

Un método gráfico para el pronóstico de oleaje durante huracanes en el Caribe adyacente a Costa Rica

OMAR G. LIZANO

*Departamento de Física Atmosférica, Oceánica y Planetaria, Escuela de Física,
Centro de Investigaciones Geofísicas y Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR),
Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica*

(Recibido 4 agosto 1995, aceptado 29 enero 1996)

ABSTRACT

A simple graphic method for wave forecasting during the occurrence of hurricanes in the Caribbean adjacent to Costa Rica is presented. This method utilizes the basic parameters which are reported by the services of meteorological information. Based on the study of parameters which characterize a hurricane: central pressure, speed and direction of movement, and radius of maximum winds, carried out by Lizano and Fernández (1996), combinations covering all types of hurricanes which may be generated in the region were made. Utilizing a numerical wave generation model, the wind and wave hurricane conditions associated with the different combinations of those parameters were simulated. An example (Hurricane Joan in 1988) is provided, in order to carry out a wave forecast with the typical hurricane parameters.

1. Introducción

El pronóstico de oleaje ante huracanes involucra el uso de modelos numéricos, y dependiendo del modelo usado, es necesario una gran capacidad de memoria y velocidad de procesamiento, lo cual incurre en un alto costo computacional.

Pocos métodos manuales de pronóstico de oleaje para huracanes se han desarrollado. Entre los más usados están las relaciones sencillas de Bretschneider (1959, 1970, 1972a, 1972b), con las cuales se puede calcular la altura de oleaje en agua profunda, siempre y cuando el huracán se desplace lentamente. Una vez conocida la altura de la ola alrededor del ojo del huracán con estas relaciones, el método provee una gráfica para calcular la altura de ola para cualquier región del huracán. El Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos (SPM, 1984) ha hecho uso de este método por considerarlo práctico y apropiado para estudios de ingeniería costera. Sin

embargo, aunque es un método sencillo requiere algún conocimiento sobre parámetros básicos del océano. Por otro lado, los resultados de Young (1988) indican que la velocidad de avance del huracán juega un papel muy importante en la generación de olas, un parámetro que no tiene mucha relevancia en los métodos anteriores propuestos por Bretschneider.

Este trabajo provee un método gráfico, resultado de la aplicación de un modelo numérico muy reciente, el cual puede ser empleado para hacer pronóstico de oleaje durante un huracán. El método provee gráficas sencillas para calcular fácilmente la dirección y altura de la ola en cualquier región del huracán. Lo único que se requiere conocer son los parámetros básicos del huracán que están al alcance en los servicios de información meteorológica.

2. Metodología

Un modelo numérico de segunda generación (Recio, 1981), adaptado para el pronóstico de oleaje ante huracanes (Lizano, 1988) fue utilizado para

Corresponding author address: Dr. Omar G. Lizano, Centro de Investigaciones Geofísicas, Universidad de Costa Rica, 2060 San José, Costa Rica. E-mail: olizano@cariari.ucr.ac.cr

