

**XXIII CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA
CARTAGENA DE INDIAS COLOMBIA, SEPTIEMBRE 2008**

**PROTECCIÓN DE COSTAS: EL CASO DEL BALNEARIO LA FLORESTA,
URUGUAY**

Luis Teixeira y Guillermo López

IMFIA, Facultad de Ingeniera, Universidad de la República, Uruguay, luistei@fing.edu.uy

IMFIA, Facultad de Ingeniera, Universidad de la República, Uruguay, glopez@fing.edu.uy

RESUMEN:

En este artículo se presenta el caso de un tramo de la costa uruguaya sobre el estuario del Río de la Plata, actualmente sometido a un fuerte proceso erosivo. Se analiza la evolución del tramo a diferentes escalas temporales y se muestra la metodología del cálculo del clima de olas en la zona. Se arriba a un diagnóstico de la situación actual, apoyado sobre la implementación de un modelo de una línea, incluyéndose la evaluación del comportamiento de un campo de espigones, construido entre los años 1979 y 1980. Se establece el mecanismo de retroceso de las barrancas que limitan la playa y se discuten y proponen algunas alternativas de acción para detener el proceso erosivo.

ABSTRACT:

In this paper the case study of a section of the Uruguayan coast, situated on the estuary of the Rio de la Plata, is presented. This shoreline is under a strong erosive process. The evolution of the coast at different time scales is analyzed and the methodology of wave climate determination is shown. Supported on the implementation of a one line model, a diagnosis of the situation is presented, including the evaluation of a groin field performance, built between 1970 and 1980. The recession process of the cliff that borders the beach is clarified. Finally, protective measures to control the erosion are proposed.

PALABRAS CLAVES:

Erosión de costas. Espigones. Recuperación de playas.

INTRODUCCIÓN

La erosión de la costa es un problema presente en todas partes del mundo. En general, es consecuencia de la evolución natural de la costa pero también puede ser inducida o modificada por distintas intervenciones humanas. En Uruguay existen diversos tramos de costa donde se detectan procesos erosivos. En particular este fenómeno se ha manifestado en la costa del balneario La Floresta.

El balneario La Floresta se ubica sobre el Río de la Plata, en la costa del departamento de Canelones, entre las desembocaduras de los arroyos Solís Chico al Oeste y Sarandí al Este, límites con los balnearios Parque del Plata y Costa Azul respectivamente, como indica la figura 1. Se encuentra a 53 km al Este de Montevideo. Su costa sobre el Río de la Plata tiene una longitud superior a 3 km. en dirección E-W y en su mayor parte está limitada por una barranca de aproximadamente 12 m de altura.



Figura 1.- Ubicación del balneario La Floresta.

Desde la década de los años 60 se han detectado problemas de erosión en esta playa, inicialmente en su zona Este. A principios de la década de 1970 se construyó una batería de cinco espigones con el propósito de estabilizar las zonas este y central del tramo. El resultado de estas acciones fue exitoso en la zona Este de la playa, pero trasladó la problemática hacia la parte central y Oeste, limitadas por barrancas en la dirección paralela a la costa. A principios de la década de 1980 se construyeron tres espigones más.

Actualmente el derrumbe de la barranca en la zona Oeste, en un tramo de aproximadamente 650 m de longitud, ha afectado la infraestructura vial del balneario y pone en riesgo inminente las viviendas existentes en la primera línea de edificación. Debe señalarse que en ese mismo tramo los espigones no han logrado retener arena y se encuentran separados de la barranca y socavados por su cara inferior.

En este artículo se presenta la metodología desarrollada y los resultados obtenidos en el análisis de la problemática del retroceso de la barranca del balneario La Floresta. Entre los resultados obtenidos se incluye el diagnóstico detallado del mecanismo que produce el retroceso de las barrancas y la propuesta considerada más adecuada como medida urgente, para la estabilización del tramo de costa más comprometido.

METODOLOGÍA

El estudio consistió en el análisis de las variables medioambientales que condicionan la evolución del sistema, el diagnóstico de los procesos en desarrollo y la determinación de las medidas para detener el proceso de erosión. La metodología empleado supuso la determinación del clima de oleaje, el estudio de la estabilidad en planta del arco de costa, la comparación de fotos aéreas de distintos años y la implementación de un modelo numérico de evolución de la línea de costa. Se analizaron además los antecedentes de las intervenciones realizadas y de evolución del tramo

Recopilación y procesamiento de información

En primer lugar se procedió a la recopilación y procesamiento de la información existente sobre este tramo de costa. La información reunida y sistematizada para posibilitar el análisis posterior se basa en: Estudios previos, información topográfica y batimétrica de distintos años, registros de vientos, olas y niveles de marea, fotografías históricas aéreas e información de las características de los sedimentos de la playa.

Cálculo del clima de olas

En la zona de La Floresta, coexisten dos tipos de oleaje. Por una parte, el oleaje es producido por la acción del viento sobre la superficie del Río de la Plata, oleaje denominado tipo “Sea” u oleaje de viento. Su generación en esta zona tiene la particularidad de producirse en condiciones de aguas limitadas en profundidad, razón por la cual la generación ocurre simultáneamente con otros procesos, como ser la refracción-difracción y el amortiguamiento. Por otra parte, aunque en menor medida, también existe un oleaje de tipo “Swell” u oleaje de mar de fondo, que es generado en aguas profundas en el océano Atlántico y que se propaga hacia el interior del estuario del Río de la Plata. El oleaje de mar de fondo (“Swell”) va perdiendo energía a medida que ingresa en el estuario, debido a las condiciones de aguas poco profundas (menores a 20 m en su gran mayoría). Es por esto que en el tramo de costa en estudio el oleaje que registra mayores alturas es generado por la acción del viento de tipo “Sea”.

El clima de olas se obtuvo sobre la base de los datos de medición de oleaje recopilados y del cálculo del oleaje mediante un modelo numérico. El modelo de generación empleado calcula el oleaje a partir de los datos de viento tomando en cuenta la interacción con el fondo.

