

Bol. Cient. CIOH	Cartagena de Indias (Colombia)	No. 13	Enero 1993	Pág. 03 - 18	ISSN 0120 0542
---------------------	-----------------------------------	--------	---------------	--------------	----------------

ANALISIS DE INGENIERIA PARA PROTECCION DE COSTAS CASO DE ESTUDIO: DEFENSA DEL LITORAL EN EL APOSTADERO NAVAL DE TURBO

Por:

CF. Jorge E. Urbano Rosas



Capitan de Fragata
Oceanógrafo Físico
Director CIOH



RESUMEN

El presente documento relaciona las actividades que son necesarias considerar en el planeamiento, diseño y desarrollo de obras de ingeniería costera, orientadas a la protección del litoral. Cualquier tipo de obra de defensa o protección de playas, debe cumplir con un flujograma de actividades básico, en una etapa inicial de los estudios; este estudio es aplicado al caso específico del sector marino, del Apostadero Naval de Turbo y Capitanía de Puerto, con el fin de contrarrestar la alta actividad erosiva en el área mencionada. La importancia del estudio radica en el empleo de dos métodos diferentes durante la etapa de evaluación del área; el primero de ellos, aplicando la percepción remota y el segundo mediante el uso de equipos clásicos (correntómetros, boyas, etc.).

ABSTRACT

This document relates the activities weeded to be considered in the planning, design and development of coastal engineering proyects for the protection of the coast. Any type of protective construction should follow a basic activity flux diagram in the initial studies phase. This study applies to the marine sector of the Apostadero Naval de Turbo and the Capitanía de Puerto, with the purpose of protecting the high erosive action of the sea in the mentioned area. The importance of this study relies in the use of two different techniques during the evaluation phase of the area; the first using remote sensing and the second using the classical equipment (currentmeters, boys, etc.).

INTRODUCCION

Este trabajo presenta la serie de cálculos requeridos para el diseño de una obra de defensa del litoral en el área correspondiente al Apostadero Naval de Turbo y a la Capitanía del Puerto. Tiene como objetivo ilustrar las interrelaciones de diferentes problemas encontrados en el desarrollo de obras de ingeniería costera; las condiciones iniciales del medio ambiente y su dinámica han sido definidas a partir de imágenes SPOT de satélite; la aplicación de estas técnicas ha permitido la obtención rápida de la información relacionada con el transporte y dirección de los sedimentos en suspensión en dicha área. Los cálculos para definir el diseño de las obras de defensa se efectuaron con base en mediciones tomadas directamente del área de interés; no se realizaron pruebas de laboratorio, lo cual implica que muchas apreciaciones hipotéticas no han sido consideradas para el efecto, siendo necesario hacer ajustes durante el desarrollo de las obras para optimizar los resultados.

El diseño, ejecución y control de las obras de defensa fueron realizadas por un grupo interdisciplinario de profesionales del CIOH, conformado por oceanógrafos físicos, geólogos marinos e hidrógrafos; su financiación fue respaldada por la Dirección General Marítima.

La propuesta inicial del proyecto se presentó en 1990 ante la Dirección Marítima, como una necesidad para proteger las instalaciones y terrenos de la capitanía del Puerto; el presente artículo corresponde a los resultados obtenidos, sobre la línea de costa, después de haber construido dos tramos de barrera de piedra paralelos a la playa; un primer tramo de 105 metros frente a las instalaciones de la capitanía y un segundo tramo de 128 metros frente al Apostadero Naval. Los resultados obtenidos inicialmente fueron altamente positivos, pero la falta de mantenimiento a la obra ha implicado deterioro y atraso de los resultados

finales esperados.

1. DESCRIPCION GENERAL DEL PROBLEMA

El problema básico radica en los acelerados procesos de erosión presentes en el sector oeste de la línea de costa paralela a la carretera que de Turbo conduce al aeropuerto, hasta la Punta de las Vacas; específicamente se estudia en este caso, el área de litoral correspondiente a la Capitanía del Puerto y Apostadero Naval de Turbo, Figura 1.

El fenómeno de erosión en las playas a lo largo de la margen exterior de la península de Turbo hasta Punta de las vacas, tuvo su origen como consecuencia de haberse alterado la desembocadura del río Turbo en la década de los años sesenta (1960), como resultado de la acción mecánica producida por el hombre sobre la desembocadura del río Turbo, el cual fue desviado hacia el sur, generando un importante delta que ha facilitado la formación de un tómbolo de dirección norte-sur. Figura 1; este último a su vez se ha convertido en una especie de barra, que se interpone al desplazamiento de la deriva litoral en el sector, cambiando parcialmente la circulación periférica adyacente a la línea de costa y trayendo como consecuencia acentuados procesos erosivos sobre la península de Turbo, ya que fueron anulados casi en su totalidad los aportes sedimentológicos del río Turbo.

Concretamente el problema se resume en la existencia de un activo proceso erosivo sobre la línea de costa, cuya rata de avance calculado es de 0,33 metros por año; el objetivo del estudio es definir un diseño de obras, que permita en forma económica y práctica controlar el proceso erosivo y simultáneamente recuperar con rellenos parte de las áreas que hoy en día se encuentran cubiertas por el agua.

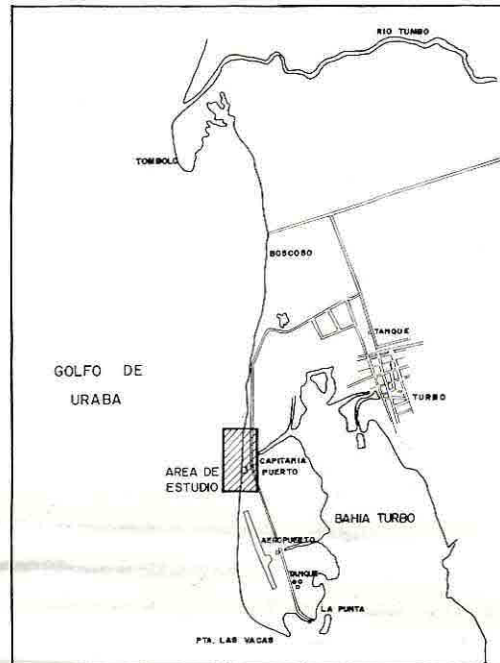


Figura 1. Localización del área de estudio y descripción de la desembocadura actual del río Turbo.

2. ANALISIS DEL PLANEAMIENTO

Los problemas de ingeniería costera se clasifican en cuatro categorías: Estabilización de líneas de costa; obras de protección del litoral; obras de protección de muelles y obras de control de canales.

Para el caso que atañe el presente estudio, se ha identificado el problema en la categoría de "Estabilización de la línea de costa", aunque puede ser considerado en más de una categoría. Después de clasificado el problema se evalúan las diferentes posibles soluciones consideradas en la ingeniería de costas, algunas de las cuales pueden ser estructurales y otras orientadas al empleo de técnicas tales como la zonificación y realimentación con rellenos.

