

# “DISEÑO DE LAS OBRAS DE PROTECCIÓN COSTERA PARA LA REGENERACIÓN URBANA DEL MALECÓN DE LA LIBERTAD, PROVINCIA DEL GUAYAS, ECUADOR”.

## **AUTOR:**

Enrique Sánchez Cuadros<sup>1</sup>

## **RESUMEN**

Se presenta el diseño de las obras de protección costera realizado para el desarrollo del nuevo Malecón del Puerto La Libertad, localizado en la costa de Ecuador. El diseño ha sido concebido para estabilizar el sector costero central de la ciudad, el cual sufre un fuerte proceso erosivo desde hace varias décadas. El control de la erosión de la playa es lo que permitirá que se pueda desarrollar el proyecto de regeneración urbana del Malecón .

La solución planteada consiste en la construcción de cinco escolleras costa – afuera totalizando 453 metros de longitud, y en la reconstrucción de 820 metros lineales del muro de contención del Malecón. El costo de las obras de protección costera aquí descritas fue estimado en alrededor de tres millones de dólares.

Se describe también el proceso constructivo que se siguió en la ejecución de las dos primeras escolleras, y en el 25 por ciento inicial del muro de contención de enrocado, así como los resultados preliminares obtenidos en la recuperación de la playa de La Libertad.

## **1.- INTRODUCCIÓN**

La Libertad es una ciudad localizada en la costa de Ecuador (Fig. 1), que tiene instalaciones portuarias para petróleo, y que ha experimentado un rápido desarrollo comercial, especialmente en los últimos veinte años. En el pasado, La Libertad también fue un balneario, pero perdió esta condición cuando desapareció la playa que existía junto al Malecón.

Concordante con el progreso económico que experimentó la población, el Malecón de La Libertad fue desarrollado en forma paulatina a partir de los años 60, para lo cual se ocupó el frente costero natural de la ciudad, que existía junto a la playa. Esta ocupación se la realizó en forma desordenada, mediante rellenos de cascajo, que en varias partes fueron colocados en sitios donde llegaba el mar. Para la protección del malecón, se construyeron una serie de muros de contención, tanto de hormigón como de enrocado, muchos de los cuales fueron reconstruidos luego de que el embate del mar los destruyó.

En la actualidad, el Malecón de La Libertad se encuentra en gran parte destruido, ya que no ha contado con defensas marinas que cumplan con las normas técnicas que aseguren la generación de un proyecto de recuperación y mejoramiento del mismo. El Municipio de la ciudad por lo tanto, emprendió el proceso de restauración.

1 Profesor de la Facultad de Ingeniería Marítima. ESPOL. Guayaquil, Ecuador



Fig. 1 Ubicación de La Libertad en la costa de Ecuador

El Municipio del Cantón La Libertad, definió como meta en el desarrollo, la regeneración urbana del sector costero de la parte central de la ciudad. Como un eje principal del desarrollo urbano se estableció la necesidad de reconstruir el nuevo Malecón, lo cual fue definido en el Plan Estratégico de Desarrollo del Cantón que fue elaborado por la ESPOL.

De esta forma, en el año 2000, la M. I. Municipalidad de La Libertad firmó un convenio con la ESPOL, para que realice los estudios para el diseño definitivo para la restauración del Malecón de la ciudad.

En la presente ponencia, se presenta el diseño de las obras de protección costera requeridas para la restauración del Malecón de La Libertad, de tal forma que este pueda ser desarrollado de forma segura, reduciendo la energía de las olas incidentes, y sin el peligro de sufrir los embates del mar.

Las soluciones que se plantean en este trabajo también permitirán, como un beneficio adicional, no solamente detener la erosión de la playa del sector, sino que también que el proyecto fue concebido para recuperar parte de la arena de la playa que se perdió debido al proceso erosivo.

Este autor tuvo a su cargo el diseño de las obras de protección costera, como parte de los Estudios para la Restauración del Malecón de La Libertad que elaboró la ESPOL para la M.I. Municipalidad del cantón ( Sánchez, 2001). Los Estudios fueron entregados en mayo del año 2001.

Se incluye una síntesis sobre el proceso de construcción seguido para las dos primeras escolleras y para el tramo inicial de 250 metros lineales del muro de contención del nuevo Malecón, que son

trabajos en que el autor participó, como Consultor independiente, en la supervisión de las obras y en la asesoría al Municipio de La Libertad.

