

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/268804802>

An alternative for the protection of tourist facilities before the occurrence of extreme erosio events at Varadero...

Article · October 2000

CITATIONS

0

READS

18

3 authors, including:



[A. C. Alvarez](#)

Instituto Nacional de Matemática Pura e Aplicada

33 PUBLICATIONS 89 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



CONSERVATION LAWS, RIEMANN PROBLEM AND APPLICATIONS [View project](#)

**Alternativa para la protección de instalaciones turísticas ante la
ocurrencia de eventos erosivos extremos en la playa de Varadero.**

**An alternative for the protection of tourist facilities before the occurrence of extreme e
events at Varadero beach.**

Amaury Alvarez, José Luis Juanes, Carlos García

Introducción

La Playa de Varadero está ubicada en la costa noroccidental de Cuba, ocupando la parte Norte de la península de Hicacos. La belleza de sus paisajes, la calidad de la arena y la transparencia del agua hacen de ella un valioso recurso natural, lo que unido a la infraestructura creada la convierten en el principal polo turístico del país.

El Departamento de Procesos Costeros del Instituto de Oceanología ha elaborado los proyectos técnicos que rigen la estrategia para la recuperación y explotación racional de esta playa de más de 20 km de extensión. Entre las actuaciones costeras ejecutadas están la eliminación de muros e instalaciones ubicadas en primera línea de playa, la conformación de dunas artificiales con una vegetación adecuada y la ejecución, desde 1987, de campañas de alimentación artificial de arena.

Son bien conocidos los efectos desastrosos que sobre la playa y las instalaciones construidas en primera línea de playa provocan los eventos meteorológicos extremos.

Juanes, Ramírez y Medvediev (1982) destacan que los momentos de erosiones extremas de la Playa de Varadero están asociados con el período de tormentas continuas de los meses de invierno, durante la entrada de los frentes fríos con fuertes vientos del cuarto cuadrante. Además durante el paso de tormentas de verano excepcionales, por ejemplo un ciclón tropical, es posible la ocurrencia de modificaciones erosivas del perfil tan intensas como las que generan los frentes fríos.

Este trabajo recoge los estudios estadísticos realizados para determinar la frecuencia de ocurrencia de los fenómenos meteorológicos que provocan erosiones extremas de la playa de Varadero. El modelo de Poisson ajustado a los datos permite predecir que cada 2.7 años, con una probabilidad del 63 %, ocurre un evento de características excepcionales.

Para minimizar los daños que puedan provocar las olas de tormentas a instalaciones de alto valor turístico o social que permanecen en primera línea de playa, se propone la colocación de estructuras formadas por Sandtainers. El sistema de Sandtainers se basa en la tecnología de materiales textiles, la cual permite la fabricación de telas industriales de alta resistencia a la tensión y al desgaste por abrasión. La abertura del poro del textil se diseña de tal manera que permita una buena permeabilidad, y una óptima retención de finos, principalmente dentro del rango de arena fina a gruesa.

Con este material textil se confeccionan unos sacos con una forma geométrica que garantice gran estabilidad contra volteos. Estos sacos vacíos se colocan en el sitio exacto marcado por el proyecto, y se procede a su llenado mediante la inyección hidráulica de una mezcla de agua y arena con una bomba de agua.

En la ingeniería de costas clásica es muy frecuente el uso de estructuras de hormigón para obras de protección costera, como es el caso de los muros de contención, rompeolas, espigones, etc. La utilización de los Sandtainers viene a revolucionar la ingeniería costera, pues con ellos pueden construirse obras más sencillas y económicas. Las ventajas radican en el bajo costo del material usado para su elaboración y en que la tecnología permite disminuir los impactos sobre el sistema costero.

Entre las desventajas del uso de los Sandtainers está la facilidad con que éstos se rompen al permanecer descubiertos por mucho tiempo bajo la acción del sol y las olas.

