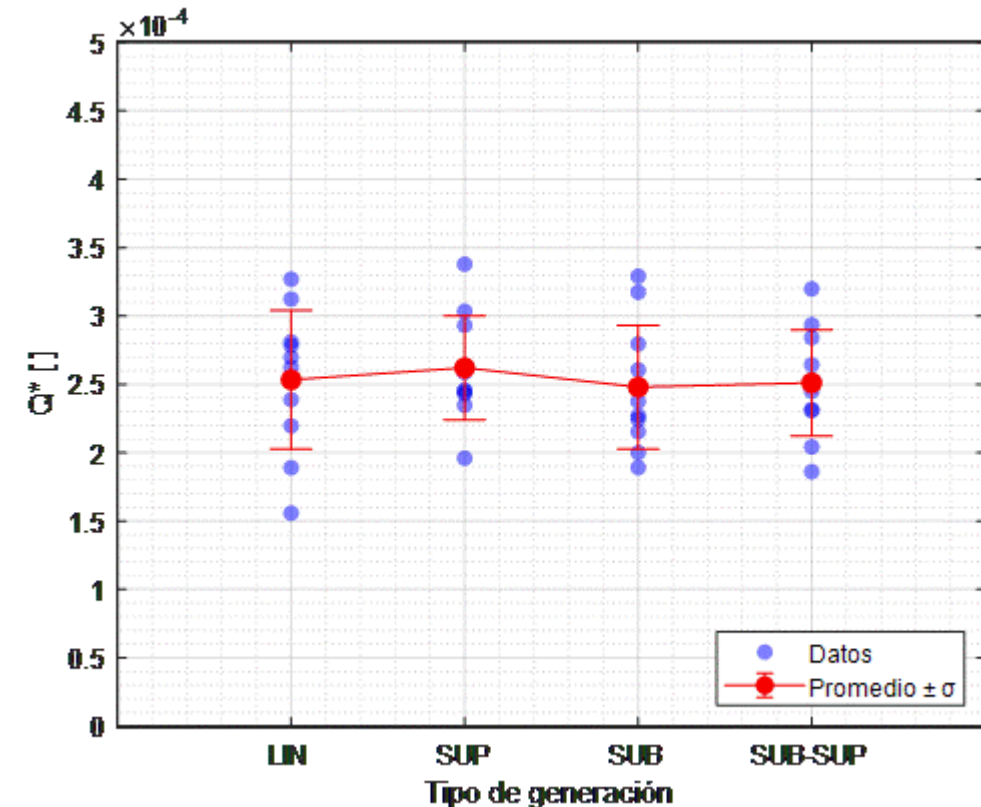
LIN: Lineal (Primer Orden)

