



D-10876

T
627.24
A554.



BIBLIOTECA

**ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA DEL LITORAL**

FACULTAD DE INGENIERIA MARITIMA

Y CIENCIAS DEL MAR

"SOLUCIONES INGENIERILES A LOS PROBLEMAS
EROSIVOS DE LA LIBERTAD"

TOPICO DE GRADUACION

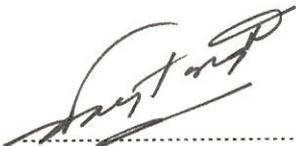
PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE
INGENIERO DE COSTAS Y OBRAS PORTUARIAS

PRESENTADO POR:

GINA ANDRADE GARCIA
FERNANDO BRAVO MOSQUERA
RICARDO NOBOA MOREIRA
ENRIQUE SANTOS PABLO

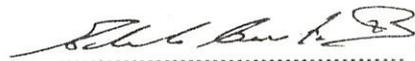
GUAYAQUIL - ECUADOR

1992



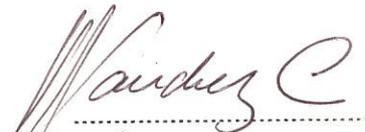
Ing. Jorge Faytong D.

Decano



Ing. Eduardo Cervantes B.

Director de Tópico



Ing. Enrique Sánchez C.

Miembro Principal



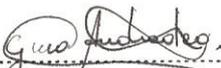
Ing. José Chang G.

Miembro Principal

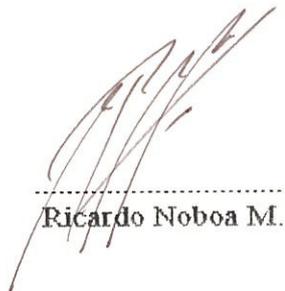
DECLARACION EXPRESA

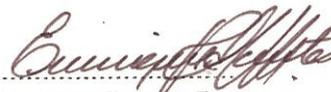
"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en este Tópico, nos corresponde exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL"

(Reglamento de Exámenes y Títulos profesionales de la ESPOL).


Gina Andrade G.


Fernando Bravo M.


Ricardo Noboa M.


Enrique Santos P.

RESUMEN

Con el afán de conocer a fondo y tratar de solucionar los problemas erosivos que afectan a la población de La Libertad; en el presente trabajo se ha recopilado y analizado la información oceanográfica existente con el fin de proyectar soluciones ingenieriles a este tipo de problema.

Luego de hacer una revisión de las posibles alternativas, se seleccionaron las dos más convenientes que cumplieran con los objetivos impuestos, como son: el de proteger las obras civiles de la población y la recuperación de la playa.

Estas dos estructuras seleccionadas son: un rompeolas de espigón y una combinación de un pequeño espigón con varios rompeolas costa afuera. Paralelamente a la construcción de cualquiera de estas soluciones, se ha recomendado un relleno de playa.

El alcance de este trabajo es llegar a un diseño preliminar y estimación de costos para la construcción de las obras que involucran la aplicación de las soluciones seleccionadas; valiéndose de la ayuda de programas de computación, se elaboró una hoja de cálculo para el diseño de las secciones de las estructuras.

Además considerando que este tipo de proyectos afectan el medio marino y costero se incluirán los lineamientos generales para la evaluación del impacto ambiental aplicables a estos proyectos.

INDICE GENERAL

| | |
|-----------------------------------|-----|
| RESUMEN | IV |
| INDICE GENERAL | VI |
| INDICE DE FIGURAS | IX |
| INDICE DE TABLAS | XII |
| INTRODUCCION | 14 |
| | |
| 1. CONDICIONES AMBIENTALES | 18 |
| | |
| 1.1. Descripción de la zona | 18 |
| 1.2. Batimetría | 20 |
| 1.3. Corrientes | 22 |
| 1.3.1. Corriente litoral | 22 |
| 1.3.2. Corriente costera | 23 |
| 1.4. Marea | 27 |
| 1.5. Meteorología | 35 |
| 1.6. Oleaje | 39 |
| 1.6.1 Estadísticas | 39 |

| | |
|--------------------------------|----|
| 1.6.2. Oleaje por viento local | 54 |
| 1.6.3. Ola de tormenta | 56 |
| 1.6.4. Refracción | 57 |
| 1.7. Transporte de sedimentos | 58 |
| 1.8. Geología | 63 |
| 1.9. Geomorfología | 64 |
| 1.10. Geotecnia | 65 |

2. ALTERNATIVAS PARA LA SOLUCION DE PROBLEMAS

| | |
|-----------------------------------|----|
| EROSIVOS | 66 |
| 2.1. Generalidades | 66 |
| 2.1.1. Muros | 67 |
| 2.1.2. Relleno de playa | 69 |
| 2.1.3. Rompeolas de espigón | 72 |
| 2.1.4. Batería de espigones | 74 |
| 2.1.5. Rompeolas costa afuera | 76 |
| 2.1.6. Espigones en "T" | 80 |
| 2.2. Análisis de las alternativas | 81 |

| | |
|--|-----------|
| 2.3. Selección de las alternativas | 83 |
| | |
| 3. DESARROLLO DE LAS ALTERNATIVAS SELECCIONADAS | 85 |
| | |
| 3.1. Diseño | 85 |
| 3.1.1. Disposición general de las obras | 86 |
| 3.1.2. Parámetros de diseño | 90 |
| 3.1.3. Cálculo del rompeolas de montículo | 91 |
| 3.1.4. Cálculo de los rompeolas costa afuera | 101 |
| 3.1.5. Métodos y materiales de construcción | 103 |
| 3.1.6. Cálculo preliminar de costos | 106 |
| 3.2. Manejo de las soluciones | 110 |
| 3.2.1. Lineamientos generales de impacto ambiental | 111 |
| | |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 124 |
| BIBLIOGRAFIA | 126 |
| ANEXO A: RELLENO DE PLAYA | 130 |
| ANEXO B: HOJA DE CALCULO | 139 |
| ANEXO C: SECCIONES | 149 |

INDICE DE FIGURAS

| Figura | Título | Pag. |
|--------|--|------|
| 1.1 | Ubicación del área de estudio | 19 |
| 1.2 | Batimetría de la zona | 21 |
| 1.3 | Diagrama de flujo (23-07-88) | 28 |
| 1.4 | Diagrama de flujo (24-07-88) | 28 |
| 1.5 | Diagrama de flujo (25-07-88) | 29 |
| 1.6 | Diagrama de flujo (26-07-88) | 29 |
| 1.7 | Diagrama de flujo (27-07-88) | 30 |
| 1.8 | Diagrama de flujo (28-07-88) | 30 |
| 1.9 | Diagrama de flujo (29-07-88) | 31 |
| 1.10 | Diagrama de flujo (30-07-88) | 31 |
| 1.11 | Diagrama de flujo (31-07-88) | 32 |
| 1.12 | Diagrama de flujo (01-08-88) | 32 |
| 1.13 | Diagrama de flujo (02-08-88) | 33 |
| 1.14 | Diagrama de flujo (03-08-88) | 33 |
| 1.15 | Diagrama de flujo (04-08-88) | 34 |
| 1.16 | Diagrama de flujo (05-08-88) | 34 |
| 1.17a | Rosa de vientos de estación Salinas (Ene. - Jun. 1987) | 37 |

| | | |
|-------|---|----|
| 1.17b | Rosa de vientos de estación Salinas (Jul. - Dic. 1987) | 38 |
| 1.18 | Porcentaje de ocurrencia de las alturas de olas visualmente observadas | 41 |
| 1.19 | Porcentaje de ocurrencia de los periodos de olas visualmente observadas | 42 |
| 1.20 | Porcentaje de ocurrencia de las direcciones del frente de onda ... | 43 |
| 1.21 | Porcentaje de ocurrencia de las alturas de olas visualmente observadas para todas las direcciones y para el rango 290° - 10° . | 44 |
| 1.22 | Porcentaje de ocurrencia de las alturas de olas visualmente observadas para todas las direcciones Mar de viento (Sea) | 46 |
| 1.23 | Porcentaje de ocurrencia de las alturas de olas visualmente observadas para todas las direcciones Mar de leva (Swell) | 47 |
| 1.24 | Porcentaje de ocurrencia d alturas de olas visualmente observadas Dirección entre 270° - 0° Mar de viento (Sea) | 49 |
| 1.25 | Porcentaje de ocurrencia d alturas de olas visualmente observadas Dirección entre 270° - 0° Mar de leva (Swell) | 50 |
| 1.26 | Porcentaje de ocurrencia de las alturas significativa de olas Monteverde | 52 |
| 1.27 | Porcentaje de ocurrencia de periodos de olas , Monteverde | 53 |

| | | |
|------|--|-----|
| 1.28 | Porcentaje de excedencia de las alturas de olas visualmente observadas en Monteverde | 55 |
| 1.29 | Diagrama de refracción período 18 segundos, direcciones 330°, 290° y 220° | 59 |
| 1.30 | Diagrama de refracción período 14 segundos, direcciones 330°, 290° y 220° | 60 |
| 2.1 | Configuración de la línea de playa - Rompeolas de espigón | 72 |
| 2.2 | Configuración de la línea de playa - Batería de espigones | 75 |
| 2.3 | Configuración de la línea de playa - Rompeolas costa afuera | 79 |
| 3.1 | Implantación general alternativa I | 87 |
| 3.2 | Implantación general alternativa II | 89 |
| 3.3 | Run-Up sobre pendientes suaves e impermeables cuando $d_s/H_o < 2.0$ | 92 |
| 3.4 | Run-Up sobre pendientes suaves e impermeables cuando $d_s/H_o > 3.0$ | 93 |
| 3.5 | Factor de corrección por efecto de escala | 94 |
| A.1 | Distribución granulométrica de la arena de la playa | 130 |
| A.2 | Isolíneas de ajuste del factor de relleno R_a | 132 |
| A.3 | Sección típica de relleno de playa | 138 |

INDICE DE TABLAS

| Tabla | Título | Pag. |
|-------|---|------|
| 1.1 | Características litorales Estación 1 | 24 |
| 1.2 | Características litorales Estación 2 | 25 |
| 1.3 | Características litorales Estación 3 | 26 |
| 1.4 | Altura de Períodos de oleaje generados por diferentes fetch ... | 56 |
| 1.5 | Coefficientes de refracción | 58 |
| 3.1 | Valores del factor de corrección del Run-Up por rugosidad ... | 95 |
| 3.2 | Valores del Run-Up y cotas de coronamiento, primera alternativa | 96 |
| 3.3 | Valores sugeridos de K_D | 98 |
| 3.4 | Peso de rocas, primera alternativa | 99 |
| 3.5 | Espesores de la coraza y anchos de crestas, primera alternativa | 101 |
| 3.6 | Valores de Run-Up y cotas de coronamiento, segunda alternativa | 102 |
| 3.7 | Peso de rocas, segunda alternativa | 103 |
| 3.8 | Espesor de la cpraza y ancho de cresta, segundo alternativa ... | 103 |
| 3.9 | Costo de materiales, primera alternativa | 107 |

| | | |
|------|---|-----|
| 3.10 | Costo de materiales, segunda alternativa | 107 |
| 3.11 | Costo de equipos, primera alternativa | 108 |
| 3.12 | Costo de equipos, segunda alternativa - caminos de acceso | 108 |
| 3.13 | Costo de equipos, segunda alternativa - barcaza | 109 |
| 3.14 | Costo total de las alternativas | 109 |
| A.1 | Características de la arena de relleno | 133 |

INTRODUCCION

La Libertad es una ciudad costera de la Provincia del Guayas, que en sus inicios era un caserío conocido con los nombres de La Agujereada, La Hueca o La Propicia, hasta que en 1917 tomó el nombre con el que se la conoce en la actualidad.

Hasta hace dos décadas la población de La Libertad gozaba de una amplia playa que era utilizada, principalmente, con fines recreativos y que en las temporadas vacacionales alcanzaba su saturación. La población aprovechaba este flujo masivo de turistas para desarrollar actividades comerciales que incrementaban el nivel de sus ingresos. Estas actividades han disminuído drásticamente desde que los efectos erosivos privaron de la playa a la ciudad y el turismo emigró a las playas aledañas.

La falta del conocimiento de la dinámica costera y la ausencia de un plan de desarrollo urbanístico, permitieron que en la zona se edifiquen construcciones civiles, que se han visto amenazadas por la erosión. Esto se trató de solucionar en dos ocasiones defendiendo al malecón de la ciudad con muros de protección que, por fuertes embestidas del oleaje y mal diseño, han sido deteriorados. Lamentablemente la población de la zona no ha tomado conciencia de que el problema erosivo es un proceso constante, y sólo se preocupan de sus efectos frente

a la posible amenaza de elevaciones del mar por aguajes extraordinarios o por presencia del fenómeno de El Niño.

Sin embargo, hoy en día, existe la preocupación, tanto de la población en general como de las autoridades locales, de buscar una solución ingenieril a los problemas erosivos presentados y dotar de una protección permanente a las obras civiles localizadas detrás del malecón de la ciudad.

Siempre ha existido en La Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), la preocupación de resolver los problemas erosivos presentados en las costas ecuatorianas, especialmente los de La Libertad, pero lamentablemente la ausencia del apoyo económico para la investigación no ha permitido ejecutar proyectos que estudien las causas y brinden soluciones concretas a estos problemas. Ahora, con el desarrollo de este estudio se pretende encontrar las soluciones ingenieriles a los problemas erosivos de La Libertad, llegando a la selección y diseño de dos de las mejores alternativas.

Para el análisis y determinación de las características oceanográficas predominantes en esta zona, se realizó una recopilación de información basada principalmente en un estudio realizado en La Libertad por el INOCAR en los meses de julio y agosto de 1988 y en un trabajo sobre la prefactibilidad de construcción de

una marina en el sector de la Carolina, realizada en enero de 1991 por el Ing. Enrique Sánchez.

Con el fin de comprobar los datos recopilados, los integrantes de éste tópico realizaron una salida de campo en el mes de junio de 1991 en la cual se tomaron mediciones de características litorales.

La primera alternativa que se desarrollo implica la construcción de un rompeolas de espigón que se prolonga 1000 metros hacia el mar desde el sitio conocido como La Caleta. La segunda incluye la construcción de un pequeño espigón, con la misma ubicación que el anterior, de sólo 270 metros de longitud, más tres rompeolas costa afuera paralelos a la línea de playa de 150 metros de longitud cada uno, considerándose por primera vez el diseño de los rompeolas costa afuera como medida de solución a los problemas erosivos en nuestro país. Se comparó además para la segunda alternativa dos métodos diferentes de construcción: el primero utilizando una barcaza para la movilización del material; y el segundo, contruyendo caminos de acceso al sitio de la construcción.

Ambas alternativas contemplan dentro de sus objetivos: proteger las obras civiles localizadas en la línea costera, detener los procesos erosivos y la de recuperar una zona de playa para uso turístico, a largo plazo.

En la realización de los cálculos se creó una hoja electrónica en computadora, donde pueden variarse fácilmente los parámetros de diseño para determinar en forma instantánea peso de las rocas, cotas de coronamiento y demás dimensiones de un rompeolas de escollera.

Económicamente la alternativa que involucra la construcción de un rompeolas de espigón (primera alternativa) es la más conveniente. Además su metodología de construcción implica menor riesgo y ha sido varias veces utilizada en nuestro país.

1. CONDICIONES AMBIENTALES

1.1. DESCRIPCION DE LA ZONA

La población de La Libertad está localizada al Norte de la Península de Santa Elena, y ubicada geográficamente por las coordenadas 2° 10' de Latitud Sur y 80° 53' de Longitud Oeste. Pertenece políticamente, como parroquia, al Cantón Salinas y está unida a la Ciudad de Guayaquil por medio de la carretera Guayaquil-Salinas y con la Provincia de Manabí por la carretera Santa Elena - Jipijapa. Las poblaciones más cercanas son: Salinas al Oeste, Santa Elena al Este y Ballenita al Noreste (figura 1.1).

La zona de interés para este trabajo académico cubre una extensión de 1400 metros de playa, delimitada al Oeste por el sitio conocido como La Caleta y al Este por las instalaciones de PetroEcuador, entre cuyas instalaciones cabe

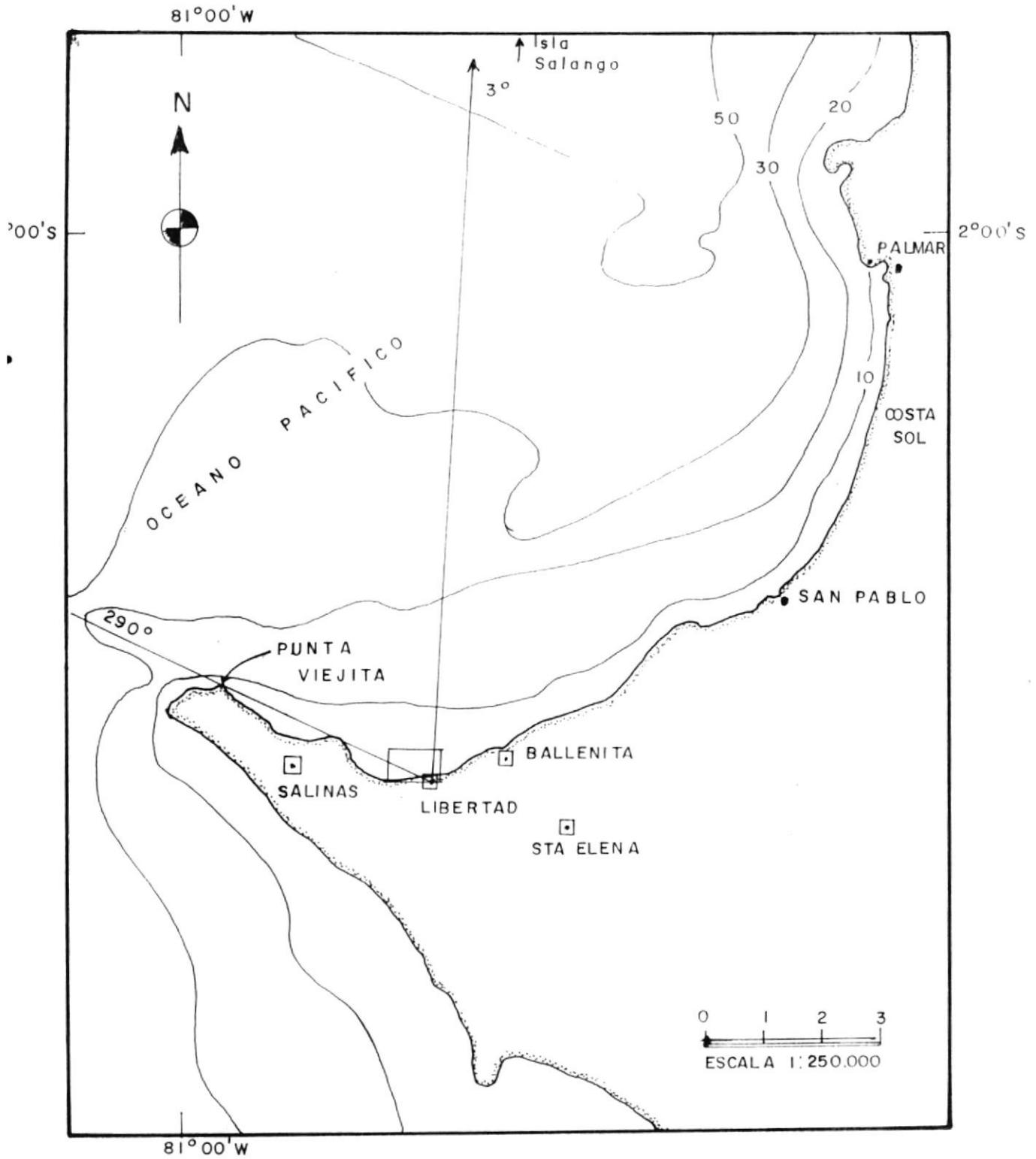


FIGURA . I.1 UBICACION DEL AREA DE ESTUDIO

mencionar el muelle de pilotes, una tubería submarina y tanques de almacenamiento de combustible.

1.2. BATIMETRÍA

La batimetría de la zona está dada por la carta náutica I.O.A. 10520, correspondiente al Puerto La Libertad realizada en base al levantamiento Hidrográfico efectuado por INOCAR en 1979 con correcciones realizadas hasta el año de 1986, y la línea de costa según restitución aerofotogramétrica efectuada por la misma Institución en 1980.

Existe una batimetría realizada por el INOCAR en el año de 1988, que no se encuentra disponible por no haber sido procesada y editada; en el presente trabajo se hará uso de la carta anteriormente citada.

En la zona de estudio según la carta náutica anteriormente descrita (figura 1.2), se puede notar que la batimetría es muy irregular, pudiendo identificarse dos zonas bien delimitadas: de la parte central de la ciudad hacia el Este, encontramos una pendiente submarina de 1:60 y hacia el Oeste es muy tendida 1:160.

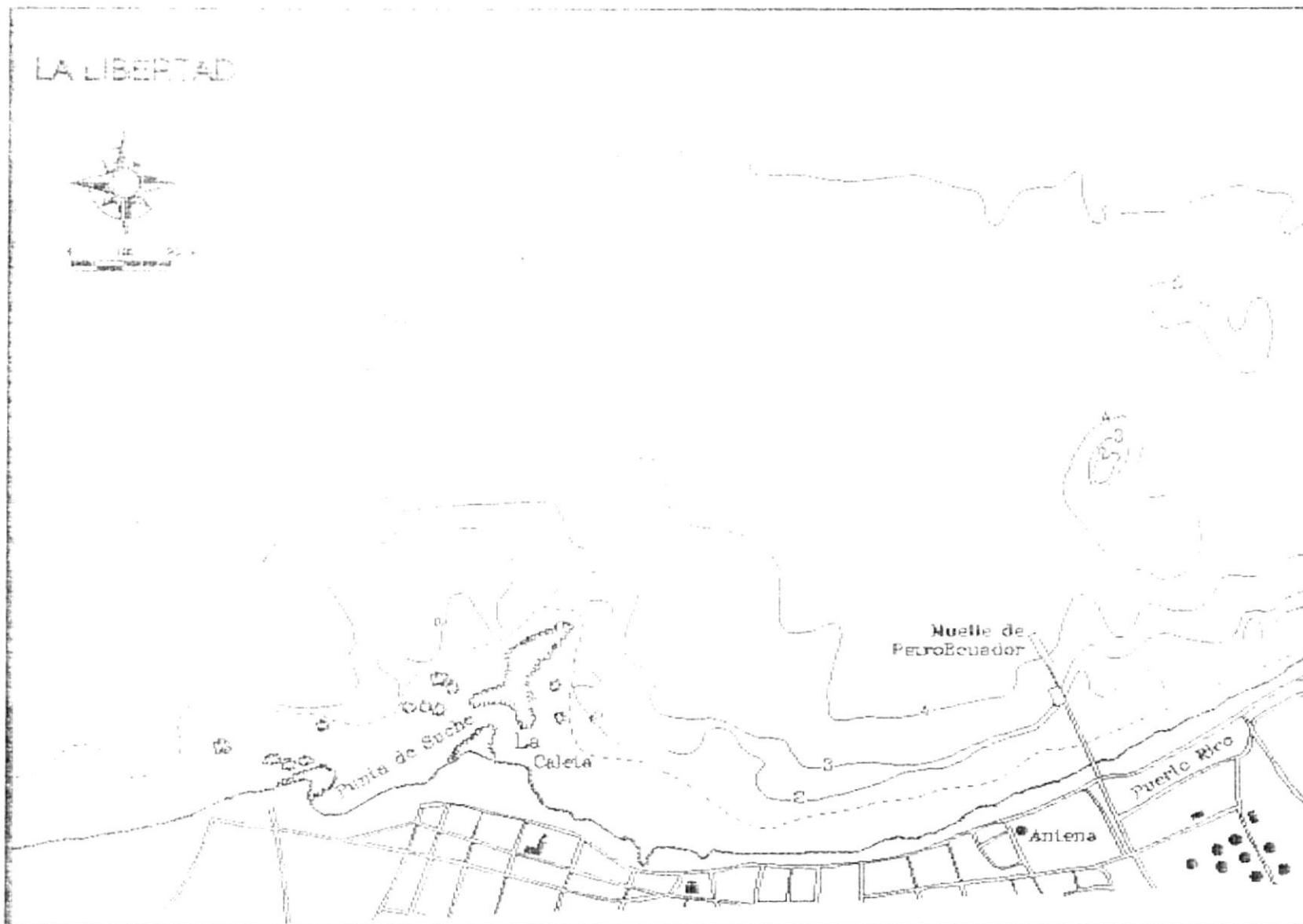


Figura 1.2.- Batimetría de la zona.

Además, en verificaciones de campo se determinó que frente al muro de contención del Malecón de La Libertad existe una pendiente promedio de playa de 1:8 y que la playa más tendida, se encuentra junto al muelle de PetroEcuador con una pendiente promedio de 1:12.

1.3. CORRIENTES

1.3.1. Corriente Litoral

Las corrientes litorales son aquellas que fluyen a lo largo de la costa en la zona de surf y son generadas por olas rompiendo con un cierto ángulo a la costa. Estas corrientes generadas por las olas y la asociada actividad del oleaje en la zona de surf son las responsables de la mayoría del transporte de sedimentos a lo largo de la costa (30).

Este tipo de corrientes tienen gran importancia dentro del campo de la ingeniería costera, en el diseño y construcción de obras de protección debido a su ingerencia directa en la magnitud y dirección del transporte litoral.

Las observaciones de campo de las corrientes litorales realizadas por los autores del presente trabajo en junio de 1991 (época seca), en la zona de estudio dieron como resultado que el 89 % de las mediciones efectuadas eran hacia el Este, siendo su velocidad promedio de 0,16 m/s (tablas 1.1, 1.2, 1.3), estos resultados son similares a los obtenidos por Sánchez en enero del mismo año (época húmeda) (27).

1.3.2. Corriente Costera

Las corrientes costeras son aquellas que se encuentran fuera de la zona de rompiente y pueden ser generadas por vientos y mareas, su comportamiento puede también estar ligado con la topografía del fondo.

El entendimiento del flujo de la corriente costera, es aplicable en el caso de diseño de obras de abrigo, para la realización de operaciones de maniobra y atraque de embarcaciones y para pronosticar el desplazamiento de contaminantes.

El INOCAR realizó mediciones de corriente costera en la zona del presente estudio con el método lagrangiano, haciendo uso de veletas

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
 PROYECTO : Problemas Especiales de La Libertad
 PROGRAMA : CARACTERÍSTICAS LITORALES

ESTACIÓN 1 (Cancha del Muelle)
 FECHA : 22/06/81
 FASE LUNAR: Cuadratura

| HORA LOCAL | MAREA F E R | CORRIENTE LITORAL | | ZONA DE ROMPIENTE | | | ALTURA (m) | OLAS DE ROMPIENTE | | TIPO (S - P) | VIENTO | |
|------------|----------------|-------------------|-----------------|---------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------|-------------------|------------------------|-----------------|---------------|------------------|
| | | VEL. (m/s) | DIR. * I - D | ANCHO DE ROMPIENTE (m) | DIST. L.A. AL FLOTADOR (m) | DIST. L.A. A ROMPIENTE (m) | | PERIODO (seg) | ANGULO (+) (grados) | | VEL. (m/s) | DIR. (grados) |
| 08:00 | X | D. 18 | I | 5 | 20 | 20 | D. 5 | 16.4 | 285 | S - P | - | - |
| 08:00 | X X | D. 11 | D | 3 | 15 | 15 | D. 6 | 22.2 | 285 | S - P | - | - |
| 10:00 | X | D. 22 | I | 5 | 20 | 20 | D. 4 | 12.5 | 330 | S - P | - | - |
| 11:00 | X | D. 08 | D | 2 | 10 | 10 | D. 4 | 17.8 | 240 | S - P | - | - |
| 12:00 | X | D. 18 | D | 4 | 15 | 15 | D. 5 | 18.5 | 280 | P | - | - |
| 12:00 | X | D. 16 | D | 4 | 20 | 20 | D. 3 | 15.1 | - | S - P | - | - |
| 14:00 | X | - | - | 4 | - | 20 | D. 3 | 15.4 | - | S - P | - | - |
| 15:00 | X X | - | - | 4 | - | 15 | D. 4 | 15.7 | - | S - P | - | - |
| 16:00 | X | - | - | 3 | - | 10 | D. 5 | 16.0 | - | S - P | - | - |

| | | | | | | |
|---------------|---|-----------|-----|-------------------|-----|-------------------------------------|
| ESTADÍSTICA : | D | DERECHA | L.A | LÍNEA DE AGUA | (K) | MIRANDO HACIA EL MAR |
| | E | ESTERNA | P | VOLTEO (PLUNING) | (+) | DIRECCION DE APROXIMACION DEL DUEÑO |
| | F | FLUJO | R | REFLUJO | | |
| | I | IZQUIERDA | E | DEBATE (SPILLING) | | |

ALINEAMIENTO DE LA PLAYA : 118 - 288 (grados)

OBSERVACIONES :

- Vientos soplando hacia el mar
- Ripples de 1.5 m de longitud 25 cm de ancho y 4 cm de alto
- Forma de la playa en forma de cuspe
- A las 12:00 la botella se alejo de la playa y luego fue paralelo a la costa

TABLA I. I - CARACTERÍSTICAS LITORALES ESTACIÓN 1



| ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL | | | | | | | | | | ESTACION 2 (Frente a ITEL) | | | |
|--|-------|---|-------------------|--------------|------------------------|----------------------------|----------------------------|------------|-------------------|----------------------------|--------------------------------------|------------|---------------|
| PROYECTO : Problemas Escolares de La Libertad | | | | | | | | | | FECHA : 22/06/81 | | | |
| PROGRAMA : CARACTERÍSTICAS LITORALES | | | | | | | | | | FASE LUNAR: Cuadratura | | | |
| HORA LOCAL | MAREA | | CORRIENTE LITORAL | | ANCHO DE ROMPIENTE (m) | ZONA DE ROMPIENTE | | ALTURA (m) | DIAS DE ROMPIENTE | | TIPO (S - P) | VIENTO | |
| | F | E | VEL. (m/s) | DIR. (I - D) | | DIST. L.A. AL FLUTADOR (m) | DIST. L.A. A ROMPIENTE (m) | | PERIODO (seg) | ANGULO (+) | | VEL. (m/s) | DIR. (grados) |
| 08:00 | X | | D. 17 | D | 2 | 10 | 10 | D. 6 | 19 | 320 | P | - | - |
| 08:00 | X | X | D. 28 | D | 1 | 12 | 15 | D. 7 | 17 | - | P | - | - |
| 10:00 | | X | D. 10 | D | 4 | 25 | 25 | D. 7 | 19 | 325 | P | - | - |
| 11:00 | | X | D. 50 | D | 3 | 25 | 30 | D. 8 | 24 | - | P | - | - |
| 12:00 | | X | D. 22 | D | 5 | 30 | 30 | D. 5 | 22 | - | P | - | - |
| 12:00 | | X | D. 10 | D | 3 | 30 | 30 | D. 6 | 29 | - | P | - | - |
| 14:00 | | X | D. 16 | D | 2 | 30 | 30 | D. 4 | 32 | - | P | - | - |
| 15:00 | | X | - | - | 5 | - | 30 | D. 5 | 17 | - | P | - | - |
| 16:00 | X | | - | - | 2 | - | 20 | D. 3 | 22 | - | P | - | - |
| SÍMBOLOGÍA : | | | D | DERECHA | L.A | | LÍNEA DE AGUA | | | (m) | MIRANDO HACIA EL PAR | | |
| | | | E | ESTDA | P | | VOLTEO (LUNING) | | | (+) | DIRECCION DE APROXIMACION DEL DEBAJE | | |
| | | | F | FLUJO | R | | REFLUJO | | | | | | |
| | | | I | IZQUIERDA | S | | DEBAJE (SPILLING) | | | | | | |
| ALINEAMIENTO DE LA PLAYA : 115 - 285 (grados) | | | | | | | | | | | | | |
| OBSERVACIONES : | | | | | | | | | | | | | |
| - Ripples | | | | | | | | | | | | | |
| - Dorchallas y piedras de mas o menos 2 cm en la berma | | | | | | | | | | | | | |

TABLA 1.2. - CARACTERÍSTICAS LITORALES ESTACION 2.

| ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL | | | | | | | | | | ESTACION 2 | | | | |
|---|-------|---|-----------|-------------------|--------------|------------------------|----------------------------|----------------------------|------------|--------------------------------------|---------------------|--------------|------------|---------------|
| PROYECTO : Problemas Erosivos de La Libertad | | | | | | | | | | FECHA : 22/06/81 | | | | |
| PROGRAMA : CARACTERÍSTICAS LITORALES | | | | | | | | | | FASE LUNAR: Cuscharuna | | | | |
| HORA LOCAL | MAREA | | | CORRIENTE LITORAL | | ZONA DE ROMPIENTE | | DIAS DE ROMPIENTE | | | VIENTO | | | |
| | F | E | R | VEL. (m/s) | DIR. * I - D | ANCHO DE ROMPIENTE (m) | DIST. L.A. AL FLUTADOR (m) | DIST. L.A. A ROMPIENTE (m) | ALTURA (m) | PERIODO (seg) | ANGULO (+) (grados) | TIPO (E - P) | VEL. (m/s) | DIR. (grados) |
| 08:00 | X | | | D. 10 | D | 3 | 10 | 10 | D. 4 | 18 | 235 | E - P | - | - |
| 09:00 | X | X | | D. 11 | D | 2 | 5 | 5 | D. 5 | 20 | 230 | E - P | - | - |
| 10:00 | | X | | - | - | 5 | - | 10 | D. 5 | 16 | 240 | P | - | - |
| 11:00 | | X | | - | - | 3 | - | 5 | D. 4 | 18 | 240 | P | - | - |
| 12:00 | | X | | - | - | 1 | - | 2 | D. 2 | 18 | - | P | - | - |
| 13:00 | | X | | - | - | 1 | - | 3 | D. 2 | 13 | - | P | - | - |
| 14:00 | | X | | - | - | 5 | - | 6 | D. 5 | 17 | - | P | - | - |
| 15:00 | | X | X | - | - | 3 | - | 5 | D. 5 | 21 | - | P | - | - |
| 16:00 | X | | | - | - | 5 | - | 10 | D. 5 | 21 | - | P | - | - |
| 17:00 | | | | - | - | 3 | - | 10 | D. 6 | 26 | - | | - | - |
| SÍMBOLOS : | | D | DERECHA | | L.A | LÍNEA DE AGUA | | | (-) | MIRANDO HACIA EL MAR | | | | |
| | | E | ESTERNA | | P | VUELTO (ROLLING) | | | (+) | DIRECCION DE APROXIMACION DEL DEBAJE | | | | |
| | | F | FLUJO | | R | REFLUJO | | | | | | | | |
| | | I | IZQUIERDA | | E | DEBAJE (SPILLING) | | | | | | | | |
| ALINEAMIENTO DE LA PLAYA : 118 - 288 (grados) | | | | | | | | | | | | | | |
| OBSERVACIONES : | | | | | | | | | | | | | | |
| - Dias reflejados | | | | | | | | | | | | | | |
| - Clapoteo | | | | | | | | | | | | | | |

TABLA 1.2 - CARACTERÍSTICAS LITORALES ESTACION 2

superficiales y profundas, durante 14 días, 8 horas diarias de promedio desde el 23 de julio hasta el 5 de agosto de 1988. Los resultados de éstas mediciones graficados en las figuras 1.3 a 1.16, indican que la dirección predominante de las corrientes costeras es hacia el Este presentando poca influencia de la marea y que la velocidad promedio del flujo es 0,28 m/s.