TOPICOS METEOROLOGICOS Y OCEANOGRAFICOS

- Clark, G.B. y Staff, 1985 Annual data and verification tabulation Atlantic tropical cyclones 1984 NOAA Technical Memorandum NWS 21. National Hurricane Center. 164 pp
- Elsberry, R.L., W M Frank, G.J. Holland, J D. Jarrell y R.L. Southern, 1985 *A Global View of Tropical Cyclones*. Publication financed by a grant from the Office of Naval Research, 1885 pp.(Available from R.L. Elsberry, Naval Postgraduate School, Monterrey, California, USA)
- Emanuel, K.A , 1987. The dependence of hurricane intensity on climate. *Nature*, 326, 483
- Fernández, W , 1991. Cambios climáticos. el calentamiento global. *Tecnología en Marcha*, 11(2), 11-22.
- Fernández, W., 1994. El cambio climático y sus posible efectos en la biodiversidad. En *"Ideario de la ciencia y la tecnología hacia el nuevo milenio"*. Ministerio de Ciencia y Tecnología, San José.
- Fernández, W. y N. Vega, 1996. A comparative study of Hurricanes Fifi (1974) and Greta (1978) and their associated rainfall distributions over Central America. *Top Meteor. Oceanogr.*, (en prensa).
- Frank, W M , 1977a. The structure and energetics of the tropical cyclone. Part I Storm structure. *Mon Wea. Rev.*, 105, 1119-1135.
- Frank, W.M., 1977b. The structure and energetics of the tropical cyclone. Part II. Dynamics and energetics. *Mon. Wea. Rev.*, 105, 1136-1150.
- Frank, W.M., 1985. Tropical cyclone formation. En *A Global View of Tropical Cyclones (R.L. Elsberry, ed.)*, Chapter 3, pp 53-90. Publication financed by a grant from the Office of Naval Research, (Available from R.L. Elsberry, Naval Postgraduate School, Monterrey, California, USA).
- Grandoso, H., 1976. Ciclones tropicales y precipitaciones intensas. Efectos indirectos. En *Intense Precipitation and Floods in Tropical Areas of Latin America*, Proceedings of a Training Seminar held in San Salvador from 12 to 21 February 1976, World Meteorological Organization, Geneva, pp 41-52.
- Gray, W.M., 1968. Global view of the origin of tropical disturbances and storms *Mon. Wea. Rev.*, 96, 669-700
- Gray, W.M., 1975 Tropical cyclone genesis. Department of Atmospheric Science, Paper No 232, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, 121 pp.
- Gray, W.M., 1978. Hurricanes. their formation, structure and likely role in the tropical circulation. En *Meteorology over the Tropical Oceans* (D.B. Shaw, ed.), Royal Meteorological Society, Bracknell, pp 155-218.
- Hastenrath, S y P.J. Lamb, 1977. *Climatic Atlas of the Tropical Atlantic and Eastern Pacific Oceans* The University of Wisconsin Press, Madison, Wisconsin.
- Herbert, P.J. y Staff, 1979. Annual data and verification tabulation Atlantic tropical cyclones 1978 NOAA Technical Memorandum NWS 9. National Hurricane Center. 164 pp.
- Herbert, P. J y Staff, 1980. Annual data and verification tabulation Atlantic tropical cyclones 1979. NOAA Technical Memorandum NWS 13. National Hurricane Center. 164 pp.
- Ho, F P., 1975. Storm tide frequency analysis for the coast of Puerto Rico NOAA Technical Memorandum NWS HYDRO-23. National Weather Service. 43 pp.
- Jarvinen, B.R., C J Newman y M A S. Davis. 1984. A tropical cyclones data tape for the North Atlantic Basin, 1886-1983. contents, limitation, and uses NOAA Technical Memorandum NWS NHC 22. National Hurricane Center. 22 pp.
- Laurence, M B. y P J. Herbert, 1979 Annual data and verification tabulation Atlantic tropical cyclones 1977. NOAA Technical Memorandum NWS 8. National Hurricane Center. 164 pp.
- Maul, G.A. (Editor), 1993. *Climate Change in the Intra-Americas* Edward Arnold, London, 389 pp.
- McBride, J.L., 1981a. Observational analysis of tropical cyclone

generar las condiciones de oleaje según las características de los huracanes. Este modelo utiliza un modelo de viento cuyo perfil es dado por (Lizano, 1990):

$$V(r) = V_{\max} \frac{2Rr}{r^2 + R^2} \quad r < R \quad (1)$$

$$V(r) = \frac{V_{\max}}{C_1 r^k} \log C_2 r^m \quad r > R \quad (2)$$

donde si hacemos:

$$A = 0.447 [14.5 \sqrt{P_n - P_o} - R(0.31)f] + \frac{V_f}{2} \quad (3)$$

entonces:

$$V_{\max} = A [1 - 0.5 \sqrt{\frac{1 - \cos \phi}{A}}] \quad (4)$$

donde:

- r (km): distancia desde el ojo del huracán
- R (km): radio del ojo del huracán
- P_n (hPa): presión atmosférica ambiente (1013 hPa)
- P_o (hPa): presión atmosférica en el ojo
- V_f (m/s): velocidad de avance del huracán
- φ: ángulo entre el vector local del viento y la dirección de la tormenta
- V_{max} (m/s): velocidad máxima del viento alrededor del ojo del huracán
- f: parámetro de Coriolis (2 ω sen θ, en donde θ es la latitud) y donde: C₁ = 3.354, C₂ 1.265X10⁻³. Los valores de k = 0,095 y m = 1.575 fueron ajustados según Lizano (1988, 1990).

Los rangos de los parámetros de la presión atmosférica (P_o), la velocidad de avance (V_f), las direcciones de las tormentas (Az) fueron extraídos del análisis estadístico realizado por Lizano y Fernández (1995) del registro de la NOAA desde 1886 a 1988. La información del radio del viento máximo (R) de un huracán es reciente por lo que mereció un tratamiento aparte.

Radio de viento máximo (R):

El radio de viento máximo no es un parámetro incluido en el registro de la NOAA. Es un valor poco reportado. Usualmente se determinaba con

aviones de reconocimiento, y desde que aparecieron las imágenes de satélite, esta información ha sido cada vez más frecuente, y hoy en día constituye una de las variables que se incluyen en cualquier reporte de los institutos meteorológicos.

