

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/268804938>

# Alternativas Ingenieras para la Creación de Playas Artificiales a Ambos Lados del Hotel Meliá Varadero. Engineering Alternatives...

Article · January 2003

CITATIONS

0

READS

244

6 authors, including:



**Raul Martell Dubois**

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso ...

24 PUBLICATIONS 26 CITATIONS

SEE PROFILE



**Kenia Hernández**

Universidad Tecnológica de la Habana, José An...

4 PUBLICATIONS 0 CITATIONS

SEE PROFILE



**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:



Project

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



Project

Sistema de análisis de inundaciones y cambios morfológico en zonas costeras ante la ocurrencia de huracanes. [View project](#)

## **Alternativas Ingenieras para la Creación de Playas Artificiales a Ambos Lados del Hotel Meliá Varadero.**

### **Engineering Alternatives for the Creation of Artificial Beaches at Both Sides of Meliá Varadero Hotel.**

Autores: Raúl Martell Dubois, Kenia Hernández Valdés, Amaury Alvarez Cruz, Miguel Izquierdo Álvarez.  
Instituto de Oceanología, Ave. 1ra. No. 18406 entre 184 y 186. Reparto Flores, Playa. La Habana, Cuba.

#### **Resumen**

En la actualidad la aplicación de soluciones ingenieras resulta inevitable, cuando el equilibrio dinámico de las playas está afectado de manera irreversible, manifestándose el fenómeno de la erosión. El presente trabajo propone soluciones ingenieras que garanticen las condiciones necesarias para la formación y estabilización de playas en los sectores de terraza baja que se localizan a ambos lados del hotel Meliá Varadero.

**Palabras claves:** tormenta erosiva extrema, perfil de equilibrio, regeneración de playas.

#### **Abstract**

At present, the application of engineering solutions is unavoidable when the dynamic equilibrium of the beaches is irreversibly affected, showing the phenomenon of erosion. The present work proposes engineering solutions that guarantee the necessary conditions for the formation and stabilization of beaches in the low terrace sectors that are located at both sides of Meliá Varadero Hotel.

**Key words:** extreme erosive storm, equilibrium profile, beach regeneration.

#### **Introducción**

El sector costero Peñas de Bernardino - Punta Chapelín, ubicado en la Península de Hicacos, provincia de Matanzas, posee una longitud de 2 Km, localizándose en su centro un macizo rocoso de 220 m de longitud y 3.8 m de altitud, sobre el cual se encuentra el hotel Meliá Varadero. A ambos lados de este macizo rocoso se extienden zonas de terraza baja con longitudes aproximadamente de 200 m y altitudes entre 1.6 – 2.5 m, que constituyen una transición entre el acantilado en que se sitúa el hotel Meliá Varadero y las playas que se encuentran en estos sectores.

En el año 1998 se ejecutó en Varadero el vertimiento de 1087 000 m<sup>3</sup> de arena, con el objetivo de restituir las condiciones recreacionales y estéticas de la playa y reforzar el pie de las dunas para minimizar el efecto erosivo de las olas de tormenta. El vertimiento se extendió a las zonas de terraza baja emergida, por lo que una parte del material se movió inevitablemente hacia la línea de costa formándose inmediatamente una playa en aquellos lugares que de manera natural estaban ocupados por la terraza baja.

Debido a la cercanía al hotel Meliá Varadero, la nueva playa comenzó a ser utilizada por los turistas como zona de baño. Pasado algún tiempo después de la alimentación artificial, la arena acumulada en la línea de costa se redistribuyó bajo la acción del

oleaje y afloró nuevamente la terraza baja, dificultando el acceso a la playa y limitando su uso como zona de baño.

El objetivo de este trabajo consiste en proponer alternativas ingenieras que garanticen las condiciones necesarias para la formación y estabilización de playas en los sectores de terraza baja que se localizan a ambos lados del hotel Meliá Varadero.

### **Materiales y Métodos**

La caracterización del perfil emergido en cada sector de playa se realizó mediante técnicas topográficas con el empleo de un teodolito THEO 080, realizando nivelaciones que se extendieron hasta una profundidad de 1.50 m, describiendo el relieve submarino próximo a la orilla. En la pendiente submarina se realizó un reconocimiento mediante buceo autónomo, midiendo los espesores de arena con una perforadora manual de tirabuzón.

Para el diseño de las pendientes del relieve a conformar en la playa, se emplea la modelación matemática de la evolución de los perfiles de playa. A partir de los resultados obtenidos de la modelación de la evolución del perfil de playa bajo el efecto de los temporales se calculan las secciones de terraza baja que deben ser extraídas así como el volumen de arena necesario a verter para garantizar que no aflore la roca. Estos modelos han sido propuestos por Moore (1982), más tarde modificados por Kriebel (1982) y posteriormente refinados por Dean y Zheng (1994), para cuya solución se utiliza el programa SBEACH 2.0, el cual puede ser encontrado en la página de Internet: <http://hlnet.wes.army.mil/software/sbeach>.

Para el diseño de la ubicación del rompeolas se emplea la expresión propuesta por Dean y Dalrymple (1995), la cual relaciona la longitud del saliente arenoso a conformar, la distancia del rompeolas a la costa y su longitud.

