

METODOLOGÍA PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL CLIMA MARITIMO EN UN PUNTO CERCA DE LA COSTA A PARTIR DE UNA SERIE DE DATOS EN AGUAS PROFUNDAS

Rafael Bonanata¹, Raul Medina², Lucas Silveira³, Lindino Benedet⁴

ABSTRACT

En la gran mayoría de las regiones alrededor del mundo, principalmente en los países en vías de desarrollo, las series de datos medidos en aguas someras no son suficientemente largas para caracterizar el clima marítimo y obtener los parámetros de ola necesarios al correcto dimensionamiento de las estructuras portuarias y de protección de la costa.

Para suplir esa deficiencia, los investigadores del *Instituto de Hidraulica Ambiental de la Universidad de Cantabria (IH Cantabria)* desarrollaron una metodología basada en el uso de series de datos provenientes de los programas de reanálisis de olas en aguas profundas, modelos de propagación en aguas someras, así como técnicas de interpolación que permiten generar la serie de datos en aguas someras con igual longitud de la serie original de aguas profundas. Una vez obtenida la serie en el punto objetivo, tornase posible la descripción estadística del oleaje y la obtención de la información de uso ingenieril.

En este trabajo es presentada una descripción detallada de la metodología, un ejemplo de su empleo en una región de la costa brasileña realizado por la empresa *Coastal Planning & Engineering do Brasil (CPE)*, sus ventajas y limitaciones.

El primer paso de la metodología es el análisis del oleaje en aguas profundas. Una vez conocido y caracterizado el régimen medio y extremal del oleaje en el origen del dominio (puntos de las bases de datos), hay que trasladar la serie de datos hasta la zona de interés. Para ello deben ser propagados todos los estados de mar susceptibles de ser producidos. Sin embargo, hoy en día, el tiempo computacional imposibilita la propagación de todos los estados de mar obtenidos por las series de reanálisis. Así, es adoptado el siguiente procedimiento:

- a) Propagación de una matriz de casos posibles con oleajes de distinta altura, dirección, período y nivel del mar;
- b) Cálculo del coeficiente y el ángulo de propagación en estos casos;
- c) Interpolación del coeficiente y ángulo de propagación para cada uno de los eventos registrados en el punto de reanálisis. Para cada nivel de marea se realiza una interpolación lineal en tres dimensiones (H_s , T_p , Dir), para obtener el coeficiente y el ángulo de propagación de ese evento en la zona de estudio.

Esta metodología de transferencia de la serie original de aguas profundas hasta aguas someras, conocida como metodología del hipercubo, es una técnica ampliamente comprobada y validada a través de diversos estudios (Camus, 2009).

¹ Oceanógrafo Senior, Coastal Planning & Engineering, Brasil, rbonanata@coastalplanning.net

² Profesor Catedrático, IH Cantabria, Universidad de Cantabria, España

³ Oceanógrafo, Coastal Planning & Engineering, Brasil

⁴ Director, Coastal Planning & Engineering, Brasil

1. INTRODUCCIÓN

Las estructuras costeras y portuarias pasan por un ciclo de vida que incluye diferentes fases. Desde la fase de planificación y diseño hasta la reutilización o la demolición, la información sobre el clima marítimo es muy importante para garantizar una funcionalidad costo-efectiva y una calidad técnica. El ciclo de vida completo puede abarcar varias décadas, lo que requiere el conocimiento del clima marítimo en diferentes escalas de tiempo, incluyendo su variabilidad natural. El conocer en una zona costera los parámetros de ola estadísticamente representativos de un oleaje irregular y aleatorio es, por lo tanto, de vital importancia para los ingenieros de puertos y costas.

Sin embargo, en la gran mayoría de las regiones alrededor del mundo, principalmente en los países en vías de desarrollo, las series de datos medidos en aguas someras no son suficientemente largas para caracterizar el clima marítimo y obtener los parámetros de ola necesarios al correcto dimensionamiento de las estructuras portuarias y de protección de la costa.

Para suplir esa deficiencia, los investigadores del *Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria (IH Cantabria)* desarrollaron una metodología basada en el uso de series de datos provenientes de los programas de reanálisis de olas en aguas profundas, modelos de propagación en aguas someras, así como técnicas de interpolación que permiten generar la serie de datos en aguas someras con igual longitud de la serie original de aguas profundas. Una vez obtenida la serie en el punto objetivo, tornase posible la descripción estadística del oleaje y la obtención de la información de uso ingenieril.

En este trabajo es presentada una descripción detallada de la metodología, un ejemplo de su empleo en una región de la costa brasileña realizado por la empresa *Coastal Planning & Engineering do Brasil (CPE)*, sus ventajas, limitaciones y su evolución futura.

2. APLICACIONES

Toda obra marítima se construye para satisfacer, durante un determinado intervalo de tiempo, diversos requerimientos de fiabilidad, funcionalidad y operatividad (ROM, 1991).

La fiabilidad viene condicionada por las situaciones extremas y es garantizada a partir del conocimiento del régimen extremal del oleaje en las proximidades de la obra. Se entiende como régimen extremal del oleaje la distribución estadística del valor máximo de un parámetro de estado de mar en un periodo de tiempo determinado. La funcionalidad y la operatividad de la obra son caracterizadas por las condiciones medias del oleaje en el punto de interés. Se entiende como régimen medio del oleaje la distribución estadística de un parámetro de estado de mar en un tiempo determinado.

El empleo de la metodología descrita en este trabajo posibilita, con el uso de una serie larga de datos de ola en la profundidad de interés, la caracterización del régimen medio y extremal del oleaje y, por ejemplo, la obtención de las siguientes informaciones:

1. Tamaño y peso de bloques de estructuras de escollera;
2. Agitación interior por ondas cortas y resonancia portuaria;
3. Frecuencia de los rebases del oleaje en diques de protección;
4. Transporte longitudinal de sedimentos;
5. Frecuencia de inundaciones en zonas costeras;
6. Forma en planta de equilibrio las playas encajadas.

3. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGIA

La metodología presentada en este trabajo está fundamentada en el uso de largas series de datos de olas en aguas profundas provenientes de los programas de reanálisis existentes y disponibilizados por diversas instituciones alrededor del mundo. Estas son el resultado del empleo de modelos de

generación y propagación del oleaje, como por ejemplo el WAVEWATCH III o el WAM, alimentados con datos de viento globales con duraciones de hasta 60 años.

El primer paso de la metodología es el análisis del oleaje en aguas profundas. Una vez conocido y caracterizado el régimen medio y extremal del oleaje en el origen del dominio (puntos de las bases de datos), hay que trasladar la serie de datos hasta la zona de interés. Para ello deben ser propagados todos los estados de mar susceptibles de ser producidos. Sin embargo, hoy en día, el tiempo computacional imposibilita la propagación de todos los estados de mar obtenidos por las series de reanálisis. Así, es adoptado el siguiente procedimiento:

- Propagación de una matriz de casos posibles con oleajes de distinta altura, dirección, período y nivel del mar;
- Cálculo del coeficiente y el ángulo de propagación en estos casos;
- Interpolación del coeficiente y ángulo de propagación para cada uno de los eventos registrados en el punto de reanálisis. Para cada nivel de marea se realiza una interpolación lineal en tres dimensiones (H_s , T_p , Dir), para obtener el coeficiente y el ángulo de propagación de ese evento en la zona de estudio.

Esta metodología de transferencia de la serie original de aguas profundas hasta aguas someras, conocida como metodología del hipercubo, es una técnica ampliamente comprobada y validada a través de diversos estudios.

La Figura 1 ilustra de manera esquemática el funcionamiento de la técnica del hipercubo.

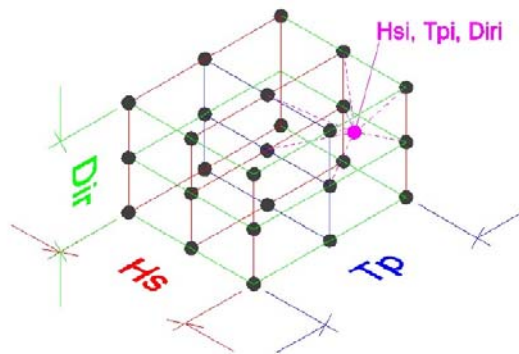


Figura 1 - Esquema de la metodología del hipercubo, la cual permite obtener los parámetros de ola en el punto de estudio para un determinado estado de mar (H_{si} , T_{pi} e Dir_i) a partir de la interpolación de los resultados de la propagación de casos con diferentes combinaciones de H_s , T_p e Dir .

4. EJEMPLO DE EMPLEO DE LA METODOLOGIA

En esta etapa del trabajo es presentado un ejemplo del empleo de la metodología del hipercubo realizado por la *Coastal Planning & Engineering do Brasil* en la costa sureste brasileña.

El objetivo principal de este estudio fue generar una serie de oleaje de 20 años en las proximidades de la desembocadura de Barra do Furado, en el Municipio de Quissamã, y así obtener las alturas significantes de ola con periodo de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años, utilizadas en el dimensionamiento de nuevos muelles planeados para la zona.

Un análisis preliminar de los parámetros de ola en aguas profundas provenientes del modelo WWIII permitió seleccionar una gama de estados de mar a ser propagado con el modelo numérico Delft3D-Wave, lo cual utiliza la formulación del SWAN (Simulating WAves Nearshore), desarrollado por la Deltares, Holanda.

Un total de 405 casos de olas fueron propagados, forneciendo como resultado los coeficientes de propagación con características direccionales, los cuales sirvieron de datos de entrada para la aplicación de la metodología de interpolación.

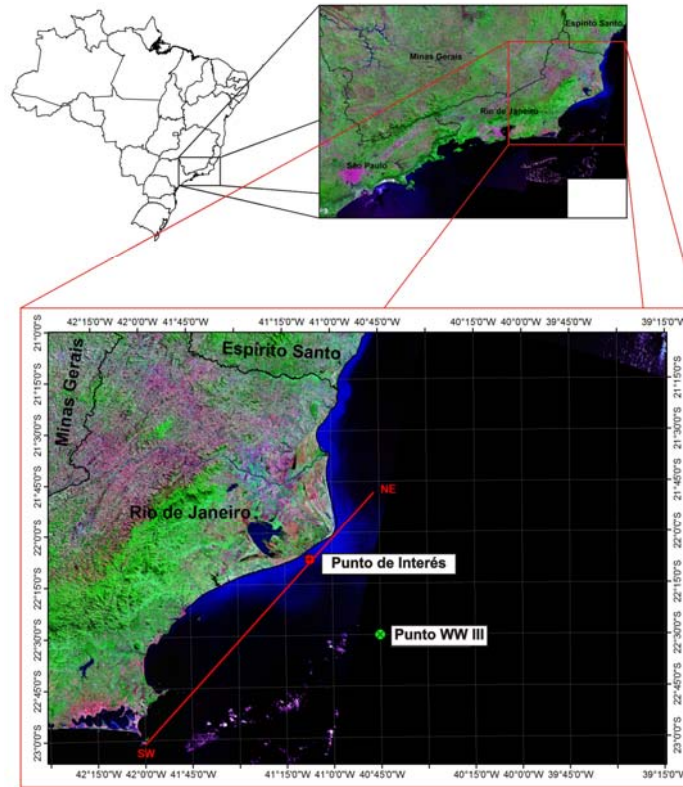


Figura 2: Localización del área de estudio, indicando la posición de los puntos extraídos del modelo de reanálisis WWIII, punto de interés en aguas someras y los límites de direcciones propagadas hasta ese punto.