## 2. CONDICIONES DEL AREA DE ESTUDIO

El cantón La Libertad se encuentra ubicado en la Península de Santa Elena, en la provincia del Guayas, a 120 kilómetros de la ciudad de Guayaquil, que es el principal puerto de Ecuador. Su costa está relativamente protegida del oleaje y del viento, por la presencia de la Puntilla o Península de Santa Elena. De los 4.5 kilómetros de costa que tiene el cantón, aproximadamente 0.9 Km corresponde al Malecón de la ciudad. La costa en mención tiene una orientación aproximada oeste-este. La playa de La Libertad se inicia en el oeste en Punta Suche, y termina en el este, en Punta Chuyuipe (Fig. 2).

Debido a la erosión que ha experimentado la playa de La Libertad, el espesor del estrato arenoso que se asienta sobre la plataforma rocosa de abrasión que existe en el sector oeste, junto al sitio denominado La Caleta, es mínimo. Este espesor se incrementa hacia el este.

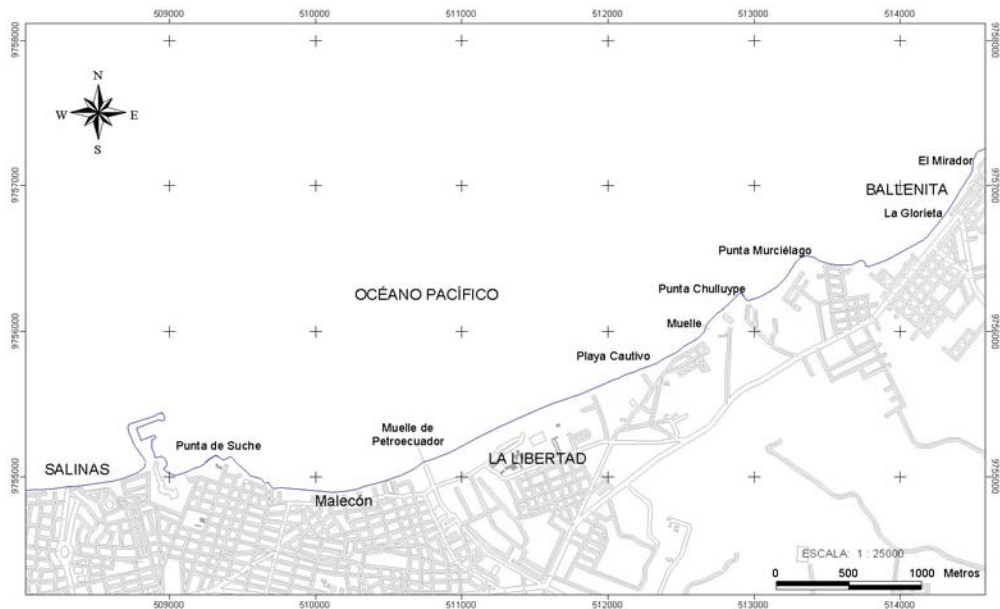


Figura 2: Perfil costanero del cantón La Libertad

La ESPOL realizó mediciones de olas corrientes mareas, sedimentos, vientos, batimetría y topografía, como parte de los Estudios Oceanográficos que ejecutó para el presente Proyecto. Además se ejecutaron estudios y mediciones de parámetros ambientales de calidad de agua, biológicos y geológicos en el área de estudio.

Los resultados obtenidos de estas mediciones fueron complementados con los encontrados en estudios previos llevados a cabo por el Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR).

El estudio de las corrientes marinas ( M.P. Cornejo 2001 ), y de su incidencia sobre el problema erosivo de La Libertad permitió establecer lo siguiente:

1. La presencia de las corrientes litorales, que se dirigen predominantemente hacia punta Chuyuipe (noreste), se debe a la incidencia oblicua que tienen las olas sobre la costa, las cuales inciden predominantemente desde el noroeste. Estos flujos en la zona litoral constituyen el principal agente que mueve la arena de la playa..
2. Durante determinadas condiciones de viento y de marea, se producen corrientes costa-afuera, alejándose de la costa con dirección norte, las cuales transportan parte de la arena de la playa que ha sido puesta en suspensión por la acción de las olas rompientes, y de las corrientes de resaca.
3. En términos generales, las corrientes marinas no son la causa principal del problema erosivo, pero participan en el proceso de transporte de la arena que ha producido el desequilibrio de la playa de La Libertad desde hace varias décadas. La figura 3 muestra un patrón típico de las corrientes costeras en la zona.