### **Resultados y Discusión**

En la situación actual la terraza baja costera próxima al Hotel Meliá Varadero se comporta como un elemento rígido dentro del perfil de playa, de manera que impide la disipación de la energía del oleaje incidente reflejando gran parte de la misma, lo cual provoca una intensificación del lavado de arena. La modelación estará dirigida a determinar en qué medida este hecho impacta negativamente sobre la estabilidad del perfil de la playa.

Para realizar el análisis, la zona de estudio se ha dividido en dos sectores, uno al E del hotel y otro al W. Teniendo en cuenta las particularidades de ambos sectores se estudia un perfil de playa representativo de cada caso. Por conveniencia para su nomenclatura el tramo ubicado al E se denominará Sol Palmeras y el tramo ubicado al W Las Américas

#### *Perfil Las Américas. Situación actual:*

El perfil objeto de estudio caracteriza un tramo de costa abrasiva de 160 metros de longitud, comprendido entre el acantilado frente al hotel Meliá Varadero y el tramo de costa arenosa de la playa del hotel Las Américas. La orientación de la costa es ENE-WSW. La duna de este perfil presenta una altura de 6 metros sobre el nivel mar y a partir de su pie aparecen 20 metros de superficie arenosa con espesores que oscilan entre 0.5 m y 1.1 m. Seguidamente se presenta una superficie rocosa de 7 metros de longitud que llega hasta la profundidad de 0.5 metros, a continuación se extiende un fondo arenoso que alcanza una distancia de 170 metros desde la línea de costa,

llegando a la profundidad de 4 metros. Los espesores de arena en la pendiente submarina oscilan entre 0.24 m y 1.24 m, para un promedio de 0.74 m. El perfil en esta parte tiene una barra bien definida separada 40 metros de la costa.

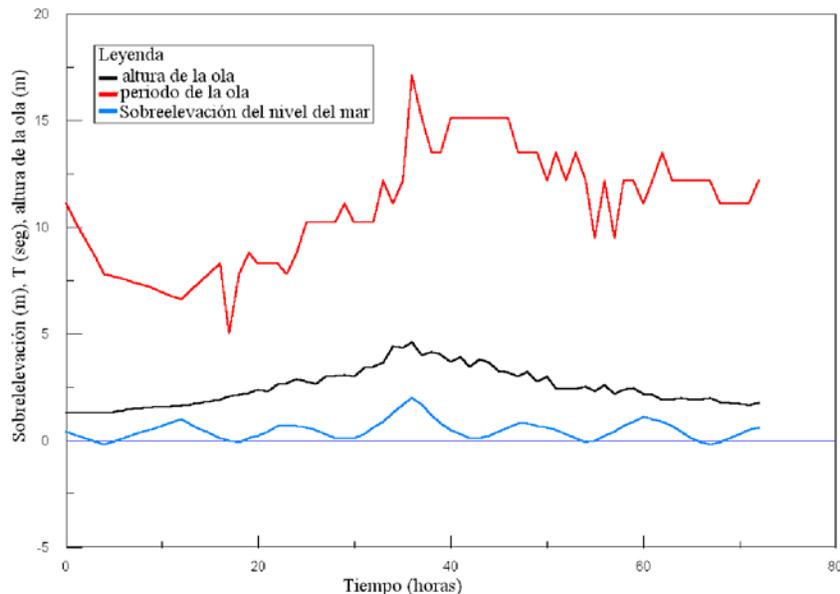
El tramo costero históricamente se ha comportado de manera cíclica, alternándose la acumulación arenosa con el afloramiento de superficies rocosas en la anteplaya.

Entre las causas principales de la erosión se identifica la presencia del saliente rocoso formado por el acantilado, ubicado en el extremo este del sector, el cual provoca la reflexión y la difracción de las olas provenientes de los rumbos NE y N, lo que contribuye a la concentración de la energía sobre este tramo. Por lo tanto, una gran parte del sector recibe un flujo adicional de energía dado por la combinación del flujo que llega de aguas profundas más el reflejado por el acantilado. Otro agente erosivo está condicionado a que la playa de Las Américas, comprendida entre los dos salientes rocosos, al buscar sus condiciones de equilibrio tiende a regularizar su forma en planta linealmente, de modo que se produce el lavado de arena en los extremos.

Una alternativa para mitigar el proceso erosivo consiste en rebajar parte de la terraza costera de manera que se creen condiciones del relieve favorables para la acumulación de arena.