Se emplearon datos de olas medidos por la empresa HIDROVIA mediante una boya ubicada en la boca del Río de la Plata, en la mitad del segmento imaginario que une Punta del Este con San Clemente (aproximadamente a 100 km al sur de La Floresta), como se indica en la figura 2. La dirección predominante del mar de fondo registrado en la boya de HIDROVIA es SE y por tanto la propagación desde esa boya hasta La Floresta no pudo ser hecha de forma directa, dado que la línea que une ambos puntos tiene dirección aproximadamente SSW. Por esa razón, se realizaron, mediante modelación numérica, propagaciones desde aguas profundas, para correlacionar el oleaje en la boya con el oleaje en La Floresta. En función de los resultados obtenidos en ambos puntos, se pudo transformar el mar de fondo registrado en la boya en el correspondiente oleaje en La Floresta.

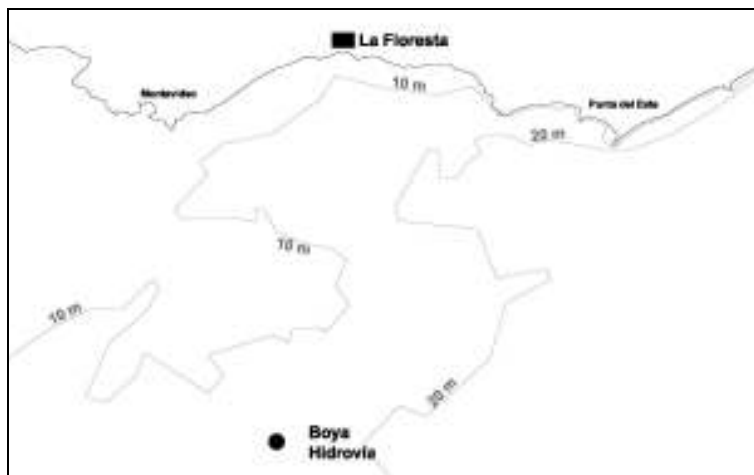


Figura 2.- Ubicación de la Boya de Hidrovía.

El cálculo del oleaje de viento o “Sea” se hizo a través de modelos de generación de olas SWAN, utilizando datos tri-horarios de viento, registrados en la estación Pontón de Recalada, ubicada en el Río de la Plata, frente a Montevideo.

Para generar el régimen medio de oleaje se utilizó el oleaje local calculado a partir de la estadística de vientos del Pontón de Recalada, junto con los datos de viento medidos en la boya de la empresa HIDROVIA. Con ese fin se admitió que:

- Cuando la velocidad de viento es menor a 3 m/s y/o la dirección del viento es NW, N o NE, el oleaje producido por la acción del viento local es despreciable y el oleaje predominante es el oleaje de mar de fondo (45,5 % del tiempo).
- Cuando la velocidad de viento es mayor a 3 m/s y la dirección es E, SE, S, SW o W, el oleaje dominante es el oleaje local de viento calculado.

Análisis de la evolución de la costa

A partir de la superposición de las fotos aéreas de los años: 1966, 1976, 1978, 1980, 1995 y 2001 se evaluó la evolución histórica que ha experimentado la línea de barrancas en todo el tramo del arco de playa de los balnearios Costa Azul y La Floresta. En particular se estimó el ritmo del retroceso que ha sufrido la barranca de la zona Oeste de La Floresta.

Con el objeto de obtener una descripción de la evolución de la playa se implementó el modelo numérico GENESIS, desarrollado por el CERC. Este modelo permite estudiar la evolución de la línea de costa y su afectación por la presencia de distintas obras (muros de protección, espigones, rompeolas) así como de distintas configuraciones de relleno de playa; a su vez, es posible ajustar los parámetros de las fórmulas de transporte de sedimentos.

El modelo GENESIS requiere conocer una serie temporal del oleaje que incide sobre la costa, en forma de ternas de altura de ola, período y dirección, para cada intervalo de tiempo. La serie de datos ingresados en el modelo se construyó a partir de la información del clima de olas medio calculado. Para ello, se decidió, como es la práctica habitualmente aceptada, trabajar con eventos con paso de tiempo de 3 horas.

A partir del histograma de frecuencia del clima de olas, se construyó una serie de eventos, de forma tal que la cantidad de horas de ocurrencia en el año de estos eventos respetara la frecuencia del clima de olas. Esta secuencia, de cinco años de duración y con eventos cada 3 horas fue ordenada de manera aleatoria.

Al ser el GENESIS un modelo de una línea, una de las variables más importantes a proporcionar es la posición de la línea de costa. Para ello se digitalizaron las líneas de costa de los distintos años a partir de las fotos aéreas disponibles. Las líneas de costa fueron discretizadas en 200 celdas de 50 m cada una, con respecto a una línea de base orientada en dirección Oeste. La zona modelada cubre así una zona de 10.000 metros de extensión. El material de la playa se caracteriza por un diámetro medio de grano (d_{50}) de 0.22 mm situación actual.

Una vez determinada la serie histórica de oleaje a ingresar al modelo e implementado el mismo, se pasó a la etapa de calibración. Para la calibración se consideró como línea de costa inicial la del año 1995 y como línea de costa final la del año 2001. Se eligió este periodo para calibrar porque durante el mismo se construyeron todas las obras de protección de costa existentes en el tramo. La calibración consistió en ajustar los parámetros de transporte de sedimentos hasta reproducir la línea de costa del año 2001 y obtener, aproximadamente, los valores de transporte neto anual de sedimento, que surgen del análisis de relleno de los espigones determinados en estudios previos.

Una vez calibrado el modelo, se procedió a analizar las consecuencias sobre la línea de costa que tendrían distintas alternativas de protección posibles.

RESULTADOS

Resumen del clima de ola

Como se estableció, el clima de olas de la zona de La Floresta es una combinación de olas locales generadas por la acción local del viento y de olas de mar de fondo.

A continuación se presentan los resultados del clima de ola para la zona de La Floresta. La figura 3 muestra los resultados gráficos de la distribución por altura, por dirección y por periodo pico del clima de oleaje en la zona de la Floresta.

