

Aplicación del Modelo LIZC (CIOH) para el Estudio de la Dinámica de Playa en un Sector del Golfo de Morrosquillo

SERGUEI A. LONIN¹

RESUMEN

Una de las aplicaciones del Modelo Litodinámico de la Zona Costera (LIZC, versión 2.2, 2001), descrito matemáticamente en otro artículo del presente Boletín, fue el estudio de la dinámica de la playa frente al Centro Recreativo de la Fuerza Aérea en Coveñas (Golfo de Morrosquillo). Sistemáticamente, durante varios años, la playa de toda esta zona ha sufrido efectos erosivos. Actualmente, la abrasión de la costa es pronunciada, amenazando las construcciones pertenecientes a la Fuerza Aérea. Por tal motivo, buscando una obra de protección de la playa, con base en el modelo que dispone el CIOH, fueron realizadas las simulaciones hidro y litodinámicas que ayudaron a comprender las causas directas e indirectas de la abrasión, al igual que a proponer una obra eficiente.

ABSTRACT

One of the applications of the lityodynamic model LIZC (CIOH, version 2.2), mathematically described in another article of the present Bulletin, was the beach dynamics study in front of the Air Force' Recreational Centre at Coveñas (Golfo de Morrosquillo). Systematically, during various years, the beaches of this zone have been suffering erosion. Actually, the coastal abrasion is pronounced, and threatens the coastal constructions. For this reason,

looking for protection, and based on the available model, hidro and lityodynamical simulations have been performed, giving an understanding of direct and indirect causes of coastal abrasion and helping to propose an efficient solution alternative.

INTRODUCCIÓN

El problema de la erosión costera, (el retroceso de las playas y las líneas de costa) es un fenómeno que aparentemente se ha venido generalizando en la costa del Caribe colombiano. La línea de costa del Golfo de Morrosquillo es una de ellas y ha tenido como resultado el daño de la estructura de recreación sobre la playa frente al Club de la Fuerza Aérea, motivo del presente estudio.

El Golfo de Morrosquillo es una de las unidades morfológicas más grandes del Caribe colombiano que ha sido afectada drásticamente por procesos de erosión debidos principalmente al cambio de la desembocadura del río Sinú que desde hace varias décadas ha dejado sin aportes de arena a las playas internas en el golfo, desarrollando un enorme delta en la parte sur cerca de Isla Fuerte. Los grandes cambios de esos años tuvieron repercusión en todo el proceso costero de la región, que será objeto de análisis, así como los demás procesos de la deriva costera del sector.

¹ Ing. Oceanólogo, Ph.D., Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas, E-mail: slonin@cioh.org.co

Con el objetivo de estudiar la dinámica del sector del Club de la Fuerza Aérea en Coveñas, establecer las causas de la erosión producida en el sector y evaluar las alternativas de solución del problema de protección de la costa, fue aplicado un modelo de Litodinámica, desarrollado en el CIOH (1999-2001). El modelo se llama LIZC (Litodinámica de la Zona Costera), versión 2.2 y es presentado en detalle en otro artículo del presente Boletín.

Este artículo presenta la metodología, evaluada para los ensayos con el modelo, y muestra el estado dinámico actual del sistema hidro-sedimentológico, estableciendo las causas del fenómeno de erosión desde el punto de vista de la escala cercana. Luego se evalúan las alternativas de solución del problema, basadas en obras de construcción, sin las cuales no se observa un remedio adecuado para esta zona.

METODOLOGÍA

El presente estudio parte de la selección del dominio de interés práctico y del dominio que se requiere para el cálculo. La Figura 1 presenta la región general del estudio. El sector de interés está en una escala incomparablemente menor, teniendo una extensión de 500-2000 metros.

Sin embargo, para el cálculo de los parámetros de oleaje hay que tener en cuenta lo siguiente:

- No se conoce el régimen de olas, ni sus características en el sector de interés (indicado con la cifra 2 en la Figura 1) en forma suficiente para usar esta información en un modelo.
- El sector de interés, al igual que todo el Golfo de Morrosquillo posee condiciones de aguas someras en la mayoría de los patrones típicos de oleaje; es decir, para las profundidades típicas H , la relación entre este valor y la longitud de ola λ , H/λ no es mayor de 0.5 para clasificar las olas como cortas, o las aguas como profundas. Por otro lado, $H/\lambda < 0.1$, indica que las aguas son someras.

