

COMPARACIÓN DE CARACTERÍSTICAS DEL CLIMA MARÍTIMO PARA DATOS TEÓRICOS Y MEDIDOS EN TUXPAN, VERACRUZ

Víctor Rosales¹, Rodolfo Silva² y Cristina García Govea¹

¹ Doctorante, Groupe Hydraulique Maritime et Ouvrages d'Eau LNHE-EDF/Université de Caen, 6 Quai Watier-BP 49 78400 Chatou, Tél. 01 30 87 72 66, Fax 01 30 87 80 86

² Grupo de Ingeniería de Puertos y Costas. Instituto de Ingeniería - UNAM; 04510, Coyoacán, México. Tel (52-5)6.22.33.26. Fax (52 5)616 21 64;

³ Doctorante, morphodynamique continentale et cotière, 24, rue des tilleuls, 14000 caen, tél. +33 231565709 fax +33 231565757

RESUMEN

En este trabajo se presenta una metodología para obtener y comparar características de oleaje entre datos teóricos y medidos, con esto, se podrá recomendar que distribución de alturas, periodos y espectro de oleaje teóricos se apegan más a los medidos en campo. Como resultado paralelo del análisis realizado aquí, se ha caracterizado el clima marítimo en zonas cercanas al sitio de las mediciones. La importancia de este trabajo es que a partir de mediciones puntuales, se puede extrapolar los criterios para caracterizar el oleaje en zonas más amplias. Para realizar este estudio se han utilizado datos medidos en las cercanías de la Planta Termoeléctrica, "Adolfo López Mateos", de Tuxpan, Veracruz.

Con el fin de obtener las alturas y periodos individuales de las olas medidas se utilizaron los métodos de corrección parabólica del nivel medio y de cruces por cero, los valores resultantes se compararon con los de las distribuciones de probabilidad propuestas por Rayleigh, Tayfun y Carter, para alturas de ola, y, de Bretchneider y Cavanié para periodo. Por otro lado, se calculó el espectro de las mediciones utilizando el método de la Transformada Rápida de Fourier y se comparó con los espectros teóricos de Jonswap-Hasselmann, Pierson-Moscowitz, Bretchneider-Mitsuyasu, Neumann, ITTC, ISSC y Ochi-Hubble.

La comparación de características teóricas contra medidas aborda los siguientes puntos:

- Comparación de las distribuciones de probabilidad para altura de ola.
- Comparación de las distribuciones de periodo de ola.
- Comparación de los espectros de energía del oleaje.

Se concluyó que, para el caso de Tuxpan, Veracruz, la distribución de probabilidad de altura de ola de Tayfun es la que mejor se acopló a la de las mediciones; por otro lado, la distribución de probabilidad de Cavanié se adaptó mejor a la de los periodos de ola medidos. Finalmente, en lo que respecta al espectro, el propuesto por Bretchneider-Mitsuyasu fue el que tuvo una mejor correlación con las mediciones in situ.

***Comparison of maritime climate characteristic between theoretic and field data,
measured in Tuxpan, Veracruz.***

This work presents a methodology to calculate and compare maritime climate characteristics between theoretic and field data, with this methodology the best high and period distributions and spectrum will be able to recommend in the near zones to the point of measures. The importance of this work is that using punctual data it's possible to extrapolate criteria to characterize maritime climates in larger zones. In order to exemplify the method, measured wave data from "Adolfo Lopez Mateos" thermoelectric plant at Tuxpan, Veracruz, have been used.

In order to obtain individual highs and periods, the parabolic mean level correction and zero up crossing methods were applied. Then, the wave high (Rayleigh, Tayfun and Carter) and wave period (Bretchneider and Cavanié) theoretic probability distributions were compared with the field data probabilistic distribution results. By the other hand, theoretic spectrums (Jonswap-Hasselmann, Pierson-Moscowitz, Bretchneider-Mitsuyasu, Neumann, ITTC, ISSC and Ochi-Hubble) were computed and compared with the one obtained from Tuxpan data using the Fast Fourier Transform method.