Un análisis de frecuencia de este parámetro fue realizado por Lizano y Fernández (1996), y aunque coincide con los valores característicos de estas latitudes como menciona Ho (1974), es una estadística con muy pocos valores como para determinar que son representativos de la región. En virtud de esto y dado que es un parámetro que está asociado a la latitud (θ), como puede verse en la Ecuación (3) a través del parámetro de Coriolis (f), se realizó un estudio para determinar su importancia en generación de olas para el modelo en nuestra área de estudio.

Simplificando la Ecuación (3) tendríamos que:

$$A = 6.482(P_n - P_o)^{0.5} - 0.073R \text{sen} \theta \quad (5)$$

CUADRO 1. Variación del Término B = 0.073Rsenθ (m/s) en el cálculo de la velocidad del viento

Latitud (°)	10	15	20
Radio (km)			
5	0.06	0.09	0.12
10	0.13	0.19	0.25
15	0.19	0.28	0.37
20	0.25	0.38	0.50
25	0.31	0.47	0.62
30	0.38	0.57	0.75
40	0.50	0.76	1.00
45	0.75	0.85	1.12
50	0.63	0.94	1.25

Llamando B=0.073Rsenθ, el Cuadro 1 nos muestra la variación de esta variable en función de la latitud (θ) y del radio de viento máximo (R) de un huracán.

Como se nota en el Cuadro 1, la contribución del radio de viento máximo R a la velocidad de viento máximo (Ecuación 4), no es tan significativa en nuestras latitudes. Más aún, para que exista una influencia directa de un huracán en nuestras costas caribeñas, por ejemplo alrededor de Puerto Limón, éste debe tener una trayectoria por debajo de los 12°N. Mientras que hasta para un radio de viento máximo (R) de 50 km a 15°N la contribución no pasa de 1m/s. En virtud de este análisis y a la necesidad de no perder resolución en la altura del oleaje según el tamaño de rejilla seleccionado por el modelo numérico de generación de olas (55.6km=30 mn), se seleccionó un radio de viento máximo (R) de 27.80 km (15 mn), de manera que el ojo del huracán

pueda resolverse en este tamaño de rejilla.

Presión atmosférica central (P_0):

Tres valores de presión central fueron seleccionados de Lizano y Fernández (1996) que representan una probabilidad significativa de que se presenten en la región (Cuadro 2). El valor mínimo de este cuadro representa aproximadamente 15% de los valores de la serie absoluta de presiones, en condición de huracán en la región. Mientras que el valor medio representa el 50% de esos valores y alrededor del valor promedio (969 hPa). El valor máximo cubre más del 95% de la frecuencia acumulada y es el valor más frecuente en la región.

CUADRO 2. Presiones atmosféricas centrales seleccionadas para caracterizar un huracán en la región

$P_1 = 941.5$ hPa	$P_2 = 967.0$ hPa	$P_3 = 989.5$ hPa
-------------------	-------------------	-------------------

CUADRO 3. Velocidades de avance (V_f) seleccionadas para caracterizar un huracán en la región

$V_1 = 7$ km/h	$V_2 = 20$ km/h	$V_3 = 34$ km/h
----------------	-----------------	-----------------

Velocidad de avance (V_f):

Tres valores de velocidad de avance fueron seleccionados del análisis de frecuencia presentado en Lizano y Fernández (1996), siendo 20 km/h el valor más frecuente en la región.

Dirección de la tormenta (Az):

Como pretendemos hacer pronóstico para cualquier trayectoria de huracán, y dando que el parámetro de Coriolis no es significativo para nuestra área, un huracán puede ser simulado en cualquier dirección, por lo que este parámetro es liberado. La probabilidad de tener huracanes en cualquier dirección existe como se demuestra en Lizano y Fernández (1996).

En resumen, el Cuadro 4 reúne las posibles combinaciones de parámetros de diseño de huracán que podrían generarse en la región.

Dado que el radio de viento máximo (R) es considerado constante, son 9 las posibles combinaciones que podrían producirse.

CUADRO 4. Parámetros seleccionados para caracterizar un huracán en la región

RMW (km)	27.8	-	-
P_0 (hPa)	941.5	967.0	989.5
V_f (km/h)	7.0	20.0	34.0

El modelo de generación de olas:

El modelo numérico ha sido calibrado para el pronóstico de oleaje en huracanes (Lizano, 1988) y utilizado para simulaciones en condiciones de huracán en nuestro Caribe (Lizano y Moya, 1990; Lizano, 1991). Es un modelo de los llamado discreto-espectral (Recio, 1981; Recio y Tracy, 1983) que necesita gran capacidad de memoria por lo que debe establecerse un compromiso entre el tamaño del área seleccionada para la simulación y el tamaño de rejilla utilizado para resolver las ecuaciones. El área que muestra la Figura 1 fue seleccionada de manera que el tamaño de rejilla utilizado (55.6 km) resuelva el ojo del huracán y el modelo numérico utilizará el máximo de la memoria expandida de una PC compatible. La simulación para cada característica de huracán se realizó por al menos 30 horas para que el huracán alcance un estado de maduración. En algunos casos, la simulación de viento se inició para posiciones del huracán fuera del área que muestra la Figura 1, en un área mayor, haciendo uso de una característica del modelo, implementada por Lizano (1988), de manera que se permitiera alcanzar suficiente grado de maduración para aquellos huracanes con mayor velocidad de avance (V_f), y que no lo alcanzan el área que muestra esa figura.