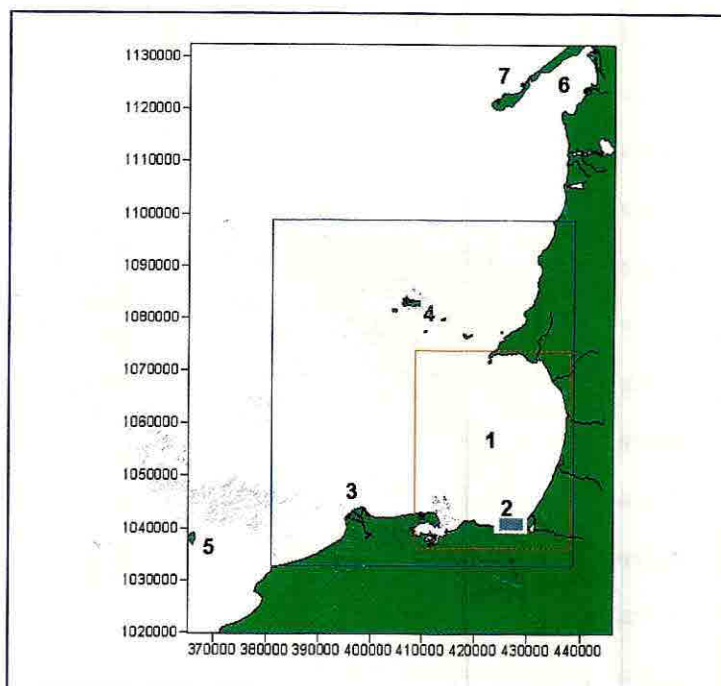


Fig. 1 Ubicación general del área de estudio (2) dentro del Golfo de Morrosquillo (1). En rectángulo azul está el dominio de gran escala, en el rojo está el dominio intermedio para el modelo de oleaje. Las demás cifras en el dibujo significan: 3 - desembocadura del río Sinú; 4 - Archipiélago de San Bernardo; 5 - Isla Fuerte; 6 - Bahía de Barbacoas; 7 - Isla Barú.

- Solo en las aguas profundas se puede especificar una climatología de olas sin particularidades, relacionadas con los detalles del relieve del fondo y solo para esta agua usualmente se encuentra esta información.
- Las islas del Archipiélago de San Bernardo con el Bajo de su alrededor (Figura 2) se consideran como una barrera potencial, donde la ola se transforma drásticamente, llegando al sector de interés con las propiedades alteradas (ver Figura 3).

Todas estas observaciones hacen parte del proceso de selección del dominio lejano, el cual finalmente fue seleccionado dentro del rectángulo azul que se demuestra en la Figura 1. En el norte el área llega hasta la Punta Comisario, las coordenadas UTM de las fronteras son las siguientes: $X_{\min} = 380987$ m; $X_{\max} = 437627$ m; $Y_{\min} = 1032300$ m; $Y_{\max} = 1098540$ m.

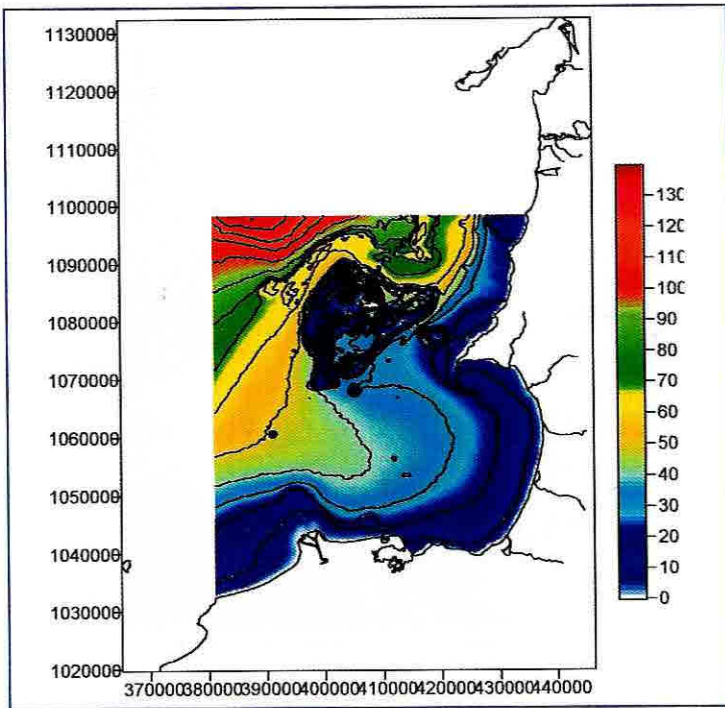


Fig. 2 Batimetría de la zona lejana de cálculo de oleaje. Las profundidades están en metros. Paso de malla es de 250 m.

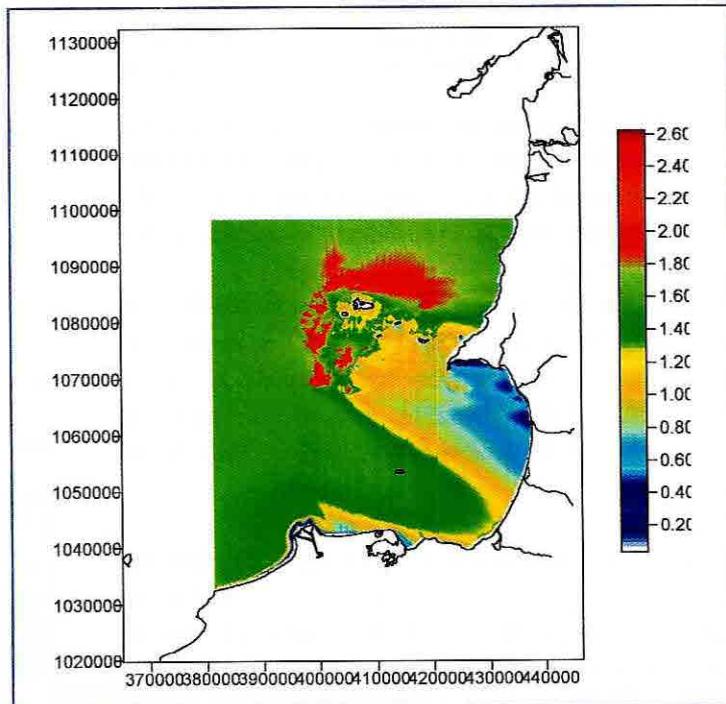


Fig. 3 Altura de la ola (en metros) para la zona lejana bajo las siguientes condiciones en la frontera: altura = 1.5 m; período = 6 seg., ángulo = 330° (WNW). Resolución angular = 12°.