Then, the comparison attacks the following points:

- Comparison of waves high probability distributions.
- Comparison of waves period probability distributions.
- Comparison of energy wave spectrums.

From the study results in Tuxpan, Veracruz, it was concluded that the Tayfun wave high and Cavanié wave period probability distributions better fitted to Tuxpan field data. In the spectral analysis, the Bretchneider-Mitsuyasu spectrum better coupled to the one obtained from Tuxpan field data.

INTRODUCCIÓN

En ingeniería marítima, un primer aspecto a conocer para diseñar cualquier tipo de estructuras, evaluar el transporte de sedimentos o planear la recuperación o protección de una playa, es el clima marítimo en la zona de interés, es decir, el oleaje que gobierna el entorno.

Cuando no se cuenta con datos medidos de oleaje, es necesario recurrir a fuentes indirectas como son, las formulaciones teóricas para estimar los valores característicos de oleaje que se utilizarían en ingeniería. El propósito de este trabajo es mostrar un método para calcular las características de ola a partir de registros de oleaje y comparar sus propiedades estadísticas y espectrales con sus homólogas teóricas con el fin de saber cuales son las que mejor se acoplan a los datos medidos y así poderlas utilizar en zonas más amplias cercanas al punto de las mediciones.

Existen dos formas de estudiar el oleaje, una que considera las propiedades estadísticas temporales de la superficie libre del mar $\eta(t)$ y otra que se realiza por medio de un análisis estadístico espectral de las señales. En este trabajo se presentan comparaciones de las características del oleaje con datos teóricos y medidos para ambas formas de estudio.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO TEMPORAL

Considérese como punto de partida que se tiene un registro temporal de la superficie del mar en un punto dado. Se tendrá, una muestra del oleaje y se admitirá que este registro representa un estado de mar, donde las variaciones en el tiempo con respecto a su nivel medio vienen dadas por $\eta(t)$.

Corrección del nivel medio

Los registros de oleaje contienen la influencia de la variación de la marea u ondas largas y, normalmente, están referidos al fondo, por tanto, es necesario realizar una corrección del nivel medio. Esta corrección bien puede ser la resta aritmética del promedio de la señal o una línea recta o una parábola, siendo estas dos últimas las más convenientes.

En este trabajo se decidió utilizar la corrección parabólica la cual ha demostrado tener mejores resultados para el caso de oleaje [8].

La corrección del nivel medio del agua haciendo uso de una parábola se deduce también a través del método de mínimos cuadrados, y se puede expresar de la siguiente manera:

$$\bar{\eta} = B_0 + B_1(\Delta t \circ n) + B_2(\Delta t \circ n)^2 \quad n = 1, 2, 3, \dots, N$$

donde

$$B_0 = \frac{1}{\Delta} \left[Y_0(N_2 N_4 - N_3^2) + Y_1(N_2 N_3 - N_1 N_4) + Y_2(N_1 N_3 - N_2^2) \right],$$

$$B_1 = \frac{1}{\Delta} \left[Y_0(N_2 N_3 - N_1 N_4) + Y_1(N_0 N_4 - N_2^2) + Y_2(N_1 N_2 - N_0 N_3) \right],$$

$$B_2 = \frac{1}{\Delta} \left[Y_0(N_1 N_3 - N_2^2) + Y_1(N_1 N_2 - N_0 N_3) + Y_2(N_0 N_2 - N_1^2) \right],$$

$$\Delta = N_0 N_2 N_4 + 2N_1 N_2 N_3 - N_2^3 - N_0 N_3^2 - N_1^2 N_4$$

Los valores $N_0, N_1, N_2, N_3, N_4, Y_0, Y_1$ y Y_2 se definen de la siguiente manera:

$$A_0 = \frac{N_2 Y_0 - N_1 Y_1}{N_0 N_2 - N_1^2}, \quad A_1 = \frac{N_0 Y_1 - N_1 Y_0}{N_0 N_2 - N_1^2},$$

$$N_r = \sum_{n=1}^N (n\Delta t)^r \quad Y_r = \sum_{n=1}^N (n\Delta t)^r \eta_n$$

N es el número de puntos del registro

Método de pasos ascendentes por cero

Las ondas individuales pueden ser identificadas usando el criterio de pasos ascendentes por cero o pasos descendentes por cero, entre otros, aunque el primero es el más utilizado en la actualidad [5]. Este método define que una onda tiene su inicio cuando la superficie libre del agua cruza el nivel medio de forma ascendente, y termina en el siguiente cruce ascendente.

