



CONGRESO AMIP 2017
“ACCIONES DECISIVAS PARA JUNTOS POTENCIAR NUESTRA
EFICIENCIA PORTUARIA, MARÍTIMA Y COSTERA”
7 al 8 de Septiembre de 2017 en el histórico Puerto de Veracruz

“DESCRIPCIÓN DEL OLEAJE INCIDENTE SOBRE LA PLAYA LAS
GLORIAS, SINALOA, MEXICO.”

Cuauhtémoc Franco Ochoa¹, José Miguel Montoya Rodríguez², Miguel Ángel Vergara Sánchez³

¹Facultad de Ingeniería Culiacán, Universidad Autónoma de Sinaloa.

²Coordinación de Ingeniería Portuaria y Sistemas Geoespaciales, Instituto Mexicano del Transporte.

³Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Instituto Politécnico Nacional.

cfrancoo@uas.edu.mx, mmontoya@imt.mx, mvergara@ipn.mx

INTRODUCCIÓN

La playa “Las Glorias” se localiza en la costa del Estado de Sinaloa frente al Golfo de California, limitada al sureste y noroeste por las desembocaduras del río Sinaloa y el estero Navachiste, respectivamente (Figura 1). Representa el centro de recreación más importante de la región centro - norte del estado, y cuenta con un gran capital natural con potencial turístico.



Figura 1.- Localización de la zona de estudio.

Por otra parte, la playa desde hace décadas se encuentra en erosión y su extensión hacia mar ha venido disminuyendo año con año. Los costos económicos y ambientales de esta alteración en el equilibrio de la playa resultan evidentes al observar los daños parciales o totales de las construcciones que se encuentran sobre la duna.



Las causas de la erosión de la playa son inducidas principalmente por las actividades humanas (antrópico) al interior del sistema litoral del que forma parte dicha playa, básicamente, por la construcción de presas sobre el cauce del río Sinaloa que retienen el sedimento que antes llegaba a la playa, y de escolleras en las desembocaduras del mismo río que interrumpen el transporte litoral dificultando la introducción de sedimento hacia la playa.

Cabe mencionar al respecto, que con el venir de los años se han diseñado e implementado alternativas de actuación enfocadas a la restauración y recuperación de la playa, las más importantes han sido el relleno de la misma en una longitud de 2 km y un ancho promedio de 71.50 m, con una elevación de +1.0 m del NBMI y la construcción de una escollera en la desembocadura del estero Navachiste, aunque se proyectó para una longitud de 311.90 m solamente se realizaron 146.90 m. Estas alternativas de actuación trabajaron en conjunto permitiendo la acumulación de sedimentos en la parte contigua a la escollera. Sin embargo, es necesario de actuaciones complementarias a fin de generar una mayor certidumbre a la población en sus expectativas. En este sentido, previamente a expresar alternativas de actuación que se consideren factibles de realizar, es fundamental comprender la acción dinámica del oleaje incidente sobre la playa.

En el presente trabajo se presenta el avance sobre el análisis de las características del oleaje incidente sobre la playa Las Glorias, en lo que se refiere a refracción, someramiento, altura y periodo de ola, a partir de los datos del Atlas de Oleaje Oceánico Mexicano (ATLOOM) del Instituto Mexicano del Transporte.

METODOLOGÍA

Datos

La información de oleaje analizada en este trabajo se obtuvo del Atlas de Oleaje Oceánico Mexicano (ATLOOM) del Instituto Mexicano del Transporte (IMT). Dicho Atlas, se generó utilizando el modelo de oleaje WAM (Wave Model) ciclo 4 con información meteorológica de las agencias NCEP (National Center for Environmental Prediction) y NCAR (National Center for Atmospheric Research). Con el modelo WAM se generaron 44 años de información de oleaje de la zona (del 1 de enero de 1958 al 31 de diciembre de 2001) y los resultados que se obtuvieron fueron comparados y validados con mediciones in situ de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) [1]. Específicamente, en este trabajo se analizaron 379,760 datos correspondientes al nodo PAC17MX del Atlas.

Refracción y Someramiento

Para el análisis de la refracción y someramiento del oleaje incidente sobre la playa, se basó en el procedimiento expuesto en el Manual de Ingeniería Costera de la Armada de los Estados Unidos [2].