La distancia entre nodos de la malla para esta área lejana es de 250 metros en ambas direcciones (249.515 m por el eje X y 249.962 m por el eje Y), produciendo una malla de $M = 228$ por $N = 266$ nodos de cálculo.

La batimetría de la zona lejana fue tomada de la carta náutica COL 410 (CIOH) y se presenta en la Figura 2, en donde se observa que las profundidades mayores llegan hasta más de 130 metros en la parte noroeste del dominio, mientras que disminuyen drásticamente hasta profundidades someras hacia el sur a lo largo de la frontera oeste. Para una ola típica de 70 metros de longitud en la frontera abierta, condición de aguas profundas acaba con una profundidad de 35 metros, mientras que la condición de aguas someras empieza en una profundidad de 7 metros.

Esto significa que para todos los ángulos prácticos de incidencia de oleaje en la frontera abierta (generalmente es el sector de NW), no se espera una transformación de oleaje justamente en la frontera, que pueda afectar el resultado dentro del sector de interés del presente estudio.

Sin embargo, mediante el procedimiento de mallas anidadas, difícilmente se puede esperar que la malla anidada pueda bajar la resolución desde 250 metros del dominio lejano hasta unos 10-20 metros de la resolución necesaria (espesor de la obra). Por tanto, fue necesario aplicar una malla intermedia en un dominio marcado con el rectángulo rojo en la Figura 1. El dominio se encuentra dentro de los límites: $X_{\min} = 407915$ m; $X_{\max} = 437605$ m; $Y_{\min} = 1039540$ m; $Y_{\max} = 1073380$ m con una resolución de 100 m. (99.9663 m por 100.118 m) y la cantidad de los nodos de cálculo $M = 298$ por $N = 339$.

La Figura 4 muestra el dominio cercano, establecido entre los espolones 1 y 8, mientras que el sector a proteger dentro de este dominio se ubica entre los espolones 4 y 6. En el sector se observa un kiosco afectado que se encuentra en la orilla.

La Figura 5 muestra la batimetría construida con base en datos del levantamiento batimétrico del CIOH en una malla curvilínea ortogonal, aplicada para el área cercana. La presente malla cuenta con $M = 172$ por $N = 65$ nodos de cálculo, la longitud del área es de 1.500 metros a lo largo de la costa por 500 metros, aproximadamente, en el otro sentido. Las profundidades alcanzan hasta 6-7 metros; la longitud de espolones presentes (según los datos digitales) varía entre 20 y 37 metros, mientras que su ancho aparente es de 8 metros aproximadamente. La distancia entre nodos de la malla curvilínea es de 6-8 metros en promedio. La separación de ortogonalidad de la misma es de 0.5° en promedio, lo que se considera como un valor aceptable.

ANÁLISIS DE LA DINÁMICA ACTUAL

En relación con los datos climatológicos para el presente estudio, una parte de la información utilizada provino de los datos satelitales de la NOAA y otra información adicional se encontró en un Atlas digital (Wind and Wave Climate, CD-ROM Versión 1.0), de I. Young y H. Holland (Pergamon Press). Además de esta información, existe un valioso estudio de Lorin et al, (1973) sobre la protección de las playas de Tolú. Este informe contiene un análisis general de todos los aspectos dinámicos importantes del Golfo de Morrosquillo que se tuvo como patrón de referencia.

En este capítulo fueron realizados dos tipos de experimentos numéricos con el modelo basados en el conocimiento general sobre el comportamiento de las olas en este sector del mar Caribe. Considerando

	Altura (m)	Período (s)	Dirección (gr.)
Experimento I	1.5	6.0	330 (WNW)
Experimento II	1.5	6.0	300 (NNW)

Tabla 1 Parámetros de aguas profundas para los patrones de oleaje en los experimentos con el modelo.

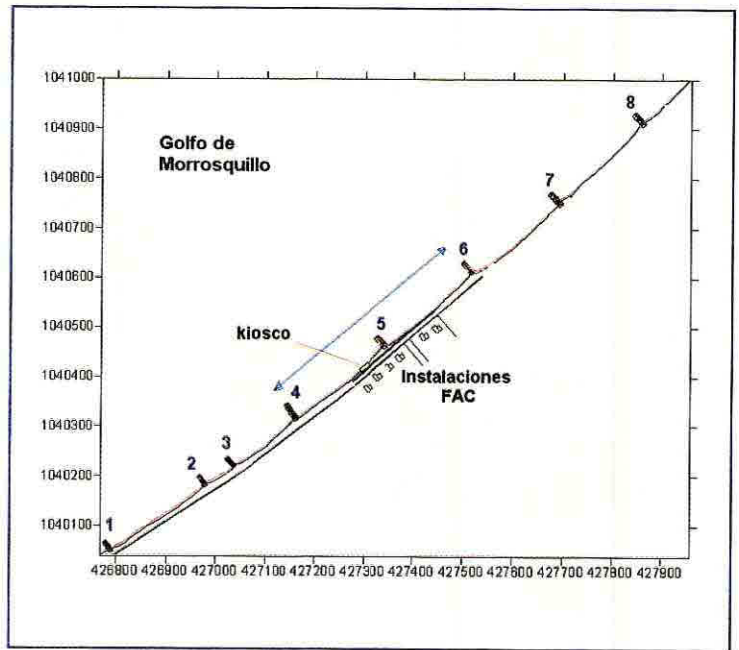


Fig. 4 La zona del estudio de la Fuerza Aérea. El dominio cercano se establece entre los espolones 1 y 8. El sector de protección está marcado con la flecha azul (entre los espolones 4 y 6).