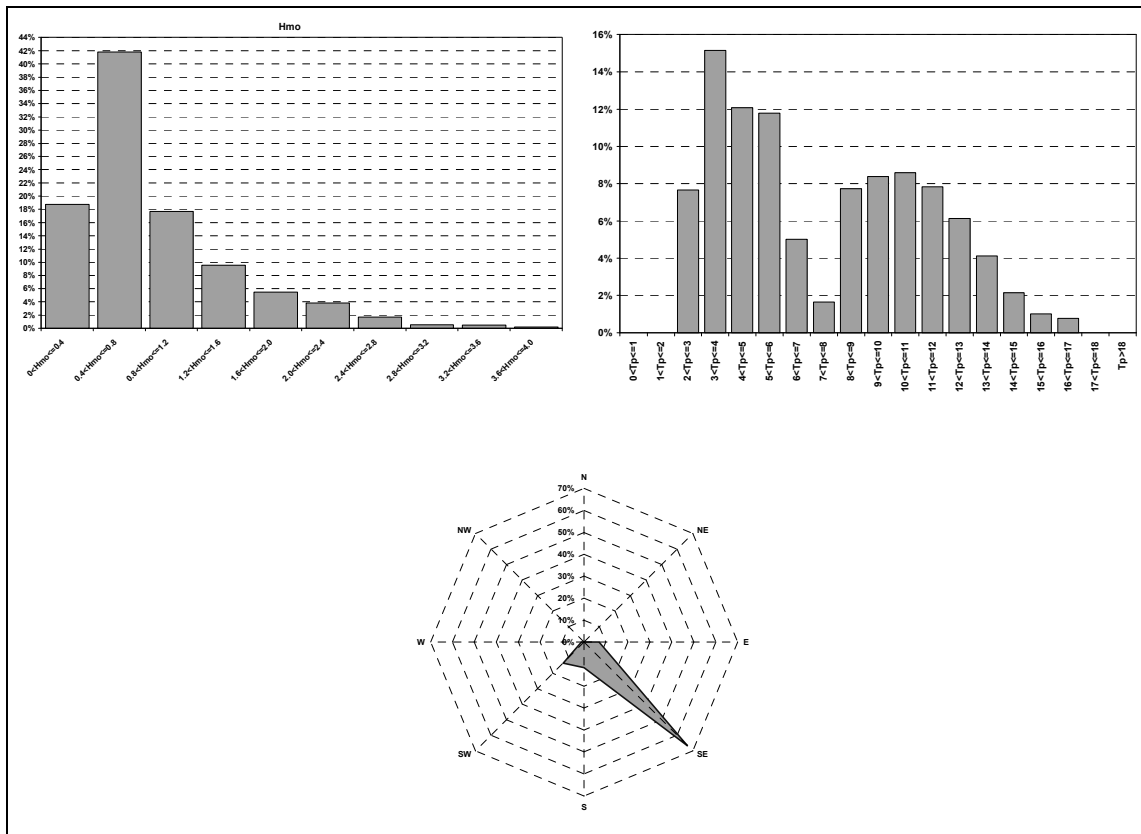


Figura 3.- Distribución del clima de oleaje para la zona de La Floresta por altura de ola, por periodo pico y por dirección

Los resultados muestran que prácticamente el 80% de las olas tiene altura menor a 1.6 m y algo más de la mitad de las alturas de olas en la zona de La Floresta son menores a 0.8 m.

El oleaje proviene prácticamente en su totalidad (92%) del cuadrante formado por las direcciones SW y SE, entre ellas la dirección netamente predominante es la SE.

A su vez, se observa la presencia del oleaje producido por la acción local y del oleaje de mar de fondo. El oleaje producido por la acción del viento local está asociado a un periodo pico de entre 4 y 6 segundos, mientras que al oleaje de mar de fondo está asociado a un periodo pico de entre 8 y 13 segundos. Los resultados indican que los dos tipos de oleaje se presentan prácticamente con la misma frecuencia. Si se considera 8 segundos como el límite de los dos tipos de oleajes, se tiene que el oleaje producido por la acción local del viento se encuentra presente un 53.3 % mientras que el oleaje de mar de fondo lo hace en un 46.7 % del tiempo.

La dirección predominante del oleaje queda de manifiesto con la dirección de la resultante del flujo de energía. En la zona de La Floresta esta dirección forma un ángulo de 116° con la dirección Oeste-Este, como se ilustra en la figura 4.

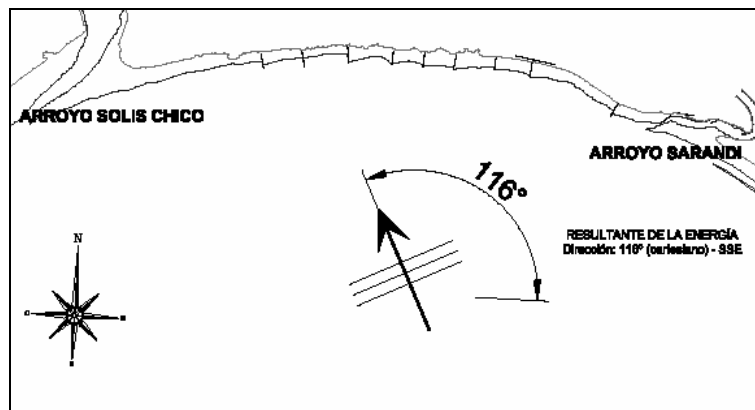


Figura 4.- Dirección de la resultante del flujo de energía dado por el clima de olas

Diagnóstico general del problema

Si se analiza la actual conformación del arco de playa, a la luz de las formulaciones usuales de equilibrio en planta (espiral logarítmica por ejemplo), se obtiene que la misma se encuentra significativamente alejada hacia el lado del mar de la condición de equilibrio estático, tal como se ilustra en la figura 5.

