

**XXV CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA
SAN JOSÉ, COSTA RICA, 9 AL 12 DE SETIEMBRE DE 2012**

**MEDICIÓN DEL OLEAJE CON UN ADCP FRENTE A LA COSTA DE
MONTEVIDEO, URUGUAY**

Rodrigo Mosquera¹, Francisco Pedocchi¹, Daniel Bellón² y Ismael Piedra-Cueva¹

*(1) Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería Universidad de la República,
Uruguay*

(2) Obras Sanitarias del Estado, Uruguay

rmosquer@fing.edu.uy, kiko@fing.edu.uy, dbrey@adinet.com.uy, ismaelp@fing.edu.uy

RESUMEN:

En este artículo se presentan los principales resultados de un análisis de mediciones de oleaje frente a la costa de Montevideo, Uruguay con un ADCP, Perfilador Acústico Doppler de Corrientes. La metodología empleada incorpora mediciones de viento en la zona y permite distinguir entre los distintos trenes de olas incluso en estados de mar complejos donde el Sea (o Mar de Viento) y el Swell (o Mar de Fondo) conviven. Esta metodología presenta ventajas en comparación con la metodología tradicional que utiliza una frecuencia de corte fija para distinguir los tipos de oleaje. Es una metodología general y que puede ser utilizada para el análisis de series de espectros direccionales de oleaje generadas con otros instrumentos de medición.

Del análisis presentado se concluye que en el Río de la Plata frente a la costa de Montevideo, el Sea representa el 87 % del total de la energía del oleaje mientras que el Swell representa el restante 13 %. Se destaca que la campaña de medición analizada es una de las series más largas de datos de oleaje disponible frente a la costa de Montevideo.

ABSTRACT:

This paper presents the main results derived from the analysis of wave measurements in the coast of Montevideo with an ADCP. The proposed methodology assimilates wind measurement allowing for the discrimination among different wave trains even in complex wave states where the Sea and Swell coexist. The methodology shows several advantages when compared with the traditional methodology that uses a fixed cut-off frequency to differentiate Sea and Swell conditions. The proposed methodology is general and can be used for the analysis of directional wave spectrums measured using others instruments.

From the presented analysis it is concluded that at the Rio de la Plata in front of Montevideo, the Sea waves represent 87 % of the total wave energy while the Swell waves represent the remaining 13 %. It is highlighted that the record analyzed in this article is one of the longest wave measurement record available in front of the coast of Montevideo.

PALABRAS CLAVES: Descomposición de oleaje; ADCP

INTRODUCCIÓN

Montevideo es la capital y ciudad más poblada del Uruguay. Su área metropolitana, alcanza, en el año 2011 alrededor de 1:850.000 habitantes, lo que corresponde al 58,8 % del total nacional. Tiene costa sobre el Río de la Plata siendo ésta uno de los principales atractivos turísticos además de concentrar muchas de las actividades de sus pobladores. El sistema de saneamiento de la ciudad, uno de los más antiguos de América Latina, es del tipo unitario y conduce las aguas servidas y pluviales a una planta de tratamiento cercana a la costa. Los efluentes de esta planta son dispuestos en el río mediante un emisario subacuático 2,5 km al sur de la Punta Brava, el punto más austral de Montevideo (Figura 1).