#### *Simulación del perfil actual:*

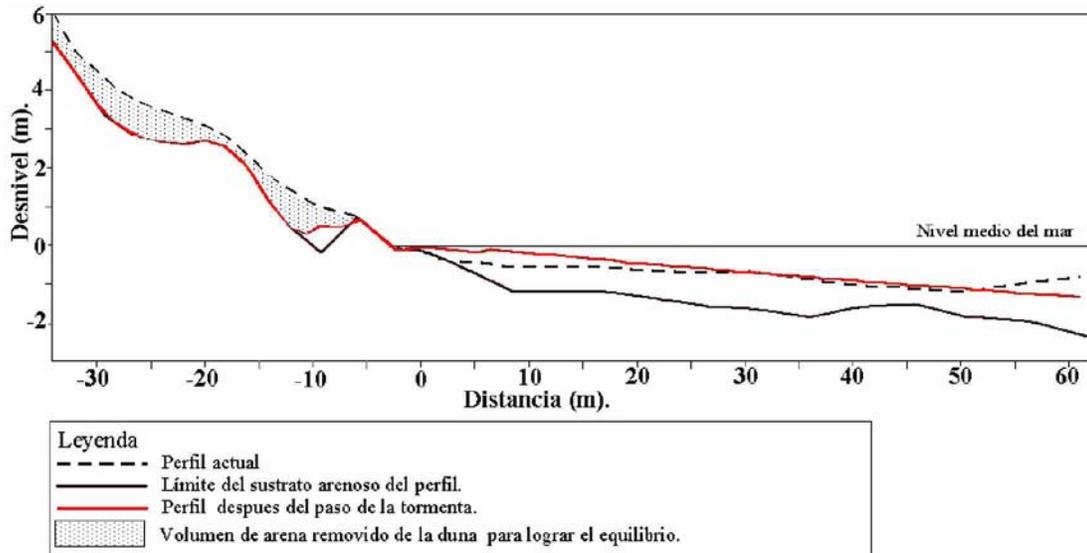
Para calcular las secciones de terraza baja que deben ser extraídas así como el volumen de arena necesario a verter con el objetivo de garantizar que no aflore la roca se emplean los modelos de evolución de los perfiles de playa. La Fig. 1 muestra los parámetros de una tormenta representativa de los eventos erosivos extremos que afectan a la playa de Varadero. Estos parámetros fueron introducidos en el programa SBEACH 2.0 para la simulación de diferentes escenarios, los cuales se describen a continuación.



**Fig. 1.** Parámetros de una tormenta representativa de los eventos erosivos extremos en la playa de Varadero.

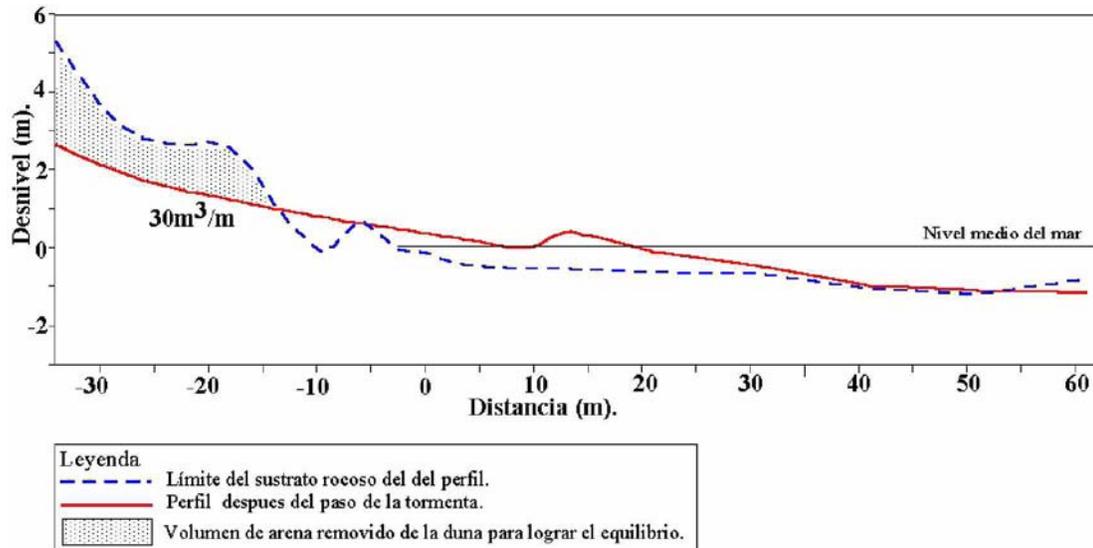
**Fig. 1.** Parameters of a storm representative of the extreme erosive events in Varadero beach.

En la Fig. 2 aparece el perfil actual, el límite del sustrato arenoso y el perfil luego del paso de una tormenta erosiva extrema. En ella se aprecia que la arena que está en la anteplaya, con espesores que oscilan entre 0.5 m y 1.1 m, es removida hacia la parte sumergida para lograr el perfil de equilibrio post-tormenta, y por tanto la playa emergida quedará desprovista de arena. Esto sugiere la necesidad de crear una reserva de arena en la duna y la postplaya para mitigar el efecto del oleaje de tormentas severas. Además resulta necesario diseñar una morfología de la pendiente emergida que contribuya a disipar la energía de las olas. Para determinar los valores de los parámetros antes mencionados se realizan diferentes simulaciones del modelo numérico.



**Fig. 2.** Simulación del impacto de una tormenta extrema en el perfil actual de Las Américas.  
**Fig. 2.** Simulation of the impact of an extreme storm on the current profile of Las Américas.

En la Fig. 3 aparece el perfil que se forma con el límite del sustrato arenoso y el perfil que resultaría luego del paso de una tormenta erosiva extrema, bajo la suposición de que la parte rocosa de la playa emergida del perfil puede moverse como la arena y existe arena en la playa sumergida. Este perfil indica que deben existir  $30 \text{ m}^3$  por metro lineal de playa de arena de reserva en la duna y la postplaya, así como la pendiente de equilibrio que debe tener la parte rocosa para disipar de manera óptima la energía del oleaje.