El punto exacto donde la superficie libre cruza el nivel medio es localizado por interpolación lineal entre dos puntos más cercanos al cero. Matemáticamente el cruce se define mediante las siguientes ecuaciones:

$$h_i \cdot h_{i+1} > 0 \quad \text{y} \quad h_{i+1} > 0$$

donde h_i es el i -ésimo punto de la elevación de la superficie libre.

Una onda individual es definida usando dos puntos adyacentes por cero. El período de onda de una onda individual, T_i , es la duración entre dichos pasos ascendentes. El valor más alto de los puntos en una onda individual es encontrado mediante una comparación entre los valores de h_i incluidos. Una curva parabólica es ajustada a los tres puntos alrededor del máximo valor, h_i , para estimar la máxima elevación, h_{max} , la cual esta dada por:

$$\eta_{max} = C - \frac{B^2}{4A}$$

donde

$$A = \frac{1}{2}(\eta_{i-1} - 2\eta_i + \eta_{i+1})$$

$$B = \frac{1}{2}(\eta_{i+1} - \eta_{i-1})$$

$$C = \eta_i$$

El valor mínimo de la elevación de una onda individual, h_{min} , puede ser encontrada de forma similar. La correspondiente altura de onda, H_i , de una onda individual, esta dada por:

$$H_i = \eta_{max} - \eta_{min}$$

Este procedimiento se realiza con cada una de las ondas del registro, obteniéndose una secuencia de parejas de datos de altura y período de onda. Estos datos pueden ser analizados por medio de técnicas estadísticas.

La altura de onda media, \bar{H} , y el período de onda medio, \bar{T} , pueden ser calculados por medio de las siguientes ecuaciones:

$$\bar{H} = \frac{1}{N_0} \sum_{i=1}^{N_0} H_i$$

$$\bar{T} = \frac{1}{N_0} \sum_{i=1}^{N_0} T_i$$

donde N_0 , es el número de ondas individuales con período de onda y altura de onda identificados por T_i y H_i , respectivamente.

La altura de ola cuadrática media, H_{rms} , esta definida por:

$$H_{rms} = \left[\frac{1}{N_0} \sum_{i=1}^{N_0} H_i^2 \right]^{1/2}$$

Para determinar la altura de ola significativa, H_s y el período de ola significativa, T_s , se ordenan los datos (H_i o T_i) de forma descendente. La altura de ola significativa, H_s , se define como la media aritmética del tercio de las ondas más altas.

$$H_s = \frac{3}{N_0} \sum_{r=1}^{N_0/3} H_r$$

Donde H_r es la altura de onda del rango r -ésimo (ordenados de mayor a menor). De manera similar el período de onda significativa, T_s , está dado por:

$$T_s = \frac{3}{N_0} \sum_{r=1}^{N_0/3} T_r$$

Adicionalmente, el promedio de la altura y período de onda de un décimo de las olas más altas, H_{10} y T_{10} , respectivamente, esta dado por

$$H_{10} = \frac{10}{N_0} \sum_{r=1}^{N_0/10} H_r \quad \text{y} \quad T_{10} = \frac{10}{N_0} \sum_{r=1}^{N_0/10} T_r$$

DISTRIBUCIONES DE ALTURA DE OLA

Las distribuciones de alturas de ola que mejor representan diferentes estados de mar son las propuestas por Rayleigh, Tayfun [6] y Carter [1]. En un análisis realizado por Green en 1994, se llegó a la conclusión de que la distribución de Rayleigh representa adecuadamente los estados de mar del tipo SWELL, la de Carter es adecuada en estados de mar muy desordenados, tipo SEA, mientras que la de Tayfun de ajusta a cualquier caso intermedio.