1.4. MAREA

El conocimiento de las características de la marea tiene interés desde el punto de vista ingenieril tanto para la navegación como para el diseño de las obras marítimas.

En las costas de nuestro país se presentan mareas de tipo semidiurnas, esto es que diariamente se producen dos pleamares y dos bajamares cada 24 horas 50 minutos. En La Libertad el promedio de altura de marea es de 2,6 m referidos al nivel medio de bajamares de sicigia (MLWS) (11). Analizando las tablas de mareas publicadas por el INOCAR, desde 1982 hasta 1990, se pudo determinar que los límites del rango estimado por Espinoza se han mantenido invariables, permitiendo de esta manera su utilización como dato de diseño.

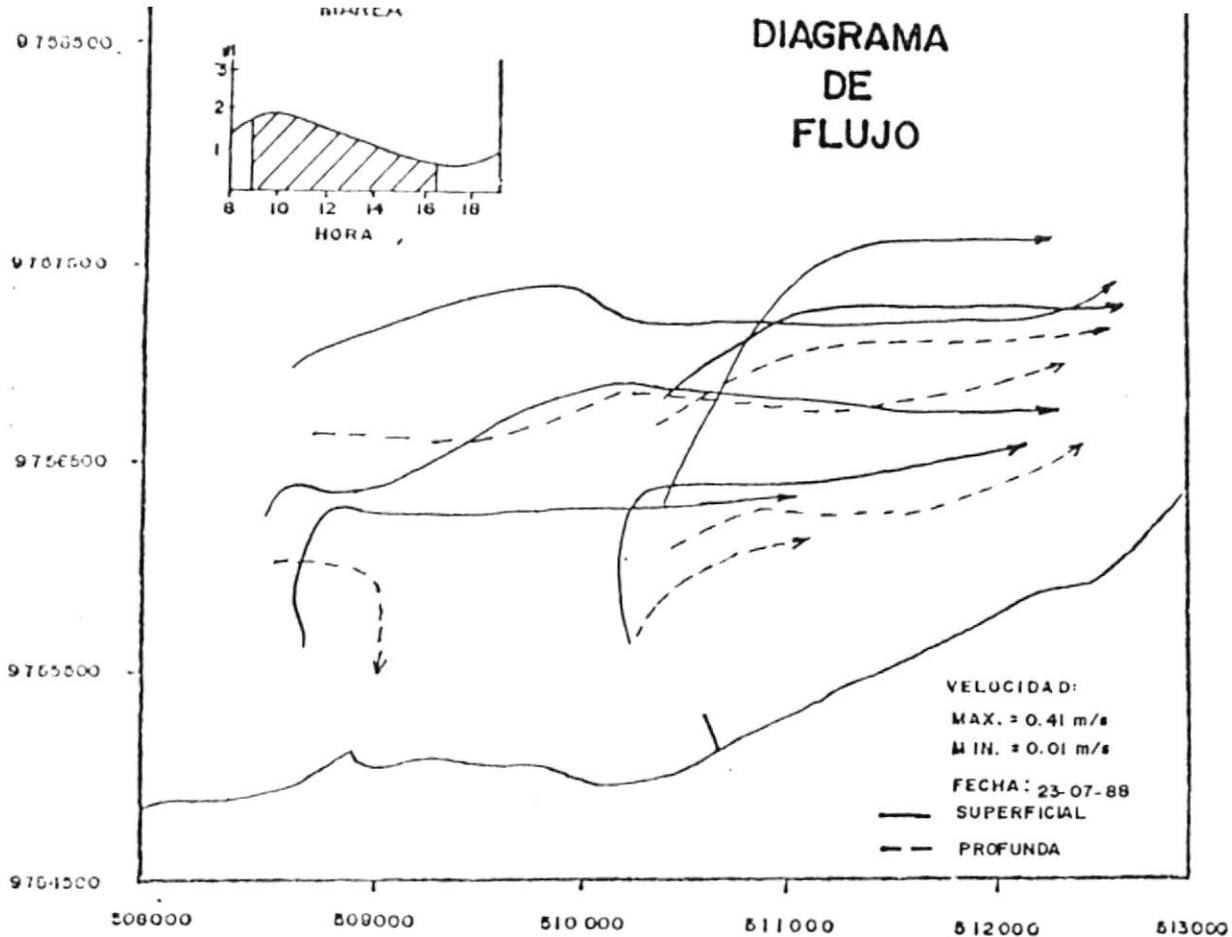


FIGURA I-3

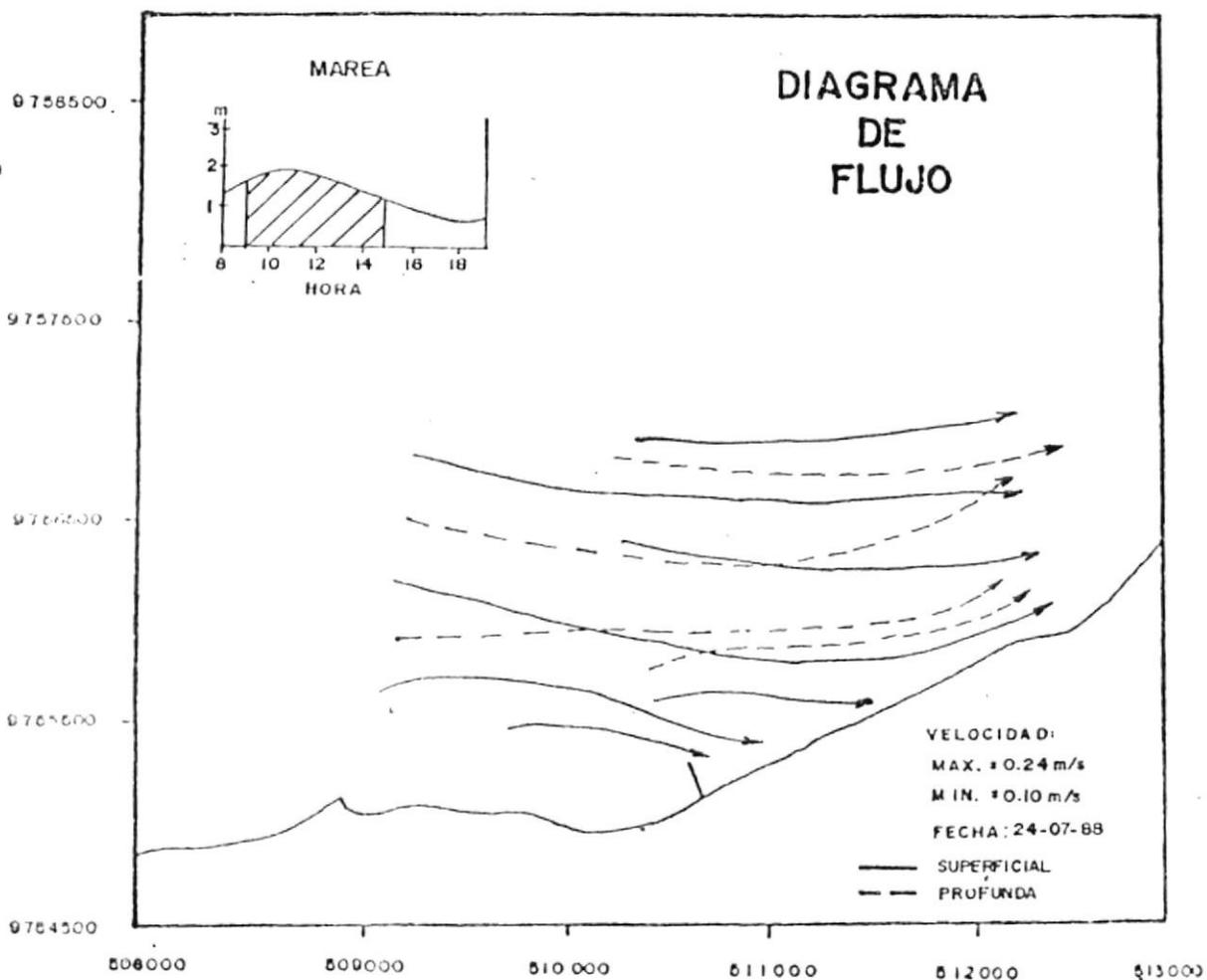
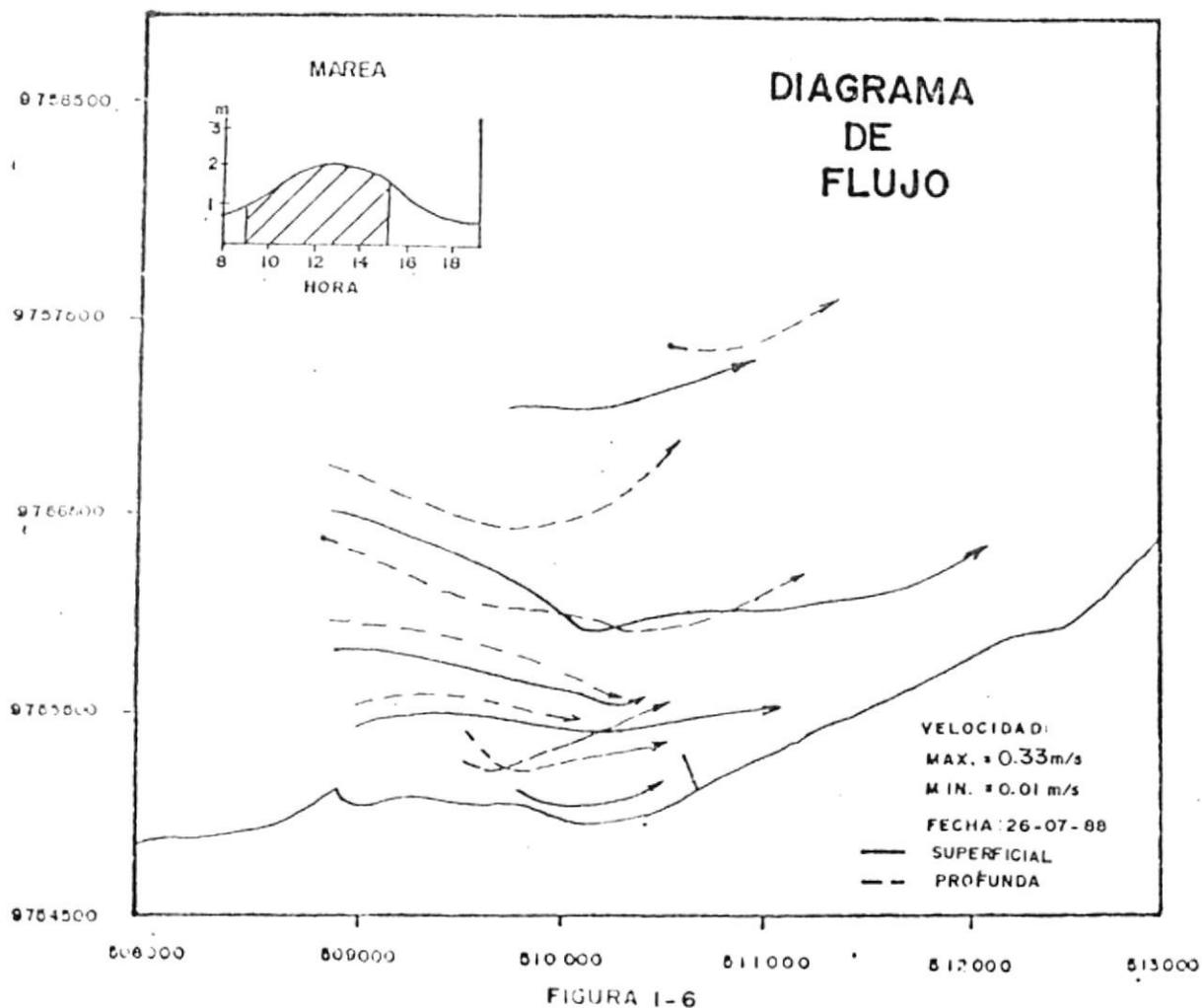
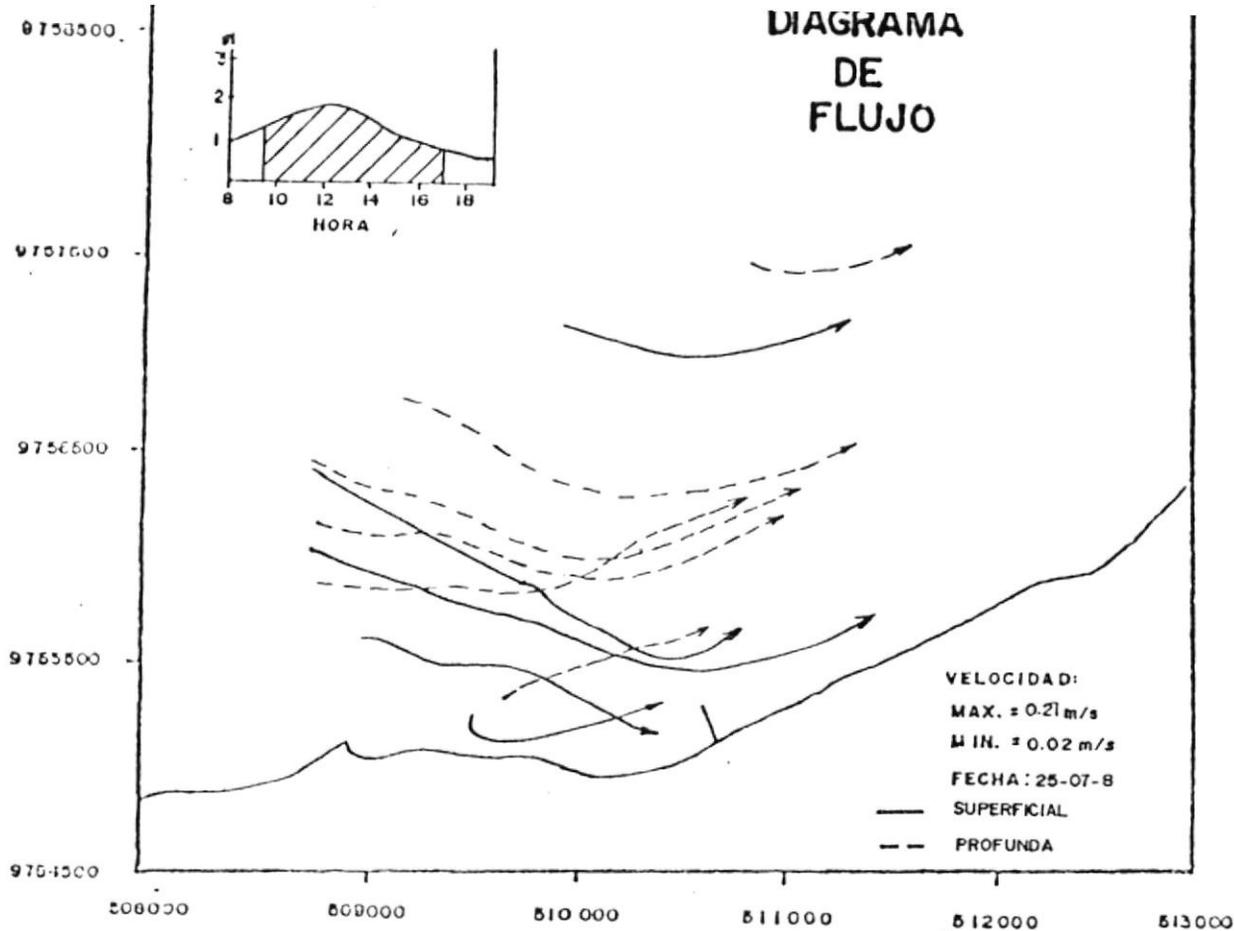
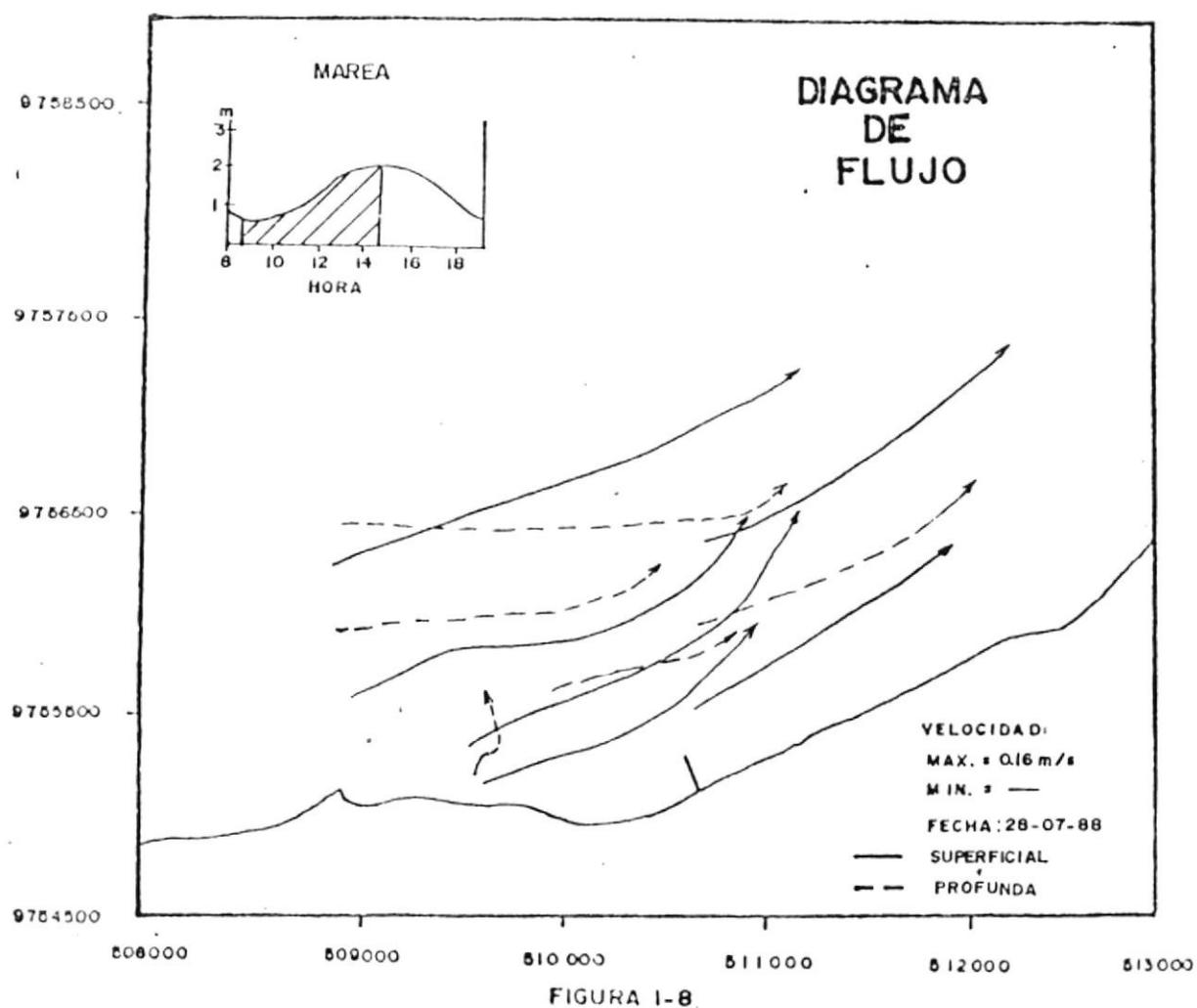
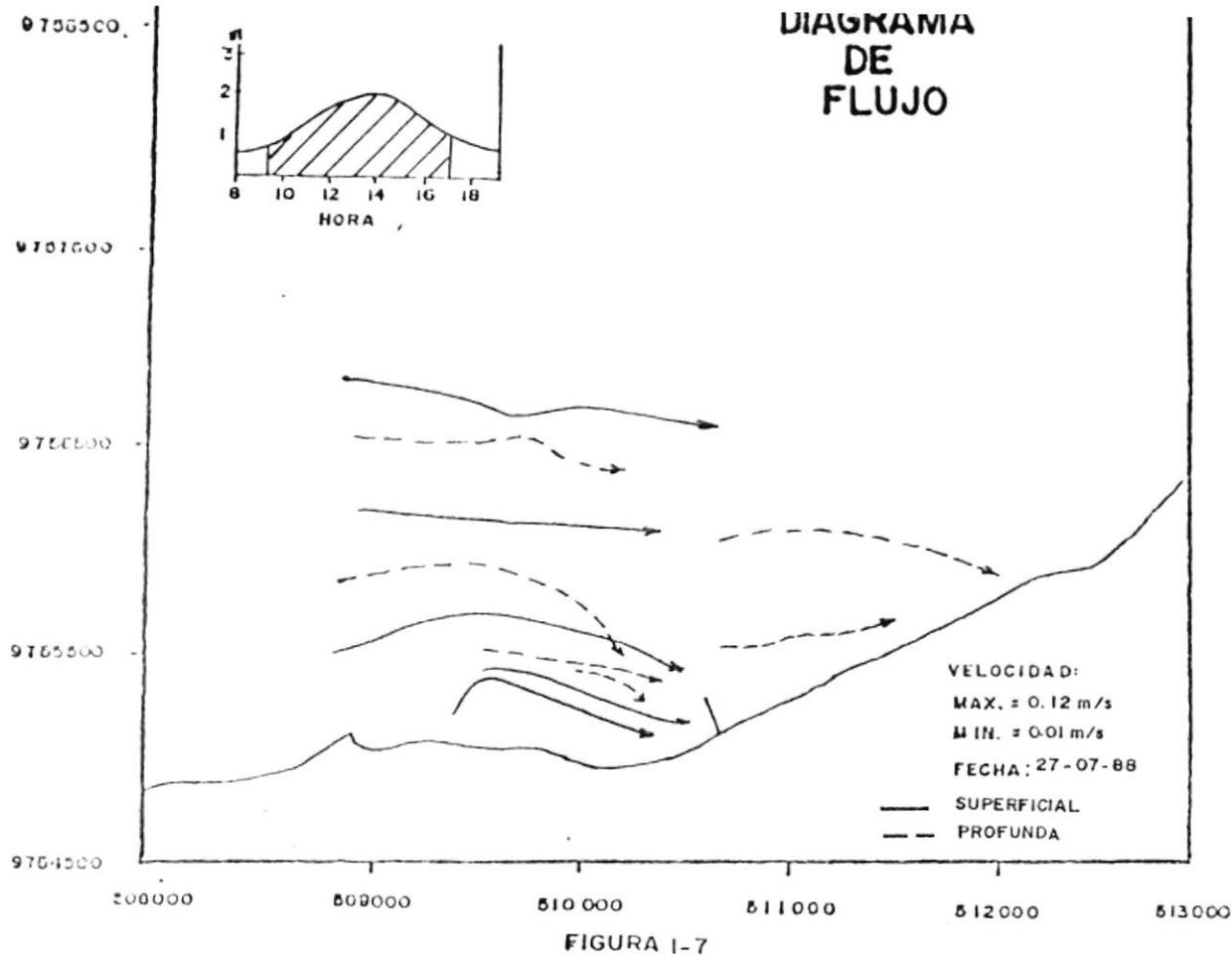