Una vez identificada la categoría de la solución aplicable al sector del litoral correspondiente a la Capitanía del Puerto de Turbo, se procedió a desarrollar una serie de consideraciones con el fin

de determinar el tipo de obra necesario para lograr la "Estabilización de la línea de costa" en el sector en mención.

Las consideraciones evaluadas son:

Hidráulicas:

Corresponde al cálculo de vientos, olas, corrientes, mareas, tormentas y la batimetría básica del área.

Sedimentológicas:

Incluye los procesos de transporte del litoral (dirección del movimiento - rata de transporte neta y gruesa - clasificación y características de los sedimentos en suspensión y en el fondo).

Control de estructuras:

Corresponde a la elección de los trabajos de protección o estabilización, evaluando el tipo, uso, efectividad, economía e impacto ambiental.

Legales:

Durante la ejecución de una obra de ingeniería,

además de las consideraciones anteriores debe tenerse en cuenta y proyectarse las posibles consecuencias o efectos sobre las áreas adyacentes.

Económicas:

La evaluación económica incluye los costos de mantenimiento y conservación en razón a que después de concluida la obra, ésta debe someterse a un proceso de conservación, para mantener las condiciones óptimas del área.

Realizadas y evaluadas las anteriores consideraciones se procedió a seleccionar el tipo de obra requerido para la solución del problema de estabilización de la línea de costa; entre las posibles obras se tienen:

Barreras paralelas a la línea de costa
Espolones
Revestimientos del litoral.

La evaluación de los datos de campo y las consideraciones económicas nos permiten definir como obra óptima "Barreras paralelas a la línea de costa".

3. DESCRIPCION FISICA DEL AREA

3.1 Localización y Condiciones

El área objeto del presente estudio se localiza en la parte sur-oriental del Golfo de Urabá, y está comprendida entre las coordenadas $08^{\circ}00' - 08^{\circ}10'$ y $76^{\circ}42' - 76^{\circ}43'$ Figura 2.

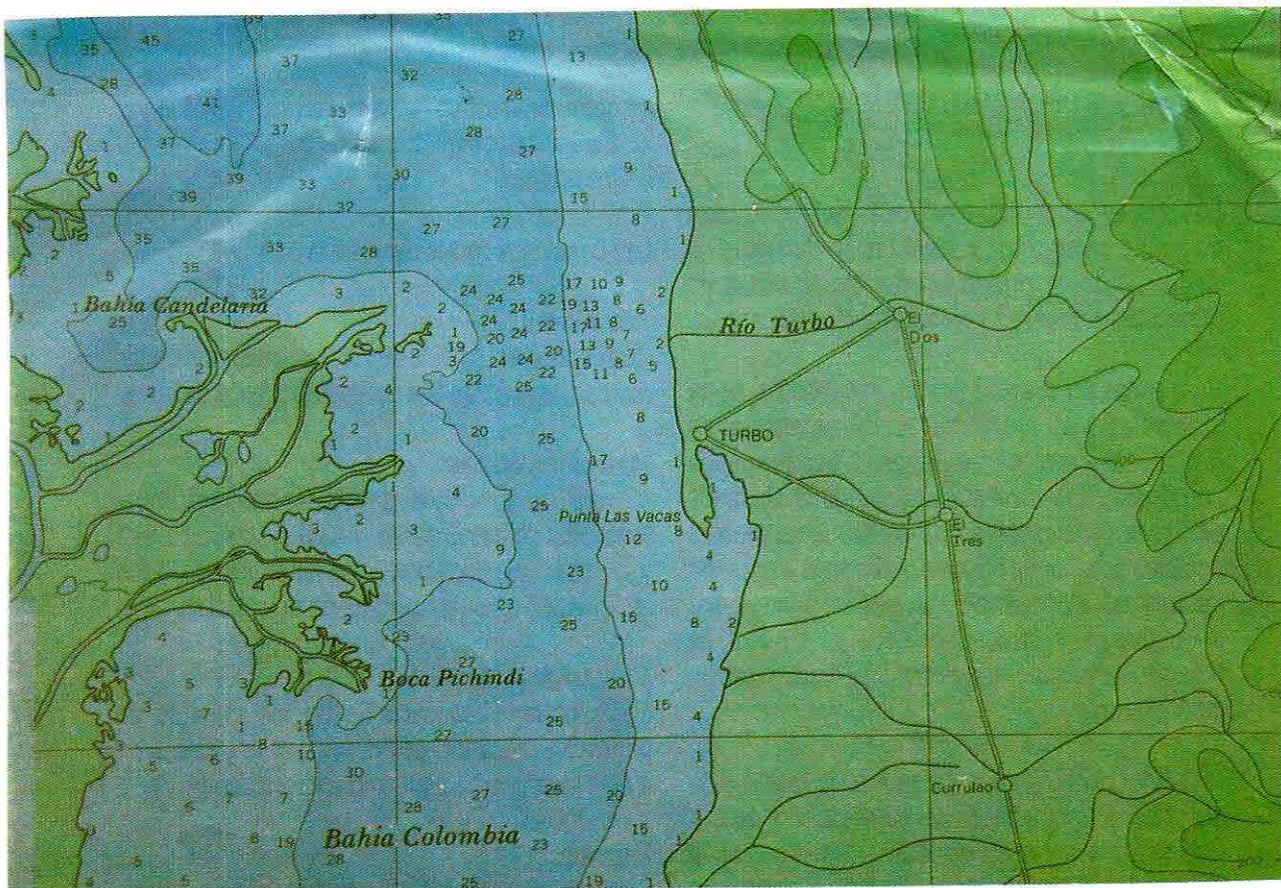


Figura 2. Localización general del área de estudio, Golfo de Urabá - Turbo.

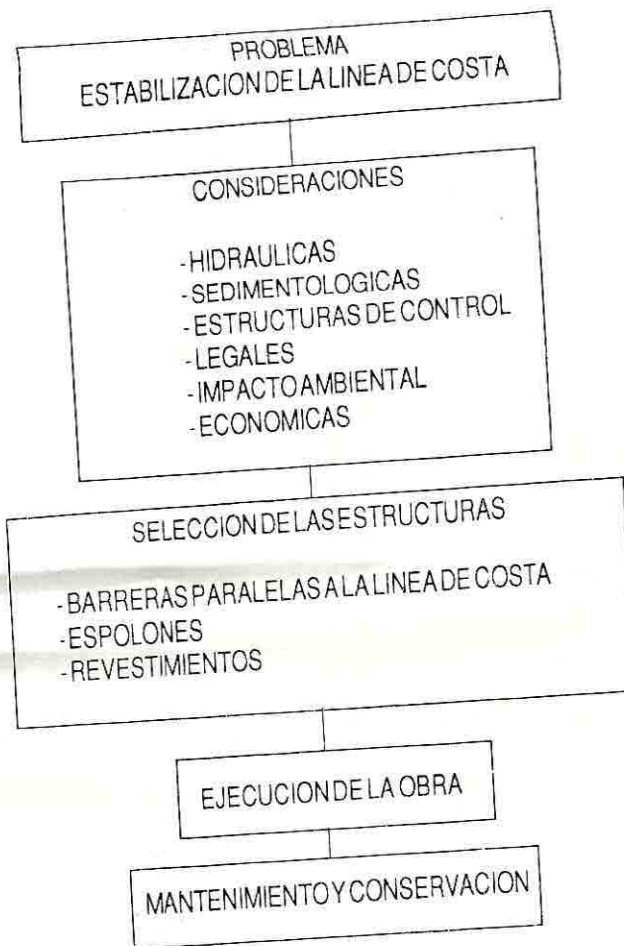


Diagrama de flujo para la realización de obras de Ingeniería Costera.

