

Water wave resonance in the new basin in Los Monjes del Sur, Venezuela

Pedro Solana S.¹, Henry Flores T.¹ y Hugo Contramaestre²

¹Instituto de Mecánica de Fluidos, Facultad de Ingeniería. ²Estudiante de Ingeniería Hidráulica. Universidad Central de Venezuela, Apartado Postal 47725, C.P. 1041-A, Caracas, Venezuela
E-mail: psolana@imf.ing.ucv.ve

Abstract

Experimental wave oscillations on a physical model of the new basin formed by the junction of the two Islas del Sur of the Archipelago of Los Monjes, at the north of the Golfo de Venezuela are presented in this study. The experimental results indicate that for the prevailing wave conditions the oscillations in the basin are not significant, whereas, for storm wave conditions, specially those coming from the north, the oscillations are too high, in some cases overcoming the incident wave height. This suggests the possibility of resonance wave occurrence. Additional tests are performed and they are compared with a simplified long wave theory in order to check its appearance.

Key words: Water waves, resonance, physical modelling.

Resonancia del oleaje en la nueva dársena de Los Monjes del Sur, Venezuela

Resumen

En el presente trabajo se presentan los resultados del estudio, realizado en modelo hidráulico físico, de oscilaciones de oleaje en la nueva dársena formada tras la conexión de las dos Islas del Sur del Archipiélago de Los Monjes, al norte del Golfo de Venezuela. Los resultados indican que para las condiciones dominantes del oleaje las oscilaciones en la dársena no son significativas, mientras que para las condiciones de oleaje de tormenta, especialmente aquellas procedentes del norte, se producen fuertes oscilaciones que en algunos casos alcanzan valores superiores a los valores de referencia. Esto sugiere la posibilidad de que se produzca en la dársena el fenómeno conocido como resonancia. Se hicieron ensayos adicionales y se compara con la teoría de la ola larga para un caso simplificado comprobándose la presencia del mismo.

Palabras clave: Oleaje, resonancia, modelaje hidráulico.

Introducción

En Noviembre de 1996 la tormenta "Marco", una tormenta atípica para las costas venezolanas, azotó las islas de Los Monjes arrojando como resultado que parte de las obras que allí se habían realizado se deterioraran produciéndose pérdida del material de relleno que iba a ser utilizado en los nuevos muelles a ser construidos allí. De acuerdo a algunos informes verbales de personas presentes en la isla durante el evento, las

oscilaciones en la zona protegida fueron muy fuertes a tal extremo que el oleaje pasaba por encima del actual y único muelle que opera la marina en esa isla.

Se han observado grandes oscilaciones para otros eventos, especialmente aquellos producidos en el Océano Atlántico [1] (procedentes básicamente del norte), observándose también fuertes oscilaciones entre las dos islas, antes de la conexión entre ambas (Isla Pequeña del Sur e Isla Grande del Sur de Los Monjes), Figuras 1 y 2.

Con la construcción del rompeolas de escollera de conexión se han presentado problemas preocupantes debido a que la geometría de las islas puede inducir fuertes oscilaciones dentro de la dársena e inclusive presentarse problemas de resonancia.

El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, contrató al Instituto de Mecánica de Fluidos (IMF) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela para realizar estudios en modelo hidráulico y analizar en detalle el problema y tratar de aminorar las posibles oscilaciones presentes en la dársena.

Sobre el modelo

En el tanque tridimensional exterior del Instituto de Mecánica de Fluidos de la Universidad Central de Venezuela (27 x 18 x 0.5 m), se realizó el modelo a escala reducida del conjunto de islas de los Monjes del Sur, IMF [5,6]. El modelo es un modelo de Froude no distorsionado de fondo fijo. La escala adoptada fue de 1/160. Esta escala fue escogida tomando en cuenta las limitaciones del laboratorio en lo relativo a espacio físico como a la capacidad de generación de oleaje. El modelo fue construido con acabado de concreto liso. La profundidad donde fueron colocados los generadores de oleaje corresponde a 40 m en el prototipo lo que en modelo da una profundidad de 25 cm. En la dársena la profundidad promedio en prototipo es del orden de 10 m. Estos generadores sólo permiten representar oleaje periódico. En la Figura 2 se muestra la disposición de la isla, así como la cuadrícula de medición.