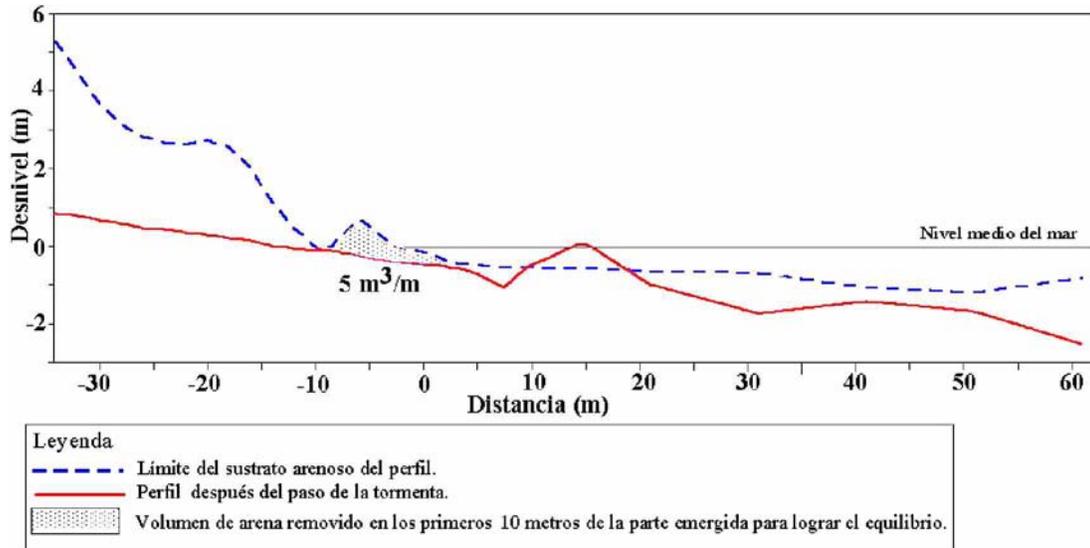


**Fig. 3.** Evolución de la parte rocosa del perfil actual bajo el efecto de una tormenta extrema. Se supone que el perfil es enteramente móvil, con los niveles actuales de arena en la parte sumergida.

**Fig. 3.** Evolution of the rocky part of the current profile under the effect of an extreme storm. The profile is assumed to be entirely movable, with the current levels of sand in the submerged part.

En la Fig. 4 aparece el perfil que se forma con el límite del sustrato arenoso y el perfil que resultaría luego del paso de una tormenta erosiva extrema, bajo la suposición de que la parte rocosa de la playa emergida del perfil puede moverse como la arena y no existe arena en la playa sumergida. Este perfil indica la pendiente de equilibrio óptima que se debe conformar en el sustrato rocoso para disipar la energía del oleaje de tormentas erosivas, siendo necesario disminuir los niveles de la terraza hasta una profundidad máxima de 0.9 m, y en una longitud de 10 m a partir de la línea de costa. El volumen total de material rocoso a extraer asciende a 5 m<sup>3</sup> por metro lineal de playa.

Una vez extraído el material rocoso, se rellenarán las aberturas dejadas en la postplaya con arena, luego el volumen total de arena a verter según los cálculos del modelo aplicado asciende a 30 m<sup>3</sup> por metro lineal de playa.



**Fig. 4.** Evolución de la parte rocosa del perfil actual bajo el efecto de una tormenta extrema. Se supone que el perfil es enteramente móvil y no existe arena en la parte sumergida.

**Fig. 4.** Evolution of the rocky part of the current profile under the effect of an extreme storm. It is assumed that the profile is entirely movable and there is no sand in the submerged part.

#### *Perfil Sol Palmeras. Situación actual:*

El perfil objeto de estudio es representativo del tramo de costa abrasiva de 200 m de longitud, ubicado en el extremo occidental de la playa del Hotel Sol Palmeras y limita al oeste con el acantilado situado frente al Hotel Meliá Varadero. La orientación de la costa de este sector es ENE-WSW. La duna de este perfil se encuentra cubierta de vegetación y a partir de su límite hacia el mar aparece una superficie arenosa de 16 m de longitud, con espesores que oscilan entre 0.1 m y 0.5 m para un promedio de 0.4 m. A continuación el perfil presenta una superficie rocosa de 8 m de longitud, seguida por una superficie arenosa que penetra en el mar llegando hasta 130 m de la línea de costa. Los espesores de arena en esta parte del perfil oscilan entre 0.25 m y 1.65 m, con un promedio de 0.82 m.