Frente a la zona de estudio se localiza la desembocadura del río Atrato, el cual forma un delta de siete brazos importantes que descargan sus aportes de sedimentos, distribuyéndolos en la entrada a Bahía Colombia; además de los aportes de sedimentos, también llegan cantidades importantes de troncos y maderas a la deriva, los que en un buen porcentaje alcanzan la costa opuesta, correspondiente a la península de Turbo; los grandes trozos de madera a la deriva, tienen considerable incidencia sobre las obras que se realizan y se debe ejercer en ellas cuidados prioritarios, para evitar daños durante las etapas iniciales de obras de defensa; sobre la línea de costa oriental del Golfo de Urabá en los últimos

años se ha presentado la pérdida de grandes extensiones de costa; igualmente la formación de flechas litorales, los que han inducido importantes cambios morfológicos en dicha línea.

El Golfo de Urabá presenta una profundidad promedio de 25 metros y su parte central está constituida por fondos limosos, donde predominan los procesos de sedimentación, mientras que en la costa este predominan los procesos erosivos. Los cálculos de la rata de sedimentación en el golfo permiten definirla en 4,0 metros/50 años.

El área seleccionada para construir las obras de defensa, está conformada por arenas de origen

fluvial, procedentes del río Turbo, antes de que la desembocadura de éste fuera desviada durante 1962; el área para proteger no presenta manglares,

ni formaciones rocosas que faciliten la protección de la línea de costa. Foto 1.

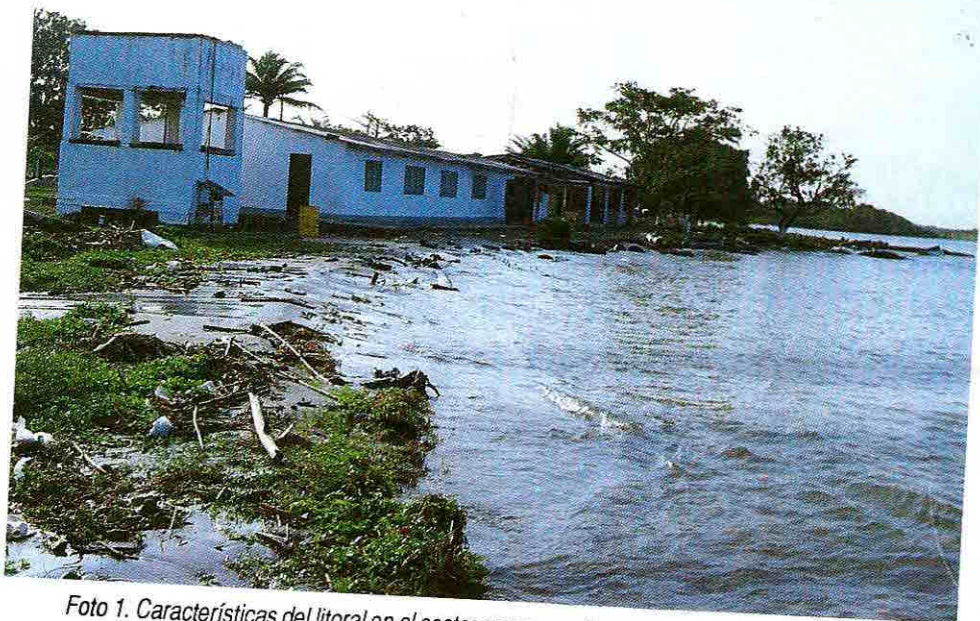


Foto 1. Características del litoral en el sector correspondiente al Apostadero Naval - 1990.

Desde el punto de vista socioeconómico, la zona a proteger es de gran importancia para la población de Turbo, debido a que paralelamente a este sector se desplaza la carretera que comunica el aeropuerto local con la población; además de encontrarse en esta zona los principales depósitos de distribución de combustibles para el área.

3.2 Consideraciones hidráulicas

El primer paso en la fase de trabajos de campo, está relacionado con el reconocimiento exacto de las características y profundidades del área marítima adyacente al litoral que se planea proteger. Las mediciones de profundidad indican que el área es de poca pendiente; la pendiente calculada es:

$\text{tang} = 0.8/25 = 0,032$; lo anterior garantiza una buena estabilidad para el material de enrocado a

utilizar, ya que los esfuerzos de arrastre D tendrán mayor oposición, inducida por las componentes del peso W de la roca, como consecuencia del pequeño ángulo de inclinación del talud.

Con base en la batimetría obtenida y complementada con la información de olas, corrientes y accidentes geográficos existentes en el área, se plantea el proyecto inicial de la obra de protección de la línea de costa. Figuras 3-4.

Las mediciones de corrientes se efectuaron mediante el sistema de boyas de deriva, debidamente lastradas para reducir los efectos del viento sobre ellas; estas observaciones se realizaron teniendo en cuenta los dos períodos representativos de las mareas; una primera serie de observaciones fue registrada durante el ciclo de marea entrante (o subiendo) y una segunda serie