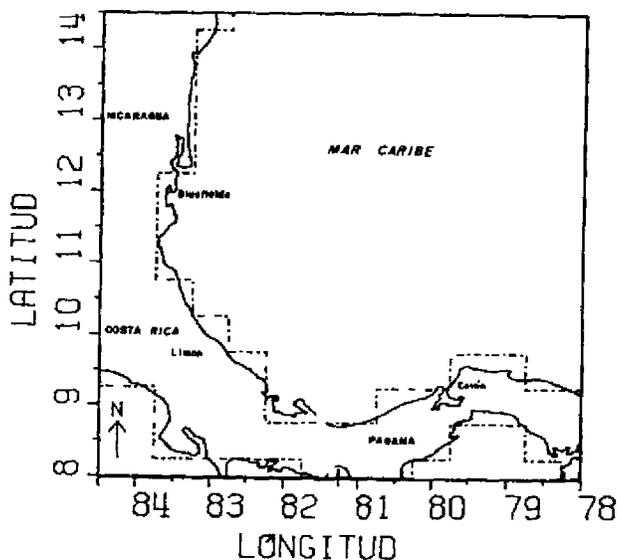


Fig. 1 Área de aplicación del método manual de pronóstico de oleaje durante huracanes.

3. Resultados

Análisis de la aplicación del modelo de generación de oleaje:

La aplicación de las combinaciones de los

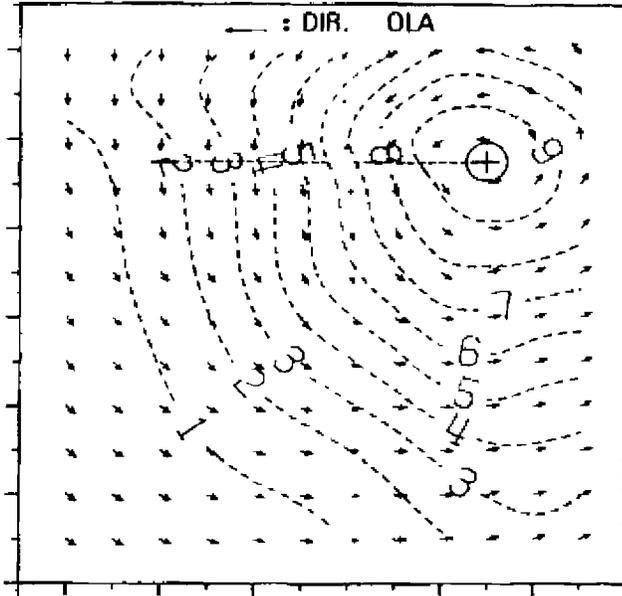


Fig. 2 Altura (m) y dirección de las olas para $P_0 = 941.5$ hPa y $V_t = 7$ km/h.

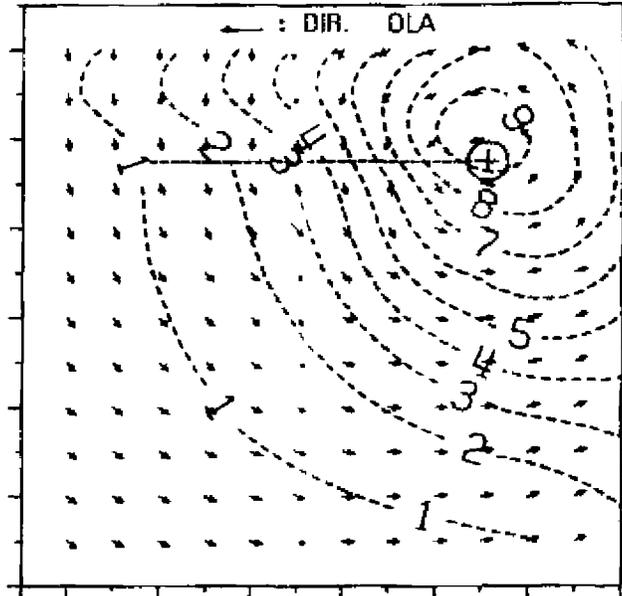


Fig. 3. Altura (m) y dirección de las olas para $P_0 = 941.5$ hPa y $V_t = 20$ km/h

