



Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra.

**"DISEÑO DE LAS OBRAS DE PROTECCIÓN
COSTERA DEL MALECÓN DE LA LIBERTAD,
PROVINCIA DEL GUAYAS"**

TESIS DE GRADUACIÓN

Previa a la revalidación del Título de

INGENIERO CIVIL

Presentada por:

Enrique Sánchez Cuadros

GUAYAQUIL - ECUADOR

AÑO - 2003

AGRADECIMIENTO

Al Ing. Miguel Angel Chávez,
por su colaboración como
Director de la presente Tesis.

DECLARACION EXPRESA

“La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis, nos corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la **ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL**”

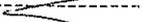
(Reglamento de Exámenes y Títulos profesionales de la ESPOL)

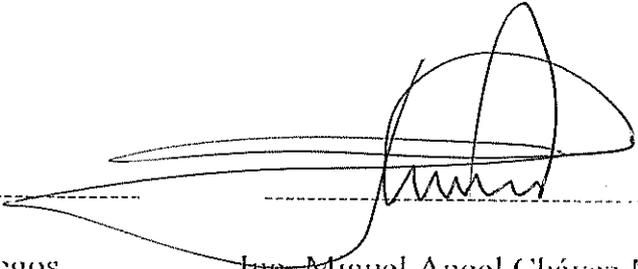

Enrique Sánchez Cuadros



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

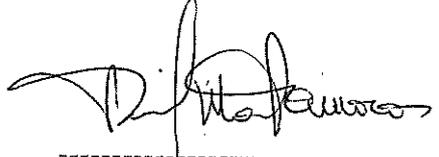

Ing. Ricardo Gallegos


Ing. Miguel Angel Chávez M.

DECANO FACULTAD F.I.C.T. **DIRECTOR DE TESIS**


Ing. José Chang G.

Vocal


Ing. David Matamoros C.

Vocal



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

RESUMEN

La erosión que experimentó la playa de La Libertad desde principios de la década de los 70, provocó que se perdiera la mayor parte de la arena y trajo como consecuencia la destrucción del Malecón de la ciudad.

En la presente Tesis se presentan los resultados del Estudio que realizó el autor, como parte del equipo de especialistas de la ESPOL, para investigar el problema erosivo, y elaborar el diseño definitivo de las obras de protección costera que son necesarias para estabilizar la costa. El diseño también abarcó la protección del nuevo muro de contención del Malecón de la ciudad.

Los estudios básicos de ingeniería permitieron establecer las condiciones geotécnicas, oceanográficas y ambientales necesarias para el diseño.

De esta forma, se plantearon tres alternativas de diseño para las obras costeras, con algunas variantes en las mismas, las cuales fueron evaluadas en cuanto a sus características técnicas y sus costos.

Se determinó que la mejor alternativa para la estabilización de la costa, y para la protección del nuevo Malecón contra el ataque del oleaje, consistía

en la construcción de cinco escolleras costa–afuera, y el revestimiento con enrocado a lo largo del Malecón.

Las escolleras costa–afuera están alineadas en forma paralela al Malecón, totalizando entre ellas 453 metros de longitud, y tienen una separación promedio a nivel de la corona, de 60 metros. La longitud del revestimiento de enrocado del muro de contención del Malecón es de 820 metros. El proyecto de las obras de protección costera fue concebido para ser desarrollado por etapas, para que se ajuste a la disponibilidad de fondos del Municipio. Su costo estimado fue de 3'126.249 dólares.

En el presente trabajo también se describe el proceso constructivo que se siguió para la ejecución de las dos primeras escolleras del proyecto. Los resultados obtenidos hasta la presente indican, que a pesar de no haberse construido la protección completa del Malecón, se ha iniciado la recuperación de la playa, debido al arenamiento de la misma en un espesor que varía entre 0.5 y 2.0 metros. Adicionalmente, la reducción de la energía de las olas sobre la mayor parte del Malecón, asegura que el diseño de las obras propuestas en este trabajo cumpla con los objetivos planteados.

INDICE GENERAL

| | Pag. |
|-------------------------------|-------------|
| RESUMEN..... | I |
| INDICE GENERAL..... | III |
| INDICE DE FIGURAS..... | IX |
| INDICE DE TABLAS..... | XIII |
| INDICE DE FOTOS..... | XV |

I. GENERALIDADES

| | |
|--------------------------------|---|
| 1.1 Introducción. | 1 |
| 1.2 Justificación del Proyecto | 3 |

II. CONDICIONES FÍSICAS DEL SITIO DEL PROYECTO

| | |
|--|----|
| 2.1 Condiciones Oceanográficas | |
| 2.1.1 Características generales del área | 7 |
| 2.1.2 Corrientes marinas | 10 |
| 2.1.3 Mareas | 17 |
| 2.1.4 Nivel del mar y cambio climático | 18 |

| | |
|---|----|
| 2.1.5 Olas | |
| 2.1.5.1 Régimen de olas | 20 |
| 2.1.5.2 Estadísticas de olas | 21 |
| 2.1.5.3 Dirección de olas | 22 |
| 2.1.5.4 Olas generadas por viento local | 28 |
| 2.1.5.5 Olas rompientes | 29 |
| 2.1.5.6 Condiciones máxima de olas | 30 |
| 2.1.6 Vientos | 32 |
| 2.1.7 Transporte litoral | 36 |
| 2.2 Características batimétricas y topográficas | 38 |
| 2.3 Características geotécnicas | 40 |
| 2.3.2 Condiciones geológicas | 40 |
| 2.3.2 Condiciones geotécnicas | 44 |
| 2.4 Definición del problema erosivo | 46 |

III. ALTERNATIVA DE DISEÑO PARA LA PROTECCIÓN COSTERA

| | |
|--------------------------|----|
| 3.1 Criterio de diseño | 51 |
| 3.1.1 Criterio funcional | 51 |

| | |
|---|----|
| 3.1.2 Criterio oceanográfico | 52 |
| 3.2 Diseño conceptual de las alternativas | 53 |
| 3.3 Alternativa de diseño seleccionada | 61 |
| 3.3.1 Aspectos técnicos | 61 |
| 3.3.2 Aspectos de costos | 63 |
| 3.3.3 Selección de la alternativa | 63 |

IV DISEÑO DEFINITIVO

| | |
|-------------------------------|----|
| 4.1 Escollera costa – afuera | 65 |
| 4.2 Muro marginal de enrocado | 80 |

V. IMPACTO AMBIENTAL

| | |
|---|----|
| 5.1 Síntesis de los resultados del Estudio de Impacto Ambiental | 90 |
| 5.2 Nuevas zonas para el desarrollo de playa y uso turístico | |
| 5.2.1. Consideraciones generales | 94 |
| 5.2.2. Zona de desarrollo turístico localizado junto al Hotel Samarina. | 96 |
| 5.2.3 Zona para uso turístico de playa en el sector Cautivo | 98 |

VI ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

| | |
|-------------------------------------|-----|
| 6.1 Elementos estructurales | 103 |
| 6.1.1 Escollera costa – afuera | 103 |
| 6.1.2 Muro de enrocado | 105 |
| 6.1.3 Características estructurales | 106 |
| 6.2 Procedimientos constructivos | 106 |
| 6.2.1 Metodología general | 106 |
| 6.2.2 Nivel de referencia | 112 |
| 6.2.3 Control de los materiales | 112 |
| 6.3 Volúmenes de obra | 113 |
| 6.4 Costos de la construcción | 114 |

VII CONSTRUCCIÓN DE LAS PRIMERAS DOS ESCOLLERAS

| | |
|--|-----|
| 7.1 Contratación de la obra | 120 |
| 7.2 Síntesis sobre el proceso constructivo | 120 |

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

ANEXOS

BIBLIOGRAFÍA

INDICE DE FIGURAS

| N° | Detalle | Pág |
|-----------|--|------------|
| Figura 1 | Localización general del área de estudio | 7 |
| Figura 2 | Corrientes superficiales determinadas por el método lagrangiano durante las mareas de sicigia. | 9 |
| Figura 3 | Corrientes superficiales determinadas por el método lagrangiano durante las mareas de sicigia | 15 |
| Figura 4 | Corrientes superficiales determinadas por el método lagrangiano durante las mareas de cuadratura | 16 |
| Figura 5 | Distribución de la probabilidad de escedencia de las alturas significativas en Monteverde y La Libertad, método Draper | 23 |
| Figura 6 | Diagrama de refracción para una ola proveniente del 330° y un periodo de 12 segundos en La Libertad | 25 |
| Figura 7 | Diagrama de refracción para una ola proveniente del 330° y un periodo de 15 segundos en La Libertad | 26 |

| | | |
|-----------|---|----|
| Figura 8 | Diagrama de refracción para una ola proveniente del 330° y un periodo de 21 segundos en La Libertad | 27 |
| Figura 9 | Distribución de los vientos de Enero a Junio para el periodo 1945-1977. Fuente ATLAS METEREOLÓGICO DE INOCAR | 34 |
| Figura 10 | Distribución de los vientos de Julio a Diciembre para el periodo 1945-1977. Fuente ATLAS METEREOLÓGICO DE INOCAR | 35 |
| Figura 11 | Batimetría del área del proyecto referida al MLWS | 39 |
| Figura 12 | Variación del estrato rocoso bajo el Malecón y la playa | 47 |
| Figura 13 | Alternativa 1. Muro de enrocado en el Malecón | 55 |
| Figura 14 | Sección típica de la escollera y del acceso para la Alt. 2 | 57 |
| Figura 15 | Variante de Alt. 2: Muro mixto de enrocado con caisson en la parte superior | 59 |
| Figura 16 | Coefficientes de difracción (k_d) entre las escolleras, para las olas provenientes del norte y periodo de 16 seg. | 71 |

| | | |
|-----------|--|----|
| Figura 17 | Secciones típica para el tronco de la escollera costa – afuera | 75 |
| Figura 18 | Sección típica de la cabeza (extremo) de las escolleras costa - afuera | 76 |
| Figura 19 | Implantación de los accesos para las escolleras | 77 |
| Figura 20 | Sección típica para las accesos a las escolleras costa-afuera | 77 |
| Figura 21 | Sección a lo largo del eje de acceso a la escollera # 5 | 79 |
| Figura 22 | Sección típica del muro de enrocado en la zona sin protección de las escolleras costa – afuera (sector este) | 86 |
| Figura 23 | Sección típica del muro en los tramos ubicados entre las escolleras | 87 |
| Figura 24 | Sección típica del muro de enrocado en los tramos bien protegidos por las escolleras | 88 |
| Figura 25 | Sección típica de la estructura del nuevo Malecón de la Libertad | 89 |

| | | |
|-----------|---|-----|
| Figura 26 | Área para concesión o uso turístico | 97 |
| Figura 28 | Zona para uso turístico en playa de Cautivo (sector oeste) | 99 |
| Figura 29 | Zona para uso turístico en playa de Cautivo (sector este) | 100 |

INDICE DE TABLAS

| Nº | Detalle | Pág |
|------------|--|------------|
| Tabla I | Niveles de marea para La Libertad (Fuente ESPOL 2001) | 18 |
| Tabla II | Valores característicos de olas para La Libertad | 31 |
| Tabla III | Especificaciones técnicas: escollera costa - afuera | 107 |
| Tabla IV | Especificaciones técnicas del muro de enrocado | 108 |
| Tabla V | Especificaciones técnicas: acceso permanente a escollera 5 | 109 |
| Tabla VI | Especificaciones técnicas: accesos permanente a escolleras 1 – 4 | 109 |
| Tabla VII | Volúmenes de obra para las escolleras y el muro enrocado | 115 |
| Tabla VIII | Costo de construcción de la escollera costa – afuera | 117– 118 |
| Tabla IX | Costo de construcción del muro de enrocado | 119 |

INDICE DE FOTOS

| N° | Detalle |
|--------|--|
| Foto 1 | Playa de La Libertad antes de la construcción (año 2002) |
| Foto 2 | Sector oeste del Malecón antes de la construcción (año 2002) |
| Foto 3 | Recubrimiento de la tubería de AA.SS con geotextil, previo a la construcción de las escolleras |
| Foto 4 | Inicio de la construcción de la escollera # 4 |
| Foto 5 | Cantera para producción de los enrocados |
| Foto 6 | Toma de muestras para control de los materiales de la cantera |
| Foto 7 | Ancho de accesos permitió el paso simultaneo de volqueta y retroexcavadora |
| Foto 8 | Piedras de coraza de 4 a 5 toneladas de peso |
| Foto 9 | Colocación de la berma en el talud exterior de las escolleras costa afuera |

- Foto 10 Talud exterior de las escolleras terminado
- Foto 11 Corona de las escolleras recubierta con enrocado
- Foto 12 Arenamiento de la playa junto a la escollera # 4
- Foto 13 Recuperación de la playa de La Libertad
- Foto 14 Vista aérea de la escollera # 4 y 5
- Foto 15 Escollera # 5 adoquinada
- Foto 16 Sesión del Concejo Cantonal sobre la escollera # 5

I GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

La Libertad es una población que ha experimentado un rápido desarrollo comercial, especialmente en los últimos veinte años. Habiendo sido inicialmente una parroquia del cantón Salinas, su pujante desarrollo la elevó posteriormente a la categoría de cantón, convirtiendo a La Libertad en su cabecera cantonal.

En la actualidad La Libertad es básicamente un cantón urbano, con 23 kilómetros cuadrados de extensión, y una población de 77.000 habitantes, que se ha convertido en el centro comercial de la península de Santa Elena. Como ejes de su desarrollo están las refinerías de Petroecuador y de Cautivo, el muelle petrolero, y su parte comercial. Desde el punto de vista turístico, este cantón es básicamente, de servicios al turista que visita las playas de la Península. En el pasado, La Libertad también fue un balneario, pero perdió esta condición cuando desapareció su 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. Estas obras fueron ejecutadas con fallas de diseño, y sin tomar en consideración la variabilidad natural de la zona costera, lo cual se constituyó en uno de los factores que provocó una acelerada erosión de la playa que existía en el sector. El deterioro de la misma agravó el problema de la utilización del malecón como zona de desarrollo del Cantón, al no contar con las obras de protección adecuadas para su seguridad contra el ataque del mar.

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.

1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

La M. I. Municipalidad del Cantón La Libertad, presidida por el Alcalde Ing. Patricio Cisneros, 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 este cantón.

Para cumplir con este propósito, la ESPOL planteó desarrollar los Estudios y los diseños en dos etapas. La primera etapa consistió en la generación de las alternativas para el Proyecto, concernientes al diseño preliminar de las opciones, la evaluación de su factibilidad, la estimación de los costos, y del impacto ambiental general. En esta misma etapa se

recomendó la alternativa más conveniente para la ejecución del Proyecto del Malecón. En la segunda etapa se presentaron los diseños definitivos, cálculos, planos, especificaciones, presupuestos de obra, y el plan de manejo ambiental del Proyecto.

Los estudios mencionados comprendieron las siguientes áreas:

1. Estudios básicos de oceanografía, topografía, batimetría, geotecnia y ambientales.
2. Diseños arquitectónicos y urbanísticos
3. Diseño de obras civiles: estructuras, obras geoténicas y sanitarias
4. Diseño de obras civiles para la protección costera del Malecón
5. Estudio de Evaluación de Impactos Ambientales
6. Presupuestos, cronogramas de ejecución, y especificaciones técnicas

El objetivo de esta Tesis es el de presentar el diseño de las obras de protección costera que son 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 a la erosión.

Este documento recoge el trabajo profesional que fue desarrollado por el suscrito, como responsable del programa de diseño de las obras de protección costera, en los Estudios para la Restauración del Malecón de La Libertad que elaboró la ESPOL para la M.I. Municipalidad del cantón (2001). Los Estudios fueron entregados en mayo del año 2001.

En el mes de agosto del año 2002 se inició la construcción del proyecto, con la ejecución de las dos primeras escolleras costa-afuera. Durante el año 2003 está planificado completar la ejecución de las escolleras

restantes, para inmediatamente iniciar la reconstrucción del Malecón de la ciudad. En la presente Tesis se incluye una síntesis sobre el proceso de construcción seguido para las dos escolleras mencionadas, 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.

II CONDICIONES FÍSICAS DEL SITIO DEL PROYECTO

2.1 CONDICIONES OCEANOGRÁFICAS

2.1.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA

El cantón La Libertad se encuentra ubicado en la Península de Santa Elena, en la provincia del Guayas, y su costa está relativamente protegida del oleaje y del viento, por la Puntilla de Santa Elena, como se muestra en la Fig. 1.

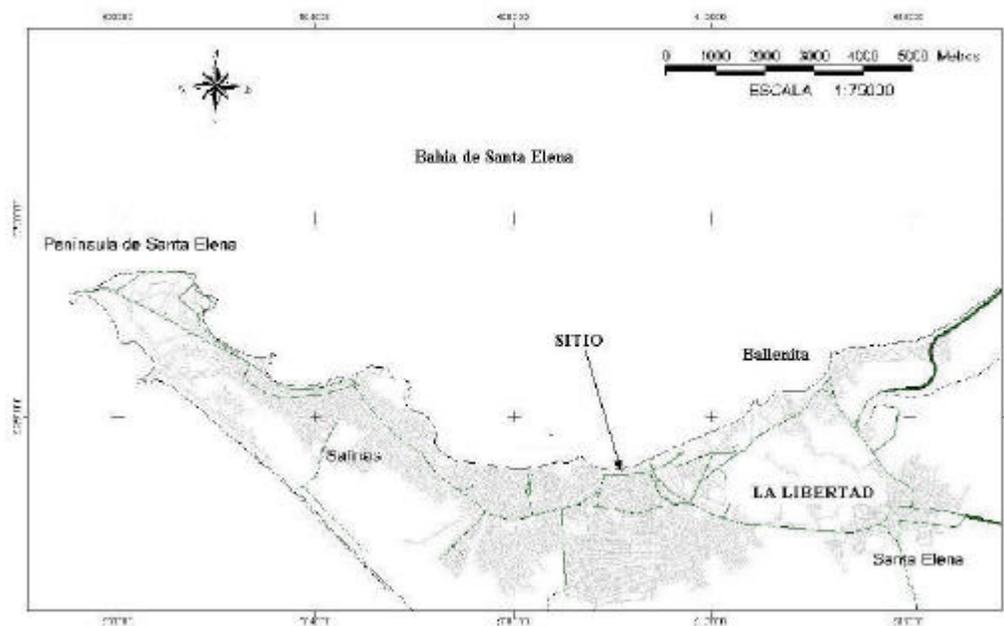


Figura 1: Localización general del área de estudio

La Libertad tiene un clima que se lo clasifica como de desierto tropical, la corriente fría de Humboldt y la corriente cálida del Niño son factores determinantes de la climatología de la región. El promedio anual de temperatura del aire es de 24° C, y su precipitación oscila entre 1.8 mm en época seca y 69.9 mm en época húmeda. Durante el fenómeno El Niño las precipitaciones se incrementan considerablemente, como ocurrió durante el marzo de 1998, en que se registró un valor de 682 mm (Vera 2001).

La zona se compone de pampas y colinas, y su franja costera presenta un relieve en general plano con ciertas salientes rocosas que se prolongan hacia el mar en varios cientos de metros, lo que da lugar a la formación de playas embolsadas.

De los 4.5 kilómetros de costa que tiene el cantón, aproximadamente 0.9 Km corresponden al Malecón de La Libertad. 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).

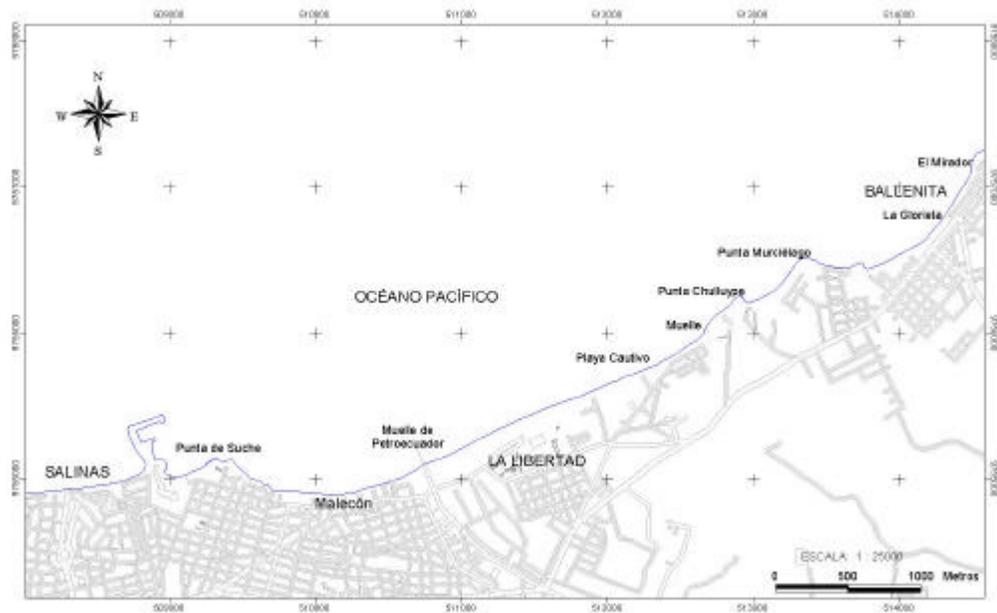


Figura 2: Perfil costanero del cantón La Libertad

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.

La zona se caracteriza por su directa exposición al mar, con una costa de acantilados bajos que se proyecta hacia este con una terraza submarina, y con la playa que está cubierta por los sedimentos arenosos, que tienen un espesor variable. Así, existen sectores de la playa en que los sedimentos que se asientan sobre la plataforma rocosa de abrasión han sido removidos casi totalmente, especialmente cerca de la Caleta, debido al proceso erosivo del mar. Hacia el este, en particular en la playa de Cautivo, el espesor de la arena de la playa es mayor debido a que el estrato rocoso se profundiza.

En síntesis, debido a su exposición directa al mar, la costa del cantón La Libertad se encuentra influenciada por los diferentes agentes naturales que modelan su forma, y que intervienen en la composición de las características y de los procesos litorales. La intervención del hombre en el ambiente costero se ha producido por la construcción del malecón, del muelle de Petroecuador, de movimientos de tierra, y de otras obras de infraestructura. Esto ha derivado en la alteración de los procesos físicos naturales, y por tanto ha modificado la costa y el ambiente marino de sus alrededores.

2.1.2 CORRIENTES MARINAS

La mayoría de los estudios en la zona costera de Ecuador son muy locales, se limitan a zonas especiales de manejo sea para inversiones, desarrollo de infraestructura física o de turismo, por lo cual no se encuentra con una descripción completa de la circulación costera.

En el presente caso de La Libertad existen varios estudios generales de la circulación frente al puerto de La Libertad, usando flotadores (Método Lagrangiano) tipo veletas, tanto superficiales como subsuperficiales (Allauca y Lucero, 1992; INOCAR, 1995; Vera, ESPOL 2001). Este sistema sirve para determinar el patrón de corrientes durante las dos fases de mareas (sicigia y cuadratura), más no nos da información del sistema de circulación en el largo plazo.