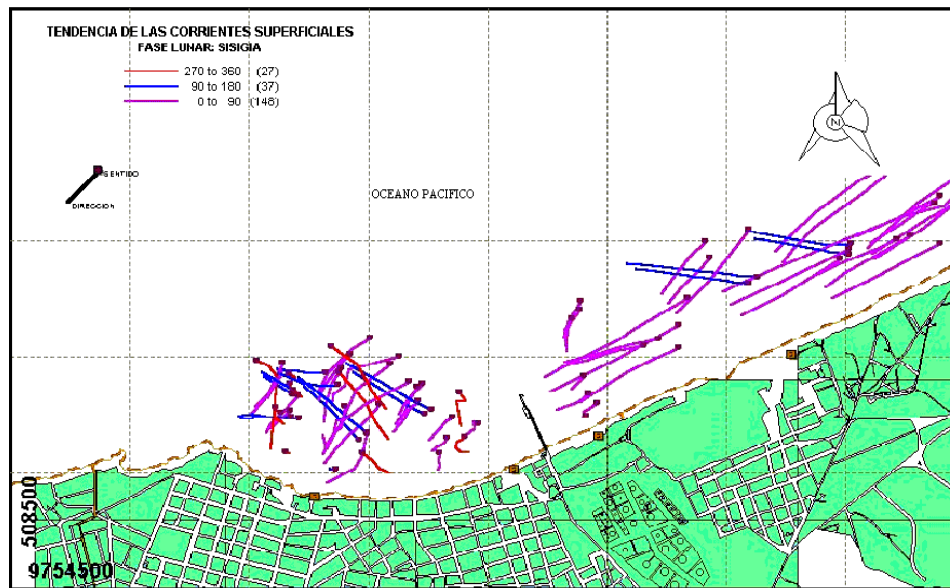


Fig. 3 Corrientes costeras en marea de sicigia frente a La Libertad

El análisis de la variación del nivel del mar determinó que la costa de La Libertad, y en general todo el litoral continental del Ecuador, está expuesta a variaciones no estacionales del nivel medio del mar, siendo la principal, la que produce el Fenómeno El Niño, que es de origen océano-atmosférico. Este evento genera ascensos en el nivel medio del mar de casi 50 centímetros sobre su promedio histórico, como ocurrió durante El Niño de los años 1982-1983.

Los parámetros de olas para diseño fueron establecidos a partir de los datos que registró INOCAR en el área cercana de Monteverde, los cuales fueron evaluados para las diferentes zonas donde se realizó el diseño. En la Fig. 4 se presenta la curva de excedencia de las alturas significativas de olas para el área de estudio. El estudio permitió establecer una ola en el sitio con, período de retorno e 50 años, de 3.1 metros, con período medio de 16 segundos.

El transporte litoral en la playa junto al Malecón fue evaluado utilizando el método del CERC, que está publicado en el Shore Protection Manual en 1984. Se determinó que en el área de estudio se tiene un transporte litoral que fue estimado en  $50.000 \text{ m}^3 / \text{año}$ . La dirección predominante de este transporte es hacia el este, es decir, hacia Punta Chullupe.

El estudio geológico estableció que los acantilados en la costa son inestables, y que experimentan erosión por el oleaje. En el estudio geotécnico ejecutado para el diseño, se efectuaron perforaciones a lo largo del Malecón y de la playa. Se establecieron las características geotécnicas del sitio, encontrando que existe un lecho rocoso que se inclina hacia la playa. El espesor del estrato arenoso existente sobre el basamento rocoso o gravoso en la playa es variable; así, en el sector oeste prácticamente no existía arena, mientras que en la parte este del Malecón el espesor arenoso podía exceder los 2 metros.

Las pruebas de laboratorio determinaron que tanto las rocas como los afloramientos tienen una resistencia a la comprensión simple mayor que  $70 \text{ Ton/m}^2$ , que es adecuada para soportar una escollera o un viaducto de hormigón sobre el Malecón.