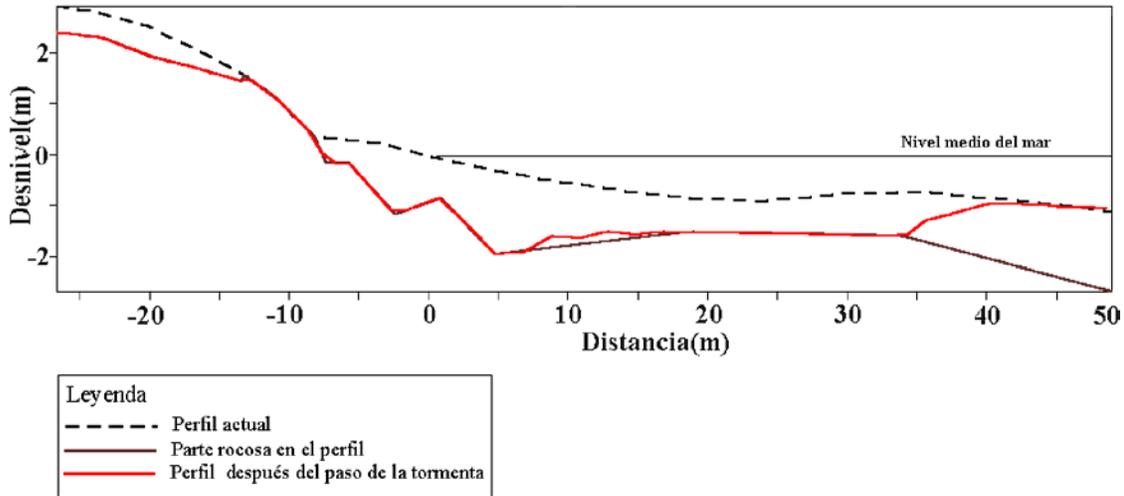
El tramo costero objeto de estudio históricamente se ha comportado como sector erosivo, con un predominio de afloramientos rocosos en la parte emergida de la playa. Una de las causas de la erosión en este sector, al igual que en Las Américas, viene dada por las reflexiones y difracciones del oleaje que provoca el acantilado ubicado en el extremo W del sector, las cuales producen en dicho sector una concentración de energía adicional. Este sector tiene la particularidad de que la terraza baja aflora y se eleva bruscamente a partir de los 10 metros de la línea de costa, llegando a alcanzar 2.5 metros sobre el nivel del mar.

Una alternativa para mitigar el proceso erosivo en este sector, al igual que en Las Américas, consiste en rebajar parte de la terraza costera de manera que se creen condiciones del relieve favorables para la acumulación de arena.

#### *Simulación del perfil actual:*

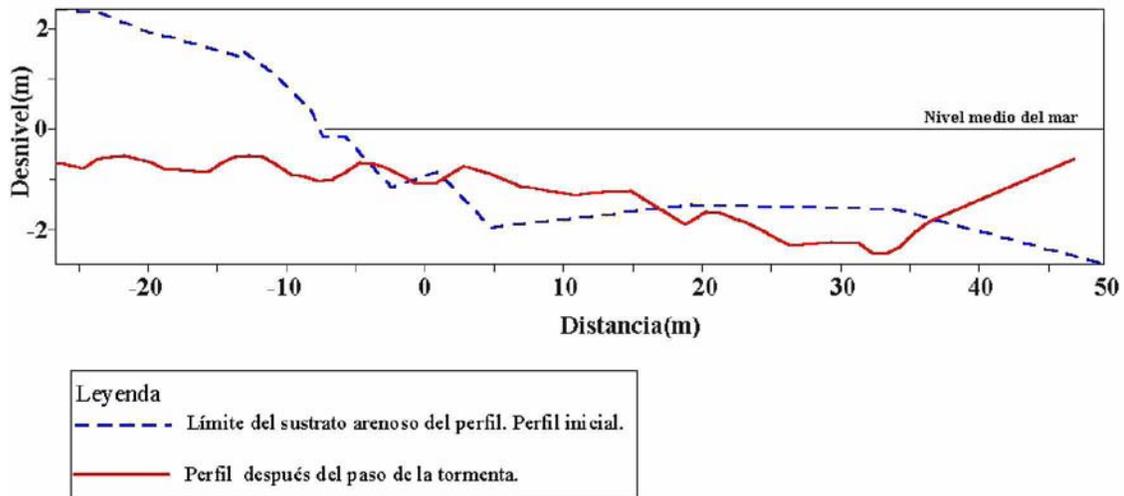
Al igual que para el sector de Las Américas, en este caso se ha modelado el comportamiento del perfil de playa bajo la ocurrencia de tormentas severas, mediante el empleo del programa SBEACH 2.0 para la simulación de diferentes escenarios, los cuales se describen a continuación.

En la Fig. 5 aparece el perfil actual, el perfil que se forma con el límite del sustrato arenoso y el perfil simulado con el modelo, que resulta luego del paso de una tormenta erosiva extrema. Puede apreciarse que la parte emergida del perfil queda totalmente desprovista de arena, lo cual indica la necesidad de crear reservas de arena en la postplaya para formar un perfil de equilibrio post-tormenta que garantice las condiciones para su uso turístico.