Allauca y Lucero (1992) concluyeron que para La Libertad, y durante los meses de julio-agosto, la tendencia general del flujo es de dirigirse hacia el este, con variaciones durante las mareas de sicigia cuando las corrientes de marea son muy fuertes. Los valores promedio para las observaciones

en superficie (medio metro) y fondo (5m) fueron respectivamente 0,35cm/s y 0,24cm/s.

INOCAR (1995) analizó el patrón de circulación tanto con flotadores (Método Lagrangiano durante octubre de 1994 y marzo de 1995), como con un correntómetro (Método Euleriano durante octubre-diciembre de 1994 y febrero-abril de 1995), para las dos estaciones del año: seca y lluviosa. Los principales resultados indicaron que, independientemente de la estación del año, la circulación lagrangiana se dirige hacia el noreste con valores promedio de 0,18m/s en superficie y 0,15m/s a 3m de profundidad, con cambios temporales debido al efecto de las mareas.

En las mediciones de INOCAR también se observó que frente al Malecón de La Libertad se producían con alguna frecuencia corrientes superficiales y de fondo que se dirigían saliendo de la costa, con dirección norte.

Además de las corrientes marinas costa-afuera, INOCAR efectuó observaciones de las corrientes litorales, muy cerca de la playa, las cuales son originadas fundamentalmente por las olas rompientes. Los

resultados sobre el comportamiento de las corrientes litorales en la costa de La Libertad observado en el estudio de INOCAR, constan en la Tesis de Grado de la ESPOL efectuada por Vera (2001). En general, se encontró que las corrientes litorales se dirigen predominantemente hacia el este, es decir hacia Punta Chuyuipe, y son de moderada magnitud. Estas corrientes son interrumpidas por la presencia de corrientes de resaca que sacan la arena de la playa, hacia el mar.

Por su parte, la ESPOL también realizó mediciones de las corrientes marinas costa-afuera, y de las corrientes litorales, como parte del proyecto de restauración del Malecón de La Libertad.

Para las corrientes costa - afuera, se encontró que en la zona del malecón de La Libertad, desde Punta Suche hasta el muelle de Petroecuador, las corrientes son casi siempre perpendiculares a la costa, sea saliendo o entrando (dependiendo esto de la fase de marea), lo que implica que exista poca playa en esta zona debido a que estas corrientes tienden a erosionarla y a llevarse el material hacia mar afuera. Desde el muelle de Petroecuador hasta el muelle de Ecuatún, en el sector de Chuyuipe, las corrientes son casi siempre paralelas a la costa, no

muy erosivas, y están en concordancia con una playa que es mas ancha y estable. También se notó la presencia de corrientes de resaca en este sector.

El patrón de circulación obtenido por ESPOL es, en general, similar al observado por INOCAR en 1994-1995. En las figuras 3 y 4 se presenta la tendencia de las corrientes marinas frente a la costa de La Libertad.

Por su parte, las corrientes litorales observadas por ESPOL, fueron de baja a moderada magnitud, con la mayor parte del tiempo menores que 0.2 m/s, y con valores máximos de 0.5 m/s. Al igual que en el estudio de INOCAR, en gran parte del frente costero del cantón, las corrientes litorales se dirigieron predominantemente hacia el este, esto es hacia Punta Chuyuipe.

Como conclusión sobre el efecto de las corrientes sobre el problema erosivo de la playa de La Libertad, se puede anotar 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. Estos flujos

en la zona litoral constituyen el principal agente que mueve la arena de la playa.

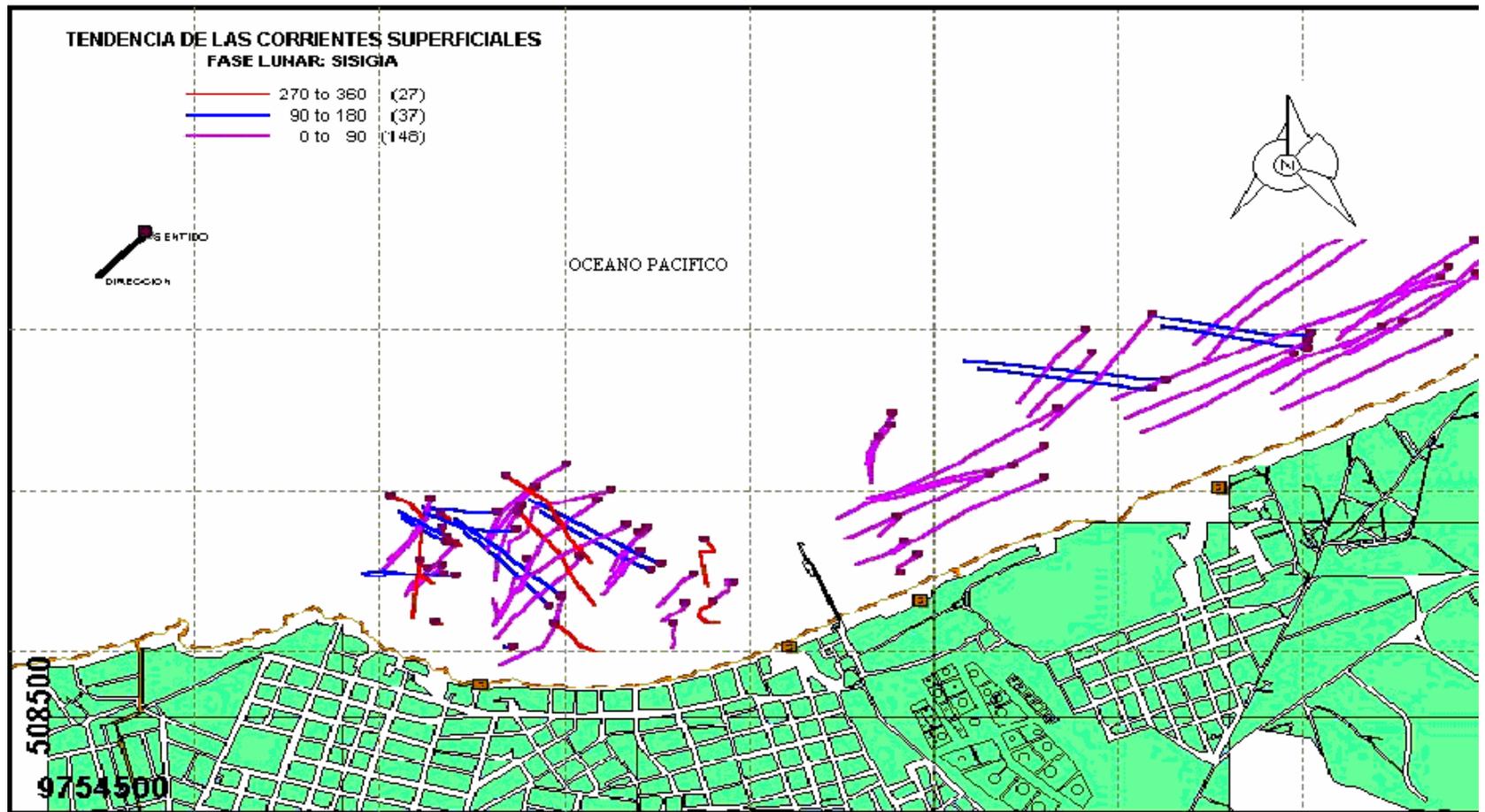


Fig. 3 CORRIENTES SUPERFICIALES DETERMINADAS POR EL METODO LAGRANGIANO DURANTE LAS MAREAS DE SICIGIA

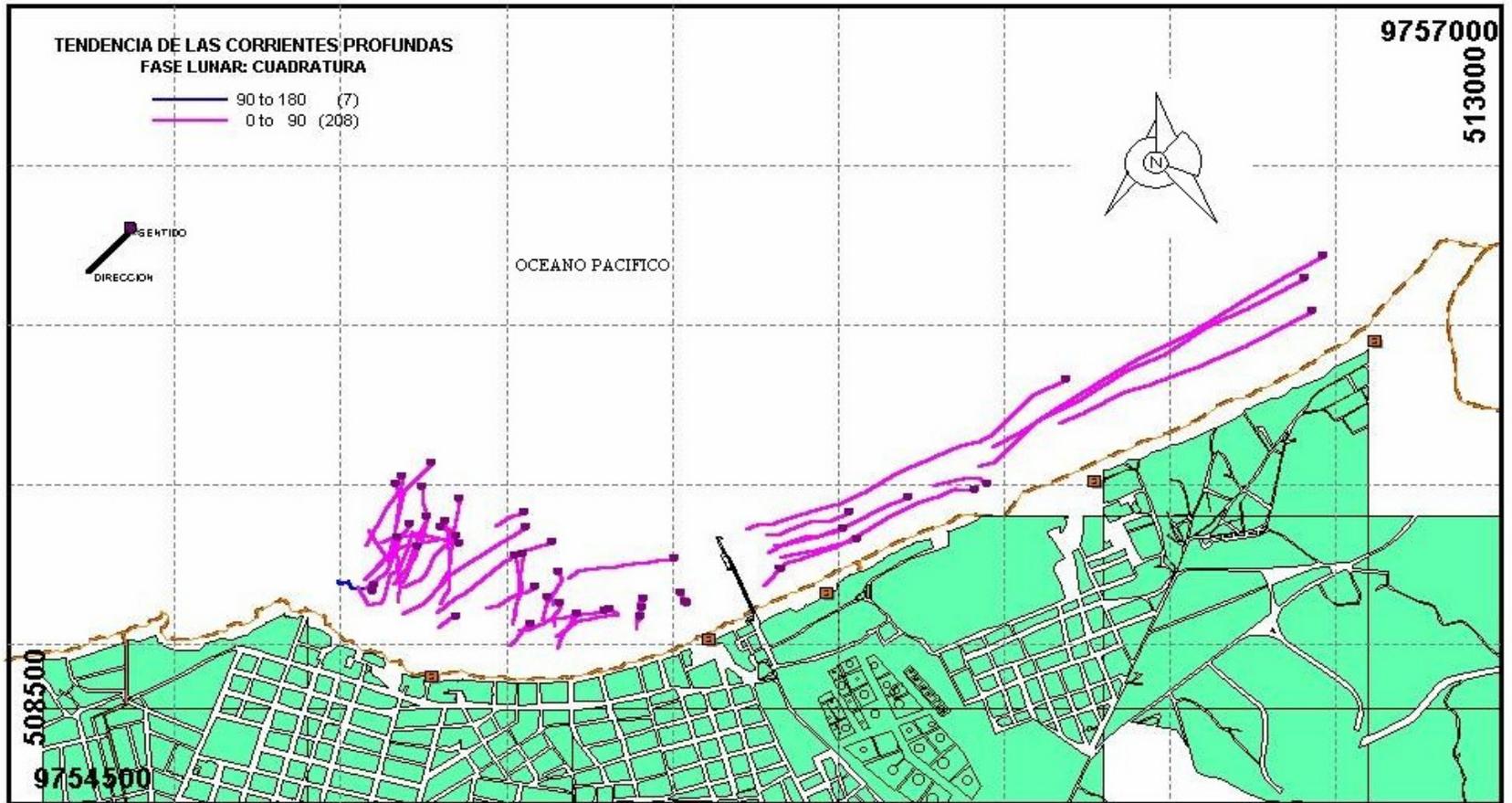


FIGURA 4: CORRIENTES SUPERFICIALES DETERMINADAS POR EL METODO LAGRANGIANO DURANTE LAS MAREAS DE CUADRATURA.

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.

2.1.3 MAREAS

La marea en el área de estudio, como en toda la costa ecuatoriana, es del tipo semidiurna, caracterizada por presentar 2 pleamares y 2 bajamares sucesivas en un intervalo de 24 horas y media aproximadamente.

En la costa de La Libertad las amplitudes de las pleamares oscilan entre 2.6 metros durante la condición de marea de sicigia (“aguaje”), y 1.4 metros durante la cuadratura (“quiebra”). Los niveles de mareas de

| <u><i>Nivel</i></u> | <u><i>Elevación</i></u> (Sobre el nivel de las mareas más bajas) |
|--|---|
| Promedio de las mareas más altas de sicigia (M.H.W.S.) | +2.60 m |
| Promedio de todas las pleamares (M.H.W.) | +2.15 m |
| Nivel medio del mar (N.M.M.) | +1.21 m |
| Promedio de todas las bajamares (M.L.W.) | +0.50 m |
| Promedio de las mareas más bajas de sicigia (M.L.W.S.) | 0.00 m |

Tabla I. Niveles de marea para La Libertad (Fuente ESPOL 2001)
utilidad para el presente diseño constan en la Tabla I

Debe indicarse que el MLWS es el nivel que se usa como referencia en las cartas náuticas que publica INOCAR. El N.M.M. medido en La

Libertad es el que utiliza el Instituto Geográfico Militar, como cota 0.00 m de la carta geodésica nacional (cota IGM), y es el nivel de referencia comúnmente utilizado en Ingeniería Civil, y en los planos de diseño del presente proyecto.

2.1.4 NIVEL DEL MAR Y CAMBIO CLIMÁTICO

Los cambios climáticos, más allá de las variaciones que se producen entre la época seca y la húmeda, generan modificaciones en el nivel medio del mar en la zona de estudio. 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 hasta 40 centímetros sobre su promedio histórico, como ocurrió durante El Niño de los años 1982-1983. La causa de la elevación es la presencia de ondas atrapadas que viajan a lo largo de la plataforma continental de la costa Pacífica de Sudamérica, luego de haberse desplazado a lo largo del océano, en la zona ecuatorial.

Estas elevaciones extraordinarias del nivel del mar producen que las olas penetren más en la costa, que el nivel de las mareas altas sea mayor que lo normal, y que por lo tanto, generan una fuerte erosión de las playas y de los acantilados, como acontece con la costa de estudio. La condición más crítica sucede en las horas que coinciden las mareas altas de sicigia o aguaje, con los fuertes oleajes que se aproximan desde el Hemisferio Norte, y con la ocurrencia de los niveles medios del mar extraordinarios que son producidos durante el Fenómeno El Niño.

2.1.5 OLAS

2.1.5.1 RÉGIMEN DE OLAS

La acción de las olas sobre la zona litoral es la causa principal de la mayoría de los cambios físicos. Las olas que inciden sobre las playas disipan la mayor parte de su energía sobre ellas sacando del reposo a los sedimentos y transportándolos a lo largo de la costa y en sentido transversal a esta. Este transporte lo realizan las corrientes de la zona litoral, que son originadas por los efectos de las olas rompientes. Los

en el área de estudio efectuadas por INOCAR, de 4 meses de duración, de los cuales 2 correspondieron a la época seca y 2 a la húmeda.

Los datos provenientes de estas fuentes se los usó como una referencia, pero no fueron los más convenientes como para realizar las extrapolaciones requeridas para determinar la altura de ola de diseño, que corresponde a un período de retorno de 50 años. Para tal propósito se utilizó la estadística de olas, de varios años, existente para Monteverde, que se encuentra en un área cercana a La Libertad.

Los datos de olas de Monteverde fueron medidos por INOCAR entre los años 1981 y 1984, en un sitio de 11.5 metros de profundidad, y fueron publicados por Allauca y Cardín. (1987)

En la **Fig. 5** se presenta graficada la distribución de la probabilidad de excedencia de las alturas significativas de olas para Monteverde, así como la recta de ajuste para los datos registrados en La Libertad en los años 1994 y 1995.

cambios físicos en la playas se deben principalmente a las variaciones en la magnitud y en la dirección del transporte de sedimentos litorales a lo largo de esta.

La costa de La Libertad está expuesta a la acción directa de olas de mar de leva o “swell”, y mar de viento local o “sea”. Los mares de leva son olas que son producidas por vientos y tormentas lejanas que ocurren en el Océano Pacífico. Por su parte, las olas por viento local son generadas por la acción del viento cercano a la costa, generalmente en forma de brisa marina de moderada intensidad. Los mares de leva ocurren la mayor parte del tiempo en el área de estudio, y están combinados con las olas de viento local cuando este sopla sobre la costa.

2.1.5.2 ESTADÍSTICAS DE OLAS

Para determinar las condiciones de olas para el diseño, fue necesario recurrir a la información de alturas y períodos de olas registrada o pronosticada durante largo período, de ser posible por varios años.

La ESPOL registró datos de olas frente a La Libertad durante 25 días para el presente proyecto. También existen registros históricos de olas

2.1.5.3 DIRECCIÓN DE OLAS

Para analizar la dirección con que las olas inciden sobre el malecón, y el grado de concentración o de dispersión de su energía respecto a la que contiene en mar abierto (aguas profundas), se elaboraron los diagramas de refracción de ondas para los mares de leva provenientes del noroeste, y los períodos de 12 a 21 segundos. Estas son las condiciones de oleaje más severas que se producen sobre la costa de estudio, especialmente durante los meses de diciembre a marzo.

A partir de los diagramas se estableció un coeficiente de refracción promedio K_r de 1.0, y una dirección de olas, sobre el Malecón,

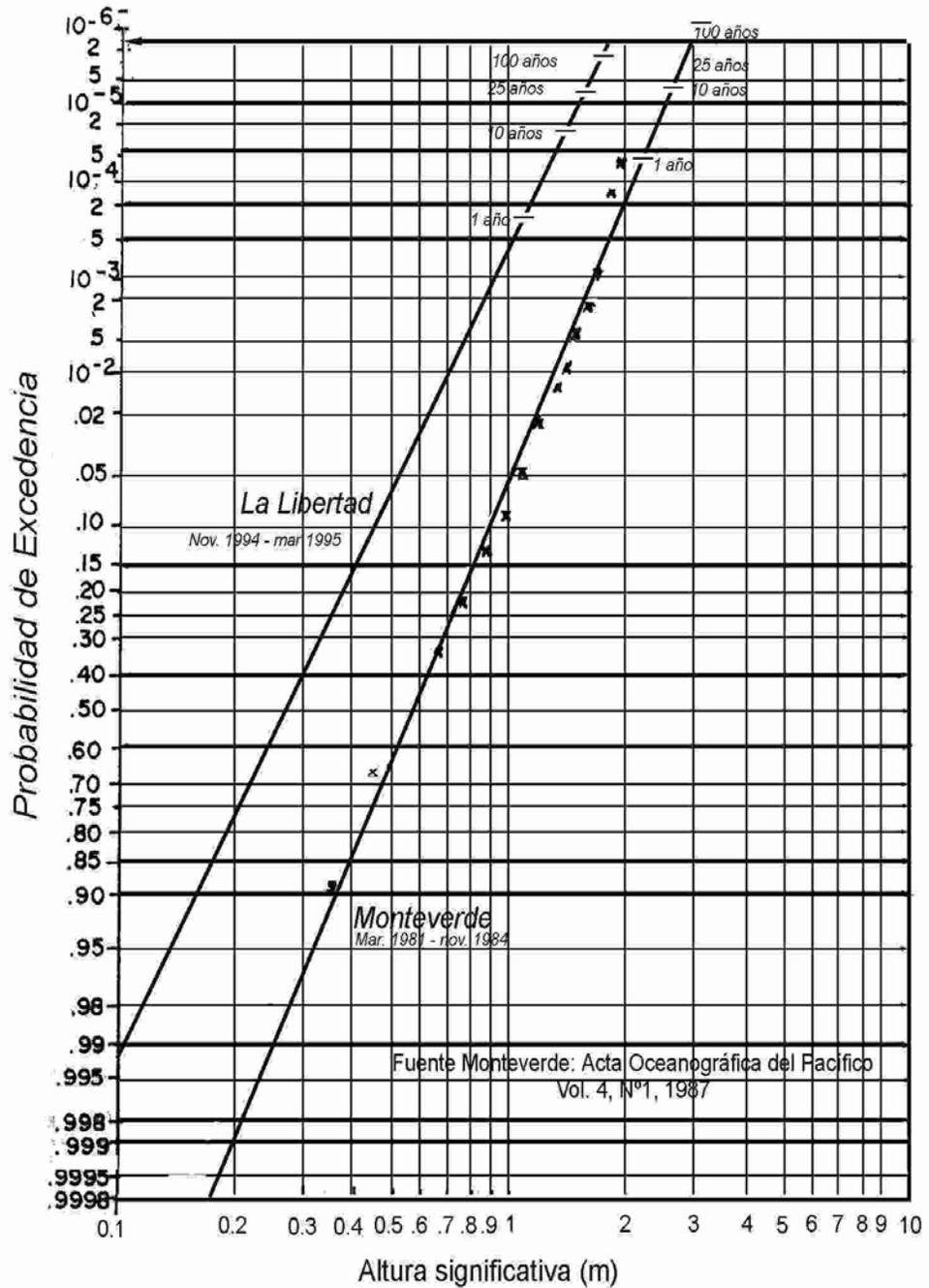


Fig. 5 DISTRIBUCIÓN DE LA PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA DE LAS ALTURAS SIGNIFICATIVAS EN MONTEVERDE Y LA LIBERTAD. MÉTODO DRAPER.

provenientes del norte, es decir 0° . Las **figuras 6, 7 y 8** muestran los diagramas de refracción para el área de estudio. También se realizaron diagramas de refracción para olas del este y suroeste, que no son las condiciones críticas para el diseño.

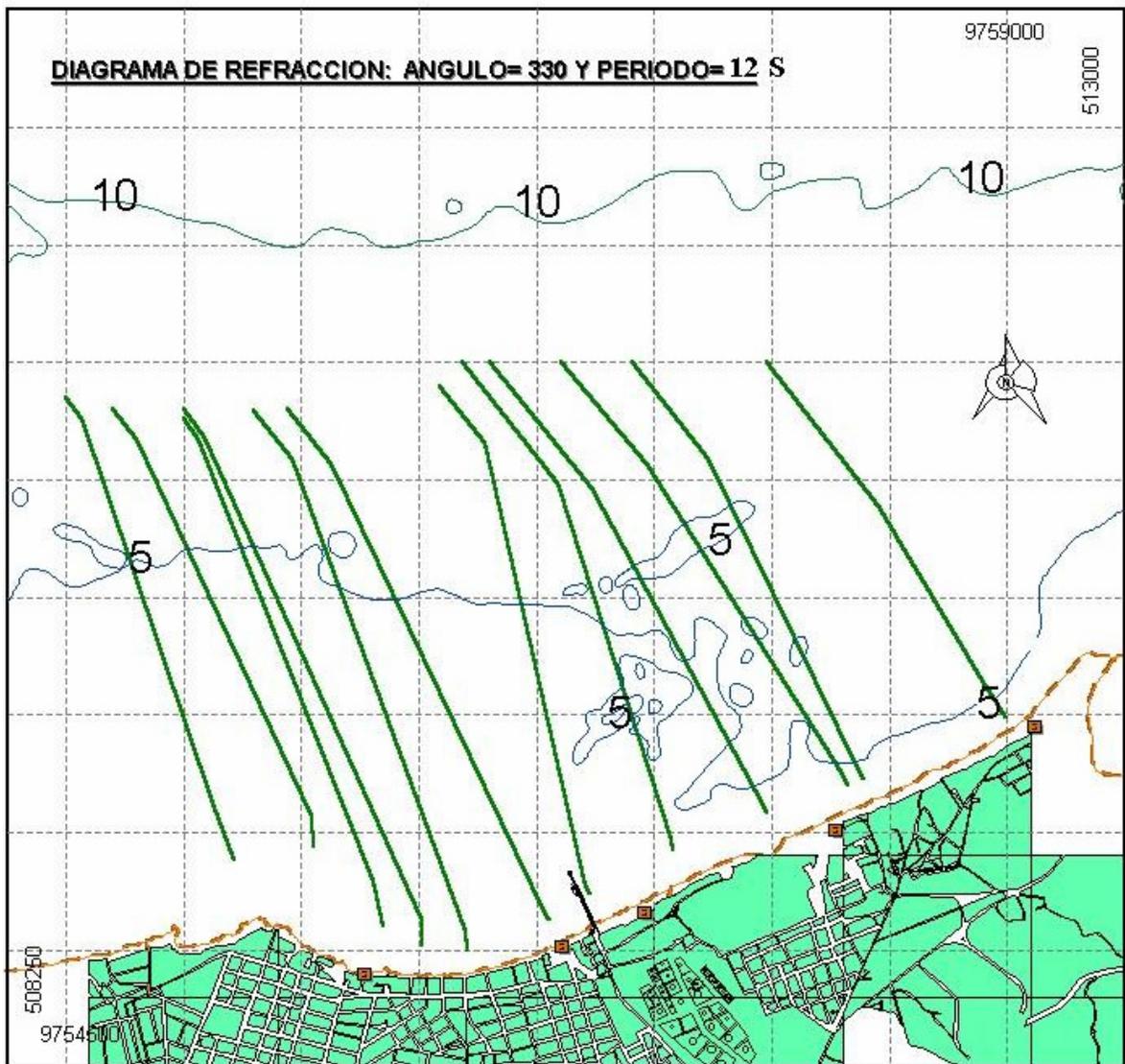


Fig. 6 DIAGRAMA DE REFRACCION PARA UNA OLA PROVENIENTE DEL 330° Y UN PERIODO DE 12 SEGUNDOS EN LA LIBERTAD.