La función de densidad de probabilidad Rayleigh esta dada por

$$p(\xi) = 2\xi e^{-\xi^2}$$

donde

$$\xi = \frac{H}{H_{rms}}$$

La distribución de densidad propuesta por Tayfun es la siguiente:

$$p(\xi, N) = \xi \int_0^{\infty} \left[u J_0^N \left(\frac{u}{N^{1/2}} \right) J_0(\xi u) \right] du \quad 0 \leq \xi \leq N^{1/2}$$

$$p(\xi, N) = \xi \left[1 - \frac{4}{\pi} \cos^{-1} \left(\frac{N^{1/2}}{\xi} \right) \right] \int_0^{\infty} \left[u J_0^N \left(\frac{u}{N^{1/2}} \right) J_0(\xi u) \right] du \quad N^{1/2} \leq \xi \leq (2N)^{1/2}$$

donde N es el parámetro de Tayfun que se define como:

$$N = \left(\frac{\pi \tanh(k_o h)}{7\sqrt{2} k_o \sqrt{2} m_o} \right)$$

donde:

$$\xi = H / H_{rms}$$

k_o es el número de onda asociado a la frecuencia media, $k_o = 2\pi / L_m$

J_0 es la función de Bessel de orden cero.

La distribución acumulada propuesta por Carter es la siguiente:

$$P(H \geq H_o) = 1 - \left(e^{-8 \left(\frac{H_o}{H_s} \right)^2} + 2\sqrt{\pi} \frac{H_o}{H_s} e^{-4 \left(\frac{H_o}{H_s} \right)^2} \text{Erf} \left[\frac{2 H_o}{H_s} \right] \right)$$

$$\text{Erf}(X) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^X e^{-u^2} du$$

Finalmente:

$$P(H \geq H_o) = 1 - \left(e^{-8 \left(\frac{H_o}{H_s} \right)^2} + 2 \frac{H_o}{H_s} e^{-4 \left(\frac{H_o}{H_s} \right)^2} \int_0^{\frac{H_o}{H_s}} e^{-\frac{u^2}{4}} du \right)$$

DISTRIBUCIONES DE PERIODO DE OLA

Las distribuciones de periodos de ola que mejor representan diferentes estados de mar son las propuestas por Bretchneider y Cavanié.

La distribución de densidad propuesta por Bretchneider [2] es la siguiente:

$$p(T_z) = 2.7 \frac{T_z^3}{T_z^4} e^{-0.675 \left(\frac{T_z}{\bar{T}_z} \right)^4}$$

T_z es el periodo calculado por el método de cruces por cero (*zero up cross*)

La distribución de densidad propuesta por Cavanié et al. [3] se define:

$$p(T_z) = \frac{\alpha^3 \beta^2 \bar{\delta}^2 T_z}{\bar{T}_z^2 \left[\left(\frac{\bar{\delta}^2 T_z^2}{\bar{T}_z^2} \right)^2 + \alpha^4 \beta^2 \right]^{3/2}}$$

Las variables α y β se calculan en con las siguientes ecuaciones:

$$\alpha = \frac{1}{2} \left(1 - \sqrt{1 - \varepsilon^2} \right)$$

$$\beta^2 = \frac{\varepsilon^2}{1 - \varepsilon^2}$$

donde ε es el ancho espectral y $\bar{\delta}^2 = 1$.

ANÁLISIS ESPECTRAL

Para el análisis espectral es necesaria la corrección parabólica que se menciona anteriormente.