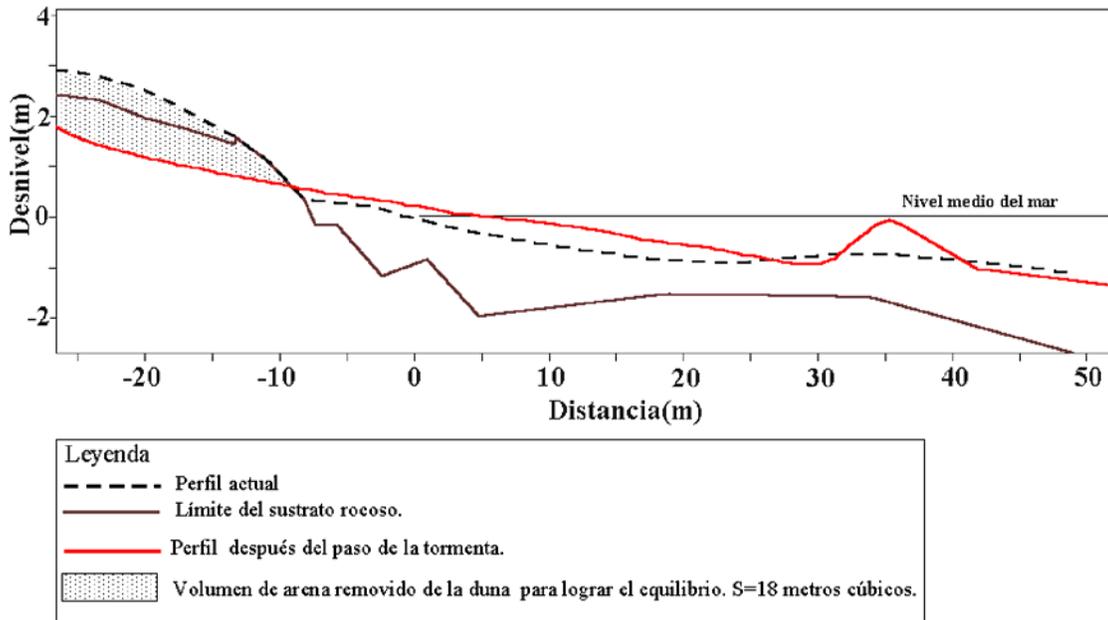
**Fig. 5.** Evolución del perfil actual bajo el efecto de una tormenta extrema.  
**Fig. 5.** Evolution of the current profile under the effect of an extreme storm.

En la Fig. 6 aparece el perfil simulado con el modelo, que representa la evolución del perfil que se forma con el límite del sustrato arenoso, bajo la suposición de que tiene la posibilidad de moverse como la arena y además no existen reservas de arena en la parte sumergida. De esta manera se obtiene la pendiente de equilibrio del sustrato rocoso adecuada para disipar de forma óptima la energía del oleaje.



**Fig. 6.** Evolución del perfil de Sol Palmeras suponiendo el fondo móvil en toda su extensión, bajo la consideración que no existe reserva de arena en la playa sumergida.  
**Fig. 6.** Evolution of the profile of Sol Palmeras area assuming that the bottom is movable in all its extension, under the consideration that there is no sand reserve in the submerged beach.

En la Fig. 7 aparece el perfil actual, y el perfil simulado con el modelo, que representa la evolución del perfil actual, bajo la consideración de que el rocoso tiene la posibilidad de moverse como la arena y existen reservas de arena en la parte sumergida. La simulación indica que se necesitan bajar los niveles de la terraza actuales hasta 1.1m y crear una reserva de 18 m<sup>3</sup> por metro lineal de arena en la parte emergida de la playa para lograr el equilibrio post-tormenta.



**Fig. 7.** Evolución del perfil actual bajo el efecto de una tormenta extrema, bajo la suposición de que existen reservas de arena en la parte emergida.

**Fig. 7.** Evolution of the current profile under the effect of an extreme storm, assuming that there are sand reserves in the emerged part.

Una vez que se extraiga el material rocoso, dicho volumen deberá ser rellenado con arena, luego el volumen de arena a verter según los cálculos del modelo aplicado asciende a 35 m<sup>3</sup> por metro lineal de playa.

Resumiendo el análisis realizado para ambos sectores, se puede plantear que en el sector de Las Américas el volumen de material rocoso a extraer es 5 m<sup>3</sup> por metro lineal de playa y por su parte para el sector de Sol Palmeras es de 19 m<sup>3</sup> por metro lineal de playa. A continuación se muestran los resultados del cálculo del volumen total de material rocoso a extraer, el cual asciende a 4 600 m<sup>3</sup>.

Sector de playa	Volumen por metro lineal de playa (m <sup>3</sup> )	Longitud de la playa (m)	Volumen a extraer (m <sup>3</sup> )
Las Américas	5	160	800
Sol Palmeras	19	200	3 800
<b>Total</b>			<b>4 600</b>

Todo el material rocoso que se extraiga de la terraza baja deberá ser transportado fuera de la Península de Hicacos y ser depositado en un vertedero autorizado por la Dirección Provincial de Servicios Comunes con la correspondiente Licencia Ambiental y microlocalización de Planificación Física.

Otra variante para el tratamiento de los residuos de la voladura puede ser la coordinación con alguna unidad inversionista que necesite material de relleno para una nueva construcción y suministrarle el material extraído, lo cual significará una disminución sustancial de los costos de ejecución del proyecto.