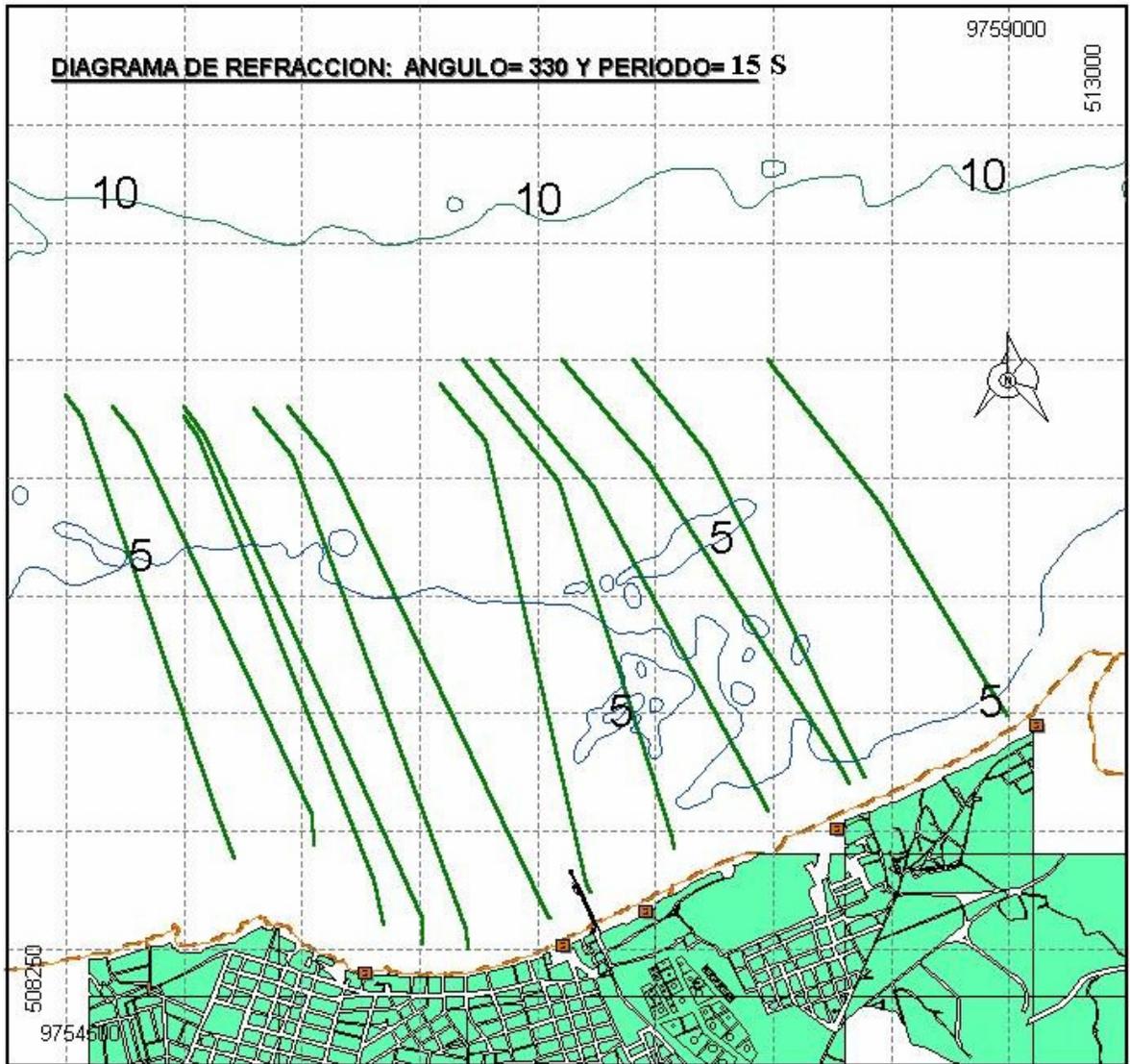


Fig. 7 DIAGRAMA DE REFRACCION PARA UNA OLA PROVENIENTE DEL 330° Y UN PERIODO DE 15 SEGUNDOS EN LA LIBERTAD.

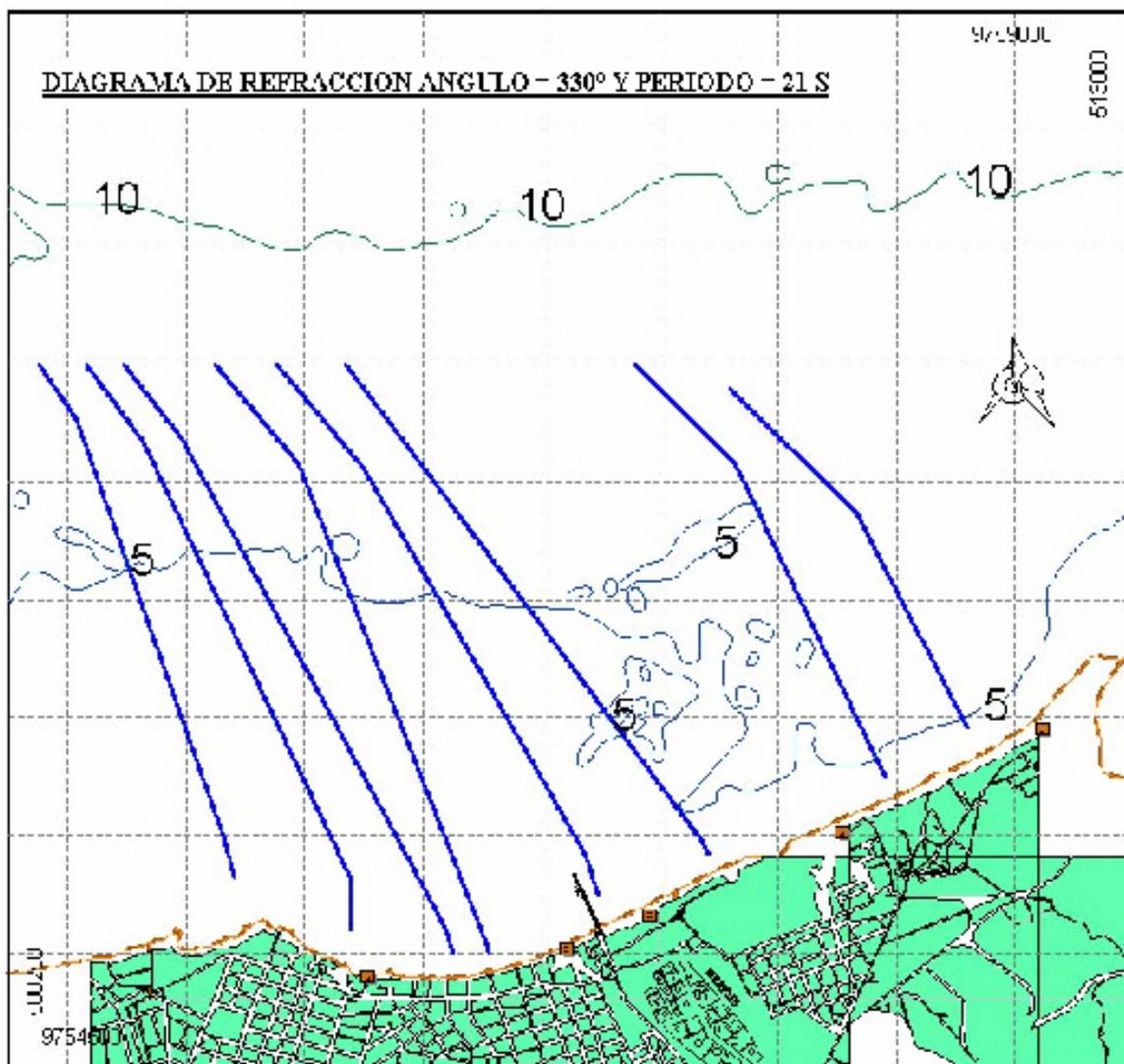


Fig. 8 DIAGRAMA DE REFRACCION PARA UNA OLA PROVENIENTE DEL 330° Y UN PERIODO DE 21 SEGUNDOS EN LA LIBERTAD

2.1.5.4 OLAS GENERADAS POR VIENTO LOCAL

La dirección norte también fue considerada la más desfavorable para la incidencia del oleaje producido por el viento local, cercano a la costa. Para esta condición se tiene un alcance máximo de 70 Km, correspondiente al espacio de agua comprendido entre la costa de La Libertad y La Isla Salango, al norte del área de estudio. Con este alcance, y con la máxima magnitud del viento registrado en la zona, de 16

m/s, se obtuvo una ola de 1.2 metros de altura significativa, y 6 segundos de período significativo.

De las mediciones en el sitio, y de la experiencia del autor, se estableció también que la mayor parte del año, la aproximación del oleaje a la costa de estudio es del noroeste, debido a la difracción que este sufre en la Puntilla de Santa Elena. Sin embargo, esta no es la dirección crítica para el diseño de las estructuras costeras, ya que esta corresponde a la dirección norte.

2.1.5.5 OLAS ROMPIENTES

También se realizó un análisis de las olas rompientes que ocurren en la costa de estudio. Se utilizaron como referencia las alturas de las olas rompientes que fueron observadas por ESPOL para el presente proyecto, así como las que fueron obtenidas por el mismo método visual, por INOCAR durante 1994 y 1995.

Los datos confirmaron que la costa de La Libertad está expuesta a un ambiente de olas de baja a moderada energía, con rompientes menores que 1 metro de altura. Durante las mareas de aguaje, la profundidad del agua es mayor, lo cual permite el ingreso de olas mas altas hasta el borde del malecón.

La ocurrencia de la sobre-elevaciones del nivel del mar por la ocurrencia del fenómeno de El Niño incrementa aún más la profundidad del agua en la costa, por lo que se producen mayores rompientes sobre la playa y el malecón.

Las olas rompientes mas altas se producen principalmente cuando arriban las olas que han sido originadas durante las tormentas que ocurren con bastante regularidad en la parte norte del Océano Pacífico, entre mediados de los meses de diciembre y marzo. La condición crítica para la costa de La Libertad se ha producido cuando han coincidido estas marejadas, con la marea de sicigia y con el fenómeno de El Niño.

Se determinó también que las mayores olas rompientes que actúan sobre el actual malecón se producen en el sector de Pacifictel. Se estableció

que la máxima altura significativa de ola rompiente es de 2.5 metros de altura significativa. Estadísticamente esto implica que existe la probabilidad de que ocurran olas individuales con mayor altura. Las referencias verbales de técnicos de INOCAR y de pobladores confirman esta estimación, ya que estas fuentes reportaron la ocurrencia de olas individuales de mas de 3 metros de altura que rompían cerca del malecón, durante el fenómeno de El Niño de los años 1982-1983.

2.1.5.6 CONDICIONES MÁXIMAS DE OLAS

En la Tabla II se presentan los valores y altura y período de las olas estimados frente a la costa de La Libertad.

| Característica | Altura de Ola (metros) | Período (segundos) |
|---|-----------------------------------|--------------------------------|
| Ola con período de retorno de 50 años(en el sitio de la obra) | Altura significativa: Hs= 3.1 | Período medio: T= 16 |
| Máxima ola generada por viento local | Altura significativa: Hs= 1.2 | Período significativo: T= 6 |

| | | |
|--|----------------------------------|------------------------|
| Máxima ola rompiente al pie del Malecón | Altura significativa: Hs= 2.5 | Período medio T= 16 |
|--|----------------------------------|------------------------|

Tabla II.- Valores característicos de olas para La Libertad.

Como conclusión sobre la actuación de las olas sobre la costa y el Malecón de La Libertad se indica lo siguiente:

1. El régimen de olas que ocurre la mayor parte del tiempo en La Libertad, es de baja a moderada energía, debido a la protección que brinda la puntilla de Santa Elena. Sin embargo, la costa está poco protegida a la acción del oleaje de aguas profundas provenientes del norte y noroeste, y es en esta condición cuando generalmente ocurren las olas con mayor energía que producen los daños más severos sobre la playa y el malecón. La situación se agrava cuando estas olas coinciden con los aguajes o mareas más altas del mes, y con la ocurrencia de los altos niveles del mar que ocasiona el fenómeno El Niño.

2. Las olas de mar de leva originadas en zonas lejanas a la costa de Ecuador tienen alturas mas de dos veces mayores que aquellas que son producidas por la acción del viento local.

3. El oleaje de rompiente que actúa sobre la playa de La Libertad es el principal agente que saca a la arena de su reposo, y la pone en suspensión. Este es un efecto que siempre ha ocurrido. Sin embargo, la magnitud de las olas rompientes en la actualidad ha aumentado respecto a la condición original, pues al descender el nivel de la playa debido a erosión, se tiene mayor profundidad, lo que posibilita el ingreso de olas más altas hasta el propio malecón.

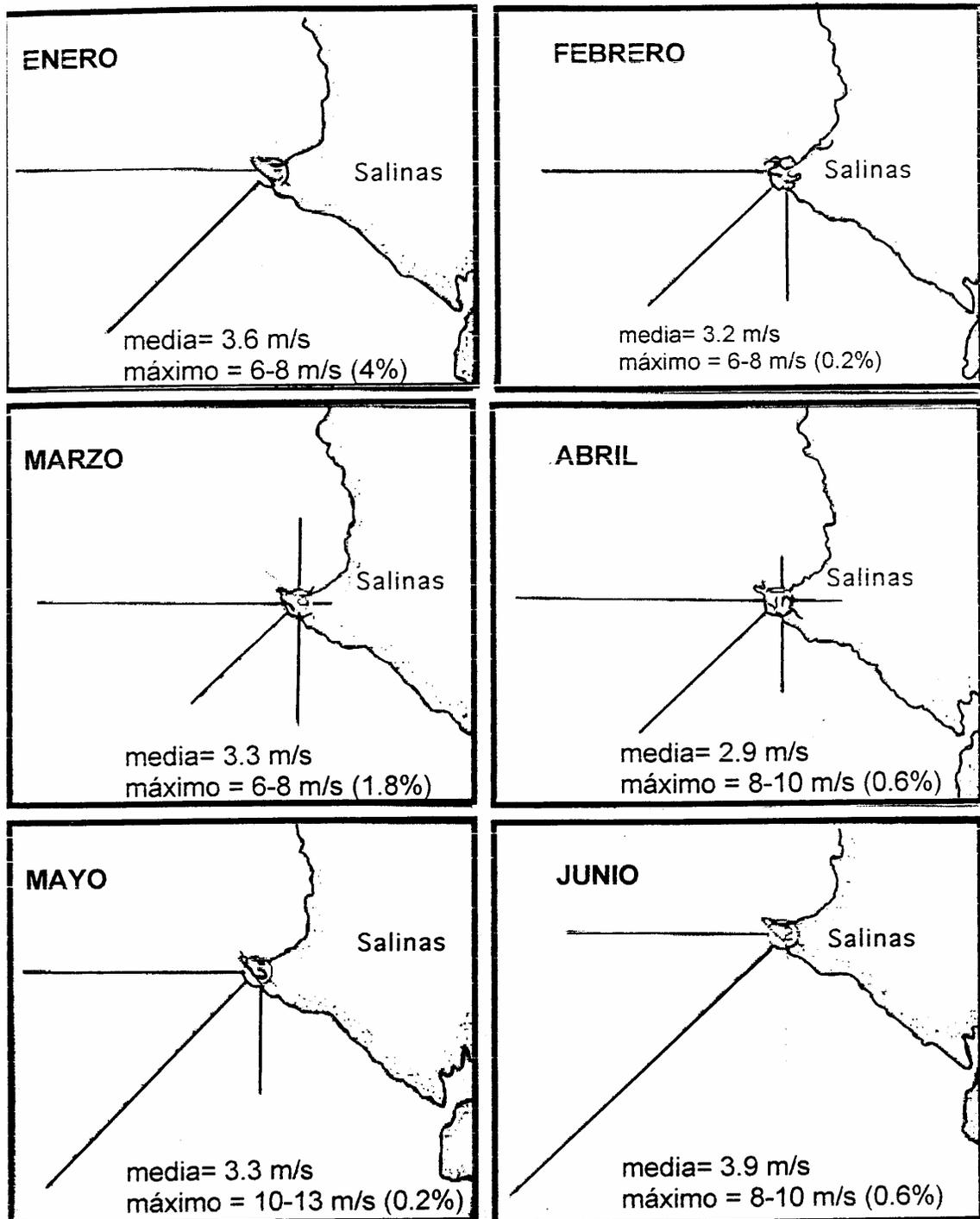
2.1.6 VIENTOS

La costa ecuatoriana está dominada por el sistema de los vientos alisios del sureste y su respuesta a los cambios estacionales.

Para conocer la magnitud y la dirección del viento se recurrió al Atlas Meteorológico de INOCAR(1972), elaborado para el período 1945-

1977, en el que se publicó el patrón de vientos para Salinas, que también es válido para La Libertad.

En la figuras 9 y 10 se presentan las rosas de viento mensuales para Salinas. Se observa la predominancia en la ocurrencia de los vientos del cuadrante oeste-sur, con velocidades promedio que están comprendidas entre 3 y 4 m/s, y valores máximos que alcanzan los 16 m/s en el mes de diciembre.



50 0 **escala porcentual de vientos**

Figura 9: Distribución de los vientos de Enero a Junio para el periodo 1945-1977. Fuente: ATLAS METEOROLÓGICO DE INOCAR

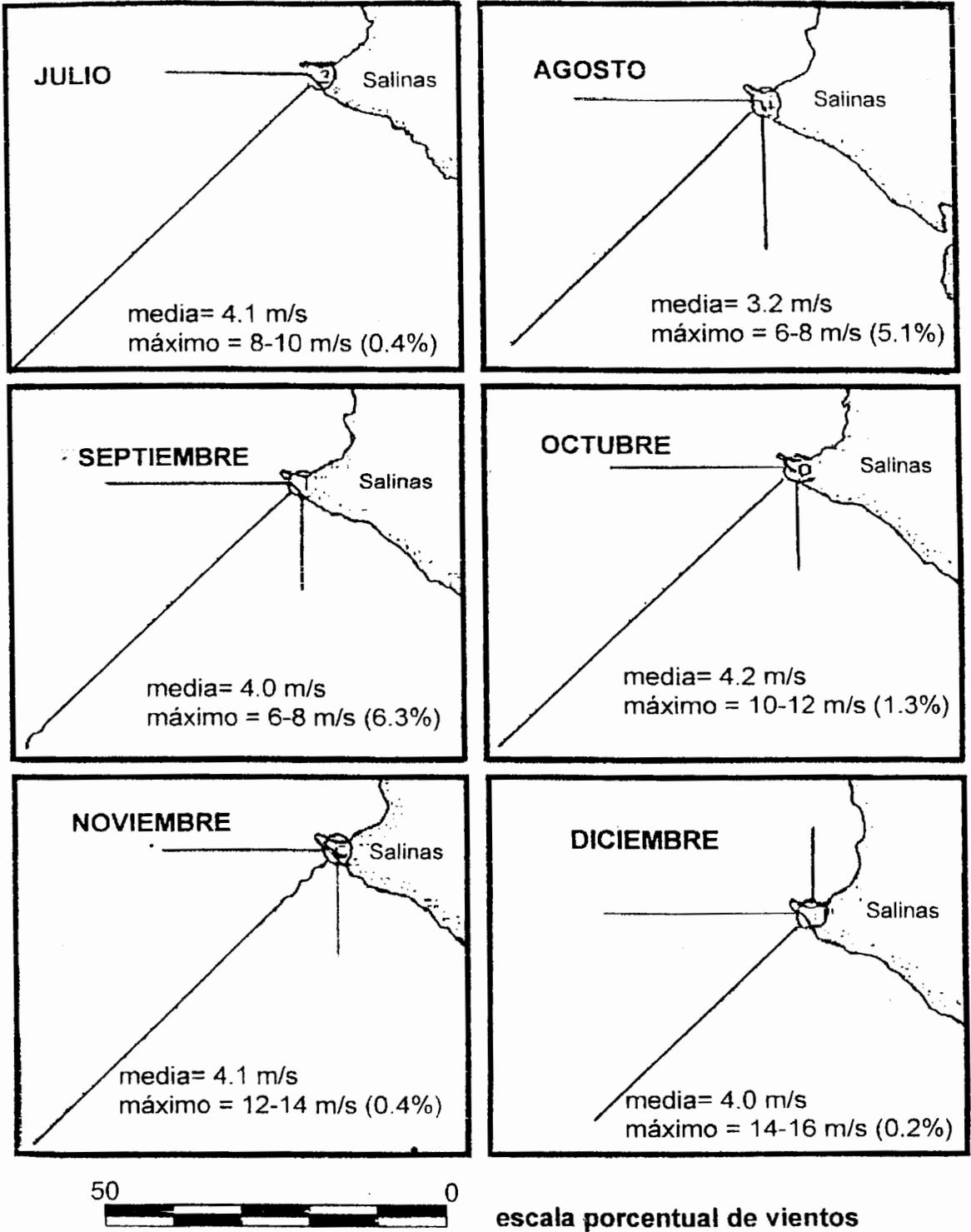


Figura 10: Distribución de los vientos de Julio a Diciembre para el periodo 1945-1977. Fuente: ATLAS METEOROLÓGICO DE INOCAR

2.1.7 TRANSPORTE LITORAL

El transporte litoral corresponde a la cantidad y dirección del movimiento de la arena en la zona litoral, el cual es producido por la acción combinada de las olas rompientes, y de las corrientes que se generan a lo largo de la playa, denominadas corrientes litorales. Estas corrientes son a su vez originadas por la energía y por el ángulo de incidencia de las olas sobre la playa.