Para los ensayos generales de oscilaciones se adoptaron dos periodos del oleaje para cada dirección del mismo que se presentan en la zona: Para el oleaje dominante se escogieron $T_p=7$ s y $T_p=10$ s (p=prototipo) con una dirección del oleaje de N 75 E, mientras que para el oleaje de tormenta N 20 E se tomaron dos periodos representativos: $T_p=12$ s y $T_p=15$ s.

En las Figuras 3 y 4 se pueden observar los resultados de los ensayos para el caso del oleaje de tormenta, donde se presentan las líneas de igual altura de ola para los casos antes mencionados:

$$K' = \frac{H_m}{H_r}$$

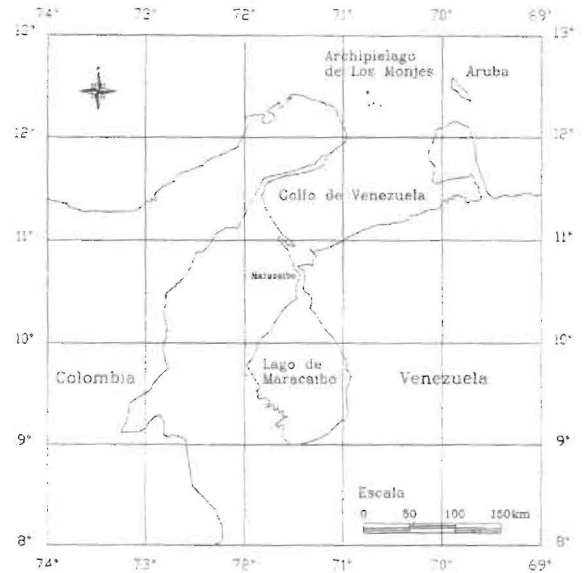


Figura 1. Ubicación geográfica del Archipiélago de Los Monjes.

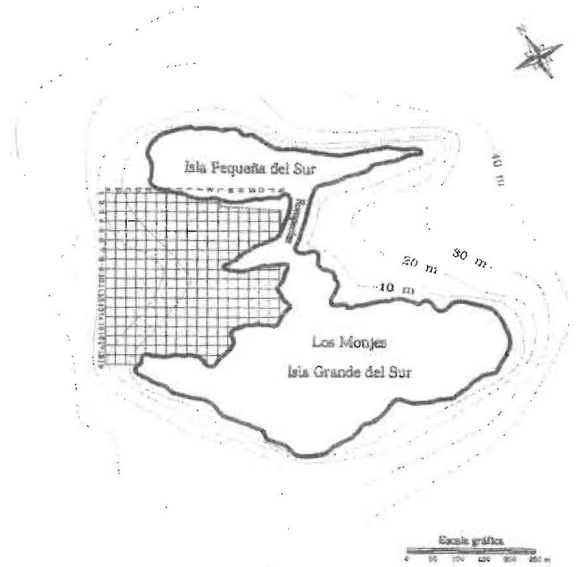


Figura 2. Distribución de las Islas, batimetría y cuadrícula de medición.

donde: H_m = altura de ola medida en la dársena; y H_r = altura de ola de referencia (en el generador).

En ambos casos se pueden observar en la zona de la dársena, oscilaciones mayores a $K'=1$, [1,2], lo cual implica que existe una combinación de varios procesos que se concentran allí, como los efectos de refracción, difracción y reflexión, y



Figura 3. Valores adimensionales de altura de ola (k') para el caso de oleaje de tormenta, $T_p=12$ s.