La altura de rompiente y de su ángulo de aproximación dependen de la propagación y dirección de la ola desde la cual se aproxima a la costa. La altura de rompiente H_1 en un lugar determinado puede estar empíricamente relacionada con la altura de la ola de aguas profundas, es decir:

$$H_1 = H_0 \times K_s \times K_r \quad (1)$$

Donde, H_0 – Altura de la ola de aguas profundas, K_s = Coeficiente de someramiento, y K_r = Coeficiente de refracción. El coeficiente de someramiento K_s puede deducirse de la relación entre la velocidad de la ola en aguas profundas y la velocidad de grupo de la ola:

$$K_s = \left(\frac{c_{go}}{c_{gl}} \right)^{0.5} \quad (2)$$



$$\text{Donde, } C_{go} = \frac{1}{2} (1.56 \times T) \text{ y } C_{gl} = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{4\pi d/L}{\sinh(4\pi d/L)} \times \frac{gT}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \right) \quad (3)$$

Aquí, T denota el período de ola, L es la longitud de ola en una ubicación particular, y d representa la profundidad del agua de mar. Por otro lado, el coeficiente de refracción Ec. (4) se puede estimar por:

$$K_r = \left(\frac{1 - \sin^2 \theta_0}{1 - \sin^2 \theta_1} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (4)$$

Donde, θ_0 es el ángulo de aproximación en aguas profundas (dirección de onda predominante), θ_1 es el ángulo de aproximación en un lugar particular $\left(\sin \theta_1 = \frac{C_1 \times \sin \theta_0}{C_0} \right)$ (5)

$$\text{Aquí, } C_1 = L/T \text{ y } C_0 = 1.56 \times T \quad (6)$$

Por lo tanto el ángulo de aproximación Ec. (7) en un lugar en particular se obtiene con la siguiente fórmula:

$$\theta_1 = \sin^{-1} \left(\frac{C_1 \times \sin \theta_0}{C_0} \right) \quad (7)$$

Periodo de retorno

El Periodo de Retorno (T) se define en la Ec. (8) como el intervalo de tiempo que en promedio, se cree que una altura de ola dada será igualada o excedida. La altura de la ola está relacionada de forma inversa con su frecuencia de ocurrencia, es decir, las olas de gran altura ocurren con una frecuencia menor que las de poca altura. Puede calcularse con la siguiente expresión:

$$T_R = \frac{\Delta t}{1 - P(h \leq H)} \quad (8)$$

Donde Δt es el intervalo de tiempo promedio de recurrencia de una ola de cierta altura, y $P(h \leq H)$ es la probabilidad de no excedencia.

Cada periodo de retorno tiene asociado un valor de $P(h)$, y que la correspondiente altura de ola puede ser determinada (extrapolando) a partir del ajuste de los datos a la función de distribución de probabilidad. Existen básicamente tres métodos para calcular la altura de ola asociado a un periodo de retorno: ajustar todos los datos a la distribución de probabilidad teórica, ajustar la cola en la que se encuentran los mayores valores de los datos y ajustar sólo los valores extremos [3]. En este trabajo se ajustaron todos los datos a la distribución de probabilidad teórica.

Distribución de probabilidad

La finalidad de ajustar los datos a la función de distribución de probabilidad teórica de Weibull, es pronosticar la altura de la ola de diseño correspondiente a un determinado periodo de retorno. La selección de esta función de probabilidad se debió a que es de las más usadas en el campo de la Ingeniería Costera, puesto que generalmente tiene a describir de forma adecuada las alturas del oleaje [4]. La estimación de los parámetros de la función de Weibull se realizó transformando la función de probabilidad acumulada $F(h)$ en una función lineal Ec. (9) por medio de una transformación logarítmica doble:

$$F(h) = 1 - e \left[- \left(\frac{h}{c} \right)^k \right] \quad (9)$$

$$\ln[-\ln(1 - F(h))] = k \ln(h) - k \ln(c) \quad (10)$$

Esta ecuación es la de una línea recta de pendiente a y de ordenada en el origen b que se determinan mediante regresión lineal Ec. (11):

$$y = ax + b \quad (11)$$

Donde:

$$y = \ln[-\ln(1 - F(h))] \quad (12)$$

$$a = k \quad (13)$$

$$x = \ln h \quad (14)$$

$$b = -k \ln c \quad (15)$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 2, se muestra las direcciones de incidencia del oleaje sobre la playa Las Glorias. Como se puede observar el oleaje proveniente del suroeste 22.5° incide paralelamente sobre la playa, y las direcciones límites desde donde puede provenir el oleaje, es decir, los ángulos máximos y mínimos entre la normal a la línea de costa y la dirección de propagación del oleaje son 67.5° y 45.0° , respectivamente. De la revisión del total de los datos de altura y periodo de ola se observa que, en general, el oleaje es de moderada intensidad (0.5 a 1.5 m) proveniente principalmente del sur y suroeste 22.5° con probabilidades de ocurrencia del 54.28% y 31.23% respectivamente.

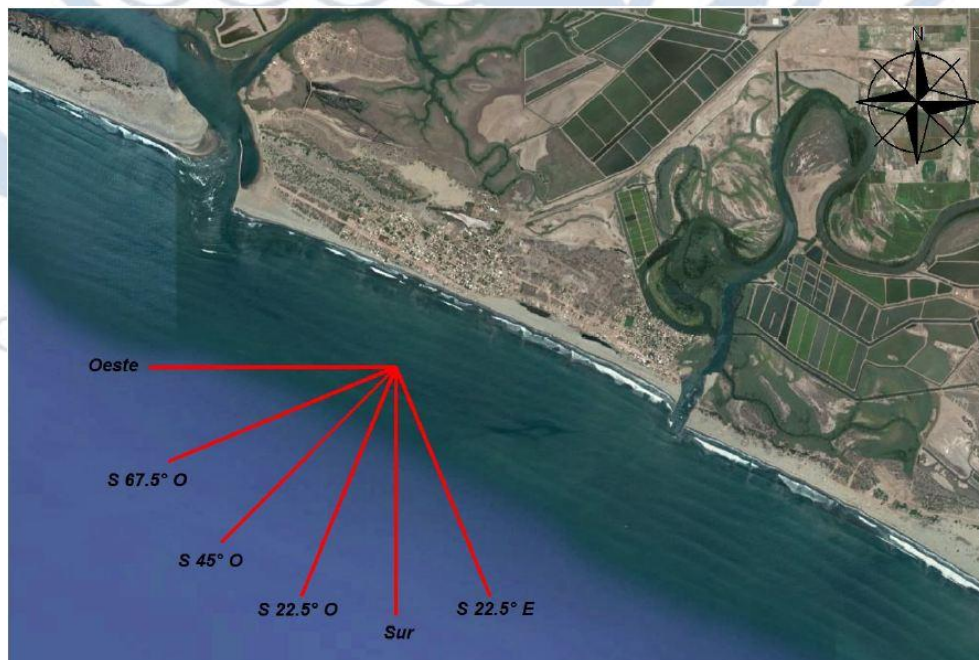


Figura 2.- Direcciones del oleaje que inciden sobre la playa "Las Glorias".



En tabla 1, se muestran los resultados del análisis de la refracción y someramiento del oleaje para una altura de ola significativa de 1.45 m con un periodo asociado de 10.5 s. del oleaje. Obsérvese que el oleaje proveniente del sur, suroeste 22.5° y suroeste 45.0° inciden sobre la playa con un ángulo muy pequeño, prácticamente paralelo a la playa. Por lo tanto, aproximadamente el 94% de las olas que inciden sobre la playa lo hacen de forma paralela, debido al fenómeno de refracción que modifica la propagación del oleaje por la influencia de la configuración local de la batimetría.

Tabla 1.- Resultados del análisis de la refracción y someramiento del oleaje.