Corrección de las discontinuidades

Cuando se analizan muestras de dimensión finita, es necesario hacer una corrección que evite la cesión de energía a las frecuencias próximas; es decir, los valores que se presentan en los extremos de la muestra, como se muestra a continuación:

$$\eta_b(t) = \eta(t) b(t_*)$$

Existen varios tipos de ventanas, de las cuales las más importantes son la trapezoidal y la cosenoidal. Para este trabajo se utilizo la ventana trapezoide que se presenta a continuación:

$$b_1(t_*) = \begin{cases} t_*/l & : 0 \leq t_* < l \\ 1 & : l \leq t_* \leq N-l \\ (N-t_*)/l & : N-l < t_* \leq N \end{cases}$$

Donde normalmente el valor $l = 0.1N$ y $t_* = t/\Delta t$: $t_* = 1, 2, \dots, N$

Evaluación de los coeficientes de Fourier

La técnica más usada para el análisis espectral es la transformada rápida de Fourier [6], sin embargo, tiene una limitación importante en cuanto al número de elementos para el cálculo, el cual debe ser una potencia de dos, es decir, $N=2^m$.

La variación de la superficie libre del agua, $\eta(t)$, puede ser expresada por la siguiente serie finita de Fourier mediante un análisis armónico, también conocida como Transformada Inversa de Fourier:

$$\eta_b(t_*) = \frac{A_0}{2} + \sum_{k=1}^{N/2-1} \left(A_k \cos \frac{2\pi k}{N} t_* + B_k \operatorname{sen} \frac{2\pi k}{N} t_* \right) + \frac{A_{N/2}}{2} \cos \pi t_*$$

donde $t_* = t/\Delta t$: $t_* = 1, 2, \dots, N$

El cálculo de los coeficientes A_k y B_k se realiza con el método de la transformada de Fourier siguiente:

$$A_k = \frac{2}{N} \sum_{t_*=1}^N \eta_b(t_*) \cos \frac{2\pi k}{N} t_* \quad : 0 \leq k \leq N/2$$

$$B_k = \frac{2}{N} \sum_{t_*=1}^N \eta_b(t_*) \operatorname{sen} \frac{2\pi k}{N} t_* \quad : 1 \leq k \leq (N/2)-1$$

Cálculo del espectro

Una vez que se han calculado los coeficientes de Fourier, es posible calcular el espectro de la señal mediante la siguiente ecuación:

$$S_b(f) = \sum_{k=1}^{N/2} (A_k^2 + B_k^2) \Delta f$$

donde: $\Delta f = 1/(N/2)$

Si se aplicó una ventana de filtro del registro, la energía total decrece y los valores estimados son menores. Para estimar correctamente dichos valores, se deben multiplicar por el factor de corrección siguiente:

$$\beta = \frac{N}{\sum_{n=1}^N [b(t_n)]^2}$$

Entonces la energía espectral se calcula de la siguiente manera:

$$S(f) = S_b(f) \beta$$

Parámetros espectrales

Todos los parámetros espectrales se calculan a partir de sus diferentes momentos. El momento de orden n se define con la siguiente ecuación:

$$m_n = \int_0^\infty f^n S(f) df$$

Donde $S(f)$ es la función de densidad espectral. El ancho espectral se define:

$$\varepsilon = \left[1 - \frac{m_2^2}{m_0 m_4} \right]^{\frac{1}{2}}$$

La altura de ola significativa se puede estimar a partir de los momentos espectrales, cuando las alturas de ola siguen la distribución propuesta por Rayleigh, con la siguiente expresión:

$$H_{1/3} = 4.004(m_0)^{1/2}$$

Y el periodo medio se puede estimar con la siguiente ecuación:

$$\bar{T} = \sqrt{m_0 / m_2}$$

FORMULACIONES ESPECTRALES DE OLEAJE

Diferentes autores han propuesto espectros que representan mejor la realidad de mar. A continuación se resumen las formulaciones de los más importantes [4].

Espectro de Pierson-Moscowitz:

$$S(f) = \frac{H_s^2}{2} \left(\frac{2\pi}{T_z} \right)^4 (2\pi f)^{-5} \exp \left[- \left(\frac{2\pi}{T_z} \right)^4 \left(\frac{2\pi f}{\pi} \right)^{-4} \right]$$

donde: T_z es el período medio por el método de cruces por cero.

H_s es la altura de ola significativa.

f es la frecuencia.