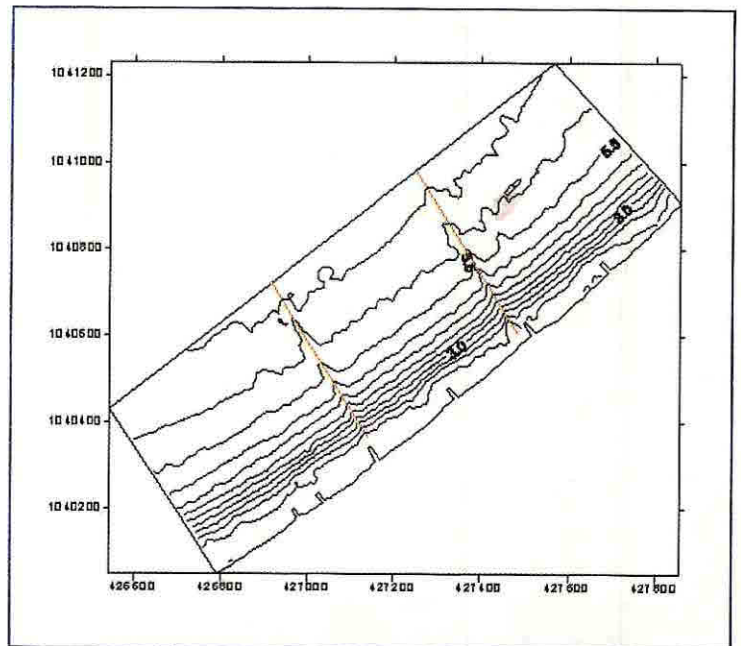


Fig. 5 Batimetría de la zona de interés. Las profundidades están en metros. Paso de malla es de 6-8 m (malla curvilínea). Las líneas rojas presentan las crestas del material depositado según la dinámica mostrada posteriormente.

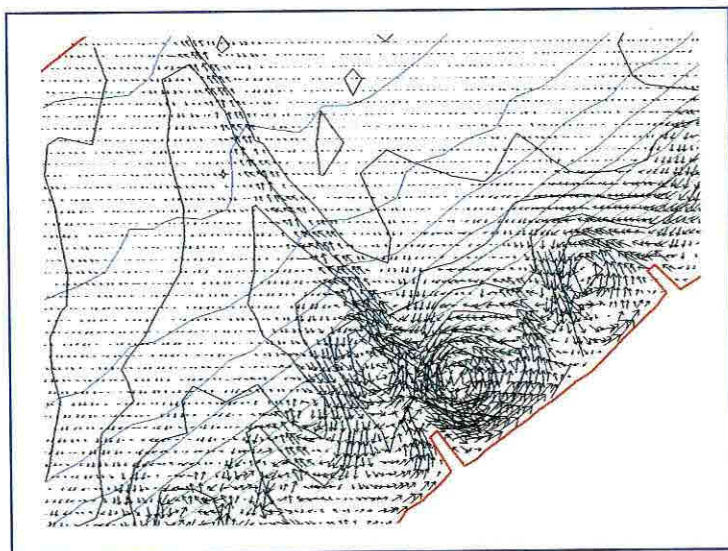


Fig. 6 Corriente de corte frente al espolón #4 (ver Figura 4), bajo el oleaje oceánico de NNW.

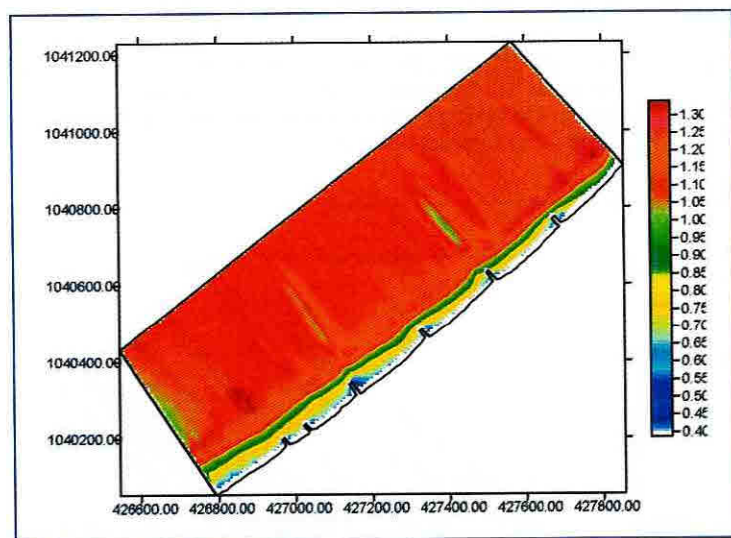


Fig. 7 Altura de la ola (en metros) para la zona de interés bajo las condiciones de la Figura 3. Resolución angular = 6° .

los posibles ángulos de propagación de la ola en el sector de interés, fueron escogidos los dos siguientes escenarios, mostrados en la Tabla 1.