FIGURA I-4





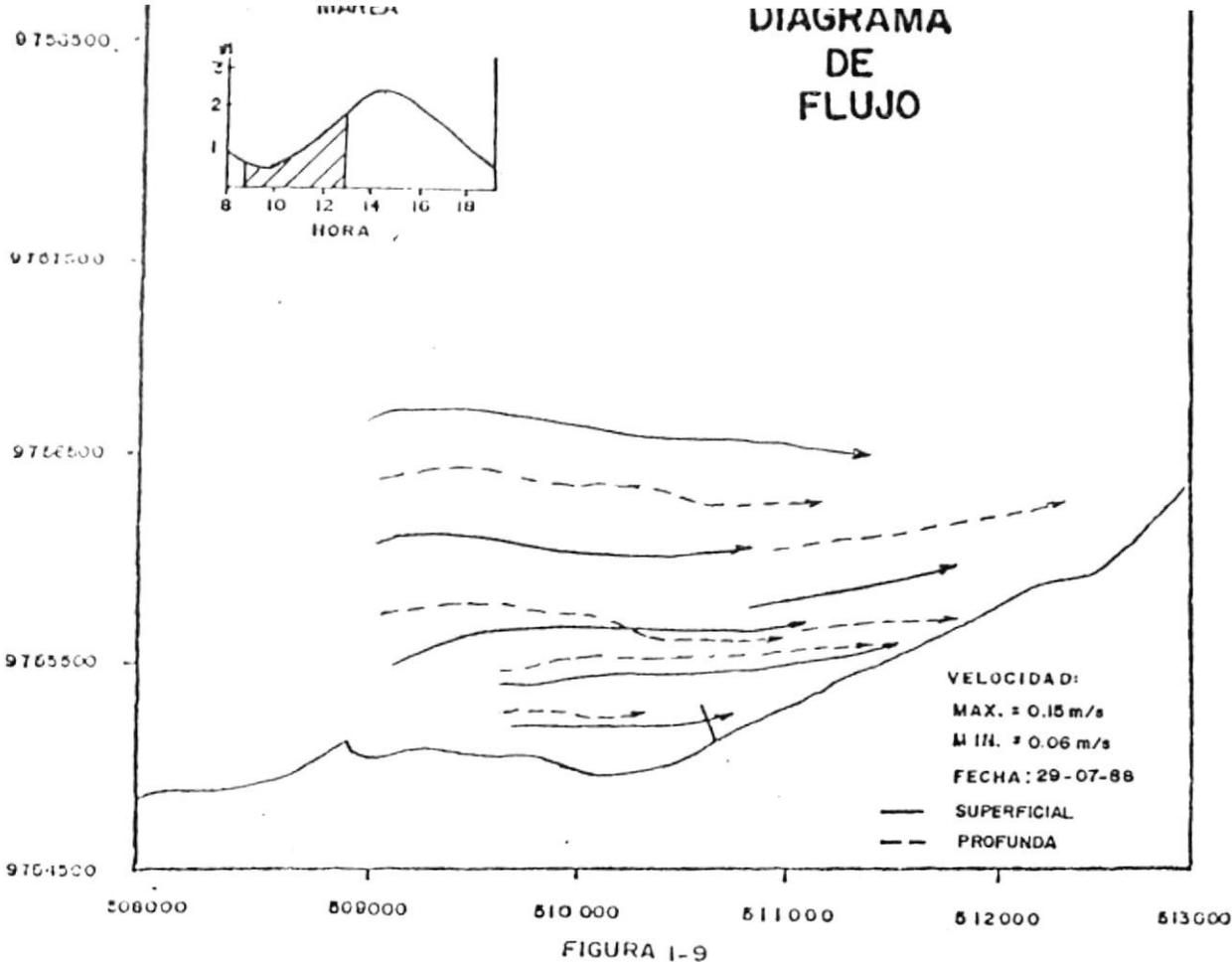


FIGURA 1-9

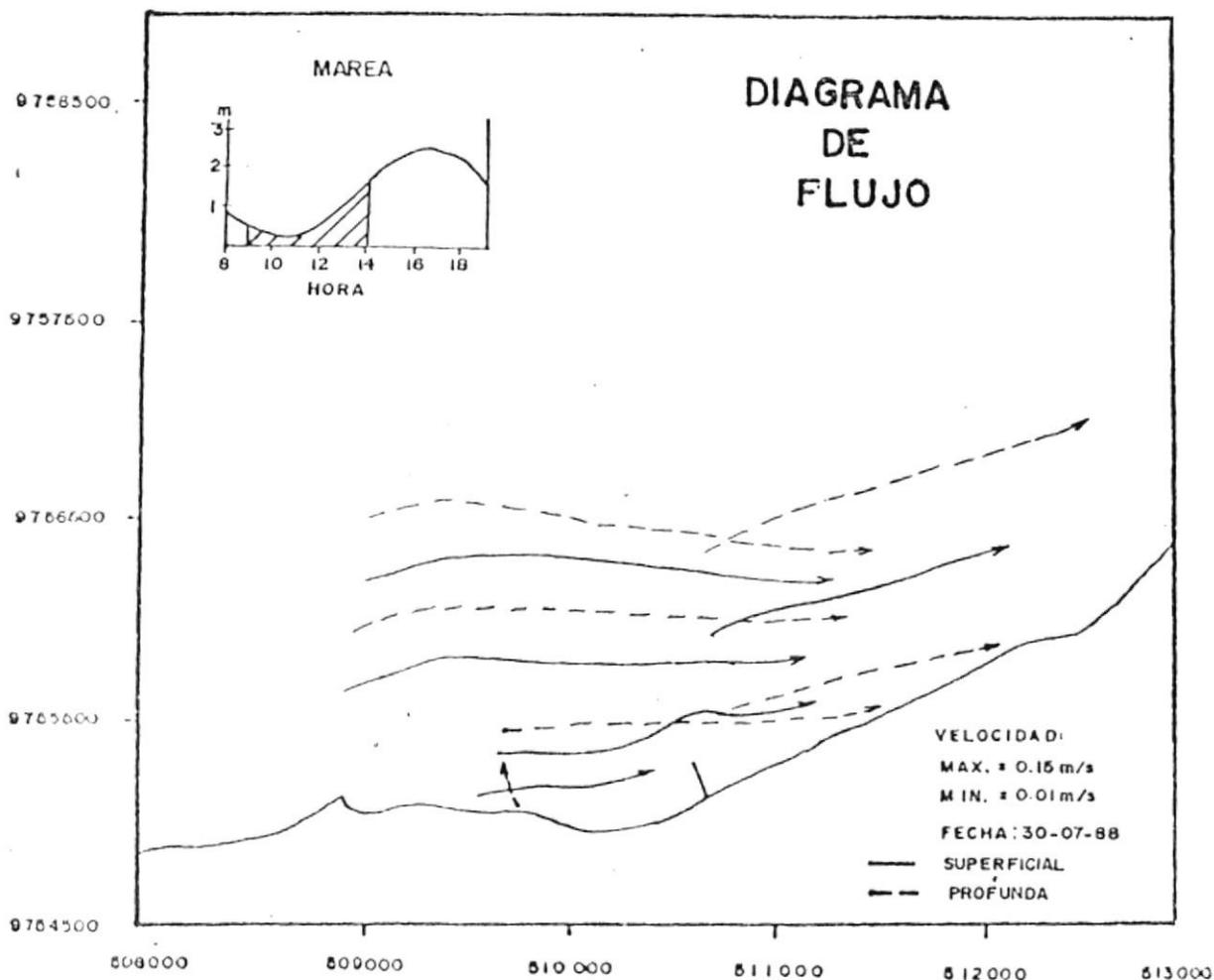
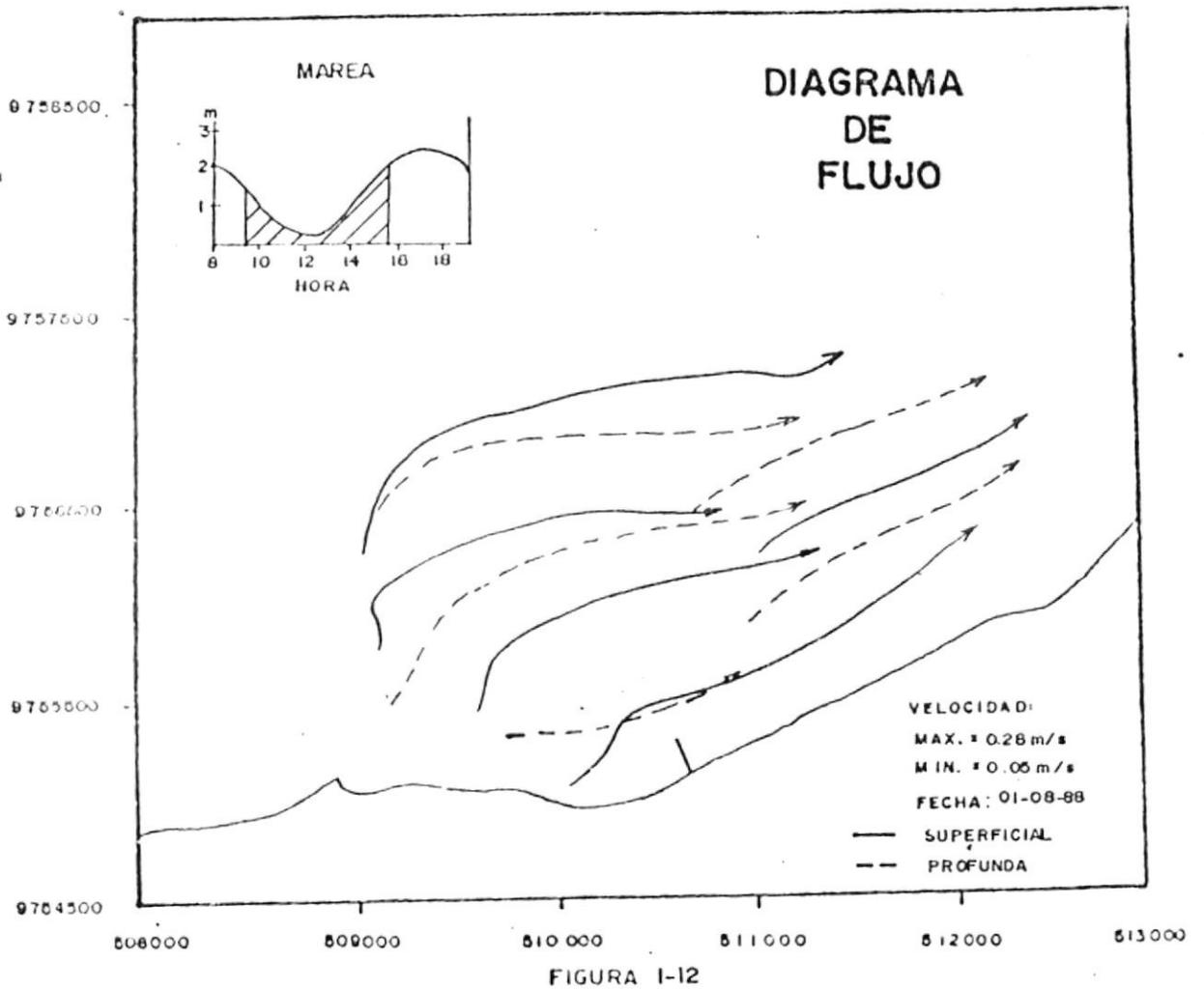
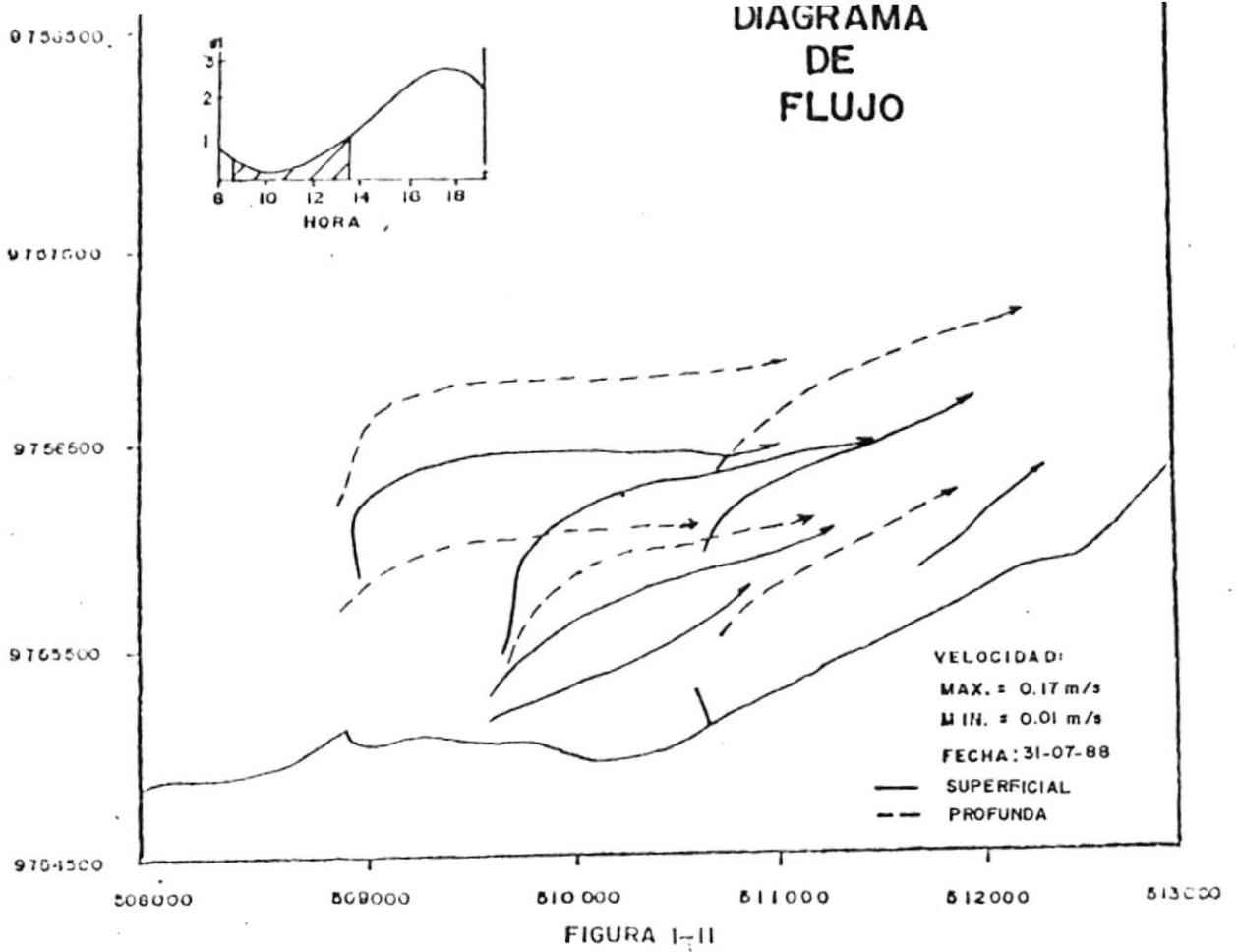


FIGURA 1-10



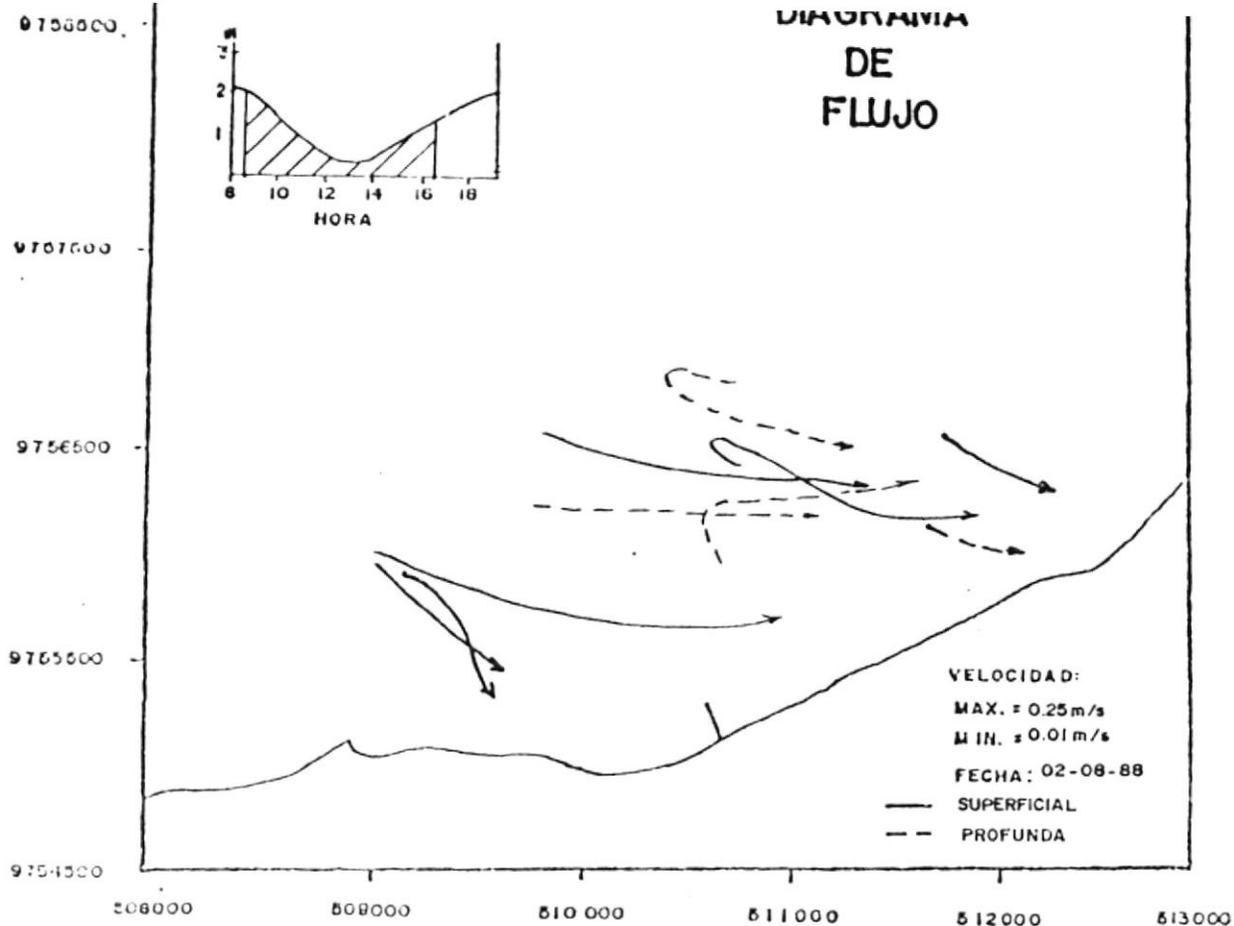


FIGURA 1-13

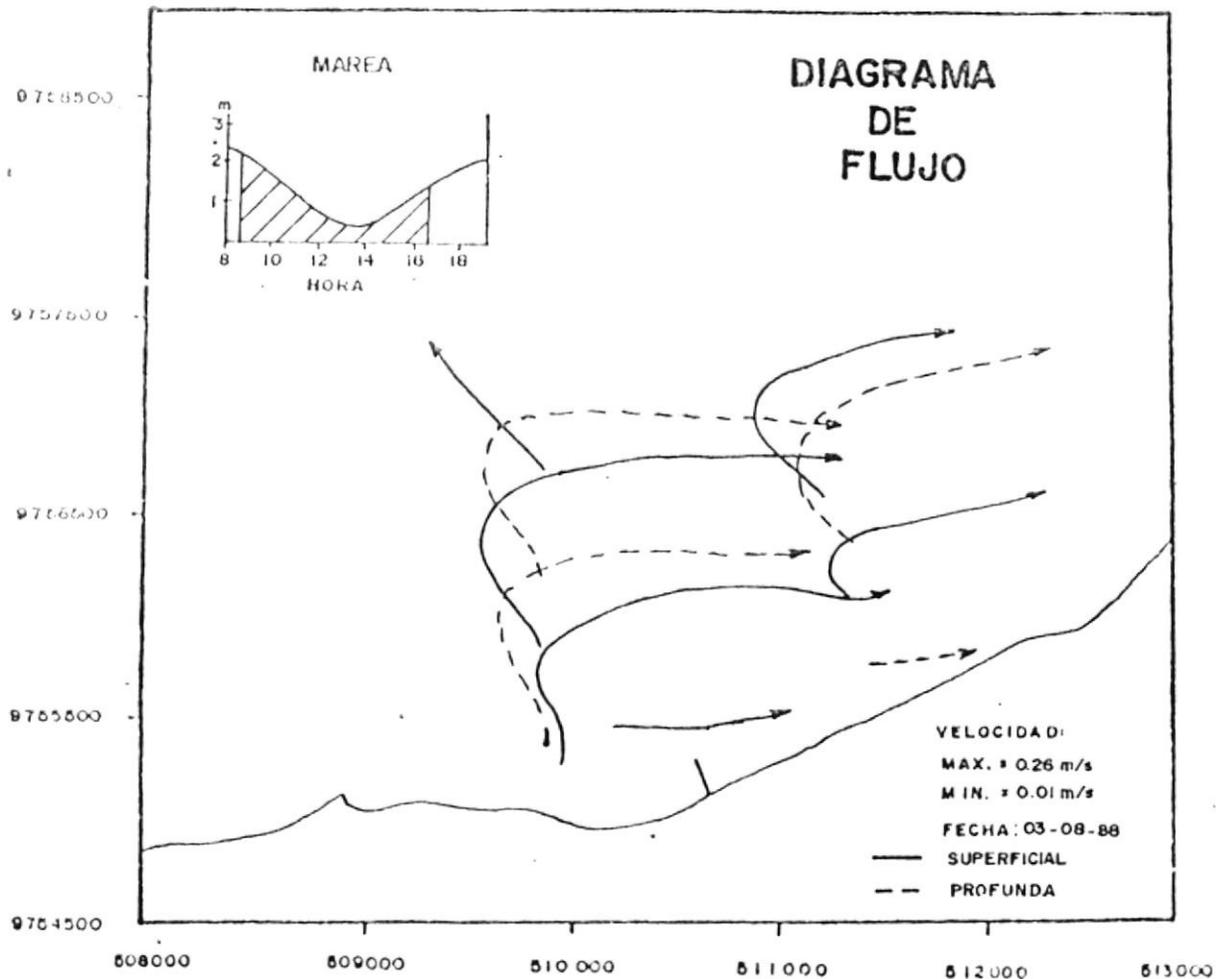


FIGURA 1-14

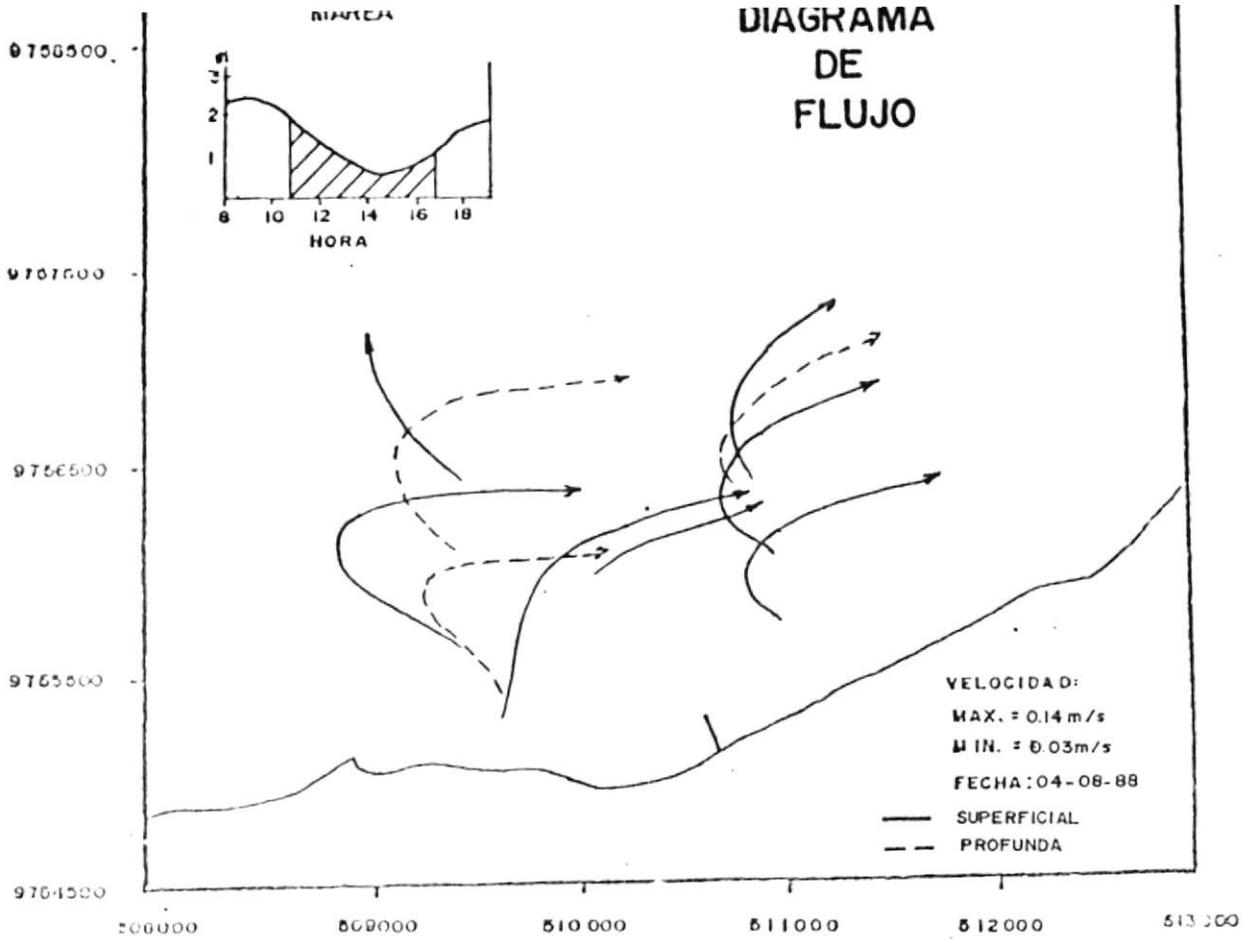


FIGURA I-15

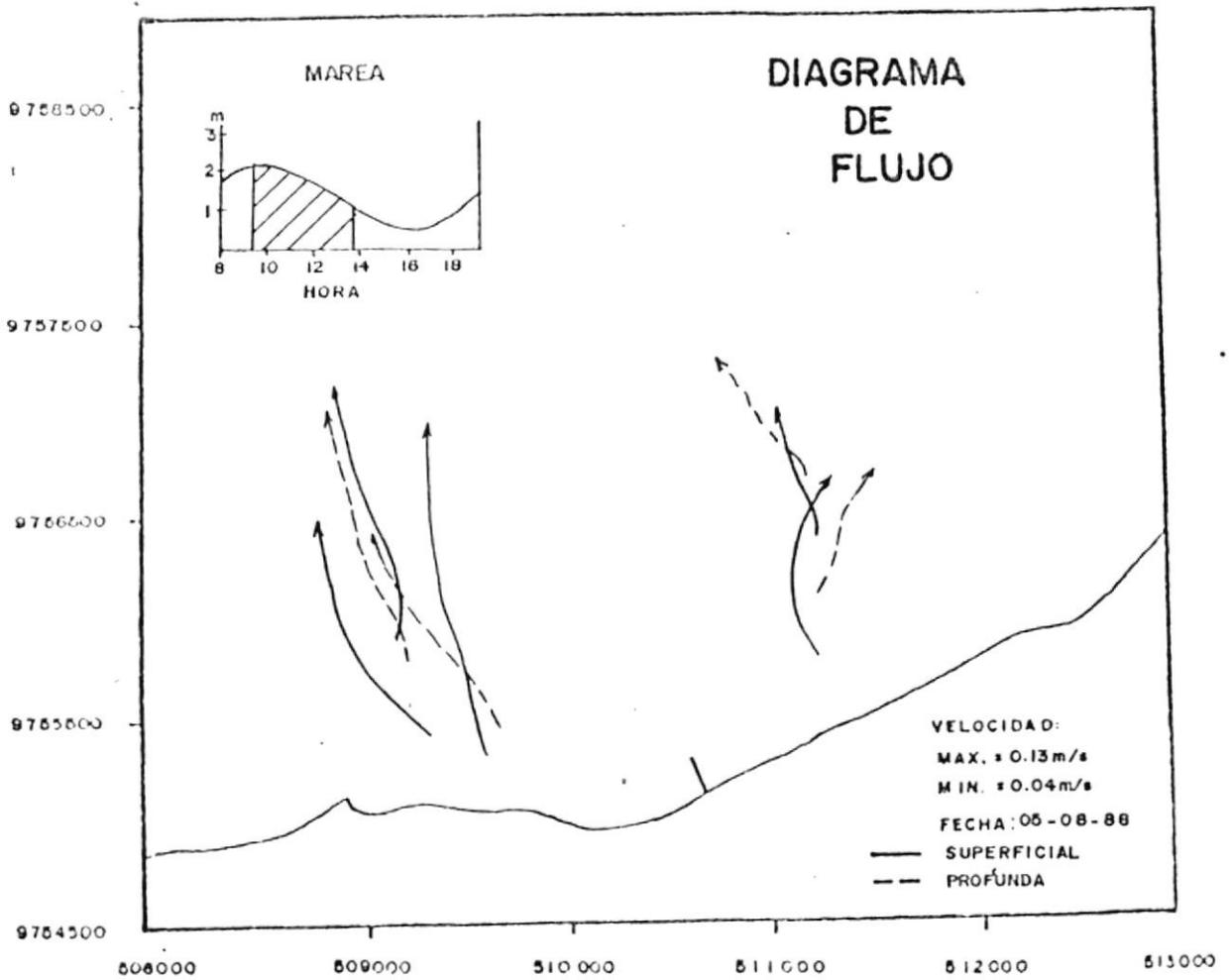


FIGURA I-16

La ocurrencia del Fenómeno de El Niño en la costa ecuatoriana produce elevaciones del nivel medio del mar que pueden mantenerse por varias semanas o meses. Durante la ocurrencia de El Niño de los años 1982-83 se registraron elevaciones del nivel medio del mar de hasta 0,50 metros en enero de 1983 (19).

1.5. METEOROLOGIA

Aparentemente y casi siempre las más importantes olas en el espectro de Oleaje son aquellas generadas por vientos (30), por lo que es necesario hacer una descripción local y regional de las características de vientos y su relación con los centros de presión.

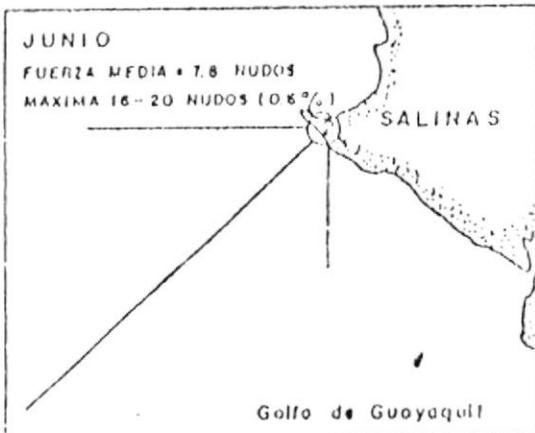
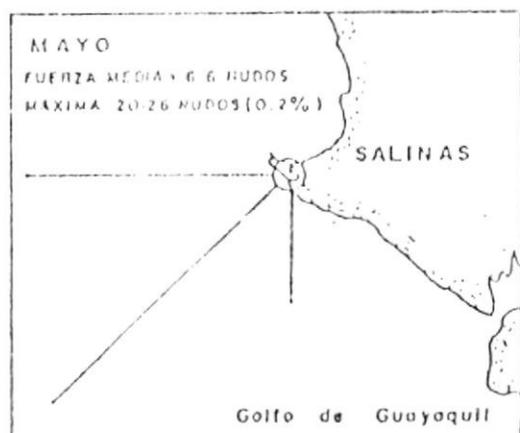
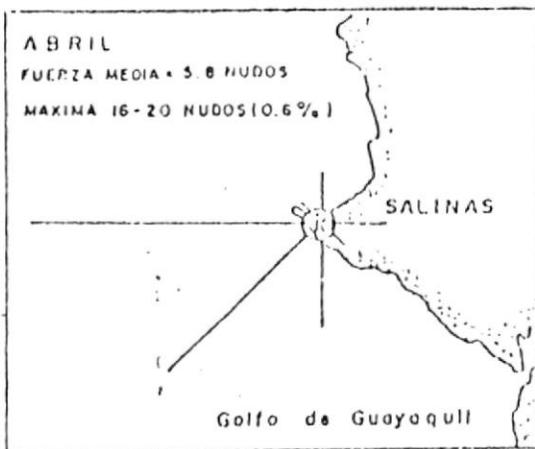
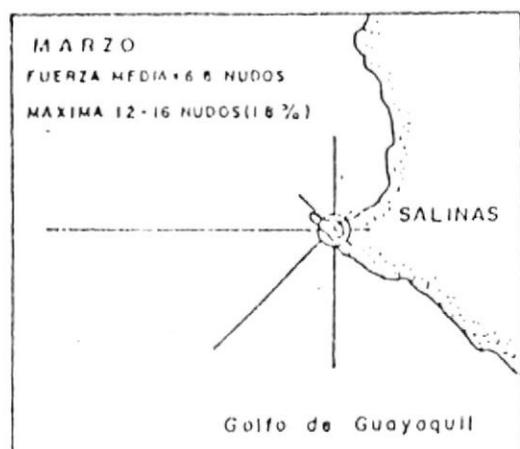
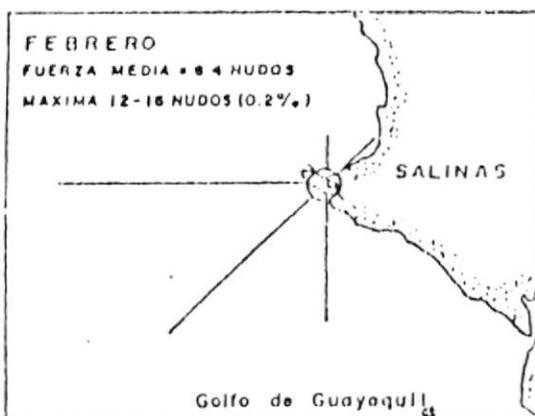
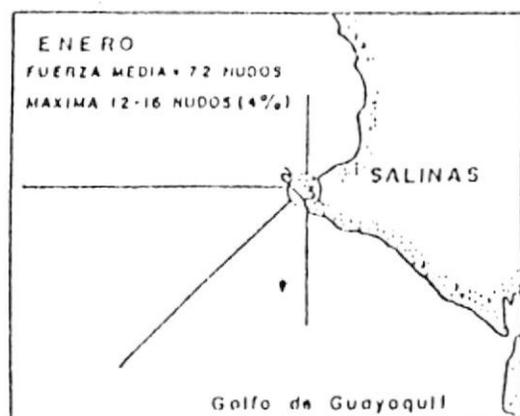
El estudio del régimen normal de la presión atmosférica actuante sobre el Océano Pacífico, con énfasis en el área Noreste del Pacífico Sur es primordial, por la relevancia de este factor en la generación de vientos que afectan a nuestras costas.

En estado normal, la circulación atmosférica en el Océano Pacífico está gobernada por los centros de alta presión del hemisferio Norte y Sur, ubicadas alrededor del 35° N - 140° O y 30° S - 50° O, respectivamente. Estos centros anticiclónicos cambian de posición durante el año, siendo el de más variable en

posición el centro de alta presión del Pacífico Norte y son los que inciden particularmente en el área de estudio aproximadamente entre los meses de diciembre a marzo, los centros de alta del Pacífico Norte y Sur se encuentran hacia el Sureste y hacia el Suroeste respectivamente desplazando la zona de convergencia intertropical hacia el sur produciéndose una intensificación de los vientos Alisios del Noreste y un debilitamiento de los vientos Alisios de Sureste (19).

Según las estadísticas meteorológicas de Salinas, las cuales presentan un promedio de los datos de la intensidad del viento en el período de 1945 a 1975 y un promedio de frecuencias de la dirección desde el año 1962 (3), se observa una clara tendencia de vientos del Oeste para los meses de enero a abril mientras que para el resto del año la tendencia es del suroeste (figuras 1.17a y 1.17b).

La zona de Santa Elena esta clasificada como un desierto tropical con temperaturas promedios de 24°C y precipitación en el rango de 62,5 mm y 125,0 mm anual, lo cual esta determinado por la corriente de Humbolt. (21).



ESCALA PORCENTUAL DE VIENTOS

FIGURA 1-17a ROSA DE VIENTOS ESTACION SALINAS

FUENTE: ATLAS METEOROLOGICO DEL MAR TERRITORIAL ECUATORIANO
 INSTITUTO OCEANOGRAFICO DE LA ARMADA 1977

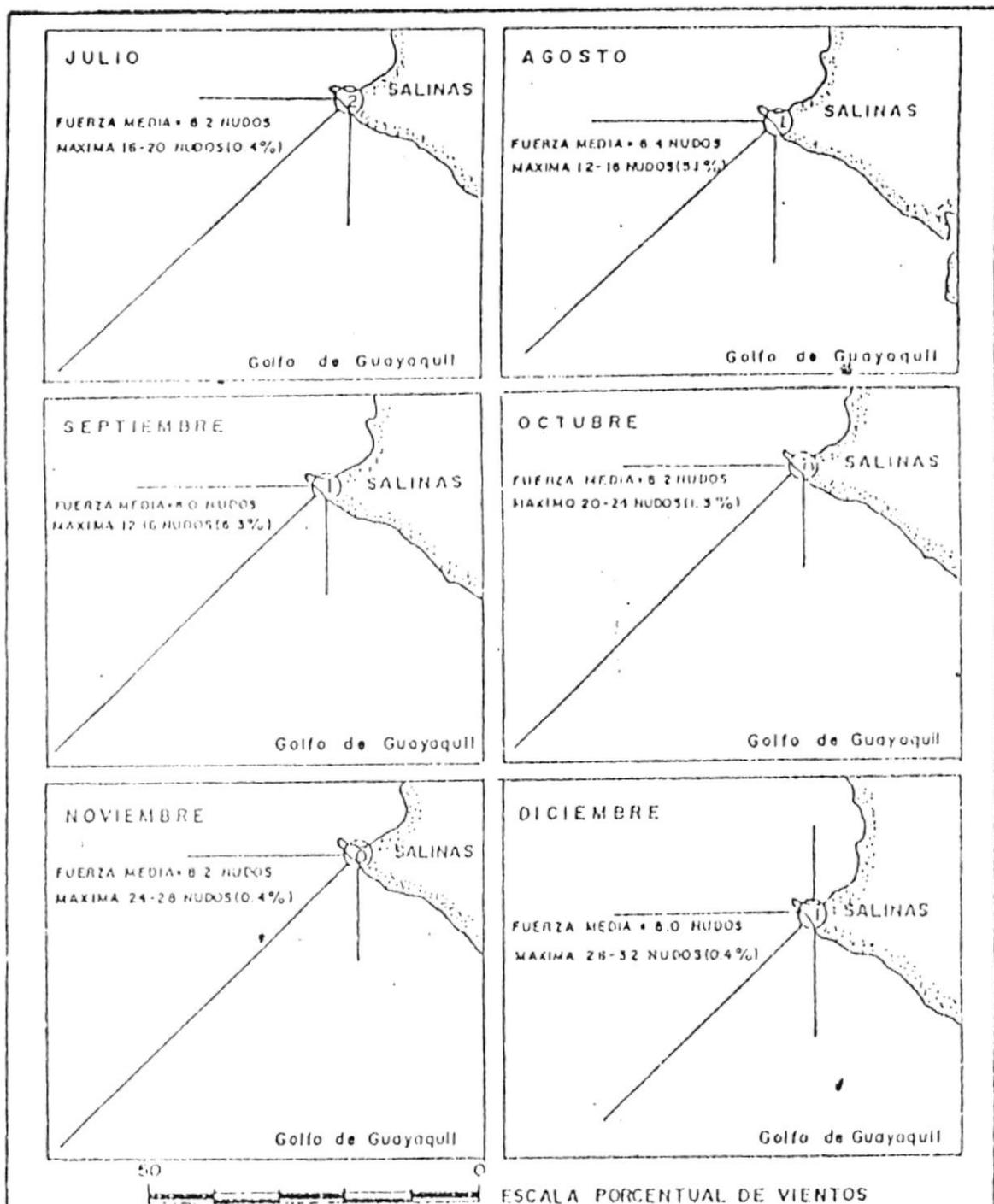


FIGURA 1-17b. ROSA DE VIENTOS ESTACION SALINAS

FUENTE: ATLAS METEOROLOGICO DEL MAR TERRITORIAL ECUATORIANO
 INSTITUTO OCEANOGRAFICO DE LA ARMADA 1977.