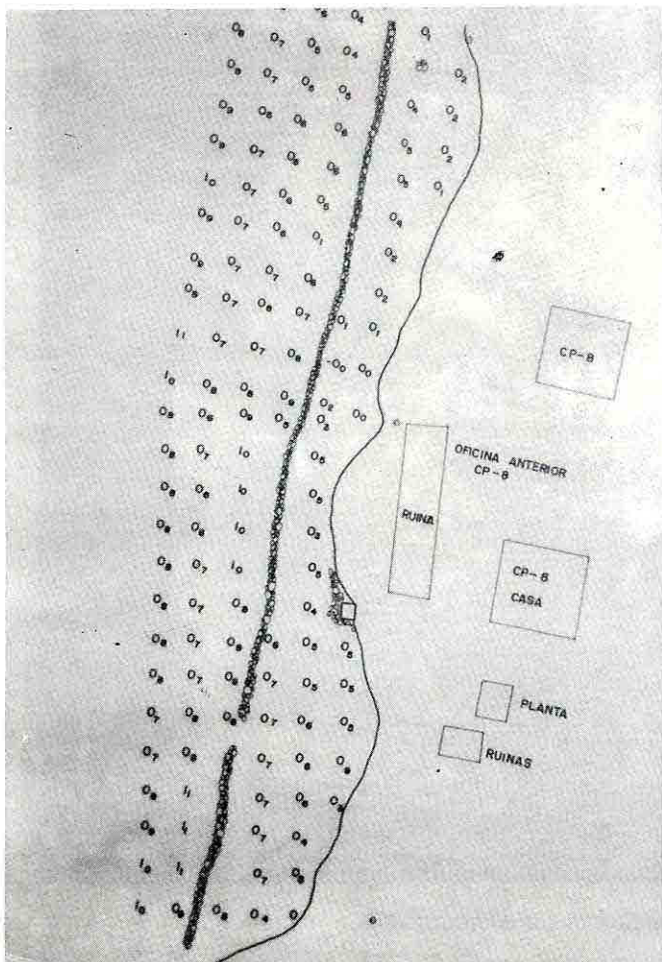


Figura 3. Levantamiento batimétrico en el sector de la capitanía del Puerto de Turbo-1992.

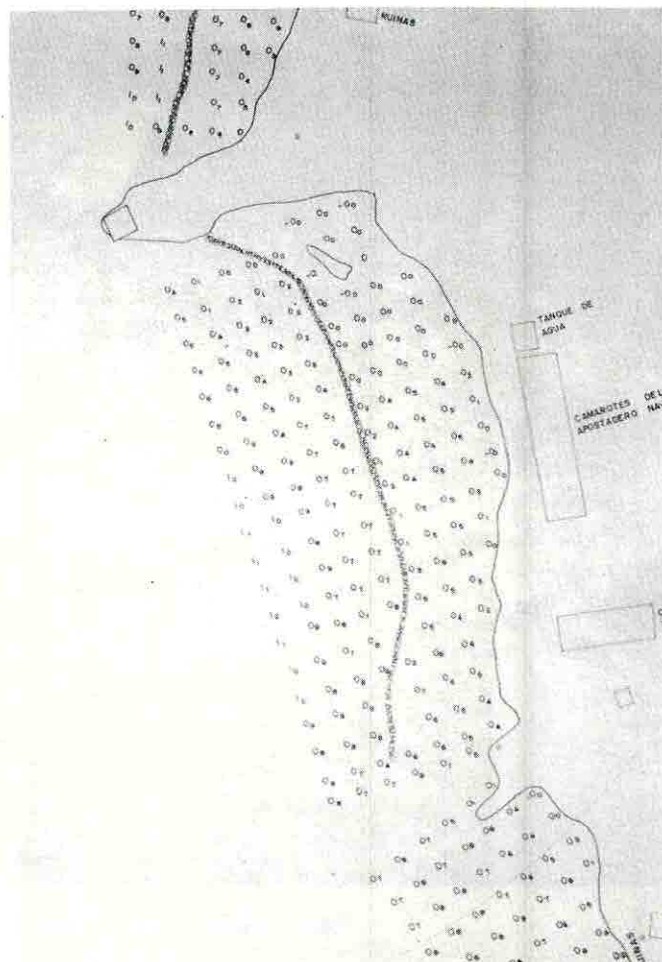


Figura 4. Levantamiento batimétrico en el sector del Apostadero Naval de Turbo - 1992.

se registró en el período de marea saliente (o bajando). Los resultados obtenidos indican la presencia de corrientes superficiales con dirección hacia el norte y velocidades de 3cm/seg (lenta). Esta información fue comparada posteriormente con los resultados obtenidos a partir de un aimagen de satélite SPOT captada sobre el área en la época de febrero/89. Fotos 2 y 3. Figura 5.

El análisis e interpretación de la imagen del satélite SPOT de febrero/89 permitió definir la dinámica superficial del Golfo de Urabá, usando como trazador las plumas de turbidez (material en sus-

pensión) de los ríos Atrato, Turbo y León; la circulación de las aguas superficiales en el Golfo tiene dirección norte-sur por el sector oeste, al llegar al extremo sur de bahía Colombia las dinámicas adquieren dirección contraria a las manecillas del reloj, para reorientar su dirección en sentido sur-norte por el extremo este del Golfo de Urabá; estas últimas corrientes, originan contracorrientes muy cerca del litoral, las que a su vez inducen sobre el área de estudio, una dinámica final de dirección sur-norte; esta última es la considerada para efectos del diseño de las obras de protección de la línea de costa. Figura 6.