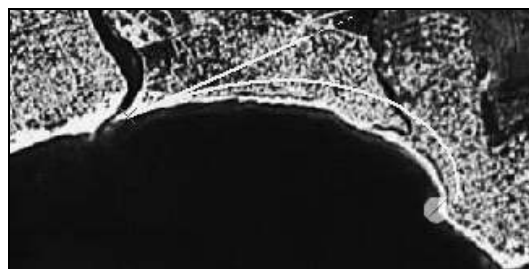


Figura 5.- Línea con la dirección de la resultante del frente del flujo de energía y espiral logarítmica aplicada al arco de playa de La Floresta, obtenida con el Sistema de Modelado Costero¹.

La conclusión de la constatación del párrafo anterior es que, o bien se está en una situación de equilibrio dinámico, o bien ante un proceso de retroceso de la línea de costa. Como resulta evidente por la información existente acerca de los procesos naturales y las intervenciones realizadas en la Floresta, está presente allí, al menos desde hace 50 años, una clara situación de tendencia al retroceso.

La tendencia al retroceso se manifestó inicialmente en la zona Este del balneario, lo que motivara las intervenciones desarrolladas (año 1972: espigones 1, 2 y 3; años 1975 y 1976: muro costero, espigones 4 y 5 y prolongación de los espigones 1, 2 y 3; principios de la década de 1980: espigones 6, 7 y 8). Estas intervenciones (campo de espigones y muro costero) resultaron francamente exitosas en cuanto a la reversión del proceso erosivo en la zona Este, pero, al retener importantes volúmenes de arena en esa zona, desencadenaron o incentivaron el proceso de erosión en la zona central y Oeste, particularmente en la zona de barrancas, donde de acuerdo con los relevamientos topobatemétricos existentes (años 1978 y 2005) se ha registrado un retroceso promedio de 1 m por año, en la zona más crítica.

¹ El Sistema de Modelado Costero (SMC) es un conjunto de herramientas numéricas de distribución gratuita desarrolladas por la Dirección General de Costas del Ministerio de Medio Ambiente de España y la Universidad de Cantabria, con el objetivo de posibilitar un mejor diseño, ejecución y seguimiento de las actuaciones a realizar para la preservación del medio ambiente litoral.

En las figuras 6 y 7 se presenta la ubicación de las líneas de barranca para la zona Oeste y Central respectivamente, a partir de la información recabada de las fotos aéreas de los años 1966 (línea continua con trazo fino), 1976 (línea a trazos con puntos), 1980 (línea a trazos), 1995 (puntos) y 2001 (línea continua con trazo grueso).

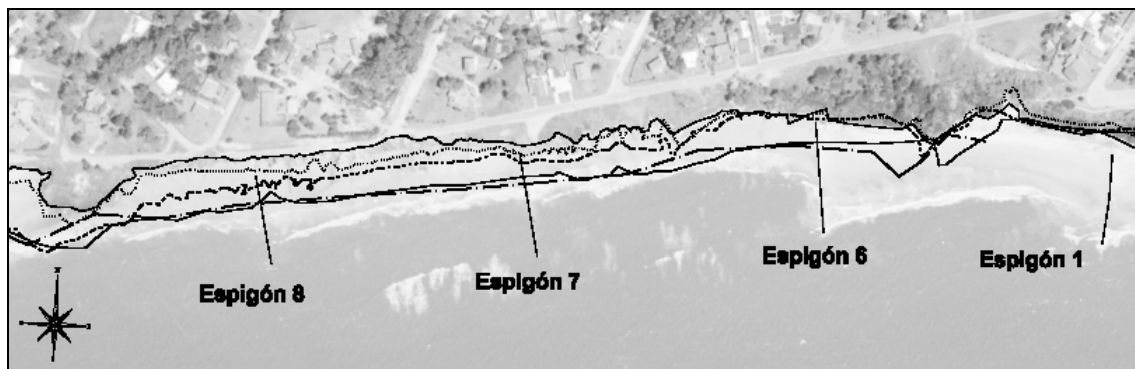


Figura 6.- Posición de la línea de costa en la zona Oeste de La Floresta.

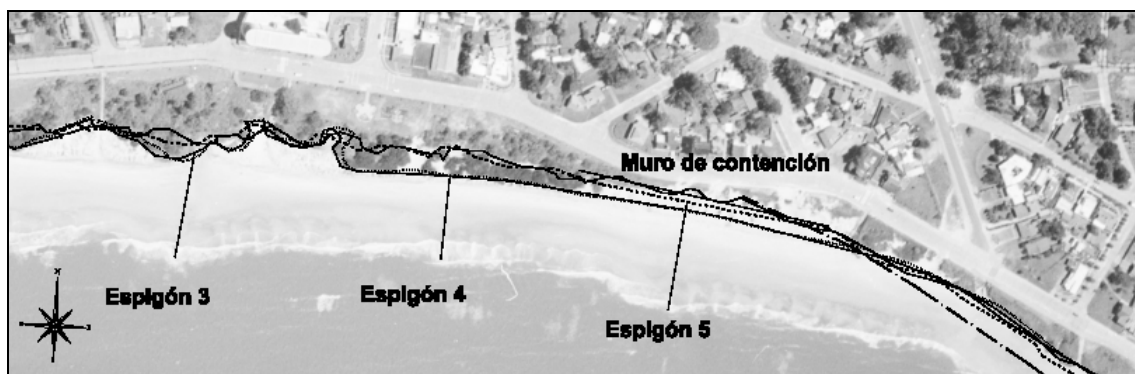


Figura 7.- Posición de la línea de costa en la zona central de La Floresta.

En primer lugar se observa la estabilización que la línea de barrancas ha experimentado, a partir de la construcción de las obras mencionadas, en la zona central del balneario (zona inicial del problema de erosión), e incluso en algunas zonas se observa un avance de aproximadamente 15 metros desde 1966 a 2001.

En la zona Oeste del balneario, en particular entre los espigones 6 y 8, se observa un marcado retroceso. En el periodo 1966-2001 este retroceso era aproximadamente de 35 metros, en promedio aproximadamente 1 metro por año. Este ritmo de retroceso parece incrementarse en la última década, donde en el periodo 1996-2001 se observa un retroceso medio aproximado de 2 metros por año.