SUP: Segundo Orden sólo en Super-armónicos

SUB: Segundo Orden sólo en Sub-armónicos

SUB-SUP: Segundo Orden completo

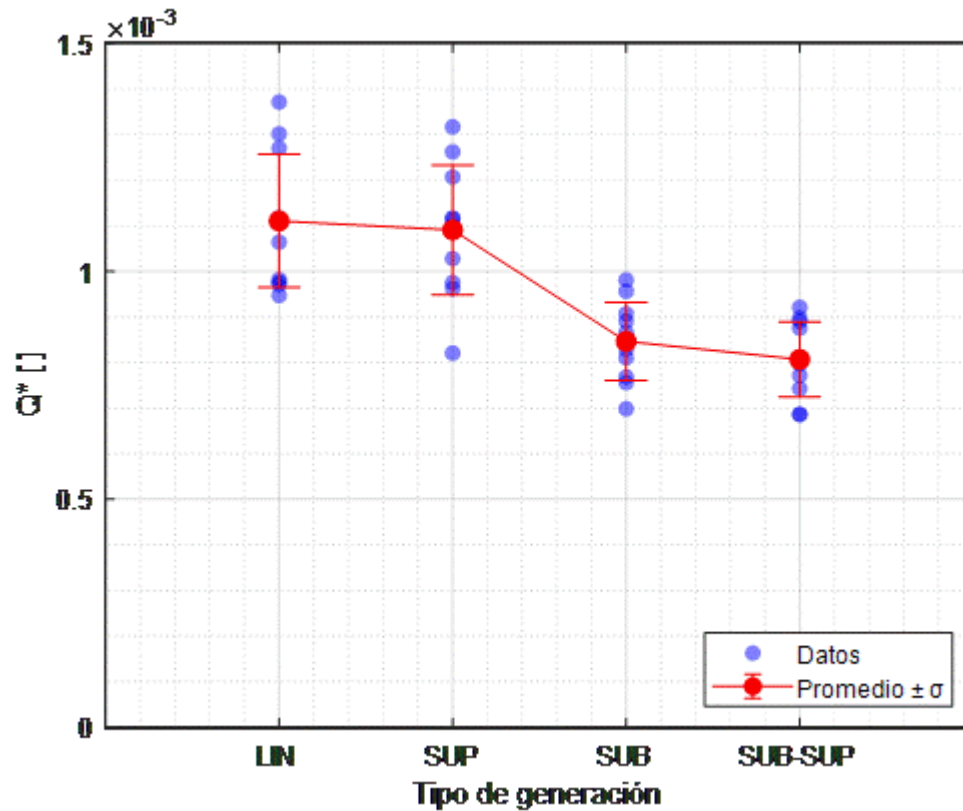
$T_p = 12.0s$



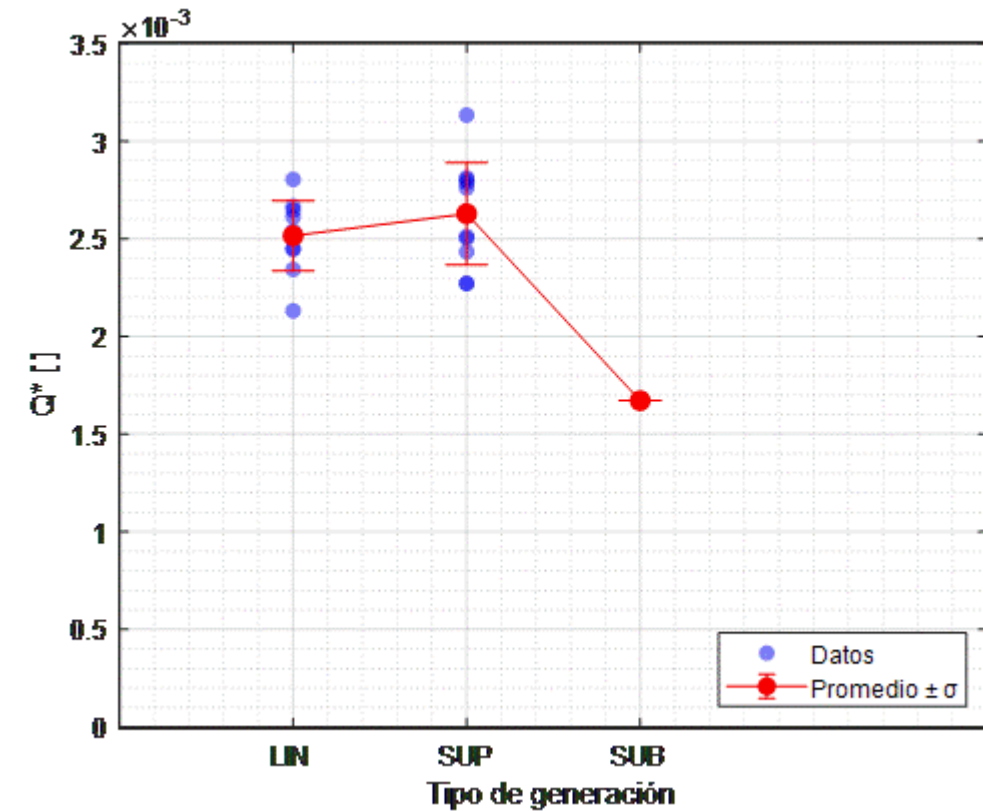
Resultados

Tipo de generación de oleaje

$T_p=14.6s$



$T_p=17.2s$



Falla del riel de la paleta



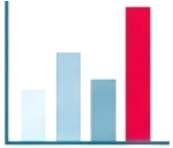
Resultados

Tipo de generación de oleaje

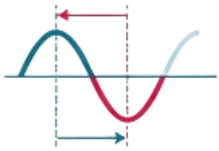
Tp	LIN	SUP	SUB	SUP-SUB
12	-	3.3	-2.2	-0.9
14.6	-	-1.8	-31.2	-37.6
17.2	-	4.3	-50.5	-

- Super-armónicos (SUP): Su impacto es casi nulo (variación $< 5\%$). Modifican la forma de la cresta, pero no el nivel medio del agua de forma significativa.
- Sub-armónicos (SUB): Su inclusión reduce drásticamente el sobrepaso medido (reducción de -31% a -50.596). Son esenciales para reproducir el set-down y evitar la elevación artificial del agua.

Conclusiones



1. Sesgo Cuantificado: La generación lineal sobrestima el sobrepaso hasta en un 50.5% para oleaje de periodo alto debido a la creación de ondas parásitas.



2. Solución Identificada: La corrección por **sub-armónicos** es el factor dominante y esencial para reproducir fielmente el fenómeno.



3. Protocolo Validado: La robustez estadística requiere un mínimo de 6-10 repeticiones, 1000 olas por ensayo y el uso de semilla aleatoria.



Recomendación Principal

Se debe adoptar la generación de oleaje de segundo orden, con especial atención a la correcta reproducción de los componentes sub-armónicos, como el **nuevo estándar de la industria** para los ensayos de sobrepaso en modelos físicos.

MUCHAS GRACIAS POR SU
ATENCIÓN

André Alvarado C.

**Estudio del sobrepaso utilizando generación de
oleaje de segundo orden en canales 2D**

Referencias

Beyá, I. (2017). *Comparación del sobrepaso del oleaje en canales experimentales, utilizando teorías de generación de oleaje de 1er y 2do orden. Caso de análisis: Av. Perú, Viña del Mar, Chile, en canal bidimensional del Instituto Nacional de Hidráulica (Chile)*. XXIII Congreso Chileno de Ingeniería Hidráulica, SOCHID.

EurOtop. (2018). *Manual on wave overtopping of sea defences and related structures: An overtopping manual largely based on European research, but for worldwide application*.

Hughes, S. A. (1993). *Physical Models and Laboratory Techniques in Coastal Engineering* (Vol. 7). World Scientific Publishing.

Madsen, P. A., Hansen, H. J., & Gravesen, M. B. (1980). *Correct reproduction of group-induced long waves*. Proceedings of the 17th International Conference on Coastal Engineering (pp. 776–795). American Society of Civil Engineers.

Mansard, E. P. D., & Funke, E. R. (1980). *The measurement of incident and reflected spectra using a least squares method*. Hydraulics Laboratory Technical Report LTR-HY-72. National Research Council of Canada.

Sand, S. E., & Mansard, E. P. D. (1986). *Reproduction of higher harmonics in irregular waves*. *Ocean Engineering*, 13(1), 57–83.

Tamburrino, A. (2009). *Tratamiento de datos experimentales para estudios hidráulicos*. Instituto Nacional de Hidráulica (INH), Chile.