La ESPOL realizó mediciones litorales de olas rompientes, corrientes litorales, y sedimentos de playa frente al Malecón y en el resto del perfil costanero del cantón La Libertad, durante el mes de septiembre del 2000.

A partir de los datos de campo se utilizaron las relaciones matemáticas que recomienda el CERC (Coastal Engineering Research Center), en su Manual de Protección de Costas (1984), para determinar el transporte litoral. Se obtuvo un transporte litoral que varió entre 15 y 40 m³/día. Los valores menores fueron reportados para el sector de la Caleta, y los mayores correspondieron a la playa localizada frente al parque del Malecón y Pacifictel, debido a la mayor energía de las olas. Las estimaciones de ESPOL fueron realizadas durante la época seca, en un

año en que no ocurrió El Niño, y para condiciones de oleaje que no es de tormenta, el cual alcanzó alturas de rompiente de 0.5 a 0.8 metros.

El oleaje por tormentas o temporales ocurre principalmente durante los meses de diciembre a febrero. De la experiencia del autor, se considera que pueden ocurrir 2 tormentas por mes, de hasta 1 día de duración, lo que resulta en 6 días al año para esta condición, esto es hasta 1.7% del tiempo. Este porcentaje podría incluir la condición de marejadas que estructuralmente ocurre en otros meses del año.

La condición de olas de tormenta en agua profundas puede ser caracterizada por 1.8 metros de altura significativa, y dirección de aproximación del noroeste.

El transporte litoral anual corresponde a los volúmenes de arena que el mar estará en capacidad de desplazar en la condición normal de oleaje, más el que puede generar durante las tormentas. Para el primer caso se tomó el mayor valor de 40 m³/día, con una ocurrencia de 97.8 % del tiempo, o 357 días, que resulta en un transporte de aproximadamente 15.000 m³. Para el segundo caso, esto es para las condiciones de

marejadas de tormenta, se aplicó el método del CERC (1984) y se estableció un transporte de arena de 35.000 m³. De esta forma se estimó que el transporte litoral para la playa de La Libertad, en la zona del Malecón, es de 50.000 m³ / año.

2.2 CARACTERÍSTICAS BATIMÉTRICAS Y TOPOGRÁFICAS

La plataforma submarina frente a la costa de La Libertad presenta rasgos irregulares en el sector ubicado frente a Punta de Suche, debido a la presencia de formaciones rocosas que están parcialmente cubiertas por los sedimentos arenosos. Al este, frente a la playa existente junto al muelle de Petroecuador, los veriles batimétricos se vuelven más regulares y paralelos a la costa, representativos del fondo arenoso del sector. Cerca de Punta Chuyuipe, los veriles son irregulares debido a la presencia de formaciones rocosas. En la **Figura 11** se muestra la costa de estudio y los rasgos batimétricos indicados.

Los rasgos topográficos cercanos a la costa, revelan que en el límite oeste existen acantilados de hasta 20 metros de altura, que van

decreciendo en altura hacia el este. El borde costero, en el Malecón, presenta niveles con cotas que varían, aproximadamente, entre +3.0 y +

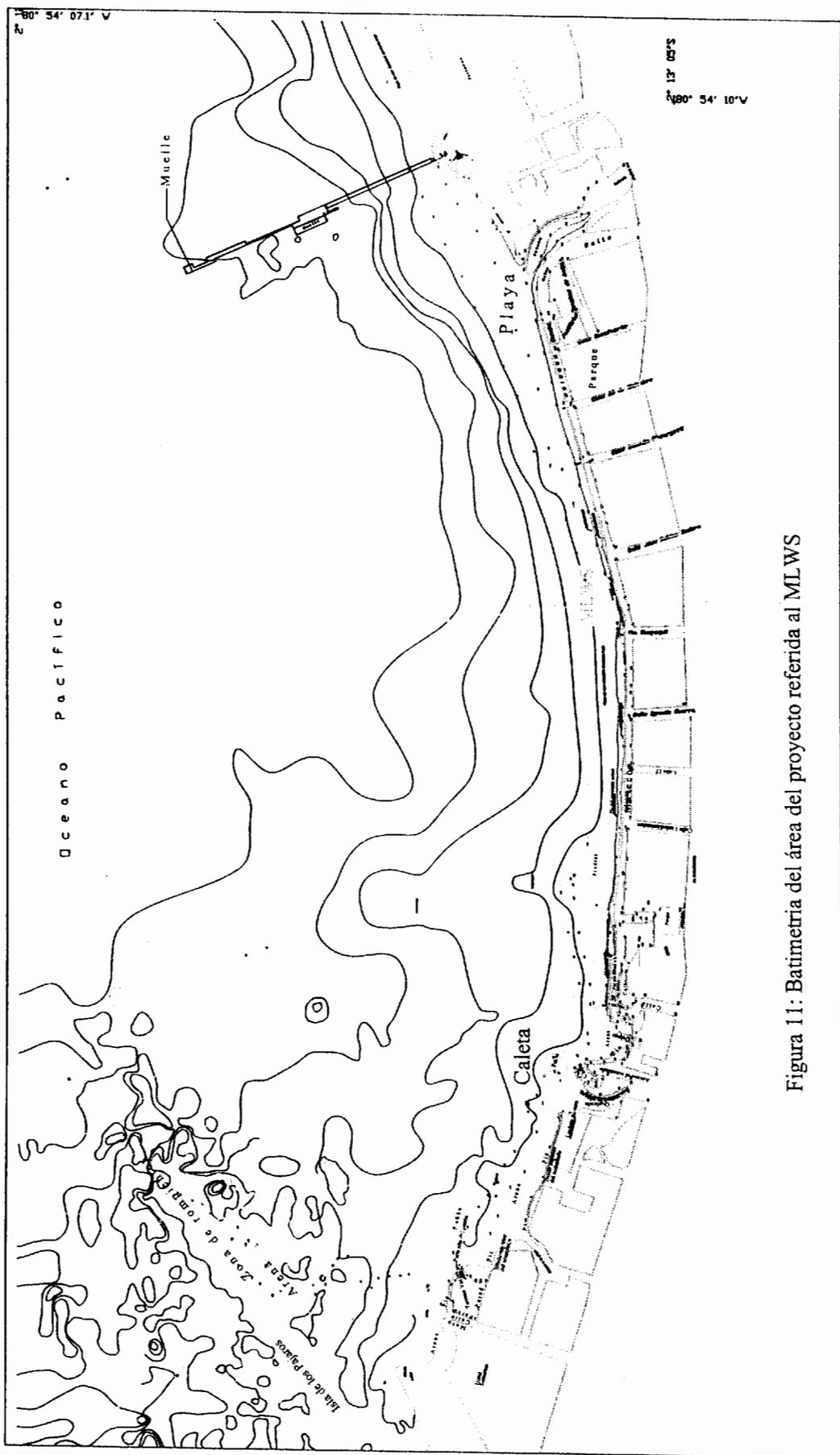


Figura 11: Batimetría del área del proyecto referida al MLWS

6.0 referidas al nivel medio del mar (cota IGM). Entre el muelle y Punta Chuyuipe los acantilados son más bajos que en el oeste, y tiene cotas entre + 5 y +9 IGM.

2.3 CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS

2.3.1 CONDICIONES GEOLÓGICAS

Los estudios geológicos y geotécnicos fueron efectuados por el Ing. Miguel Angel Chávez, Profesor de la ESPOL. A continuación se indican los resultados del estudio geológico, que son de relevancia para el presente diseño.

1. La Libertad y sus alrededores se ubican en una planicie litoral de suelos porosos y permeables, levantada hasta cotas de más de 30 msnm. El testimonio de este efecto tectónico es la

presencia de materiales pleistocénicos de playa, denominados Tablazos, que recubren las depresiones de rocas más antiguas.

2. En la planicie, las originales cuencas hidrográficas fueron modificadas por la urbanización del cantón. El área de captación de cada una de las dos mayores cuencas es de aproximadamente 3 km². Los caudales en la desembocadura de estos ríos se estiman en más de 20 m³/s. Por la aridez del sector, y a pesar de las pequeñas pendientes del terreno, la escasez de cobertura vegetal y la débil resistencia de rocas y suelos permiten una erosión agresiva cuando ocurren intensas escorrentías, durante pocos días del año. Por esta razón los cauces presentan el perfil transversal típico de terrenos fácilmente erosionables, con barrancos profundos y casi verticales, y con fondos más anchos y planos.

La falta de alcantarillado pluvial que ha tenido la ciudad en el pasado, ha permitido que la escorrentía, cuando ocurre, erosione con mayor intensidad las calles no pavimentadas y acarree los caudales y sedimentos hacia la playa. En la

actualidad, se encuentran en construcción varias obras para el mejoramiento del sistema de alcantarillado pluvial de la ciudad.

3. El estudio geológico también estableció que los acantilados bajos a medianamente altos del sector costero de La Libertad, están conformados de lutitas arcillosas, lutitas arenosas y conglomerados cretácicos, areniscas silicificadas terciarias y areniscas conglomeradas pleistocénicas.

Las lutitas y conglomerados cretácicos afloran en el oeste, en el sector La Caleta – Hotel Samarina, así como en la Isla del Amor ubicada frente al hotel, y contienen intercalaciones de arcilla cizallada, de pocos centímetros de espesor. Las areniscas silicificadas terciarias afloran en el este, en los acantilados bajos, en las vecindades del río Chuyuipe, y se comportan como una roca medianamente resistente. Todo el paquete terciario buza ligeramente hacia el mar.

Las areniscas conglomeradas pleistocénicas son masivas, pero escasamente cementadas, por lo cual se comportan como roca

blanda, erosionable, porosa, permeable, tubificable, de unos 5 metros de espesor, en estratos subhorizontales. Se encuentran recubriendo todo el sector entre La Caleta y los acantilados bajos de Cautivo. En el sector de La Caleta y en los alrededores del Muelle de Petroecuador, el oleaje socava el pie de los acantilados bajos de las areniscas conglomeradas pleistocénicas, durante la marea alta.

4. De manera general, el estudio mencionado estableció que los acantilados costeros son inestables, en particular, en el sector comprendido entre La Caleta y el hotel Samarina, localizado en la costa oeste.

Adicional a los resultados obtenidos por Chávez, existen otras investigaciones, que tienen relación con los sedimentos de la playa y del fondo marino. Estos materiales se han distribuido en función de la acción de las olas y las corrientes. Vera (2001) reportó que frente al Malecón se tiene la presencia de arenas medias y gruesas, con gravas producidas por la erosión de la base de los acantilados cercanos y de los rellenos del lugar. Al

este del Muelle de Petroecuador se tiene una zona de playa que descubre en marea baja, con arena fina y media. Los sedimentos del fondo marino cercano a la playa son principalmente arenosos, aunque frente a La Caleta se tiene arena gravosa, y en un sector, al este, se encontró presencia de sedimento limo-arenoso, por los drenajes del río Chuyuipe.

2.3.2 CONDICIONES GEOTÉCNICAS

Para determinar las condiciones geotécnicas para el diseño, se efectuaron perforaciones distribuidas a lo largo del área de estudio, siguiendo el abscisado, que se inicia en el oeste, en el sector de los tanques de captación de las aguas servidas de la ciudad. Las perforaciones fueron efectuadas tanto al borde de playa, como también siguiendo la vía actualmente existente.

Se efectuaron 16 perforaciones, 10 de las cuales se ejecutaron en el borde de playa. Las perforaciones efectuadas tienen profundidades que varían entre 5 y 11.5 m, en función de la presencia de roca, y penetraron en ella, hasta los niveles más resistentes. En los suelos se efectuó, en las

perforaciones, la prueba del SPT (ensayo de penetración estándar), para valorar su resistencia portante.

El Ing. Miguel Angel Chávez determinó en su Estudio geotécnico, mediante las perforaciones efectuadas en la playa y en la calle adyacente, que existe un lecho rocoso que se inclina hacia la playa, esto es, en sentido perpendicular a la calle Malecón. Esta característica se repitió a lo largo de todo el abscisado, lo que concuerda con los estudios oceanográficos, que señalan la ocurrencia de un proceso erosivo del borde de playa, desde muchos años atrás, y que se continúa.

Se realizaron secciones transversales en las que se determinó que el lecho rocoso está inclinado hacia el mar, exceptuando los 220 primeros metros del abscisado, ya que se tienen afloramiento de estratos en la playa. A partir de, aproximadamente la abscisa 0+220 aparece en la línea de playa, una capa de arena que cubre el lecho rocoso que se profundiza mediante una pendiente y progresivamente hasta la abscisa 0+875, cerca de la salida del Estero existente al este del proyecto, junto a PACIFICTEL.

En términos de cotas, el lecho rocoso se profundiza hacia el mar. Así, desciende desde la cota 1 a la 0, en el primer tramo (0+000 a 0+220). En el tramo intermedio (0+220 a 0+620) cae desde la cota 2.5 hasta la cota -0.50; y en el tramo final (0+620 a 0+875) desciende desde la cota 2.5 a la cota 0. Esto demuestra que el tramo intermedio del Malecón hay una mayor profundización del lecho rocoso, en el sentido perpendicular a la vía. En la **Figura 12** se presenta la variación típica de los niveles del estrato rocoso en el Malecón.

Las pruebas de laboratorio determinaron que tanto las rocas de los afloramientos como las encontradas en las perforaciones, tienen un resistencia a la compresión y al cortante suficientes como para soportar cargas importantes, como por ejemplo la descarga de un viaducto de hormigón armado para tráfico vehicular, o un dique de escollera. Aún cuando se encuentren niveles rocosos algo meteorizados, la resistencia a la compresión simple es mayor que 70 Ton/m^2 .

2.4 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA EROSIVO

Para la implementación de las medidas de control en la costa de estudio, fue necesario definir la magnitud del problema erosivo. La información sobre la condición original de la playa y de la costa en general es muy vaga, y guarda mucha imprecisión en su localización geográfica. Sin

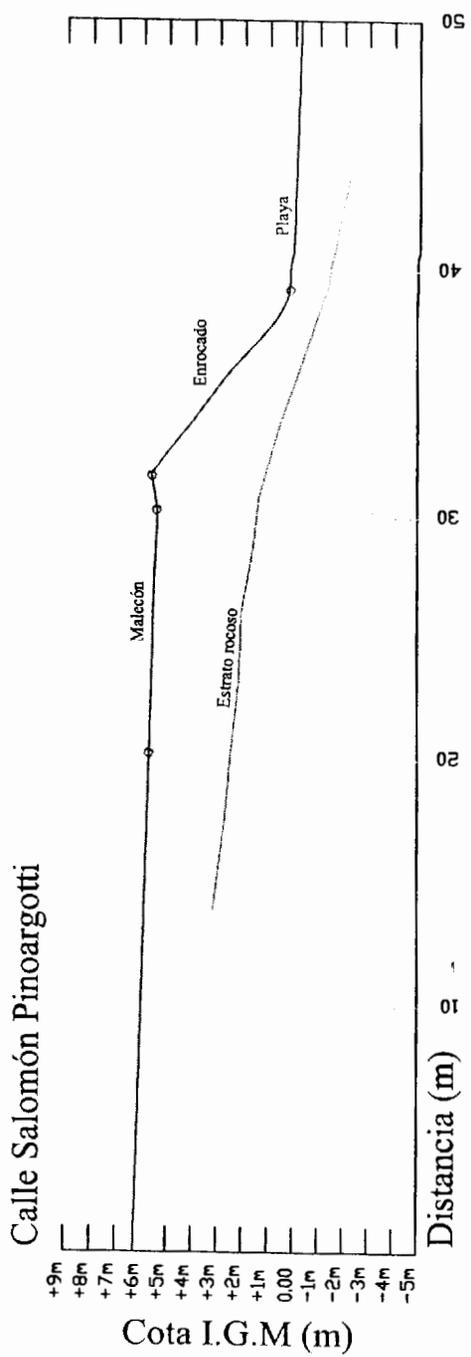


Figura 12: Variación del estrato rocoso bajo el Malecón y la playa

embargo, a pesar de estas limitaciones, se ha podido evaluar de manera general las características del problema erosivo en La Libertad.

No se ha podido establecer con precisión cuando se inició la erosión de la playa. La revisión de fotografías existentes desde 1950 indican que este problema tuvo sus inicios entre finales de la década de los 60 y principios de los 70, que fue cuando se colocaron rellenos junto al mar, y se construyeron los primeros muros para defender, de la amenaza del mar, a ciertas propiedades existentes en el Malecón. En la misma época se construyó también el muelle petrolero de La Libertad, ubicado al norte del Malecón del Cantón.

Como una causa adicional que produjo la erosión, debe citarse la extracción de la arena de la playa que se realizó continuamente en el área de estudio. Por referencia de los moradores se a podido estimar que se extraían hasta 30m^3 diarios de arena a lo largo de la playa de La

Libertad. En la actualidad aun se saca arena, en cantidades menores, pero únicamente en la playa de Cautivo.

A mediados de los años 70 ya existía la erosión costera en La Libertad. En enero de 1978, el suscrito efectuó la inspección de la erosión que experimentó esta playa, así como la destrucción total que sufrió el Malecón en el sector de La Caleta. En el invierno de ese año, muchas playas del Ecuador, y en general de la costa oriental de Norte y Centroamérica, sufrieron fuertes procesos erosivos que fueron producidos por grandes tormentas originadas frente a la costa oeste de Estados Unidos.

Vera (2000), en su Tesis de Grado de la ESPOL, en base a cartas batimétricas históricas, analizó el cambio que ha tenido toda la costa del cantón la Libertad, entre los años 1980 y 1995. Para este propósito estudió la variación que experimentó el veril correspondiente al nivel medio de las bajamares de sicigia (M.L.W.S.) en el período indicado. Como resultado de su investigación, Vera determinó que la línea de costa frente al Malecón retrocedió aproximadamente 30 metros en casi toda su longitud, que para este período de análisis equivale a un retroceso

promedio de 2 metros por año. En los alrededores del muelle, y algo más al norte, en el sector de La Carioca, la recesión aumentó a alrededor de 40 metros. La mayor parte de la erosión mencionada se produjo durante el fenómeno de El Niño de los años 1982-83.

En base a este análisis, la magnitud del problema erosivo frente al malecón de La Libertad que ha ocurrido en 30 años, ha generado un retroceso promedio de la línea de costa junto al Malecón de alrededor de 30 metros, aumentando hasta 100 metros en los alrededores del muelle de Petroecuador y del barrio La Carioca. La erosión produjo la pérdida de la arena de gran parte de la playa, y que el nivel de ésta, en la zona de marea alta frente al Malecón, descendiera entre 2 y 4 metros, hasta llegar a la condición actual en que las olas rompen sobre este.

3.- ALTERNATIVAS DE DISEÑO PARA LA PROTECCIÓN COSTERA

3.1 CRITERIOS DE DISEÑO

3.1.1 CRITERIO FUNCIONAL

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 podrán ser desarrolladas por etapas.
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.

3.1.2 CRITERIO OCEANOGRÁFICO

En el planteamiento de las alternativas, la variable oceanográfica más importante que se consideró fue el oleaje, y en particular la condición de las olas de tormenta que provienen del noroeste. 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, tanto para las escolleras costa-afuera como para el muro del Malecón.

El actual Malecón está levantado aproximadamente a la cota + 3.2 I.G.M., en la parte más baja cerca de la iglesia ubicada en el sector de La Caleta , y sube gradualmente hacia el este, hasta la cota + 6.0 I.G.M., cerca de PACIFICTEL. Se estableció que casi 50% de toda la longitud del Malecón, en las partes bajas, es vulnerable a la inundación por el remonte (run-up) de las olas, para condiciones que pueden ocurrir en cualquier época del año, como son las de marea alta que coincida con olas que recurren con relativa frecuencia, que tiene períodos de retorno menores que 1 año. El riesgo aumenta cuando ocurre el fenómeno de El Niño, especialmente en los de alta intensidad.

De esta forma, las estructuras con taludes de enrocado absorben mejor la energía que los muros sólidos, como son los de hormigón, que al reflejar la energía de las olas generan fuertes corrientes de fondo que erosionan las playas. En la medida que se reduce la magnitud del movimiento de la arena, se propicia una condición favorable para que se sedimente la playa

del sector, que es un criterio adicional que ayuda a seleccionar la obra de protección costera requerida.

3.2 DISEÑO CONCEPTUAL DE LAS ALTERNATIVAS

En la Primera Fase de los Estudios, se desarrollaron los diseños conceptuales de varias alternativas para la protección del Malecón de La Libertad, las mismas que fueron discutidas con los Consultores de la parte de Diseño estructural y de Arquitectura. Las alternativas conceptuales para la obra de protección costera pueden ser resumidas en las siguientes:

1. **ALTERNATIVA 1: *Muro marginal de enrocado.*** Esta alternativa contempla el rediseño para la reconstrucción del actual muro de eurocado, que se encuentra destruido por el mar. La estructura tiene aproximadamente 900 metros de longitud. En la **figura 13** se presenta un esquema de las secciones típicas de la estructura. El volumen in situ de enrocado estimado para esta propuesta fue de aproximadamente 48.000 m³, repartido entre piedra para coraza (piedra más grande), capa intermedia, y filtro.

Con esta alternativa no se detiene la erosión de la playa, y el muro tendría que ser elevado con respecto al actual, en las zonas mas bajas del Malecón.