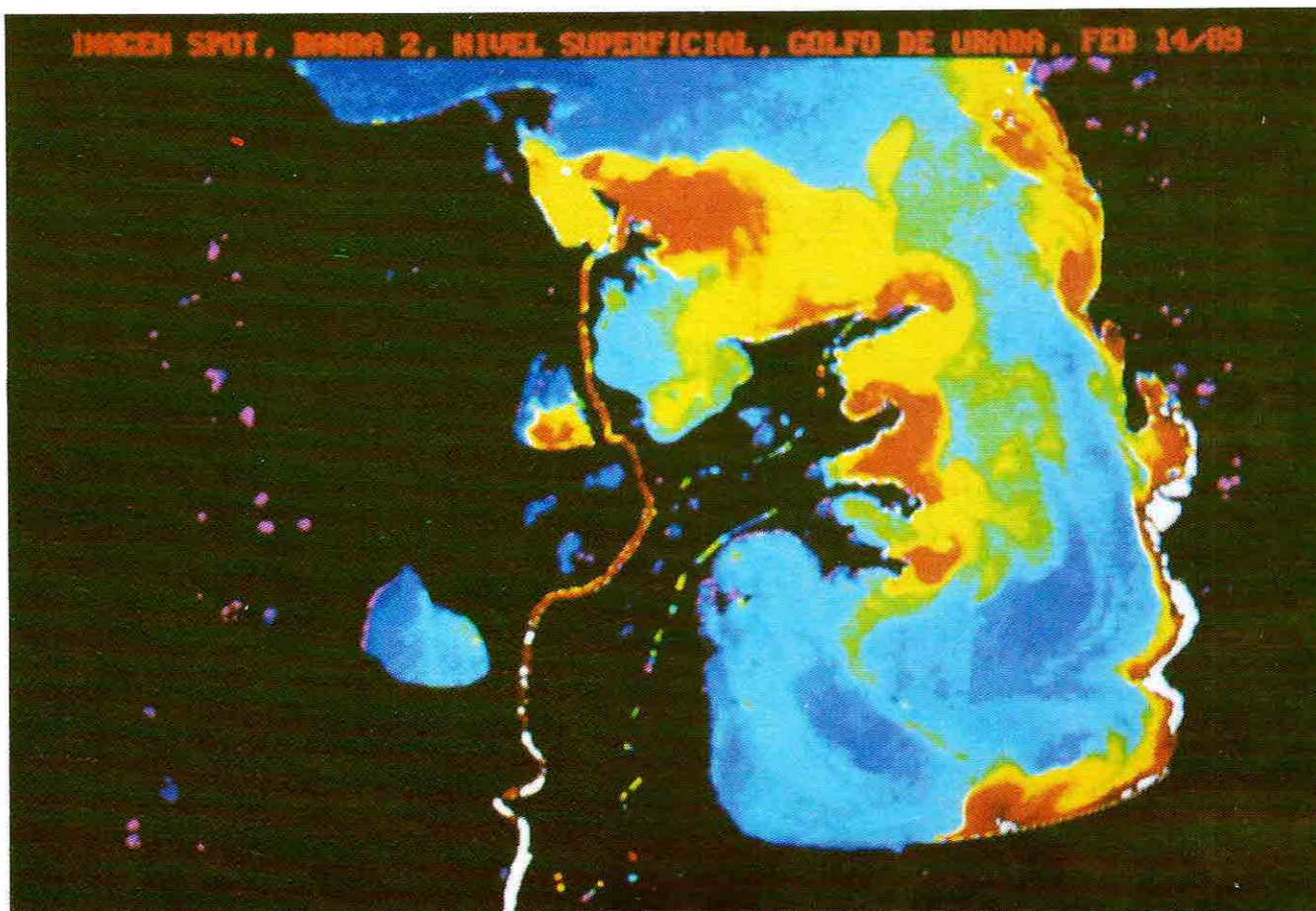


Foto 2. Imagen SPOT - Nivel Superficial del Golfo de Urabá - febrero 14/89

3.3 Consideraciones Sedimentológicas

La determinación de los sedimentos en suspensión se efectuó de dos maneras; en primer lugar se tomaron muestras *in-situ* sobre el área marítima adyacente, éstas fueron analizadas en los laboratorios del CIOH para determinar las concentraciones y características de sólidos en suspensión; posteriormente estos datos fueron corroborados mediante el estudio de la distribución horizontal del material en suspensión, a partir del procesamiento de la imagen de satélite SPOT, en las bandas XS1 - XS2 (trabajo realizado por la Teniente de Navío- Geóloga Marina Amparo Molina Márquez); mediante el programa ANIM se efectuó la extracción límite continente-océano, enmascarando la tierra en cada una de ellas con la

banda XS3 y el cálculo de la reflectancia del material en suspensión se realizó a partir de los datos de la toma de la imagen (azimut solar - fecha-hora-transmitancia del agua).

Cada color en la imagen corresponde a un tipo de reflectancia definida por el mayor o menor grado de concentración del material en suspensión, así: blanco (muy alto), rojo (alto), amarillo (medio) y verde (bajo); la imagen fue tratada mediante filtros para reducir los efectos de ruidos y mejorar su presentación visual.

De los resultados del estudio "Circulación de las Aguas Superficiales y Variación de la Línea de Costa del Golfo de Urabá a partir de la Percepción Remota" realizado por el CIOH, se tuvo en cuenta

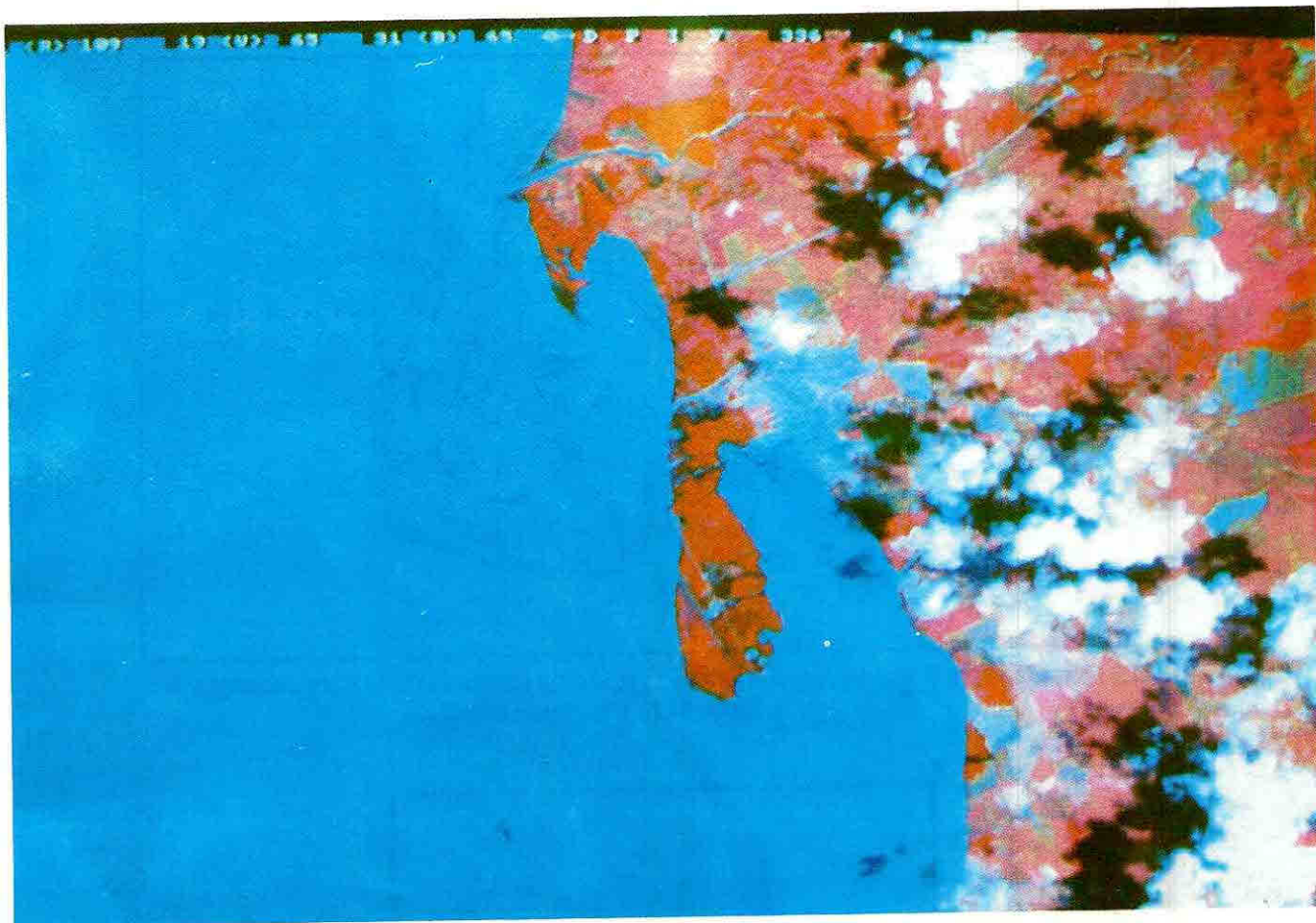


Foto 3. Vista parcial de la Imagen SPOT correspondiente al sector Punta de las Vacas. Golfo de Urabá 1984.

la identificación de las zonas de erosión y sedimentación sobre el litoral. Figura 7.