Con las estructuras de Sandtainers se brindó protección a 9 instalaciones turísticas en la Playa de Varadero. La efectividad de estas obras ingenieras se comprobó durante el paso de los ciclones Joshephy y Lili en octubre de 1996, y frente a las fuertes marejadas ocurridas en diciembre de 1997 y enero-febrero de 1998.

Calculo de la frecuencia de ocurrencia de los eventos meteorológicos que ocasionan erosiones extremas en la Playa de Varadero.

Partiendo de la información recogida por el monitoreo realizado por el Instituto de Oceanología desde 1978 hasta 1996 en la playa de Varadero (Juanes, García y Alvarez 1996), se determinan los momentos en que la playa ha sido fuertemente afectada por fenómenos meteorológicos extremos . En la tabla 1 se muestran los momentos en que la playa de Varadero ha sido fuertemente erosionada, así como el evento meteorológico que lo provocó.

Los eventos erosivos extremos han estado asociados a fenómenos meteorológicos de categoría fuerte, según la clasificación propuesta por el Instituto de Meteorología (ver tabla 1). A su vez, 5 de estos eventos han provocado penetraciones del mar en el malecón habanero (Instituto de Meteorología), lo que muestra la magnitud de los mismos, y por tanto, que traen asociados oleajes capaces de provocar penetraciones del mar en la costa noroccidental de Cuba.

Tabla 1. Cronología de los eventos erosivos extremos.
Table 1. Chronology of extreme erosive events.

Evento	Fecha	Clasificación	Dirección del viento
Frente frío	Febrero 1979	Moderado	NW
Baja extratropical(2)	Marzo 18,1983	Fuerte	W
Frente frío(5)	Febrero 12, 1985	Moderado	NW
Huracán Juan(1)	Octubre 29,1985	Fuerte	NW
Huracán Floyd(4)	Octubre 12, 1987	Fuerte	NW
Baja extratropical(3)	Febrero 6, 1992	Fuerte	NW

Es de destacar que los eventos meteorológicos que han producido erosiones extremas en la playa de Varadero tienen las direcciones del viento predominante W y NW. Esto constituye un elemento a tener en cuenta en los pronósticos de tales fenómenos.

De los 6 eventos registrados, 4 están asociados a frentes fríos. Además si se tiene en cuenta que la ocurrencia de los frentes fríos se extienden desde Octubre hasta Mayo y en la Provincia de Matanzas aparecen como promedio 19 por temporada, de ellos 7 son débiles, 10 moderados, y dos fuertes (Alfonso y Florido 1993), se deduce que es alta la probabilidad de que ocurra un evento extremo de esta naturaleza.

Por otro lado, la probabilidad de ocurrencia de un evento erosivo extremo provocado por los huracanes es menor. Alfonso y Florido (1993) determinaron que en la provincia de Matanzas el período de espera entre un huracán y el siguiente es muy variable, se han observado de uno a 33 años (1952-1985), siendo el período de espera más frecuente de dos años, con probabilidad del 21 %. Sin embargo, destacan que en algunos casos la permanencia de ciclones en el Golfo de México ha producido efectos importantes en la costa aún sin cruzar directamente por el territorio nacional. Tal es el caso de las erosiones extremas provocadas por el ciclón Juan en 1985 (Juanes, García y Alvarez, 1996).

Procesamiento estadístico.

Como los eventos extremos ocurren con muy baja frecuencia, se comprueba si es posible ajustar los datos a una ley de probabilidades de Poisson, la cual es adecuada para estos casos. Para el procesamiento estadístico se selecciona la variable aleatoria X que cuenta el número de eventos erosivos extremos ocurridos en un año. En este caso toma tres valores: 0, 1 y 2 ocurrencias de eventos por año.