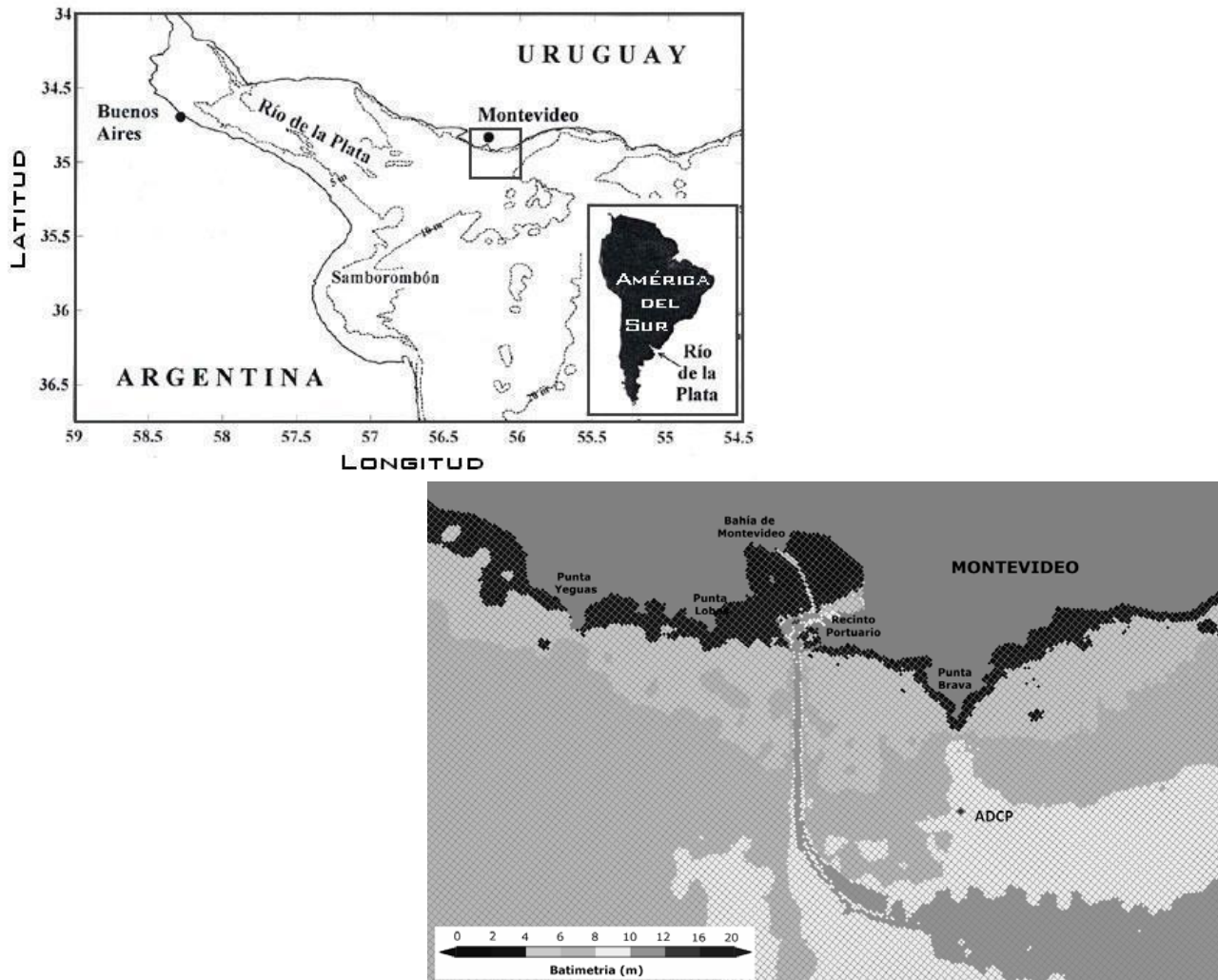


Figura 1.- Ubicación de zona de estudio.

El sistema de saneamiento se encuentra en expansión previéndose la necesidad de construir otro emisario en el futuro próximo. La entidad responsable de las aguas servidas de la ciudad (la Intendencia de Montevideo) contactó a la Facultad de Ingeniería con el fin de estudiar las posibles alternativas del emisario. Si bien el Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental (IMFIA) posee una larga experiencia en la modelación del Río de la Plata en general (Fossati, 2005; IMFIA, 2006) y en la zona de estudio en particular (Maggiolo 1972; IMFIA, 2007; IMFIA, 2008). Se destaca que hasta ese momento, no se contaba con mediciones que permitieran tener buenas estimaciones de las condiciones de mezcla de la zona de estudio. Esto generó la necesidad de realizar mediciones de corrientes y oleaje en la zona de descarga del futuro emisario de manera de tener mejores estimaciones de las condiciones de mezcla luego de la descarga. También era de interés conocer con mayor exactitud el clima de olas y corrientes, y de esta forma los posibles esfuerzos a los que pudiera estar sometida la estructura del emisario. Se fondeó un ADCP (Acoustic

Doppler Current Profiler) a fines del año 2003 cerca de la costa con el cometido de medir oleaje y corriente.

En este artículo se presentan los principales aspectos referentes a la medición del oleaje incorporando en el análisis datos de viento de la zona. En la Figura 1 se puede observar la ubicación de la zona de interés, y una batimetría con la ubicación del lugar de fondeo del instrumento.

DESCRIPCIÓN

El instrumento utilizado es un ADCP de 1200 kHz fabricado por Teledyne RDI Instruments, modelo Workhorse Sentinel, con la capacidad de medir perfiles corrientes y oleaje. El equipo de medida fue fondeado en las inmediaciones (unos 50 m) de la boya Emisario 1 en el punto 34° 57' 36" S; 56° 09' 39" W. El mismo fue fondeado a una profundidad aproximada de 9 metros. Las mediciones se realizaron en colaboración con el Servicio de Oceanografía, Hidrografía y Meteorología de la Armada (SOHMA). Se registraron datos entre diciembre de 2003 y noviembre de 2009, con algunas interrupciones por mantenimiento del equipo como se muestra en la Tabla 1. (IMFIA, 2007, Bellón 2010, Fossati 2010)

Tabla 1.- Fondeos realizados.