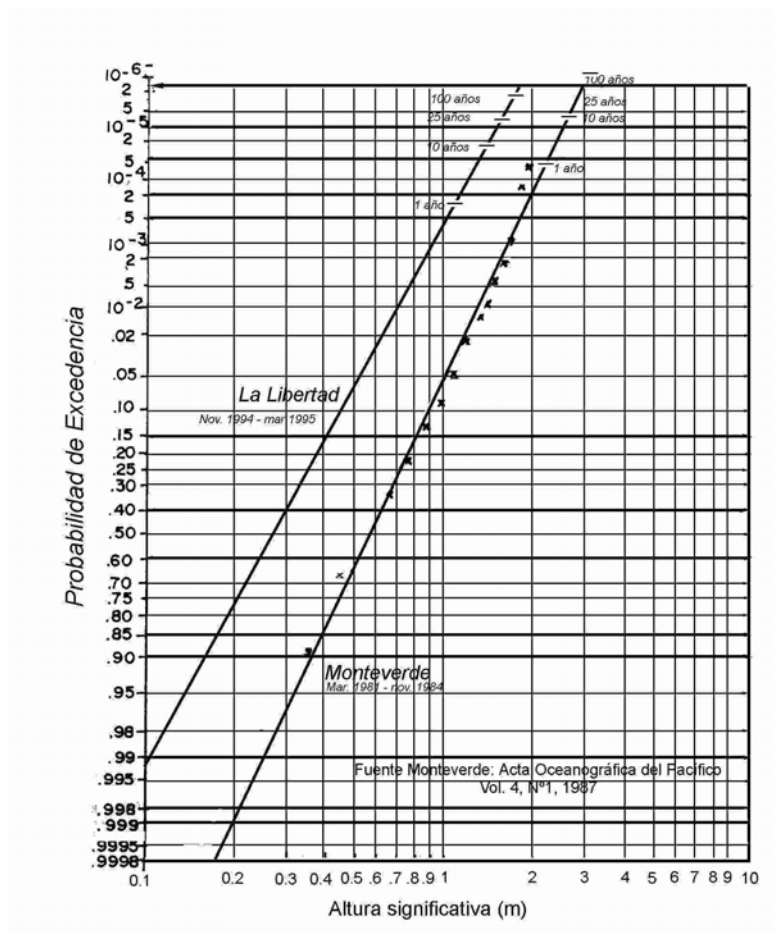


Fig. 5 Probabilidad de excedencia de las alturas significativas de Olas para La Libertad ( Fuente: Allauca 1987 )

El transporte litoral en la playa junto al Malecón fue evaluado utilizando el método del CERC, que publicó el Shore Protection Manual en 1984. Se determinó que en el área de estudio se tiene un transporte litoral que fue estimado en  $50.000 \text{ m}^3/\text{año}$ . La dirección predominante de este transporte es hacia el este, es decir, hacia Punta Chullupe.

El estudio geológico (Chávez 2001), estableció que los acantilados en la costa son inestables, y que experimentan erosión por el oleaje. En el estudio geotécnico ejecutado para el diseño, se efectuaron perforaciones a lo largo del Malecón y de la playa. Se establecieron las características geotécnicas del sitio, encontrando que existe un lecho rocoso que se inclina hacia la playa. El espesor del estrato arenoso existente sobre el basamento rocoso o gravoso en la playa es variable; así, en el sector oeste prácticamente no existía arena, mientras que en la parte este del Malecón el espesor arenoso podía exceder los 2 metros.

Las pruebas de laboratorio determinaron que tanto las rocas como los afloramientos tienen una resistencia a la compresión simple mayor que  $70 \text{ Ton/m}^2$ , que es adecuada para soportar una escollera o un viaducto de hormigón sobre el Malecón.

## **2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA EROSIVO**

La erosión de la costa de La Libertad se inició entre finales de la década de los 60 y principios de los 70. Las causas de la erosión tienen relación con la colocación de rellenos junto al mar, la construcción de muros en la zona activa de la playa, y la extracción de arena de la misma. La construcción del muelle de la compañía PETROECUADOR también modificó la morfología costera, y podría ser otra de las causas del fenómeno erosivo.

Vera (2000) en su tesis de Grado de la ESPOL, analizó el cambio que ha tenido la costa de La Libertad, entre los años 1980 y 1995, y determinó que en la zona del Malecón ha existido un retroceso promedio de la línea de costa, de dos metros por año. Se estima que la mayor parte de este retroceso ocurrió durante los fenómenos El Niño de los años 1982-3 y 1987-88, que fueron de alta intensidad.