Espectro de Bretchneider-Mitsuyasu:

$$S(f) = 0.257(H_{1/3})^2 T_{1/3} (T_{1/3} f)^{-5} \exp[-1.03(T_{1/3} f)^{-4}]$$

donde: $H_{1/3}$ es la altura de ola significativa

$T_{1/3}$ es el periodo de ola significativa

Espectro de Jonswap-Hasselmann:

$$S(f) = \alpha(H_{1/3})^2 T_p^{-4} f^{-5} \exp[-1.25(T_p f)^{-4}] \gamma^{\exp[-(T_p f - 1)^2 / 2\sigma^2]}$$

donde: T_p es el período pico del registro.

$H_{1/3}$ es la altura de ola significativa

$$\alpha = 0.0624 / [0.230 + 0.0336\gamma - 0.185(1.9 + \gamma)^{-1}]$$

$$\sigma = \begin{cases} \sigma_a : f \leq f_p \\ \sigma_b : f \geq f_p \end{cases}$$

$$\gamma = 1 \sim 7 \text{ (medio 3.3)}, \sigma_a = 0.07 \text{ y } \sigma_b = 0.09$$

Espectro Neumann:

$$S(f) = 1.466 H_{m_0}^2 \frac{f_p^5}{f^6} \exp \left[-3 \left(\frac{f}{f_p} \right)^{-2} \right]$$

donde: $H_s \approx H_{m_0} = 4(m_0)^{1/3}$
 $f_p = [(1/6)(g/(\pi U_{10}))]^{1/2}$

Espectro ISSC:

$$S(f) = 0.1107 H_s^2 \frac{\bar{f}^4}{f^5} \exp \left[-0.4427 \left(\frac{f_s}{f} \right)^4 \right]$$

donde: $\bar{f} = 1.296 f_p$

Espectro ITTC:

$$S(f) = 1.272 m_0 f_z^{-4} f^{-5} \exp[-0.318(f_z/f)^4]$$

Espectro TMA:

$$S_{TMA} = S_j(f) \phi_K(\omega_H)$$

donde: $S_j(f)$ es el espectro Jonswap

$$\phi_K(\omega_H) = \tanh^2(kh) [1 + (2kh)/\sinh(2kh)]$$

k se obtiene de: $(2\pi f)^2 = gk \tanh(kh)$

Espectro de OCHI-HUBBLE:

$$S(f) = \frac{\pi}{2} \sum_{j=1}^2 \left(\frac{4\lambda_j + 1}{4} (2\pi f_{0j})^4 \right)^{\lambda_j} \frac{H_{sj}^2}{(2\pi f)^{4\lambda_j + 1}} \exp \left[- \left(\frac{4\lambda_j + 1}{4} \right) \left(\frac{f_{0j}}{f} \right)^4 \right]$$

donde: H_{s1}, f_{01} y λ_1 son la altura de ola significativa, la frecuencia modal y el factor de forma para las componentes de baja frecuencia; mientras que H_{s2}, f_{02} y λ_2 corresponden a las componentes de alta frecuencia. $H_s = \sqrt{H_{s1}^2 + H_{s2}^2}$, $\lambda_1 = 2.72$, mientras que λ_2 es función de la altura de ola significativa (en metros): $\lambda_2 = 1.82 e^{-H_s/121.5}$

RESULTADOS

Los resultados obtenidos al aplicar la metodología expuesta al caso de las mediciones realizadas en Tuxpan, Veracruz, son los siguientes:

Dado que se cuenta con información medida en campo, resulta interesante y a la vez conveniente determinar cual de las distribuciones de alturas de ola (Tayfun, Rayleigh y Carter) representa mejor las distribuciones de altura de ola para esta parte del golfo de México. En las figuras se presentan los resultados de comparar la altura de ola un décimo $H_{10\%}$ teórica contra medida.