Como se verá mas adelante, uno de ellos corresponde a la deriva litoral desde la desembocadura del río Sinú, o más bien, en el sentido desde el oeste al este, mientras que el otro es el de la interrupción de dicha deriva con el patrón predominante de las olas

en el transporte de los sedimentos. De todas maneras, en este estudio se consideran sólo las corrientes generadas por oleaje, debido a que los demás factores hidrodinámicos juegan un papel de menor importancia tanto por su energía, como por el interés del presente estudio.

Las condiciones de la Tabla 1, fueron prácticamente recopiladas del trabajo de Lorin et al, (1973), así como los datos sedimentológicos. Como se menciona en este trabajo, el sector del interés presenta una arena fina - muy fina. El diámetro D_{50} se tomó como igual a 0.1 mm, el de $D_{90} = 0.2$ mm; la densidad del sedimento se estimó igual a 2650 kg/m^3 y su porosidad = 0.4. El parámetro de rugosidad de fondo se consideró de 5 cm, igual que el tamaño característico de los "riples". Las estructuras presentes (los espolones) se consideraron como obras sólidas "no erosionables".

El cálculo se empezó en la escala grande (ver Figura 1), pasando a través de la escala intermedia y, finalmente, aplicando el modelo acoplado en la cadena "SWAN-LITO-SWAN-..." para el área de interés, marcada con la cifra 2 en la Figura 1.

La Figura 3 muestra la altura de ola para el Experimento I de la Tabla 1. Se observa una gran influencia del relieve en el archipiélago de San Bernardo para todo el Golfo. Las Figuras 6-8 muestran el resultado del empleo de la malla de nido en la zona de interés graficando la dinámica de olas y corrientes generadas por oleaje. En particular, en estas figuras se observa que en la altura la incidencia casi normal de la ola, se manifiestan detalles del relieve del fondo (ver Figura 7), tales como los bajos en forma de dos crestas, iniciadas en los espolones 4 y 6 (ver Figura 5), las que juegan un papel importante en la dinámica y son productos de los mismos espolones mencionados.

En particular, la función de corriente en este experimento, presentada en la Figura 6, de muestra el carácter de la circulación bajo condiciones de oleaje casi normal a la costa. Se observa una dinámica fuerte en forma de remolinos frente al espolón 4 (lo mismo

fue observado frente del espolón 6). La Figura 6 indica lo siguiente:

- La distancia entre los espolones (4 y 5 en este caso) es suficientemente grande para que en el espacio entre ellos puedan caber dos remolinos girando en el mismo sentido.
- El espolón 4 está generando una vorticidad y una corriente de corte ("rip current") que proviene desde la costa hacia el mar.
- La posición de la corriente de corte corresponde a una de las "crestas" mencionadas anteriormente en la batimetría, es decir que la corriente está transportando el material sólido y depositándolo a largo de esta línea.

De la práctica (van Rijn, 1993) se sabe, que si la distancia entre dos espolones es enorme (supera un límite), el mismo espolón puede generar efectos negativos tales como la aparición de las corrientes de corte. Este es el caso bajo el patrón de oleaje especificado. Por ejemplo, la distancia entre los espolones 4 y 5 es de 231 m, mientras que la de los espolones 5 y 6 es de 221 m; la longitud de dichos espolones es de 28 m en promedio.

La Figura 8 muestra la dinámica inducida por las olas (en términos de función de corriente y el campo de corrientes), correspondientes a las condiciones del Experimento II. Se observa lo siguiente:

- Las olas más "inclinadas", con una componente del oeste, generan una deriva litoral en el sentido del oeste hacia el este, transportando el material desde el río Sinú como una fuente potencial para el caso.
- La deriva está alterada por los espolones presentes que producen una disminución notable del flujo en la costa donde los espolones están ubicados más cerca entre sí (entre los espolones 2-3 y 3-4), mientras que para los demás espacios entre espolones el flujo es relativamente fuerte.
- De todas maneras, este escenario presenta el caso de alimentación de las playas del sector del interés (bajo una u otra eficiencia del "trabajo" de los espolones, deteniendo el material proveniente del río).

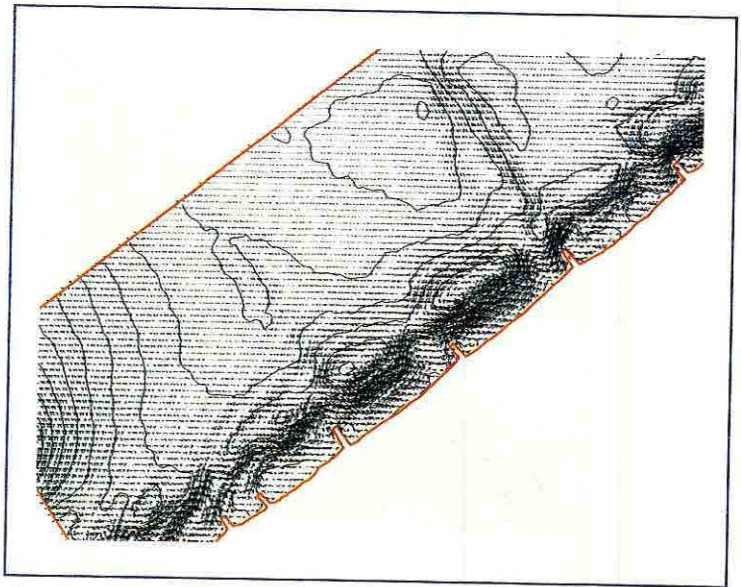


Fig. 8 Detalles de las corrientes inducidas por olas entre los espolones 2 y 7 bajo las condiciones de la Figura 3. Se observa la deriva litoral en el sentido conocido (Lorin et al, 1973).