Fondeos			Días entre fondeos	Fondeos			Días entre fondeos
Fecha inicio	Fecha fin	Días medidos		Fecha inicio	Fecha fin	Días medidos	
12/12/2003	26/01/2004	45	-	01/03/2006	23/03/2006	22	-
26/01/2004	08/03/2004	42	16	23/03/2006	02/06/2006	71	34
24/03/2004	01/06/2004	69	4	06/07/2006	15/09/2006	71	66
05/06/2004	11/08/2004	67	1	20/11/2006	09/01/2007	50	-
12/08/2004	21/10/2004	70	19	09/01/2007	21/03/2007	71	27
09/11/2004	19/01/2005	71	9	17/04/2007	28/06/2007	72	19
28/01/2005	09/04/2005	71	13	17/07/2007	26/09/2007	71	23
22/04/2005	02/07/2005	71	18	19/10/2007	29/12/2007	71	366
20/07/2005	19/09/2005	61	38	29/12/2008	11/03/2009	72	23
27/10/2005	12/12/2005	46	-	03/04/2009	13/06/2009	71	94
12/12/2005	21/02/2006	71	8	15/09/2009	25/11/2009	71	
				Suma			778

PROCESAMIENTO Y CALIDAD DE DATOS

Para la medición del oleaje, el ADCP utiliza tres métodos independientes y complementarios (WavesMon User's Guide). Primeramente, mide el oleaje utilizando un sensor de presión. Si bien este método es muy robusto, no captura el oleaje más corto, especialmente si el equipo se encuentra fondeado a grandes profundidades. Una segunda forma de medición, es a partir de la detección de la superficie libre, funcionando como un sonar invertido. En nuestro caso este método resultó ser sumamente ruidoso y en general las medidas no pudieron ser utilizadas. Finalmente, el ADCP mide el oleaje a partir de las diferencias en las señales de velocidad registradas por cada uno de sus cuatro rayos acústicos. Utilizando la teoría lineal y considerando que el campo de oleaje medio es una superposición de ondas con una dirección, frecuencia y amplitud particular, es posible vincular las medidas de velocidad, con el oleaje en la superficie. La solución de este sistema de ecuaciones sobredeterminado, puede ser determinada mediante técnicas de optimización. De esta manera es posible estimar el mejor campo de oleaje que se ajuste a las medidas realizadas. En base a esta información el ADCP reporta el espectro direccional de oleaje. Esta última medida permite estudiar el oleaje incidente por direcciones.

Se configuró el equipo para muestrear intervalos de 20 minutos cada 3 horas. La frecuencia de muestreo de los intervalos (de 20 minutos) es de 2 Hz. La resolución espacial vertical es de 0,35 metros. El instrumento fue programado para grabar las mediciones a 5 alturas de columna de agua, la celda 12 a 4,72 metros sobre los lentes del instrumento, la celda 13 a 5,07 m; la celda 14 a 5,42 m; la celda 15 a 5,77 m y la celda 16 a 6,12 m. Se hace notar que los lentes del equipo se encontraban al momento del fondeo a 40 cm por sobre el lecho aproximadamente. Las celdas fueron elegidas de manera que se localicen lo más próximo posible a la superficie libre, con la precaución de que se mantengan dentro del agua durante todo el período de medición. Un análisis preliminar de

los datos registrados por el ADCP, mostró la necesidad de hacer una validación mínima de la calidad de los registros de oleaje.

En primer lugar, se observó que la calidad de los datos está fuertemente condicionada por la selección de las celdas de medición utilizadas para el cálculo del espectro debiendo descartar la celda 16, la más próxima a la superficie libre. En la Figura 2 se presenta dos espectros direccionales del mismo estado de mar pero con una selección distinta de celdas. Uno fue determinado con los datos de todas las celdas (izquierda) y otro descartando las medidas de la celda 16 (derecha).

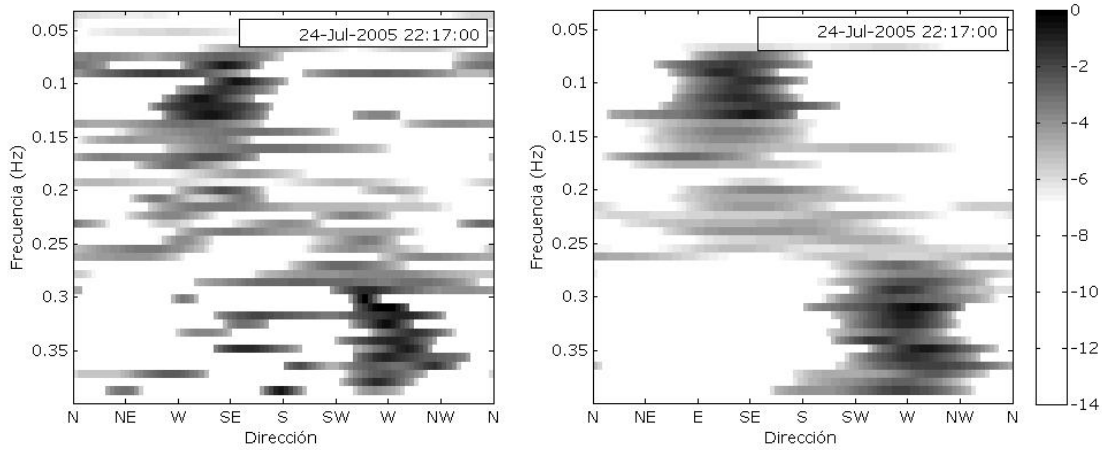


Figura 2.- Espectro direccional con la celda 16 (izquierda) y sin celda 16 (derecha).