Los estudios que efectuó ESPOL establecieron que la mayor parte de la playa que existía junto al Malecón, había desaparecido. La erosión produjo la pérdida de la arena, y el nivel de esta, descendió entre 2 y 4 metros, hasta llegar a la condición en que las olas rompen sobre el malecón.

## **3. ALTERNATIVA DE DISEÑO**

Para la definición de las alternativas de protección costera del malecón de La Libertad se siguieron las siguientes consideraciones de tipo funcional:

1. Se prefirieron estructuras flexibles, como los enrocados, a las estructuras rígidas, tipo muros de contención de hormigón.
2. Se consideraron más convenientes las obras que producen menores impactos ambientales negativos, tanto en la calidad del agua de la bahía, como en efectos de erosión más acelerados sobre la playa del sector este (La Carioca, Muelle, y Chuyuipe).
3. Las obras de defensa costera deberían ser desarrolladas por etapas, debido a las limitaciones económicas que tiene el Municipio de la ciudad.
4. El Malecón en el sector oeste es inundable por efecto de las marejadas. Sin embargo, el diseño arquitectónico propuesto en el presente proyecto, requería que las obras para la protección costera no debían tapar la vista al mar, lo cual imponía una restricción en la altura de las mismas.

Se prefirieron las estructuras de enrocado por ser en parte disipativas de energía de las olas incidentes sobre la costa, y también reflejan parcialmente dicha energía. Se seleccionó la ola de diseño con altura significativa en el sitio de medición de 3.0 m, correspondiente a un período de retorno de 50 años, a partir de la cual se calcularon las alturas de olas en la costa de estudio, tanto para las escolleras costa-afuera como para el muro del Malecón.

Se evaluaron las siguientes alternativas de diseño de las obras costeras:

- **Reconstrucción integral del muro marginal de enrocado**

En esta alternativa se contempló el rediseño del muro de enrocado del Malecón para su reforzamiento estructural, el cual se encuentra destruido por la acción del mar. El anteproyecto estableció un muro de 900 metros de longitud, el cual tendría que tener una altura mayor que la existente. El volumen de enrocado estimado fue de 48.000 m<sup>3</sup>, repartido entre piedra para coraza (piedra más grande), capa intermedia y filtro. Con esta alternativa no era posible recuperar la playa.

- **Escolleras costa afuera y muro marginal de enrocado**

Consiste en la construcción de cinco escolleras costa – afuera ( offshore groins ), dispuestas paralelas al Malecón, y la reconstrucción del muro de contención de este. Se estimó en el diseño preliminar un total de 450 metros de longitud de escolleras y 900 metros de longitud para el muro.

Esta alternativa permite proteger el oleaje al Malecón, a la vez que induce al arenamiento de la playa, proporcionando la recuperación de la misma.

- **Regeneración de la playa**

Consiste en la colocación de 250.000 m<sup>3</sup> de arena sobre la playa, frente al sector del Malecón, mediante el dragado de zonas cercanas a este. Como medida complementaria esta alternativa contempla la reconstrucción del muro del Malecón con piedras de pequeño y mediano peso. (rip-rap)

Con esta alternativa se puede controlar la erosión, pero su costo de mantenimiento es alto, el cual no esta en capacidad de afrontar el Municipio de La Libertad.

Todas las alternativas mencionadas fueron evaluadas técnicamente y en sus costos. De igual forma se discutieron las mismas con los Consultores de las áreas de estructuras, urbanismo y medio ambiente, así como con las autoridades del Municipio del cantón. Finalmente se seleccionó la segunda alternativa, de las escolleras y el muro de enrocado de contención como la mas apropiada para desarrollar el diseño definitivo del proyecto, ya que asegura la defensa de la costa y permite la recuperación de parte de la arena de la playa. El Municipio de la ciudad planteó para una etapa posterior, la colocación de arena atrás de las estructuras, cuando tenga los fondos para estos trabajos.

#### **4. DISEÑO DE LAS OBRAS COSTERAS**

Las características estructurales de las escolleras y del muro de enrocado del Malecón fueron determinadas para cumplir con las normas establecidas por el CERC de Estados Unidos ( US Army Coastal Engineering Research Center, 1984), así como las recomendaciones formuladas por Van der Meer ( 1993 ). Se utilizó como apoyo programas de cálculo para este tipo de estructuras.