Más allá de la constatación de la tendencia general al retroceso del tramo, interesa la determinación de los procesos particulares por los que a corto y mediano plazo ese retroceso se hace efectivo. En ese sentido pueden ser rápidamente identificados tres tipos de fenómenos responsables de la erosión de las barrancas, que sin jerarquizarlos en cuanto a su importancia y responsabilidad, son los siguientes:

1. El flujo superficial concentrado de las aguas pluviales que descargan sobre la barranca en forma directa, especialmente en las zonas de llegada de las calles transversales a la costa.
2. El flujo subsuperficial y subterráneo que descarga en el propio talud de la barranca, lo que unido a la existencia de capas de material granular en ella, propicia la aparición de fenómenos de tubificación (arrastre de material fino) y como consecuencia la desestabilización de bloques de material cohesivo en el propio talud.

3. La acción del oleaje sobre la playa y el pie de la barranca provocando la erosión de ambas y el arrastre del material fino en suspensión.

En la figura 8 se presenta un esquema de los principales factores que intervienen en la erosión y retroceso de la barranca.

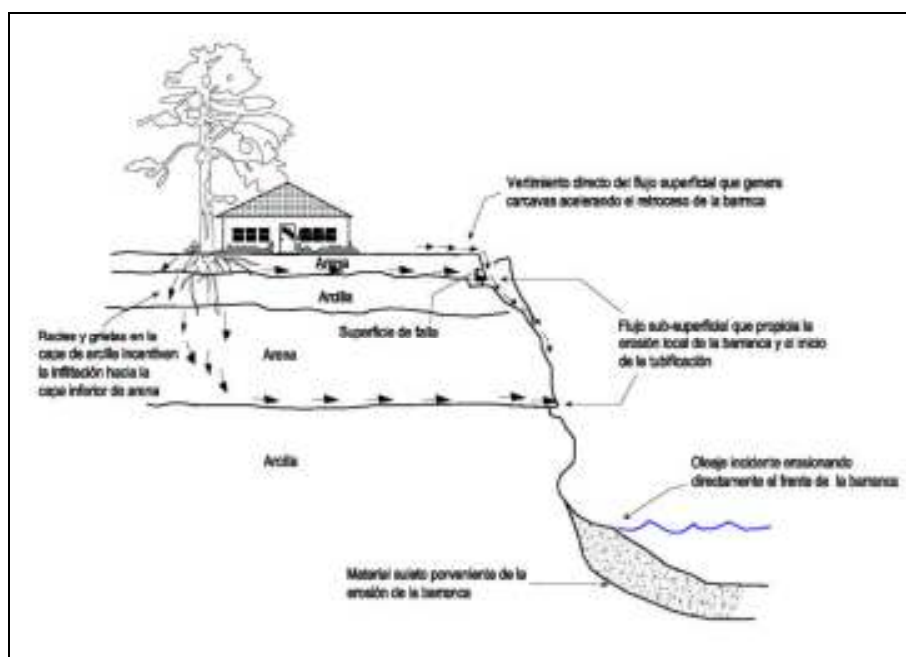


Figura 8.- Causas de la erosión y retroceso de la barranca.

Los dos primeros mecanismos pueden ser agrupados como causas geo-hidrológicas, apareciendo a primera vista incluso como los desencadenantes principales del retroceso de la barranca. Sin embargo en este tipo de costas, conformadas por barrancas de material cohesivo y fuerte pendiente, la causa original del retroceso de la barranca radica en la erosión que las olas provocan tanto en el frente de playa o estrán (zona del perfil de playa comprendida entre el nivel del mar más bajo y el nivel máximo que alcanza la trepada o run-up de las olas) como al pie de la misma barranca. La desestabilización así provocada tiene carácter permanente. Este mecanismo es explicado con gran claridad por Kamphius (Kamphius, 2000), en la forma que se resume a continuación.

El material que conforma el frente de playa es esencialmente del mismo tipo que el que compone la barranca, es decir material cohesivo con alguna presencia de material arenoso. Las olas erosionan este frente de playa de manera casi continua, dándole al perfil transversal una configuración semejante al de un perfil de playa arenoso. En ocasión de tormentas, las olas alcanzan el pie de la barranca erosionándolo también y propiciando el desprendimiento de bloques de la barranca. Esos bloques son a su vez destruidos por la acción del oleaje, poniéndose el material fino en suspensión y siendo la arena arrastrada por la acción de las olas.

De la manera explicitada la barranca retrocede manteniendo básicamente su pendiente abrupta. Es clave para entender este proceso tener en cuenta que la tasa de retroceso de la barranca es controlada por la tasa de descenso del frente de playa. De esta manera todo el perfil de la barranca y del frente de playa, tanto por sobre el nivel medio del mar como por debajo del mismo, permanecen con la misma forma, pero moviéndose en dirección a la costa.

Si el proceso no se desencadenara de esta manera, es decir si el frente de playa no descendiera, propiciando el avance del mar sobre la costa, se tendría una situación en la que el pie de la barranca dejaría de ser alcanzado por el oleaje y la misma llegaría a un estado de equilibrio dinámico,

adquiriendo una pendiente más tendida, determinada por los factores de erosión geo-hidrológicos antes mencionados.

Evidencia del proceso explicitado constituye la situación actual de los espigones, los que además de haber sido separados de la barranca por el retroceso de ésta, han quedado “colgados” sobre el frente de playa, separados del suelo y sostenidos por los pilotes metálicos de fundación, como muestran la figura 9.



Figura 9.- Vista desde el Oeste de los espigones 7 y 8 (izquierda) y descenso de la playa evidenciado en el espigón 7 (derecha)

La comparación de los perfiles transversales que se obtienen de los relevamientos topo-batimétricos de 1978 y 2005, presentados en las figuras 8 y 9, también muestran que el retroceso de la barranca es acompañado por el descenso del frente de playa.

La figura 10 presenta la evolución de los perfiles longitudinales de la playa entre los años 1978 y 2005 para una sección ubicada entre los espigones 7 y 8. En esta figura, en el perfil correspondiente al año 2005 se han omitido los puntos que no fueron relevados.