De la gráfica se observa que la línea de costa en la península de Turbo es una zona afectada por la erosión activa.

El mapa sedimentológico resultante de los anteriores análisis se representa en la Figura 8.

Las consideraciones relacionadas con los aspectos legales, el impacto ambiental y los asuntos económicos no se registran en el presente documento, pero fueron observados para alcanzar la sustentación de la tercera etapa "Selección de la estructura".

4. SELECCION DE LA ESTRUCTURA

Para la selección de la estructura se consideraron los aspectos tratados anteriormente más los calculados de energía de ola y punto de ruptura de la misma; con base en dicha información se definió la construcción de barreras paralelas a la línea de costa como la estructura que reúne las condiciones para proteger dicha línea; esto último en consideración a que no existen transportes de litoral en este sector, por lo tanto la construcción de un espolón no daría resultados positivos; igualmente la construcción de un revestimiento o enrocado no es aplicable por la poca altura de la línea de costa.

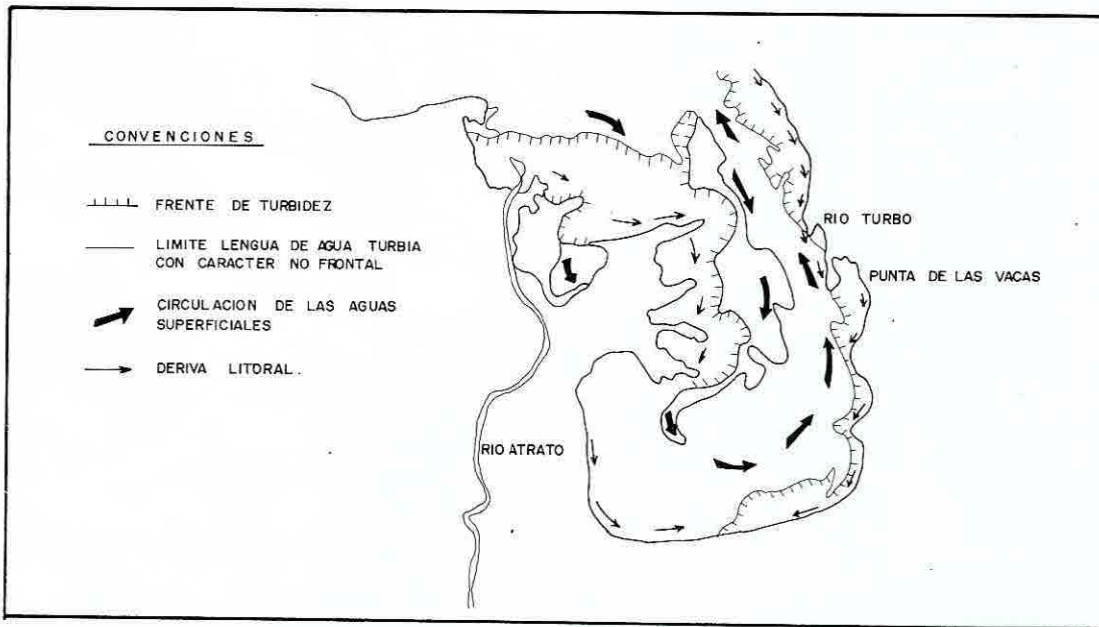


Figura 5. Interpretación de la dinámica deducida del análisis de sedimentos en suspensión sobre una imagen de satélite SPOT de febrero 14/89. (TN. Amparo Molina).

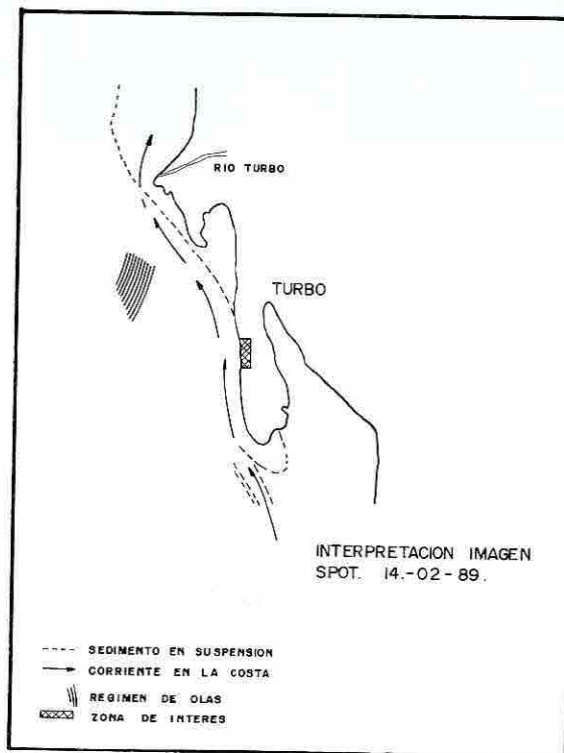


Figura 6. Esquema de las corrientes superficiales predominantes en el sector de la Punta de las Vacas 1990. (CC. Carlos Andrade A.)

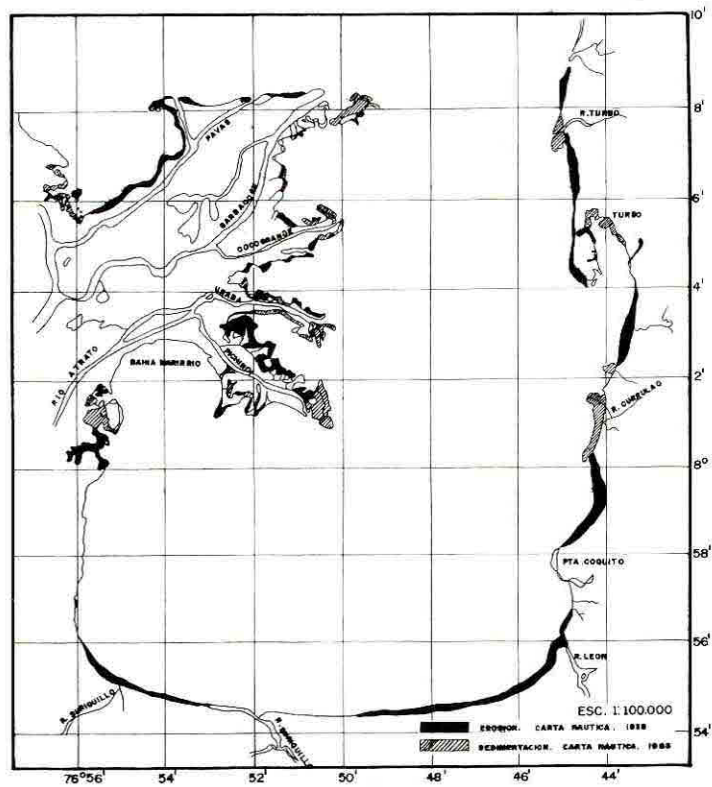


Figura 7. Definición de las zonas de erosión y sedimentación en el sector Este del Golfo de Urabá. (TN. Molina Amparo).