4.1 Base de datos de reanálisis del modelo WAVEWATCH III

Los datos utilizados para el análisis y caracterización del clima de olas en aguas profundas fueron extraídos del modulo de reanálisis del modelo WAVEWATCH III. El modelo WWIII (Tolman 1997, 1999) es un modelo de tercera generación desarrollado por la NOAA/NCEP (WAMDIG 1988, Komen et al. 1994) y que resuelve la ecuación de conservación de la densidad espectral da acción de onda. El modelo asume que las propiedades del medio (profundidades y corrientes), así como el campo de ondas, varían en escalas espaciales y temporales mucho superiores a las escalas de variación de una única onda. El WWIII permite simular la generación y propagación de espectros de olas con base en los datos de viento, considerando los procesos de generación, interacciones no lineales ola-ola, disipación por *whitecapping* y fricción con el fondo.

Los datos de olas en aguas profundas fueron extraídos del elemento de la malla de cálculo situado en las coordenadas 22°30'00"S y 040°15'00"W, a una profundidad de aproximadamente 80 m (Figura 2), para el período comprendido entre el 1° de enero de 1989 y el 31 de marzo de 2009.

Con estos datos fueron generados la función de distribución de H_s (Figura 3), rosa direccional (Figura 4), tabla de probabilidades direccional (Tabla 1) e diagrama de distribución conjunta de H_s - T_p (Figura 5), utilizando el software CAROL® (desarrollado por el IH-Cantabria) y MATLAB®.

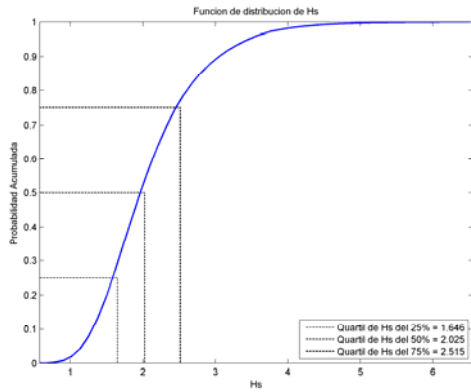


Figura 3 - Función de distribución (probabilidad acumulada) de la variable H_s para los datos del modelo WWIII.

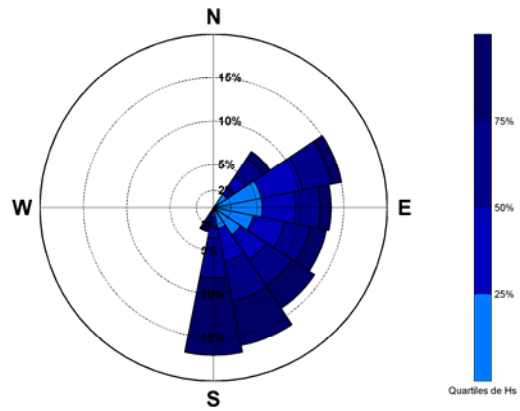


Figura 4 - Rosa direccional y cuartiles de H_s para los datos del modelo WWIII.

Tabla 1 – Tabla de probabilidades direccionales y datos estadísticos de H_s para cada dirección.

Direcciones	Probabilidad (%)	$H_{s50\%}$	$H_{s90\%}$	$H_{s99\%}$	H_{s12}
N	0.01	1.8255	2.1712	2.1780	2.1780
NNE	0.14	1.7590	2.2930	3.2578	3.2620
NE	7.83	1.9570	2.5995	3.4412	4.1107
ENE	15.04	1.7810	2.4540	3.1995	3.8527
E	13.54	1.7435	2.4970	3.3324	4.1912
ESE	13.24	1.8380	2.7330	3.9703	5.4654
SE	13.99	1.9860	2.9816	4.2077	5.3712
SSE	16.22	2.1920	3.2090	4.7299	5.9759
S	17.03	2.5590	3.5870	4.6863	5.6538
SSW	2.84	3.1230	4.3216	5.5861	6.3619
SW	0.11	2.7680	3.8110	4.6213	4.6520
WSW	0.01	1.9785	2.2335	2.2430	2.2430
W	0.00	1.8210	2.1400	2.1400	2.1400
WNW	0.00	1.9220	1.9930	1.9930	1.9930
NW	0.01	2.1640	2.2730	2.2730	2.2730
NNW	0.01	1.7860	2.0760	2.0760	2.0760

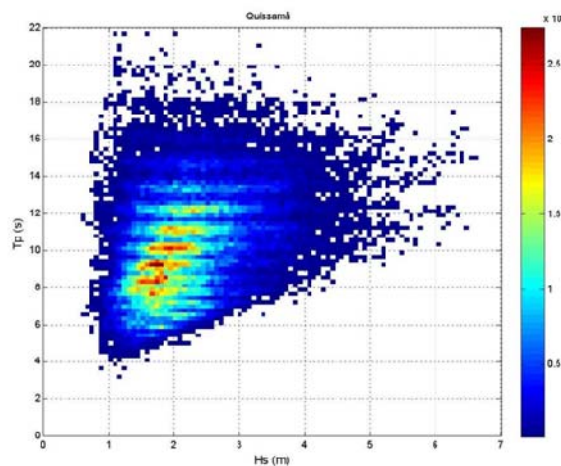


Figura 5 - Diagrama de distribución conjunta de H_s - T_p para los datos del modelo WWIII. La barra de colores indica la frecuencia de ocurrencia de cada combinación.

Según las figuras de arriba, es posible concluir que las olas son predominantemente provenientes de direcciones entre NE y SW (99,84% de los registros), con alturas de ola variando entre 0,5 y 6,5 m y períodos de 3 a 22 s. Fueron analizados también los regímenes medio y extremal de H_s . El régimen medio fue definido ajustando los datos a distribuciones del tipo Normal, Log-Normal, Weibull de Mínimos y Gumbel de Máximos y observando cual obtenía el mejor ajuste por el coeficiente de correlación (R^2). La distribución de mejor ajuste fue la Gumbel de Máximos ($R^2 = 0.9998$), estando su gráfico linealizado presentado en la Figura 6. El régimen de extremos fue calculado por el método *Peak Over Threshold (POT)*, adoptando el limiar de 99,5% y el resultado es presentado en la Figura 7.