En segundo lugar, luego de la selección propuesta de celdas, se escogió como un indicador de la calidad de las medidas la pendiente significativa S_s . La pendiente significativa se define como

$$S_s = \frac{2\pi H_s}{g T_z^2}, \quad [1]$$

donde H_s es la altura significativa, g la aceleración terrestre y T_z el período zero up-crossing. Si bien este parámetro no tiene un significado físico preciso en el caso de oleaje irregular, por analogía con el oleaje regular se interpreta como una medida de la pendiente general del oleaje. La experiencia previa muestra que los histogramas de $H_s - T_z$ en aguas expuestas, se vuelven más estrechos para las olas mayores tendiendo a valores de S_s entre $1/16$ y $1/20$ (Tucker, 1991). Estos valores suelen estar asociados a oleajes tipo Sea generados por un viento local con una exposición (fetch) considerable. La Figura 3 presenta un diagrama $H_s - T_z$ para todas las olas registradas durante el período 2003-2009. Luego de analizar el diagrama, se descartaron los datos donde el valor de S_s superaba el $1/16$. Se realizó un análisis de los datos descartados, observándose anomalías en los espectros de energía que manifiestan su dudosa calidad. La Figura 4 muestra uno de los espectros descartados con este criterio.

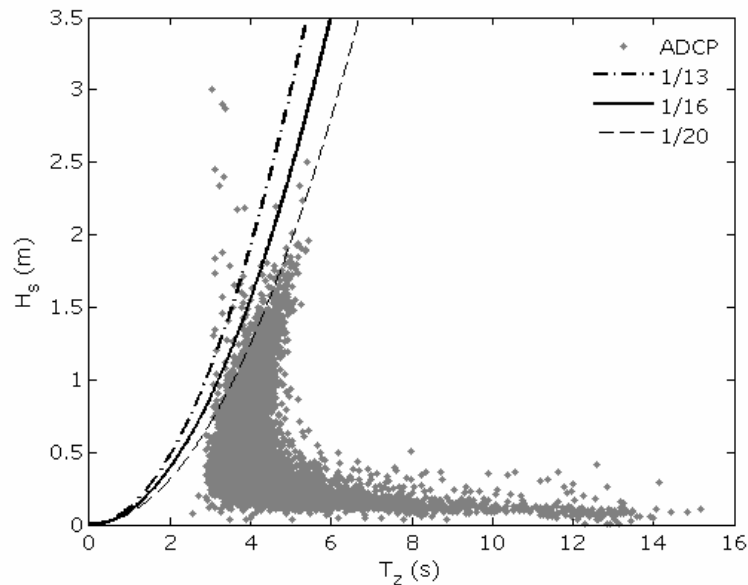


Figura 3.- Diagrama a H_s - T_z del período 2003-2009 del ADCP.

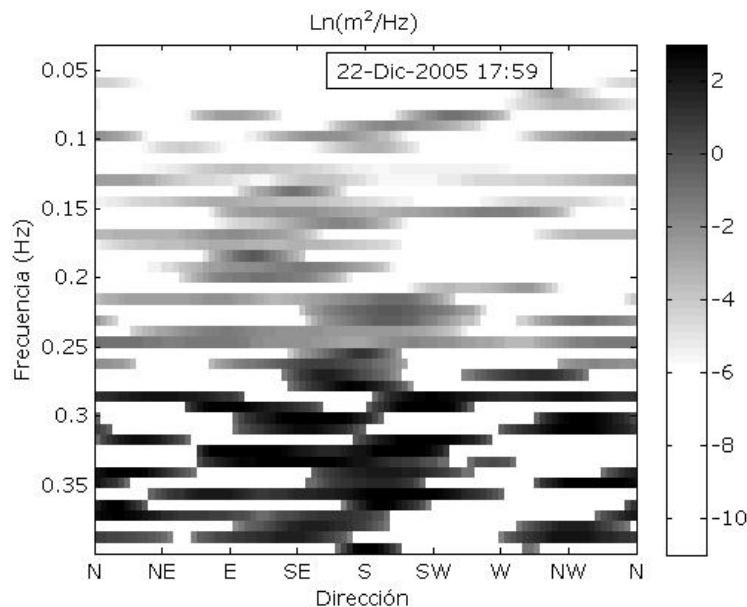


Figura 4.- Espectro direccional del oleaje del 22/12/2005 descartado con el criterio de calidad de la pendiente significativa.