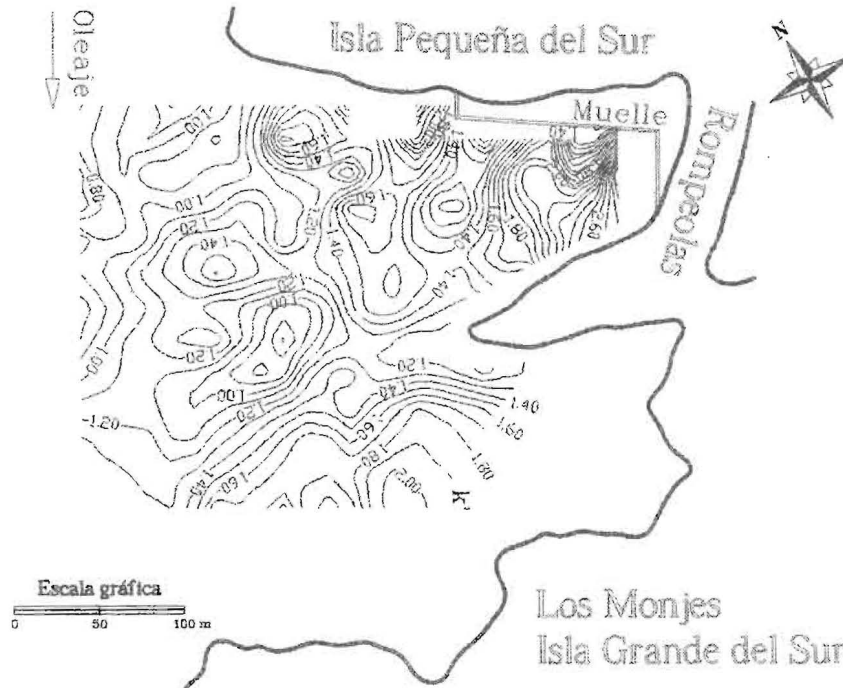


Figura 4. Valores adimensionales de altura de ola (k') para el caso de oleaje de tormenta, $T_p=15$ s.

que producen un patrón de oleaje muy complicado. En las Figuras 3 y 4, se observa que el patrón de oleaje en la dársena depende del período del

oleaje, lo cual sugiere la ocurrencia del fenómeno de resonancia.

Para mitigar o reducir estas fuertes oscilaciones se propusieron varias opciones de solución basadas en rompeolas emergentes al extremo oeste de la Isla Pequeña del sur de Los Monjes. La solución que mayormente amortiguaba al oleaje en la dársena [2] se presenta en la Figura 5. Esta solución implica la construcción de un rompeolas de 88 m de longitud y que llegaría hasta profundidades de 20 m. La figura muestra que las oscilaciones han sido fuertemente mitigadas, aunque el ensayo sólo se realizó para $T_p=12$ s.

Resonancia en la dársena

Las fuertes oscilaciones no sólo se presentaban en las adyacencias del rompeolas sino a lo largo de toda la dársena. Debido a esto se realizaron ensayos para diversos periodos del oleaje en la zona cercana al rompeolas (al pie del talud) y se presentan en la Figura 6. Dicha figura presenta

oscilaciones adimensionales con respecto a la ola de referencia medida en el generador. En dicha figura se observa que para periodos menores a 14 s no se presenta ninguna amplificación, mientras que para 15 s se observa la máxima amplificación del oleaje al pie del rompeolas. En la Figura 6 se muestran los resultados de tres puntos continuos cercanos al rompeolas (Figura 2), de forma tal que se puedan comparar las pequeñas variaciones en la configuración en planta de la dársena.