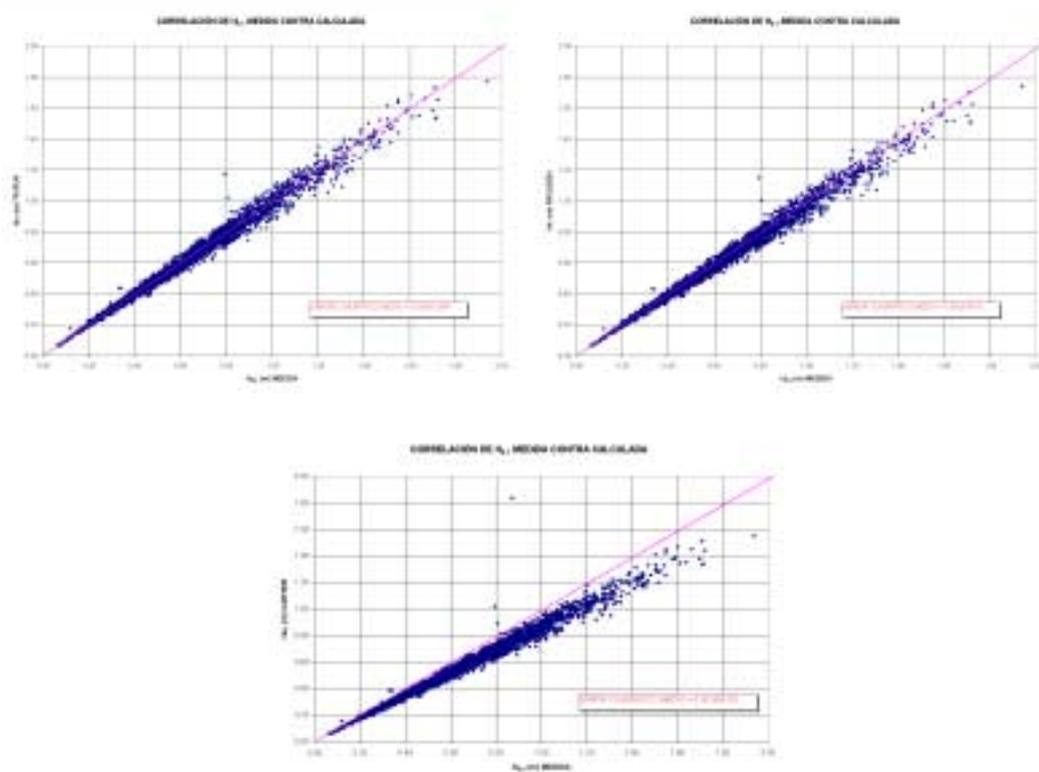


Figura 1. Comparación de alturas de ola medidas contra calculadas, distribuciones de Tayfun, Rayleigh y Carter

En la figura 4 se presentan las distribuciones de probabilidad de periodo de ola teóricas contra medidas para un registro de oleaje normal.

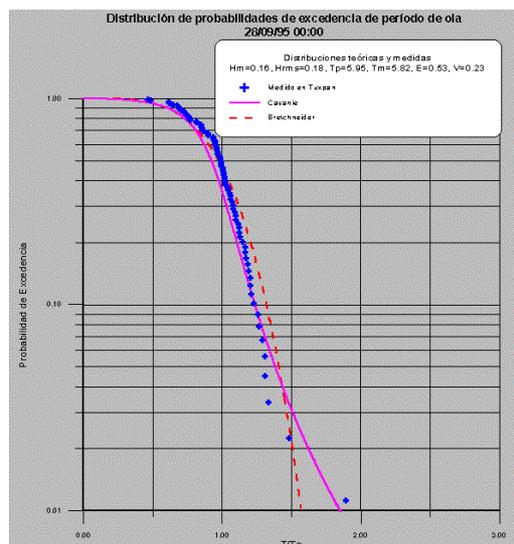


Figura 2. Comparación de distribuciones de probabilidad de periodo de ola medida contra teóricas de Bretchneider y Cavanié et al.

Finalmente en la figura 5 se aprecian los espectros calculados a partir de las formulaciones presentadas en este artículo y el espectro resultante de las mediciones de Tuxpan, Veracruz. En el recuadro superior derecho se aprecian los valores del error cuadrático medio de cada uno de los espectros teóricos con respecto al de las mediciones.