CARACTERIZACIÓN DEL OLAJE

En la práctica se suelen diferenciar dos tipos de oleaje, el oleaje tipo Sea o Mar de Viento y el oleaje tipo Swell o Mar de Fondo. El principal agente que inicia la generación del oleaje es la inestabilidad de la interfase entre el agua y el viento ya que son dos fluidos con diferentes velocidades y densidades (Lamb, 1932). Esta inestabilidad modifica el flujo de aire y el campo de presiones en su cercanía de manera de estimular su propio crecimiento. El proceso en sí es un mecanismo de retro-alimentación positiva (Miles, 1957). La transferencia de energía del viento a las olas, ocurren principalmente cerca del pico del espectro. La energía ganada en estas frecuencias, suele estar acotada por white-capping e interacciones no lineales que dispersan la energía a las otras frecuencias (Holthuijsen, 2007). El oleaje que se observa en la zona de generación se lo denomina Mar de Viento se. Suele estar asociado a cierta irregularidad y longitudes cortas. Las direcciones de propagación de este tipo de oleaje varían en un amplio sector entorno a la dirección del viento que lo generó.

A medida que el oleaje se propaga fuera de la zona de generación, se produce una serie de fenómenos de separación de las componentes de los trenes de onda haciéndose más evidente en la

medida que nos alejamos de la zona de generación. Las componentes del oleaje de mayor período van adelantándose a las de menor período, produciéndose un agrupamiento a medida que este se propaga. A su vez existe una dispersión angular debido a que las componentes que salen de la zona de generación lo hacen con direcciones diferentes alrededor de la dirección dominante. Los fenómenos mencionados anteriormente determinan que el oleaje que se observa en un punto alejado del área de generación sea más regular ya que suele estar formado por trenes de ondas con períodos y direcciones similares. Este oleaje que viaja a costa de su propia energía es denominado oleaje Tipo Swell o Mar de Fondo (Dean, 2002).

De todas maneras, es posible que ambos tipos de oleaje se encuentren presentes en un estado de mar. Esto implica que en cada medida realizada, se puede estar midiendo una combinación de ambos. La descomposición del oleaje medido en estos tipos de oleaje, permite tener una mejor comprensión de estado de mar. Esto permite tener una mejor estimación de los intercambios atmósfera-mar, así como una mejor predicción del oleaje en la zona ya que ambos oleajes pertenecen a poblaciones estadísticas distintas.

La forma más sencilla de discriminar entre el Mar de Viento y el Mar de Fondo es utilizar una frecuencia de corte fija f_c . El oleaje con menor frecuencia a f_c es considerado Mar de Fondo y con mayor frecuencia Mar de Viento. En el Río de la Plata se a utilizado anteriormente $f_c = 1/6$ Hz (Anshütz, 1998). En este trabajo se analizan espectros medidos con una boya Datawell Waverider situada en el límite del estuario del Río de la Plata con el Océano Atlántico. Del estudio de los espectros no direccionales se caracteriza el oleaje medido en cinco categorías, Swell; Swell predominante; Swell + Sea; Sea predominante; y Sea. Esta clasificación se determina en función de dos parámetros, el cociente de energía Rmo y el ancho espectral ε . Las Ecuaciones [2] y [3] presentan una manera de estimarlos.

$$Rmo = \frac{m_{0,sea}}{m_0}, \quad [2]$$

$$\varepsilon = 1 - \frac{m_2^2}{m_0 m_4}, \quad [3]$$

donde $m_i = \sum s_f f^i \Delta f$ es el momento de orden i -esimo, $m_{0,sea} = \sum_{f > f_c} s_f \Delta f$ es el momento de orden

cero que corresponde a la energía por encima de la frecuencia de corte f_c , y s_f la densidad de energía del oleaje para el diferencial de frecuencia Δf . (Tucker, 1991). La clasificación se puede resumir en la Tabla 2.

Tabla 2.- Clasificación propuesta por Anschütz.

Parámetro	Swell	Swell predominante	Swell + Sea	Sea predominante	Sea
ε	$> 0,75$	$0,35 < \varepsilon < 0,75$			$< 0,35$
Rmo	-	$< 0,4$	$0,4 < Rmo < 0,6$	$> 0,6$	-

En el presente trabajo, se presenta una alternativa al uso de una frecuencia de corte fija que incorpora el uso de información de dirección de oleaje y vientos, ambas disponibles en nuestro caso.

La elección del parámetro ε como media del ancho espectral es ampliamente discutida. Como se puede observar, en su determinación participa el momento de orden cuatro. Este momento suele dar mayor peso a las frecuencias más altas cerca de la cola del espectro. Estas frecuencias suelen ser las más ruidosas por lo que este parámetro no se muy recomendado. Tucker recomienda la utilización de otro parámetro (ν) que puede ser determinado mediante

$$\nu = \sqrt{\frac{m_0 m_2}{m_1^2}} - 1. \quad [4]$$

Este parámetro muestra ser más robusto que ε . Los valores numéricos de los límites de ν en los cuales clasifica los estados como Sea y Swell son los mismos que para ε .