Por otra parte, podemos decir que en el sector de Las Américas el volumen de arena a verter es 30 m<sup>3</sup> por metro lineal de playa y por su parte para el sector de Sol Palmeras es de 35 m<sup>3</sup> por metro lineal de playa. A continuación se muestran los resultados del cálculo del volumen total de arena necesario para la conformación de la playa.

Sector de playa	Volumen por metro lineal de playa (m <sup>3</sup> )	Longitud de la playa (m)	Volumen a verter (m <sup>3</sup> )
Las Américas	30	160	4 800
Sol Palmeras	35	200	7 000
<b>Total</b>			<b>11 800</b>

El volumen total de arena a verter asciende a 11 800 m<sup>3</sup> y su ejecución estará en dependencia de la evolución de la playa después de retirada la terraza baja costera. Debe tenerse en consideración que parte de este volumen será empleado para cubrir las hendiduras dejadas por la extracción de la terraza baja y el resto tendrá como fin crear una reserva de arena en la duna la cual será suministrada a la playa de manera natural en los momentos de erosión extrema, como indican los resultados de los ensayos realizados.

En caso de que la extracción de la sección de terraza baja propuesta y el relleno artificial de arena no fueran suficientes para la estabilización de la playa, será necesaria entonces la colocación de dos rompeolas sumergidos, construidos de elementos de escollera. Estas estructuras se colocaran a ambos lados del macizo rocoso y paralelos a la línea de costa.

Los rompeolas se diseñan con el objetivo de proteger la costa de la acción del oleaje produciendo acumulaciones de arena al actuar como barrera litoral. La selección de este tipo de obra se fundamenta en la existencia en este sector costero de un intenso transporte litoral de sedimentos en dirección NE-SW descrito con anterioridad por Juanes (1986).

La protección que brinda un rompeolas consiste en la reducción de la energía del oleaje en la costa que queda a su abrigo. Esta reducción de la energía en la zona abrigada provoca una disminución del transporte de sedimentos en la misma, de manera que la arena movilizada por las corrientes litorales tiende a depositarse cuando penetra en dicha zona. La mayor parte de la energía del oleaje incidente es reflejada o disipada y el resto es transmitida a la zona que queda bajo su abrigo geométrico mediante el proceso de difracción.

Esta reducción de la energía en la zona abrigada provoca una disminución del transporte de sedimentos en la misma, de manera que la arena movilizada por las corrientes litorales tiende a depositarse cuando penetra en dicha zona. El resultado es la formación de un saliente arenoso desde la costa en dirección a la obra.

Para el cálculo de la relación existente entre el saliente arenoso, la longitud del arrecife y la distancia a la costa Dean y Dalrymple (1995) proponen la siguiente expresión:

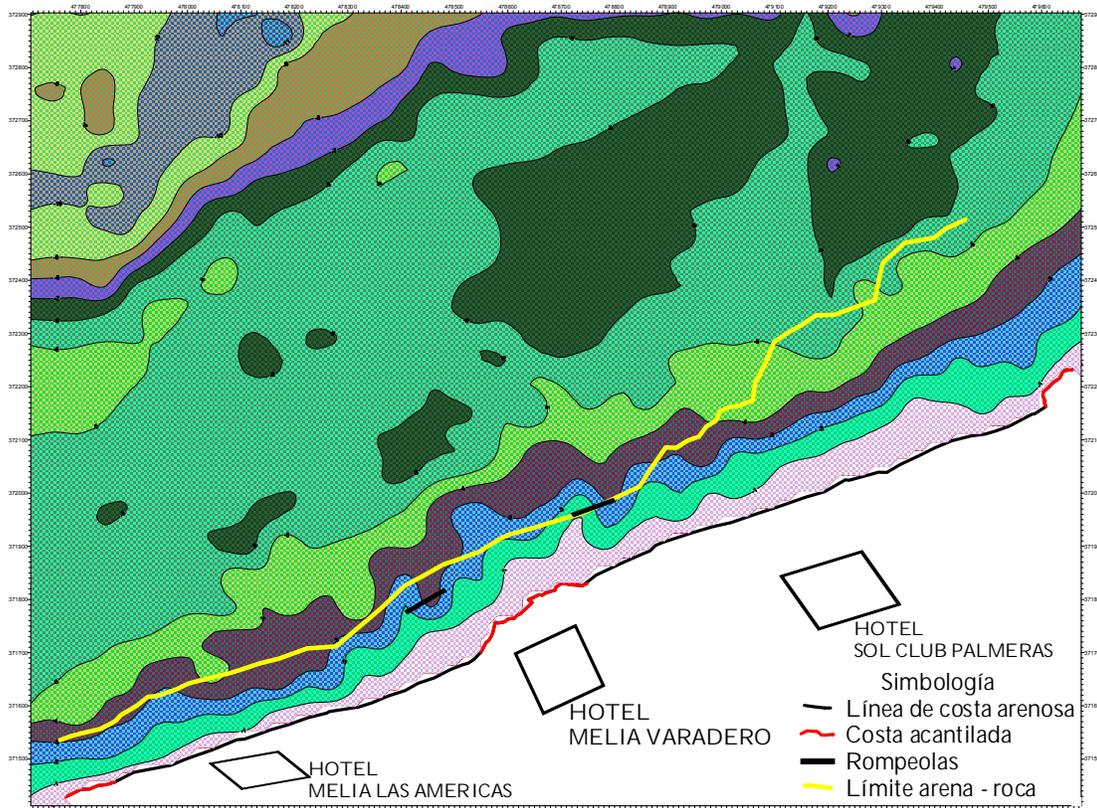
$$\frac{Y_s}{Y_b} = 1 - 0.678 \left( \frac{Y_b}{L_b} \right)^{0.215}$$