Para constatar la presencia de estas fuertes oscilaciones, que corroboran tanto los resultados experimentales como las observaciones en sitio, se realizó un análisis simplificado de las oscilaciones en la dársena formada (Figura 2), basados en la teoría de la ola larga (oleaje en aguas poco profundas) para el caso de un oleaje propagándose sobre fondo constante, como puede ser ideal-

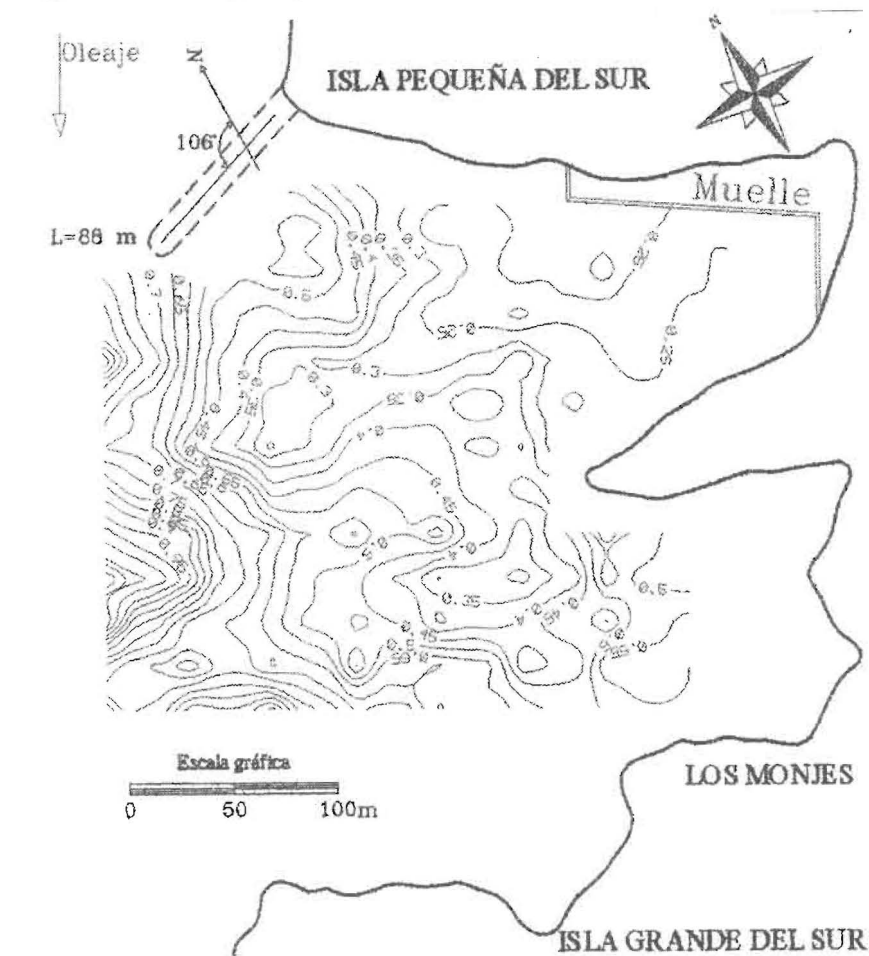


Figura 5. Valores adimensionales de altura de ola (k') para el caso de $L_p=88$ m y $T_p=12$ s.