2. ALTERNATIVA 2: *Escollera costa afuera (5) y muro marginal*

. Inicialmente se pensó en contar únicamente con 4 escolleras, pero luego se definió que serían un total de 5 estructuras para proteger el Malecón. Se estimó una longitud total de 450 metros lineales (ml)

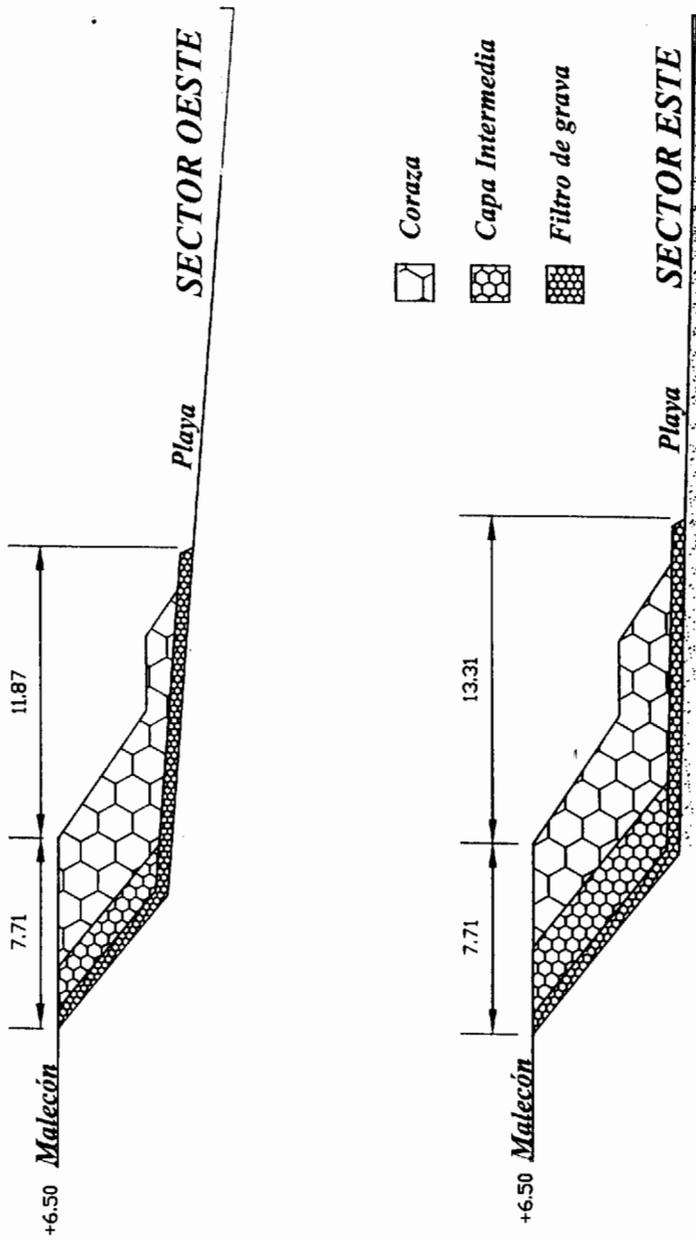


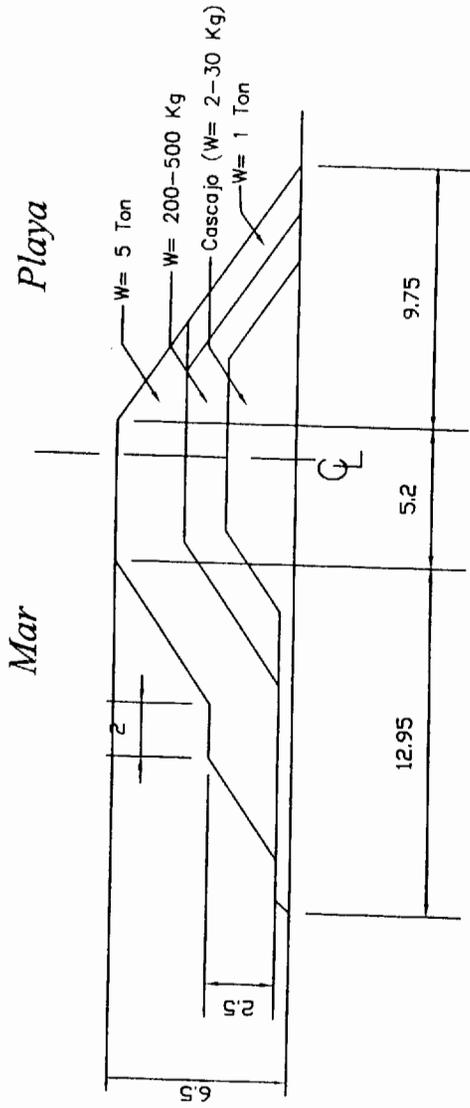
Figura 13: Alternativa 1. Muro de enrocado en el Malecón

para los espigones costa-afuera, con 400 ml para la longitud de los accesos desde tierra. En esta etapa preliminar se consideró que los accesos a las escolleras serían permanentes, por lo que se tendrían básicamente 5 espigones de enrocado tipo **T**. La evaluación del impacto ambiental que se realizó con ayuda de un modelo matemático, en la etapa de diseño definitivo, recomendó que únicamente se mantenga 1 acceso como permanente. La **figura 14** muestra las secciones típicas de los espigones costa-afuera y de sus accesos a tierra firme. Al igual que para el caso anterior, se consideró una longitud aproximada de 900 ml para el muro marginal.

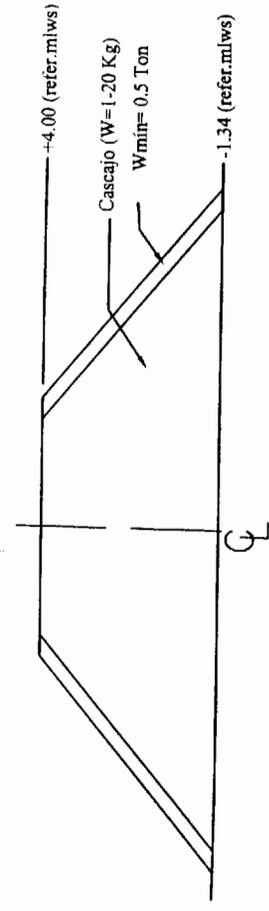
Para el muro se consideraron una serie de posibles variantes, como fueron las siguientes:

- a Muro mixto compuesto por enrocado en la parte inferior y muro de hormigón ciclópeo en su parte superior.
- b Muro completo de enrocado, como en la Alternativa 1. Este muro también tenía sus variantes, como el incluir una berma en la base.

Escollera costa - afuera



Acceso al Espigón Costa-afuera



ESCALA 1:250

Figura 14: Sección típica de la escollera y del acceso para la Alt. 2

- c Muro mixto compuesto por enrocado en la parte inferior y estructura de hormigón armado tipo caisson en su parte superior, que es llenado con piedra o arena. (Figura 15).

La posibilidad de colocar una estructura rígida como un muro de hormigón sobre una base de enrocado que puede tener deformaciones por efectos del ataque de las olas, determinó que el muro formado por materiales mixtos mencionado en los casos a) y c) no sea considerado posteriormente.

3. ALTERNATIVA 3: *Regeneración de playa.* Esta alternativa consistió en la regeneración de la playa junto al Malecón, mediante la colocación de arena por métodos hidráulicos (dragado). Así, se presentó el volumen y el costo estimado para ejecutar esta alternativa de protección costera, en la playa localizada entre la Caleta y el Muelle. Junto a la playa se propuso como elemento de contención y de protección adicional, la construcción de un muro marginal de enrocado (revestimiento) de dimensiones y costo menor al de las alternativas 1 y 2. Se estimó que se requeriría dragar, de

Ⓐ Coraza

Ⓐ Piedra para salpicadero

Ⓑ Capa Intermedia

Ⓒ Proteccion del pie

Filtro: Grava

Geotextil: Tejido

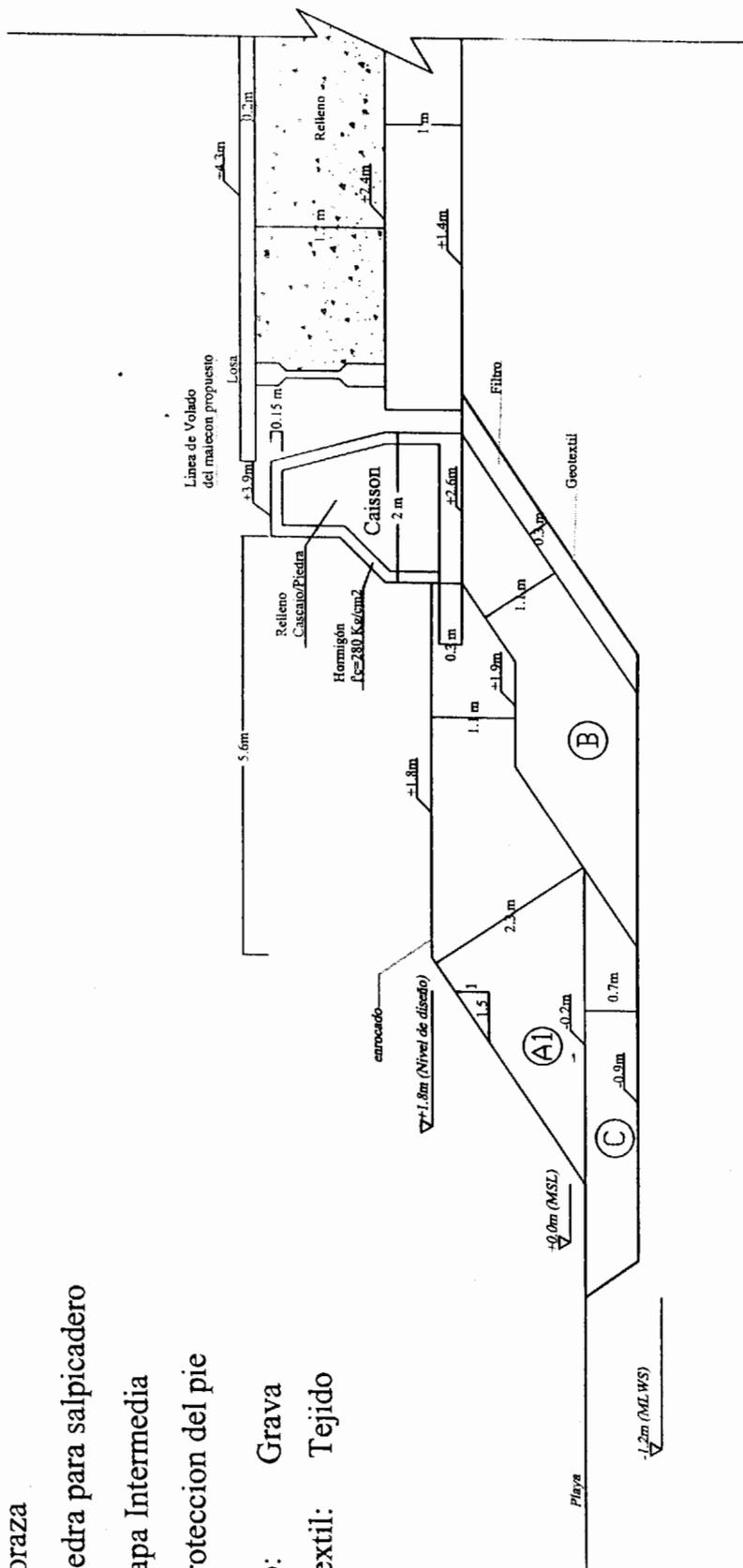


FIGURA 15: Variante de Alt. 2: Muro mixto de enrocado con caisson en la parte superior

zonas cercanas al Malecón, a una distancia máxima de 1 Km, un volumen de arena de 215.000 m³ para regenerar la playa, que incluiría un 30% de pérdidas de material. El costo referencial de los trabajos de reconfiguración de la playa, utilizando equipo de tierra, sería de USD 750.000. El tiempo de permanencia de la arena sobre la playa sería bastante incierto, estimándose en 7 años, que sería el tiempo de recurrencia del fenómeno El Niño. Para el desarrollo de esta alternativa se necesitarían estudios ambientales más detallados.

Debe además, indicarse que después de los primeros análisis efectuados al inicio de los Estudios, se desestimó la alternativa de construir un muro de contención del Malecón hecho completamente de hormigón armado, debido a que para su ejecución era necesario tener que construir otro muro temporal de enrocado delante de éste, para defender a la obra en construcción del embate de las olas. Dado que este muro debía estar cimentado sobre el estrato rocoso, existían sectores altos del Malecón donde a la vez el estrato duro se profundizaba, y resultaba en un muro de más de 8 metros de altura. El volumen de excavación y el ancho de la base del muro hacía que este tuviera un costo mucho mayor que las otras soluciones planteadas.

3.3 ALTERNATIVA DE DISEÑO SELECCIONADA

3.3.1 ASPECTOS TÉCNICOS

Se recomendó que la Alternativa # 2, que consiste en la combinación de las escolleras costa – afuera y el nuevo muro de eurocado , era la de mayor viabilidad técnica, por los siguientes motivos:

1. Puede ser construida por etapas.
2. Es de fácil construcción y mantenimiento.
3. En la parte baja del Malecón la reconstrucción del muro de enrocado combinado con la protección de las escolleras costafuera permite que este muro no tape la vista de las casas existentes en el sector. En la parte más alta, en el sector este, no será necesaria esta doble defensa costera, sino únicamente reconstruir el muro actual con el nuevo diseño.
4. Reduce gran parte de la energía de las olas propiciando que se creen condiciones para la recuperación de la arena de la playa.
5. Utiliza materiales de enrocado que son duraderos y que existen en las canteras cercanas a La Libertad.
6. Las estructuras hechas completamente de enrocado son flexibles, y admiten los asentamientos y las deformaciones que se dan en la estructura como producto del embate de las olas.

7. En vista que es posible que las escolleras sean construidas por etapas, en función de la disponibilidad de fondos, su separación puede ser modificada en un cierto grado, dependiendo del posible arenamiento que se observe en la playa. En este caso, se tendría que evaluar nuevamente el diseño, en base a las nuevas condiciones del fondo.
8. Esta alternativa es la que mejor cumple con los criterios de diseño mencionados.

3.3.2 ASPECTOS DE COSTOS

Cada una de las alternativas indicadas fueron costeadas. Se determinó que la Alternativa # 1 era la de mas bajo costo, sin embargo, no cumplía con todos los requerimientos técnicos necesarios para el proyecto.

La alternativa de regeneración de la playa tiene un costo inicial de construcción 50% mayor que la # 1 y además su costo de mantenimiento es muy alto, estimándose en un costo anual de 15 al 20% de su costo de construcción.

La alternativa # 2, a pesar de tener el mayor costo inicial de construcción, sin embargo, su costo anual de mantenimiento es muy bajo, pues no excede de 1 % de su costo inicial, lo cual mejora su viabilidad económica.

3.3.3 SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA

Se seleccionó la Alternativa # 2, por su viabilidad técnica, ya que esta cumple con los requerimientos oceanográficos y funcionales establecidos para el proyecto, principalmente porque asegura la protección contra el oleaje, y porque permite el areamiento de la playa.

Esta fue la alternativa que recomendó la ESPOL y fue la que aceptaron las autoridades del Municipio de La Libertad.

IV.- DISEÑO DEFINITIVO

4.1 ESCOLLERAS COSTA-AFUERA

Las características estructurales de las obras de protección costera, tanto las escolleras costa-fuera como el muro marginal de enrocado, fueron determinadas fundamentalmente basándose en las siguientes normas o procedimientos:

- a) Peso de la piedra de la coraza o capa exterior del enrocado, determinado basándose en la fórmula de Hudson que consta en el Shore Protection Manual (1985), editado por CERC del Cuerpo de

Ingenieros del Ejército de Estados Unidos. Esta fórmula tiene las siguientes características:

$$W = \frac{W_r H^3}{KD (S_r - 1)^3 \cot \phi}$$

En que:

W = Peso individual en toneladas de cada piedra de coraza.

W_r = Peso específico de la piedra de coraza, en ton/m³.

H = Altura de la ola de diseño al pie de la estructura, en metros.

S_r = Gravedad específica de la piedra de la coraza, relativa a la del agua en el sitio de la estructura.

KD = Coeficiente de estabilidad, que varía de acuerdo al tipo de elemento unitario (Piedra, elemento artificial de concreto como tetrápodos, dolos, etc.), forma de colocación de las piedras, número de capas de piedras que se colocan en la coraza, entre otros.

\emptyset = Angulo que hace el talud de la estructura respecto a la horizontal.

- b) Para los demás elementos de enrocado se siguieron las recomendaciones del CERC, y las Van der Meer que utiliza el programa computacional CRESS (1998), elaborado por el Instituto Internacional de Ingeniería Hidráulica de Delft (IHE), de Holanda.
- c) Las alturas y niveles de diseño de los enrocados fueron definidos basándose en el método propuesto por Van der Meer, que constan en el programa de CRESS, con las siguientes condiciones:
 - c1) Las escolleras costa-afuera serán rebasadas por el oleaje de marejada durante las mareas altas.
 - c2) En el sector este del Malecón, donde no se cuenta con el abrigo que ofrezcan las escolleras costa-afuera, el análisis probabilístico del run-up producido por el oleaje incidente sobre el muro de enrocado, determinó que éste podrá ser rebasado hasta 5% del tiempo durante la ocurrencia de la

marea alta en máximo aguaje (época del fenómeno “El Niño”), y en la condición de máxima rompiente. Esta probabilidad será menor, en la medida que se incremente el arenamiento en este sector.

- c3) En el sector central y oeste del Malecón, no se espera que ocurra rebase del oleaje sobre el muro.

- d) Varios detalles estructurales fueron determinados basándose en la experiencia que tiene el autor, en el diseño y en la construcción de obras de enrocado que han sido realizadas cerca del sitio del presente proyecto, y en otras localidades, (Sánchez, 1995).

Los siguientes fueron los parámetros de cálculo utilizados para las escolleras costa-afuera:

1. Altura significativa $H_s = 3.10$ m (ola de diseño en el sitio).

2. Período pico $T_p = 16$ seg.

3. Nivel de agua de diseño (Condición “El Niño”) = +1.80 m (referido al nivel medio del mar N.M.M.).
4. Profundidad de agua de diseño: Variable, 4.50 m en promedio
5. Peso específico para las piedras de coraza y de la capa intermedia de 2.5 ton/m³.
6. Peso específico para el núcleo de cascajo de 2.1 ton/m³.
7. Talud exterior de 1:2, y de 1:1.5 para el interior.
8. Doble capa de piedra, tanto para la coraza como para la capa intermedia.
9. Coeficiente de estabilidad de 3.0 para el tronco o cuerpo principal de la escollera, y de 2.2 para la cabeza o extremos de la misma.

La determinación de las longitudes, separación entre las escolleras, y su distancia a la costa, fue realizada en base a los análisis de la difracción de las olas sobre diferentes geometrías y configuraciones que fueron

evaluadas. Se utilizó como factor de ajuste, el remonte o run-up que era permitido que tuvieron las olas sobre el Malecón, luego de que pasaban por la abertura entre las escolleras, y que no inundara el Malecón, en los niveles que previamente habían sido establecidos en conjunto con los arquitectos urbanistas del Proyecto.

En la **figura 16** se presenta el diagrama de difracción para la condición más desfavorable, que es para las olas incidiendo desde el norte, con 16 segundos de período. Las isolíneas del gráfico corresponden a los coeficientes de difracción K_d , los cuales representan la proporción de la altura de ola en la parte protegida por las escolleras con respecto a la altura que se tiene en el exterior. Se observa que en el borde del Malecón proyectado, en la zona de la abertura entre las escolleras, se tiene un coeficiente de 0.6, que significa que la altura de la ola incidente es reducida en 40%. En la práctica, esta reducción será algo mayor debido a la presencia del talud en el extremo de cada escollera, que hace que la separación real entre cada par de estructuras sea menor, y por lo tanto aumente el grado de protección que ofrecen las estructuras. También se espera que se reduzca el oleaje por el arenamiento que ocurrirá durante la vida del proyecto.

De esta forma se determinó que se requerirá construir un total de 453 metros de escollera costa-afuera, a una distancia de 80 metros desde el Malecón actual, y con separación promedio a nivel de la cresta o corona, de aproximadamente 60 metros entre ellas. La cota del coronamiento de las estructuras será de + 4.30 referida al nivel medio del mar, que significa 2.5 metros sobre el máximo nivel del mar, durante la condición de El Niño.

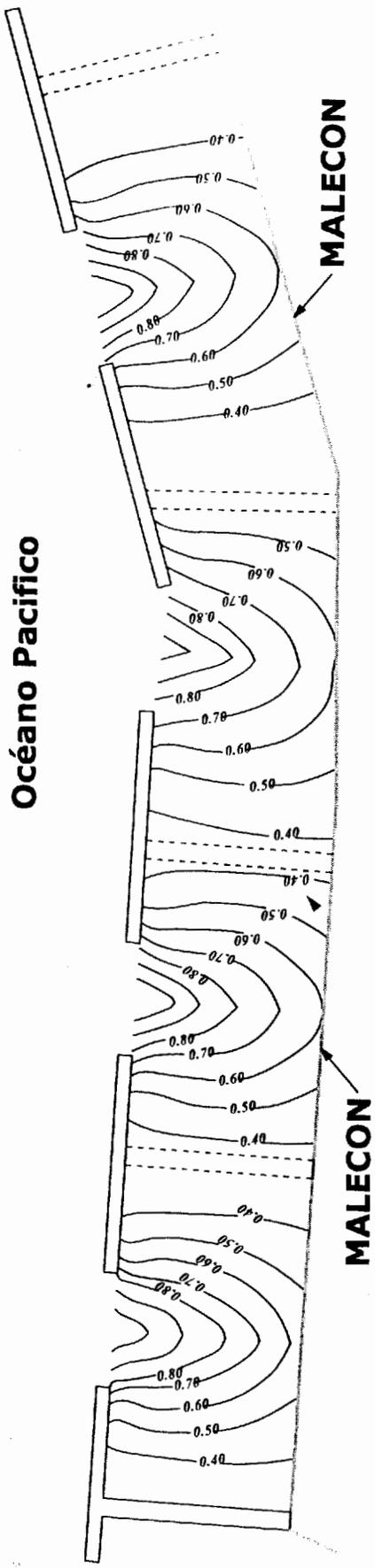


FIGURA 16: Coeficientes de difracción (K_d) entre los rompeolas, para olas provenientes del norte y periodo de 16 seg.



Las siguientes son los pesos de los elementos estructurales que se establecieron para la construcción 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.

En vista que se tiene fondo arenoso de espesor apreciable, en el sitio donde se construirán las escolleras # 1 y 2, se incluyó en su diseño la colocación de geotextil en la base del talud exterior, a fin de evitar la fuga de arena en el pie de la estructura por efectos de las corrientes de fondo generadas por el oleaje, reduciendo las deformaciones de la obra de enrocado.

Par el cálculo de los accesos desde la costa necesarios para la construcción de las escolleras costa-afuera, se consideró que estas estructuras tenían que estar provistas de una coraza de protección que les permita soportar el ataque de las olas durante el proceso constructivo. Para efectos del cálculo, se tomó en consideración la posibilidad de que los accesos no tengan la protección de las escolleras por 6 meses, que es el período de retorno con el cual se determinó la altura de ola que interviene en la fórmula de Hudson mencionada anteriormente, con la cual se definió el peso de la piedra para la protección de los accesos. De esta forma se estableció un peso promedio de piedras de 0.8 toneladas para los accesos temporales que sirven para la construcción de las escolleras # 1, 2, 3 y 4. Para el acceso permanente que unirá al Malecón con la escollera # 5, ubicada junto a La Caleta, la coraza del lado oeste, que es

el menos protegido, tendrá piedras de 1.5 toneladas de peso, mientras que en el lado este, que está mejor protegido que el anterior, las piedras serán de 0.8 toneladas de peso promedio.

Los accesos mencionados tendrán un ancho de 8 metros, y su calzada sobre el coronamiento tendrá una cota de + 3.0 I.G.M. , que será mayor en su inicio debido al mayor nivel del actual Malecón, razón por la que se ha previsto la incorporación de un gradiente en esta parte del acceso.

Todos los materiales de enrocado que componen las escolleras y los accesos tienen una gradación adecuada, que permite hacer un mejor aprovechamiento de lo que se produce en la cantera, a la vez que funcionan mejor como un filtro para la admisión de la energía del oleaje incidente sobre las estructuras, y estabilizan de un mejor grado a la estructura. Este ancho de los accesos es suficiente para permitir la circulación de un tractor y una volqueta.