1.6. OLEAJE

La acción del oleaje sobre estructuras costeras, es el factor de mayor importancia a determinarse para la concepción de las mismas.

En La Libertad no se dispone de un registro continuo de mediciones de olas, que pueda facilitar la determinación de las características del oleaje que se utilizan para el diseño de obras de protección costera. Por lo que en el presente estudio se hace referencia a tres diferentes fuentes estadísticas que proporcionan datos del oleaje para la costa ecuatoriana.

1.6.1. ESTADÍSTICAS

LABORATORIO NACIONAL DE FÍSICA DE INGLATERRA

De las observaciones de olas, realizadas desde buques navegando en aguas profundas en diferentes partes del mundo, Hogben y Lumb (1966) realizaron una recopilación que cubría un período de ocho años, la cual fue publicada por el Laboratorio Nacional de Física de Inglaterra. Esta información fue clasificada en cuadrantes, de los cuales, para el presente estudio interesa el que incluye la Costa

Ecuatoriana, delimitada por los meridianos 80° - 100° Oeste y los paralelos 0° - 10° Sur. En este cuadrante se obtuvieron 12555 mediciones, que fueron presentadas de acuerdo al número de eventos que ocurrieron para diferentes condiciones de altura, períodos y dirección de oleaje en las dos estaciones del año y para diferentes rangos de aproximación.

Las figuras 1.18, 1.19 y 1.20 muestran los porcentajes de ocurrencia de altura, período y dirección respectivamente para todas las observaciones realizadas. Analizando estos gráficos se aprecia que predominan olas en aguas profundas con altura de 1,0 a 1,5 metros y con períodos menores a 8 segundos, con frentes de onda, más frecuentes, que provienen del 255° - 315° (Oeste - Suroeste) de Azimut.

Para el rango de exposición al oleaje en la zona de interés, 293° - 3° geográficos (figura 1.1), definido por la Punta Viejita (Suroeste) y la Isla Salango (Norte), se presenta en la figura 1.21 la curva de excedencia de alturas de olas observadas entre el rango de 290° - 10° . Analizando los datos se encontró que la dirección más frecuente está entre 320° - 340° (41,5 %) con rangos de altura y periodo de 0,25 a

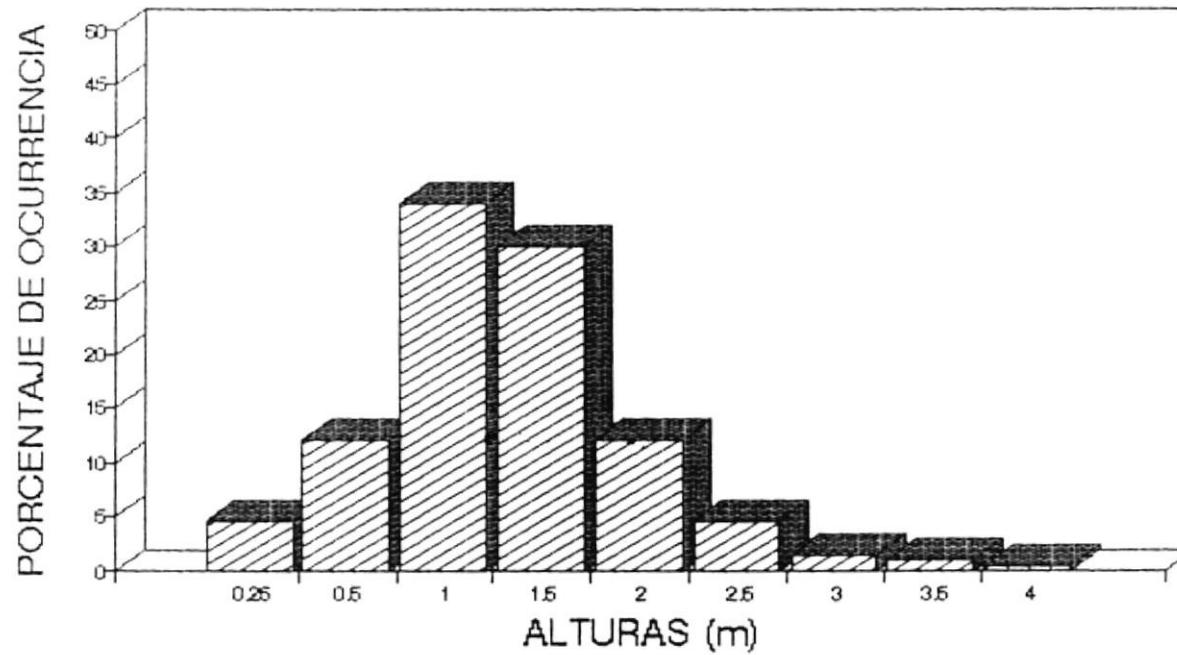


FIG. 1.18.- PORCENTAJE DE OCURRENCIA DE LAS ALTURAS DE OLAS VISUALMENTE OBSERVADAS

(FUENTE: LABORATORIO NACIONAL DE FISICA DE INGLATERRA)
(SANCHEZ, 1991)

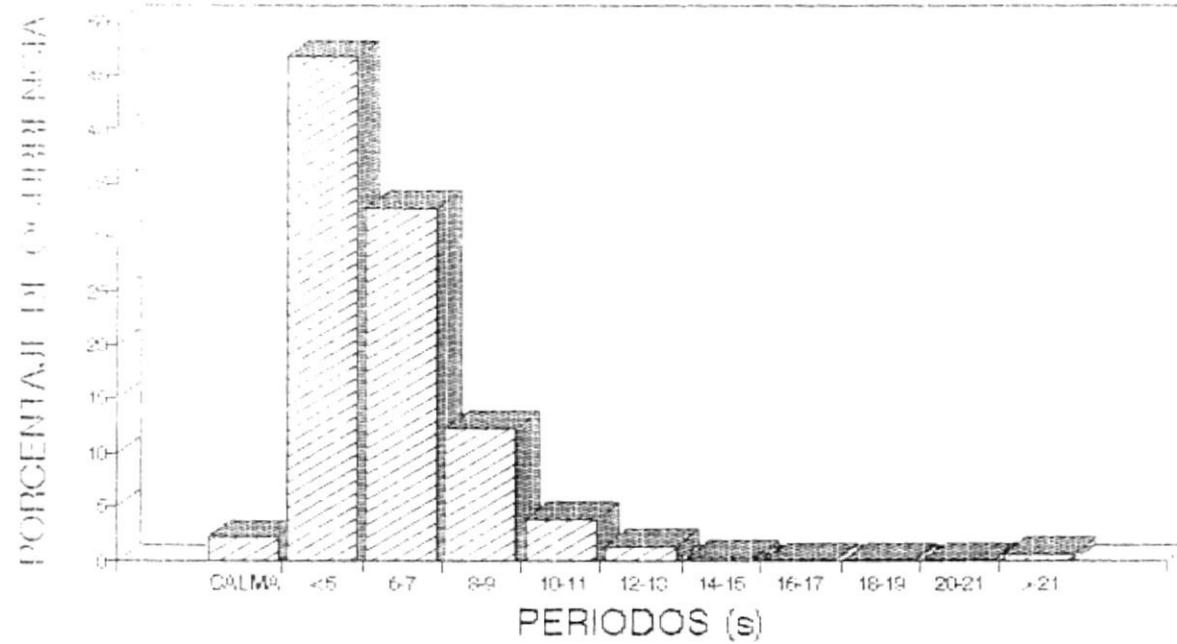


FIG. 1.19.- PORCENTAJE DE OCURRENCIA DE LOS PERIODOS DE OLAS.

(FUENTE: LABORATORIO NACIONAL DE FISICA DE INGLATERRA)
 (SANCHEZ, 1991)

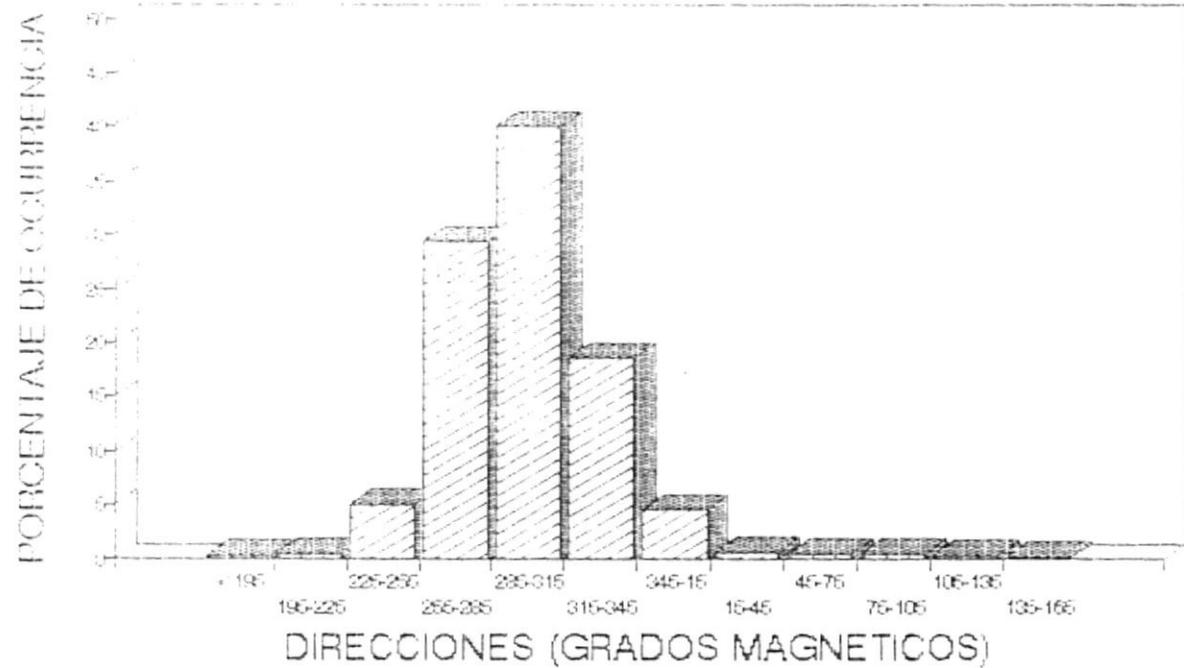


FIG. 1.20.- PORCENTAJE DE OCURRENCIA DE LA DIRECCION DEL FRENTE DE ONDAS.

(FUENTE: LABORATORIO NACIONAL DE FISICA DE INGLATERRA)
(SANCHEZ, 1991)

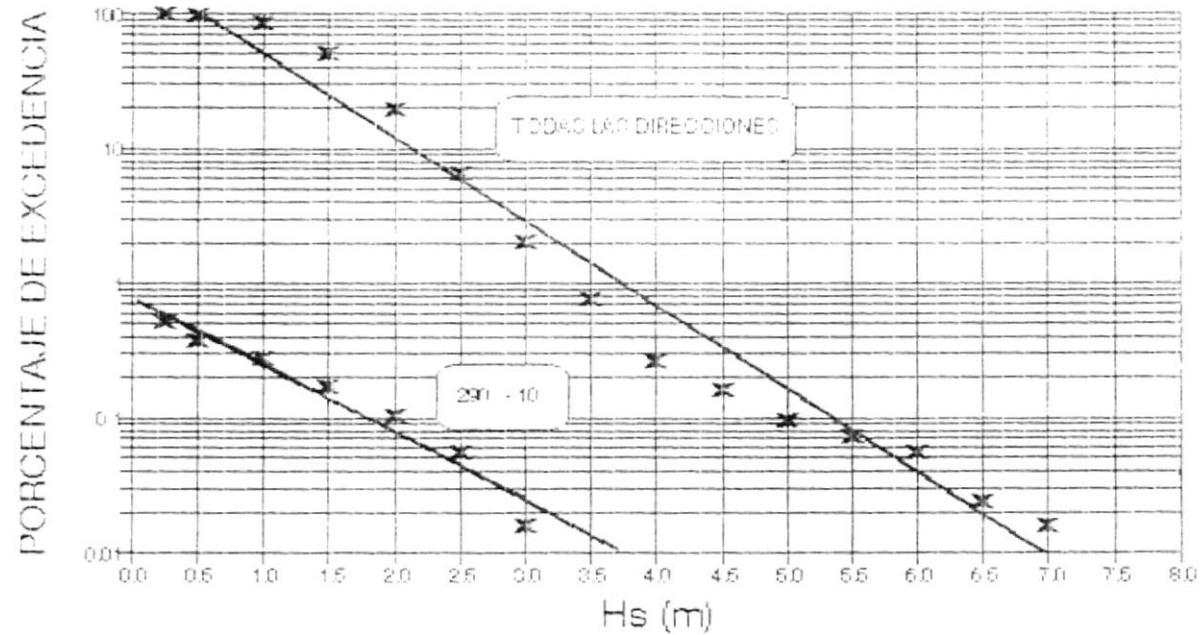


FIG. 1.21 .- PORCENTAJE DE EXCEDENCIA DE LAS ALTURAS DE OLAS VISUALMENTE OBSERVADAS PARA TODAS LAS DIRECCIONES Y PARA EL RANGO 290 y 10 .

(FUENTE: LABORATORIO NACIONAL DE FÍSICA DE INGLATERRA)
(SÁNCHEZ, 1991)

1,00 metro y menores a 5 segundos respectivamente, así como también para olas provenientes de todas las direcciones.

OFICINA DEL CLIMA DE LOS ESTADOS UNIDOS

Este análisis se lo hizo en base a observaciones visuales para varias regiones del Pacífico Sur-este subdivididas en cuadrantes, de los cuales es de interés para este estudio aquel delimitado por los 0° - 5° Sur y 80° - 90° Oeste. Estas estadísticas se las realizó tanto para mar de leva (swell) como para mar de viento (sea), las cuales indicaron que para todo el año las direcciones predominantes son las comprendidas entre SE - SO.

La figuras 1.22 y 1.23 muestran los porcentajes de ocurrencia de las alturas de olas visualmente observadas para todas las direcciones, para cada trimestre del año en los dos diferentes estados del mar (swell & sea).

Para la zona de interés, expuesta a un rango de 293° - 3°, las estadísticas de oleaje de la Oficina de Clima de los Estados Unidos presentan datos entre los 270° y 0° grados magnéticos.

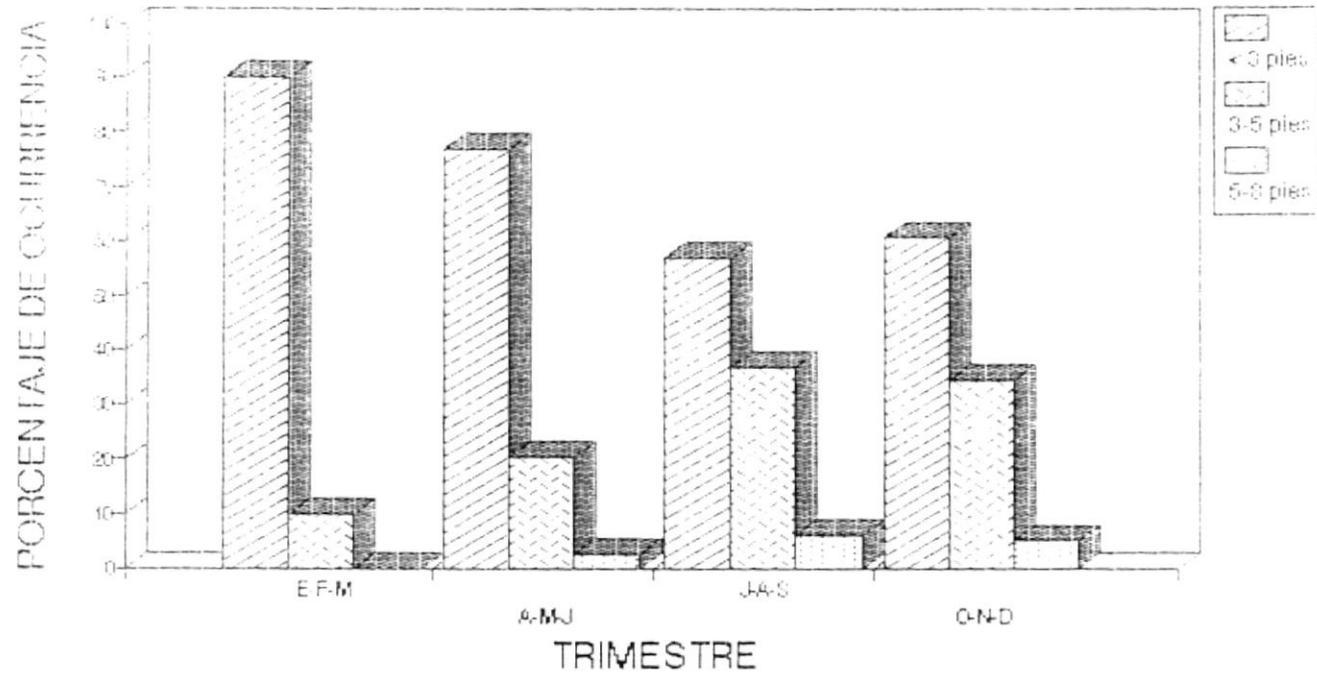


FIG. 1.22.- PORCENTAJE DE OCURRENCIA DE ALTURAS DE OLAS VISUALMENTE OBSERVADAS.
TODAS LAS DIRECCIONES - MAR DE VIENTO (SEA).

(FUENTE: OFICINA DE CLIMA DE LOS ESTADOS UNIDOS).
(SANCHEZ, 1991)

PORCENTAJE DE OCURRENCIA

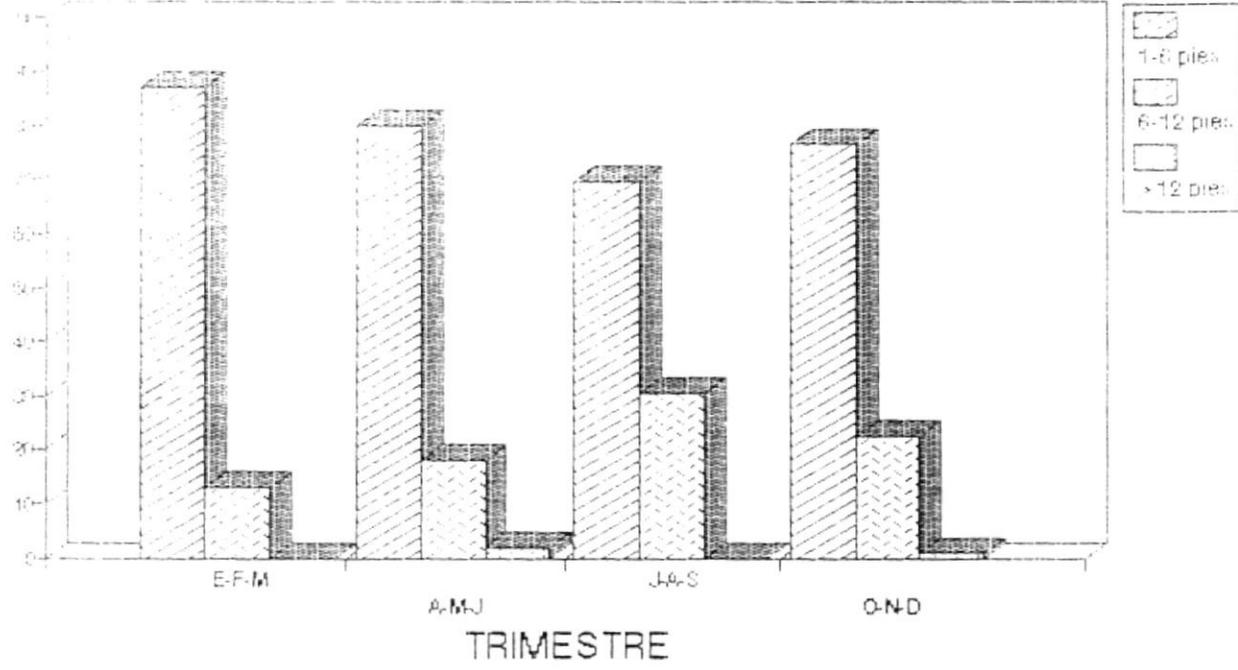


FIG. 1.23.- PORCENTAJE DE OCURRENCIA DE ALTURAS DE OLAS VISUALMENTE OBSERVADAS.
TODAS LAS DIRECCIONES - MAR DE LEVA (SWELL).

(FUENTE: OFICINA DE CLIMA DE LOS ESTADOS UNIDOS).
(SANCHEZ, 1991)

En las figuras 1.24 y 1.25 se muestran los porcentajes de ocurrencia de olas visualmente observadas para estas direcciones (270 - 0 grados magnéticos), resaltándose con mayor frecuencia para mar de leva (swell) olas con alturas de 1 a 6 pies (61 %); así como para mar de viento (sea) olas con alturas menores a 3 pies (78 % de las observadas en el año).

MEDICIONES EN LA ZONA DE MONTEVERDE REALIZADAS POR EL INOCAR

En 1981 y 1984 el Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR), a pedido de la Corporación Estatal Petrolera Ecuatoriana, efectuó mediciones de olas en la zona de Monteverde. Estos datos y su correspondiente análisis fueron publicados por Allauca y Cardin en 1987, y constituyen la fuente más conveniente para el establecimiento de las condiciones de diseño para el presente estudio, por la forma como fueron obtenidas (olígrafo a 11,5 metros de profundidad), y porque la zona costera de Monteverde se encuentra aproximadamente a 14 millas náuticas al noreste de La Libertad y forman parte de la costa central del Ecuador.



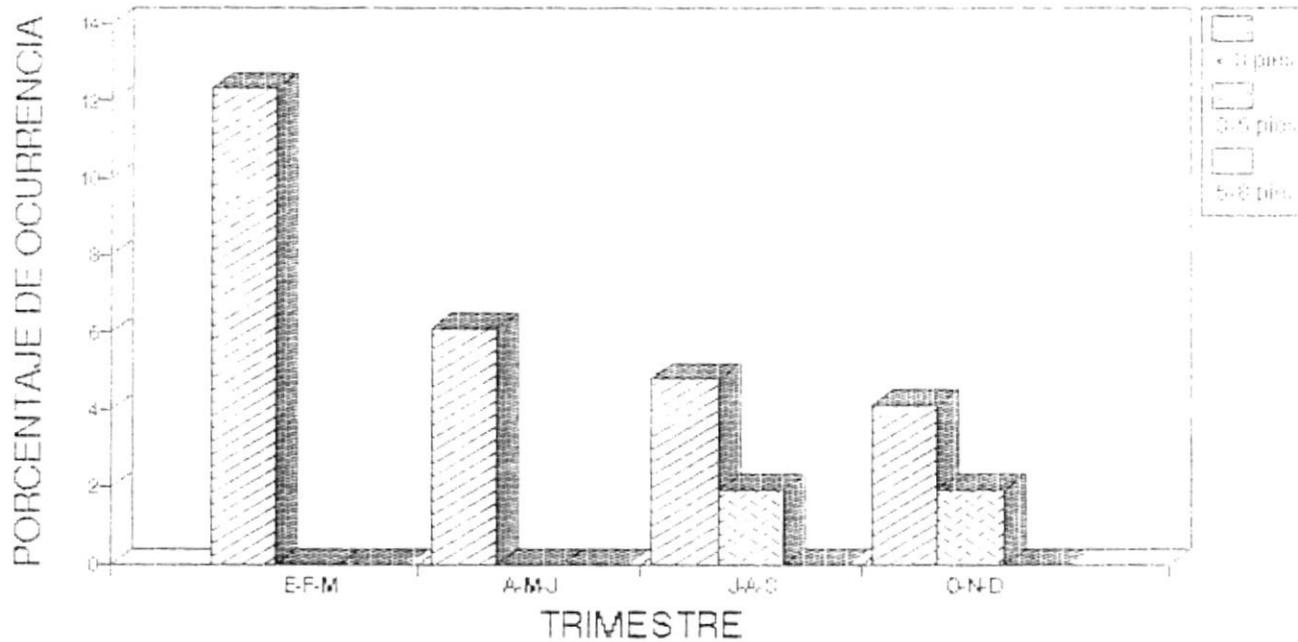


FIG. 1.24 .- PORCENTAJE DE OCURRENCIA DE ALTURAS DE OLAS VISUALMENTE OBSERVADAS.
DIRECCION ENTRE 270 y 0 MAR DE VIENTO (SEA).

(FUENTE: OFICINA DE CLIMA DE LOS ESTADOS UNIDOS)
(GANCHEZ, 1991)

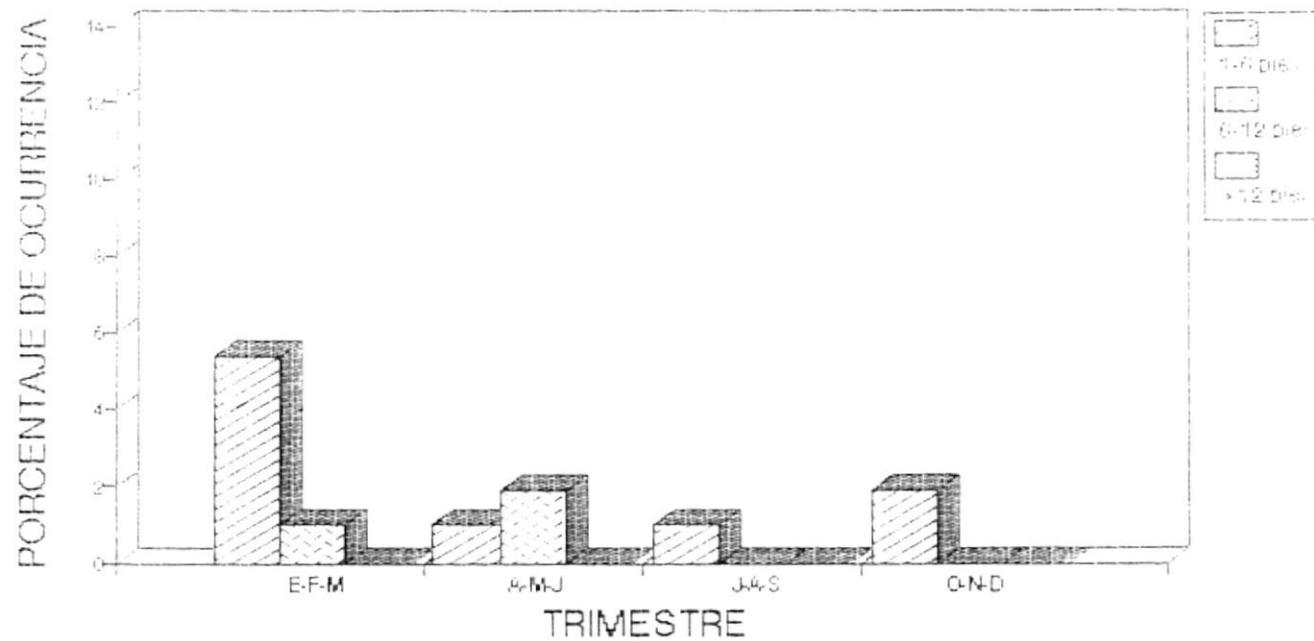


FIG. 1.25.- PORCENTAJE DE OCURRENCIA DE ALTURAS DE OLAS VISUALMENTE OBSERVADAS.
DIRECCION ENTRE 270 y 0 MAR DE LEVA (SWELL).

(FUENTE: OFICINA DE CLIMA DE LOS ESTADOS UNIDOS)
(SANCHEZ, 1994)

Se dispone de un total de 39427 datos registrados entre el 1° de marzo de 1981 y el 15 de octubre de 1984. La máxima altura significativa de ola registrada en los 3,6 años de mediciones fue de 1,9 m.

Se puede observar del análisis estadístico que:

- olas con altura significativa de 0,3 a 0,7 metros, que alcanzan el 67% de todos los datos registrados, son las predominantes.
- la mayor ocurrencia de períodos medios se presenta dentro del rango de 16 a 18 segundos, que representa el 60% de los datos.

Lo anteriormente expresado se puede apreciar en las figuras 1.26 y 1.27.

Allauca y Cardin (1987) exponen en su trabajo varios métodos con los cuales es factible calcular el porcentaje de excedencia de las alturas significativas de olas (H_s), de éstos se seleccionó el Método de Mayencon debido a que este arroja resultados intermedios de los analizados. Este porcentaje es utilizado para la obtención del tiempo de vida de una estructura costera y del porcentaje de daños ocasionados sobre ésta en diferentes períodos a lo largo de ese tiempo.

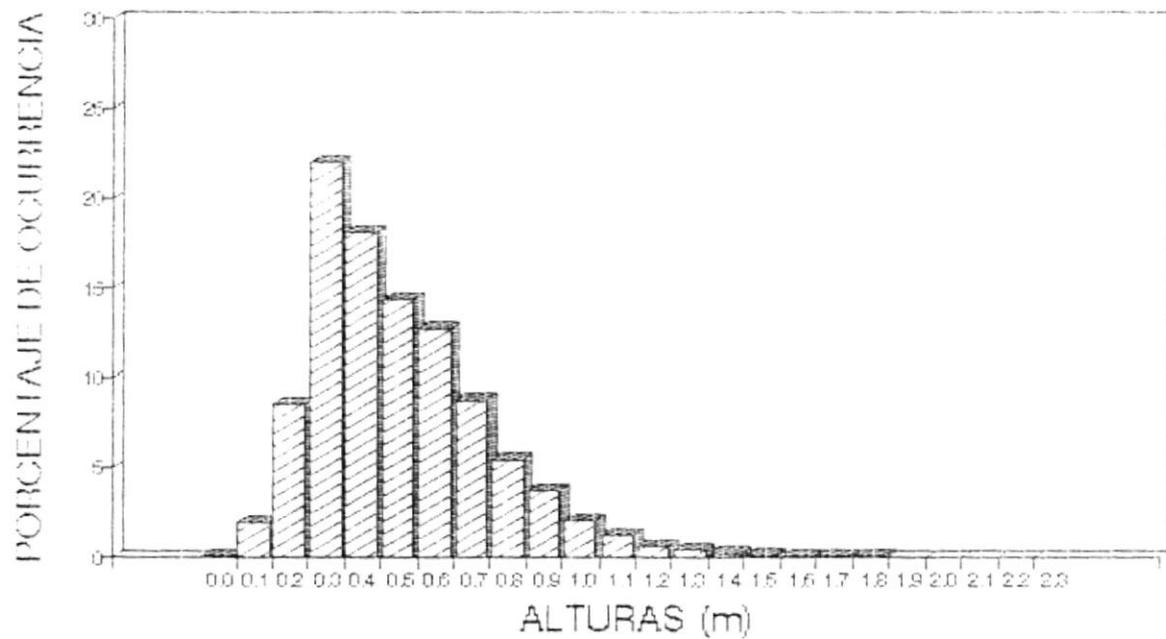


FIG. 1.26.- PORCENTAJE DE OCURRENCIA DE LAS ALTURAS SIGNIFICATIVAS DE OLAS, MONTEVERDE.