Las siguientes son las principales características estructurales de las escolleras costa – afuera:

1. Piedra de coraza: 4.5 toneladas para el tronco, y 5 toneladas para la cabeza, en el talud exterior.  
En el talud interior se colocarán piedras de 1 tonelada de peso, ya que está previsto que el oleaje rebasará eventualmente a la escollera.
2. Peso promedio de la piedra de la capa intermedia: 400 Kg.
3. Piedra para el núcleo: Cascajo grueso, clasificado, de 2 a 30 Kg. de peso.
4. Longitud total de las cinco escolleras: 453 m
5. Separación entre escolleras: variable, entre 55 y 67 m
6. Longitud del acceso a las escolleras desde la cota: 80m
7. Talud exterior: 1:2, talud interior 1:15
8. Corona de las escolleras: cota + 4.3 m referida al nivel medio de bajamares de sicigia (M.L.W.S.)

En la figura 5 se presenta la implantación de las escolleras costa – afuera.

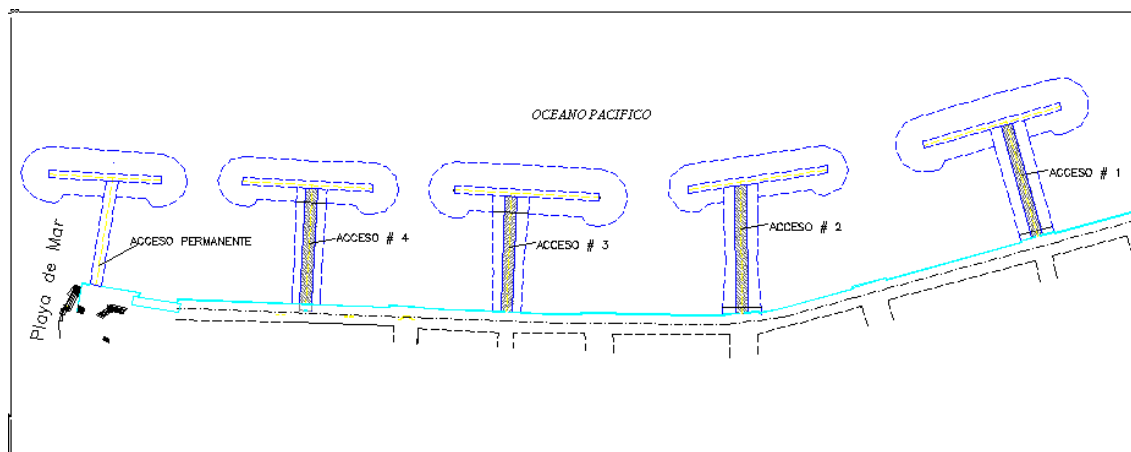


Figura 5: Implantación escolleras costa – afuera

El diseño también consideró que la construcción de las estructuras costa-afuera sería ejecutada con equipo convencional de obras en tierra, tales como bulldozers, excavadoras y volquetas, para lo cual se hacía necesario construir una vía perpendicular a la playa, a la que se la denominó accesos, conformando un espigón tipo T. Estos accesos a cada una de las 5 escolleras tendrían que ser posteriormente retirados, al final del proceso constructivo. Para analizar los posibles impactos de las obras marinas sobre el sector de costa a proteger y sobre las playas vecinas, en el Estudio e Impacto Ambiental ( Chang, 2001 ), se corrió el programa GENESIS. Se recomendó que los accesos debían ser retirados para reducir el impacto sobre la erosión que ya existía en playas vecinas, particularmente en La Carioca, ubicada al este del proyecto. A pedido de las autoridades del Municipio se acordó, previo análisis con el modelo matemático mencionado, dejar en forma permanente el acceso a la escollera 5, para permitir su aprovechamiento para fines turísticos.

El diseño incluyó todas las especificaciones técnicas requeridas para la construcción de las obras mencionadas. En la Fig. 6 se presenta una sección estructural de las escolleras costa-afuera, y en la Fig. 7 consta una sección típica del muro de contención. El material de la piedra de coraza para el muro de contención tiene un peso variable, entre 1.5 y 4.5 toneladas en función de la altura del oleaje que es reducido en su energía por la presencia de las escolleras costa-afuera.

El nuevo ancho del Malecón fue establecido en 12 metros, y fue concebido por los arquitectos urbanistas del Proyecto, como de circulación vehicular restringida. El costo de las obras de protección costeras aquí descritas fue estimado en alrededor de tres millones de dólares. El costo total de la regeneración urbana de todo el Malecón de La Libertad, incluyendo la reconstrucción de la vía, el mobiliario urbano y las obras de protección costera, fue estimado en alrededor de ocho millones de dólares.