La alternativa aquí propuesta al uso de una frecuencia de corte fija, se basa en el trabajo desarrollado por Hanson y Phillips (2001) para la identificación de la zona de generación de oleaje en el océano. En particular esta metodología esta basada en el trabajo de Hasselmann (1994) para diferenciar ambos tipos de oleaje. Primero se identifica el Mar de Viento utilizando un criterio basado en la edad del oleaje, considerando que la celeridad de fase del pico de energía es definida por

$$C_p \leq (K)U_{10} \cos \delta, \quad [5]$$

donde C_p es la celeridad de fase del pico de la densidad espectral de la altura de ola, K un factor que asegura la inclusión de todos los valores pico (en nuestro caso se tomo igual a 1,5), U_{10} es la velocidad del viento a 10 m de altura, y δ el ángulo entre el viento y el oleaje (el rango de δ se encuentra entre 0 y 90 grados). En términos de la frecuencia pico, utilizando la expresión de la celeridad para aguas profundas ($C_p = g/2\pi f_p$), la Inecuación [5] se puede escribir como

$$f_p \geq \frac{g}{2\pi KU_{10} \cos \delta}, \quad [6]$$

Definiendo una frecuencia de corte que se ajusta con la velocidad del viento y la dirección. El análisis de varios estados de mar permitió determinar que el uso de una frecuencia de corte variable en función de la velocidad del viento es suficiente. Esta frecuencia de corte fue determinada a partir de la Inecuación [6] para δ igual a cero. La técnica fue aplicada a toda la serie de datos, permitiendo diferenciar claramente los distintos tipos de oleaje presentes en el estado de mar. La Figura 5 presenta un espectro direccional del oleaje donde puede observarse la existencia de dos tipos de oleaje, uno proveniente del SE, con un período pico de 10 s y otro proveniente del W, con un período pico de 3 s, correspondientes a un Mar de Fondo y a un Mar de Viento, respectivamente. En trazo negro continuo se observa la frecuencia de corte para cada dirección propuesta por Hanson (2001). En trazo gris de raya punto se observa la frecuencia para $\delta = 0$. En trazo oscuro de raya se puede observar la frecuencia de corte propuesta por Anshütz.

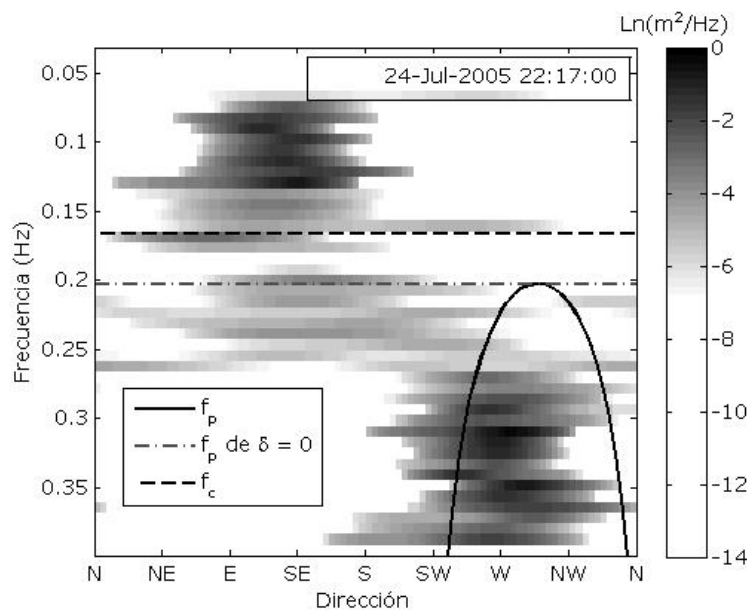


Figura 5.- Espectro direccional del oleaje del 24/07/2005.

Un ejemplo de los resultados obtenidos se presenta en la Figura 6, donde puede observarse la distribución de la energía del oleaje por dirección y por frecuencia para el período 13/04/2006 al 13/05/2006.

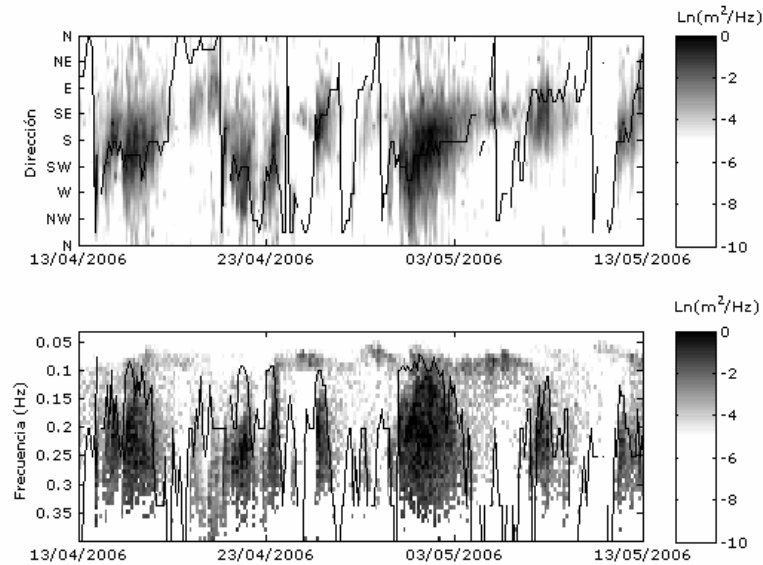


Figura 6.- Distribución de la energía del oleaje por dirección (arriba) y frecuencia (abajo).