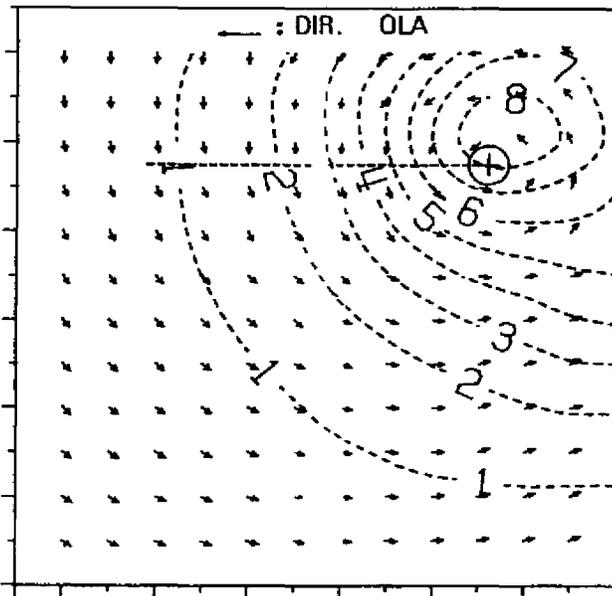


Fig. 4. Altura (m) y dirección de las olas para $P_0 = 941.5$ hPa y $V_t = 34$ km/h.

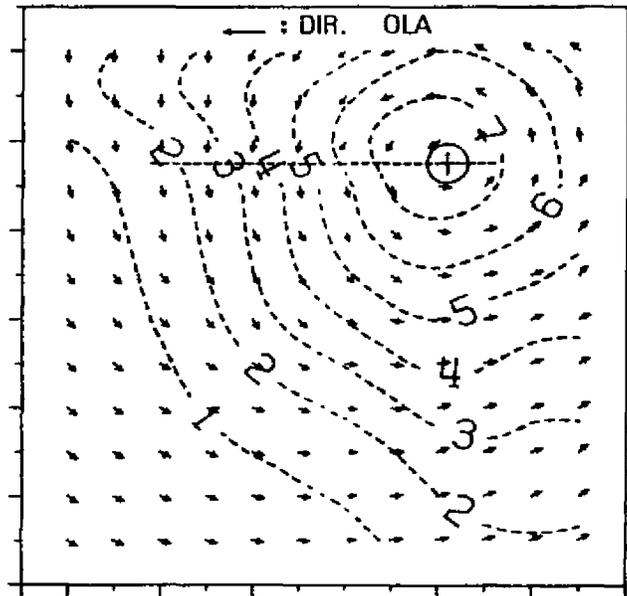


Fig. 5 Altura (m) y dirección de las olas para $P_0 = 967.0$ hPa y $V_t = 7$ km/h.

parámetros de diseño de huracán para el área de estudio se muestra en las Figuras 2 a la 10.

Las Figuras 2, 3 y 4 muestran el campo de oleaje para un valor único de presión central ($P_0 = 941.5$ hPa) y los tres distintos valores la velocidad de avance del huracán que indica el Cuadro 4. Las Figuras 5, 6 y 7 muestran la siguiente presión como

valor único ($P_0 = 967.0$ hPa) y las 3 variaciones de velocidad de avance y las Figuras 8, 9 y 10 para el último valor único de presión ($P_0 = 989.5$ hPa) y las tres distintas velocidades de avance. Comparando estas gráficas se nota que:

1. La altura de ola alrededor del ojo del huracán

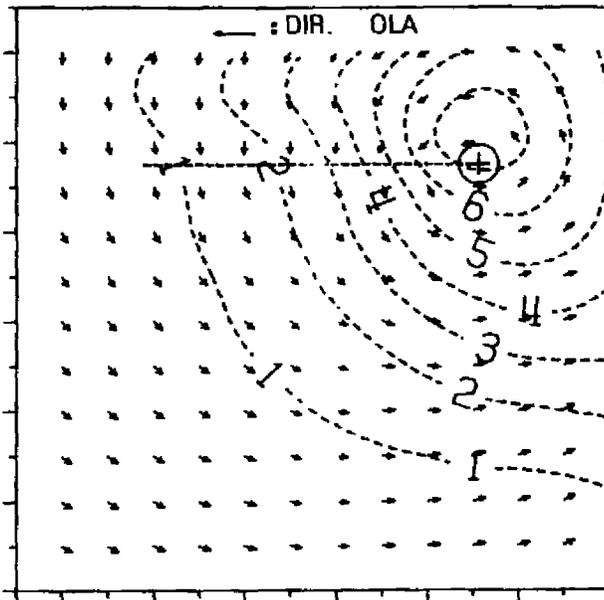


Fig. 6. Altura (m) y dirección de las olas para $P_0 = 967.0$ hPa y $V_t = 20$ km/h