Se deduce que la variable aleatoria X que cuenta el número de eventos erosivos extremos en un año se ajusta con el 5 % y el 10 % de nivel de significación al modelo de Poisson dado por:

$$P(k) = P(X = k) = \frac{0.46^k}{k!} e^{-0.46} \quad \text{donde } k \text{ puede tomar valores de } 0, 1, 2.$$

Además se concluye que las probabilidades de ocurrencia de 0, 1 y 2 eventos extremos por año adquieren los valores 63%, 29% y 6 % respectivamente, y cada 2.7 años como promedio ocurre 1 o 2 eventos erosivos extremos.

Tomando como base el registro de los perfiles topográficos (Juanes y col. 1996), y las observaciones sistemáticas realizadas por el Instituto de Oceanología, se comprueba que hasta 1996 la baja extratropical ocurrida en Febrero de 1992 fue el último evento erosivo extremo registrado en la Playa de Varadero. Teniendo en cuenta esto último, y la gran cantidad de índices de erosión que se observan en toda la playa, se deduce que es alta la probabilidad de ocurrencia de al menos uno de estos eventos en los meses finales de 1996 y durante el año 1997.

Ante esta emergencia se propone la colocación de las estructuras de Sandtainers para la protección de instalaciones de alto valor histórico y turístico.

Características del Sandtainer Bolsaroca ST-8.

Las especificaciones técnicas de la BOLSAROCA ST-8 son: 1.4 m de ancho, 0.4 m de altura y 5 m de largo. Los Sandtainers, según el fabricante, alcanzan un peso de 8 ton. Sin embargo, debe destacarse que para el caso de la arena de Varadero se obtienen valores menores.

Con el objetivo de determinar el peso de un Sandtainer con arena seca y mojada se realizó un experimento de laboratorio. El procedimiento seguido en el mismo se describe a continuación:

1. La arena a emplear en el experimento se tamiza con una malla de 10mm.
2. Se determina el peso del recipiente: 280 g.
3. Se determina el peso de la muestra seca: 1468g , densidad = 1.468.
4. Se le agrega a 1000 ml de arena seca 400 ml de agua de mar para lograr la compactación de la arena. (No se observó cambios en el volumen de arena)
5. Posteriormente, se calcula el peso de la arena mojada: 1878g, densidad=1.9.

Si se supone que una vez llenado el saco con arena la sección transversal de este toma aproximadamente la forma de una elipse con semieje mayor de 60 cm y semieje menor de 30 cm, entonces el volumen del Sandtainer es de 2.85 metros cúbicos.

Con estos datos se determina que el peso que alcanza un Sandtainer con arena seca no es mayor de 4.2 ton y 5.2 ton si la arena está mojada.

Funcionamiento y construcción de la estructura

Los trabajos se inician abriendo una zanja lo más próximo a los cimientos de la instalación y profundizando, si es posible, hasta el substrato rocoso.

Posteriormente los sacos se colocan dentro de la zanja y con el empleo de bombas hidráulicas se llenan con una mezcla de agua y arena al 15 % extraída directamente de la zanja. El agua se filtra a través de las paredes de los Sandtainers y la arena queda retenida en el interior hasta llenar el saco de manera compacta. En la foto 1 se muestra una vista de la estructura del Restaurante El Brocal después de su terminación. Luego de terminada la estructura, se cubre con arena y se reconstruye el perfil de la playa y la duna (ver foto 2).



Foto 1. Vista de la estructura del Brocal.

Photo 1. View of the structure at El Brocal Restaurant.

En caso de producirse un temporal de características excepcionales que logre remover toda la arena de la duna, quedarían descubiertos los Sandtainers y en ese momento cumplirían con su función protectora.



Foto 2. Duna artificial conformada sobre la estructura.

Photo 2. Artificial dune formed over the structure.

Resultados de la aplicación de los Sandtainers.