En el gráfico por frecuencias (abajo), la frecuencia de corte asociada a la velocidad del viento observada se representa en trazo negro. Esta frecuencia de corte móvil logra envolver la energía del espectro que se concentra a las frecuencias más altas, correspondiente a oleaje generado localmente por el viento. La frecuencia de corte deja claramente fuera al oleaje de baja frecuencia mucho más persistente en el tiempo, que claramente pueden asociarse al Mar de Fondo. Se destaca finalmente que el uso de una frecuencia de corte constante igual a 1/6 Hz en muchos casos incluiría energía correspondiente a oleaje generado localmente dentro de la energía asociada al Mar de Fondo. En el gráfico por direcciones (arriba), la dirección del viento es indicada con un trazo negro. Puede verse claramente que en los caso de Mar de Viento, el pico de energía tiende a alinearse con la dirección del viento. Un análisis más detallado de esta información permitió estudiar el efecto de la batimetría de la zona sobre la dirección del oleaje de Mar de Viento. En la Figura 7 se presenta un histograma de direcciones de oleaje por dirección de viento. Se puede observar que las direcciones de oleaje entre el este y el oeste pasando por el sur, suelen alinearse con la dirección del viento registrado. Las otras direcciones de oleaje no muestran esta alineación manifestando la acción de la batimetría.

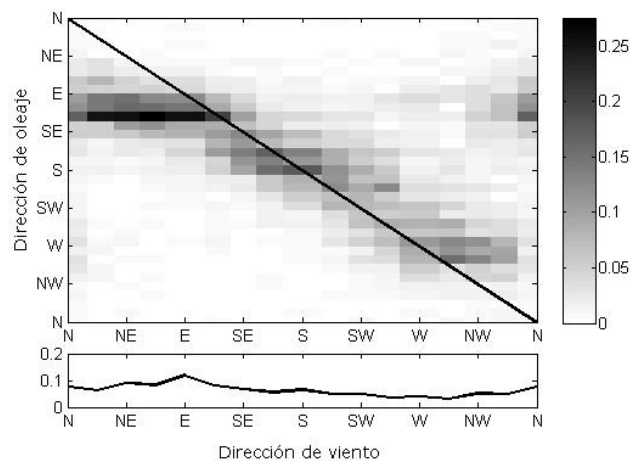


Figura 7.- Histograma de direcciones de oleaje por dirección de viento (arriba) e histograma de dirección de viento (abajo).

En la Figura 8 se presenta la descomposición de la altura significativa del oleaje utilizando la frecuencia de corte variable, dependiente de la velocidad del viento, en el período 16/08/2007 – 25/09/2007. En esta metodología, la necesidad de utilizar un parámetro para clasificar el estado de mar con el ancho espectral pierde relevancia ya que la definición de la frecuencia de corte no es arbitraria y responde a las condiciones de generación del oleaje tipo Sea.

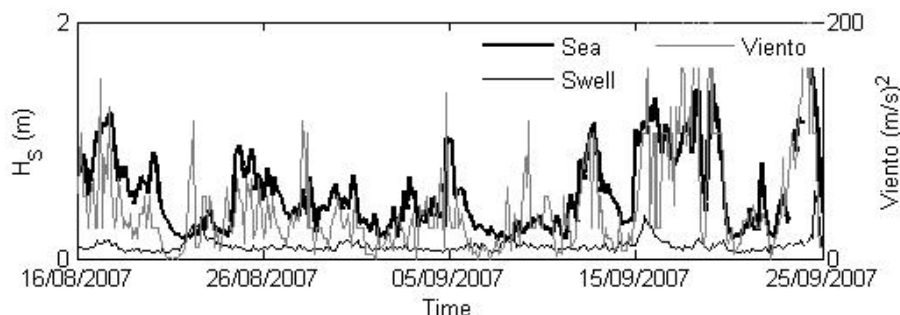


Figura 8.- Descomposición de la altura significativa del oleaje (arriba) y caracterización del estado de mar (abajo).

CONCLUSIONES

Se observó que la elección de celdas para la determinación del espectro direccional es muy importante demostrándose que la eliminación de una de las celdas muy cercana a la superficie libre mejora claramente los resultados.

La metodología propuesta permite distinguir entre los distintos tipos de mar incluso en estados de mar complejos donde el Mar de Viento y el Mar de Fondo conviven. Presenta claras ventajas para el estudio del estado del mar frente al enfoque tradicional que utiliza una frecuencia de corte fija y el ancho del espectro para distinguir los tipos de oleaje. La metodología desarrollada es general y puede ser utilizada para el análisis de series de espectros direccionales de oleaje generadas con otros instrumentos de medición.