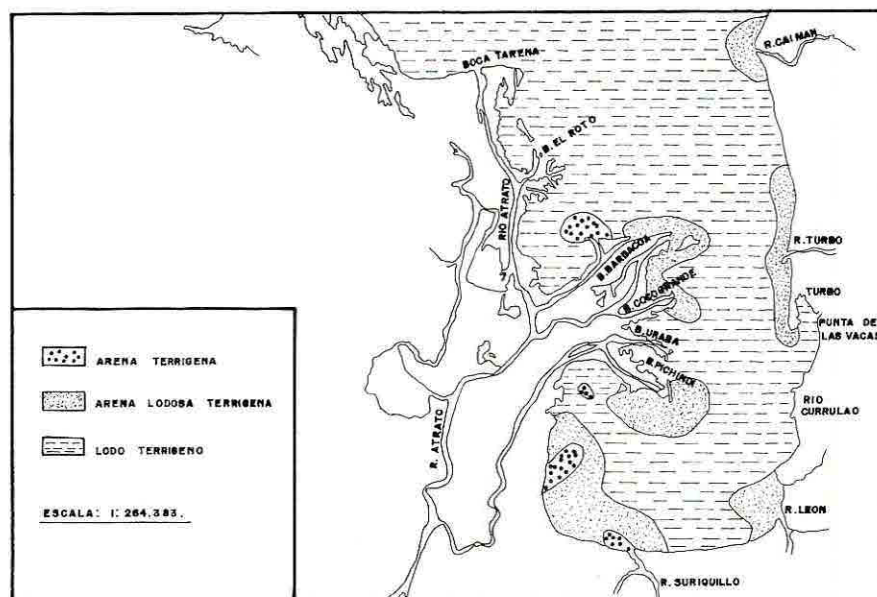


Figura 8. Mapa sedimentológico del Golfo de Urabá. (TN. Molina Amparo).

4.1 DISEÑO DE LAS BARRERAS

El diseño de la obra comprende dos barreras de piedra paralelas a la línea de costa, con una longitud

total de 228 metros, construída sobre la isobata de 0,30 metros (profundidad del agua) y con una altura de 1,20 metros por encima del nivel medio del mar. Figura 9.

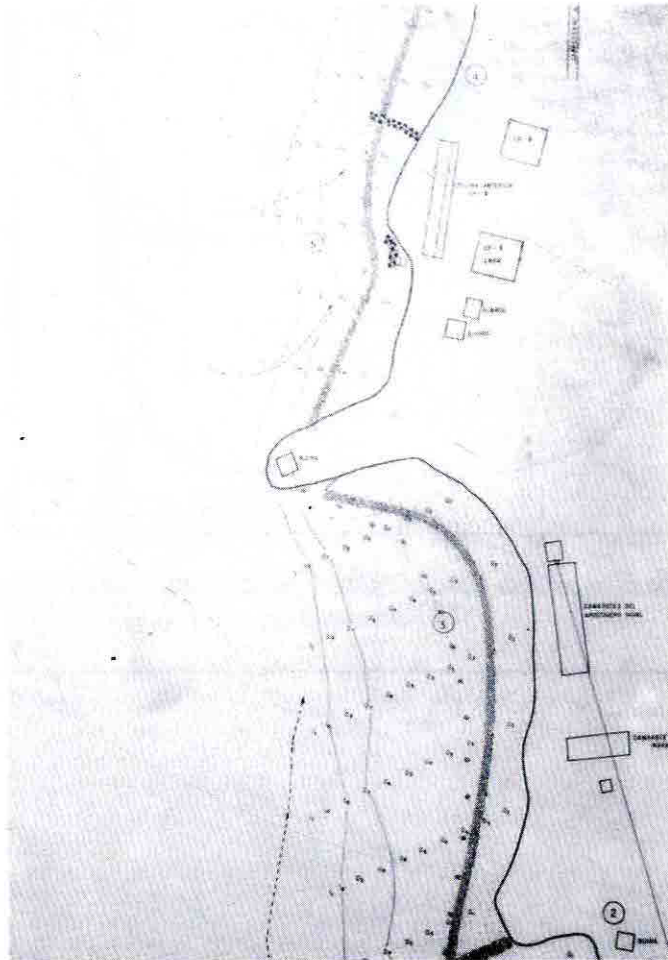


Figura 9. Esquema de localización de las obras diseñadas para protección de la línea de costa en la Capitania de Turbo - 1991.

Las barreras serían construídas con piedras o rocas de río, de diámetro de 0,8 a 1,0 mt para las que conforman la coraza exterior y el núcleo estaría formado por piedras de 0,40 a 0,60 mts de diámetro. Figura 10; la base tendría una longitud de 4,0 me-

tros y la altura sobre el nivel medio del agua sería de 1,2 metros; lo anterior considerando una ola de altura promedio de 2,0 metros para temporadas de mar de leva.

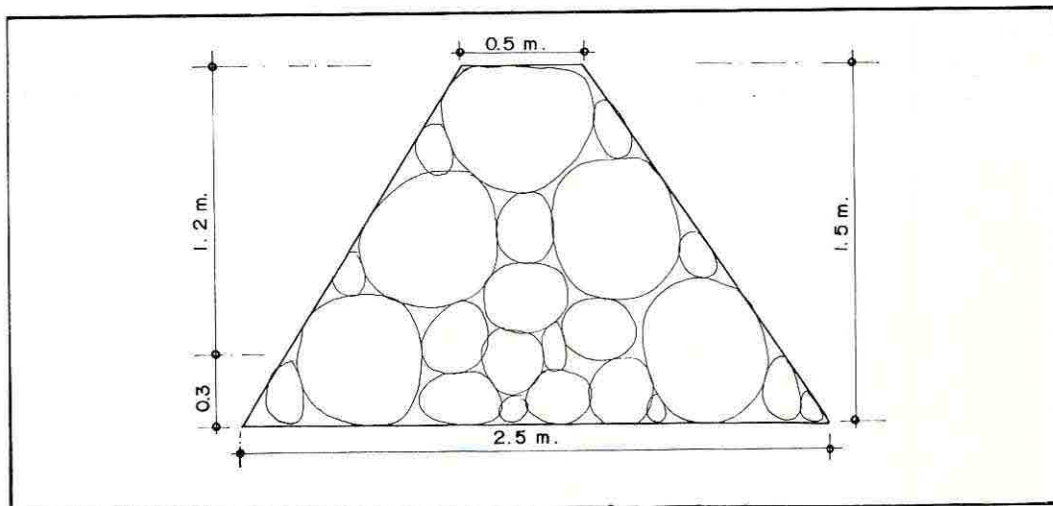


Figura 10. Corte transversal de la barrera. (CF. Jorge Urbano).