Pr	$\theta_0 = 0^\circ$		$\theta_0 = 22.5^\circ$		$\theta_0 = 45.0^\circ$		$\theta_0 = 67.5^\circ$	
	θ_1 grds	H_1 m	θ_1 grds	H_1 m	θ_1 grds	H_1 m	θ_1 grds	H_1 m
20	0.00	1.34	16.46	1.31	30.42	1.21	39.74	0.94
10	0.00	1.45	12.45	1.41	23.00	1.27	30.05	0.96
5	0.00	1.64	9.09	1.59	16.79	1.41	21.94	1.05
2	0.00	2.01	5.86	1.94	10.82	1.70	14.14	1.26

El resultado de la distribución de probabilidad de ocurrencia de altura de ola se presenta en la figura 3. Del histograma de frecuencias se puede observar que la probabilidad de ocurrencia para alturas de ola de 0.5 a 1.0 m y 1.0 a 1.5 m es respectivamente de 63.09% y 33.54%, es decir, aproximadamente el 97% de las olas que se inciden sobre la playa lo hacen con una altura entre 0.5 a 1.5 m. Por otro lado, los valores de los parámetros de la función de Weibull son $k = 2.51$ y $c = 0.97$, por lo tanto la función de probabilidad acumulada Ec. (16) queda de la siguiente manera:

$$F(h) = 1 - e^{-\left(\frac{h}{0.97}\right)^{2.51}} \quad (16)$$

Las alturas de ola para periodo de retorno de 20, 50 y 100 años, utilizando la función de Weibull, y para el conjunto de todos los datos resultaron ser de 1.50, 1.67, 1.78, respectivamente.

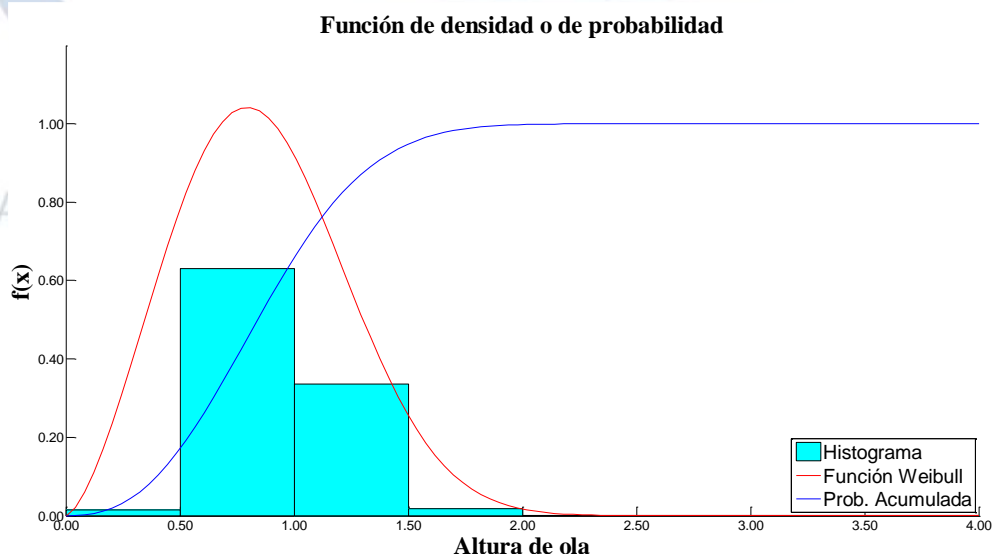


Figura 3.- Distribución de frecuencias y probabilidad de ocurrencia anual.



La figura 4 muestra la línea recta que resultó del mejor ajuste con el análisis de regresión lineal. Las alturas de olas obtenidos del Atlas ATLOOM y las calculadas con la ecuación de la línea recta de mejor ajuste mostraron un correlación positiva de 0.96, lo que indica una satisfactoria correspondencia entre los datos.