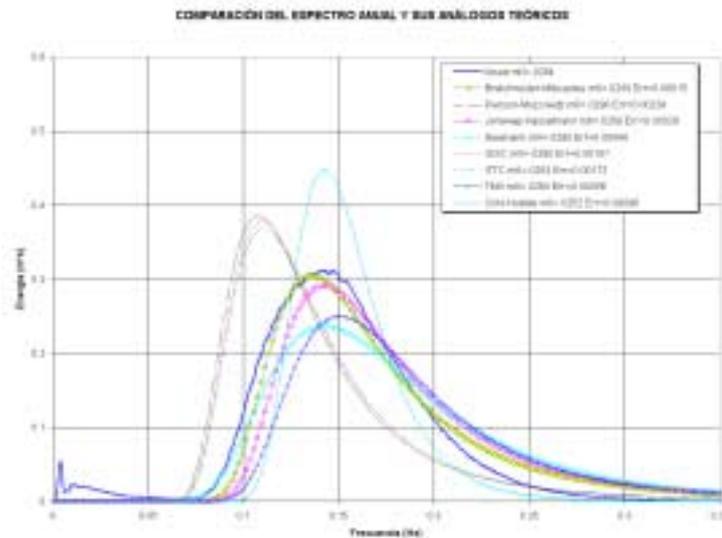


Figura 3. Comparación de espectro resultante de la mediciones contra sus análogos teóricos.

CONCLUSIONES

- Se recomienda usar el método de corrección parabólica del nivel medio y el método de cruces por cero para el cálculo de alturas y periodos individuales de ola en el análisis estadístico temporal, y el método de la Transformada Rápida de Fourier para el análisis espectral.
- La distribución de probabilidad que mejor representa los estados de mar, en cuanto a alturas de ola, es la de Tayfun, por lo que se recomienda que para la zona del Golfo de México cercana a Tuxpan debe ser esta distribución la que se utilice en un análisis estadístico.
- En el caso de los periodos, la distribución de probabilidad que mejor se ajusta al estado de mar en Tuxpan es la de Cavanié, por lo que también se aconseja para dicha zona.
- De los espectros teóricos calculados, el de Bretchenider-Mitsuyasu fue el que mejor se acopla al resultante de los datos de Tuxpan, por lo cual se sugiere para utilizarlo en estudios de la zona.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) Carter, D.J.T., Challenor, P.G., et al.1986. **“Estimating wave parameters for engineering applications.”** Offshore Technology Report No. OTH 86-228, Dept. Of Energy, London, England, pp 92.
- (2) BRETCHNEIDER C. L. (1959), **Wave variability and Wave spectra for wind-generated gravity waves.** Tech memo No. 118 CERC USA
- (3) CAVANIE A. et al. (1976), **A statistical relationship between individual Heights and Periods of Storm Waves**, Proc. Conf. Behav. Offshore Structures
- (4) Chakrabarti S. K., 1977. “Statical distribution of Periods and Highs of Ocean Waves”. JGR. J. Geophysics
- (5) Goda, Y. 1991 “Distribution of sea state parameters and data fitting” Gulf Publishing. Handbook on Ocean Eng., Cap.7 pp. 372-408
- (6) HWEI P. Hsu (1970), **Análisis de Fourier**, Fondo Educativo Interamericano SA de CV
- (7) Rosales Victor, 1999. “Caracterización del oleaje aplicada a Tuxpan, Veracruz”. Tesis de Maestría en Hidráulica Marítima. IPN Méx.
- (8) Silva Rodolfo, 1998. “Apuntes del curso: Análisis y predicción de oleaje” UNAM. Méx. pp 16-22
- (9) Tayfun, M.A. 1990, “Distribution of Large Wave Heights.” Jour. Wat. , Port., Coast, and Oce. Eng., Vol.116, no 6, pp.686-707.

Lista de figuras

Figura 1. Comparación de altura de ola medida contra calculada, distribución de Tayfun.

Figura 2. Comparación de distribuciones de probabilidad de periodo de ola medida contra teóricas de Bretchneider y Cavanié et al.

Figura 3. Comparación de espectro resultante de la mediciones contra sus análogos teóricos.