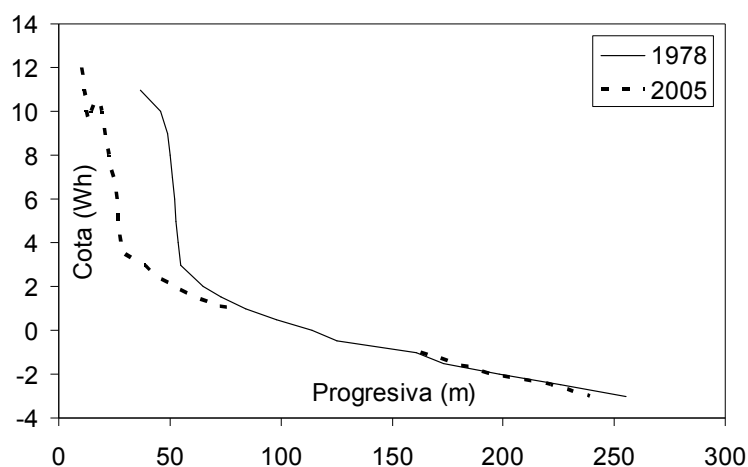


Figura 10.- Perfil transversal de playa ubicado 130 metros al Oeste del espigón 7, correspondiente a los años 1978 y 2005

También de acuerdo con Kamphius, las limitadas cantidades de arena presentes en el perfil de playa en esta zona, propician la erosión del frente de playa al actuar como un elemento abrasivo cuando son movidas por las olas. Esa arena es producto de la desintegración de la propia barranca.

Resultados del modelo de una línea frente a distintas intervenciones

Mediante el modelo GENESIS se estudió la evolución de la línea de costa durante un período de 5 años, en tres escenarios: 1) Sin realizar ningún tipo de intervención. 2) Luego de la construcción de

un dique exento ubicado entre los espigones 7 y 8. 3) Luego de la construcción de un dique exento entre los espigones 7 y 8, complementada con un relleno artificial de playa, tal que produzca el avance de la línea de costa en 40 m.

La figura 11 muestra los resultados obtenidos. Para el caso de la evolución sin intervenciones, se observa que el sector de la zona Oeste (entre los espigones 6 y 8) continúa experimentando un retroceso que en los siguientes 5 años alcanzaría entre 5 y 8 metros. La construcción del dique exento detiene el retroceso en toda la zona entre los espigones 6 y 8, e incluso (de disponer de material en la zona) se produce un avance de la línea de costa que llega a ser de aproximadamente 20 metros. Si la alternativa anterior se complementa con un relleno de playa, el avance de la línea de costa entre los espigones 6 y 8 es de 40 metros, asegurando además la disponibilidad de material en la zona.

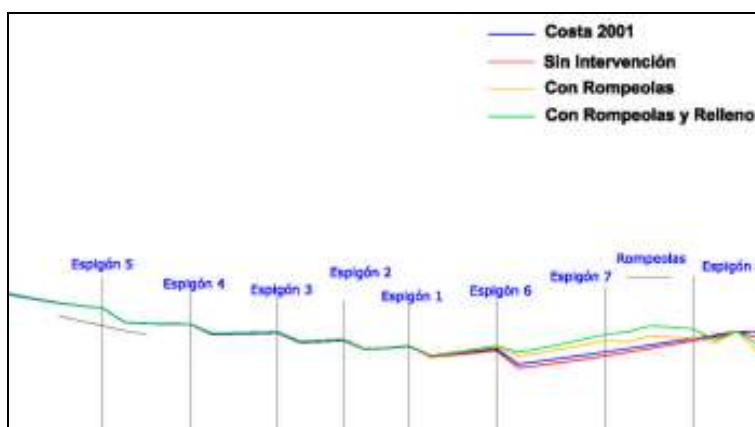


Figura 11.- Simulación con el modelo GENESIS. Posición inicial y final de la línea de costa para la situación sin intervención y con dos intervenciones luego de 5 años.

Otra característica importante es que la saliente arcillosa de (formación Fray Bentos) ubicada 125 metros al Oeste del espigón 8), mitiga el retroceso que tienden a provocar, en la zona al Oeste del espigón 8, las intervenciones propuestas. Con relación a esa saliente debe señalarse que de la comparación de los relevamientos topo-batimétricos de 1978 y 2005, se observa que también ha experimentado un retroceso, es decir, que si bien es un material más consolidado, la acción del oleaje lo está erosionando.

SOLUCIÓN PROPUESTA

La solución buscada en esta instancia tuvo como premisas básicas ser una solución de emergencia, de bajo costo, de duración mediana o corta y con carácter tentativo y experimental. Se eligió por lo tanto la zona más crítica en todo el tramo en retroceso, resultando ser ésta la zona ubicada entre los espigones 7 y 8 (los dos espigones situados en el extremo Oeste de la batería de espigones).

Además de las características explicitadas, la solución a proponer debía ser una solución “blanda”, es decir lo más cercana posible a la reproducción de condiciones naturales de la playa. Esa solución debía tener un potencial impacto ambiental lo más limitado posible y además posibilitar su desmantelamiento posterior fácil y sin consecuencias.

Naturalmente la solución encontrada podrá ser extendida al conjunto del tramo en una segunda e incluso una tercera etapa, una vez puesta en práctica y verificada su efectividad.

La solución propuesta toma como hipótesis básicas las principales conclusiones del diagnóstico antes realizado y los resultados de la modelación de las distintas alternativas de intervención. Considerando que el factor desencadenante del retroceso de la barranca es la acción de las olas

sobre el frente de playa y el pie de la barranca, en un tramo en donde es notoria la falta de material arenoso, se propone reducir este efecto, disminuyendo la energía que descargan las olas sobre esas zonas, mediante la construcción de un dique exento y agregando al sistema una cantidad significativa de arena, mediante la alimentación artificial del tramo elegido.