Utilizando la metodología propuesta se pudo identificar que frente a la costa de Montevideo el Mar de Viento es el que presenta mayor energía, mientras que el Mar de Fondo presenta energías en general de un orden menor. Es importante destacar que esta campaña de medición constituye probablemente la serie más largas de datos de oleaje frente a la costa de Montevideo.

AGRADECIMIENTOS

Se deja constancia del imprescindible aporte realizado por los integrantes del Grupo de Buceo de la Armada (GRUBU) encargados de la ejecución de la maniobra de instalación del ADCP en el fondo así como de su posterior búsqueda y recolección al momento de extraer la información almacenada. Asimismo en estas tareas logísticas de apoyo se contó con el apoyo de la lancha oceanográfica “TRIESTE” de la Armada Nacional, dotada de un sonar de barrido lateral que contribuyó eficientemente a la localización del domo y recuperación del equipo luego de la tormenta de agosto de 2005.

REFERENCIAS

- Anshütz, Gustavo and Escalante, Raúl S.** (1998). “Measurements of Wave Action in the Oceanic Limit of Río de la Plata Estuary”. *Marine meteorology and related oceanographic activities*, Unesco, Paris, 21-25 September 1998. World Meteorological Organization: Geneva, Switzerland.
- Bellón, D., Pedocchi, F. y Piedra-Cueva, I.** (2010). “Determinación de concentraciones de sedimentos en suspensión a partir de perfiladores de corriente acústicos en la costa de Montevideo, Uruguay” *XXIV Congreso Latinoamericano de Hidráulica*.
- Dean, R. G. and Dalrymple R. A.** *Coastal Processes*, Edition 2002, University of Cambridge.
- Fossati, M.** (2005). “Modelación Bidimensional del Campo Salino en el Río de la Plata.” *Tesis de Maestría en Mecánica en Fluidos Aplicada*. Facultad de Ingeniería – UdelaR

- Fossati, M., Bellón, D. y Piedra-Cueva I.** (2010). “Análisis del perfil de corrientes en la costa de Montevideo” *XXIV Congreso Latinoamericano de Hidráulica*.
- FREPLATA** (2011). “Estudio de la dinámica hidrosedimentológica del Río de la Plata: observación y modelación numérica de los sedimentos finos.” *Proyecto FREPLATAFFEM, convenio de cooperación N° CZZ 1268.01*.
- Hanson, Jeffrey L. and Phillips, Owen M.** (2001). “Automated Analysis of Ocean Surface Directional Wave Spectra”. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, AMS, Volume 18, Issue 12, pp. 2052–2062.
- Hasselmann, S., Hasselmann, K. and Bruning, C.** (1994). “Extraction of wave spectra from SAR image spectra.” *Dynamics and Modelling of Ocean Waves*. G. J. Komen et al. Eds. Cambridge University Press. 391-401.
- Holthuijsen, L. H.** (2007) *Waves in Oceanic and Coastal Waters*.
- IMFIA.** (2006). “Modelación hidrosedimentológica del Río de la Plata. Informe final” *Proyecto PDT S_C_OP_19_04*. IMFIA, Facultad de Ingeniería, UdelAR.
- IMFIA** (2007) “Informe final sobre corrientes y oleaje medido en Punta Carretas y Punta Yeguas” IMM – UdelAR *Estudio técnico de la alternativa de Descarga en Punta Lobos de las unidades funcionales Pantanoso, Miguelete y Cerro-Casabó del Sistema de Saneamiento de Montevideo*
- IMFIA.** (2008). “Evaluación ambiental prospectiva de la Bahía de Montevideo. Informe Final” *Convenio entre la Administración Nacional de Puertos (ANP) y la Facultad de Ingeniería*.
- Lamb, H.** (1932) *Hydrodynamics*. 6th edition, Dover Publication. 738 pp.
- Maggiolo, O. J. and Guarga, R.** (1972). “Estudio Hidráulico de la toma de agua de refrigeración para la 5^{ta} y 6^{ta} unidades.” Central Térmica Batlle y Ordóñez Facultad de Ingeniería y Agrimensura Instituto de Máquinas, Departamento de Mecánica de los Fluidos. Montevideo, Uruguay.
- Miles, J. W.** (1957) “On the generation of surface waves by shears flows.” *Journal of Fluid Mechanics*. 3 185-204.
- Teixeira, L., Lorenzo, E., Eguia, H., Sordo, A., Margenat, S.** (1995). “Estudio del oleaje incidente sobre la Rambla Sur.” Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental (IMFIA). Facultad de Ingeniería – UdelAR
- TELEDYNE RD Instruments** (2010) *WavesMon v3.07 User’s Guide*.
- Tucker, M. J.** (1991). *Waves in Ocean Engineering*.