En el Plano 1 (Anexo 1) se presenta la implantación del diseño de las escolleras y del muro del Malecón de La Libertad. Las secciones típicas

para el tronco y para la cabeza o extremo de las escolleras costa-afuera constan en la Figura 17 y 18.

La implantación de los accesos requeridos para llegar desde el Malecón hasta el sitio de las escolleras costa – afuera, esta indicada en la figura 19.

Sección A

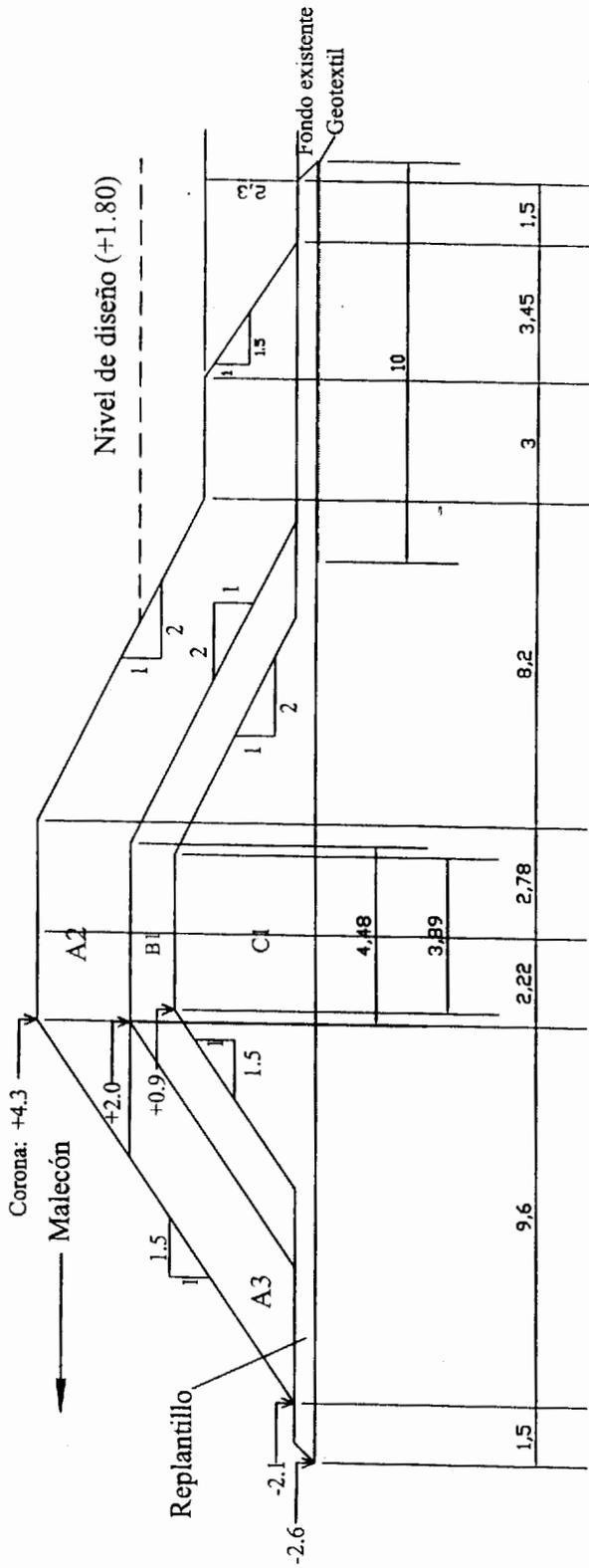


Figura 17: Las secciones típicas para el tronco de las escolleras costa - afuera

Sección B

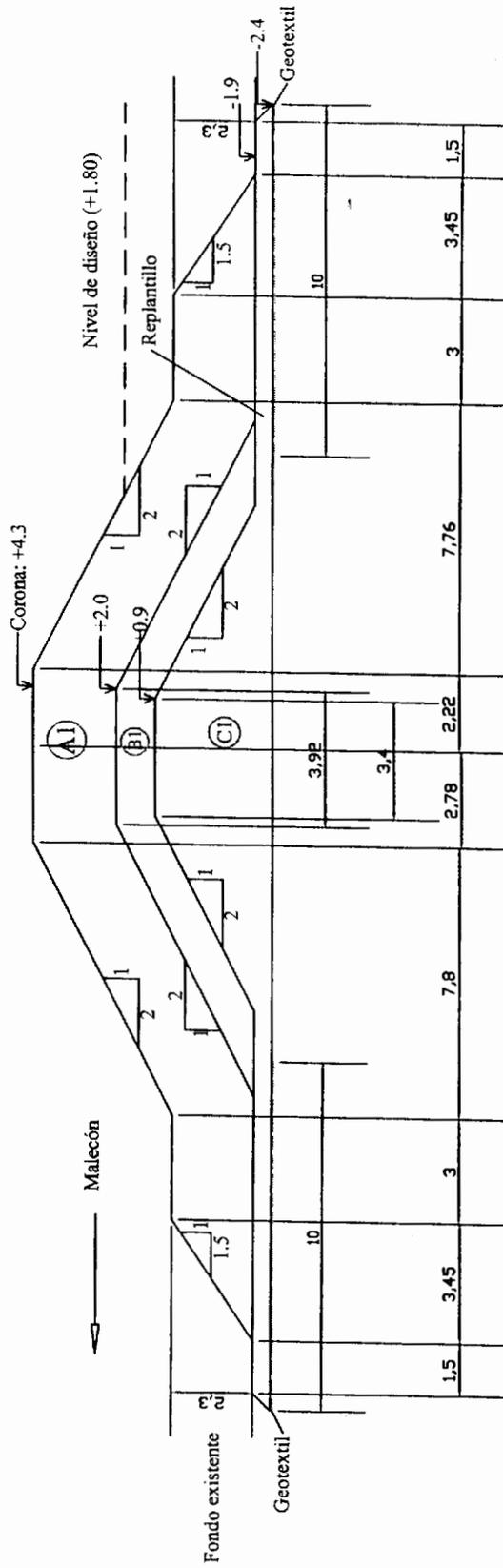


Figura 18: Sección típica de la cabeza (extremo) de las escolleras costa - afuera

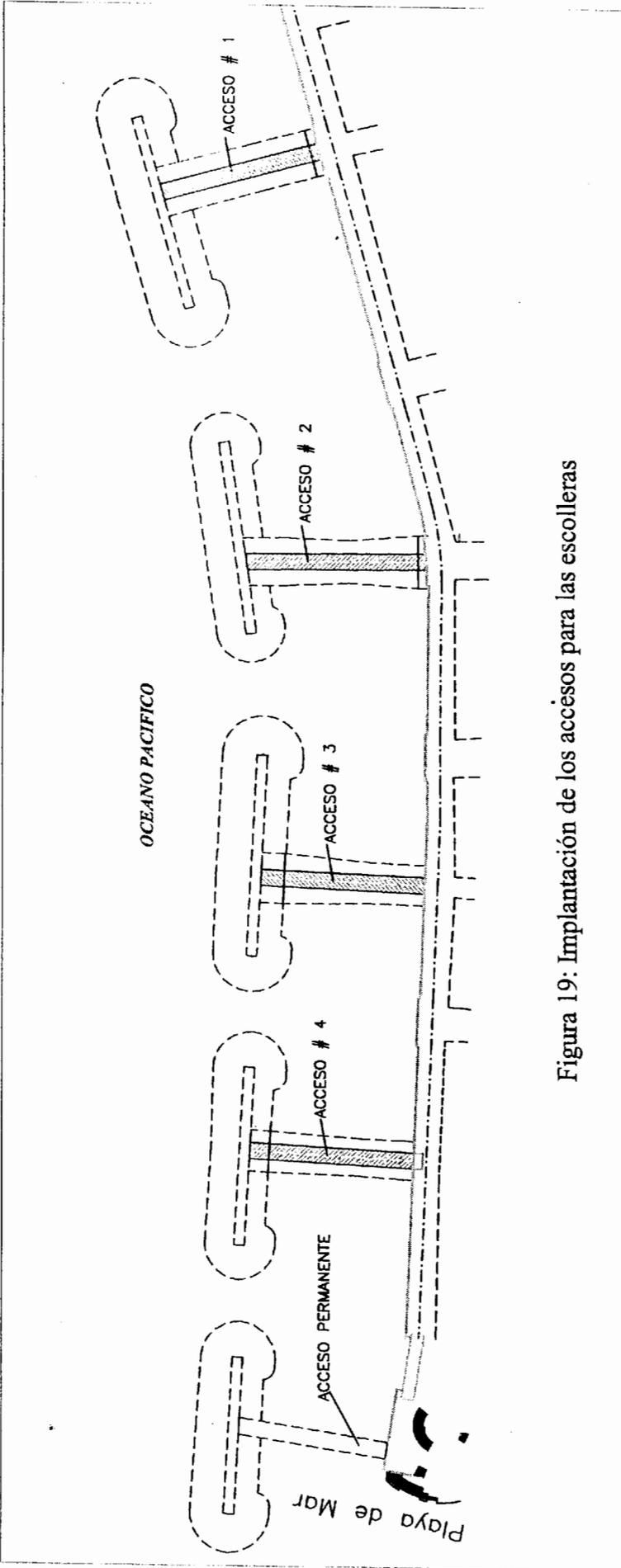
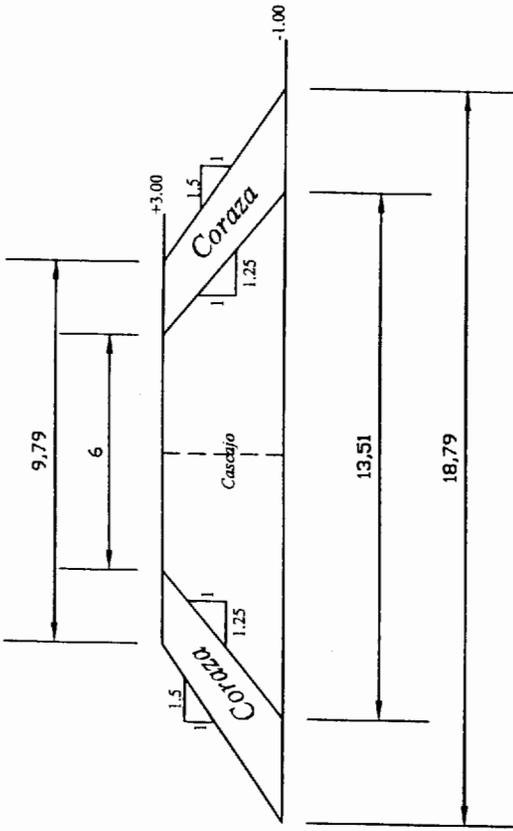
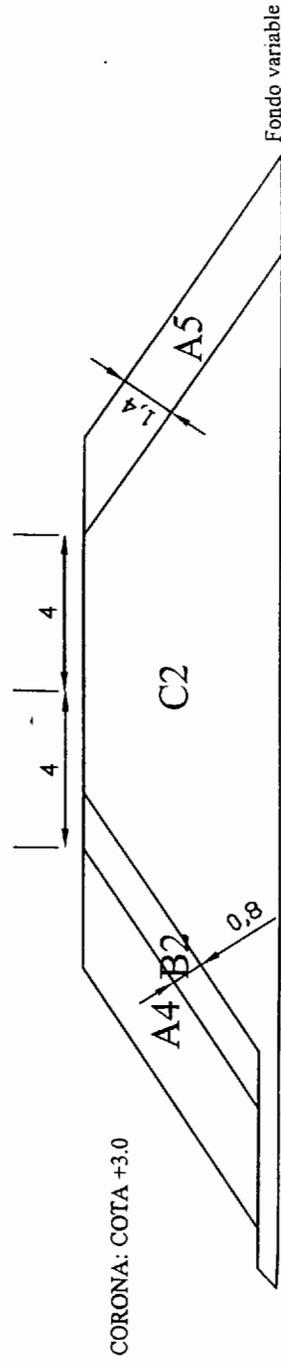


Figura 19: Implantación de los accesos para las escolleras

Acceso temporal



Acceso permanente



CORONA: COTA +3.0

Figura 20: Secciones típicas para los accesos a las escolleras costa - afuera

Sección G

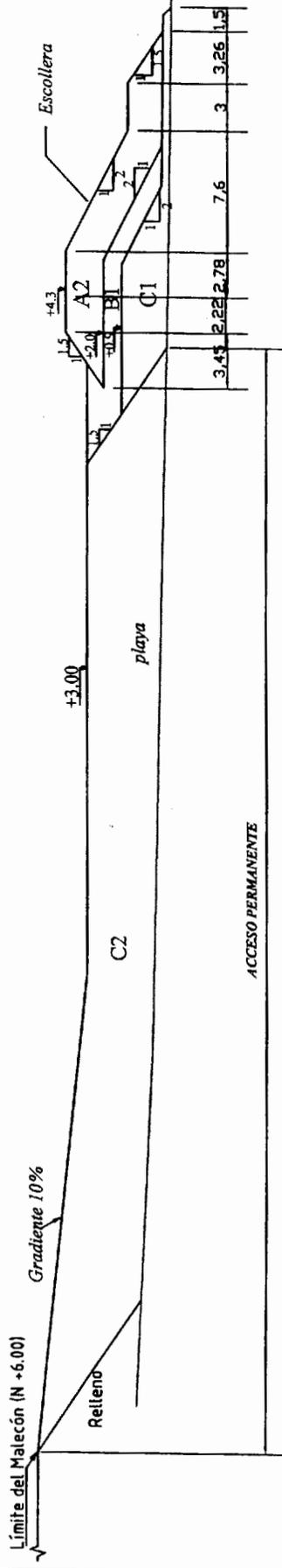


Figura 21: Sección a lo largo del eje de acceso a la escollera # 5

En la **figura 20** se presenta las secciones típicas para el acceso temporal y para el definitivo. Un corte longitudinal a lo largo del acceso permanente a la escollera # 5, mostrado en la **Figura 21**, permite observar un detalle de la conexión del acceso a la escollera costa-afuera.

4.2 MURO MARGINAL DE ENROCADO

El nuevo muro de enrocado del Malecón ha sido diseñado para asegurar la contención del material de relleno y demás materiales sueltos que conforman esta vía, y para resistir los empujes dinámicos que son ejercidos por la acción de las olas. Igualmente, su altura controlará la inundación por oleaje debido al remonte o run up que producen las olas.

La altura de las olas, y por tanto su energía, variará a lo largo del muro, en función del grado de protección que tenga por medio de las escolleras costa-afuera, por lo que para su cálculo y diseño el muro fue dividido en tres sectores, que son:

1. Sector con Diseño #1: Frente a PACIFICTEL y el parque, donde no se tendrá la protección de las escolleras costa-afuera.
2. Sectores con Diseño # 2: Frente a las aberturas que existirán entre las escolleras, y frente al extremo de estas.
3. Sectores con Diseño # 3: Atrás de las escolleras, en las partes más protegidas del malecón.

Para el cálculo se utilizaron los siguientes parámetros:

a) En el sector este que no tiene protección de las escolleras costa-afuera:

1. Altura significativa $H_s = 2.50$ m (máximo rompiente sobre el muro).

2. Período pico $T_p = 16$ seg.
 3. Nivel de agua de diseño (Condición “El Niño”) = +1.80 m
(referido al nivel medio del mar N.M.M.).
 4. Profundidad de agua de diseño en el muro = 2.00 m.
 5. Pendiente de playa = 1:30.
 6. Talud 1: 1.5
 7. Peso específico de las piedras para coraza y capa intermedia de 2.5 ton/m³.
 8. Doble capa de piedra para la coraza y para la capa intermedia.
 9. Coeficiente de estabilidad para la coraza de 2.2
- b) En el sector oeste y central, que tienen protección de las escolleras costa afuera:

1. Altura significativa $H_s=1.30$ m atrás de las escolleras, y $H_s=1.90$ m frente a las aberturas entre las escolleras (obtenida para un coeficiente de difracción junto al muro, entre 0.4 y 0.6)
2. Período pico $T_p = 16$ seg.
3. Nivel de agua de diseño (Condición “El Niño”) = +1.80 m (referido al nivel medio del mar N.M.M.).
4. Pendiente de playa = 1:30.

Todas las piedras de la coraza y de la capa intermedia del muro de enrocado tendrán un peso específico mínimo de 2.5 ton/m³. Se deberá colocar atrás del muro, un relleno friccionante formado por cascajo grueso, para completar el ancho de diseño del Malecón.

Los niveles de la parte superior del muro de enrocado fueron ajustados para que coincidan con los que fueron definidos para el diseño del Malecón, por los arquitectos urbanistas del Proyecto. De esta forma el nuevo muro de enrocado tendrá una cota IGM que varía entre + 4.06,

frente a la Iglesia en el sector de la escollera # 4, y + 6.3 en la zona frente a PACIFICTEL que no está protegida por las escolleras costa-afuera.

Los siguientes serán los componentes estructurales del muro marginal de enrocado:

1. Los pesos promedio de las piedras para la coraza serán de 4, 1.5 y 0.8 toneladas para los sectores con los Diseños # 1, 2 y 3 , respectivamente.
2. Los pesos de las piedras para la capa intermedia serán de 400, 120 y 60 Kg para los diseños indicados, en el orden mencionado.
3. En las zonas donde el espesor de la arena, al pie del muro, sea mayor que 1 metro, se colocará un manto antisocavación compuesto por piedra variada de entre 2 y 150 Kg de peso.
4. Filtro de geotextil, que se colocará entre el enrocado y el relleno del Malecón.

5. Manto de grava, que se colocará entre las piedras de la capa intermedia y el geotextil, para evitar que este sea dañado especialmente durante la construcción.

En este trabajo se presentan las características relevantes del Diseño, ya que todos los planos de detalle fueron entregados al Municipio de La Libertad.

La implantación del muro del Malecón consta en el Plano 1 mencionado anteriormente. Las secciones estructurales típicas para los sectores con los Diseños # 1, 2 y 3 son presentadas en las Figuras 22 a 24.

En la Figura 25 se presenta una sección típica del muro del Malecón de La Libertad, con las obras de protección costera diseñadas en el presente trabajo. El diseño estructural del Malecón, atrás del muro de enrocado, estuvo a cargo de los Ingenieros Miguel Angel Chávez y Roberto Nivelá.

Los detalles de los materiales de enrocado son presentados en las especificaciones técnicas, en el Capítulo VI de la presente Tesis.

Sección C

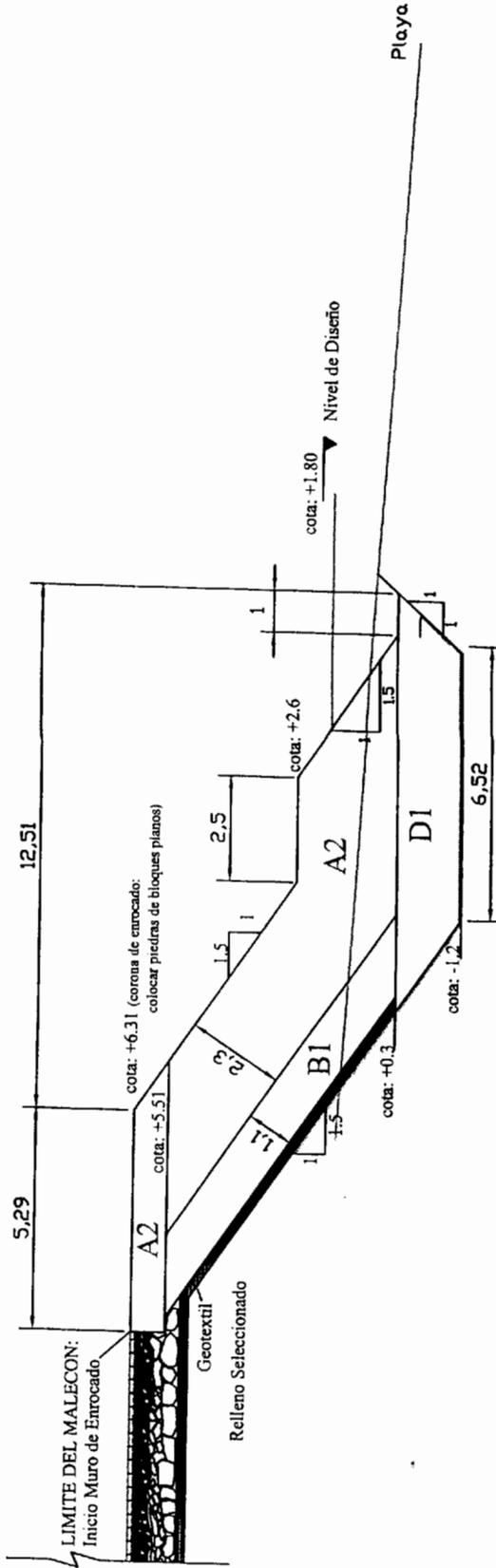


Figura 22: Sección típica del muro de enrocado en la zona sin protección de las escolleras costa - afuera (Sector Este)

Sección E

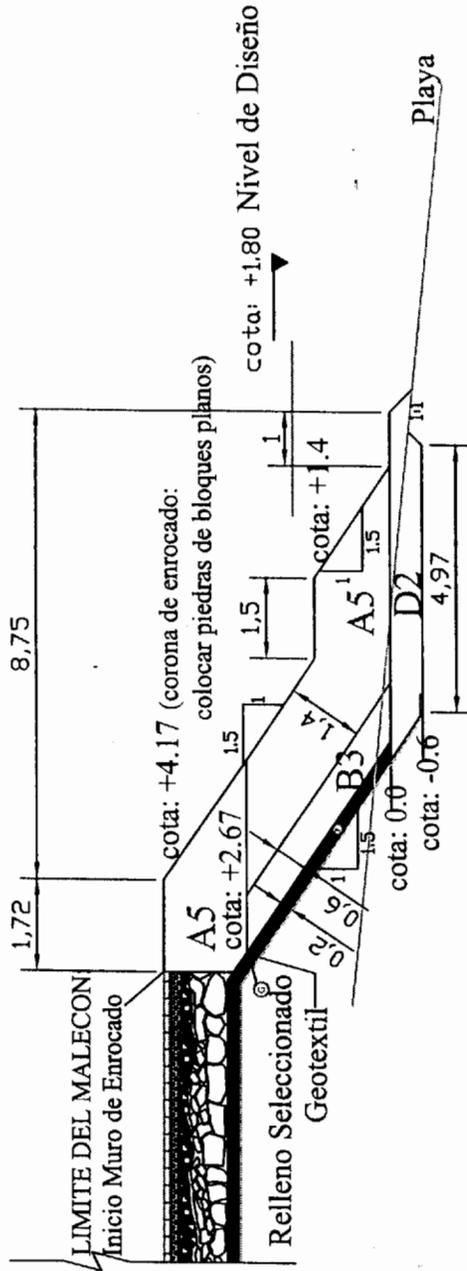


Figura 24: Sección típica del muro de enrocado en los tramos bien protegidos por las escolleras

Sección F

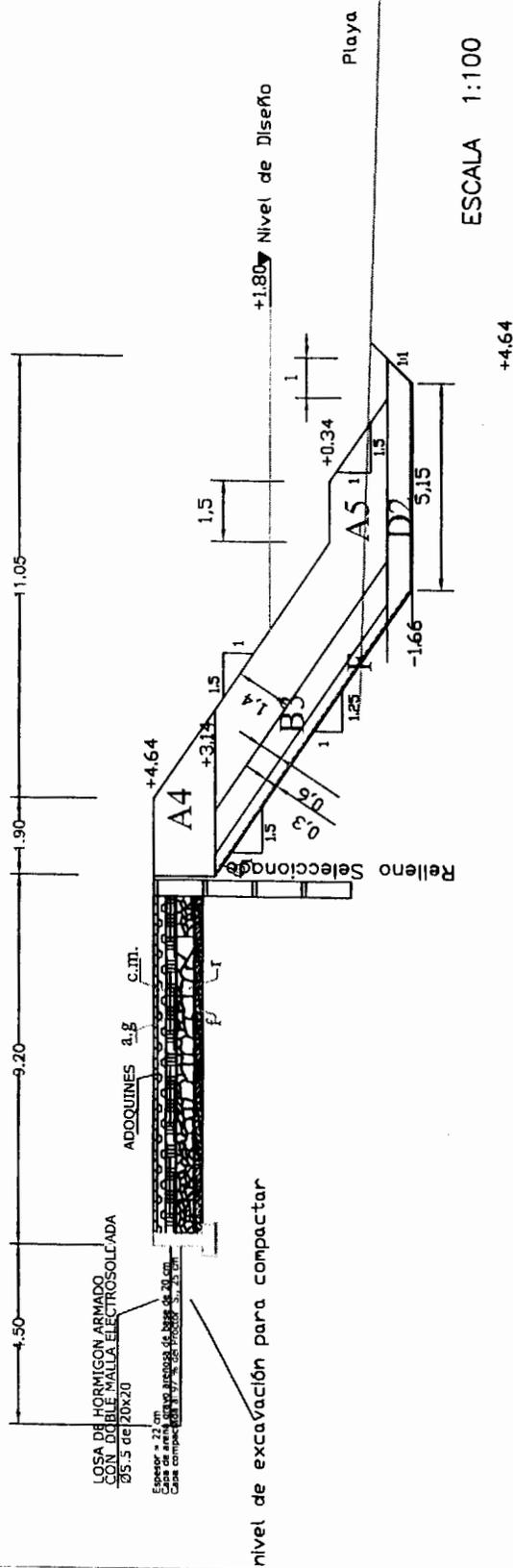


Figura 25: Sección típica de la estructura del muro Malecón de la Libertad

V. IMPACTO AMBIENTAL

5.1 SÍNTESIS DE LOS RESULTADOS DEL ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

El Estudio de Impacto Ambiental fue realizado por el Ing. José Chang, Profesor de la ESPOL. Como parte del mismo, se efectuó el monitoreo de las condiciones ambientales existentes en el área del proyecto, con el objeto de verificar, establecer y diferenciar de aquellos cambios que son productos de variaciones temporales naturales y aquellos que son consecuencia de actividades antropogénicas. A continuación se presentan las principales conclusiones del Estudio Ambiental, que son relevantes para el presente trabajo.