Estas medidas de defensa de la playa y el pie de la barranca detendrán el descenso del frente de playa y el retroceso del pie de la barranca. La estabilización de la propia barranca en cuanto a su inclinación deberá ser lograda mediante otras medidas complementarias, tendientes a impedir el vertido concentrado de las aguas pluviales sobre ella y eventualmente, a reducir el flujo subsuperficial y subterráneo en el talud. Es decir que si solamente se procede a la defensa del frente de playa y el pie de la barranca, el retroceso de la línea de costa se detendrá, pero no se podrá impedir que el talud se haga más tendido como consecuencia de la erosión provocada por las razones geo-hidrológicas ya señaladas, lo que llevará a que el borde superior de la barranca retroceda respecto a su situación actual.

La solución propuesta, ilustrada en la figura 12, consiste básicamente en:

- La construcción de un dique exento de 100 m de largo, ubicado en posición paralela a la costa, en la zona central del tramo limitado por los espigones 7 y 8, ubicado aproximadamente sobre la batimétrica -0.5 m a 60 m de la línea de costa actual y a unos 120 m del pie de la barranca en su situación actual. Este dique exento será construido mediante la técnica de tubos de geotextil rellenos de arena, estando constituido por cinco geotubos de 20 m de largo cada uno, de 13.5 m de perímetro, alcanzando una altura de 2.5 m, quedando entonces su coronamiento a cota +2.0 m.
- El relleno artificial del tramo de playa comprendido entre los espigones 7 y 8 mediante 12.250 m³ de arena, de granulometría semejante a la existente en el propio tramo.
- La protección mediante enrocado de la saliente de material arcilloso situada al Oeste del espigón 8.

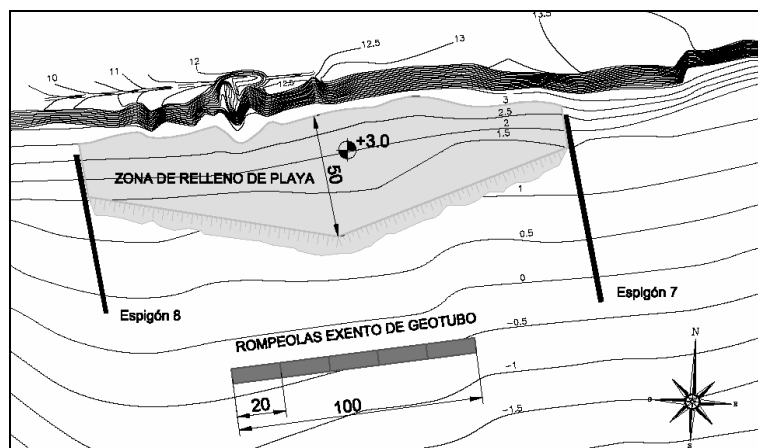
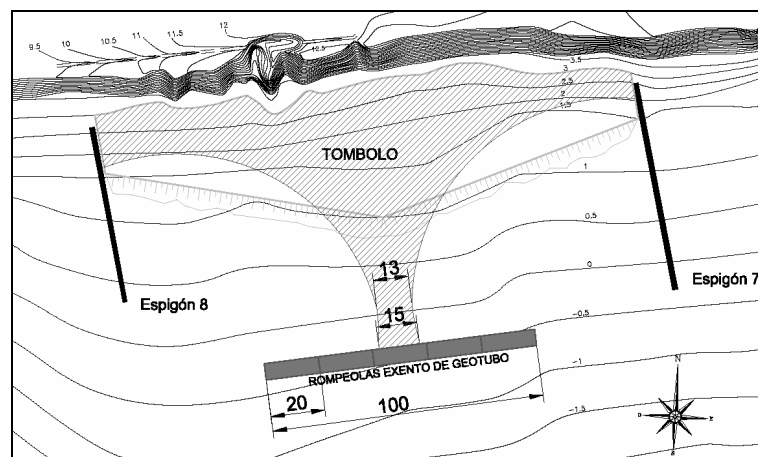


Figura 12.- Ubicación del rompeolas exento y de la zona de relleno de playa

El dique exento propuesto disminuirá significativamente la energía que las olas son actualmente capaces de descargar sobre la playa y el pie de la barranca en el tramo. La disminución de energía dependerá del nivel medio que alcance el mar en el momento considerado, pudiéndose estimar de acuerdo a Dean y Dalrymple (Dean y Dalrymple, 2002) que en condiciones de nivel medio normal y oleaje incidiendo en dirección perpendicular al tramo de costa, esa disminución será del orden del 90 %; para situaciones de tormenta y sobre elevación del nivel medio, por ejemplo hasta la cota +2.5 m puede esperarse una disminución entre el 50% y el 70% y aún en condiciones extremas de nivel medio a cota +3.0 m, esa disminución deberá ser cercana al 50%.

Como consecuencia de la presencia del dique exento las olas se difractan en sus extremos, determinando que por efecto de la dirección que adquieren los frentes de ola y por la diferencia de altura de las olas a lo largo de esos frentes, se genere un patrón de corrientes detrás del dique que provoca una marcada tendencia a la formación de un tómbolo o saliente de arena, desde la costa en dirección al dique.

Naturalmente la formación de la saliente o del tómbolo dependerá de la disponibilidad de arena. Si la disponibilidad de arena fuera ilimitada, en forma teórica la forma del tómbolo o la saliente puede estudiarse con distintas formulaciones empíricas. Por ejemplo si se utiliza la formulación propuesta por Hsu y Evans, se obtiene un tómbolo cuyo ancho en la línea de costa será de 200 m, su ancho contra el dique exento 15 m y su ancho mínimo 13 m, como se ilustra en la figura 13. Por otra parte según otras formulaciones (Gourlay, Toyoshima, y Ahrend and Cox) también se formaría un tómbolo. Según el Shore Protection Manual (US Army Corps of Engineers. 1984) se formaría una saliente, pero muy cercana a alcanzar el dique.



longitud del enrocado alcanza los 150 metros, el que se prevé sea colocado mediante el volcado desde tierra y posterior acomodo de las piezas. El enrocado se construirá con una doble capa de rocas de 750 Kg de peso (diámetro medio aproximado 0.66 m), colocadas sobre dos capas de rocas de aproximadamente 75 Kg de peso (diámetro medio aproximado 0,31 m). Previo a la colocación del enrocado en el actual frente de la saliente se dará a este un talud de 2 horizontal a 1 vertical, mediante el vertido de rocas de todo uno de cantera. Los espesores del manto del enrocado principal y secundario son 1.44 m y 0.61 m respectivamente. El diseño del enrocado se basó en la metodología propuesta por CIRIA (2007) La geometría de la protección del enrocado se presenta en la figura 14.