(FUENTE: ACTA OCEANOGRÁFICA DEL PACÍFICO VOL. 4, # 1, 1967)

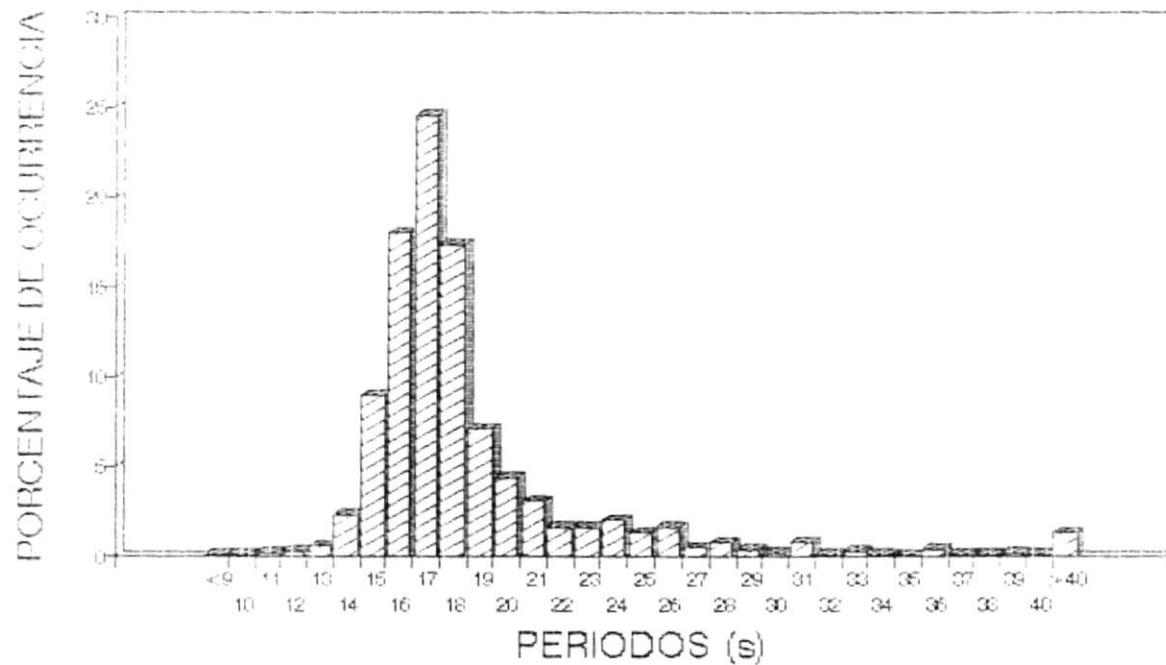


FIG. 1.27.- PORCENTAJE DE OCURRENCIA DE PERIODOS DE OLAS, MONTEVERDE.

(FUENTE: ACTA OCEANOGRÁFICA DEL PACÍFICO VOL 4, # 1, 1967)

El valor de este porcentaje puede ser obtenido directamente de la figura 1.28.

1.6.2. OLEAJE POR VIENTO LOCAL

Además de las olas generadas en aguas profundas, existen otras que son producidas por vientos que actúan cercanos a la costa.

Las olas de mayor magnitud serían generadas por un fetch al Norte, que es el de mayor longitud para la zona de interés, 70 km hasta la Isla Salango teniendo una profundidad promedio de 44 metros. Otras fetchs que se pueden considerar de importancia para la generación de olas por viento local son los ubicados hacia el Noreste y Noroeste. Al Noreste el fetch tiene una longitud de 29 km donde se encuentra una profundidad promedio en el mar de 17 metros, hasta la costa a la altura de la población de Palmar; y al Noroeste, por no haber un límite físico, se ha considerado como límite 28 km hacia mar abierto según la estimación de Glenn, 1975, con una profundidad promedio de 65 metros.

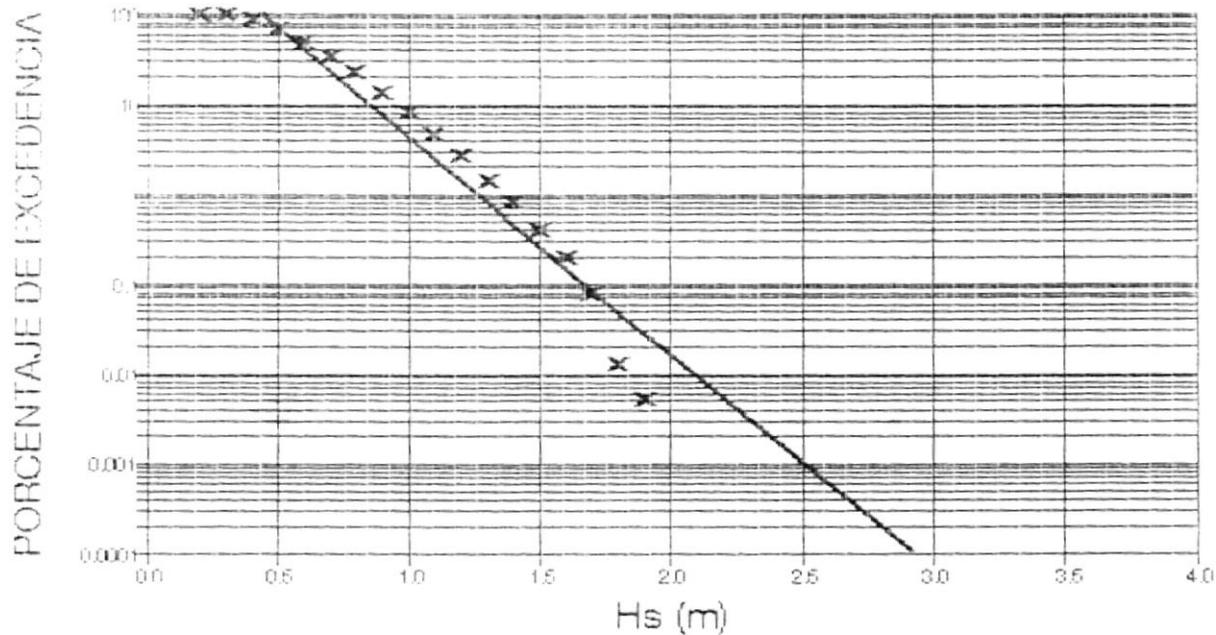


FIG. 1.28.- PORCENTAJE DE EXCEDENCIA DE LAS ALTURAS DE OLAS VISUALMENTE OBSERVADAS EN MONTEVERDE.

(FUENTE: ACTA OCEANOGRÁFICA DEL PACÍFICO VOL. 4, # 1, 1967).

En la tabla 1.4, se puede observar los resultados que Sánchez (1991) obtuvo utilizando las ecuaciones de Brestchneider para la determinación de las características del oleaje, sobre el área de estudio, generado por la acción de un viento sostenido de 20 nudos que es el máximo que se ha generado en la zona y de un viento promedio de 10 nudos, sobre los "fetchs" más probables.

| FETCH | NW (28km) | | N (70km) | | NE (29km) | |
|-------|--------------|----------|-------------|----------|--------------|----------|
| | H (m) | T (s) | H (m) | T (s) | H (m) | T (s) |
| 20 | 1,0 | 5,5 | 1,5 | 6,1 | 1,0 | 4,4 |
| 10 | 0,4 | 3,8 | 0,6 | 3,8 | 0,4 | 3,3 |

Tabla 1.4 Alturas y períodos de oleaje generado por diferentes fetchs. (Fuente : Sánchez 1991)

Se puede observar, entonces, que el máximo oleaje generado por viento local tendrá una altura de 1,5 metros.

1.6.3. OLA DE TORMENTA

En los registros de oleaje obtenidos en Monteverde, se ha podido observar la presencia de olas de magnitud considerable con períodos de retorno de meses o años (2).

Como consecuencia de sismos y temblores cerca de la costa se han llegado a reportar olas de alrededor de 1,5 metros. La mayor ocurrencia de olas de altura significativa mayor a la media de todo el período de registro se produjo para los años de 1982 - 1983, coincidentemente a la presencia del fenómeno de El Niño (2).

El 6 de enero de 1978 se produjo una tormenta en el área 30°N - 140°O , la cual generó un oleaje que se desplazó 3900 millas náuticas hasta las costas de nuestro país, con un ángulo de aproximación de 290° llegando el 12 de enero y presentando olas con 2 metros de altura significativa en aguas profundas y período de 18 segundos (27). Esta ola de tormenta ha sido la que ha reportado el mayor daño en nuestras costas, de ahí que sus características pueden ser consideradas como parámetros de referencia, si se requiere diseñar obras marítimas que soporten condiciones extremas de oleaje.

1.6.4. REFRACCION

La zona en estudio está expuesta a la acción directa de oleajes provenientes de un rango de aproximación comprendido entre los 293° y 3° . Dentro de este rango se escogieron los oleajes provenientes del

290° y 330° con período de 18 y 14 segundos, que son las direcciones y períodos más frecuentes, para realizar los diagramas de refracción graficados en las figuras 1.29 y 1.30. Los coeficientes de refracción que se obtuvieron con la elaboración de los diagramas realizados se encuentran en la tabla 1.5, de éstos se ha obtenido un factor de atenuación por refracción para el período de 18 segundos y para ambas direcciones igual a 0,84 y para 14 segundos de 0,86. Además se graficaron diagramas de refracción para una dirección de 220° y se pudo notar que este oleaje no afecta en gran manera a la zona de estudio debido a que su energía es disipada por la presencia de la Puntilla de Santa Elena.

| Período (s) | ANGULO | | |
|----------------|--------|------|------|
| | 330° | 290° | 220° |
| 18 | 0,83 | 0,85 | 0,18 |
| 14 | 0,90 | 0,82 | 0,23 |

Tabla 1.5.- Coeficientes de refracción.

1.7. TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

La combinación del efecto al romper las olas oblicuamente sobre la playa y las corrientes generadas por las mismas, producen un transporte de sedimento longitudinal, que se da en su mayor parte en la zona de surf. El ascenso de la

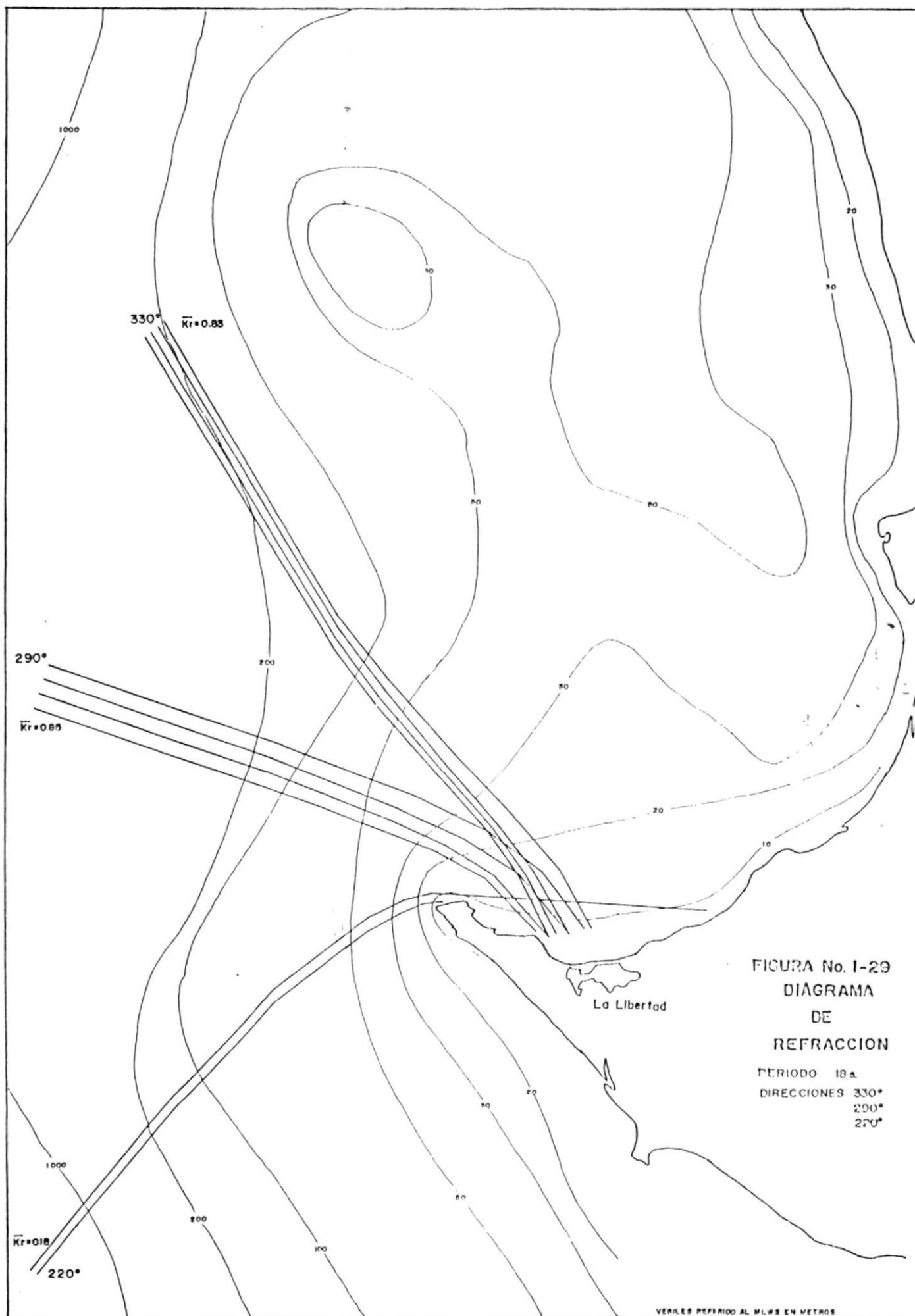


FIGURA No. I-29
 DIAGRAMA
 DE
 REFRACCION

PERIODO 18 s.
 DIRECCIONES 330°
 290°
 270°

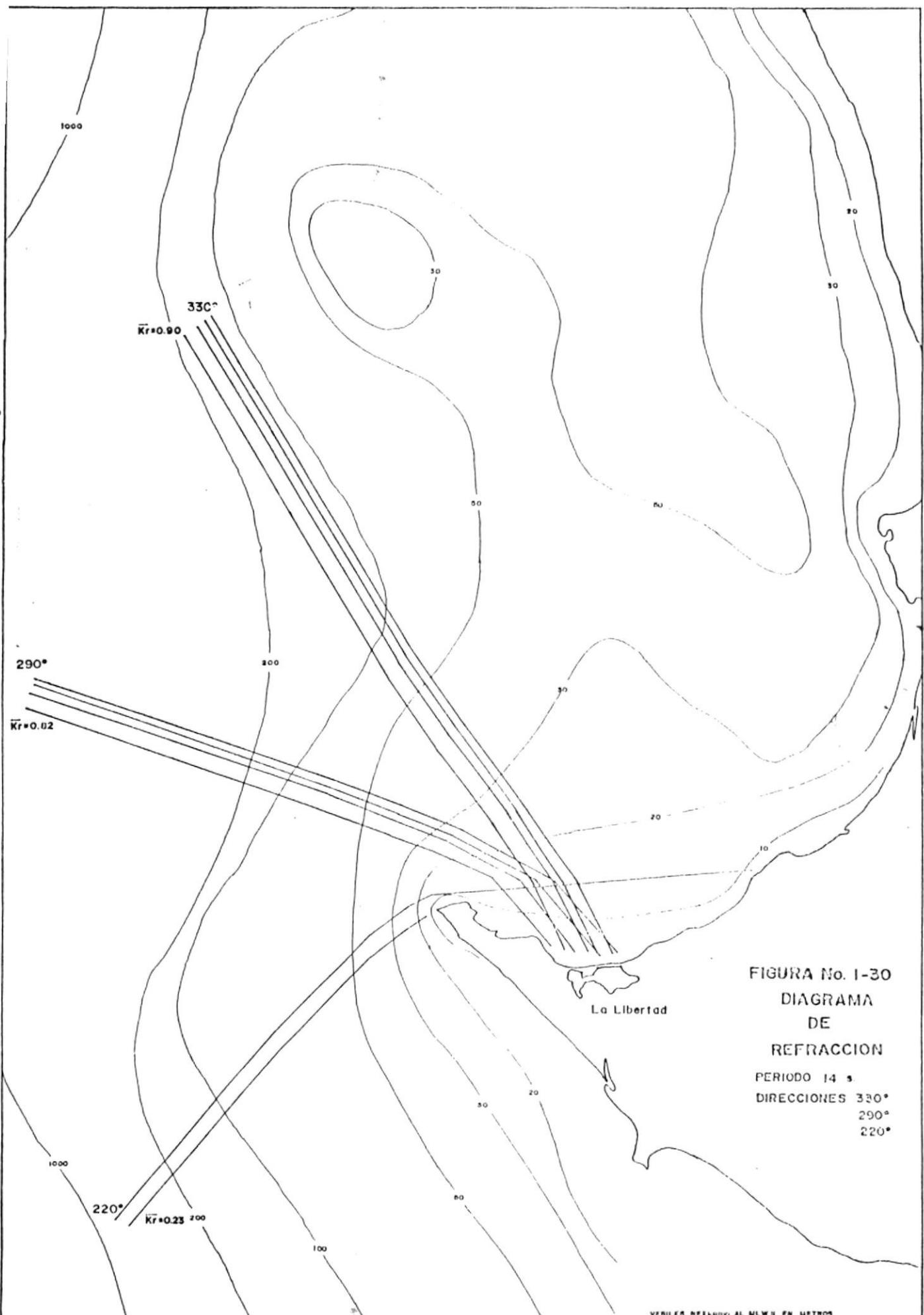


FIGURA No. 1-30
 DIAGRAMA
 DE
 REFRACCION
 PERIODO 14 s
 DIRECCIONES 330°
 290°
 220°

VERILES REFERRIDOS AL MLWS EN METROS

ola y su flujo de retorno sobre la playa causa un movimiento de "zig-zag" de la partícula de arena, con un movimiento neto en dirección del flujo litoral. La arena también es transportada en suspensión y a lo largo del fondo por la corriente litoral a lo largo de la costa. Mucho del transporte en suspensión es producido por la turbulencia generada por la ola de rompiente. Por lo tanto la razón de transporte de material suspendido es alto en la zona de rompiente. El movimiento orbital de las olas pueden también poner en suspensión algo de la arena más fina encontrada fuera de la zona de rompiente. Este material es después movido aguas abajo por la corriente litoral.

La determinación de la tasa del transporte de sedimentos es de gran importancia para pronosticar el comportamiento de las playas adyacentes después de la construcción de una obra marítima.

Se ha tomado para el efecto de este análisis los datos de un día de mediciones en el sitio, con los cuales se ha computado la razón del transporte de sedimentos por medio de métodos comunmente utilizados en la Ingeniería Costera. Los resultados obtenidos con la aplicación de estos métodos no siempre son coincidentes, debido a las diferentes consideraciones que en cada uno se presentan, de aquí que y en base a cálculos realizados, se escogió desarrollar, en este estudio, al método de Komar para el cálculo del transporte de sedimentos.

Komar (1988) en su artículo "Environmental Controls on Littoral Sand Transport" utiliza las ecuaciones de Bagnold basada en el flujo de energía de la onda. Las cuales se presentan a continuación:

$$Q_s = \frac{1}{(\rho_s - \rho) g a'} \times I_s \quad (1.1)$$

donde:

Q_s - Transporte litoral m^3/s

I_s - Razón de transporte de peso sumergido (newton/segundos)

ρ_s - Densidad de la arena - 2650 kg/m^3

ρ - Densidad del agua de mar - 1025 kg/m^3

a' - Factor de espacio de poros - 0,6

g - Aceleración de la gravedad - $9,8 \text{ m/s}^2$

I_s ha sido relacionado con las condiciones litorales en la zona de rompientes de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$I_s = K' (Ecn)_b \times \frac{V_1}{U_m} \quad (1.2)$$

donde:

V_1 - Velocidad promedio de la corriente litoral en el sitio

- 0,15 m/s

- U_m - Máxima velocidad orbital inducida por el oleaje en la zona de rompiente (altura de ola = 0,43 m)
- E_b - Energía de las olas en la zona de rompiente
- $cn)_b$ - Celeridad de grupo del oleaje en la zona de rompiente
- K' - Coeficiente adimensional = 0,28

Utilizando la formulación expuesta se obtuvo una tasa de transporte de 11610 m³/año en época húmeda y de 34830 m³/año en época seca, y considerando que 8 m³ de material de playa equivalen a la pérdida de 1 m² de área de playa sobre la berma (35) sería de esperar que el retroceso de la línea de playa sea de 12 m por año, lo cual no se ha producido, en La Libertad, debido a la presencia del muro de protección en el malecón. Sin embargo, ésta pérdida de material se ha evidenciado en el descenso de la cota de la playa adyacente al muro.

1.8. GEOLOGIA

La Libertad se encuentra asentada en una zona de Tablazo (QT2) y bajo este se encuentra la formación "wild flysch" del eoceno medio superior que aflora en ciertas áreas de La Libertad y de la Puntilla de Santa Elena. El Tablazo que se encuentra en esta zona, corresponde a amplios depósitos arenosos, de textura fina a media, localmente calcareos, con conchas y lentes conglomeráticos.

Generalmente esta ocultando los depósitos QT1 (tablazo 1), hundidos después de su formación; además se encuentran cuerpos de roca ígnea básica (20).

La península de Santa Elena contiene solo rocas de edad cretácica y eocénicas. Se distinguen dos conjuntos estratigráficos: el basamento Mesozoico y el complejo olistostrómico (20).

Para describir en lo posible la geología a menor escala (geología marina), Soledispa y Villacrés (1989), clasifican el material de fondo frente a la costa de La Libertad de la siguiente manera:

- | | |
|-----------------------------------|--------------------|
| - según la textura: | arena; |
| - según la fracción predominante: | arena gruesa; |
| - según la asimetría: | casi asimétrica; y |
| - según la curtosis: | leptocúrtica. |

1.9. GEOMORFOLOGIA

La costa norte de la Península de Santa Elena está dominada por acantilados bajos que se extienden alrededor de la Puntilla de Santa Elena hasta Punta Brava. El acantilado bajo se derivó de un sistema de barrera levantada, planicie litoral, y consiste en areniscas pobremente cementadas con carbonato, lutitas y

arcillitas. Este material esta sujeto a la tubificación por aguas subterráneas y susceptible al fallamiento en bloques (21).

En La Libertad se identifican dos zonas, la una hacia el Oeste, de acantilados bajos con formaciones rocosas y la segunda hacia el este, de playa en forma de cúspides continuas en la berma.

La formación predominante denominada La Caleta, es una formación rocosa (formación wild flysch) que aflora hasta 500 metros costa afuera, llegando al veril de los tres metros. Es una extensión de un acantilado bajo sin vegetación sobre la cual se asienta los pobladores que se han dedicado principalmente a la pesca artesanal, con edificaciones tanto de hormigón como construcciones mixtas.

1.10. GEOTECNIA

El material geológico que se encuentra en la zona es básicamente un lecho rocoso con pequeñas capas de arena.

Un problema encontrado sobre la costa en los acantilados es la conformación de bloques, que al sufrir resquebrajamiento se produce el toppling o volteo,

característica por la que se podría concluir que las construcciones civiles en esta zona deberían edificarse manteniendo un retiro de no menos de veinte metros tras el filo del acantilado. Así mismo, la formación rocosa de La Caleta en el límite Oeste de La Libertad, tiene una alta capacidad portante, capaz de soportar los esfuerzos solicitados por obras ingenieriles de considerable magnitud (Ayón, referencia personal).

2. ALTERNATIVAS PARA LA SOLUCION DE PROBLEMAS EROSIVOS

2.1. GENERALIDADES

La literatura existente para la definición y aplicación de las soluciones a los problemas erosivos costeros, es muy extensa, aunque básicamente difieren muy poco o casi nada una de la otra; por lo que el siguiente capítulo es una síntesis de los trabajos de varios autores como: Iribarren, Sorensen, Komar, el Manual de Protección Costera del Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos de Norteamérica, Brunn y otros.

De acuerdo a la literatura consultada, los problemas ingenieriles costeros pueden ser clasificados en cuatro categorías: estabilización de playas, protección de la post-playa (zona tras la berma), estabilización de entradas costeras (barreras litorales), y protección de bahías. Un problema costero bien podría estar identificado con más de una de estas categorías y se pueden listar

varias estructuras y trabajos de protección para su solución. Las consideraciones para la selección de las estructuras de protección incluyen la evaluación del tipo, uso, efectividad, economía e impactos ambientales de éstas. Al seleccionar la forma, tamaño y localización de los trabajos de protección, no debería tenerse como único objetivo el diseño constructivo de la obra bajo el punto de vista de alcanzar los resultados deseados en forma más económica, sino también considerar los efectos en las zonas adyacentes. Una evaluación económica incluye el costo de mantenimiento junto al interés y amortización del costo inicial. Además se debería incluir, de ser el caso, los costos relacionados al mantenimiento de las playas adyacentes o establecer una zonificación para el manejo de los recursos costeros que se verían afectados por la presencia de la estructura.

A continuación se describirán las soluciones estructurales más comunes ahora utilizadas en la estabilización de playas y protección de post-playas.

2.1.1. MUROS

Los muros son estructuras paralelas, o casi paralelas, a la línea de playa que separan el área de tierra del área de agua. El propósito primario de un muro es el de retener la tierra para prevenir deslizamientos, con el propósito secundario de brindar protección a

las tierras contra daños por acción del oleaje. Según el caso, podrían ser utilizados también como muelles. Estas estructuras son generalmente usadas donde es necesario mantener la línea de playa en una posición avanzada en relación a las playas adyacentes, donde hay un escaso suministro de material y poca, o no existencia de, playa protectora, como a lo largo de acantilado en erosión, o donde se desea mantener una profundidad de agua a lo largo de la línea de costa, como para un muelle.

La estructura sólo ofrece protección a la tierra justamente tras de ella y ninguna a las playas adyacentes. Cuando se construye en una costa en retroceso por erosión, la resesión en las playas adyacentes se mantiene y puede ser acelerada.

La localización de los muros regularmente es fácil de establecer, ya que su función primaria usualmente es para mantener fronteras fijas ya existentes. Las consideraciones para el diseño de tales estructuras incluyen: uso y forma general de la estructura, localización con respecto a la línea de costa, longitud, estabilidad del suelo, nivel del mar, nivel freático, disponibilidad de materiales de construcción, factibilidades económicas, aspectos ambientales y objetivos institucionales.

2.1.2. RELLENO DE PLAYA

Las playas son efectivos disipadores de energía de olas y han sido clasificadas como estructuras de protección de tierras adyacentes. Además, son parte del sistema natural de la costa, y la disipación del oleaje usualmente ocurre sin crear efectos adversos al medio ambiente. Ya que la mayoría de los problemas erosivos ocurren cuando hay una deficiencia del suministro natural de arena, la colocación de material de préstamo en la playa deberá ser considerada como una medida de estabilización. Es conveniente investigar la factibilidad de un relleno hidráulico o mecánico en la playa erosionada, denominado restauración de playa, para restaurar o formar y por consecuencia mantener una playa de protección.³ Hay que considerar otras medidas preventivas auxiliares a esta solución, como lo son los espigones, las baterías de espigones, etc. También es importante recordar que la reposición de la arena erosionada de la playa no es en sí una solución al problema erosivo por lo que se necesitarán rellenos periódicos, iguales a la razón de la pérdida de material causada por la erosión. La reposición a lo largo de un segmento de playa erosionada puede ser obtenida mediante la apilación del material adecuado sobre el extremo localizado aguas arriba del flujo litoral, dejando que los procesos litorales reacomoden

el material a lo largo de la playa. El establecimiento y la reposición periódica de tal apilamiento es denominado "reposición artificial de playa". Cuando las condiciones son favorables para la alimentación artificial, largos tramos de playa podrán ser protegidas a un precio relativamente bajo comparado con los costos de otras estructuras de protección alternativas. Otra consideración adicional, es que la ampliación de la playa puede tener beneficios adicionales como son los usos recreacionales.

Como se dijo anteriormente un diseño paralelo de batería de espigones puede mejorar y mantener por más tiempo el relleno de la playa. Sin embargo, este método debe ser utilizado con cautela, porque si una playa es restaurada o ampliada, atrapando el suministro natural de material litoral, puede ocasionar un descenso en el suministro de material en áreas aguas abajo con la resultante expansión o transferencia del problema. Los efectos perjudiciales de los espigones normalmente pueden ser minimizados con un relleno artificial en cantidad suficiente para cubrir el desarrollo de la construcción del espigón, con lo cual se permitirá el traspaso de la arena aguas abajo, a esta operación se la conoce como "llenado de espigones". La construcción de los espigones se debe realizar desde

aguas abajo hacia aguas arriba para obtener el máximo relleno artificial posible.

Los espigones pueden ser incluidos en un proyecto de restauración de playa para disminuir la razón de pérdida y así disminuir la cantidad de material requerido. Cuando los espigones son considerados en un relleno artificial, sus beneficios deberán evaluarse cuidadosamente para determinar su justificación. Tal justificación puede ser basada en el hecho de que los espigones proveerán una mayor reducción en los costos anuales de reposición, que el incremento anual por cargos de construcción de los espigones.

La decisión de usar los espigones como protección de playa, en el proyecto de un relleno, depende primeramente de la disponibilidad de la arena con la granulometría adecuada para el propósito y los costos por unidad de volumen de relleno y costos de construcción de los espigones. A menudo, el costo de metro cúbico de arena para pequeños proyectos es ligeramente alto debido a lo costoso que resulta la movilización y demovilización del equipo necesitado para la construcción del proyecto, lo que para rellenos grandes el mismo gasto constituye una menor proporción de los fondos del proyecto.

El uso de material más grueso que el nativo y por consiguiente más estable, el material de relleno requerira menor reposición anual, pero puede ser no dable para la conservación ecológica y la recreación humana. La intrusión de material extraño tendra a su vez otros efectos indeseables a largo plazo en playas adyacentes.

2.1.3. ROMPEOLAS DE ESPIGON

Un rompeolas unido a la costa es una estructura que protege de las olas a un área costera, bahía o zona de abrigo para embarcaciones. Los rompeolas para la navegación son construídos para crear aguas tranquilas dentro de una bahía, a la que provee de protección para

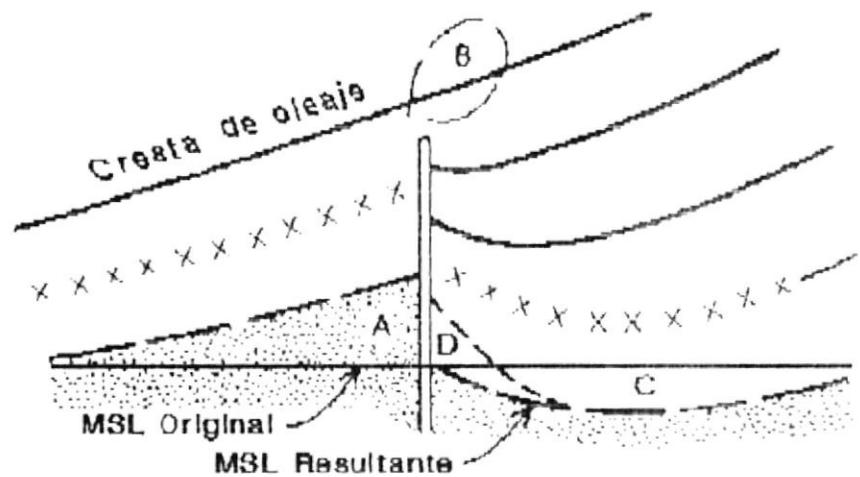


Figura 2.1

anclajes seguros, operación y manipulo de embarcaciones y facilidades portuarias.

La figura 2.1 indica la configuración de la línea de playa que se desarrollará junto a un rompeolas construido perpendicular a la costa y que esta expuesto a un oleaje con la dirección indicada por un largo período de tiempo. Habrá una acumulación de material aguas arriba (A) más una depositación sobre el punto B y llegando inclusive más afuera, debido a las corrientes de resaca que se generan al costado de la estructura (aguas arriba). Aguas abajo de la estructura (C) la playa se erosionará a una razón aproximadamente igual a la razón de depositación de sedimento en A y en B. Tanto aguas arriba como aguas abajo de la estructura, la línea de playa intentará ajustarse paralelamente con la posición de las crestas del oleaje incidente conforme son afectadas por la refracción y difracción. Algo de material sobrepasará la estructura en forma natural, por lo que las razones de depositación o erosión serán en algo menores que la razón del transporte litoral. La cantidad de material que sobrepasa la estructura dependerá de la longitud y permeabilidad de la misma, así como de la pendiente de la playa y la profundidad de rompiente de la ola, lo cual establecerá el ancho de la zona de transporte litoral y además el grado de interferencia que la estructura causa al transporte de arena.

Normalmente, la dirección, altura y período del oleaje están continuamente cambiando, por lo que el equilibrio entre el tren de ondas incidentes y la orientación de la línea de playa no es alcanzado en su totalidad. La playa está continuamente ajustándose a las características cambiantes del oleaje. Sin embargo, si las olas vienen de una dirección predominante, con pocas reversiones ocasionales, la línea de playa resultante se acercará aproximadamente a la indicada en la figura 2.1. Olas de otras direcciones conducirían los sedimentos de regreso a la estructura para formar un pequeño relleno en D que sería difícil de remover cuando las olas regresan a su dirección predominante. Esto es particularmente cierto si la estructura se extiende a una gran distancia desde la playa.

