

## UNA PROPUESTA PARA EVALUAR LA OPERATIVIDAD PORTUARIA BAJO LA INFLUENCIA DE CICLOS DE MAREA

**Nicolás TOMAZIN, Roberto D. CASTELLANO, Raúl CÁCERES**

Programa de Hidráulica Marítima – Laboratorio de Hidráulica -Instituto Nacional del Agua  
Buenos Aires – Argentina

[ntomazin@ina.gov.ar](mailto:ntomazin@ina.gov.ar); [rcastell@ina.gov.ar](mailto:rcastell@ina.gov.ar); [rcaceres@ina.gov.ar](mailto:rcaceres@ina.gov.ar)

### Introducción

El estudio de la agitación interior de un puerto producida por las olas requiere la consideración de procesos físicos lineales y no lineales generados por la acción combinada de la excitación exterior (oleaje), la presencia de estructuras portuarias con determinadas características geométricas y propiedades reflejantes de la energía, y las características morfológicas del lecho marino.

La marea astronómica modifica periódicamente el nivel del mar. Siendo éste último una variable que influye sustancialmente sobre la propagación del oleaje y afecta en forma temporaria las condiciones de agitación dentro del puerto, aún cuando las condiciones de oleaje en el exterior se mantengan constantes.

Este hecho incide directamente sobre las actividades que se desarrollan en el interior del puerto condicionando su operatividad, la cual depende, consecuentemente, tanto del oleaje propagado desde exterior como del nivel del mar observado en un momento dado.

El desarrollo de un estudio de este tipo demanda la aplicación de técnicas numéricas avanzadas que permitan encarar la solución de problemas matemáticamente complejos, donde deben estar representados los efectos de bajío, refracción, difracción, y reflexión de las olas.

### Objetivos

El propósito de este trabajo consiste en la presentación de una metodología que, sobre la base de la modelación matemática de propagación de oleaje, apunta a evaluar aspectos relacionados con la operatividad de un puerto definida a partir de una condición de agitación admisible, considerando fundamentalmente la variación del nivel del mar.

Se presenta como caso de aplicación un estudio desarrollado para el puerto de Rawson (Pcia. del Chubut), situado en la región de la Patagonia Argentina.

### Metodología

La metodología que se propone está basada en la simulación numérica de la transformación del oleaje hasta el interior de un recinto portuario de un conjunto de escenarios cuya distribución es conocida en una posición exterior.

Para el desarrollo de este trabajo se aplicó el modelo matemático BOUSS-2D, perteneciente al sistema SMS (Surface-Water Modeling System) desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros de U.S.Army. La versatilidad de este modelo permitió realizar un amplio conjunto de simulaciones numéricas analizando distintos escenarios de oleaje con diferentes niveles del mar en un tiempo de cálculo razonable para los requerimientos del estudio.

La información de base surge de un estudio previo para la descripción detallada del clima de olas en la región y constituye una matriz de datos conformada por las variables: dirección de incidencia, altura de ola significativa ( $H_s$ ), periodo de pico espectral ( $T_p$ ) y número de casos observados en rangos de las variables indicadas.

La frecuencia de ocurrencia de un determinado evento en la posición exterior se asigna al evento homólogo resultante de la transformación realizada en las posiciones interiores y se utiliza para estimar la persistencia (expresada en horas anuales) de determinados valores de altura significativa de ola en el interior del área portuaria.

Estableciendo un límite de operatividad vinculado a la agitación en el interior del puerto, definido por el valor  $H_s=0.5$  m, se realizó el computo de horas anuales durante las cuales se espera que ese valor sea superado.

Este computo considera el tiempo total distribuido en porcentajes asociados a situaciones de nivel medio, pleamar, y bajamar, definiendo los valores correspondientes a partir de los datos publicados por el Servicio de Hidrografía Naval de la República Argentina, presentados en la Tabla 1.