1. El Estudio de Impacto Ambiental estableció las estrategias a ser implementadas durante y después de la ejecución del proyecto de Restauración del Malecón de La Libertad, que comprende la construcción de obras civiles, muro de protección, escolleras y espigones diseñados para proteger el malecón del embate del oleaje. Se determinó que la baja magnitud e intensidad de los impactos previstos sobre el medio natural, como consecuencia de la ejecución de la obra propuesta, hace factible la realización del proyecto.

2. La diversidad en el ámbito marino puede ser un indicador, que tiene relación con las condiciones ambientales. Si estas condiciones son favorables, especialmente turbidez, el área de estudio puede constituirse en una zona de interés ecológico. Diversidad es en realidad lo que atrae al turista.

3. Con respecto a la diversidad de organismos en el ámbito bentónico se registró el mayor nivel en las estaciones marinas, tanto en macro como en meiobentos. Entre las muestras de meiobentos y macrobentos, la mayor diversidad se registró en

este ultimo grupo, indicando la presencia de un ambiente ecológico digno de conservarse y al mismo tiempo de promover la presencia de investigadores de diverso índole, en el ámbito biológico y ecológico para estudiarla. A nivel plantónico la diversidad fue variable de acuerdo a cada uno de los grupos estudiados, estableciéndose que frente a La Caleta existía una menor diversidad de organismos.

4. Con relación al sistema pesquero, La Libertad no ha sido considerada dentro de los estudios realizados por el Instituto Nacional de Pesca INP, probablemente debido al bajo número de pescadores y su baja incidencia en el mercado local. No obstante, cualquier infraestructura que se desee instalar en su zona de pesca, deberá considerar la actividad pesquera y su impacto socioeconómico.
5. En cuanto a la estación Puerto Rico, situada al este del área de estudio, la presencia de un buque varado ha permitido la fijación de organismos en su casco, que incrementan la diversidad de la zona. La presencia de playas verdes, ricas en

fitoplancton, es un indicativo de un incremento en el nivel de materia orgánica en la zona. Esta es una zona con potencial desarrollo turístico, pero previamente se deberán eliminar las fuentes de descarga de aguas residuales que afectan la calidad de las playas y producen contaminación.

6. En general se puede concluir que las aguas costeras circundantes a La Libertad pueden asimilar descargas de DBO5 y son bien oxigenadas, debido a factores tales como el oleaje, y su consecuente intercambio de oxígeno con la atmósfera.
7. El sector de Cautivo, a partir del muelle de Petroindustrial, es el más apropiado para desarrollo turístico. Sin embargo, se deberá prevenir la contaminación por efluentes sanitarios o petroleros.
8. Se procesó y analizó la información obtenida sobre el cambio batimétrico y de la línea de costa con el modelo GENESIS. Se encontraron resultados que deben ser interpretados sólo como una buena aproximación al comportamiento dinámico de la

morfología costera, y cuyas limitaciones y características técnicas fueron descritas en el Informe de Impacto Ambiental. La alternativa con menor impacto ambiental sería la construcción temporal de los 4 accesos temporales más uno permanente en el sector de La Caleta, y además las 5 escolleras (rompeolas), debido a que en esta condición la tasa de pérdida de arena es menor comparada con las otras alternativas.

9. El Estudio ambiental identificó algunos sitios de descargas de efluentes, que originan contaminación, y recomendó que el I. Municipio de La Libertad realice las gestiones que considere necesarias para eliminar dichos focos de infección que representan un potencial riesgo para la salud, especialmente de los usuarios de las playas del cantón, así como también un impacto ambiental negativo para la flora y fauna marina existente. También se recomendó que el Municipio del Cantón mantenga un Plan de Monitoreo Ambiental en el sector de costa modelado y en las playas adyacentes, que permita medir y documentar los cambios que se producirán en el sector de

interés, para evaluar y comparar los resultados calculados por el Modelo GÉNESIS.

5.2 NUEVAS ZONAS PARA EL DESARROLLO DE PLAYA Y USO TURÍSTICO

5.2.1 CONSIDERACIONES GENERALES

El diseño de la protección costera para el Malecón de La Libertad no incluye la adecuación de zonas de playa, debido a que el objetivo fundamental de las estructuras es la defensa contra el oleaje. Sin embargo, la presencia de las escolleras costa-afuera producirá un ambiente de aguas más calmadas que en la actualidad, con lo cual se ha estimado que se producirá el arenamiento de la playa junto al Malecón. Esto determinará que se ocupará con bañistas los sectores en que se recupere la arena.

Por su parte, el Estudio de Impacto Ambiental realizado por la ESPOL, recomendó que es preferible, desde el punto de vista sanitario, que el Municipio desarrolle áreas de playa mas extensas y apropiadas, para el

uso de la población y de los turistas, en la zona localizada junto al antiguo campamento de Cautivo, en dirección hacia Punta Chuyuipe.

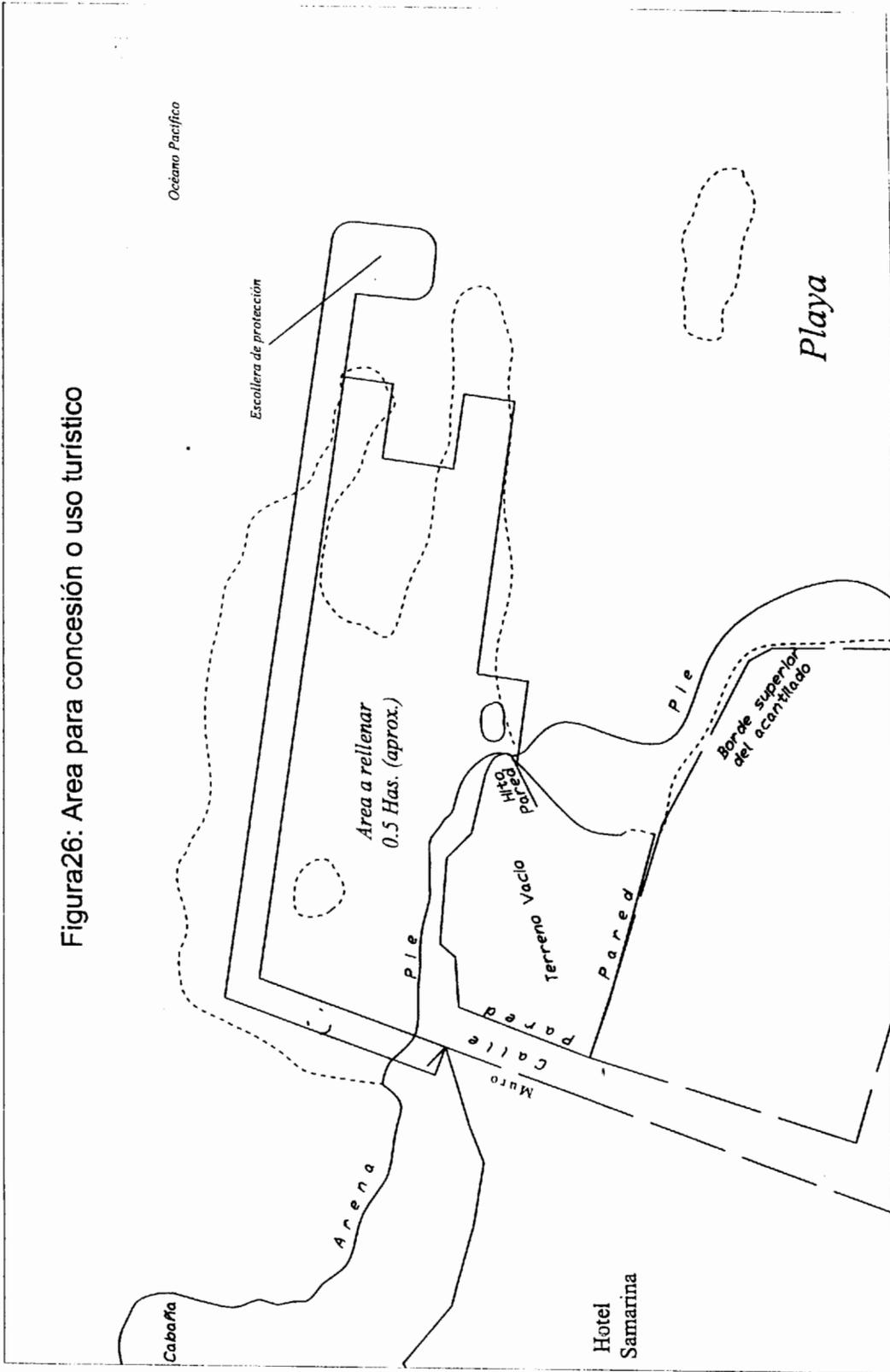
También se debe indicar como consideración general, que la construcción del Malecón revitalizará la economía de todo el Cantón, y generará el desarrollo de la zona adyacente al nuevo Malecón. El Municipio deberá disponer de una planificación urbana adecuada para promover este desarrollo.

Con estos antecedentes, y aunque no forma parte del diseño del Malecón, motivo del presente Estudio, a pedido del Municipio de La Libertad se incorporaron en el trabajo realizado por este autor, algunas recomendaciones de carácter técnico, respecto a la potencialidad turística que tiene el Cantón La Libertad, basándose en el mejoramiento del uso de su franja costera. A continuación se presentan dos opciones para zonas que son potencialmente aprovechables, una vez que se cuente con la infraestructura adecuada.

5.2.2 ZONA PARA DESARROLLO TURÍSTICO LOCALIZADA JUNTO AL HOTEL SAMARINA

Se propone rellenar un área en tierra aproximada de 0.5 Has, para ser utilizada con propósitos de concesión o turísticos. Esta área compuesta por formaciones rocosas, se encuentra localizada junto al Hotel Samarina, y dispondría de un acceso independiente desde la Avenida Marginal que bordea el frente costero de La Libertad. El área de ocupación podría incrementarse hasta un máximo de 1 Ha. El canal que separa esta área con la Isla de los Pájaros debería ser conservado y toda el área marina de su alrededor debería ser manejada como una zona de protección ecológica. En la figura 26 se presenta un esquema de la implantación correspondiente.

Figura26: Area para concesión o uso turístico



5.2.3 ZONA PARA USO TURÍSTICO DE PLAYA EN EL SECTOR DE CAUTIVO

La playa de Cautivo, localizada al este la población, podría ser utilizada si es que es manejada técnicamente. Esta playa tiene la limitación de que es utilizable únicamente en marea baja, ya que durante la marea alta queda cubierta por el agua en su mayor parte.

Para resolver esta limitación, es factible desarrollar las denominadas “playas de marea alta”, que podrían ser habilitadas a lo largo del borde costero que no es inundado con la subida de la marea.

Se plantea así, la utilización de una franja costera de aproximadamente 11 Has, que tiene potencial para ser desarrollada como balneario, la misma que esta mostrada en las figuras 27 y 28. El balneario estaría ocupando por dos franjas que serían:

- a) Una franja inferior que ocuparía 50% del área y que corresponde a la playa natural existente, de aproximadamente 60 m de ancho por 1.5 Km de longitud; y,

Oceano Pacifico

MLWS

Playa de mar

Area para playa de marea baja 30 m

Pie del barranco

Filo superior del barranco

Cerramiento de malla

FRANJA COSTERA
Para desarrollo de Playa
de marea alta, accesos
y servicios turisticos

30 m

Pie del barranco

Filo superior del barranco

Acceso a la playa

En Construccion

Paseo del Pelicano

Zona de Instalaciones y depositos de combustibles

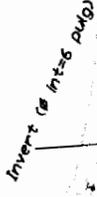


FIGURA 27: Zona para uso turistico en playa de Cautivo (sector oeste)

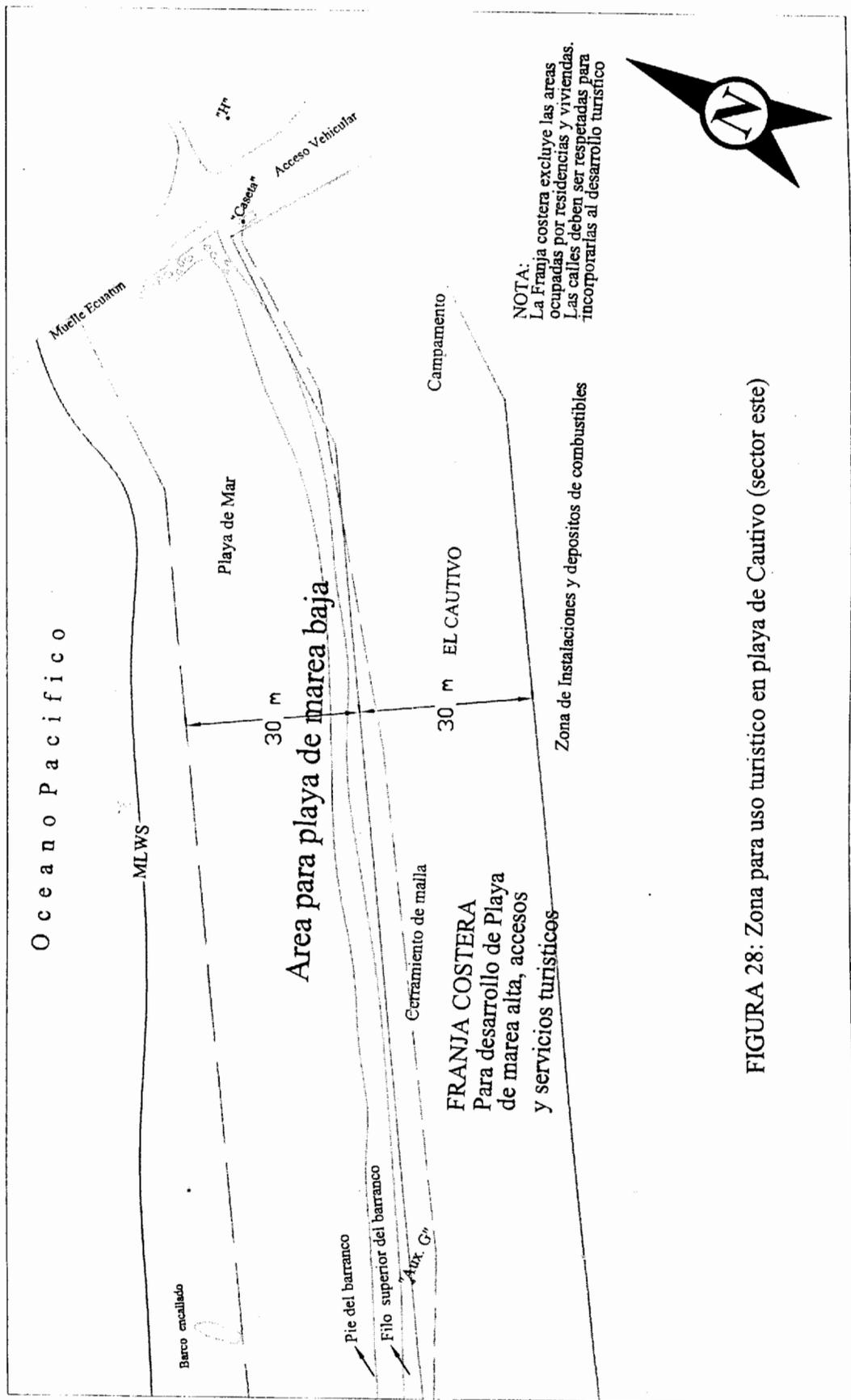


FIGURA 28: Zona para uso turistico en playa de Cautivo (sector este)

- b) Una franja superior correspondiente al 50% restante, localizada sobre el acantilado. En esta franja superior, es técnicamente factible colocar arena para ampliar la capacidad de carga de la playa existente, a fin de que sea aprovechable en cualquier marea. En esta misma zona se pueden incorporar áreas verdes para el esparcimiento de los visitantes, y se la debe de dotar de vías de acceso, estacionamientos, áreas para instalaciones turísticas, y para servicios básicos del balneario.

Debe indicarse que las residencias existentes dentro de la zona del balneario, deberán ser respetadas, pues constituyen elementos fundamentales para el turismo. La ocupación para uso público de la franja superior indicada, podrá realizarse, una vez que se cuente con el marco legal apropiado para tal propósito.

Se concluye, que el Cantón La Libertad tiene, además de su Malecón, otras áreas en su perfil costanero que pueden ser aprovechadas para su uso turístico. Las opciones citadas en este subcapítulo, no constituyen un estudio que sea técnicamente suficiente como para tomar decisiones para su ejecución. Para tal efecto, se requeriría de una planificación adecuada que cumpla con las normas y regulaciones que existen en la actualidad para el desarrollo urbanístico y turístico.

VI. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

6.1 ELEMENTOS ESTRUCTURALES

6.1.1 ESCOLLERA COSTA-AFUERA

El proyecto de defensa costera del Malecón de La Libertad contempla la construcción de 5 escolleras costa-afuera, alineadas en forma paralela al Malecón, y que actuarán como rompeolas disipadores de la energía de las olas que inciden sobre la costa.

La longitud total de las escolleras será 453 m, y las mismas serán construidas con piedras de diferentes tamaños. Estas estructuras tendrán tres capas, que son:

- a) Coraza, que corresponde a la capa exterior, y que está formada por las piedras de mayor tamaño.
- b) Capa intermedia, y,
- c) Núcleo, conformado con material de relleno grueso, seleccionado.

Bajo las escolleras 1 y 2 se deberá colocar un filtro de geotextil, para reducir el riesgo de socavación que pueda producirse por efecto de las olas.

De las cinco escolleras propuestas, la # 5, localizada frente al remate oeste del Malecón, en el sector de la Caleta, estará comunicada con este por medio de un acceso de piedra que tendrá carácter permanente.

Para la ejecución de las escolleras restantes se construirán los accesos desde tierra, los cuales serán de carácter temporal. Estos accesos deberán ser removidos luego de que se complete la construcción de las escolleras.

Una vez culminada la construcción de las escolleras costa-afuera, estas deberán ser provistas de la adecuada iluminación para prevenir de accidentes a las embarcaciones que transiten por el lugar. El tipo de señalización deberá ser ejecutada o supervisada por el Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR).

6.1.2 MURO DE ENROCADO

A lo largo del Malecón se construirá un muro de enrocado, de 820 m de longitud, que actuará como protección del relleno que será requerido colocar para ampliar el Malecón, así como de los demás elementos estructurales y urbanísticos que comprende el Proyecto.

Los siguientes son los elementos constitutivos del muro de enrocado:

- a) Capa exterior de coraza.
- b) Capa intermedia.
- c) Capa de grava.
- d) Manto de piedras anti-socavación, a colocarse en el pie del talud.
- e) Geotextil, a colocarse entre el relleno y el filtro de grava.

6.1.3 CARACTERISTICAS ESTRUCTURALES

Las especificaciones técnicas requeridas para la construcción de las escolleras costa-afuera, que incluyen los accesos necesarios para su construcción, se presentan en la Tabla III

En la Tabla IV constan las especificaciones requeridas para la construcción del muro de enrocado a ejecutarse junto al Malecón.

En las Tablas V y VI se presentan las especificaciones requeridas para la construcción del acceso permanente y de los cuatro accesos temporales.

6.2 PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS

6.2.1 METODOLOGIA GENERAL

Para la construcción de las escolleras costa-afuera será necesario previamente ejecutar los accesos correspondientes, los cuales serán construidos por el método convencional, con equipo de tierra (volqueta y tractor) depositando el material del núcleo, y a medida que se avance al mar se deberá colocar la protección de enrocado establecida en el diseño.