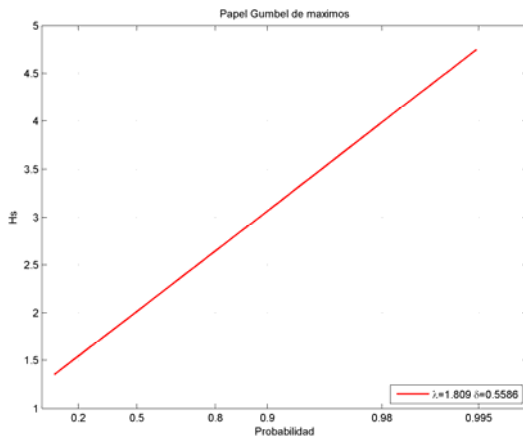


Figura 6 - Gráfico del régimen medio de H_s para el punto extraído del modelo WWIII, ajustado a la distribución Gumbel de Máximos.

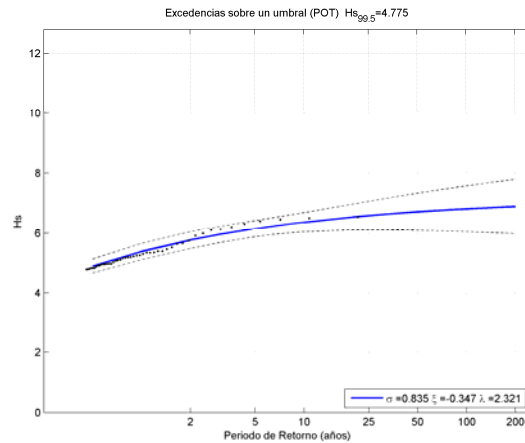


Figura 7 - Régimen extremal de H_s , calculado por el método POT – H_s 99,5%.

4.2 Propagación de olas en aguas someras (SWAN)

El oleaje propagándose por zonas costeras de poca profundidad es modificado de forma importante por la morfología del fondo. Los procesos de refracción, asomeramiento, disipación de energía y difracción, entre otros, son manifestaciones de dichas interacciones. El entendimiento de estos procesos físicos obtenidos a lo largo de los años, ha permitido incorporarlos en modelos numéricos de propagación de oleaje.

Para la propagación del oleaje desde aguas profundas hasta las cercanías de la costa fue utilizado el modelo SWAN, incorporado en el módulo Delft3D-Waves. El modelo SWAN (Simulating WAVes Nearshore) es basado en la ecuación de conservación de la acción de onda y es completamente espectral (en todas las direcciones y frecuencias). Esta última característica implica que un campo de ondas de crestas cortas, aleatorias, propagándose simultáneamente a partir de diferentes direcciones, puede ser acomodado (p.ej., un swell sobrepuesto por un mar de viento local). El SWAN computa la evolución de un campo de olas de crestas cortas aleatorias, en aguas profundas, intermedias y someras, así como en ambientes con presencia de corrientes (p. ej., desembocaduras). El modelo calcula los procesos de refracción provocados por corrientes o por cambios en la profundidad y representa los procesos de generación de olas por el viento, disipación por whitecapping, fricción con el fondo y rotura inducida por la profundidad, así como interacciones no-lineales ola-ola (quadruplets y triads), explícitamente, con las formulaciones que representan el estado-del-arte en modelación de olas. Olas bloqueadas por corrientes son también representadas explícitamente en el modelo. Muy importante en estudios de ingeniería costera y portuaria son los procesos de difracción, transmisión, bloqueo y reflexión en obstáculos, también incluidos en las formulaciones del modelo. El SWAN ha sido validado y verificado con sucesos en una gama de experimentos complejos de campo y de laboratorio (Ris et al., 1999; WL | Delft Hydraulics, 1999, 2000).

El SWAN fue desarrollado por Delft University of Technology (Holanda) y es especificado como el nuevo patrón en estudios de modelación de olas e protección costera. Por ese motivo, la WL | Delft

Hydraulics integro el modelo SWAN en el paquete de modelos Delft3D. Detalles sobre formulaciones y una serie de referencias y publicaciones realizadas por la comunidad científica sobre el modelo SWAN pueden ser encontrados en la página web: <http://fluidmechanics.tudelft.nl/swan.default.htm>.

4.3 Malla computacional

Para simular los procesos de propagación de olas desde el punto de reanálisis del WWIII hasta las proximidades de la desembocadura de Barra do Furado, fueron creadas 3 mallas de cálculo anidadas, con resoluciones distintas, como ilustrado en la Figura 8. La malla exterior (M1) es una malla curvilínea que presenta sus contornos SE e NE aproximadamente alineados con la isóbata de 100 m, permitiendo que los contornos presenten una profundidad aproximadamente constante y próxima de la profundidad del punto de datos del modelo WAVEWATCH III. La malla M1 presenta un espaciado medio de aproximadamente 1000 m, siendo que su valor disminuye con la aproximación de la costa. Las mallas M2 y M3 son mallas ortogonales regulares, con espaciado de 320 m y 60 m, respectivamente, posicionadas en la región de la desembocadura de Barra do Furado, garantiendo mayor detalle en las cercanías del punto de interés.

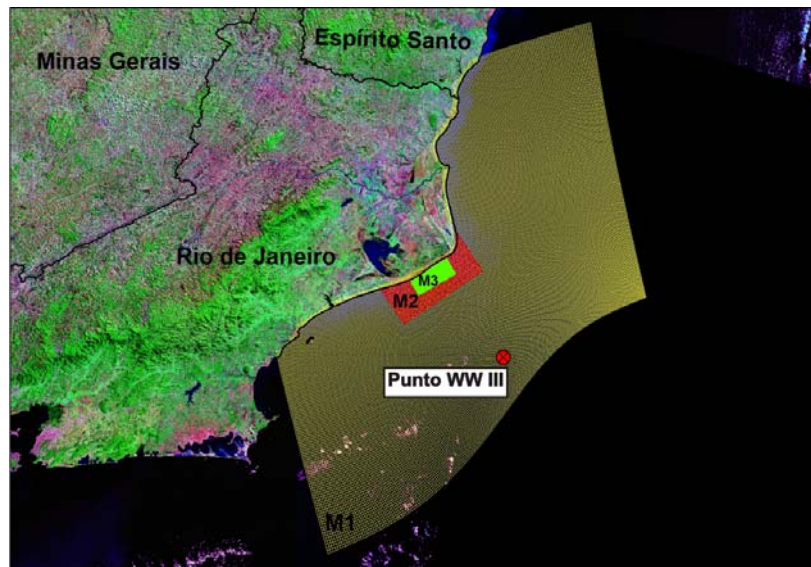


Figura 8: Mallas de cálculo anidadas utilizadas en la propagación de olas desde aguas profundas hasta la región de interés en aguas someras.