5. EJECUCION DE LA OBRA

Durante la ejecución de la obra los principales problemas observados fueron:

a. Dificil acceso a las zonas de explotación de las rocas, como consecuencia de la inseguridad reinante a causa de la existencia de grupos subversivos que exigían cuotas económicas a los transportadores de las piedras.

b. Ausencia de equipo mecánico que facilite el cargue y descargue de las rocas; la obra fue necesario ejecutarla transportando manualmente el material en el agua. Foto 4.



Foto 4. Movimiento manual del material de roca durante la ejecución de las obras de defensa en el Apostadero Naval de Turbo.

Salvados los impases anteriores se concluyeron durante un período de cuatro meses, las obras diseñadas para protección del litoral; las barre-

ras de protección quedaron construidas con una longitud de 228 metros y con una altura inicial de 1,0 metro sobre el nivel del mar. Fotos 5,6 y 7.

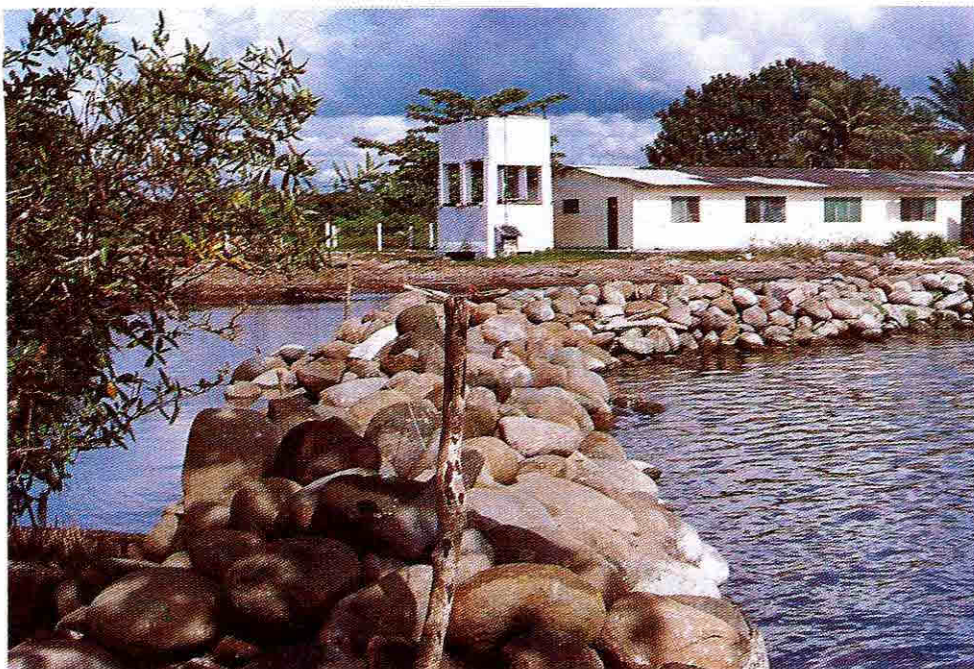


Foto 5. Características finales de la defensa de playas frente al Apostadero Naval de Turbo. 1992.



Foto 6. Aerofotografía del estado final de la barrera de defensa de playa en el sector sur frente al Apostadero Naval de Turbo. 1992.



Foto 7. Estado final de las defensas de costa en el sector de la Capitanía de Puerto y Apostadero Naval de Turbo 1992.

Se estableció un sistema de monitoreo que permite determinar los efectos resultantes, inducidos por las barreras de protección.

Los efectos de las defensas inicialmente fueron altamente positivos, se observó su trabajo como trampas permitiendo una rápida acumulación de sedimentos terrígenos en la parte posterior de las mismas; en la medida en que transcurre el tiempo, la obra adquiere ella misma su compactación final, produciéndose un proceso de penetración sobre el fondo, por parte del enrocado; lo anterior produce una disminución en la altura de la barrera, la cual debe ser continuamente vigilada para evitar que el impacto de la ola, desestabilice la estructura produciendo el arrastre de parte del enrocado; igualmente, es necesario en esta zona controlar el arribo de troncos a las barreras, porque el impacto de estos, la debilita, alterando su estructura.

Concluida una obra de defensa o protección de litorales, ésta debe ser sometida a un programa específico de mantenimiento con el fin de mantener

su funcionalidad; para el caso de las obras de defensa construídas frente al Apostadero Naval de Turbo, estas deben ser conservadas bajo los siguientes parámetros:

A. Estabilización de los procesos de compactación

Esto se logra bajo un permanente control de vigilancia, procurando adicionar material de roca de mayor diámetro sobre la coraza, en la medida en que la obra pierde altura sobre el nivel medio del mar; se debe definir sobre la obra los puntos críticos donde la rata de compactación es mayor.

B. Conservación de la estructura

Esta se obtiene evitando que elementos extraños como troncos o trozos de madera permanezcan en la parte frontal de la obra; los efectos del impacto de las olas, más el elemento extraño sobre la barrera, induce desestabilización a nivel medio del agua ocasionando el rodamiento de las piedras, localizadas a esta altura y por consiguiente produ-

ciéndose el esparcimiento del material.

Por ningún motivo se debe remover el enrocado o parte de él, ya que se ocasionan entradas de agua por la barrera, las cuales producen efectos de tobera, inyectando sobre la línea de costa nuevos efectos erosivos.

C. Realimentación Manual

A medida que se pierde profundidad en la parte posterior de la defensa, se debe realimentar manualmente con escombros esta zona, lo anterior limita los efectos ocasionados por escorrentía; se debe mantener este proceso en forma gradual hasta lograr obtener un área de terreno seco sobre el nivel medio del mar; cuando se alcance el estado anteriormente indicado, la barrera debe ser sometida a un tratamiento especial para convertirla en defensa integrada a la línea del litoral.

BIBLIOGRAFIA

MOLINA A., "Circulación de las Aguas Superficiales y Variación de la Línea de Costa del Golfo de Urabá a partir de la percepción remota" CIOH-1992.

CIOH., "Estudio Hidrodinámico del Golfo de Urabá"-1992

URBANO J., "Diseños Preliminares de las Obras de Defensa de Playas - Capitanía de Puerto Turbo".

CIOH., Evaluación Obras de Defensas de Playas Sector Apostadero Naval y Capitanía de Puerto-Turbo-1992.