Para el análisis de la efectividad de las estructuras de Sandtainers se tiene en cuenta su resistencia frente al oleaje durante los eventos meteorológicos ocurridos desde septiembre de 1996 hasta febrero de 1998. Entre los de mayor intensidad están los ciclones Josephy y Lili en octubre de 1996, así como los fuertes oleajes asociados a bajas extratropicales en diciembre de 1997 y el frente frío ocurrido en febrero de 1998.

De las estructuras construidas no todas han estado expuestas directamente al choque del oleaje de tormenta, pues durante un temporal extremo la erosión de la playa no se comporta uniformemente a lo largo de esta. En particular durante los años 1996, 1997 y primeros meses de 1998, sólo han estado bajo el efecto de las olas las estructuras de las casas 33, 38, 39 y la de AquaSport (casa 64) (ver Fig. 1).

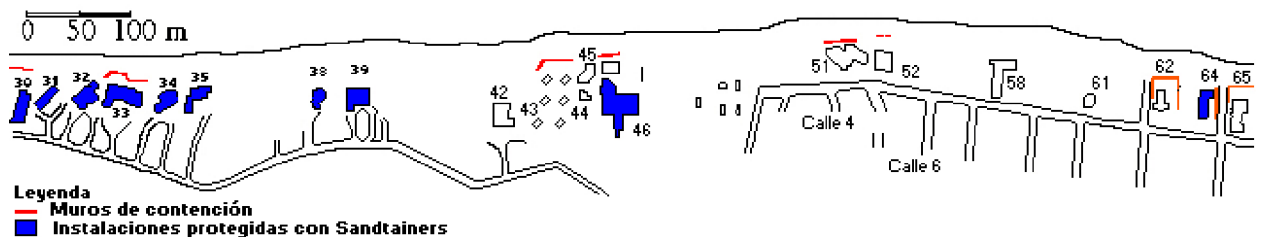


Figura 1. Esquema del sector costero donde se ubican las instalaciones protegidas con Sandtainers.

Figure 1. Scheme of the coastal sector where facilities protected with Sandtainers are located.

Durante el paso de los ciclones Joshephy y Lili la estructura de Sandtainers de la casa del Consejo de Estado la protege eficientemente, sin embargo dos instalaciones situadas en el mismo sector de playa y que no tenían estructuras protectoras fueron parcialmente destruidas por las olas.

Durante las marejadas de los eventos de diciembre de 1997 y febrero de 1998, las estructuras de las casas 38 y 39 estaban terminadas. A partir de los índices de erosión observados a ambos lados de las estructuras, así como por la intensidad de los eventos erosivos a las que estuvieron expuestas, se puede afirmar que dichas instalaciones habrían sido destruidas de no estar colocados los sacos.

En el caso de AquaSport, los Sandtainers la protegen eficientemente de las fuertes marejadas asociadas a los eventos de diciembre de 1997 y febrero de 1998. Los ciclones Joshephy y Lili no afectan a esta instalación.

Durante la ocurrencia del frente frío en febrero de 1998 ninguna de las instalaciones protegidas con Sandtainers son afectadas por las fuertes marejadas. Por otra parte, alrededor de 10 instalaciones situadas en el mismo sector de playa fueron dañadas por el oleaje.

Ventajas e impacto ambiental de las estructuras.

Las estructuras construidas garantizaron, en muchos casos, la conservación de las inversiones hechas en la remodelación de las instalaciones. Además, las mismas disminuyen los impactos en el sistema costero en comparación con otras estructuras destinadas para estos fines.

Los sacos son de fácil colocación y pueden ser llenados con arena de la propia playa, por tanto, en caso que se requiera su eliminación aportarían sedimento para la conformación del perfil. La eliminación de un muro de hormigón es una tarea difícil y siempre deja gran cantidad de escombros, que al mezclarse con la arena traen como consecuencia una afectación a las condiciones recreacionales y estéticas del sector costero donde se construye.