4.4 Base batimétrica del área de estudio

Los valores de profundidad del área de estudio fueron obtenidos a través de la digitalización de las Cartas Náuticas no 23000 (Figura 9), 1400 e 1403, realizadas por la *Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil (DHN)*, en formato digital raster. Estas informaciones, juntamente con las respectivas coordenadas geográficas, posibilitaron a través del módulo Delft3D-RGFGRID y QUICKIN, interpolar por triangulación lineal, los datos de batimetría del área de estudio e incluirlos en las mallas del SWAN, para así discretizar los valores de profundidad a lo largo de todo el dominio de cálculo.



Figura 9: Detalle de la Carta Náutica n° 23000, realizada por la DHN.

En la Figura 10 es presentada la información batimétrica del área de estudio, proyectada en la malla de cálculo del modelo numérico.

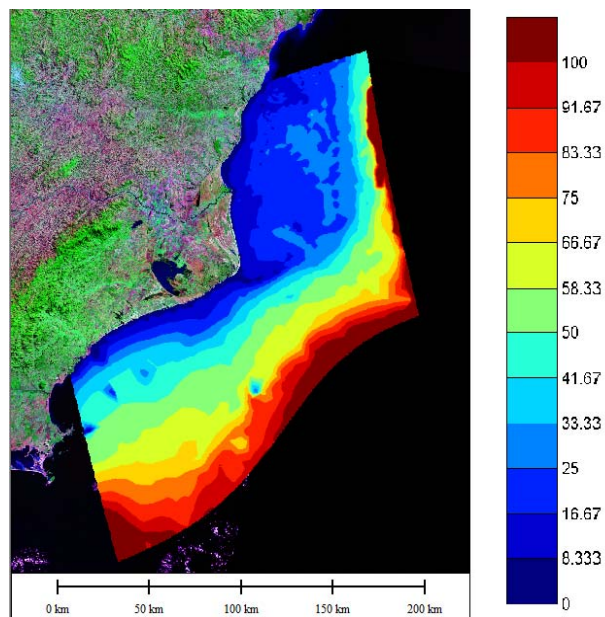


Figura 10. Batimetría interpolada en el dominio de cálculo del modelo numérico implementado en la región de Barra do Furado, en Quissamã - RJ. La información de la profundidad fue obtenida a través de la digitalización de las cartas náuticas no 23000, 1400 e 1403, realizada por la *Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN)*.

4.5 Definición de los casos de propagación

Con base en la caracterización del clima marítimo en aguas profundas, fue posible definir los casos de propagación, o estados de mar a ser propagados, los cuales abarcan de manera satisfactoria los casos medios y extremos de la serie.

Fueron definidas 45 combinaciones de H_s-T_p (con base en el diagrama de distribución conjunta de H_s-T_p), conforme presentado en la Figura 11.

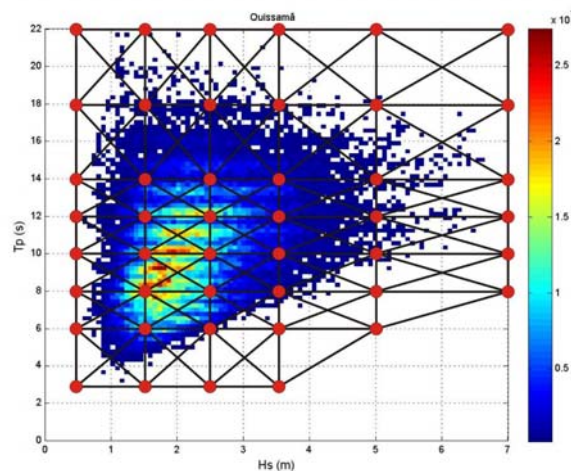


Figura 11 - Combinaciones de H_s-T_p (puntos rojos) propagadas con las 9 direcciones más frecuentes. Las líneas negras indican el área de interpolación adoptada por la metodología del hipercono.

Los casos fueron definidos de forma que permitan interpolar todas las combinaciones de H_s-T_p que ocurren en la serie temporal en aguas profundas, adoptando una mayor resolución para las combinaciones de H_s-T_p más frecuentes (H_s de 0,5 a 3,5 m y T_p de 6 a 14 s). Esas 45 combinaciones fueron propagadas para las nueve direcciones más frecuentes (de NE a SW), totalizando 405 casos. Las direcciones de NE a SW, además de las más frecuentes, son las direcciones que se pueden propagar hasta el punto de interés; las otras direcciones, fuera de estos límites, no son consideradas para la aplicación de la metodología del hipercono.

4.6 Datos de entrada y resultados de las propagaciones

Con las mallas de cálculo y la batimetría definidos, fueron criados y ejecutados los 405 casos de propagación con el modelo Delft3D-Waves. El modelo fue ejecutado en el modo estacionario, considerando los procesos de refracción, difracción, disipación con el fondo y por rotura (coeficientes definidos como default). Los espectros de entrada fueron definidos con los datos de H_s , T_p y Dir de los casos, adoptando un espectro JONSWAP con parámetro gama de 3,3, dispersión direccional de 15° (para casos con período superior a 10 s) y 20° (para casos con período menor o igual a 10 s). El espectro fue discretizado en 35 componentes frecuenciales y 72 componentes direccionales. Los contornos NE, SE y SW de la malla fueron forzados con espectro constante para cada caso.

En la Figura 12 y Figura 13 son presentados tres ejemplos de salida del modelo de propagación de olas, provenientes de aguas profundas con diferentes alturas significantes y direcciones NE, E y S, respectivamente.