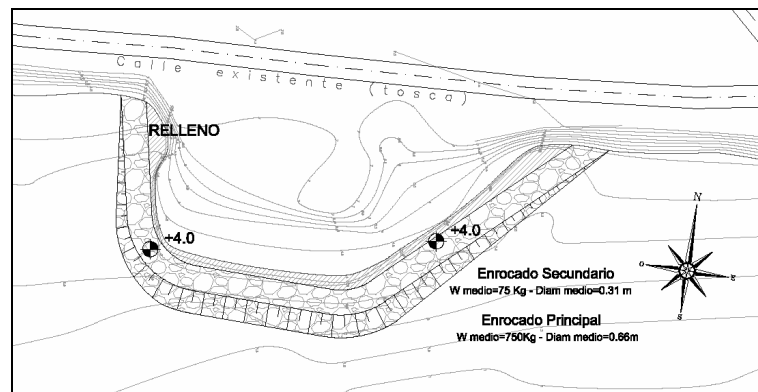


Figura 14.- Protección de enrocado de la saliente de Formación Fray Bentos

Dado el carácter experimental de las medidas propuestas resulta decisivo el control de la evolución de la playa y la barranca, una vez implementadas las mismas. Para ello es imprescindible contar con un plan de monitoreo y seguimiento de la obra. Éste plan permitirá evaluar la efectividad de las obras, la definición de las medidas complementarias para su mejora y la extensión de las mismas al resto del tramo de costa erosionado. El monitoreo consistirá básicamente en el seguimiento topobatemétrico y en el control de la evolución de la granulometría.

En paralelo con la solución que cumpliera con las premisas básicas mencionadas anteriormente y de manera complementaria, se trabajó en una alternativa de solución de carácter estructural o “dura”, consistente en la defensa del pie de la barranca mediante un recubrimiento de enrocado. Esta solución es claramente competitiva, en términos económicos, con la solución “blanda” encontrada, pero presenta como principal desventaja que mantendrá las condiciones de déficit de arena en la playa, sin lograr mejorar las condiciones de la misma desde el punto de vista paisajístico y de su uso recreativo.

CONCLUSIONES

En este artículo se ha presentado la metodología y los resultados obtenidos en el estudio de la zona del balneario La Floresta, situado sobre la costa uruguaya del estuario del Río de la Plata. La problemática de la erosión de la costa en el balneario de La Floresta está asociada a que a mediano y largo plazo, ese arco de playa se encuentra alejado de una hipotética condición de equilibrio.

El retroceso de las barrancas se ha visto acentuado en la zona Oeste, en los últimos 20 años, debido a las intervenciones realizadas en la parte Este y Central del balneario. Estas intervenciones han sido parcialmente exitosas ya que han recuperado la playa e incluso el cordón dunar en esas zonas a partir de la interrupción del transporte litoral de sedimento (que tiene dirección E-W). Como contrapartida ha disminuido sustancialmente el sedimento que llega a la parte Oeste del balneario, produciendo un desequilibrio que se compensa con el retroceso de la barranca. El retroceso permanente de la barranca se asocia directamente al descenso de la playa, el cual expone el pie de la barranca a la acción del oleaje en condiciones de tormentas.

Se ha propuesto una solución de emergencia, de bajo costo, de duración mediana y con carácter tentativo y experimental, y de bajo potencial de impacto ambiental. La solución propuesta toma como hipótesis básicas las principales conclusiones del diagnóstico realizado y los resultados de la modelación de las distintas alternativas de intervención.

El objetivo de la solución propuesta es disminuir significativamente la energía de las olas incidente sobre la playa y el pie de la barranca, generando la difracción del oleaje y provocando una tendencia a la formación de un tómbolo o saliente de arena. A su vez, se proporcionará material para la formación de la playa, mediante la alimentación artificial con arena. Se establecerá así un sistema en una posición de equilibrio, en la cual las olas ya no alcanzarán el pie de la barranca y la arena disponible propiciará la autodefensa del perfil en situaciones de tormenta.

La protección mediante enrocado de la saliente ubicada al Oeste del espigón 8 responde a su papel en la contención de la erosión en la zona al Oeste del espigón 8 y a la constatación de su paulatina socavación por parte de las olas.

Estas medidas de defensa de la playa y el pie de la barranca detendrán el descenso del frente de playa y el retroceso del pie de la barranca. La estabilización de la propia barranca en cuanto a su inclinación deberá ser lograda mediante otras medidas complementarias tendientes a impedir el vertido concentrado de las aguas pluviales sobre ella y eventualmente a reducir el flujo subsuperficial y subterráneo en el talud. Es decir que si solamente se procede a la defensa del frente de playa y el pie de la barranca, el retroceso de la línea de costa se detendrá, pero no se podrá impedir que el talud se haga más tendido como consecuencia de la erosión provocada por las razones geo-hidrológicas ya señaladas, lo que llevará a que el borde superior de la barranca retroceda respecto a su situación actual.

NOTA

Las referencias altimétricas consideradas en este artículo corresponden al denominado “cero Wharton” de empleo usual por los servicios hidrográficos uruguayos.

Referencias Bibliográficas

CIRIA, CUR, CETMEF. *The Rock Manual. The use of rock in hydraulic engineering (2nd edition)*. 2007. C683, CIRIA, London, UK.

Dean, R. G. and Dalrymple R. (2002). *A. Coastal Processes whit Engineering Applications*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Kamphius, J. W. (2000). *Introduction to Coastal Engineering and Management, World Scientific, Advanced Series on Ocean Engineering*. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., London, UK.