2.1.4. BATERIA DE ESPIGONES

Un espigón es una estructura de protección diseñada para atrapar el transporte litoral longitudinal, para formar una playa protectora retardando la erosión de la playa existente o para evitar que la corriente litoral llegue a zonas aguas abajo, como es el caso de las bahías o entradas de mar. Los espigones son estructuras delgadas de variada longitud y altura, usualmente construidos perpendiculares a la

línea de costa.

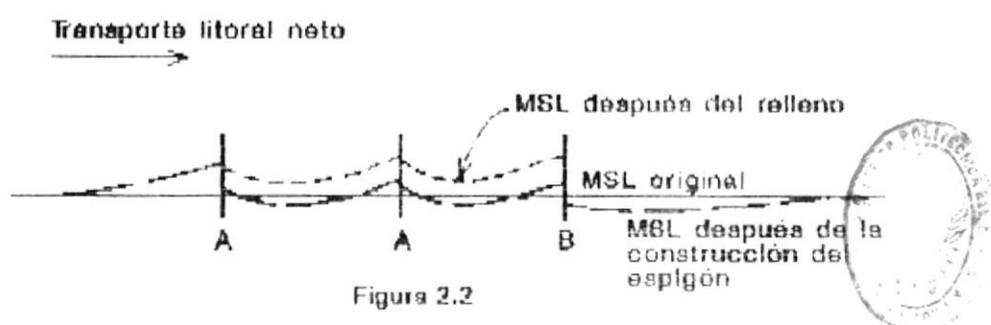


Figura 2.2

La interacción entre los procesos costeros y un espigón o baterías de espigones es complicado o pobremente entendido. Sin embargo, existen algunos principios básicos que se pueden aplicar al diseño de espigones. Los espigones solamente pueden ser usados para interrumpir el transporte litoral longitudinal. El ajuste de los perfiles de playa cerca de los espigones dependerá de la magnitud y dirección del transporte litoral (figura 2.2). La acumulación, inducida por los espigones, del transporte litoral en la zona intermareal modificará el perfil de la playa, el cual tratará de recuperar su forma natural. El agua apilada por las olas entre los espigones a veces regresará al mar en la forma de corrientes de resaca a los costados de los éstos. El porcentaje de transporte litoral que pasa el espigón dependerá de las dimensiones de éste, la acumulación de arena, el nivel del agua y la climatología de las olas. Al no permitir el paso del transporte litoral aguas arriba se produce un trastorno en el balance de arena aguas

abajo. Donde la razón de transporte litoral es alta, una batería de espigones no requerirá de relleno artificial en el proceso de llenado de los espigones. Si es que esta razón de transporte litoral no ha sido reducida, no se requerirá de relleno después del llenado. El volumen requerido para el relleno de la batería de espigones se puede estimar fácilmente, mientras que el volumen requerido para rellenar el área costa afuera, que es igualmente importante, es difícil de estimar. De ahí que, el tiempo necesitado para el llenado completo es difícil de estimar. Tomará muchos años para el llenado de espigones largos y durante este tiempo la playa aguas abajo se erosionará hasta que se haga un relleno artificial.

2.1.5. ROMPEOLAS COSTA AFUERA

Un rompeolas costa afuera es una estructura diseñada para proveer protección del oleaje a un área o línea de playa localizada en dirección de la cara de sotavento de la estructura. Los rompeolas costa afuera son usualmente orientados aproximadamente paralelos a la playa. Podrían también dar protección a puertos o playas erosionables y servir de trampa para el sedimento de la barra litoral.

Un rompeolas costa afuera da protección por la reducción de la energía de ola que alcanza el agua y playas en su sotavento. La estructura de rompeolas refleja o disipa la ola incidente que impacta directamente sobre esta y transmite la energía del oleaje por medio de difracción entre la barrera de la geometría de la zona de sombra. Esta reducción de la energía del oleaje en la zona de sombra del rompeolas, reduce la salida y transporte de sedimento por acción del oleaje a la zona. Además, la arena transportada desde áreas cercanas por un predominante flujo o circulación litoral tenderá a ser depositada a sotavento de la estructura. Esta depositación causa el crecimiento de una cúspide desde la línea de costa. Si la longitud del rompeolas es suficientemente grande en relación a la distancia entre éste y la línea de costa, la cúspide podría conectarse a la estructura formando un tombolo. Además, los rompeolas brindan protección a propiedades en tierra no solamente por la reducción de la energía de oleaje incidente, sino también por la formación de una ancha playa protectora que actúa como disipador durante tormentas.

La respuesta de la línea de playa a la construcción de cualquier rompeolas costa afuera, es predominantemente gobernada por las alteraciones resultantes en el transporte litoral y, en menor proporción, por la razón de transporte costa afuera - costa adentro.

La localización del rompeolas provoca que la línea de playa se ajuste a las nuevas condiciones y busque una configuración de equilibrio.

Si las crestas del oleaje incidente son paralelas a la línea de playa original (condición de no transporte longitudinal), las olas difractadas transportarán arena desde los extremos del rompeolas hacia la zona de sombra. Este proceso continuará hasta que la configuración de la línea de playa sea esencialmente paralela a las crestas de las olas difractadas y el transporte litoral sea otra vez nulo. En este momento el tombolo tendrá una forma simétrica.

Para la incidencia oblicua del oleaje, la razón de transporte litoral a sotavento de la estructura inicialmente disminuirá, causando una depositación del sedimento. Se formará la base de una cúspide que continuará creciendo hasta que la razón del transporte litoral que pasa por la estructura sea reestablecido o se forme un tombolo. Dependiendo de donde se localice el rompeolas en relación al área de rompiente, la formación del tombolo puede actuar como una barrera total, la cual puede atrapar todo el transporte litoral hasta que llene su capacidad, cuando la arena bordeará la estructura, restaurando la razón de transporte litoral. Durante este proceso se debería esperar severos procesos erosivos en las playas localizadas aguas abajo. Se

podría esperar que la base de la cúspide resultante del ataque de oleaje oblicuo sea asimétrica, tomando una forma en función del largo de la estructura, la distancia desde la línea de playa y la condición del oleaje en la costa. La figura 2.3 indica la formación asimétrica de las cúspides.

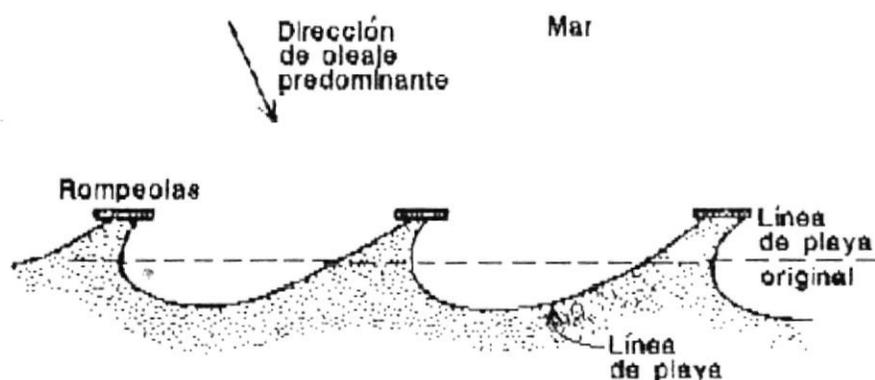


Figura 2.3

Mayores consideraciones en el diseño de rompeolas costa afuera para protección costera deberán ser determinadas si es que el ajuste de la línea de playa resultante debiera ser conectada a la estructura. Existen ventajas y desventajas en la configuración de la línea de playa, y el diseñador deberá confrontar varias consideraciones antes de tomar una decisión entre tombolos o cúspides. En tanto que ambos ajustes de playa afectan el área adyacentes, las cúspides se prefieren usualmente a los tombolos. Cuando se forman los tombolos, grandes cantidades de sedimento se depositarán, lo que resultaría una gran erosión aguas abajo de la estructura. Una

formación de cúspides permite un mayor paso de sedimentos y así un menor efecto sobre la playa aguas abajo. Durante los cambios estacionales de la dirección de aproximación del oleaje, una formación de cúspides permite el paso del flujo perpendicular al lado hacia tierra del rompiente. Los cambios de dirección reduce la probabilidad de que el oleaje cause pérdida de sedimentos, lo que permite su paso hacia el lado del mar de las playas.

La formación del tombole aumenta la longitud de la playa disponible para uso recreativos y una mayor facilidad para el mantenimiento y mantenimiento de la estructura, pero los bañistas tendrían a hacer uso de ésta o a nadar en las aguas adyacentes lo cual podría ser peligroso.

2.1.6 ESPIGONES EN "T"

Los espigones en "T" son una combinación de rompeolas costa afuera conectado a tierra por medio de un espigón, los cuales dan solución al problema erosivo tanto en el sentido longitudinal como perpendicular a la playa. El flujo dentro de la zona protegida tiene un

comportamiento similar al descrito para el caso en el que se ha formado el tombolo en las rompeolas costa afuera

2.2 ANALISIS DE LAS ALTERNATIVAS



Tomando en consideración las condiciones de oleaje, transecto litoral y corrientes costeras presentes en la zona de La Libertad, y por los objetivos previstos para este trabajo, se ha llegado a la conclusión de que las alternativas tales como, muros de contención, batería de espigones y espigones en T no satisfacen por completo con los requisitos planteados.

Los muros cumplen la función de delimitar la línea de tierra con el mar y de proteger, como propósito secundario, a la tierra adyacente de la acción del oleaje; con lo cual se estaría solucionando el problema erosivo, satisfaciendo el objetivo de recuperación de la playa.

Con el relleno de playa la construcción de la solución alternativa a la de los muros de contención, es decir, se estaría satisfaciendo el objetivo de recuperación de playa pero no se afectaría la acción del oleaje, manteniéndose latente el problema erosivo.

Los espigones perpendiculares a la playa, servirían como atrapadores de sedimento en sentido longitudinal, pudiendo recuperar la playa si se realizan rellenos periódicos. Estos espigones no darían solución al problema erosivo provocado por el oleaje perpendicular a la playa, y al no existir ningún tipo de obstáculo para la atenuación del ataque de las olas, la razón de la pérdida de material de relleno sería muy alta.

Los espigones en "T" dan solución al problema erosivo y a largo plazo cumplirían con el objetivo de recuperar la playa; esta solución presenta poca utilidad para uso recreacional de la playa, tanto por la apariencia física de los mismos como por los peligros para bañistas. Adicionalmente estos espigones representarían una trampa para el transporte de sedimento longitudinal, que provocaría una erosión en las playas aguas abajo afectando las urbanizaciones establecidas en la zona.

La construcción de un rompeolas de espigón proporcionaría protección al muro que constituye el malecón de la ciudad debido a la atenuación del oleaje, y en consecuencia de la baja energía dentro de la zona de abrigo, se induciría el crecimiento de la playa. Adicionalmente esta solución tiene un gran potencial de usos que pueden desarrollarse a futuro. Cabe mencionar que la construcción de este tipo de estructuras ya han sido anteriormente ejecutadas con éxito en

nuestro medio y que la experiencia obtenida facilitaría el desarrollo de esta alternativa.

Los rompeolas costa afuera son estructuras que debido a las condiciones presentes en la zona, da protección al malecón y retiene el sedimento arrastrado por la acción del oleaje perpendicular a la playa, consiguiendo de esta manera el crecimiento de ésta, y que al combinarse con un espigón perpendicular de corta longitud en la zona de La Caleta, brinda protección para un mayor rango de incidencia de oleaje.

2.3. SELECCION DE LAS ALTERNATIVAS

Después de realizar el análisis de las alternativas presentadas, se determinó que las más idóneas para la solución de los problemas erosivos en La Libertad son:

- 1ª la construcción de un espigón de montículo cuyo tronco parta del sector denominado La Caleta, aprovechando el bajo, hasta la Isla del Amor donde se ubicará el codo de la estructura y desde este punto el brazo con una extensión y orientación, tales, que proporcionan la mayor zona de protección, sin comprometer el costo económico.

2ª la combinación de la construcción de un pequeño espigón de montículo con varios rompeolas costa afuera, paralelos a la línea de playa, diseñados de tal manera que brinden, igualmente, la mayor zona de protección y además que no permitan la formación de tomboles para no bloquear el paso del transporte litoral a las playas contiguas de La Libertad.

Adicionalmente, las soluciones presentadas pueden reforzarse con un relleno de playa para acelerar los procesos de sedimentación y, de esta manera, disponer en un tiempo más corto de una zona de playa para uso turístico. Las características que debe presentar este relleno de playa han sido también evaluadas, y sus cálculos y resultados se presentan en el Anexo A.

3. DESARROLLO DE LAS ALTERNATIVAS SELECCIONADAS

3.1. DISEÑO

En este punto se procederá al desarrollo del cálculo estructural de distintas secciones de las estructuras seleccionadas. Cabe anotarse que es la primera vez que se emprende el cálculo para el diseño de una estructura costa afuera como alternativa a la solución de un problema erosivo en nuestro país. El uso de este tipo de estructuras ha tenido muy poca acogida debido a la escasa información, a nivel internacional, existente sobre su diseño y comportamiento.

Los cálculos relacionados al diseño de las secciones de las estructuras fueron realizados en hojas electrónicas del programa Quattro Pro (compatible con IBM). La estructura y resultados que se obtienen de estas hojas se incluyeron en el Anexo B.

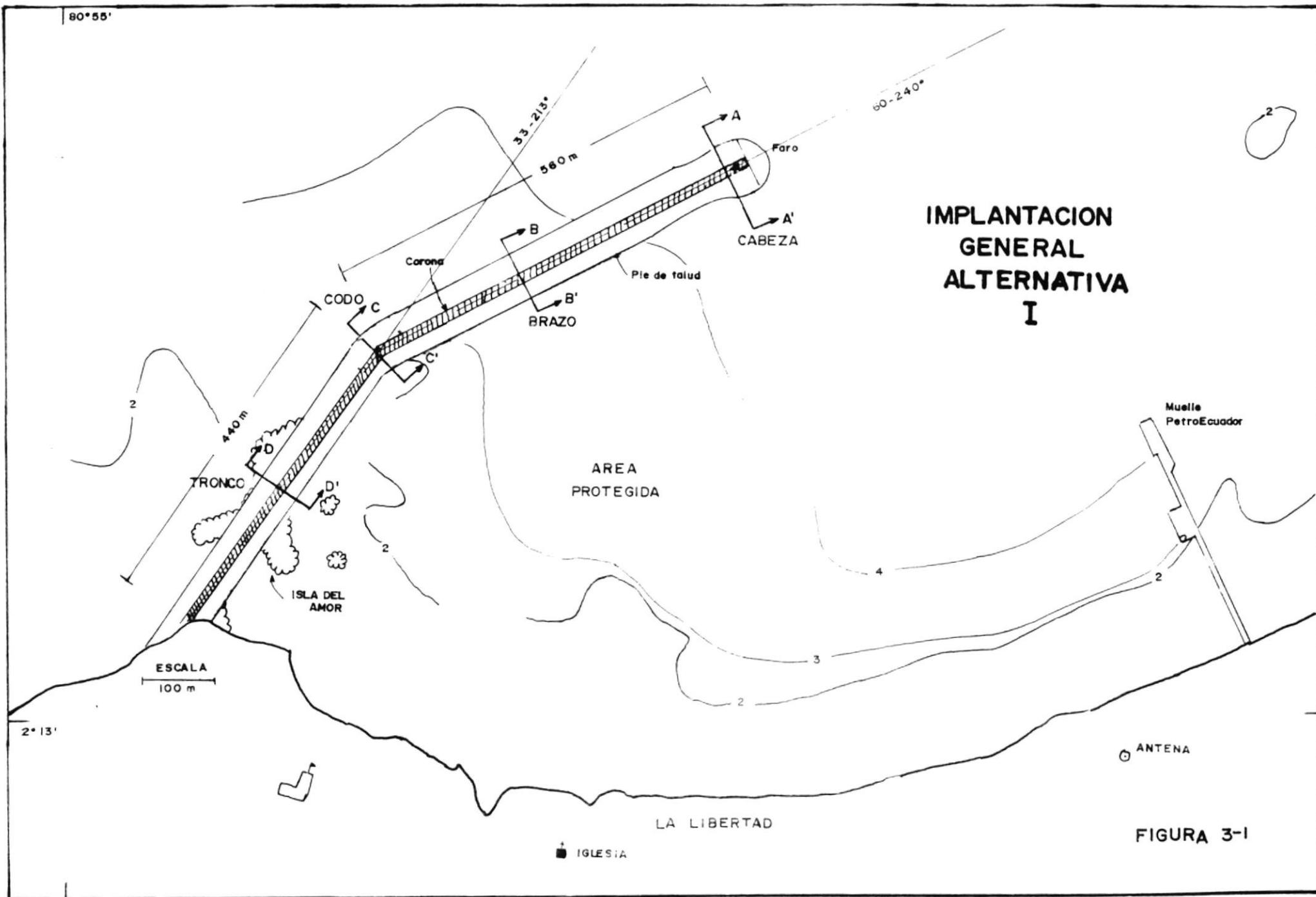
3.1.1. DISPOSICION GENERAL DE LAS OBRAS

Basados en el análisis de las condiciones ambientales realizado en el capítulo 1, y aprovechando los accidentes que presenta la configuración batimétrica, se determinó la ubicación de las estructuras, cuya descripción se detalla a continuación.

Para el caso del rompeolas de montículo se aprovechará el afloramiento rocoso que sale desde el sector de La Caleta hasta la Isla del Amor, de esta manera se utilizará menor cantidad de material pétreo en la construcción del tronco de la estructura. Sobre la Isla del Amor se localizará el codo de la misma, a partir del cual se construirá el brazo con una extensión de 560 metros y una dirección $60^\circ - 240^\circ$ (figura 3.1). Esta disposición resultó ser la más económica para proporcionar protección a la zona de interés del oleaje más frecuente que es el proveniente del 330° .

La estructura del rompeolas estará conformada por un núcleo de piedra con pesos de 0,3 a 12,5 kg y dos capas de roca, intermedia y coraza, que actúan como filtros sucesivos para evitar la pérdida del material más fino. La capa intermedia de 1 metro de espesor, estará formada por rocas de pesos entre 0,10 hasta 0,25 toneladas, y la

80°55'



**IMPLANTACION
GENERAL
ALTERNATIVA
I**

FIGURA 3-1

coraza de 2 metros de espesor por rocas de 1,5 y 2,5 toneladas. La cota de coronamiento de la coraza a lo largo del espigón será de +8.5 metros sobre el MLWS.

Las pendientes laterales del rompeolas serán de 1:2,0 y 1:1,5 para el lado no protegido y lado protegido de la estructura, respectivamente. Únicamente las secciones en la cabeza conservarán una pendiente igual a 1:2,0 a ambos lados de la estructura.

Información más detallada de las características de cada una de las diferentes secciones, que constituyen la estructura, puede encontrarse en los planos incluidos en el Anexo C.

La segunda alternativa contempla la construcción de un pequeño rompeolas de montículo con 270 metros de longitud ubicado sobre el bajo de La Caleta. Adicionalmente se construirá tres rompeolas costa afuera paralelos a la línea de playa para extender el rango de protección del oleaje incidente del 330° y además del oleaje de viento del Norte. Estos estarán ubicados a 250 metros de la línea de playa, con una longitud de 150 metros cada uno y una separación entre ellos de 180 metros (figura 3.2). Se determinó que con ésta

IMPLANTACION GENERAL ALTERNATIVA II

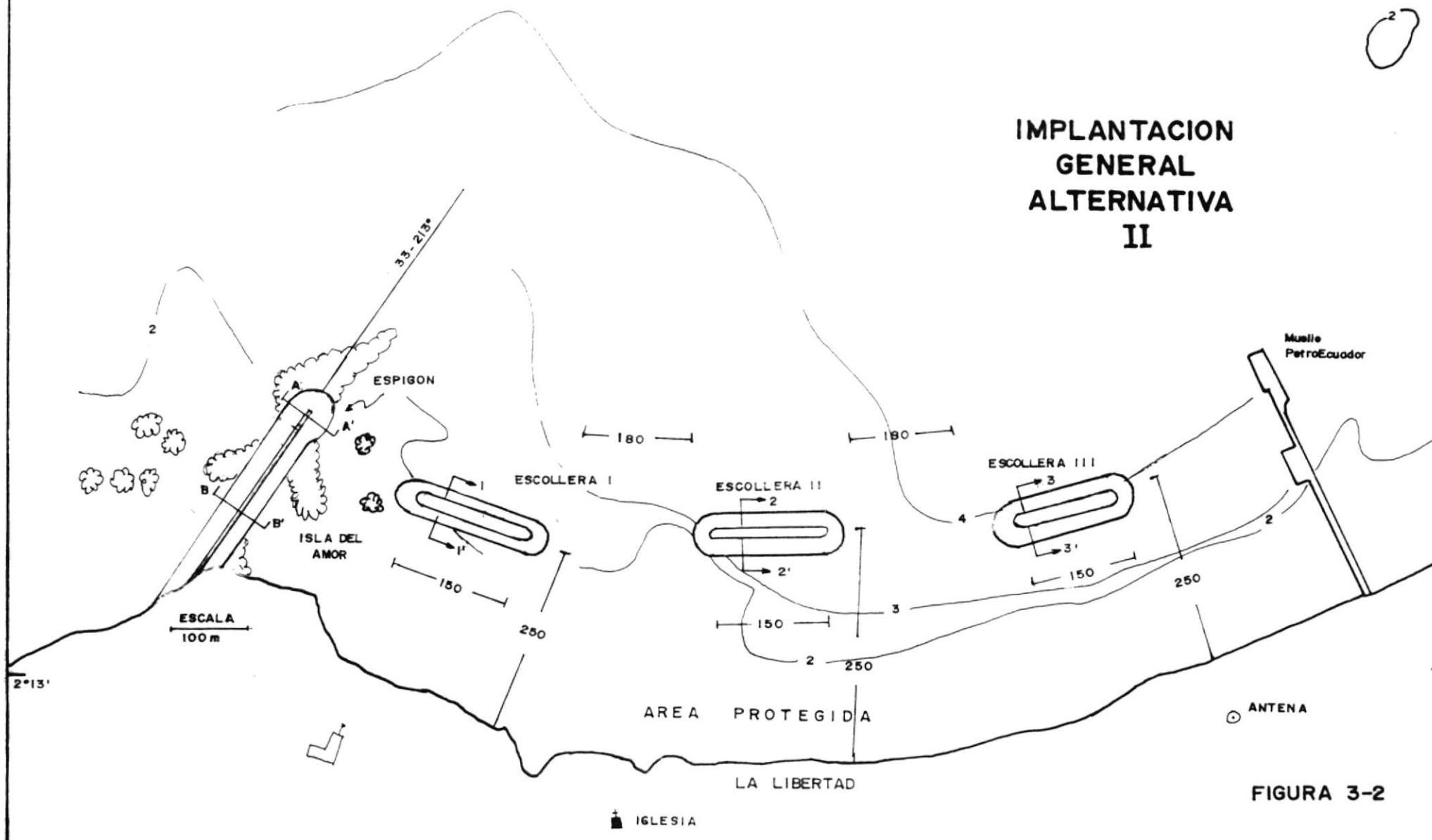


FIGURA 3-2

geometría se inducirán en el sitio las condiciones oceanográficas necesarias para la prevención de la formación de tombolo.

Estructuralmente estos rompeolas son similares al de la primera alternativa, y los valores específicos de pesos de roca, cotas de coronamiento y demás dimensiones se encuentran más adelante en el subcapítulo para cálculo de los rompeolas costa afuera y en los Anexos B y C.

3.1.2. PARAMETROS DE DISEÑO

Para el diseño de las secciones de las estructuras se han considerado los siguientes parámetros:

- Ola de diseño:

H – 2,0 metros

T – 18 segundos

- Incidencia del oleaje : 290° y 330°

- Rango de marea : 2,6 metros

- Variación de nivel del mar por Fenómeno de EL Niño :
0,50 metros

- Profundidad de la rompiente : 2,7 metros
- Coeficiente de refracción $K_r = 0,85$ (figuras 1.29 y 1.30)

3.1.3. CALCULO DEL ROMPEOLAS DE MONTICULO

Para el cálculo de las dimensiones de los elementos de la estructura se hará uso de las formulas, gráficos y tablas del Shore Protection Manual Volumen 1 y 2, año 1984. Los cálculos realizados se pueden encontrar resumidos en el Anexo B.

COTA DE CORONAMIENTO

La cota de coronamiento será determinada sobre el MLWS considerando el cálculo de run-up más el rango de marea 2,6 metros y la variación del nivel del mar por el fenómeno de El Niño de 0,5 metros.

Haciendo uso de la figuras 3.3 y 3.4 se calculó el valor del run-up para las diferentes secciones del rompeolas. Este valor se ve afectado por efecto de escala y rugosidad, cuyos factores se obtienen de la figura 3.5 y tabla 3.1 respectivamente. Los valores calculados

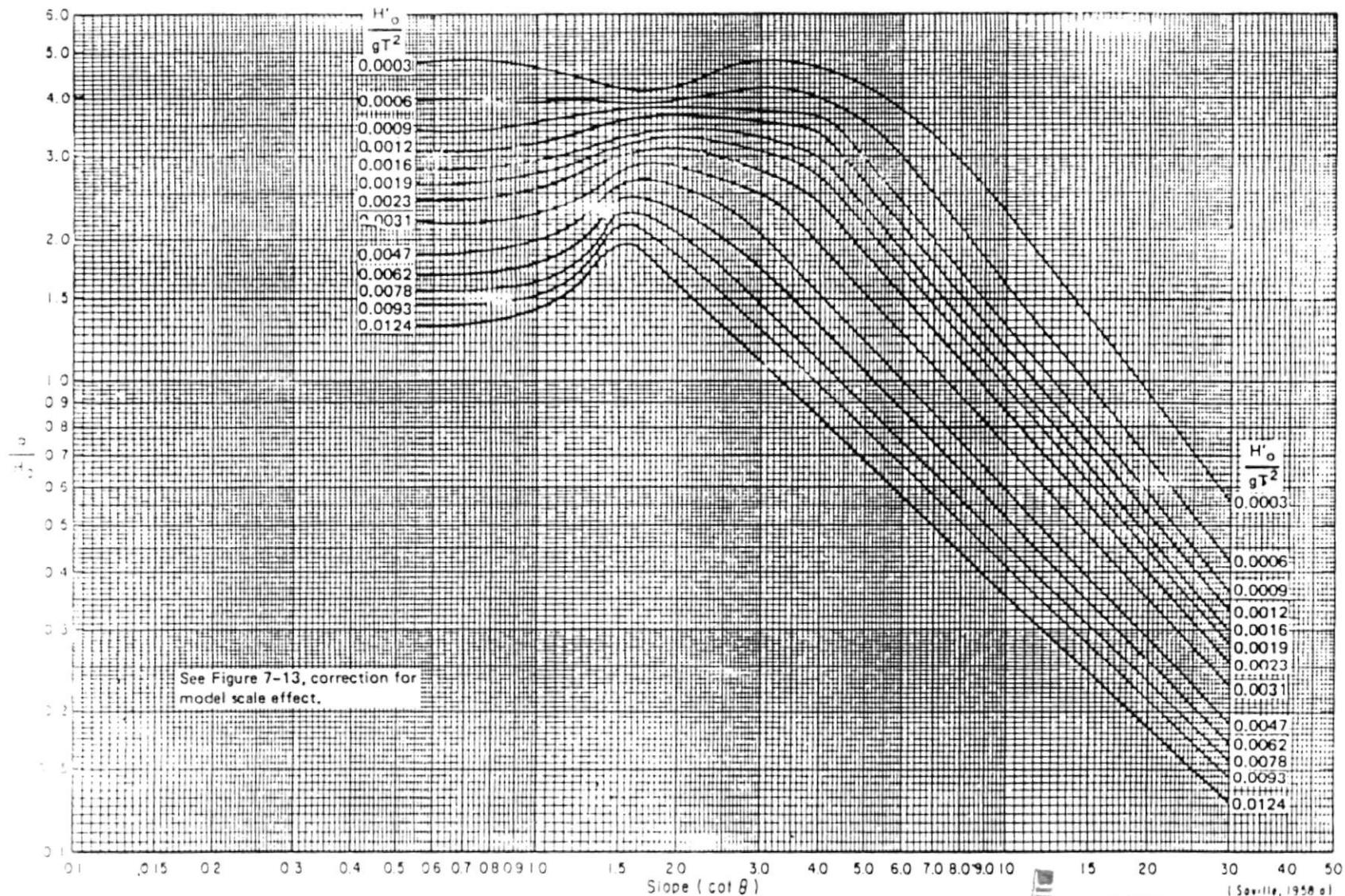


Figura 3.3.- Run-up sobre pendientes suaves e impermeables cuando $d/H_o = 2,0$.
(Fuente Shore Protection Manual 1984)



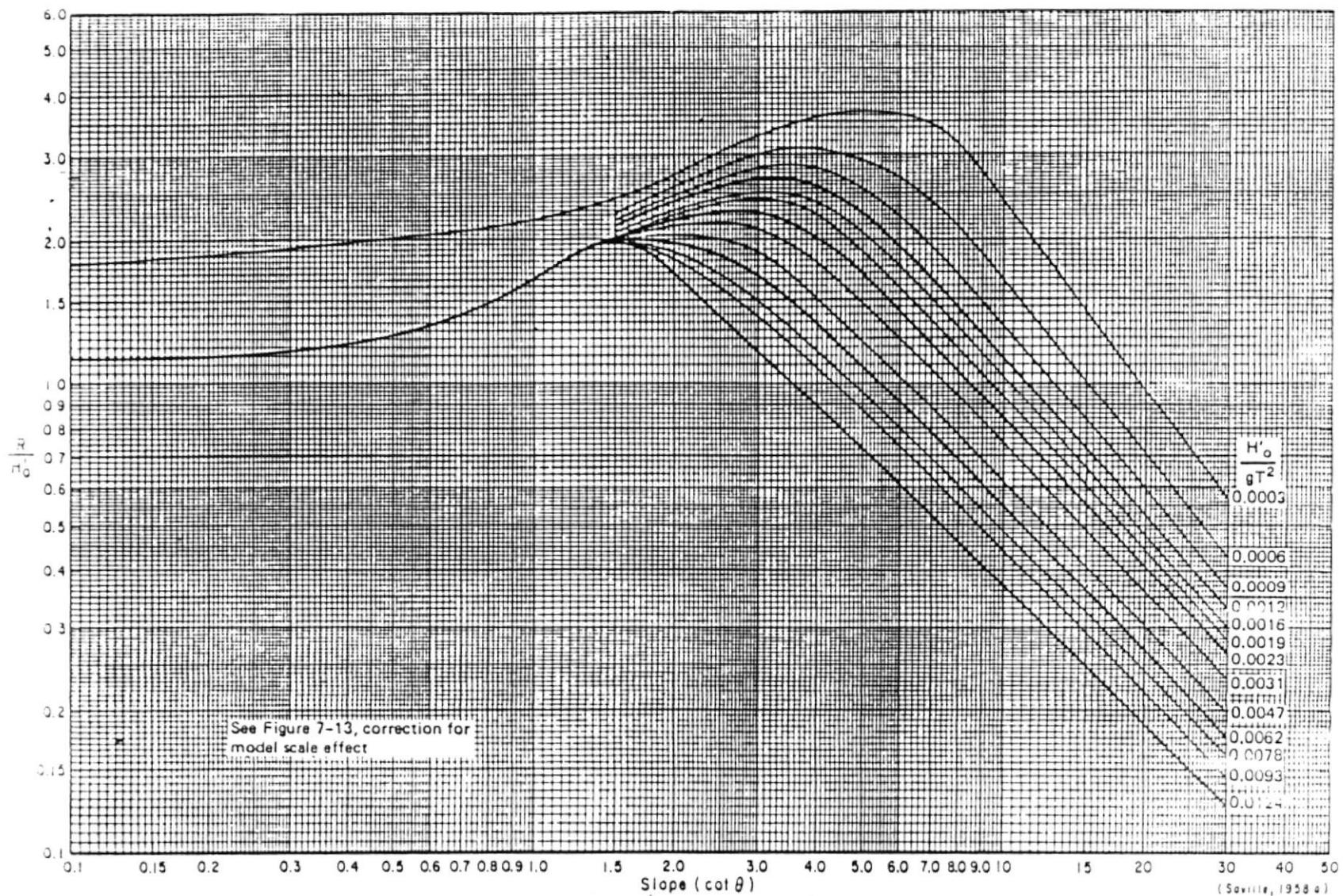


Figura 3.4.- Run-up sobre pendientes suaves e impermeables cuando $d/H_o = 3,0$.
 (Fuente Shore Protection Manual 1984)

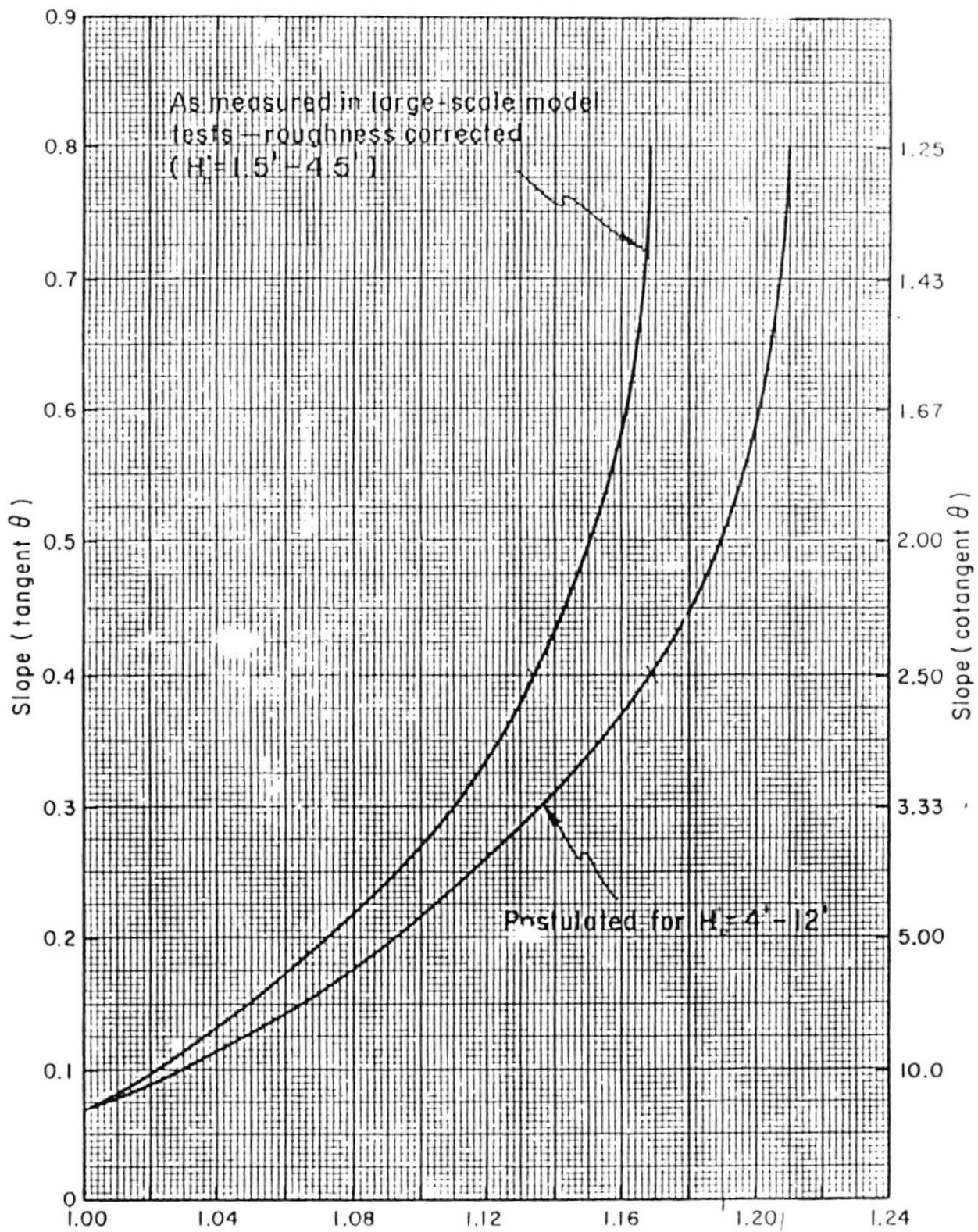


Figura 3.5.- Factor de corrección por escala.
 (Fuente Shore Protection Manual 1984)

| Slope Surface Characteristics | Placement | r |
|--|-----------|--------------|
| Smooth, impermeable | ----- | 1.00 |
| Concrete blocks | Fitted | 0.90 |
| Basalt blocks | Fitted | 0.85 to 0.90 |
| Gobi blocks | Fitted | 0.85 to 0.90 |
| Grass | ----- | 0.85 to 0.90 |
| One layer of quarystone (impermeable foundation) | Random | 0.80 |
| Quarystone | Fitted | 0.75 to 0.80 |
| Rounded quarystone | Random | 0.60 to 0.65 |
| Three layers of quarystone (impermeable foundation) | Random | 0.60 to 0.65 |
| Quarystone | Random | 0.50 to 0.55 |
| Concrete armor units (~ 50 percent void ratio) | Random | 0.45 to 0.50 |

Tabla 3.1.- Valores del factor de corrección del run-up por rugosidad.