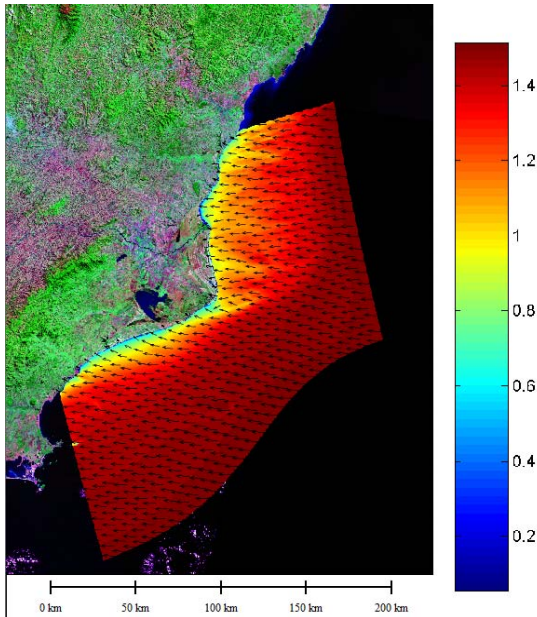


Figura 12 – Isocontornos de altura y dirección de propagación para la simulación de un estado de mar proveniente de aguas profundas con: $H_s = 1,5$ m, $T_p = 7,2$ s, $Dir = 95^\circ$.

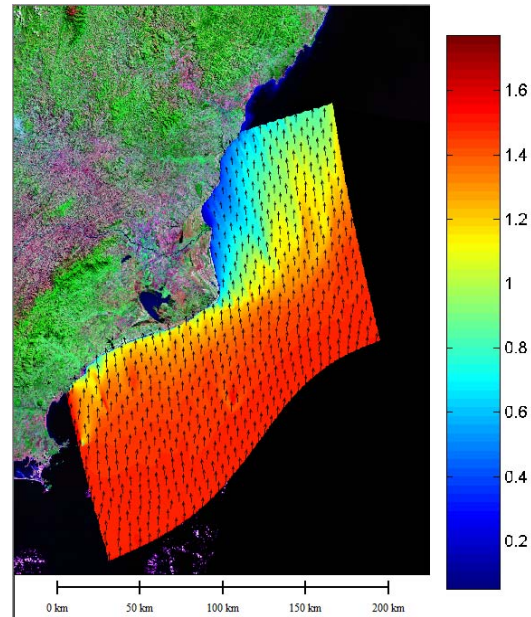


Figura 13 – Isocontornos de altura y dirección de propagación para la simulación de un estado de mar proveniente de aguas profundas con características: $H_s = 1,72$ m, $T_p = 9,4$ s, $Dir = 180^\circ$.

4.7 Reconstrucción de la serie temporal en aguas someras (la metodología del Hiper cubo)

Con base en los resultados de la propagación de una serie larga de casos de olas desde aguas profundas hasta las proximidades de la costa, con diferentes combinaciones de H_s , T_p y Dir , fue posible realizar la interpolación lineal tridimensional de los resultados para así determinar los valores de H_{si} , T_{pi} y Dir_i en el punto de análisis.

Los resultados de H_s , T_p y Dir obtenidos a partir de la propagación de los 405 casos fueron obtenidos para el punto de interés. A través de la determinación de los coeficientes de propagación con características direccionales, fue posible reconstruir la serie temporal en aguas someras utilizando la metodología del hiper cubo, aplicada a través de rutinas elaboradas en MATLAB®. El resultado de la reconstrucción de la serie temporal de 20 años de H_s , T_p y Dir para el punto de análisis es presentado en la Figura 14, abajo.