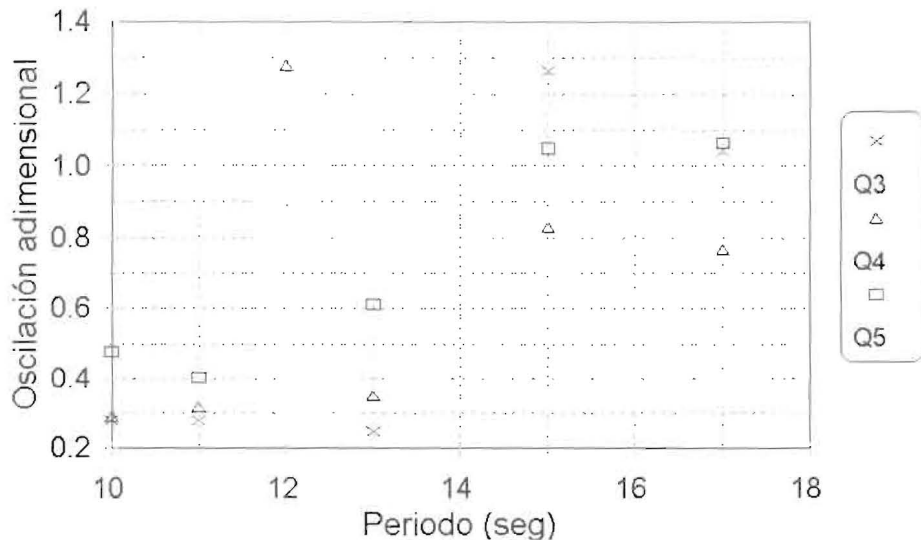


Figura 6. Valores adimensionales de oscilaciones experimentales vs periodo al pie del talud.

zada la zona en consideración, donde las profundidades están en el orden de los 10 m y donde se ha supuesto como primera aproximación que el rompeolas es de pared vertical.

En este caso las ecuaciones de conservación de la masa y cantidad de movimiento verticalmente integradas y habiendo despreciado todas las aceleraciones convectivas y todos los términos disipativos pueden simplificarse (Dean y Dalrymple [3] y Dean [4]) a una única ecuación definida como:

$$\frac{g}{b} \frac{\partial}{\partial x} (bh \frac{\partial \eta}{\partial x}) + \sigma^2 \eta = 0$$

donde g es la aceleración de gravedad, b el ancho de la dársena, h la profundidad, $\eta=f(x,t)$ la superficie libre y σ la frecuencia angular definida de acuerdo a la relación de dispersión lineal como $\sigma^2=gk \tanh kh$, donde $k = \frac{2\pi}{L}$, siendo L la longitud de la ola. Para el caso de que la profundidad sea constante y que la dársena puede simplificarse de tal forma que $b(x) = \frac{B_1 x}{L_1}$ (Figura 7), la ecuación anterior adquiere la forma:

$$\frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} + \frac{1}{x} \frac{\partial \eta}{\partial x} + k^2 \eta = 0$$

Esta es la ecuación de Bessel, que tiene como solución: (Greenberg [5])

$$\eta(x, t) = [C_1 J_0(kx) + C_2 Y_0(kx)] \cos \sigma t$$

donde: J_0 y Y_0 son las funciones de Bessel de orden cero de primera y segunda clase respectivamente.

Para obtener las constantes C_1 y C_2 debemos imponer las condiciones de borde que son:

$$\eta(x, t) = \frac{H}{2} \cos \sigma t \quad x = L_1$$

donde H es la altura de ola a la entrada de la dársena y

$$\frac{\partial \eta(x, t)}{\partial x} = 0, \quad x = L_2$$

De esta forma C_1 y C_2 son respectivamente:

$$C_1 = -\frac{\frac{H}{2} Y_0'(kL_2)}{Y_0(kL_1) J_0'(kL_2) - Y_0'(kL_2) J_0(kL_1)} \quad \text{y}$$

$$C_2 = -C_1 \frac{J_0'(kL_2)}{Y_0'(kL_2)}$$

En este trabajo las funciones de Bessel se aproximaron mediante aproximaciones polinómicas (Abramowitz y Stegun [6]).

Para el caso que nos ocupa, la dársena puede ser caracterizada de acuerdo a la Figura 7, arrojando como resultado que $B_1=120$ m, $B_2=70$ m, $L_1=257.09$ m y $L_2=149.97$ m. En la Figura 8,