(Fuente Shore Protection Manual 1984)

de run-up y las respectivas cotas de coronamiento se presentan en la tabla 3.2. Se ha considerado tomar la mayor de las cotas para conseguir la nivelación horizontal de la estructura y a la vez no permitir el rebase de las olas en ninguna de sus secciones.

| SECCIONES | RUN-UP (m) | COTA DE CORONAMIENTO (m) |
|-----------|---------------|--------------------------------|
| Cabeza | 3,7 | 6,3 |
| Brazo | 3,2 | 6,3 |
| Codo | 5,1 | 7,9 |
| Tronco | 5,0 | 8,5 |

Tabla 3.2.- Valores de Run-up y cotas de coronamiento para la primera alternativa.

ESTABILIDAD

Los rompeolas de montículo son estructuras de tipo flexibles, lo cual significa que los elementos que lo conforman son susceptibles a desplazamientos, los cuales serán menores mientras mayor sea la estabilidad de los mismos. Esta estabilidad está determinada por el peso de los elementos y la trabazón existente entre ellos.

La estabilidad de un rompeolas de montículo está determinada por el peso de las rocas que conforman su coraza y este se puede calcular utilizando la fórmula de Hudson (35):

$$W = \frac{W_r H^3}{K_D (S_r - 1)^3 \cot \theta} \quad (3.1)$$

donde :

W – peso unitario de la roca, expresado en Toneladas

W_r – peso específico unitario (Ton/m^3) – 2,410

W_w – peso unitario del agua (Ton/m^3) – 1,025

S_r – gravedad específica unitaria – W_r/W_w

θ – ángulo de la pendiente de la estructura

K_D – coeficiente de estabilidad (Tabla 3.3)

En este diseño se considerará las pendientes laterales del rompeolas de 1:2,0 y 1:1,5 para el lado no protegido y lado protegido de la estructura, respectivamente. Únicamente las secciones en la cabeza conservarán una pendiente igual a 1:2,0 para ambos lados de la estructura. Bajo esta consideración, los pesos de las rocas a utilizarse en la construcción de la coraza de la estructura están dentro del rango de 1,5 a 2,5 Ton, siendo el peso de la roca en el tronco la de mayor peso.

| No-Damage Criteria and Minor Overtopping | | | | | | | |
|---|----------------|-----------|-----------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------------|
| Armor Units | n ³ | Placement | Structure Trunk | | Structure Head | | Slope Cot θ |
| | | | K _D ² | | K _D | | |
| | | | Breaking Wave | Nonbreaking Wave | Breaking Wave | Nonbreaking Wave | |
| Quarystone | | | | | | | |
| Smooth rounded | 2 | Random | 1.2 | 2.4 | 1.1 | 1.9 | 1.5 to 3.0 5 5 |
| Smooth rounded | >3 | Random | 1.6 ₄ | 3.2 | 1.4 ₄ | 2.3 | |
| Rough angular | 1 | Random | | 2.8 | | 2.3 | |
| Rough angular | 2 | Random | 2.0 | 4.0 | 1.9 1.6 1.3 | 3.2 2.8 2.3 | 1.5 2.0 3.0 |
| Rough angular | >3 | Random | 2.2 | 4.5 | 2.1 | 4.2 | 5 5 |
| Rough angular | 2 | Special | 5.8 | 7.0 | 5.3 | 6.4 | |
| Parallelepiped | 2 | Special | 7.0 - 20.0 | 8.5 - 24.0 | -- | -- | |
| Tetrapod and Quadripod | 2 | Random | 7.0 | 8.0 | 5.0 4.5 3.5 | 6.0 5.5 4.0 | 1.5 2.0 3.0 |
| Tribar | 2 | Random | 9.0 | 10.0 | 8.3 7.8 6.0 | 9.0 8.5 6.5 | 1.5 2.0 3.0 |
| Dolos | 2 | Random | 15.8 ⁸ | 31.8 ⁸ | 9.0 7.0 | 18.0 14.0 | 2.0 ⁹ 3.0 |
| Modified cube | 2 | Random | 6.5 | 7.5 | --- | 5.0 | 5 |
| Hexapod | 2 | Random | 8.0 | 9.5 | 5.0 | 7.0 | 5 |
| Toskane | 2 | Random | 11.0 | 22.0 | --- | --- | 5 |
| Tribar | 1 | Uniform | 12.0 | 15.0 | 7.0 | 7.0 | 5 |
| Quarystone (K _{RP}) Graded angular | - | Random | 2.2 | 2.5 | --- | --- | |

Tabla 3.3.- Valores sugeridos de K_D.
(Fuente Shore Protection Manual 1984)

BIBLIOTECA

Para cumplir con el criterio de filtros, en la capa intermedia se deberán colocar dos capas de roca con un peso de 1/15 a 1/10 del peso de la roca en la coraza, y en el núcleo material pétreo de un peso entre 1/6000 hasta 1/200 del peso de la roca en la coraza (35). Los pesos obtenidos para cada sección del rompeolas están resumidos en la tabla 3.4.

| SECCIONES | Wc (Ton) | Wi(min) (Ton) | Wi(max) (Ton) | Wn(min) (kg) | Wn(max) (kg) |
|-----------|-------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|
| Cabeza | 2,0 | 0,13 | 0,20 | 0,33 | 10,00 |
| Brazo | 1,5 | 0,10 | 0,15 | 0,25 | 7,27 |
| Codo | 2,0 | 0,13 | 0,20 | 0,33 | 10,00 |
| Tronco | 2,5 | 0,17 | 0,25 | 0,42 | 12,68 |

Tabla 3.4.- Peso de rocas, primera alternativa

ESPESOR DE CAPA

El espesor tanto de la coraza como de la capa secundaria son calculados mediante la fórmula:

$$r = nK \left(\frac{W}{W_r} \right)^{(1/3)} \quad (3.2)$$

donde :

r – Espesor promedio de la capa en metros

n – Número de capas que componen la cubierta principal o secundaria – 2

W – Peso de la roca de la capa expresada en toneladas

W_r – Peso específico – 2,410 Ton/m³

k – Coeficiente de capa – 1 (para $n = 2$)

ANCHO DE CRESTA

El ancho de cresta obedece a la fórmula :

$$B = nK \left(\frac{W}{W_r} \right)^{(1/3)} \quad (3.3)$$

donde :

B – Ancho de cresta en metros

Para este caso se sugiere un $n = 3$.

Los valores de ancho de cresta, expuestos en la tabla 3.5, son los mínimos necesario para las condiciones de estabilidad, pero para facilitar las operaciones de construcción se requerirán de mínimo 4 metros de ancho en la cota de coronamiento del núcleo.

| SECCIONES | r _c (m) | B (m) |
|-----------|-----------------------|----------|
| Cabeza | 1,88 | 2,88 |
| Brazo | 1,69 | 2,54 |
| Codo | 1,88 | 2,82 |
| Tronco | 2,03 | 3,05 |

Tabla 3.5.- Espesores de la coraza y anchos de cresta, primera alternativa.

3.1.4. CALCULO DE LOS ROMPEOLAS COSTA AFUERA

Como se explicó anteriormente (capítulo 2) este tipo de estructuras están ligadas al desarrollo de cúspides o tombolos en la playa protegida, además se puntualizó los efectos que cada uno producirá sobre las playas adyacentes. De acuerdo a estos criterios, se determinó que lo más conveniente para la aplicación de la segunda alternativa es evitar el desarrollo de tombolos, y así aminorar los efectos sobre las playas de Puerto Rico y El Cautivo. Para evitar la formación de los tombolos, la localización de los rompeolas con respecto a la línea de playa debe ser de 250 metros y deberán tener una longitud de 150 metros cada uno y una separación entre ellos (gap) de 180 metros, de esta manera se cumple con la condición:

$$\frac{\text{longitud del rompeolas}}{\text{distancia a la línea de playa}} < 0,67$$

para evitar la formación de un tombolo (33).

Los rompeolas serán construídos paralelos a la playa para que brinden protección del oleaje proveniente del Norte. La profundidad promedio alcanzada en el punto de ubicación de las estructuras es de 3 metros.

Las secciones del pequeño espigón y los tres rompeolas fueron diseñadas utilizando la formulación expuesta en el literal anterior y los resultados se encuentran en las tablas 3.6, 3.7 y 3.8.

| SECCIONES | RUN-UP (m) | COTA DE CORONAMIENTO (m) |
|-------------|---------------|--------------------------------|
| Espigón | 5,4 | 8,5 |
| Cabeza | 5,4 | 8,5 |
| Escollera 1 | 3,9 | 7,0 |
| Escollera 2 | 3,1 | 6,2 |
| Escollera 3 | 3,1 | 6,2 |

Tabla 3.6.- Valores de Run-up y cotas de coronamiento para la segunda alternativa.

| SECCIONES | Wc (Ton) | Wi(min) (Ton) | Wi(max) (Ton) | Wn(min) (kg) | Wn(max) (kg) |
|-------------|-------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|
| Espigón | 1,8 | 0,12 | 0,18 | 0,30 | 9,06 |
| Cabeza | 2,6 | 0,17 | 0,26 | 0,43 | 12,94 |
| Escollera 1 | 1,8 | 0,12 | 0,18 | 0,30 | 9,06 |
| Escollera 2 | 1,5 | 0,10 | 0,15 | 0,26 | 7,65 |
| Escollera 3 | 1,4 | 0,10 | 0,14 | 0,24 | 7,13 |

Tabla 3.7.- Peso de rocas, segunda alternativa.

| SECCIONES | r _c (m) | B (m) |
|-------------|-----------------------|----------|
| Espigón | 1,82 | 2,73 |
| Cabeza | 2,05 | 3,07 |
| Escollera 1 | 1,82 | 2,73 |
| Escollera 2 | 1,72 | 2,58 |
| Escollera 3 | 1,68 | 2,52 |

Tabla 3.8.- Espesores de la coraza y anchos de cresta, segunda alternativa.

3.1.5. METODOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCION

Los materiales que se emplearán en la construcción de las estructuras, materia de este estudio, pueden ser obtenidos de las canteras ubicadas en la Península de Santa Elena, habiendo sido

escogidas de acuerdo al criterio de optimizar el costo de movilización de los materiales al sitio de la obra.

Existen dos canteras, pertenecientes al Municipio de Santa Elena, ubicadas entre las poblaciones de Santa Elena y Ballenita, sobre el cerro conocido como Los Capay, a 10 kilómetros (por carretera) desde La Libertad. Estas presentan características favorables para la explotación del material apropiado para el relleno de núcleo, capa intermedia y coraza.

La construcción del rompeolas de montículo se la iniciará desde tierra sobre el afloramiento rocoso situado junto a La Caleta hasta la Isla del Amor donde se ubicará el codo de la estructura. Se construirá primeramente el núcleo para facilitar el tránsito de volquetas y tractores, que colocarán progresivamente el material de las capas superiores, evitando de esta manera la filtración de los materiales más finos. Las rocas de la coraza serán colocadas por volteo, tratando de mantener las especificaciones del diseño, por este motivo se deberán realizar inspecciones periódicas de control, de ser necesario se utilizará una grúa para conservar la geometría del diseño.

La secuencia para la construcción de la segunda alternativa se iniciará con del pequeño espigón de montículo sobre el bajo de La Caleta, el que servirá de acceso para la transportación del material pétreo desde volquetas a una barcaza que finalmente lo transportará al sitio especificado para la construcción de los rompeolas costa afuera, la barcaza estará equipada con una pala mecánica para el vaciado del material. Los rompeolas se empezarán a construir, de acuerdo a su posición, desde el más alejado al espigón ya que de esta manera se facilitarán las maniobras de la barcaza. El espigón de montículo se construirá siguiendo paso a paso la metodología descrita para la primera alternativa, primero el núcleo de la estructura y posteriormente capa intermedia y coraza, sucesivamente. Los rompeolas costa afuera de igual forma podrán ser construídos, variando únicamente la utilización de la barcaza para la colocación del material en vez de las volquetas.

Debido a que la construcción utilizando barcas es complicada y algunas veces demasiado costosa, se ha considerado que la segunda alternativa podría ser construída desde tierra utilizando caminos de acceso desde la playa hasta el sitio de construcción. La estructura de estos caminos de acceso es similar a la de un núcleo de rompeolas con una sólo capa de protección. Debido a que son tres

los rompeolas costa afuera, y que cada uno necesita de su propio camino de acceso, se deberá construir el primero para la construcción el primer rompeolas. Posteriormente este acceso será removido para utilizar el material en la construcción del segundo y así sucesivamente hasta construir el tercero que se lo retirará definitivamente.

3.1.6. CALCULO PRELIMINAR DE COSTOS

El análisis de costos se realizó evaluando la cantidad de material requerido y maquinaria necesaria para la construcción de las alternativas propuestas. El costo preliminar o inicial servirá de indicativo para la selección definitiva de una de las alternativas.

Se ha considerado un valor de dos mil quinientos sucres (S/2.500,00) por metro cúbico de material entregado en cantera (Cervantes, E. referencia personal), y los costos obtenidos para cada sección de las estructuras se encuentran en las tablas 3.9 y 3.10.

| SECCIONES | | Volumen total (m ³) | Costo en millones S/. |
|--------------------------|-----------------|------------------------------------|--------------------------|
| Cabeza | Coraza | 1894,50 | 4,74 |
| | Capa Intermedia | 5880,00 | 14,70 |
| | Núcleo | 17385,30 | 43,46 |
| Brazo | Coraza | 17761,85 | 44,40 |
| | Capa Intermedia | 28394,10 | 70,90 |
| | Núcleo | 120617,20 | 301,50 |
| Codo | Coraza | 2485,40 | 6,20 |
| | Capa Intermedia | 4073,40 | 10,20 |
| | Núcleo | 12223,85 | 31,00 |
| Tronco | Coraza | 13980,86 | 34,90 |
| | Capa Intermedia | 19143,36 | 47,90 |
| | Núcleo | 54565,20 | 136,40 |
| COSTO TOTAL MILLONES S/. | | | 746,30 |

Tabla 3.9.- Costo de materiales, primera alternativa.

| SECCIONES | | Tonelaje total | Costo en millones S/. |
|--------------------------|-----------------|----------------|--------------------------|
| Espigón | Coraza | 13653,03 | 34,13 |
| | Capa Intermedia | 9322,41 | 23,30 |
| | Núcleo | 74360,82 | 185,90 |
| Escollera 1 | Coraza | 7751,98 | 19,38 |
| | Capa Intermedia | 5484,81 | 13,71 |
| | Núcleo | 45556,34 | 113,89 |
| Escollera 2 | Coraza | 8073,57 | 20,18 |
| | Capa Intermedia | 5649,66 | 14,12 |
| | Núcleo | 51071,58 | 127,68 |
| Escollera 3 | Coraza | 7449,46 | 18,62 |
| | Capa Intermedia | 6339,17 | 15,85 |
| | Núcleo | 62599,44 | 156,49 |
| COSTO TOTAL MILLONES S/. | | | 743,25 |

Tabla 3.10.- Costo de materiales, segunda alternativa.

En el caso de construir la solución propuesta en la segunda alternativa, utilizando los caminos de acceso desde tierra, el costo del material necesario para ésta se vería incrementado en doscientos setenta y dos millones de sucres.

Para hacer una estimación del costo de los equipos necesarios en la construcción de las obras de las alternativas presentadas, se ha considerado el rendimiento y precio de alquiler de estos de acuerdo a los actualmente utilizados en el campo de la construcción.

| EQUIPO | No. | Rendimiento (m ³ /h) | Costo Unitario (S./h) | Costo Total (millones S/.) |
|--------------------------|-----|---------------------------------|-----------------------|----------------------------|
| Volqueta | 10 | 20 | 40.000,00 | 59,70 |
| Tractor D6C | 1 | 800 | 35.000,00 | 13,05 |
| Aplanadora | 1 | 1675 | 40.000,00 | 4,89 |
| COSTO TOTAL MILLONES S/. | | | | 77,64 |

Tabla 3.11.- Costo de equipos, primera alternativa.

| EQUIPO | No. | Rendimiento (m ³ /h) | Costo Unitario (S./h) | Costo Total (millones S/.) |
|--------------------------|-----|---------------------------------|-----------------------|----------------------------|
| Volqueta | 10 | 20 | 40.000,00 | 94,27 |
| Excavadora | 1 | 420 | 50.000,00 | 34,90 |
| Tractor D6C | 1 | 800 | 35.000,00 | 22,04 |
| Aplanadora | 1 | 1675 | 40.000,00 | 1,77 |
| COSTO TOTAL MILLONES S/. | | | | 152,98 |

Tabla 3.12.- Costo de equipos, segunda alternativa - caminos de acceso.

| EQUIPO | No. | Rendimiento (m ³ /h) | Costo Unitario (S./h) | Costo Total (millones S/.) |
|--------------------------|-----|------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| Volqueta | 10 | 20 | 40.000,00 | 46,77 |
| Barcaza | 1 | 83 | 12.000,00 | 8,54 |
| Remolcador | 1 | 83 | 13.000,00 | 9,26 |
| Tractor D6C | 1 | 800 | 35.000,00 | 24,9 |
| Aplanadora | 1 | 1675 | 40.000,00 | 1,77 |
| COSTO TOTAL MILLONES S/. | | | | 91,24 |

Tabla 3.13.- Costo de equipos, segunda alternativa - barcaza.

Cabe resaltar que estos son costos referenciales, los cuales no incluyen tiempos de paralización de equipos, ni primas de seguros.

| ALTERNATIVA | Costo Materiales * | Costo Equipos * | Costo Total * |
|-------------------|-----------------------|--------------------|------------------|
| Primera | 746,30 | 77,64 | 823,94 |
| Segunda - caminos | 1015,25 | 152,98 | 1168,23 |
| Segunda - barcaza | 743,25 | 91,24 | 834,49 |

(* Millones de sucres)

Tabla 3.14.- Costo total de las alternativas.

Si la cota de los espigones paralelos a la costa de la segunda alternativa se reduce a cuatro metros (Anexo C), el ahorro de material será de 93738 m³, osea 234.345 millones de sucres.

3.2. MANEJO DE LAS SOLUCIONES

Una vez terminada la construcción de las obras hay que considerar los usos alternos que los moradores puedan dar a las mismas. El rompeolas de montículo incluye una basta gama de actividades, entre las que se destacan la pesca deportiva y artesanal y el turismo. Los rompeolas costa afuera no presentan esta diversidad de usos y mas bien se debería procurar un extenso control para prevenir la generación de un uso indebido, de los mismos, que involucraría actividades de alto riesgo.

Se debe considerar el relleno de la playa como una actividad a realizarse dentro del manejo de las soluciones, de esta manera se acortaría el tiempo hasta disponer de una zona de playa para uso turístico. Las características que debe presentar este relleno de playa se encuentran en el Anexo A.

Habrá que tomar en cuenta, también, el impacto que la construcción de las obras ocasionará a las playas adyacentes y se debiera realizar un monitoreo continuo de los cambios ocasionados en éstas. Una parte del impacto ambiental, generado por la construcción de estas obras, es la relacionada a los cambios inducidos en el comportamiento de las condiciones oceanográficas, lo que ocasionará una erosión en las playas de Puerto Rico y El Cautivo, principalmente. Se ha previsto que esta erosión será de leve magnitud debido

al bajo transporte de arena existente en la zona y a que las obras fueron diseñadas para evitar que se conviertan en una barrera para ese transporte. Este tipo de impacto sobre los aspectos físicos se encuentra previamente descrito en el capítulo 2 de este trabajo.

Con el mejoramiento de las playas de La Libertad el flujo turístico se incrementará considerablemente, por lo que deberá proyectarse el desarrollo de una infraestructura que satisfaga los requerimientos de las actividades turísticas. Cabe anotar, que este tipo de actividades mejorarán las condiciones económicas y sociales de la población.

Concientes de que estos aspectos y otros como el cultural, biológico, ambiental, etc., tienen también mucha importancia, en este trabajo se han incluido los lineamientos que se deben seguir para realizar un estudio completo de evaluación de impacto ambiental y que son completamente aplicables a la construcción de obras costeras.

3.2.1. SECUENCIA DE LOS LINEAMIENTOS GENERALES DE IMPACTO AMBIENTAL

Deberán considerarse según referencias (16) y (17), los siguientes aspectos:

CONSIDERACIONES BASICAS

Los principales problemas ambientales relacionados con la construcción y funcionamiento de obras marítimas destinadas a brindar protección a determinada zona costera, son:

- Alteración del entorno físico; generalmente la construcción de un rompeolas destinado a brindar un área protegida, puede sustancialmente modificar el sistema de corrientes marinas y las pautas de sedimentación;
- El aumento del tráfico marítimo puede afectar a la vida marina (peces, etc.) y la seguridad de los bañistas;
- Impacto en el ambiente social: impacto visual y de paisaje, ruido, alteración del acceso público, aumento de los problemas de tráfico y parqueo, pérdida de superficie marina para pesca, natación y otras actividades recreacionales;
- La contaminación generada una vez en funcionamiento de las estructuras conexas suele comprender: aguas residuales, basura,

combustible y lubricantes derramados por las embarcaciones deportivas, etc.; contaminación procedente de la infraestructura relacionada con los muelles contiguos.

Actividades para prevenir, reducir y mitigar el impacto ambiental:

- Sedimentos : definición de la frecuencia de los rellenos periódicos o del mantenimiento de la zona protegida;
- Contaminación: equipos de recogida de residuos sólidos, limpieza de residuos flotantes, tratamiento de las descargas de aguas residuales provenientes tanto del sector industrial como doméstico, información y concientización pública;
- Paisaje y entorno: acondicionamiento de los espacios abiertos, selección de la calidad y color adecuado de las rocas tanto del rompeolas como de los muros de contención;
- Aspectos Legales: creación de zonas protegidas, reglamentación local para garantizar la adecuada calidad ambiental;

- Cuestiones Financieras: aportación financiera a los estudios y trabajos ambientales.

DESCRIPCION DEL PROYECTO

En la descripción del plan para brindar una zona de protección costera debe incluirse lo siguiente :

- Descripción general de la totalidad del proyecto que comprenda la ubicación y estructura del rompeolas principal y el rompeolas de sotavento, la profundidad del agua a la entrada a la zona protegida, el número y tipo de embarcaciones que circularan en dicha zona, las instalaciones para mantenimiento y reparación de embarcaciones, las viviendas , los servicios de hotelería, los restaurantes, las zonas comerciales, los estacionamientos, etc.;
- Acceso para vehículos, embarcaciones y estacionamientos;
- Muelles , terraplenes, tierras rehabilitadas, sectores de relleno, etc.;
- Origen del material para la construcción de los rompeolas, muros de contención y medios de transporte al sitio de construcción;
- En todas las zonas rehabilitadas, origen del material de relleno;

- Sistemas de drenaje y alcantarillado, sistemas de eliminación de residuos sólidos y suministro de combustible a las embarcaciones;
- Descripción y calendario de las etapas de construcción propuestas;
- Descripción de la relación entre estructuras edificadas y paisaje natural;
- Movimiento de población previsto durante los periodos de construcción y funcionamiento;
- Descripción del funcionamiento normal previsto de la zona protegida, incluido su mantenimiento y las medidas para asegurar la calidad del agua;
- Cantidad prevista de desechos sanitarios y medios para su eliminación, tanto en tierra como en el mar.

DESCRIPCION DEL ENTORNO

La descripción, con ayuda de mapas y secciones transversales, del entorno de la ubicación sin las obras marítimas propuestas debe incluir lo siguiente:

- a. Características físicas del lugar:

- Un mapa topográfico de la costa y batimétrico de las aguas litorales del lugar y sus proximidades a escala 1:10.000, 1:5.000 o 1:2.500, que abarque al menos un kilómetro en cada dirección a lo largo de la costa del lugar propuesto, y hasta una profundidad de agua adecuada al proyecto;
- En caso de costas escarpadas, detalles de la base, frente y coronación del acantilado y de al menos 50 metros hacia el interior desde la coronación del acantilado;
- Detalle de todas las estructuras marinas propuestas o existentes en un radio de 5 kilómetros del lugar propuesto;
- Secciones transversales cada 250 metros de costa, con indicaciones topográficas y de la profundidad de las aguas litorales;
- Características fisiográficas, como acantilados, terrazas, roca de playa, dunas y descripción de su grado de estabilidad y erosión.

b. Información metereológica, hidrográfica e hidrológica:

- Velocidad e intensidad del viento;
- Características de las mareas y probabilidad de que se den condiciones extremas;
- Pautas de oleaje y corrientes en el lugar propuesto, incluida la probabilidad de que se den condiciones extremas;

- Condiciones hidrológicas de los canales y salidas al mar, naturales o artificiales;
- Concentración de nutrientes y de oxígeno disuelto, y otros parámetros.

c. Información sobre sedimentos:

- Movimiento de arenas costeras en la zona que se proyecta desarrollar;
- Acumulación y pérdida actuales de arena en la costa y las aguas litorales, tanto de carácter estacional como a lo largo de un período de tiempo;
- Información detallada sobre la estabilidad y erosión de los acantilados costeros en un radio de 2 Km. del lugar propuesto, basada en fotografías aéreas tomadas a lo largo de un período de tiempo y analizada por secciones transversales cada 250 metros de acantilado.

d. Condiciones biológicas:

- Identificación sobre mapas de los hábitats costeros y de los ubicados frente a las costas;
- Determinación de las especies que pudieran utilizarse como indicadores de la condición del ecosistema;

- Localización de los principales elementos del hábitat, como las zonas de alimentación, refugio y reproducción, y de las zonas importantes para las especies migratorias;

- Especies protegidas o raras;

- Zonas de pesca y especies importantes para la pesca comercial;

e. Uso actual de la tierra y el mar en el lugar, y en sus proximidades:

- Ubicación y tamaño de los asentamientos cercanos;

- Ubicación y descripción de los bienes culturales;

- Carreteras y sistemas de acceso de vehículos;

- Existencia de acuicultura: piscifactorías y viveros de mariscos.

- Existencia de playas utilizadas por bañistas en las proximidades inmediatas.

f. Valores estéticos.

g. Vulnerabilidad de los peligros naturales.

DETERMINACION DE LOS POSIBLES EFECTOS

Debe hacerse una evaluación de los efectos positivos o negativos previstos o pronosticados, utilizando normas generalmente aceptadas siempre que sea posible, e incluyendo lo siguiente:

- Cambios topográficos y batimétricos, previsión de los mismos durante la construcción y después de ella hasta que se reestablezcan las condiciones de estabilidad;
- Movimientos de arena y lugares donde probablemente aumentará la acumulación de arena y la erosión costera;
- Cambios oceanográficos probables a lo largo de un período de unos 10 años, incluidos la ubicación y el riesgo de desviación del oleaje hacia costas adyacentes, la concentración de la energía del oleaje y las corrientes que pudieran poner en peligro la práctica de la natación o perturbar las pesquerías;
- Riesgos de contaminación marina dentro y fuera del área protegida por efecto de aguas negras no controladas, escorrentía superficial contaminada, petróleo, gasolina y contaminación microbiana debida a la polución general y a los cambios de las pautas de circulación;
- Efectos probables del proyecto en la flora y fauna de la zona, riesgos de pérdida de algún hábitat, cambios probables en los hábitats existentes y posible creación de algún nuevo hábitat, así

como influencia de las barreras en los movimientos de las especies migratorias;

- Repercusión de los usos actuales o propuestos de tierras cercanas y el mar en las cercanías;

- Efectos socio-culturales;

- Efectos visuales de la construcción en el paisaje;

- Repercusión en la producción y seguridad de peces y alimentos marinos;

- Repercusión en la calidad de las aguas de baño y en la limpieza de la arena de la playa, si la hubiera.

Efectos secundarios de las medidas propuestas:

- Repercusión de las medidas propuestas para mitigar la merma de arena y la erosión costera, con evaluación de sus efectos en el entorno;

- Efectos previstos o previsibles en zonas no sujetas a jurisdicción nacional.

**MEDIDAS PROPUESTAS PARA EVITAR, REDUCIR Y
MITIGAR LOS EFECTOS NEGATIVOS DE LAS OBRAS
MARITIMAS PROPUESTAS**

Entre las medidas técnicas, jurídicas, sociales, económicas o de otra naturaleza encaminadas a prevenir, reducir o mitigar los efectos negativos de las obras propuestas se señalan las siguientes:

Control y Limpieza de los residuos de aceite, lubricantes y combustibles de las embarcaciones que hacen uso de la zona protegida.