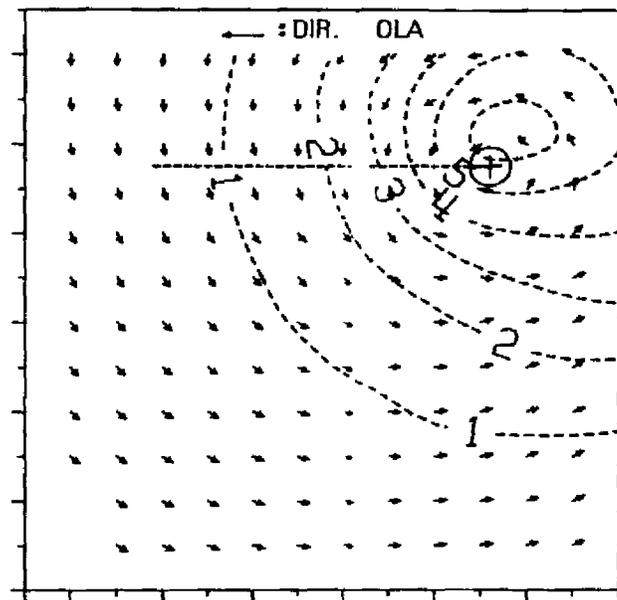


Fig. 7. Altura (m) y dirección de las olas para $P_0 = 967.0$ hPa y $V_t = 34$ km/h

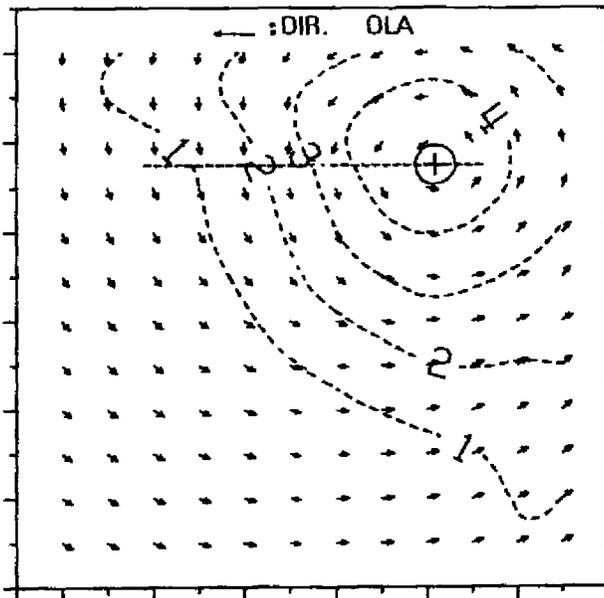


Fig. 8. Altura (m) y dirección de las olas para $P_0 = 989.5$ hPa y $V_t = 7$ km/h.

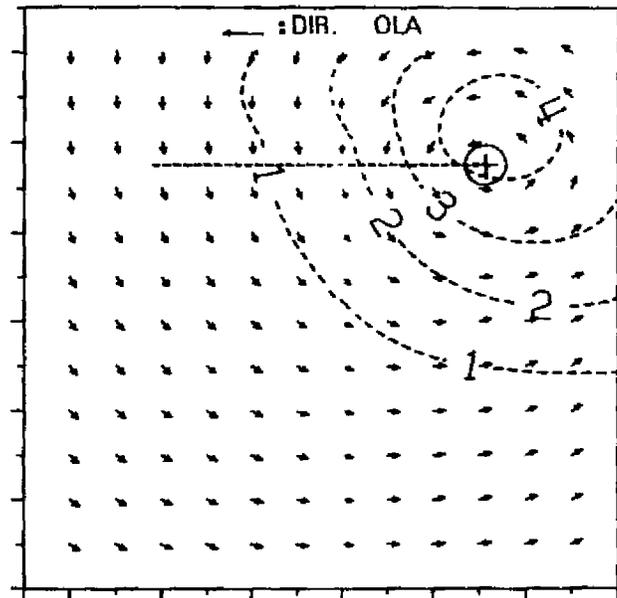


Fig. 9. Altura (m) y dirección de las olas para $P_0 = 989.5$ hPa y $V_t = 20$ km/h.

es mayor conforme el huracán disminuye la velocidad de avance.

2. Se produce una menor asimetría del oleaje a la derecha del ojo del huracán conforme se aumenta la velocidad de avance. Esta es una característica que simula muy bien nuestro modelo, lo cual ha

sido incorporado en las técnicas más modernas de generación de oleaje, como las que presenta Young (1988) en su modelo paramétrico.