Donde Y<sub>s</sub>: Longitud del saliente

Yb: Distancia del rompeolas a la costa  
 Lb: Longitud del rompeolas

Esta expresión es válida cuando el rompeolas se sitúa dentro de la zona de rompientes. De colocarse el rompeolas en el borde o fuera de la zona de rompientes, la línea de costa puede avanzar llegando a unirse con la estructura, cortando así totalmente el suministro de arena a las playas aguas abajo. Por lo tanto una ubicación intermedia en la zona de rompientes permitirá que parte del transporte litoral de sedimentos pase por delante de la obra reduciéndose así el impacto negativo de la misma en las playas aguas abajo.

Después de múltiples ensayos se propone la colocación del rompeolas a 150 m de la costa de manera que queda dentro de la zona de rompientes, la cual en este caso tiene entre 200 y 300 m de amplitud, con una cota de coronación de -0.5 m por debajo del N.M.M. Para una longitud deseada del saliente a conformar por dicha estructura de 30 m, se obtendrá una longitud de estructura de 80 m. La figura 8 muestra la ubicación de los rompeolas.



**Fig. 8.** Batimetría de la zona y ubicación de los rompeolas.  
**Fig. 8.** Bathymetry of the area and location of the breakwaters.

**Conclusiones**

- La primera actuación propuesta para la creación de playas artificiales a ambos lados del Hotel Meliá Varadero, consiste en la voladura y retirada de parte de la terraza baja costera para conformar la sección que garantiza las condiciones favorables para la acumulación de arena en la costa.

- Si la velocidad de crecimiento de la playa no fuera la deseada, se recomienda una segunda actuación que consiste en la aplicación de la alimentación artificial de arena a la playa como alternativa para la rápida conformación del perfil.
- De detectarse un ritmo de pérdidas de arena superiores al 60% anual, se pasaría a una tercera actuación, que consiste en la construcción de arrecifes artificiales colocados paralelos a la costa, con la misión de crear zonas abrigadas que favorezcan la sedimentación. La combinación de las tres actuaciones propuestas garantizará la formación de una playa estable acorde a los requerimientos para uso turístico.
- Aplicando los modelos sobre los que se basa el programa SBEACH 2.0 se calcularon las secciones de terraza que deben ser rebajadas para la conformación de las pendientes adecuadas en la playa. En la zona de Las Américas el volumen de material rocoso a extraer es  $5 \text{ m}^3$  por metro lineal de playa y por su parte para el sector de Sol Palmeras es de  $19 \text{ m}^3$  por metro lineal de playa. El volumen total de material rocoso a extraer asciende a  $4\,600 \text{ m}^3$ .
- La sección transversal de diseño, con la cual se garantiza que no aflore la roca, se obtiene a partir de la modelación de la evolución del perfil de playa bajo el efecto de los temporales. Según estos cálculos el volumen de arena a verter en la sección de Las Américas es  $30 \text{ m}^3$  por metro lineal de playa y en el sector de Sol Palmeras  $35 \text{ m}^3$  por metro lineal de playa. El volumen total de arena a verter asciende a  $11\,800 \text{ m}^3$  y su ejecución estará en dependencia de la evolución de la playa después de retirada la terraza baja costera. Con este volumen de arena se cubrirán las hendiduras dejadas por la extracción de la terraza baja y se reforzará la duna.
- La tercera fase del proyecto consiste en la implantación de dos rompeolas artificiales paralelos a la costa. Después de múltiples ensayos se propone la colocación del arrecife a 150 m de la costa de manera que queda dentro de la zona de rompientes y para una longitud del saliente deseada de 30 m se obtiene una longitud para el rompeolas de 80 m.

## Bibliografía

- Dean, R. G. 1994. Equilibrium beach profile: Characteristics & Applications. Coastal and Oceanographic Engineering Department, University of Florida, Sea grant program and national oceanic and atmospheric administration. Technical Report January 15, 70 pag.
- Dean, R. G. and Dalrymple, R. A. 1995. "Coastal processes with engineering applications". University of Florida and University of Delaware chapters 1-14. 441 pag.
- Juanes, J. L.; Ramírez, E.; Caballero, M.; Medvediev, V. S.; Yurkevich, M. G. 1986. "Dinámica de los sedimentos en la península de Hicacos, Cuba. II. Efecto de las olas de viento en la zona costera". *Ciencias de la tierra y del espacio*. N° 11.
- Kriebel, D. L. and Dean, R. G. 1985. "Numerical simulation of time-dependent beach and dune erosion." *Coastal Engineering*. Vol. 9. pp. 221-245.
- Moore, B. D. 1982. "Beach profile evolution in response to changes in water level and wave height." M. Sc. Thesis. University of Delaware.