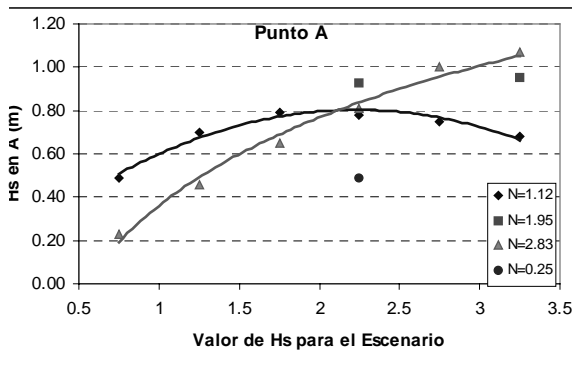
**Tabla 1.** – Marea astronómica en el Puerto de Rawson (SHN, 2007)

Alturas en m sobre el plano de reducción				Amplitud	
Pleamar		Bajamar		Máxima	Media
Máxima	Media	Más baja	Media		
5,22	4,46	0,19	1,02	4,95	3,44

Los valores asociados a la amplitud de la onda de marea señalados en la Tabla 1 ponen en evidencia la importancia de este efecto en la zona de estudio, circunstancia que resulta característica de toda la región patagónica y motiva la evaluación de su influencia para numerosos puertos del litoral atlántico de la Argentina.

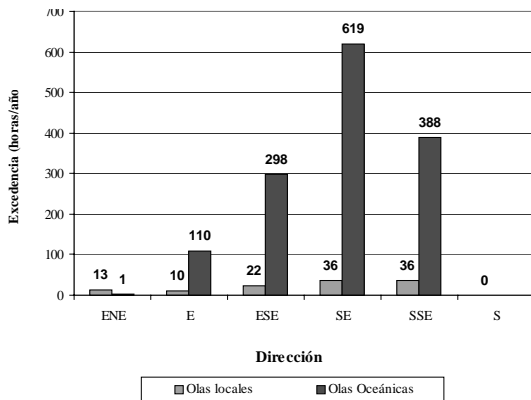
## Resultados

Disponiendo de una descripción direccional detallada del clima de olas en el área de estudio, fue posible analizar la relación existente entre alturas de ola exteriores e interiores para distintas direcciones de propagación considerado diferentes niveles del mar. A partir de ello se obtuvo un conjunto de curvas que ponen de manifiesto el predominio de diferentes mecanismos de transformación del oleaje en función de las distintas direcciones de propagación. Un ejemplo de ello es presentados en la Figura 1.



**Figura 1.** – Relación entre alturas de ola exteriores e interiores para el oleaje propagado desde el SE.

Así mismo, se pudo evaluar el aporte individual de cada una de los rangos de dirección de incidencia del oleaje al cómputo de la persistencia, tal como se muestra en la Figura 2.



**Figura 2.** – Aporte de cada sector direccional al cómputo de persistencia.

Se observó que las olas oceánicas, además de ser más frecuentes que las olas generadas localmente, llegan a la boca del puerto con mayor altura y poseen mayor capacidad de penetración, con lo cual, la persistencia asociada al valor de  $H_s=0.5$  m resulta sustancialmente mayor para el caso de las primeras.

El resultado final de este análisis permitió hacer una estimación de la persistencia (medida en cantidad de horas anuales) asociada al valor  $H_s=0.5$  m para la altura de ola en dos ubicaciones puntuales de particular interés para el funcionamiento del puerto.

## Conclusiones

Se observó el comportamiento fuertemente no lineal existente en la relación entre la altura de ola exterior y la altura de ola interior, dependiendo fundamentalmente de la dirección de propagación del oleaje, lo cual pone de manifiesto la necesidad de contar con información detallada referida al clima de olas para el desarrollo de un análisis de este tipo.

Los resultados del cómputo final de persistencia para el valor  $H_s=0.5$  m mostraron una importante diferencia entre realizar el estudio de agitación considerando un nivel medio y realizarlo bajo hipótesis más realistas que consideren distintos estados para el nivel de mar.

## Referencias

Nwogu, O. G. and Zeki D (2001). "BOUSS-2D: A Boussinesq Wave Model for Coastal Regions and Harbors". *Report 1: Theoretical Background and User's Manual*.

Tomazin, N., Castellano, R. y Cáceres, R. (2009). "Estudio para la caracterización del clima de olas en el interior del puerto de Rawson". *Congreso Nacional del Agua*. Trelew, Argentina.