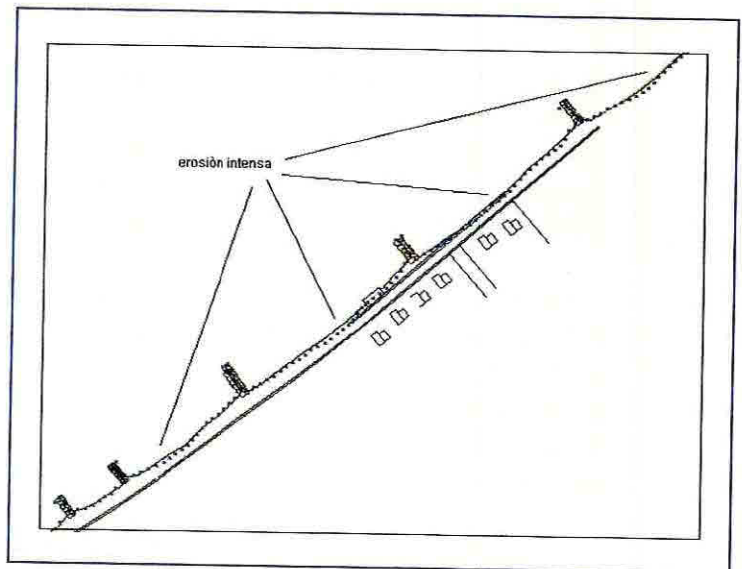


Fig. 9 Abrasión pronosticada de la playa (puntos azules) con respecto a la posición actual de la línea de costa.

Sin embargo, se conoce que el aporte de los sólidos del río actualmente es muy escaso, probablemente solo las partículas finas alimentan las playas del sector y por ello su importancia es baja (Lorin et al., 1973). Se podría asumir que, de todas formas, la deriva en este sentido es favorable para las playas

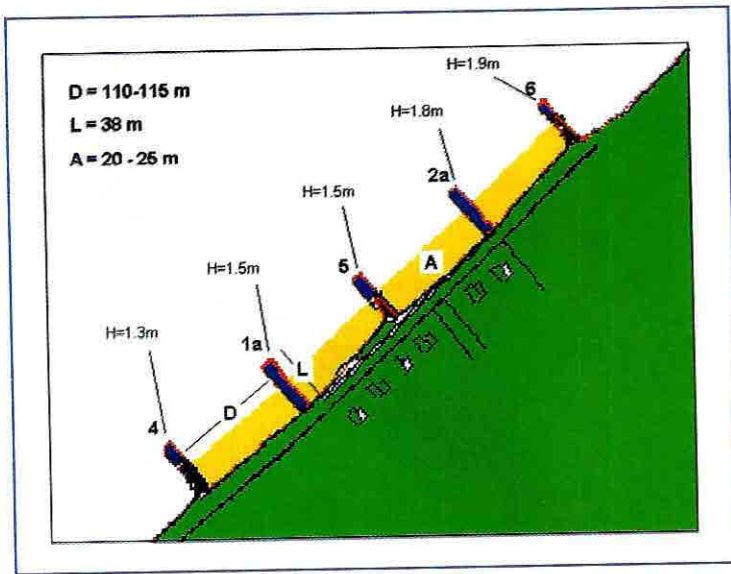


Fig. 10 Alternativa I en detalles. Convenciones: A - longitud de relleno desde la costa; L - longitud de espolones; D - distancia entre ellos; H - profundidad en el extremo de cada espolón reconstruido; 1a y 2a - espolones nuevos (adicionales).

del sector y para su estabilización hay que evitar la influencia de otras condiciones, tales como las mostradas en el Experimento I, corrigiendo las estructuras presentes. Estas medidas podrían disminuir el déficit de los sedimentos al máximo posible.

La Figura 9, resume el proceso de evolución actual de la playa en el sector. Son resultados de un pronóstico (cálculo de 100 días adelante) bajo condiciones fijas, correspondientes a cada experimento. En ella se observa que la abrasión de la costa tiene lugar actualmente en ambos tipos del patrón de olas.

ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS

En la zona protegida del Club, la relación de la distancia entre los espolones y su longitud es de 230 m sobre 28 m, es decir, mayor de 8 en promedio, mientras que se sabe que esta relación debe mantenerse entre 1.5 y 3 para evitar la aparición de corrientes de corte y por ello la erosión excesiva entre espolones (van Rijn, 1993; Shore Protection

Manual, 1984). Entonces, el incumplimiento de esta regla empírica y práctica de la ingeniería, no detuvo la erosión costera y por eso, la solución del problema debe tener en cuenta los siguientes factores:

1. El área ya cuenta con algunas obras de protección (espolones), pero hasta el momento no son eficientes. Su modificación debe hacerse en forma que se aproveche lo ya existente (por economía).
2. Al tener esta playa un propósito recreativo, la vista agradable es primordial y por eso una mínima construcción es deseable. Además, algunos tipos de obras como enrocado de la costa no se pueden recomendar por esta misma razón.
3. La presencia de espolones no permite "arreglar" el problema con obras del tipo rompeolas u otras estructuras no conectadas con los espolones presentes, debido a la posibilidad de generación de corrientes fuertes entre las estructuras.
4. La regla de ingeniería mencionada de proporción entre la longitud y la distancia entre los espolones tiene que cumplirse.