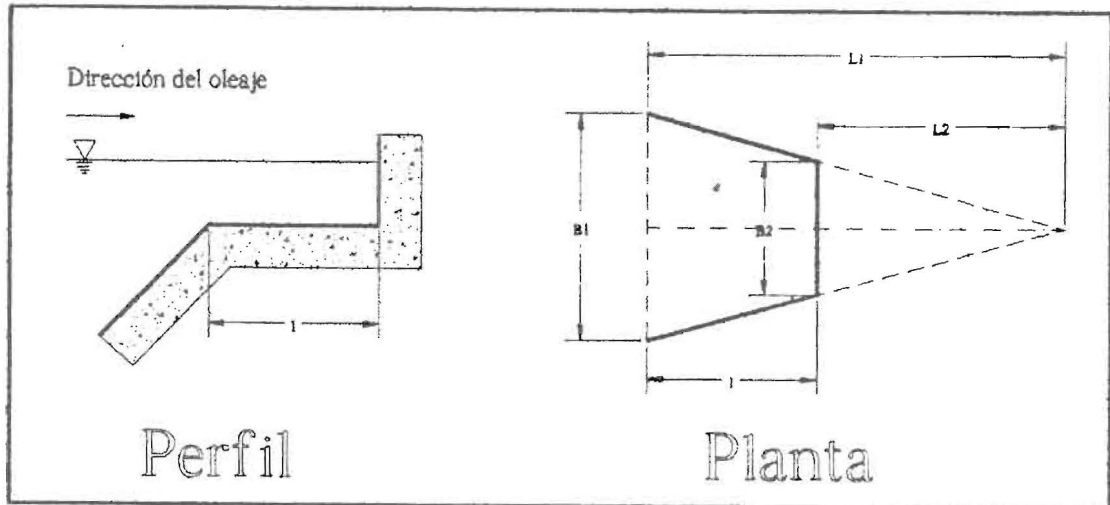


Figura 7. Configuración idealizada de la dársena.

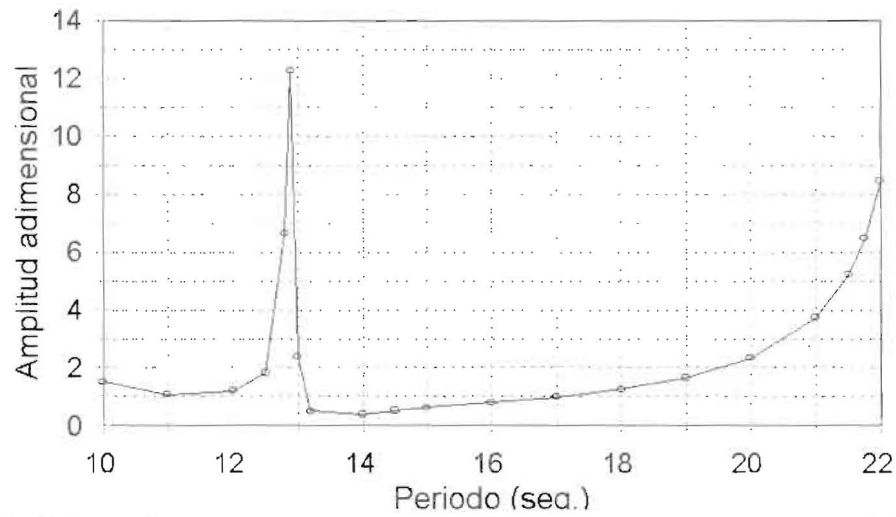


Figura 8. Valores adimensionales de oscilación vs periodo al pie del rompeolas idealizado.

se han dibujado las oscilaciones en el pie del rompeolas de forma adimensional, es decir, que las oscilaciones están relacionadas a la oscilación en la boca de la dársena para $b=B_1$. De allí se observa que para la geometría que se encuentra en Los Monjes, una vez que se construyó el rompeolas de interconexión y con el talud izquierdo colocado donde va a ir el muelle de servicio, existen fuertes oscilaciones para diversos periodos del oleaje notándose que para $T_p=12.9$ s se produce condición de resonancia, es decir, la geometría de la dársena es del orden de la longitud de ola en la entrada de la dársena y por lo tanto las oscilaciones están en fase produciendo enormes fluctua-

ciones, no sólo al pie del rompeolas sino a todo lo largo de la dársena.