TABLA III : ESPECIFICACIONES TECNICAS: ESCOLLERAS COSTA - AFUERA

| Elemento | Localización | Piedra Tipo | Peso promedio de piedras W50 | Gradación | | Peso Especifico Minimo Ton/m3 | Abrasión Los Angeles Máxima | Resistencia a los sulfatos Máximo desgaste | |
|----------------------|--------------------------------------|----------------------------|------------------------------|-----------|---------|-------------------------------|-----------------------------|--|--|
| | | | | Wmax | Wmin | | | | |
| CORAZA | Cabeza | A1 | 4.5 Ton | 5.0 Ton | 4.0 Ton | 2.5 | 35% | 5% | |
| | Tronco (talud exterior) | A2 | 4.0 Ton | 4.5 Ton | 3.5 Ton | 2.5 | 35% | 5% | |
| | Tronco (talud interior) | A3 | 2.0 Ton | 2.5 Ton | 1.5 Ton | 2.5 | 35% | 5% | |
| CAPA INTERMEDIA | Tronco y cabeza | | | | | 2.5 | 35% | 5% | |
| NUCLEO Y REPLANTILLO | Tronco y cabeza | | | | | 2.1 | | | |
| FILTRO EN LA BASE | Bajo escolleras costa afuera # 1 y 2 | Especificación | | | | | Tipo | | |
| | | GEOTEXTIL MIRAFLI FW - 700 | | | | | TEJIDO | | |

TABLA 4: ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL MURO DE ENROCADO

| Elemento | Localización | Piedra Tipo | Peso promedio de piedras W50 | Gradación | | Peso Especifico Mínimo | Abrasión Los Angeles Máxima | Resistencia a los sulfatos Máximo desgaste | |
|--------------------|--|---------------------------|------------------------------|------------|------------|------------------------|-----------------------------|--|--|
| | | | | Wmax | Wmin | | | | |
| CORAZA | a) Sector diseño # 1 Secciones 1,2,3 | A2 | 4.0 Ton | 4.5 Ton | 3.5 Ton | 2.5 | 35% | 5% | |
| | b) Sectir diseño # 2 Secciones 4,6,9,10,12, 13 | A4 | 1.5 Ton | 1.8 Ton | 1.2 Ton | 2.5 | 35% | 5% | |
| | c) Sector diseño # 3 Secciones 5,7,8,11,14, 16 | A5 | 0.8 Ton | 1.5 Ton | 0.4 Ton | 2.5 | 35% | 5% | |
| CAPA INTERMEDIA | a) Sector diseño # 1 Secciones 1,2,3 | B1 | 0.4 Ton | 0.52 Ton | 0.28 Ton | 2.5 | 5% | 5% | |
| | b) Sectir diseño # 2 Secciones 4,6,9,10,12, 13 | B2 | 120 Kg | 150 Ton Kg | 80 Kg | 2.1 | 10% | 5% | |
| | c) Sector diseño # 3 Secciones 5,7,8,11,14, 16 | B3 | 60 Kg | 80 Kg | 40 Kg | 2.1 | 10% | 5% | |
| MANTO ANTISOCACION | a) Sector diseño # 1 Secciones 1,2,3 | D1 | | 150 Kg | 4Kg | 2.1 | 10% | | |
| | b) Sectir diseño # 2 y # 3 Secciones 4 - 16 | D2 | | 80 Kg | 2 Kg | 2.1 | 10% | | |
| FILTRO DE GRAVA | A lo largo del muro | F | Espesor 20cm | ø = 8 cm | ø = 1.5 cm | Grava de río | | | |
| FILTRO ANTIEROSION | Entre el muro y el relleno del malecón | Especificación | | | | | Tejido | | |
| | | GEOTEXTIL MIRAFI FW - 403 | | | | | TEJIDO | | |

TABLA V.- ESPECIFICACIONES TECNICAS; ACCESO PERMANENTE A ESCOLLERA 5

| Elemento | Localización | Piedra Tipo | Peso promedio de piedras W50 | Gradación | | Peso Especifico Mínimo Ton/m3 | Abrasión Los Angeles Máxima | Resistencia a los sulfatos Máximo desgaste |
|------------------------|---------------------|-------------|------------------------------|-----------|---------|-------------------------------|-----------------------------|--|
| | | | | Wmax | Wmin | | | |
| CORAZA | Talud interior | A4 | 1.5 Ton | 1.8 Ton | 1.2 Ton | 2.5 | 35% | 5% |
| | Salo talud exterior | A5 | 0.8 Ton | 1.5 Ton | 0.4 Ton | 2.5 | 35% | 5% |
| CAPA INTERMEDIA | Solo talud exterior | B2 | 120 Kg | 150 Kg | 80 Kg | 2.1 | 60% | 10% |
| NUCLEO | | C2 | | 15 | 2 Kg | | | |

TABLA VI.- ESPECIFICACIONES TECNICAS: ACCESOS TEMPORALES DE ESCOLLERAS 1 A 4

| Elemento | Localización | Piedra Tipo | Peso promedio de piedras W40 | Gradación | | Peso Especifico Ton/m3 | Abrasión Los Angeles Máxima | Resistencia a los sulfatos Máximo desgaste |
|---------------|--------------|---------------|------------------------------|-----------|---------|------------------------|-----------------------------|--|
| | | | | W max | Wmin | | | |
| CORAZA | Taludes | A5 | 0.8 Ton | 1.5 Ton | 0.4 Ton | 2.5 | 35% | 5% |
| NUCLEO | | Casajo grueso | | | | | | |

Una vez que se alcance el sitio de las escolleras, se procederá a iniciar su construcción, colocando primeramente el material del núcleo. Para la construcción de las escolleras # 1 y 2 será necesario primeramente colocar el geotextil sobre el fondo marino. La colocación será realizada a

lo largo de la estructura, en dirección paralela al eje de la misma. El traslape de las bandas de geotextil será de 0.5 metros. Una vez que haya sido colocado el geotextil se depositará el material del núcleo. Para la colocación de las piedras de la capa intermedia y de la coraza se requerirá del uso de retroexcavadoras equipadas con grapos apropiados para el movimiento de las piedras. Este equipo también servirá para conformar adecuadamente el talud del núcleo, y para colocar la berma y el replantillo.

Los accesos temporales, denominados en los planos de diseño con los números 1 al 4, deberán ser retirados luego de transcurridos un mínimo de seis meses. Este tiempo es requerido para observar el comportamiento de las escolleras ante el ataque del oleaje, y permitirá reconformar los taludes y reubicar las piedras que hayan sido desplazadas de su sitio, por las primeras marejadas que soportarán las estructuras.

La construcción del muro de enrocado del malecón deberá ser ejecutada luego de que se hayan construido las escolleras costa-afuera y, al igual que aquellas, podrá ser efectuada por etapas. En el sector de

PACIFICTEL, donde no se contará con la protección de escolleras, el muro podrá ser construido en forma independiente.

Para la ejecución de cada tramo del muro de enrocado, será necesario previamente retirar las piedras que componen la protección del muro existente, así como de los elementos de hormigón que se encuentren construidos. Una vez retirados estos elementos se procederá a la colocación del relleno necesario para la ampliación del Malecón; de igual forma, se deberá ejecutar la excavación requerida para colocar el manto anti-socavación que protegerá el pie del talud del muro.

Antes de la colocación de los enrocados, se deberá poner el geotextil sobre el que se asentarán la capa de grava y las piedras.

Para el caso de la coraza, las piedras deberán ser colocadas cuidadosamente mediante el uso de retroexcavadoras equipadas con grapos, y los taludes serán conformados para cumplir con el diseño. Las piedras de la coraza serán de tipo anguloso, esto es, no redondeadas, a excepción de la corona, donde por requisitos de los arquitectos del Proyecto, se deberán colocar piedras de bloques planos. Estos bloques

tendrán el mismo peso que las piedras restantes de la coraza. Se pondrá reutilizar las piedras existentes que cumplan con las especificaciones del diseño.

6.2.2 NIVEL DE REFERENCIA

Para la construcción de las obras marinas se usará como referencia el nivel medio del mar de La Libertad, conocido comúnmente como cota I.G.M., al cual están referidos los planos de diseño. Este nivel se encuentra a 1.21m sobre el nivel medio de las mareas bajas de sicigia (M.L.W.S.), que corresponde al nivel náutico usado en las cartas hidrográficas que publica INOCAR.

6.2.3 CONTROL DE LOS MATERIALES

Para cumplir con las especificaciones de calidad de los materiales de enrocado, el Contratista deberá tener un estricto control de los mismos, tanto en obra como en la cantera. Es necesario que en la cantera donde se produce el material de coraza, se controle que se cumpla con el peso de las piedras. Se deberán tomar muestras periódicas de las piedras, y enviarlas al laboratorio, para asegurarse que se ajustan a las

especificaciones de peso específico, resistencia a la abrasión, y a los sulfatos.

El peso de las piedras debe ser establecido en la cantera de producción, previo a su colocación en el stock (“estoqueado del material). Para este efecto, el peso de las piedras será determinado mediante el producto de sus tres ejes principales, con lo cual se obtendrá su volumen que luego será multiplicado por el peso específico del material

Una adecuada coordinación entre el personal de obra y el de la cantera, es necesaria para manejar adecuadamente, los stocks de piedras, los mismos que podrán ajustarse también a la magnitud del oleaje que esté presente durante el momento de la construcción, especialmente para el caso de las obras de escollera.

6.3 VOLÚMENES DE OBRA

Los volúmenes in situ de las obras de protección costera propuesta han sido calculados basados en los planos de diseño, de donde se elaboraron las áreas de cálculo de las secciones, para finalmente

establecer los volúmenes de obra, y las áreas a cubrir con los mantos de geotextil citados anteriormente.

En la Tabla VII se presentan las cantidades de obra que se necesitarán para la construcción de las escolleras costa afuera, incluyendo sus accesos, y para la reconstrucción del muro de enrocado junto al Malecón de La Libertad.

6.4 COSTO DE LA CONSTRUCCIÓN

Para la elaboración del presupuesto para la construcción de las obras costeras se establecieron los valores unitarios para cada uno de los materiales de enrocado y para el geotextil. Para los enrocados el valor unitario fue obtenido por la sumatoria de los costos unitarios correspondiente a la explotación en la cantera, el transporte al sitio en los 11 Km de distancia hasta la obra, y por la colocación en la estructura. El estudio que entregó ESPOL también incluyó el correspondiente análisis de precios unitarios.

Tabla VII: Volúmenes de obra para las escolleras y el muro eurocado

| Elemento | Piedra de coraza m³ | Piedra capa intermedia m³ | Cascajo para núcleo m³ | Piedra para manto anti-socavación m³ | Grava m³ | Geotextil m² |
|------------------|---|---|--|--|--------------------------------|------------------------------------|
| Escollera # 1 | 10423 | 2308 | 8586 | - | - | 860 |
| Escollera # 2 | 9251 | 2532 | 6379 | - | - | 864 |
| Escollera # 3 | 10458 | 3341 | 8334 | - | - | - |
| Escollera # 4 | 9000 | 2900 | 6919 | - | - | - |
| Escollera # 5 | 8936 | 3305 | 8355 | - | - | - |
| Muro de eurocado | 16625 | 4241 | - | 4517 | 1721 | 7978 |
| Total | 64693 | 18627 | 38573 | 4517 | 1721 | 9702 |

Para esta Tesis se presenta en la Tabla VIII el desglose, por rubros, del costo de construcción de las cinco escolleras costa-afuera, incluyendo sus accesos, que es de 2'392.003 dólares. En la Tabla IX consta el costo de construcción del muro de enrocado para el Malecón, que es de 734.246 dólares. El costo total de las obras de protección costera es de 3'126.249 dólares.

Tabla VIII: Costo de construcción de las escolleras costa – afuera, incluyendo sus accesos

| Nº | Rubros | Unidad | Cantidad | P.Unitario (dólares) | Total (dólares) |
|----------------------------|---|----------------|----------|----------------------|-----------------|
| Escollera # 1 | | | | | |
| 1.0 | Producción, transporte y colocación de piedra coraza | m ³ | 10423 | 30.0 | 312.690 |
| 2.0 | Producción, transporte y colocación de piedra capa intermedia | m ³ | 2308 | 25.0 | 57.700 |
| 3.0 | Producción, transporte y colocación de casajo para núcleo | m ³ | 8586 | 15.0 | 128.790 |
| 4.0 | Suministro y colocación de geotextil | m ² | 860 | 4.5 | 3.870 |
| Total Escollera # 1 | | | | | 503.050 |

| | | | | | |
|----------------------------|---|----------------|------|------|----------------|
| Escollera # 2 | | | | | |
| 1 | Producción, transporte y colocación de piedra coraza | m ³ | 9251 | 30.0 | 277.530 |
| 2 | Producción, transporte y colocación de piedra capa intermedia | m ³ | 2532 | 25.0 | 63.300 |
| 3 | Producción, transporte y colocación de casajo para núcleo | m ³ | 6379 | 15.0 | 95.685 |
| 4 | Suministro y colocación de geotextil | m ² | 864 | 4.5 | 3.888 |
| Total Escollera # 2 | | | | | 440.403 |

Tabla VIII: (Continuación)

| Nº | Rubros | Unidad | Cantidad | P.Unitario (dólares) | Total (dólares) |
|--|---|----------------|----------|-------------------------|--------------------|
| Escollera # 3 | | | | | |
| 1.0 | Producción, transporte y colocación de piedra coraza | m ³ | 10458 | 30.0 | 313.740 |
| 2.0 | Producción, transporte y colocación de piedra capa intermedia | m ³ | 3341 | 25.0 | 83.525 |
| 3.0 | Producción, transporte y colocación de cascajo para núcleo | m ³ | 8334 | 15.0 | 125.010 |
| Total Escollera # 3 | | | | | 522.275 |
| Escollera # 4 | | | | | |
| 1.0 | Producción, transporte y colocación de piedra coraza | m ³ | 9000 | 30.0 | 270.000 |
| 2.0 | Producción, transporte y colocación de piedra capa intermedia | m ³ | 2900 | 25.0 | 72.500 |
| 3.0 | Producción, transporte y colocación de cascajo para núcleo | m ³ | 6919 | 15.0 | 103.785 |
| Total Escollera # 4 | | | | | 446.285 |
| Escollera # 5 | | | | | |
| 1.0 | Producción, transporte y colocación de piedra coraza | m ³ | 8.936 | 30.0 | 268.080 |
| 2.0 | Producción, transporte y colocación de piedra capa intermedia | m ³ | 3305 | 25.0 | 82.625 |
| 3.0 | Producción, transporte y colocación de cascajo para núcleo | m ³ | 8355 | 15.0 | 125.325 |
| Total Escollera # 5 | | | | | 476.030 |
| TOTAL DE LAS 5 ESCOLLERAS COSTA-AFUERA: | | | | | 2'388.043 |

Tabla IX: Costo de construcción del muro de enrocado

| N° | Rubros | Unidad | Cantidad | P.Unitario (dólares) | Total (dólares) |
|---|--|----------------|-----------------|---------------------------------|----------------------------|
| 1.0 | Producción, transporte y colocación de piedra coraza | m ³ | 16625 | 30.0 | 498.750 |
| 2.0 | Producción, transporte y colocación de piedra capa intermedia | m ³ | 4241 | 25.0 | 106.025 |
| 3.0 | Suministro y colocación de geotextil | m ² | 7978 | 4.5 | 35.901 |
| 4.0 | Producción, transporte y colocación de piedra para pavimento anti-socavación | m ³ | 4517 | 15.0 | 67.755 |
| 5.0 | Producción, transporte y colocación de grava. | m ³ | 1721 | 15.0 | 25.815 |
| COSTO TOTAL DEL MURO DE ENROCADO | | | | | 734.246 |

VII. CONSTRUCCIÓN DE LAS PRIMERAS DOS ESCOLLERAS

7.1 CONTRATACIÓN DE LA OBRA

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 fue celebrado entre el M.I. Municipio del cantón La Libertad y el Ing. Carlos Morocho, Contratista de esa localidad. El valor del contrato fue de 803.814,67 dólares, y el plazo de ejecución fue establecido en 120 días calendario.

7.2 SÍNTESIS SOBRE EL PROCESO CONSTRUCTIVO

El proceso que se siguió para la construcción de las dos primeras escolleras, de manera resumida fue el siguiente:

1. Producción de materiales de enrocado para iniciar la ejecución de los accesos.

2. Construcción del acceso para la escollera # 4, y luego el de la # 5.

3. Apertura en la cantera de nuevos frentes de producción de materiales de enrocado para las escolleras costa-afuera. Esta actividad se la efectuó en forma simultánea a la construcción de los accesos.

4. Construcción de las escolleras costa-afuera, empezando por la # 4. Para ejecutar este trabajo, se colocó primeramente el núcleo, se lo cubrió con capa intermedia, y se protegió la estructura con una capa temporal de piedra de coraza. Se trabajó únicamente hasta aproximadamente la cota + 2.5, para que sirva de capa de rodadura para el equipo de construcción. El talud temporal fue de alrededor de 1:1.5 . Una vez que se realizó el trabajo mencionado, se pasó a construir el cuerpo de la escollera # 5, donde se siguió el mismo procedimiento anterior.

5. Colocación de la berma de la escollera # 4, la cual serviría de base de sustentación del talud definitivo de diseño. Debe mencionarse, que para aprovechar adecuadamente el material de enrocado que se explotó para la berma, se colocó también parte de la berma de la escollera # 5. Igualmente, en algunas ocasiones se trabajó simultáneamente en ambas escolleras, para poder desocupar el material que se tenía explotado y preclasificado en la cantera.

6. Para la colocación de la doble capa de piedra de coraza, parte de la cual ya estaba ubicada en el talud temporal de las escolleras, se tuvo que acelerar la producción de este material. De esta forma, se tuvieron que abrir nuevos frentes de explotación en la cantera, a fin de conseguir las rocas de entre 4 y 5 toneladas en la cantidad suficiente, y con la calidad que establecían las especificaciones técnicas.

7. Luego de tener nuevo stock de piedras de coraza, se realizó la conformación del talud exterior definitivo 1:2, y 1:1.5 para el talud interior. Finalmente, se procedió a cubrir la capa de

rodadura con piedras de coraza, de tal suerte que la corona de las escolleras queden completamente con este material. Primeramente se culminó la ejecución de la escollera costafuera # 4, y después la # 5.

8. En la parte final, efectuaron las obras de acabado relacionadas con el acceso a la escollera # 5, que quedará en forma definitiva en el sitio. De esta forma se adoquinó la parte superior de toda la estructura para su aprovechamiento turístico.
9. Igualmente, se aprovechó el equipo constructivo para proteger con enrocado, la casa de bombas del sistema de aguas servidas de la ciudad, que está ubicada junto a la escollera # 5.
10. Debe mencionarse que al iniciar la construcción se modificó el diseño de las escolleras # 4 y 5, mediante el aumento de 30 metros en la longitud de sus accesos a tierra.
11. La construcción de las dos escolleras fue completada en el mes de febrero del 2003. Debido al incremento de la longitud de los accesos, se aumentó el volumen de construcción contratado, lo

que determinó que se extendiera el plazo de ejecución a seis meses y medio

12. Durante el proceso constructivo se ejecutaron controles periódicos del cambio en el nivel de la playa a lo largo de alrededor de 4Km de la costa del cantón. Como resultado se pudo comprobar el arenamiento de la playa ubicada junto al Malecón de La Libertad. El mayor arenamiento se produjo junto a la Escollera # 4, en que el nivel de la arena aumentó casi 2 metros. En las áreas restantes el nivel de la playa se ha elevado aproximadamente en medio metro. De esta forma La Libertad ha empezado a recobrar su condición de balneario.

13. Finalmente, el día 14 de abril del 2003, fecha en que se celebra la cantonización de La Libertad, se realizó la sesión solemne del Consejo del Cantón sobre la Escollera # 5, la cual estuvo completamente adoquinada. La ciudadanía de La Libertad mostró su total beneplácito por los resultados obtenidos, ya que el mar ha reducido considerablemente su efecto destructivo, sobre el Malecón, y el exitoso arenamiento de la

playa ha tenido un gran aporte social sobre los habitantes de la localidad.

14. En el anexo 2 se muestran las fotos del sitio del proyecto, y sobre el proceso constructivo que se siguió para las dos primeras escolleras de protección del Malecón de La Libertad.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La solución propuesta en el presente trabajo, para controlar la erosión de la costa de La Libertad, y desarrollar el nuevo Malecón, consiste en la construcción de cinco escolleras costa – afuera, y en la reconstrucción integral del muro de contención de enrocado.

Las obras de protección costera pueden ser desarrolladas en etapas a fin de poder ser ejecutadas en la medida que el municipio del cantón La Libertad disponga de los fondos necesarios. El costo de construcción de las escolleras es de 2'388.043 dólares, y el del muro de enrocado es de 734.246 dólares, totalizando un monto de 3'126.249 dólares.

A la fecha, se han construido las dos primeras escolleras del proyecto. 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.

Como recomendación se indica, que el M.I Municipio de La Libertad complete la construcción del presente proyecto, y que evalúe periódicamente el cambio en la línea de costa y en las profundidades de la bahía, frente al perfil costanero del cantón, de acuerdo a las recomendaciones formuladas en el Plan de Manejo Ambiental que elaboró la ESPOL.

ANEXO 1

Plano 1: Implantación de las escolleras y del muro de enrocado

ANEXO 2

Fotografías



Foto 1: Playa de La Libertad antes de la construcción (año 2000)



Foto 2: Sector oeste del Malecón antes de la construcción (año 2000)



Foto 3: Recubrimiento de la tubería de AA.SS con geotextil, previo a la construcción de las escolleras



Foto 4: Inicio de la construcción de la escollera # 4



Foto 5: Cantera para producción de los enrocados



Foto 6: Toma de muestras para control de los materiales de la cantera



Foto 7: Ancho de accesos permitió el paso simultáneo de volqueta y retroexcavadoras



Foto 8: Piedras de coraza de 4 a 5 toneladas de peso



Foto 9: Colocación de la berma en el talud exterior de las escolleras costa-afuera



Foto 10: Talud exterior de las escolleras terminado



Foto 11: Corona de las escolleras recubierta con enrocado



Foto 12: Arenamiento de la playa junto a la escollera # 4



Foto 13: Recuperación de la playa de La Libertad



Foto 14: Vista aérea de la escollera # 4 y 5



Foto 15: Escollera # 5 adoquinada



Foto 16: Sesión del Concejo Cantonal celebrada sobre la Escollera # 5

BIBLIOGRAFÍA

1. ALLAUCA S y CARDIN V, Análisis de las olas en la costa central del Ecuador, Acta Oceanográfica del Pacífico, Vol IV, INOCAR, 1987
2. ALLAUCA S y LUCERO M, Estudio de la Circulación Costera frente al Puerto de la Libertad (Ecuador), con flotadores, Acta Oceanográfica del Pacífico, Vol. VII, 1992
3. ESPOL, Estudios para la restauración del Malecón de la Libertad, Informes Técnicos, 2001
4. IHE, Programa de cálculo CRESS, Delft, Holanda, 1998
5. INOCAR, Estudios Oceanográficos y Geológicos en la Libertad, Memoria Técnica, 1995
6. INOCAR, Atlas Meteorológico del Mar Territorial Ecuatoriano, 1972

7. SÁNCHEZ E, Design and construction of Puerto Lucia Marina at Salinas, Ecuador, Proceedings IV International Conference on Coastal and Port Engineering, COPEDEC IV, Brasil, 1995
8. U.S. ARMY COASTAL ENGINEERING RESEARCH CENTER, Shore Protection Manual, Vols. I, II, 1984
9. VERA L, Análisis de los procesos costeros en La Libertad, Tesis de Grado ESPOL, 2000