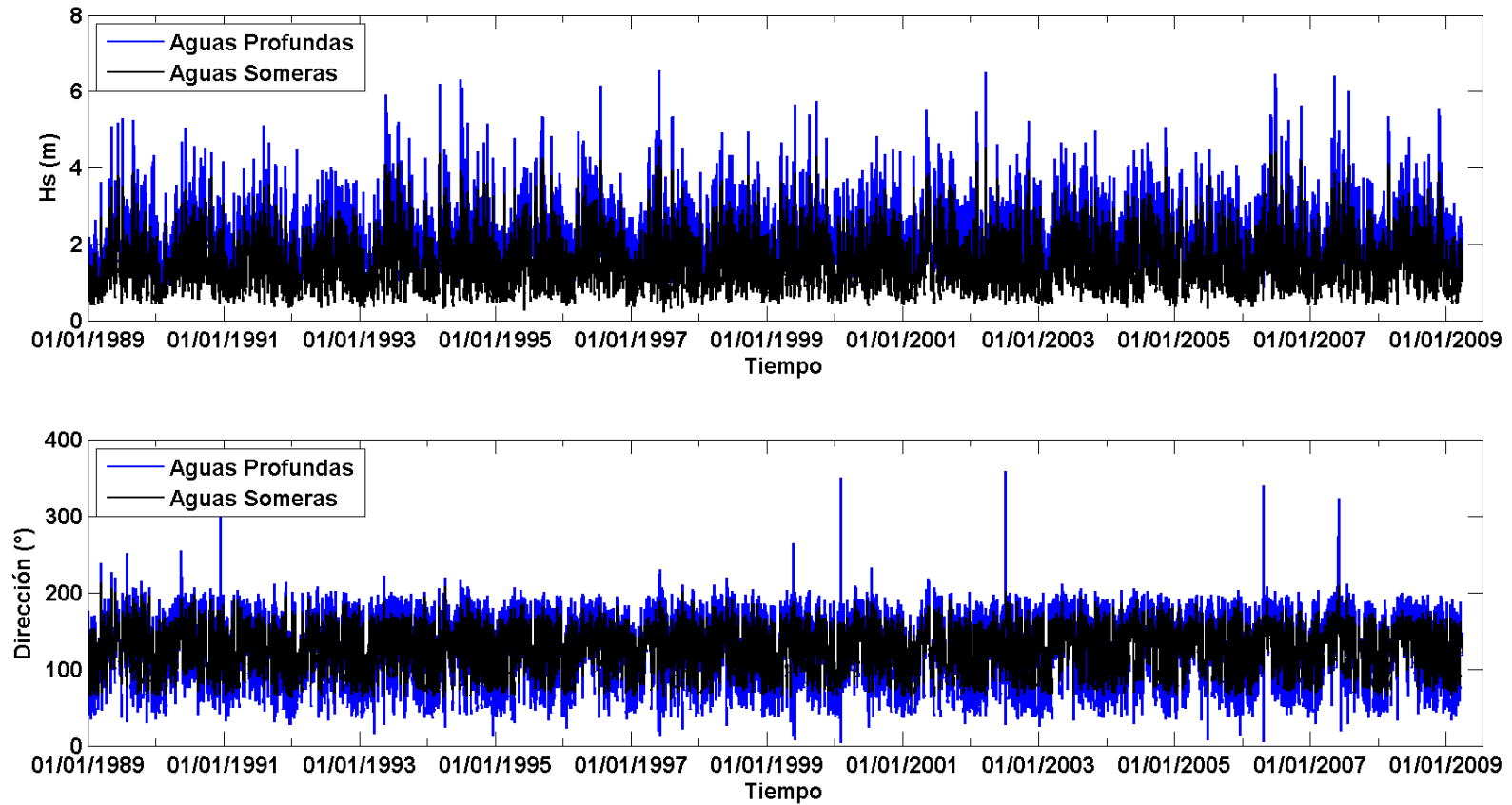


Figura 14 - Serie temporal de H_s y Dir para aguas profundas (WWIII) y aguas someras generada con el hipercubo a partir de los resultados de las propagaciones con el modelo Delft3D-Waves.

4.8 Validación de la metodología

Para validar la metodología del hipercubo, fueron comparados los datos de H_s medidos por un ADCP con los datos generados por la metodología del hipercubo, ambos ubicados en coordenadas geográficas iguales. Esa comparación es presentada en la Figura 15, en la cual es posible observar que las tendencias son reproducidas de forma adecuada para el parámetro altura significativa de ola H_s .

Es posible concluir que la generación de la serie temporal para aguas someras representa de manera satisfactoria el patrón del oleaje en el punto de interés durante el periodo de comparación. El temporal del día 24/02 ocurrido en aguas profundas no aparece ni en el dato medido en aguas someras ni en la serie generada a partir del empleo de la metodología. Sin embargo, la metodología del hipercubo sobreestimó el temporal del día 07/03.

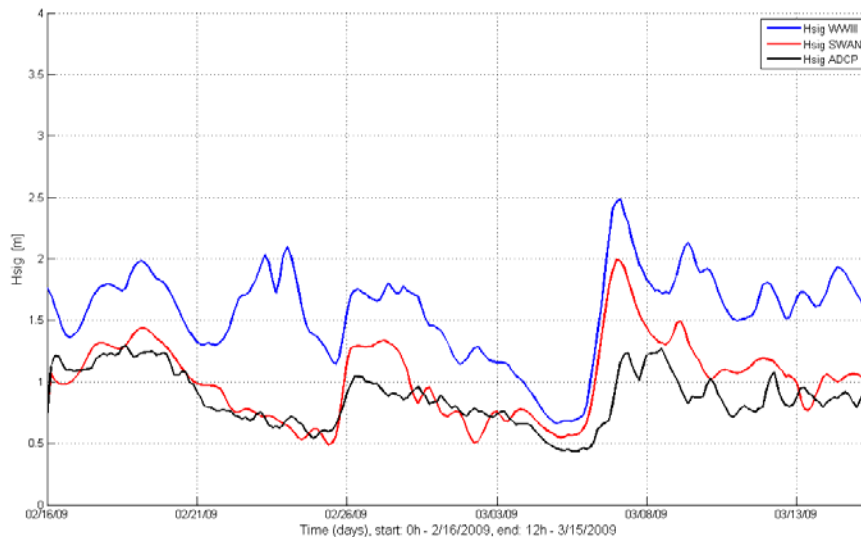


Figura 15 – Serie temporal del parámetro altura significativa de ola en aguas profundas extraída del modelo WWIII (línea azul) y comparación entre la serie medida por el ADCP (línea negra) y generada por la metodología del hipercubo a partir de los resultados del modelo Delft3D-Waves para el mismo período (línea roja).

4.9 Clima marítimo en aguas someras

Después de validar los resultados de la serie temporal generada en aguas someras, fue posible analizar el clima marítimo para el área de estudio, con el objetivo de determinar las alturas de ola de proyecto. Fue generada la función de distribución de H_s (Figura 16), rosa direccional (Figura 17) y tabla de probabilidades direccionales (Tabla 2). Además, fueron extraídos los regímenes medio e extremos de H_s en aguas someras. La distribución de mejor ajuste para el régimen medio fue la Weibull de Mínimos ($R^2 = 0.9986$), presentada en la Figura 18. A su vez, el régimen extremal fue calculado por el método *Peak Over Threshold* (POT), adoptando el limiar de 99,5%, cuyos resultados son presentados en la Figura 19. Los valores de H_s para el período de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años son presentados en la Tabla 3.

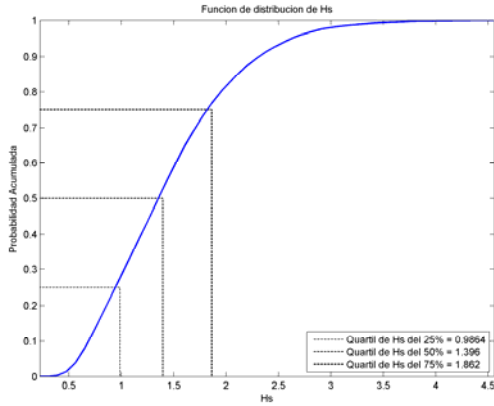


Figura 16 - Función de distribución (probabilidad acumulada) de H_s para los datos de la serie temporal para el punto de interés en aguas someras.