Basándose en estas consideraciones, se pueden ver las siguientes alternativas en desarrollo:

1. Ubicar mayor cantidad de espolones entre los existentes, precisamente entre los espolones 4 y 6, ya que fuera de este sector, la protección de la playa no es el propósito de este estudio y las conclusiones del mismo no resultan ser nocivas para los alrededores.
2. Aumentar la longitud de los espolones 4, 5 y 6 para lograr la relación mencionada.
3. Combinar los casos 1 y 2, dependiendo de la geometría del área.
4. Colocar miembros laterales, haciendo los espolones 4, 5 y 6 en forma de una "T".
5. El área de estudio requiere una recuperación en forma de relleno obligatorio, lo que significa que será necesario prolongar los espolones (el relleno usualmente se efectúa con espolones relativamente largos).

Finalmente, en calidad de candidatas, fueron escogidas las siguientes dos alternativas, esquemáticamente mostradas en las Figuras 10 y 11:

Alternativa I:

- Prolongar el espolón 4 unos 8 m. hacia el mar;
- Prolongar el espolón 5 unos 10 m;
- Prolongar el espolón 6 unos 8 m;
- Construir dos nuevos espolones (indicados en la Figura 10 con "1a" y "2a" de 38 m. de longitud de cada uno.
- Rellenar el espacio entre los espolones con arena gruesa hasta una distancia de 20-25 m. desde la línea de costa.

Realizando esta obra se logra alcanzar una longitud de los espolones mencionados en 38m, lo que con una distancia de 110-115m entre cada espolón (teniendo en cuenta los nuevos) mantiene la regla aproximada de 1 a 3 entre la longitud y la distancia entre espolones. Las profundidades en los extremos de cada espolón se muestran también en la Figura 10 y se encuentran entre 1.3 y 1.9 m.

El relleno artificial es una obra obligatoria que permite recuperar y estabilizar la nueva playa. La longitud total de la obra nueva cuenta con dos espolones de 38 m. de longitud, 2 tramos de 8 m. para los espolones 4 y 6 y un tramo de 10 m. para el espolón 5, es decir, la longitud de construcción total de espolones será de 102 m.

Alternativa II:

- No construir más espolones, sino modificar los existentes en forma de la "T".
- La Figura 11 muestra los parámetros de esta obra, teniendo en cuenta la regla de control (1:3), la que para las distancias de 221-231m entre los espolones significa que el miembro transversal (el "palo" de la T paralelo a la costa) por cada lado de cada espolón debe ser de 70m de longitud; la distancia abierta entre los miembros transversales resulta ser de unos 90 m.
- Un relleno artificial de 20-25 m, semejante al de la Alternativa I.

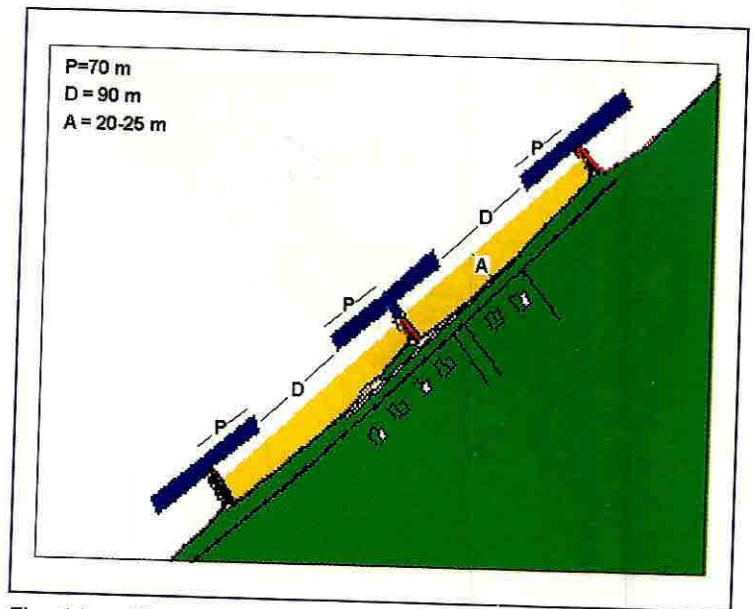


Fig. 11 Alternativa II en detalles. Convenciones: A - longitud de relleno desde la costa; D - distancia entre los palos de espolones; P - longitud de palos a cada lado.

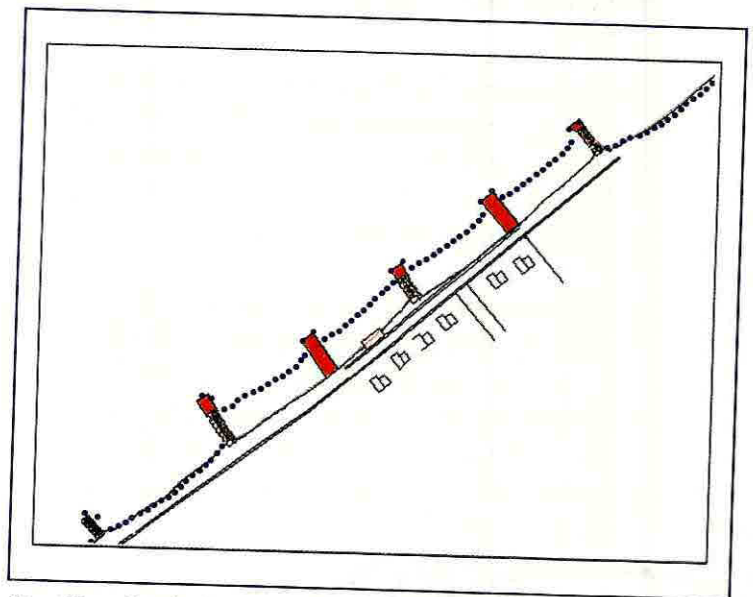


Fig. 12 Cambio de la línea de la costa en el pronóstico para la Alternativa I con relleno artificial. La línea de costa para 100 días de cálculo se presenta con puntos azules.