3. La energía de las olas (la cual es proporcional al cuadrado de la altura) se propaga en un área menor conforme aumenta la velocidad de avance

del huracán. Esta es una condición esperada en un huracán, debido a la existencia de un mayor alcance de generación de olas como lo resaltan Gilman y Myers (1961).

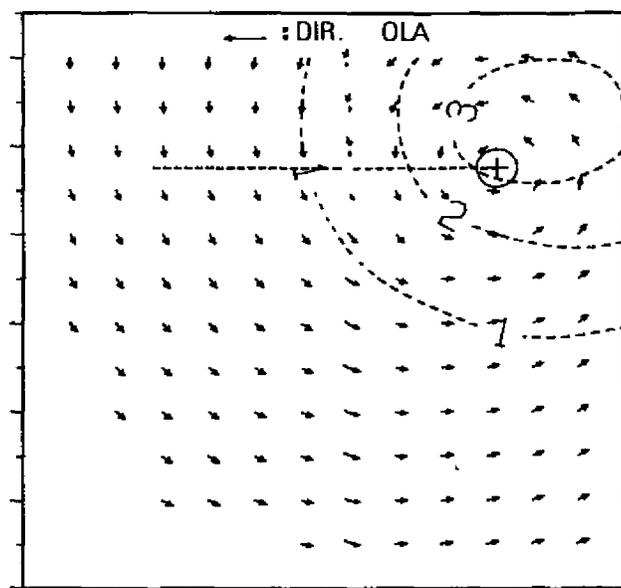


Fig 10 Altura (m) y dirección de las olas para $P_o = 941.5$ hPa y $V_f = 34$ km/h.

4. Se genera una menor altura de la ola alrededor del ojo y menor distribución de oleaje conforme se aumente la presión central.

Aplicación del método gráfico para obtener la altura del oleaje en agua profunda de un huracán:

Para aplicar este método son solamente necesarios los parámetros básicos que describen un huracán: presión central (P_o), velocidad de avance (V_f) y su dirección (Az). Los pasos que deben seguirse para realizar el pronóstico son los siguientes:

1. Conocer la posición del huracán por al menos 24 horas antes, de manera que se pueda determinar su dirección y su velocidad de avance promedio.
2. Determinar la presión central promedio del huracán en esas 24 horas.
3. Conocidos estos parámetros, se selecciona la gráfica que cumple aproximadamente con estas características promedio.

4. Conocida la posición actual (o extrapolada, según se requiera) y la dirección de la tormenta, se calcula la distancia desde el centro del huracán hasta el lugar donde se desea el cálculo de la altura del oleaje. (Para ello se utiliza la Figura 1 y la ayuda de un compás y de un transportador).

5. En la gráfica de la altura del oleaje se traza esa distancia y midiendo el ángulo entre la dirección de la tormenta y la posición deseada, se puede leer la altura y dirección de las olas en agua profunda.

Ejemplo. Se conoce que un huracán (Huracán Joan en 1988; Lizano y Moya, 1990) tiene una historia de 24 horas como muestra el siguiente Cuadro 5.

CUADRO 5 Parámetros básicos de un huracán para realizar pronóstico de oleaje

Hora	Latitud (°N)	Longitud (°W)	P_o (hPa)
00.00	11.2	79.7	970
06.00	11.3	79.9	973
12.00	11.5	80.5	970
18.00	11.6	81.1	970
24.00	11.6	81.5	954

Con los valores de la posición y el tiempo se pueden calcular las velocidades de avance $V_f = 4.1, 11.7, 11.3$ y 7.4 km/h para las cuatro últimas posiciones. Los valores promedio de estas variables serían: $V_f = 9$ km/h, $P_o = 967.4$ hPa, por lo que la gráfica que mejor ajusta estos valores sería la que se muestra en la Figura 5. Identificando las posiciones del huracán en la Figura 1 (y con ellas la dirección promedio de la tormenta), por ejemplo, y la posición del centro de la Provincia de Limón (Lat = $10^\circ N$, Long = $83^\circ W$), leeríamos en la Figura 5 para la hora 18 que la altura del oleaje sería alrededor de 3 metros en agua profunda. La dirección de la ola que muestra la figura es aproximadamente paralela a la costa, para esa posición. Dado que los contornos de profundidad son también paralelos a ella, estas olas alcanzan la costa por efecto de refracción de la ola (Lizano y Moya, 1990). Estos resultados podrían verse mejor sacando una transparencia de la Figura 1 y haciendo pasar a través de ella la trayectoria de cualquier combinación posible (Figuras 2 a 10) de huracán. En ella se puede ver claramente la altura y la dirección de la ola frente a la costa. Nótese que conforme acercamos el huracán hacia la costa, la altura de oleaje aumenta, pero con una dirección hacia afuera de la costa en respuesta a la típica

circulación de viento en un huracán.