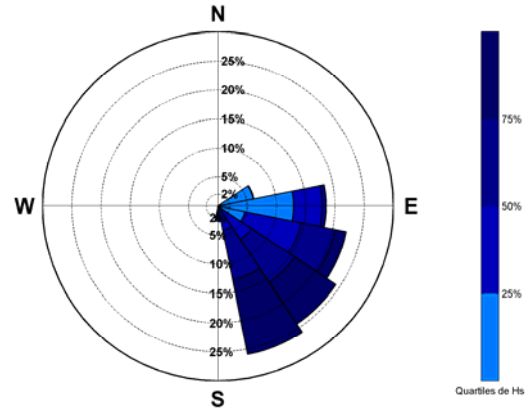


Figura 17 - Rosa direccional y cuartiles de H_s para los datos de la serie temporal reconstruida para el punto de interés en aguas someras.

Tabla 2 – Probabilidades direccionales para los datos de la serie temporal reconstruida en el punto de interés en aguas someras.

Direcciones	Probabilidad (%)	$H_{s50\%}$	$H_{s90\%}$	$H_{s99\%}$	H_{s12}
N	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
NNE	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
NE	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
ENE	6.24	0.6698	0.8701	1.0217	1.0802
E	18.50	0.8607	1.2025	1.6098	1.9463
ESE	22.36	1.2497	1.8169	2.6818	3.5815
SE	24.22	1.6545	2.5030	3.6236	4.3198
SSE	25.92	1.8692	2.6890	3.5903	4.1814
S	2.51	1.9017	2.6700	3.3778	3.7980
SSW	0.08	1.6619	2.0402	2.1850	2.1850
SW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
WSW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
W	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
WNW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
NW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
NNW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

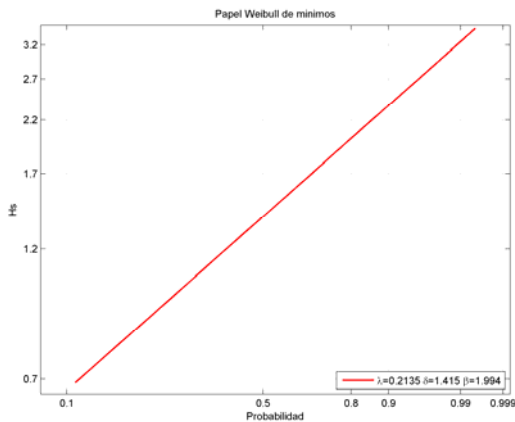


Figura 18 - Gráfico linealizado de regime medio de H_s en aguas someras, ajustado a una distribución Weibull de Mínimos.

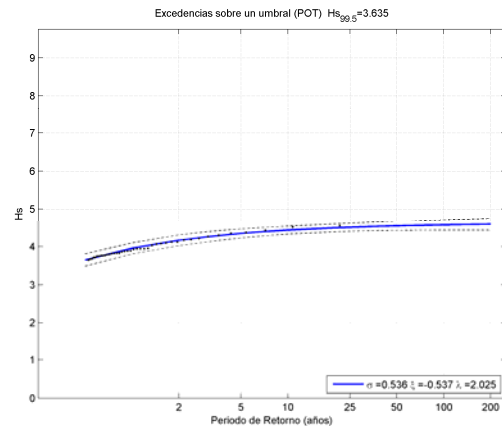


Figura 19 - Régimen extremo de H_s en aguas someras, calculado por el método POT – $H_{s99,5\%}$.

Tabla 3 - Valores de H_s en el punto de interés para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años.

H_s (m)	Período de Retorno (años)
4,11	2
4,35	5
4,44	10
4,51	25
4,55	50
4,57	100

5. CONCLUSIONES

En el presente trabajo fue presentada la descripción de la metodología utilizada para caracterización del clima marítimo en un punto cerca de la costa a partir de una serie de datos en aguas profundas, conocida como hypercubo, desarrollada por los investigadores del Instituto de *Hidraulica Ambiental de la Universidad de Cantabria (IH Cantabria)*.

La aplicabilidad de la metodología fue demostrada a partir de su empleo en una región de la costa brasileña, realizado por la empresa *Coastal Planning & Engineering do Brasil (CPE)*.

Los resultados muestran que el uso de modelos numéricos y técnicas de interpolación de los coeficientes de propagación a través del hypercubo suple de manera satisfactoria la falta de información existente en aguas someras, generando una serie de datos de olas suficientemente larga para caracterizar el clima marítimo y obtener los parámetros necesarios al correcto dimensionamiento de las estructuras portuarias y de protección de la costa.

6. REFERENCIAS

Camus, P. (2009). Metodologías para la definición del clima marítimo en aguas profundas y someras: Aplicaciones en el corto, medio y largo plazo. Tesis doctoral. Universidad de Cantabria.

Komen, G. J., L. Cavaleri, M. Donelan, K. Hasselmann, S. Hasselmann and P. A. E. M. Janssen, 1994: Dynamics and Modelling of Ocean Waves. Cambridge University Press, 532 pp.

Ris, R.C., N. Booij and L.H. Holthuijsen, 1999. A third-generation wave model for coastal regions, Part II, Verification, J.Geoph.Research C4, 104, 7649-7666.

ROM 03.91 (1991). Recomendaciones para Obras Marítimas. Waves Recommendation (Annex: Climate on the Spanish Coastlines).

Tolman, H. L., 1997: User manual and system documentation of WAVEWATCH-III version 1.15. NOAA / NWS / NCEP / OMB Technical Note 151, 97 pp.

Tolman, H. L., 1999a: User manual and system documentation of WAVEWATCH-III version 1.18. NOAA / NWS / NCEP / OMB Technical Note 166, 110 pp.

WAMDIG 1988: The WAM model - A third generation ocean wave prediction model. *Journal of Physical Oceanography*, 18, 1775-1810.

WL | Delft Hydraulics, 1999. Modification first-guess SWAN and bench mark tests for SWAN: Report no. H3515, Delft.

WL | Delft Hydraulics, 2000. Physical formulations SWAN and data for validation: Report no. H3528, Delft.