La longitud total de esta obra sería de 6 miembros transversales de 70m más 8m del espesor de cada espolón, lo que da:

$$((2 \times 70) + 8) \times 3 = 444 \text{m de la obra aparente.}$$

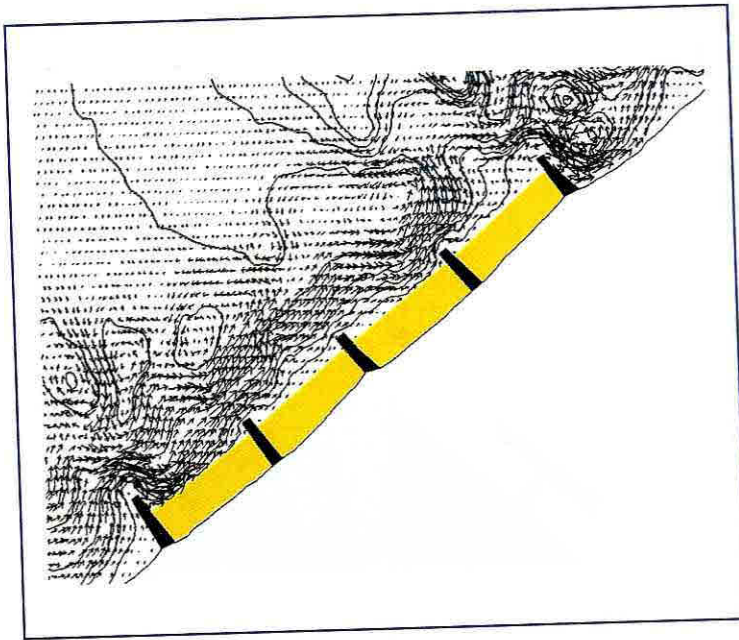


Fig. 13 Campo de corrientes en la Alternativa I con el relleno artificial. El área en amarillo muestra la zona de relleno.

Efectivamente, la Alternativa II será 4.3 veces más costosa en comparación con la Alternativa I. Además teniendo en cuenta que la construcción de los "palos" de cada espolón en T hay que efectuarla en profundidades mayores a 1 metro.

Adicionando a todo esto la pérdida del atractivo visual (la vista estética de la playa), la Alternativa II no fue simulada, aunque es posible que hidráulicamente sea de mayor eficiencia. Las Figuras 12 y 13 muestran los resultados del cálculo para la primera alternativa bajo distintos patrones de oleaje (Experimentos I y II).

Según la Figura 13, el relleno evitará la aparición de remolinos en el flujo, el transporte será más regular y los extremos de los espolones frenarán el flujo de arena.

CONCLUSIONES

1. La deriva litoral desde el río Sinú no tiene suficiente aporte de sólidos para alimentar las playas del sector

de estudio, por lo tanto, hay un déficit de sedimentos (arena) en el área.

2. La influencia de olas directas, orientadas de manera perpendicular a la costa, generan un proceso erosivo y su ocurrencia en el clima de olas representa un factor negativo desde el punto de vista de la estabilidad costera del área del Club.

3. Los espolones existentes en el sector de estudio no están contruidos según los estándares de ingeniería (ver Shore Protection Manual, 1984); el espacio entre los espolones supera su longitud en más de 8 veces, mientras que este valor no tiene que superar 1.5-3 veces.

4. Los espolones 4 y 6 (ver Figura 4), por ser tan espaciados, están generando corrientes de corte, llevando el material sólido (la arena) desde la costa hacia el mar.

5. Se requiere una protección adicional, considerando el hecho de la existencia de las estructuras, el factor económico, la vista estética de las playas y sin producir cualquier daño adicional a los alrededores. Las recomendaciones del presente trabajo muestran la alternativa propuesta.

Se recomienda prolongar los espolones existentes, construir dos nuevos, cumplir las reglas empíricas de ingeniería y rellenar el espacio entre ellos hasta una distancia de 20-25 metros desde la línea de costa.

Haciendo esta obra se logra alcanzar la longitud de 38m en los espolones mencionados, lo que para una distancia de 110-115m entre cada espolón (teniendo en cuenta los nuevos) se va a mantener la regla aproximada de 1 a 3 entre la longitud y distancia entre espolones.

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos al Dr. Carlos Alberto Andrade por su valioso apoyo en discusión

y el desarrollo del tema.

BIBLIOGRAFÍA

- Lorin, J., Leclerc, J.P., Antoine Ph., Bottagisio, J. Estudio del régimen del Golfo de Morrosquillo. Protección de playas en Tolú. Informe General, Ingeominas, 1973.
- Rijn, L.C. van. Principles of Coastal Morfology. Aqua Publ., 1993.
- Shore protection manual. Volume I and II, Coastal Engineering Research Center, Dep. Of Army, Waterway Exp. Station, Vicksburg, Mississippi, USA, 1984.