## 5. CONSTRUCCIÓN DE LAS DOS PRIMERAS ESCOLLERAS

La ejecución del Proyecto de Restauración del Malecón se inició el día 26 de julio del año 2002, con la firma del contrato para la construcción de las escolleras # 4 y 5, que están ubicadas en el sector de la Caleta, en la parte este del Malecón. El valor del contrato fue de alrededor de 800.000 dólares, y el plazo de ejecución fue establecido en 120 días calendario.

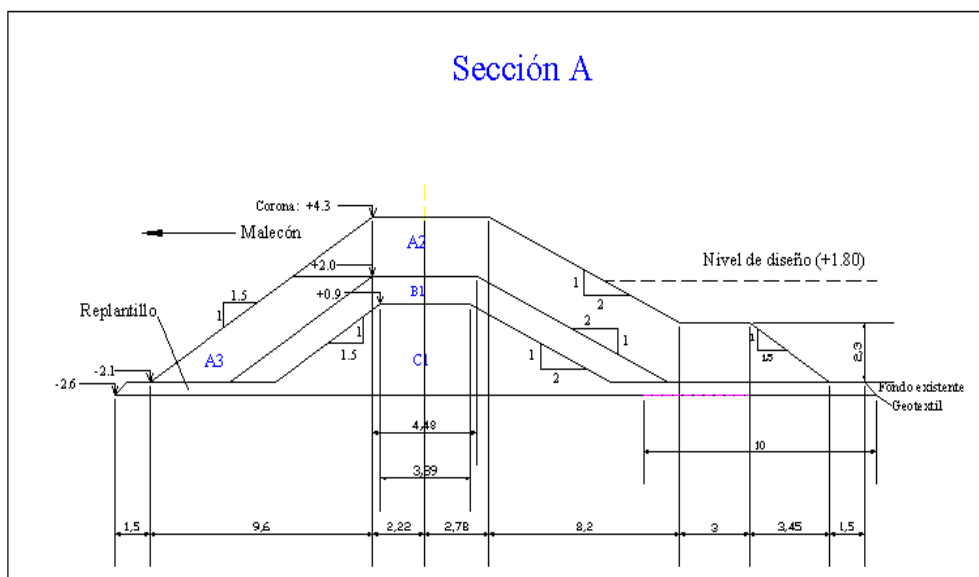


Fig. 6 Sección típica de las escolleras costa-afuera

El proceso constructivo consistió en desarrollar una cantera para la producción de los enrocados, localizada a 11 Km del sitio de la obra. Primeramente se construyeron los accesos a las 2 escolleras para posteriormente ejecutar la # 4, y luego la # 5. Hubo etapas de la obra en que se construyeron simultáneamente las dos estructuras. Debido a que se efectuaron modificaciones en el diseño, y que se tuvieron retrasos en el proceso, la construcción fue culminada en algo más de 6 meses.

Los resultados indican que las dos escolleras funcionan eficientemente en reducir la energía de las olas que inciden sobre el Malecón. La playa ha empezado a recuperarse en el sector de las escolleras, donde el nivel de la arena ha aumentado entre 0.5 y 2 metros.