Como el modelo de pronóstico de oleaje es un modelo de aguas profundas (>150 m), no se han tomado en cuenta las transformaciones que este oleaje sufre viajando sobre la plataforma continental. Estos efectos pueden aumentar o disminuir la altura del oleaje según exista convergencia o divergencia de la energía de las olas, lo cual depende de las variaciones batimétricas del fondo marino frente a Limón.

4. Conclusión

Un método gráfico sencillo ha sido implementado para realizar pronóstico de oleaje durante la presencia de huracanes utilizando los parámetros básicos que son proporcionados por los servicios de información meteorológica.

El método puede ser usado para cualquier velocidad de avance de los huracanes, lo cual era una restricción de las anteriores técnicas manuales (excepto la de Young, 1988).

Esta técnica, por ser sencilla, puede ser utilizada por una mayor cantidad de personas e instituciones que requieran de un método rápido y aproximado de pronóstico de oleaje ante la amenaza de un huracán.

Agradecimientos

Al Dr. Walter Fernández por la revisión y crítica de este trabajo. A la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica por el apoyo económico al proyecto No. 805-91-228.

RESUMEN

Se presenta un método gráfico sencillo para hacer pronóstico de oleaje durante la ocurrencia de huracanes en el Caribe adyacente a Costa Rica. Este método utiliza los parámetros básicos que son reportados por los servicios de información meteorológica. Con base en el estudio de los parámetros que caracterizan un huracán: presión central, velocidad y dirección de movimiento y radio de vientos máximos, realizado por Lizano y Fernández (1996), se diseñaron combinaciones que cubran todos los tipos de huracanes que pueden generarse en la región. Utilizando un modelo numérico de generación

de olas, se simuló las condiciones de viento y oleaje de huracán asociadas con las distintas combinaciones de estos parámetros. Se suministra un ejemplo (Huracán Joan en 1988) para realizar pronóstico de oleaje con los parámetros típicos de un huracán.

Referencias

- Bretschneider, C. L., 1959. Hurricane design wave practices. Trans ASCE, Vol. 124, Págs. 39-62.
- Bretschneider, C. L., 1970. Wave forecasting relations for wave generation. Look Lab/Hawaii. Vol. 1, No. 3.
- Bretschneider, C. L., 1972a. A non-dimensional stationary hurricane wave model. Proceedings of 1972 Offshore Technology Conference, Houston, Texas, Paper No. OTC 1517.
- Bretschneider, C. L., 1972b. Revisions to hurricane design wave practices. Proceedings of the 13th Coastal Engineering Conference, ASCE, Vancouver, Canada.
- Gilman, C.S. and V. A. Myers., 1961. Hurricane winds for design along the New England coast. J. of Waterways and Harbor Division. Vol. 87, No. WW2.
- Lizano, O. G., 1988. Modelo de predicción de olas generadas por huracanes en el Mar Caribe. Tesis de Doctorado, Universidad de Puerto Rico, Mayagüez. 126 págs.
- Lizano, O. G., 1990. Modelo de viento ajustado a un modelo de generación de olas para el pronóstico durante huracanes. Revista Geofísica (33), 75-103.
- Lizano, O. G., 1991. Simulación de oleaje durante el Huracán David a su paso por el Mar Caribe al sur de Puerto Rico. Ciencia y Tecnología XV(1-2), 5-12.
- Lizano, O. G. y R. J. Moya, 1990. Simulación de oleaje durante el Huracán Joan (1988) a su paso por el Mar Caribe de Costa Rica. Revista Geofísica (33), 105-126.
- Lizano, O. G. y W. Fernández, 1996. Algunas características de las tormentas tropicales y de los huracanes que atravesaron o se formaron en el Caribe adyacente a Costa Rica durante el periodo 1886-1988. Tóp. Meteor. Oceanogr., 3(1): 3-10, 1996.
- Resio, D.T., 1981. The estimation of wind-wave generation in a discrete spectral model. J. of Phys. Oceanogr. 11, 510-525.
- Resio, D. and T. Tracy, B. A., 1983. A numerical model for wind-wave prediction in deep water. WIS Report 12. Wave Information studies of U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station Hydraulics Laboratory Vicksburg, Miss.
- Shore Protection Manual, 1984. U.S. Army Coastal Engineering Research Center. 2 Vols, U.S. Government Printing Research Center, Washington, D.C.
- Young, I. R. 1988. Parametric hurricane wave prediction model. J. of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering. 114(5), 637-652.