Discusión de los Resultados

Comparando los resultados de la Figura 6 (resultados experimentales) contra los resultados analíticos simplificados resumidos en la Figura 8, correspondiente a las características de la dársena idealizada, se puede observar que el periodo de máxima ocurrencia de resonancia no coincide, lo cual puede deberse a múltiples causas, entre ellas que: la geometría real no es rectangular, la profundidad no es exactamente constante, el rompeolas es de escollera y tiene una pendiente que, además de generar cierta disipación,

induce un defasaje que no está tomado en cuenta en la solución analítica, el oleaje de referencia para el cálculo analítico es normal a la dársena mientras que en la realidad el oleaje entra a la dársena influenciado por efectos de difracción, reflexiones del oleaje desde la parte sur de la isla, refracción del oleaje de aproximación, etc.

El defasaje que antes se menciona, se encuentra evidenciado en las Figuras 3 y 4, ya que tanto para el caso de $T_p=12$ s como para el de $T_p=15$ s se registraron oscilaciones bastante mayores de $K' > 1.0$ en varios lugares de la dársena.

Conclusiones

De los ensayos en modelo hidráulico en las islas del sur de Los Monjes con el rompeolas de interconexión, se puede concluir lo siguiente :

a) Para la condición de oleaje dominante, la dársena representa una protección adecuada para el funcionamiento del muelle previsto allí.

b) Para la condición de oleaje de tormenta, en la dársena se observan oscilaciones muy fuertes que en algunos lugares alcanzan valores de $K' > 1$. Esto da a entender en la posibilidad de que se produzca resonancia, lo cual indica que durante los días que ocurra un evento importante deberá restringirse las actividades en la dársena, a no ser que se construyan estructuras que garanticen el normal funcionamiento durante esos eventos.

c) Para los casos ensayados, la máxima oscilación cerca del rompeolas ocurre para $T_p=15$ s.

d) Del resultado analítico idealizado, se concluye que debe existir resonancia para un valor cercano a $T_p=13$ s. Períodos de este orden han sido observados en el sitio y se han observado fuertes oscilaciones en la zona en estudio.

e) Para disminuir las oscilaciones en la dársena, se experimentó con diversas opciones consistentes en rompeolas de escollera al oeste de la Isla Pequeña del Sur. De los casos ensayados, el caso con rompeolas con una dirección de N 160° O

y longitud $L_p=88$ m resultó la configuración que atenúa el oleaje más eficientemente.

Agradecimientos

Deseamos expresar nuestro agradecimiento al Ministerio de Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables y al Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo por permitirnos realizar y publicar este trabajo, así como también al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la UCV por la ayuda prestada. También deseo expresar mi agradecimiento al Ing. Ricardo Muñoz Tebar, de Ingeniería A y S. y al Ing. Antonio Patiño, de CVG—EDELCA, por sus valiosos comentarios y asesoramiento. Al Ing. Gerard Liebaert por la ayuda prestada en la edición de los gráficos.

Referencias Bibliográficas

1. IMF, 1996, "Estudio en modelo hidráulico del patrón de oleaje alrededor de una isla", Informe técnico, primera parte, para el MARNR-PNUD.
2. IMF, 1997, "Estudio en modelo hidráulico del patrón de oleaje alrededor de una isla", Informe técnico, segunda parte, para el MARNR-PNUD.
3. Dean, R.G. y Dalrymple, R.A., 1984, "Water Waves Mechanics for Engineers and Scientists", Prentice-Hall.
4. Dean, R.G., 1964, "Long Wave Modification by Linear Transitions", J. Waterways and Harbors Division", Vol. 90, WW1, Pag. 1-29.
5. Greenberg, M.D., 1978, "Foundations of Applied Mathematics, Prentice-Hall, Inc, Englewood Cliffs, New Jersey.
6. Abramowitz, M y Stegun, I., 1972, "Handbook of Mathematical Functions", Dover Publications, Inc., New York.

Recibido el 16 de Febrero de 1998

En forma revisada el 23 de Noviembre de 1998