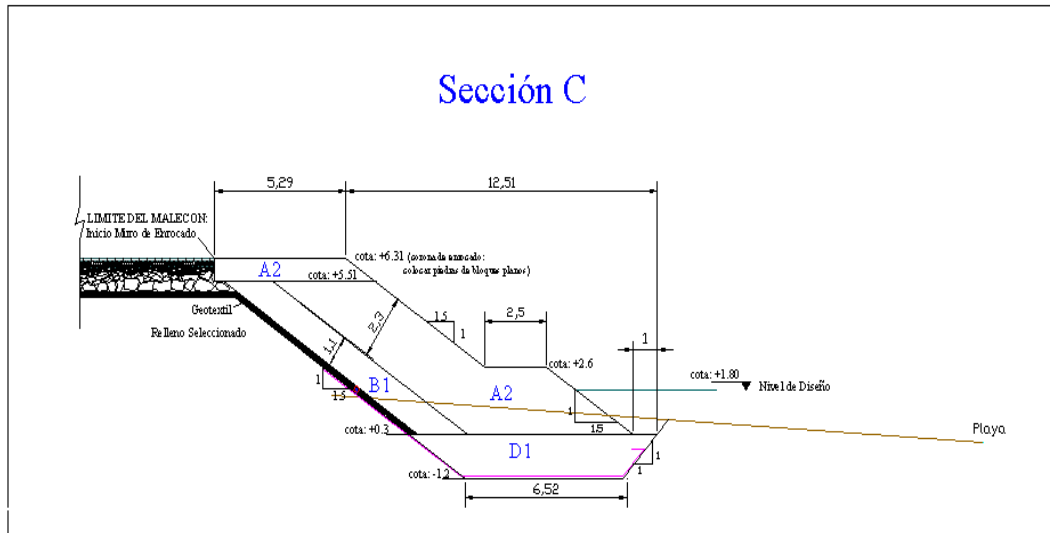


Fig. 7 Sección típica del muro de contención de enrocado para el Malecón

Desde el punto de vista social, la población de La Libertad ha vuelto a utilizar su playa y su Malecón, y se ha iniciado la reactivación del sector.

A mediados del año 2004 se ejecutó la reconstrucción de los primeros 200 metros del muro de contención, se trazó la nueva línea del borde del Malecón y se elevó su nivel. La nueva estructura probó que puede controlar adecuadamente los oleajes de tormenta que provienen del hemisferio norte, entre los meses de diciembre y marzo, que son los de mayor intensidad en la zona y generan los máximos run-up, ya que se trata de mares de leva con períodos de más de 18 segundos. En los próximos meses se completará la construcción de las obras marítimas, para continuar posteriormente con la restauración del resto del Malecón de la ciudad.

### **CONCLUSIONES:**

La solución propuesta en el presente trabajo, para la defensa costera de La Libertad, consiste en la construcción de cinco escolleras costa – afuera, y en la reconstrucción integral del muro de contención de enrocado. Esta doble defensa asegura que se pueda desarrollar el nuevo Malecón de la ciudad, permitiendo la regeneración urbana del sector.

El sistema de escolleras costa-afuera puede ser construido por etapas, en función de la disponibilidad de fondos que posea el Municipio de la ciudad. Como un beneficio adicional del sistema propuesto, se tiene que se producirá el arenamiento de la costa lo cual dará como resultado la recuperación de parte de la playa que antiguamente existió en La Libertad. En el futuro, se podrá colocar más arena en la playa por medios mecánicos.

A la fecha, se han construido las dos primeras escolleras del proyecto, y se ha reconstruido 25 por ciento de la longitud del muro de contención. Los resultados indican que la erosión de la costa ha sido controlada en el sector de estas estructuras, y que la energía del oleaje incidente sobre el Malecón ha sido reducida considerablemente. Igualmente se ha iniciado la recuperación de la playa debido al arenamiento que producen las dos escolleras mencionadas.

### **REFERENCIAS:**

1. SÁNCHEZ E. , “DISEÑO DE LAS OBRAS DE PROTECCIÓN COSTERA DEL MALECÓN DE LA LIBERTAD, PROVINCIA DEL GUAYAS” . Reporte Interno que forma parte del Informe Final para la Restauración del Malecón de La Libertad. ESPOL. 2001.
2. CORNEJO M.P. “ ESTUDIO OCEANOGRÁFICO ”. Reporte Interno que forma parte del Informe Final para la Restauración del Malecón de La Libertad, ESPOL 2001.
3. ALLUCA S y CARDIN V, Análisis de las olas en la costa central del Ecuador, Acta Oceanográfica del Pacífico, Vol IV, INOCAR (1987) pp. 12 – 22.
4. CHAVEZ M.A. , “ ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO “. Reporte Interno que forma parte del Informe Final para la Restauración del Malecón de La Libertad, ESPOL. 2001
5. L. VERA, “ANÁLISIS DE LOS PROCESOS COSTEROS EN LA LIBERTAD”, Tesis de Grado de Oceanografía, Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2000.
6. U.S. ARMY COASTAL ENGINEERING RESEARCH CENTER, Shore Protection Manual, Vols. I y II, CERC (1984), pp 213 – 231.
7. VAN der MEER J.W. , “CONCEPTUAL DESIGN OF RUBBLE MOUND BREAKWATERS“, Delft Hydraulics, H 1509, 1993..
8. CHANG J. , “ ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL “ . Reporte Interno que forma parte del Informe Final para la Restauración del Malecón de La Libertad, 2001.