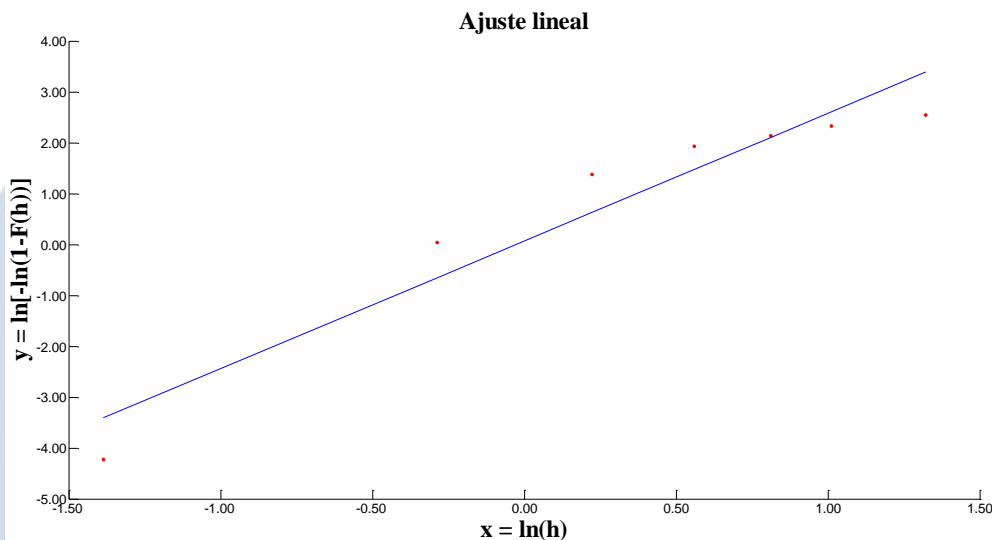


Figura 4.- Regresión lineal para la estimación de los parámetros de la función de Weibull.

CONCLUSIONES

El oleaje está dominado la mayor parte del año por olas del orden de 1 m con periodos de 6 a 9 s procedentes del sur y suroeste, que inciden sobre la playa prácticamente paralela a esta. Además se observó que las olas de mayor altura son también las que inciden sobre la playa con mayor oblicuidad, principalmente en dirección sureste.

El análisis de regresión lineal mostro una buena correlación entre los datos de alturas de ola y los obtenidos teóricamente con la función de distribución de probabilidad de Weibull. Los valores de los parámetros que permitieron el mejor ajuste son $k = 2.51$ y $c = 0.97$ con un coeficiente de correlación de 0.96.

Debido a que el ajuste a la función de distribución de probabilidad se realizó considerando todos los datos disponibles, la estimación de las olas de gran altura con la función de Weibull utilizando los valores de los parámetros que permitieron el mejor ajuste serán menores que si se hubiera considerado únicamente los mayores valores de los datos. Esto indica que habrá ocurrencia de olas de mayor altura que las reportadas en este trabajo.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Montoya, Rodriguez, Miguel (2016). Revista Ingeniería Civil IC. Publicación oficial del Colegio de Ingenieros Civiles de México, CICM. Numero: 566.
2. - Resio, D., S. Bratos, and E. Thompson, 2002. Meteorology and Wave Climate. Vincent, L., and Z. Demirbilek (eds.), Coastal Engineering Manual, Part II, Hydrodynamics, Chapter II-IV, Engineer Manual 1110-2-1100, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC.



3.- Martínez Díaz de León, Asdrúbal; Coria Méndez, Pablo. Distribución de probabilidad de la altura del oleaje dentro de la bahía de todos santos, B.C., México Ciencias Marinas, vol. 19, núm. 2, 1993, pp. 203-218 Universidad Autónoma de Baja California Ensenada, México

4. - Wyland, R.M. and Thorton, E.B. (1991). Extremal wave statistics using three hindcasts. J. Wtrwy., Port, Coast. Oc. Eng., ASCE, 117(1): 60-74.

NOMENCLATURA

H_1 = Altura de ola de ruptura (m)

H_0 = Altura de ola en aguas profundas (m)

K_s = Coeficiente de someramiento

K_r = Coeficiente de refracción

C_{go} = Velocidad de la ola en aguas profundas (m/s)

C_{gt} = Velocidad de grupo de la ola (m/s)

h = Altura de la ola cualquiera (m)

T = Periodo de la ola (s)

L = Longitud de la ola (m)

d = Profundidad del agua (m)

g = Aceleración de la gravedad (m/s^2)

θ_0 = Ángulo de aproximación en aguas profundas (m)

θ_1 = Ángulo de aproximación en un lugar en particular (m)

C_0 = Celeridad de la ola en un lugar en particular (m/s)

C_1 = Celeridad de la ola en aguas profundas (m/s)

u, v = Componentes de la celeridad en un lugar en particular (m/s)

T_R = Periodo de retorno

Δt = Intervalo de tiempo

$P(h \leq H)$ = Probabilidad de no excedencia

$P(h)$ = Probabilidad de ocurrencia de cualquier ola

k, c = Parámetros de ajuste de la función de Weibull.