En períodos de calma, la estructura de Sandtainers armoniza con el entorno que ofrece el desarrollo turístico de la playa, pues una vez terminada la colocación de los Sandtainers se cubren con arena por medio de una duna artificial (ver foto 2). Los sacos solo vuelven a destaparse cuando las olas de eventos con características excepcionales alcancen a los mismos.

Conclusiones

Se determinó que cada 2.7 años (como promedio) ocurre uno o más eventos erosivos extremos en la playa de Varadero. La veracidad de este pronóstico se pudo verificar por la ocurrencia del frente frío en febrero de 1998, el cual se puede considerar un evento erosivo extremo.

En el presente trabajo se resumen la concepción y aplicación de una necesaria acción ingeniera vinculada a la explotación turística de un importante sector de playa en Varadero, donde se relaciona de forma satisfactoria el resultado científico con su introducción en la práctica.

El monitoreo seguido a las 9 estructuras construidas permite afirmar que éstas constituyen una alternativa eficaz para brindar protección a instalaciones turísticas en la Playa de Varadero.

Agradecimientos

Agradecemos la colaboración brindada por los compañeros de la Sucursal en Varadero de la Empresa Arentur S. A y de la delegación del CITMA en Matanzas.

Bibliografía

Análisis Hidrometeorológico y Estadístico de las Penetraciones del Mar ocurridas en el Malecón Habanero. 1994. Grupo de Trabajo para Investigaciones Climáticas Aplicadas a Zonas Costeras. Instituto de Meteorología.

Alfonso, A. P. y A. Florido. 1993. El clima de Matanzas.

Juanes, J. L., E. Ramírez y V.S. Medvediev. 1982. Dinámica de los sedimentos de la Península de Hicacos, Cuba. I. Variaciones morfológicas del perfil de playa. Ciencias de la Tierra y el Espacio. No. 11, p 64-84.

Juanes, J. L., E. Ramírez, M. Caballero, V.S. Medvediev y M. G. Yurkevich. 1982. Dinámica de los sedimentos de la Península de Hicacos, Cuba. II. Efecto de las olas de viento en la zona costera. Ciencias de la Tierra y el Espacio. No. 11, p 93-101.

Juanes, J. L. 1996. La erosión de las playas de Cuba. Alternativas para su control. Tesis de Doctorado. Facultad de Geografía, Universidad de La Habana, Cuba.

Juanes, J. L., C. García y A. Alvarez. 1995. Trabajos para la protección y remodelación de un sector de playa en el complejo Kawama-Punta Blanca. Archivo Científico, Instituto de Oceanología, Cuba.

Juanes, J. L. y C. García. 1994. Trabajos para la protección y remodelación de un sector de playa en el complejo Kawama-Punta Blanca I. Archivo Científico, Instituto de Oceanología, Cuba.

Juanes, J. L., C. García y A. Alvarez. 1996. Plan de Emergencia para la Protección de Instalaciones de los Eventos Erosivos Extremos. Informe inédito, Archivo Científico, Instituto de Oceanología, Cuba.

Manual on Artificial Beach Nourishment. 1987. Delft Hydraulics.

Shore Protection Manual. 1984. Center for Civil Engineering Research.

Sistemas de arrecifes artificiales para fomento de playas. 1997. Documento informativo de la empresa Control de la Erosión S.A.

Varadero. Plan de Medidas para la Recuperación de la Playa. 1986. Dirección de Investigaciones del INTUR e Instituto de Oceanología de la Academia de Ciencias de Cuba.



El Instituto de Oceanología es una dependencia de la Agencia de Medio Ambiente del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA)

Dirección: Ave. 1ª No. 18406 entre 184 y 186. Reparto Flores, Playa. Ciudad de La Habana, Cuba. C.P. 12100

Telfs.: 21-1380, 21-2268, 21-1424, 21-0300 **Dirección:** 21-6008 **Biblioteca:** 21-4989 **FAX:** (537) 33-9112

WWW: <http://www.cuba.cu/ciencia/citma/ama/oceanologia/default.html>