Señalización necesaria para la seguridad en la navegación.

Letreros indicando en general la seguridad del usuario tanto en las obras como en la zona protegida.

Concientización de las actividades que deben desarrollarse en la zona protegida tanto en el ambiente marino como en las playas a través de la prensa en general.

Que las autoridades seccionales y de gobierno incluyan en sus ordenanzas y reglamentos la prohibición y sanciones por el mal uso de las estructuras así como de su entorno.

Establecer para el uso de las estructuras una tasa mínima por el servicio que prestan, tanto para el mantenimiento de las mismas como para la implementación de las medidas técnicas ha adoptarse.

PROGRAMA PROPUESTO PARA VIGILAR EL IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO

El programa ha adoptarse para vigilar los efectos a largo plazo, incluirán la recolección de datos, su análisis y los procedimientos disponibles para asegurar la aplicación de las medidas.

Se dederá generar un proyecto de monitoreo permanente de las condiciones oceanográficas físicas, químicas y biológicas que se presenten en el lugar luego de construidas las obras, con el proposito de analizar los cambios inducidos a fin de presentar propuestas de mitigación a futuro.

Para realizar un control permanente de los cambios morfológicos de las playas que involucran el proyecto se deberá realizar perfiles de playa periódicamente así como efectuar un rastreo del transporte de sedimentos.

Además se deberá obtener muestras de agua para detectar presencia de contaminantes, bacterias o deficiencias de oxígeno que determinen la calidad de agua.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Económicamente la alternativa que involucra la construcción de un rompeolas de espigón (primera alternativa) es la más conveniente. Además su metodología de construcción implica menor riesgo y ha sido varias veces utilizada en nuestro país.

La construcción de un pequeño espigón y varios rompeolas costa afuera es la solución que da la mayor protección a la zona de interés. Su costo utilizando barcaza es similar al de la primera alternativa, pero su construcción es muy complicada e involucra mucho riesgo. Aún así, su utilización sería un gran aporte dentro del campo científico para el conocimiento de la dinámica que genera en su entorno.

La utilización de caminos de acceso para la construcción de la segunda alternativa encarece significativamente su costo debido a la utilización de material pétreo adicional que finalmente no formará parte de la obra definitiva.

Para asegurar la estabilidad de las estructuras diseñadas, es imperativo que los constructores respeten los taludes y pesos de roca calculados.

Un relleno de playa sería recomendable para acelerar los procesos de sedimentación y, de esta manera, disponer de una zona de playa para uso turístico.

Después de construídas las obras se recomienda hacer un monitoteo continuo de los cambios generados en las playas adyacentes para, de darse el caso, poder tomar medidas correctivas en forma oportuna.

Que las autoridades competentes planifiquen un control ordenado del desarrollo de las actividades paralelas a la construcción de las obras.

La alternativa que finalmente se escoja como solución a los problemas erosivos de La Libertad, deberá tener el soporte de un experimento físico o modelo matemático para predecir su comportamiento.

Que nuestro país entre sus acuerdos internacionales contemple uno sobre la protección del medio marino y costero, a objeto de dar los lineamientos de una evaluación del impacto ambiental de proyectos que puedan ocasionar contaminación considerable o transformaciones apreciables y perjudiciales.

BIBLIOGRAFIA

1. ALLAUCA, S. Estudio del Oleaje en la Zona de Valdivia, Tesis de grado ESPOL, 1985.
2. ALLAUCA, S. y CARDIN V. Análisis de las olas en la Costa Central del Ecuador, Acta Oceanográfica del Pacífico INOCAR, Vol. 4 No. 1, 1987.
3. Atlas Meteorológico del Mar Territorial, INOCAR, 1977
4. AYOUB, M. Procesos litorales en Monteverde, Tesis de Grado, ESPOL, 1985.
5. BRUNN, P. Port Engineering, Golf Publishing Co., Houston, Texas, 1973.
6. BUSTAMANTE, R. y CERVANTES, D. Ingeniería Marítima, IX Jornada de Ingeniería Civil Segunda Etapa, tomo I y II, UNAM y CEPE, 1982.
7. CATERPILLAR, Guía sobre equipo y rendimiento Caterpillar, CAT, quinta edición, 1975.

8. CERVANIES, E. Diseño preliminar de un puerto pesquero artesanal en Puerto López, Tesis de Grado, ESPOL, 1982.
9. CORDERO, C. Estudio para el mejoramiento de la playa de Ayangue, Tesis de Grado, ESPOL, 1982.
10. DITTON, R. Desarrollo y Ordenación de las Oportunidades de Espaciamiento y Turismo en las Zonas Costeras de uso Múltiple.
11. ESPINOZA, J. Diseño Conceptual de un Sistema en Mar abierto para Carga y Descarga de Crudos en Monteverde, Tesis de grado, ESPOL, 1982.
12. GLENN, H. y associates; Meteorological Oceanographic Conditions Affecting Planning and Facilities in the Offshore Guayaquil, Ecuador area, Vicinity 3° 15' S 80° 31' W, 1975.
13. GOURLAY, M. Offshore Brakewater in Laboratory and Field, Discussion.
14. HOGBEN, N. y LUMB, F. Ocean Waves Statistics, National Fisical Laboratory of England, 1966.
15. IRRIBAREN, R. Ingeniería de Costas, MOPU, España.
16. JENKINS, D. Estudio del impacto ambiental del Proyecto de Propósito Múltiple Daule - Peripa del Ecuador, CEDEGE, 1979.
17. JERNELOV, A. y MARINOV, U. Un enfoque de la evaluación del Impacto Ambiental de Proyectos que afecten al medio Marino y costero.
18. KOMAR, P. Enviromental controls on Littoral Sand Transport, 21ª Conferencia de Ingeniería de Costas, España, 1988.

19. MOREANO, H. y otros; El Niño 82 - 83 su formación y desarrollo y sus manifestaciones en aguas ecuatorianas, INOCAR, 1983.
20. NUÑEZ DEL ARCO, E. Continuación de investigaciones geológicas y cartografiado regional escala 1:50.000, de zonas pre-establecidas en las provincias del Guayas y Manabí, ESPOL - CONUEP, 1985.
21. P.M.R.C. Ecuador perfil de sus recursos costeros, 1987.
22. PIEDRA, J. Proceso Litorales en San Pedro - Valdivia, Tesis de Grado, ESPOL, 1990.
23. QUINN, A. Design and Construction of Ports and Marine Structures, Library of Congress, New York, 1972.
24. Sailing Directions for South America, vol. III, Oceanographic Office Publication U.S.A.
25. SAN JUAN, F. y RUIZ, J. Erosión de la Costa y su Contramendida, Curso Internacional de Ingeniería Hidráulica Portuaria, JICA, México.
26. SANCHEZ, E. Transporte litoral en General Villamil Playas, Tesis de Grado, ESPOL, 1978.
27. SANCHEZ, E. Estudio para el diseño de las obras de protección para una marina deportiva en Punta de Suche, 1991.
28. SANCHEZ, E. y LANFREDI, N. Estudio de la Ampliación de la Marina Deportiva del Salinas Yatch Club.



29. SOLEDISPA, B. y VILLACRES, J. Estudio Sedimentológico y Mineralógico de la Plataforma Continental Ecuatoriana en el tramo comprendido entre Salinas y Ayampe, AOP, INOCAR, vol. 5, No. 1, 1989.
30. SORENSEN, R. Basic Coastal Engineering, John Willey & Sons, USA, 1978.
31. SQUIRE, L. y VAN DERTAK, H. Nociones Básicos de Análisis Costo Beneficio.
32. STUVE, R. Ordenación y Desarrollo Turístico de las Zonas Costeras.
33. SUH, K. y DALRYMPLE, R. Offshore Brakewater in Laboratory and Field.
34. Tabla de mareas y datos astronómicos del Sol y la Luna, Instiuto Oceanográfico de la Armada, 1982 a 1991.
35. U.S. ARMY COASTAL ENGINEERING RESEARCH CENTER, Shore Protection Manual, Department of the Army Coorps of Engineering, vol. I - II, 1984.

ANEXO A

RELLENO DE PLAYA

RELLENO DE PLAYA

Para realizar la restauración de la playa de La Libertad se considerará los siguientes aspectos:

- La tasa de transporte litoral que ha sido evaluada en el capítulo 1, en 11610 m³/año para la época húmeda y 34830 m³/año para la época seca.

- La dirección del transporte litoral es de Oeste a Este.

- Las características del material de la playa, que se necesitan conocer para el análisis del relleno, pueden resumirse en:

ϕ_{84} : es el diámetro de la arena, equivalente al 84% retenido en unidades phi,

ϕ_{16} : es el diámetro de la arena, equivalente al 16% retenido en unidades phi.

Para La Libertad los valores medios obtenidos de la figura A.1 son:

$$\phi_{84} = 2,90 \text{ phi}$$

$$\phi_{16} = 1,29 \text{ phi}$$

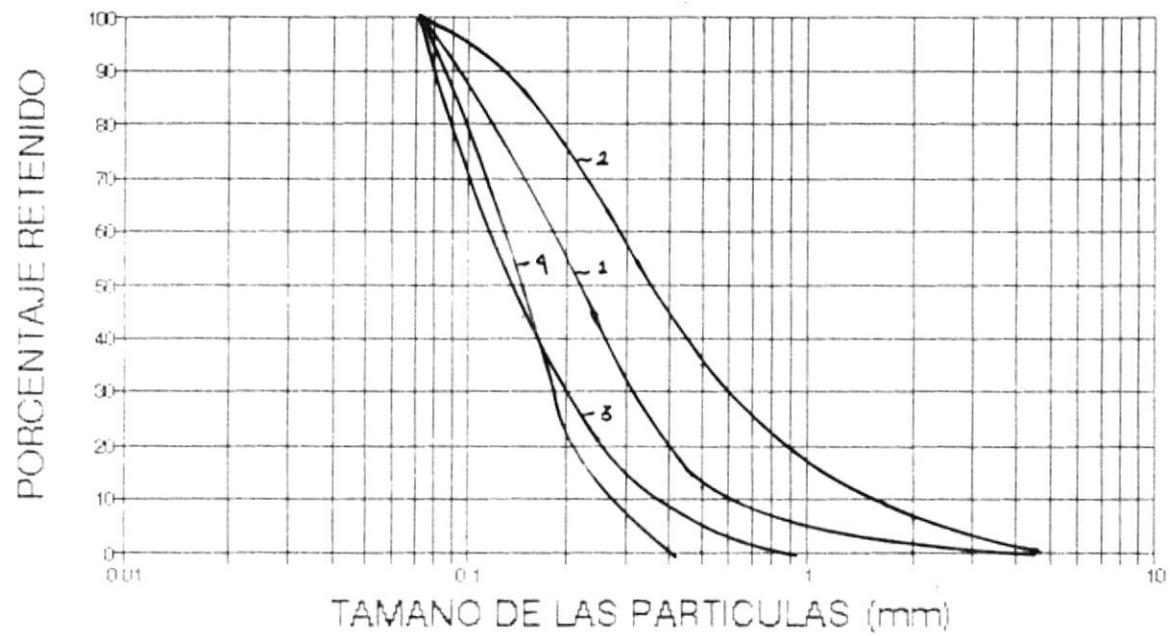


FIG. A.1.- GRANULOMETRIA DE LA ARENA DE LA PLAYA.

- Se empleará el criterio de James (1975) (SPM), el cual involucra el cálculo del factor de llenado de playa (R_A) que es el número estimado de metros cúbicos de material de relleno requeridos para producir un metro cúbico de material de playa, en condiciones compatibles con el material nativo.

Para el cálculo de R_A se necesita conocer la desviación estándar (σ_ϕ) y el diámetro medio de la distribución del tamaño del grano (M_ϕ) tanto de la arena de la playa como de la arena de relleno.

$$\sigma_\phi = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{2}$$

$$M_\phi = \frac{\phi_{84} + \phi_{16}}{2}$$

Para la arena de la playa:

$$\sigma_\phi = 0,81 \text{ phi}$$

$$M_\phi = 2,1 \text{ phi}$$

Asumiendo que la arena para el relleno sea un 25% mejor gradada respecto a la de la playa, y considerando diferentes factores de llenado (R_A) en la figura A.2 se llegó a establecer los rangos dentro de los cuales se deben mantener las características del material de relleno ϕ_{84} y ϕ_{16} (tabla A.1).

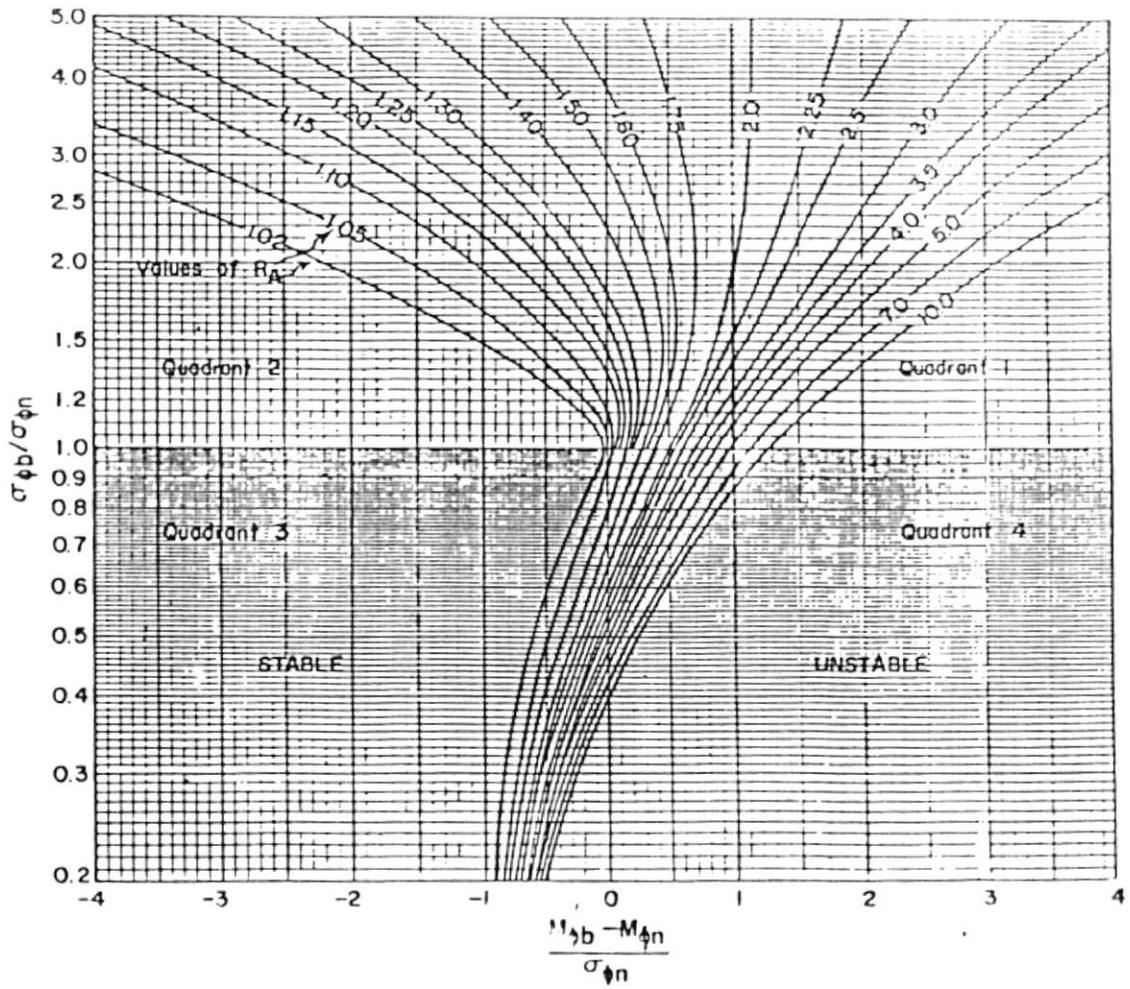


Figura A.2.- Isolneas de ajuste del factor de relleno.
(Fuente Shore Protection Manual 1984)

| R_A | ϕ_{84} (u. phi) | ϕ_{16} (u. phi) |
|-------|----------------------|----------------------|
| 1,02 | 2,47 | 1,25 |
| 1,25 | 2,67 | 1,45 |
| 1,50 | 2,75 | 1,53 |

Tabla A.1.- Características de la arena de relleno

Para el caso en el que $R_A = 1,02$ se necesitará un 2% más de volumen de relleno que el volumen de playa que se quiere restaurar. Siendo esta arena más gruesa que la arena de la playa.

Para $R_A = 1,25$ la arena para el relleno tendrá granos de similar tamaño que los de la arena de la playa, necesiándose un 25% más de volumen de relleno que el volumen de playa a restaurarse.

Para $R_A = 1,50$ la arena para el relleno será más fina que la de la playa y se necesitará un 50% más de volumen de relleno que el volumen de playa a restaurarse.

De éstos, el primero es el material que brindaría un relleno de playa más estable a un menor requerimiento de volumen, lo que se reflejará en los costos como la solución más económica, pero esto dependerá de la localización de la zona de

préstamo en que se encuentre el material con las características anteriormente descritas, o en caso contrario se tendrán que hacer las consideraciones de volumen requerido para la reposición. Por consiguiente se seleccionará el material requerido para el relleno con $R_A = 1,25$ para determinar el volumen de arena necesario para incrementar el ancho de la playa de La Libertad en un metro, a lo largo de sus ochocientos metros de extensión que comprende el frente de la zona urbana.

Si consideramos que el cambio de un metro cuadrado sobre la playa equivale a un volumen de ocho metros cúbicos de arena (35), se necesitarán ocho mil metros cúbicos de arena para relleno por cada metro de ancho de playa que se quiere restaurar.

Haciendo uso de un perfil de playa realizado en la parte central del área a protegerse, en el cual se encontró una pendiente de 1:8. Para poder asegurar la existencia de playa seca en todo estado de marea, se ha considerado un relleno de playa con una extensión hacia el mar de 25 metros con una cota de un metro sobre el nivel más alto de mareas de sicigia. La sección típica de este relleno se presenta en la figura A3. Con lo anteriormente descrito, se determinó que para 800 metros lineales de playa, el volumen necesario será de 112932 m^3 , valor que se incrementa por el factor de pérdida de material (50%) a 169398 m^3 .

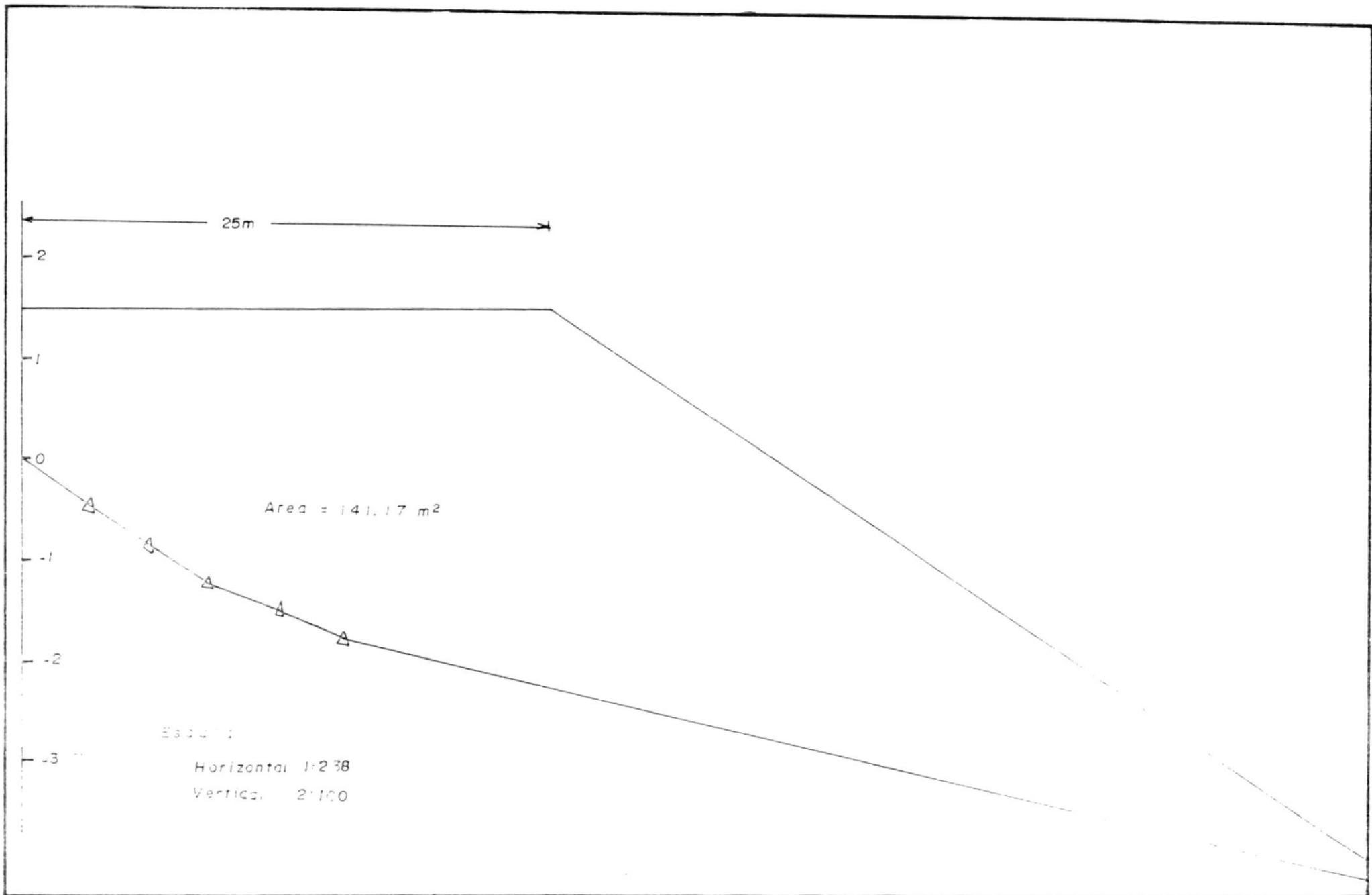


Figura A3.- SECCION TIPICA DE RELLENO DE PLAYA

El análisis de costos para realizar este relleno estará en función de la distancia al sitio de obtención del material, el mismo que podrá ser colocado por volquetas directamente sobre la playa o de ser factible por medio de un relleno hidráulico.

ANEXO B

HOJA DE CALCULO

CONDICIONES DE OLA DE DISEÑO

Aguas profundas: Rango de marea: 2,5 m
 Altura significativa H_{10m} = 2 m Variación de nivel por Fenómeno de El Niño: 0,5 m
 Período significativo T_m = 10 s Fenómeno de El Niño: 0,5 m
 Coeficiente de refracción: H<sub>10m}/D_m = 0,0335
 De los diagramas: K_r = 0,85 Profundidad de rompimiento: 2,2 m</sub>

→ COTA DE CORONAMIENTO

| TIPO | Profundidad z (m) | z | | | | H _{10m} | | | | Porcentaje | | | | Cota Coronamiento con Sobre-Eléctro | Altura de estabilidad con Desde el fondo |
|--------|-------------------|-----|-------|------|-----|------------------|-----|------|-----|------------|-----|-----|-----|-------------------------------------|--|
| | | 0,5 | 1 | 1,5 | 2,0 | 1,0 | 2,0 | 3,0 | 4,0 | 100 | 90 | 80 | 70 | | |
| Cabeza | 4,20 | 1,3 | 162,1 | 1,33 | 2,3 | 1,28 | 2,0 | 2,08 | 5,1 | 1,190 | 0,5 | 1,2 | 8,2 | 8,2 | 10,1 |
| Brazo | 3,80 | 0,9 | 147,9 | 1,34 | 2,3 | 1,45 | 2,0 | 2,08 | 5,1 | 1,190 | 0,5 | 1,2 | 8,2 | 10,1 | |
| Codo | 1,20 | 0,1 | 116,8 | 1,50 | 2,5 | 2,15 | 2,0 | 4,00 | 2,0 | 1,190 | 0,5 | 1,1 | 7,9 | 11 | |
| Tronco | 0,00 | 0,1 | 94,2 | 1,62 | 2,7 | 1,56 | 2,0 | 4,50 | 1,1 | 1,190 | 0,5 | 0,5 | 6,5 | 15 | |

CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL

Peso unitario de la roca: W_{roca} = 2,510 (kg/cm³)
 Peso unitario del agua: W_{agua} = 1,025 (kg/cm³)
 Gravedad específica: G_s = 2,51
 Número de pedras en la cresta: n_c = 3
 Coeficiente de capas (ab): C_{ab} = 1
 Número de capas en la cresta: n_{cc} = 2

→ CRITERIO DE ESTABILIDAD

| TIPO | Criterio de Rompiente | K ₀ | | | | W ₀ | | | | W ₀ (m) | | | | W ₀ (m) |
|--------|-----------------------|----------------|-----|------|------|----------------|------|------|------|--------------------|------|------|------|--------------------|
| | | 1 P.M. | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 1,0 | 2,0 | 3,0 | 4,0 | 1,0 | 2,0 | 3,0 | 4,0 | |
| Cabeza | No Rompiente | 2,20 | 2,0 | 0,13 | 0,20 | 0,21 | 0,18 | 0,15 | 0,12 | 0,10 | 0,08 | 0,07 | 0,06 | 0,05 |
| Brazo | No Rompiente | 4,00 | 1,5 | 0,10 | 0,15 | 0,24 | 0,27 | 0,28 | 0,28 | 0,28 | 0,28 | 0,28 | 0,28 | |
| Codo | No Rompiente | 4,00 | 2,0 | 0,13 | 0,20 | 0,28 | 0,30 | 0,32 | 0,32 | 0,32 | 0,32 | 0,32 | 0,32 | |
| Tronco | No Rompiente | 4,00 | 2,5 | 0,17 | 0,25 | 0,32 | 0,35 | 0,38 | 0,38 | 0,38 | 0,38 | 0,38 | 0,38 | |

- a) Datos de las figuras 7-9 a 7-12 del RPM.
- b) Datos de la figura 7-13 del RPM.
- c) Datos de la tabla 7-2 del RPM.
- d) Datos de la tabla 7-3 del RPM.
- e) Datos de la figura 7-16 del RPM.



A1: [F4] 'CONDICIONES DE OLA DE DISEÑO
 A3: 'Aguas profundas:
 I3: [W9] 'Rango de marea:
 K3: 2.6
 L3: 'm
 B4: [W22] 'Altura significativa
 F4: "H_o=
 G4: 2
 H4: 'm
 I4: [W9] 'Variación de nivel por
 B5: [W22] 'Periodo significativo
 F5: "T=
 G5: 18
 H5: 's
 I5: [W9] 'Fenómeno de El Niño
 K5: 0.5
 L5: 'm
 A6: 'Coeficiente de refracción:
 J6: [W12] "H_o/gT²=
 K6: (F4) + G⁴/(9.8*G⁵ - 2)
 B7: [W22] 'De los diagramas:
 F7: "K_r=
 G7: 0.85
 I7: [W9] 'Profundidad de rompiente:
 K7: 2.2
 L7: 'm
 J8: [W12] [F4] '---> COSTA DE CORONAMIENTO
 A9: ^ SITIO
 B9: [W22] ^ Profundidad z
 C9: ^ tanhyp
 D9: ^ senhyp
 E9: ^ tanhyp
 F9: ^ ds
 G9: ^ L
 H9: ^ Ks

I9: [W9] ^H(z)
 J9: [W12] ^ds+H'o
 K9: ^cot 0
 L9: ^R/H'o
 M9: ^R
 N9: ^K
 O9: [W12] ^i
 P9: [W9] ^Re
 Q9: [W20] 'Cola Coronamiento
 R9: [W21] 'ALTURA DE ESTRUCTURA
 B10: [W22] ^ (m)
 C10: ^L
 D10: ^Ks
 E10: ^Ks
 F10: ^ (m)
 G10: ^ (m)
 H10: [W9] ^ (m)
 L10: ^S.P.M
 M10: ^ (m)
 N10: 'Por escala
 O10: [W12] 'Por rugosidad
 P10: [W9] ^ (m)MLWS
 Q10: [W20] ^ (m) Sobre MLWS
 R10: [W21] ^ (m) Desde el fondo
 A11: ^Cabeza
 B11: (F2) [W22] 4.2
 C11: (F3) (@EXP(4.03*\$F11/\$G\$5 ^ 2)-@EXP(-(4.03*\$F11/\$G\$5 ^ 2)))/(@EXP(4.03*\$F11/\$G\$5 ^ 2)+@EXP(-(4.03*\$F11/\$G\$5 ^ 2)))
 D11: (F3) (@EXP(12.57*\$F11/\$G11)/@EXP(-(12.57*\$F11/\$G11)) ^ 2)
 E11: (F3) (@EXP(6.28*\$F11/\$G11)/@EXP(-(6.28*\$F11/\$G11)))/@EXP(-(6.28*\$F11/\$G11))
 F11: +\$B11+\$K\$3+\$K\$5
 G11: (F1) 1.56*\$G\$5 ^ 2*@SQRT(\$C11)
 H11: (F2) @SQRT((1/\$E11)*(\$D11/(\$D11+(12.57*\$F11/\$G11)))+1)
 I11: (F1) [W9] +\$G\$4*\$G\$7*\$H11
 J11: (F2) [W12] +F11/\$G\$4
 K11: (F1) 2

I11: (F2) 2.65
 M11: (F1) +\$L11*\$G\$4
 N11: (F3) 1.19
 O11: [W12] 0.5
 P11: (F1) [W9] +\$M11*\$N11*\$O11
 Q11: (F1) [W20] +\$P11+\$K\$3+\$K\$5
 R11: (F1) [W21] +\$B11+\$P11+\$K\$3+\$K\$5
 A12: ^Brazo
 B12: (F2) [W22] 3.8
 C12: (F3) (@EXP(4.03*\$F12/\$G\$5^2)-@EXP(-(4.03*\$F12/\$G\$5^2)))/(@EXP(4.03*\$F12/\$G\$5^2)+@EXP(-(4.03*\$F12/\$G\$5^2)))
 D12: (F3) (@EXP(12.57*\$F12/\$G12)-@EXP(-(12.57*\$F12/\$G12)))/2
 E12: (F3) (@EXP(6.28*\$F12/\$G12)-@EXP(-(6.28*\$F12/\$G12)))/(@EXP(6.28*\$F12/\$G12)+@EXP(-(6.28*\$F12/\$G12)))
 F12: +\$B12+\$K\$3+\$K\$5
 G12: (F1) 1.56*\$G\$5^2*@SQRT(\$C12)
 H12: (F2) @SQRT((1/\$E12)*(\$D12/(\$D12+(12.57*\$F12/\$G12))))
 I12: (F1) [W9] +\$G\$4*\$G\$7*\$H12
 J12: (F2) [W12] +F12/\$G\$4
 K12: (F1) 2
 L12: (F2) 2.65
 M12: (F1) +\$L12*\$G\$4
 N12: (F3) 1.19
 O12: [W12] 0.5
 P12: (F1) [W9] +\$M12*\$N12*\$O12
 Q12: (F1) [W20] +\$P12+\$K\$3+\$K\$5
 R12: (F1) [W21] +\$B12+\$P12+\$K\$3+\$K\$5
 A13: ^Codo
 B13: (F2) [W22] 1.2
 C13: (F3) (@EXP(4.03*\$F13/\$G\$5^2)-@EXP(-(4.03*\$F13/\$G\$5^2)))/(@EXP(4.03*\$F13/\$G\$5^2)+@EXP(-(4.03*\$F13/\$G\$5^2)))
 D13: (F3) (@EXP(12.57*\$F13/\$G13)-@EXP(-(12.57*\$F13/\$G13)))/2
 E13: (F3) (@EXP(6.28*\$F13/\$G13)-@EXP(-(6.28*\$F13/\$G13)))/(@EXP(6.28*\$F13/\$G13)+@EXP(-(6.28*\$F13/\$G13)))
 F13: +\$B13+\$K\$3+\$K\$5
 G13: (F1) 1.56*\$G\$5^2*@SQRT(\$C13)
 H13: (F2) @SQRT((1/\$E13)*(\$D13/(\$D13+(12.57*\$F13/\$G13))))
 I13: (F1) [W9] +\$G\$4*\$G\$7*\$H13
 J13: (F2) [W12] +F13/\$G\$4

K13: (F1) 2

L13: (F2) 4

M13: (F1) + \$L13*\$G\$4

N13: (F3) 1.19

O13: [W12] 0.5

P13: (F1) [W9] + \$M13*\$N13*\$O13

Q13: (F1) [W20] + \$P13 + \$K\$3 + \$K\$5

R13: (F1) [W21] + \$B13 + \$P13 + \$K\$3 + \$K\$5

A14: ^ Tronco

B14: (F2) [W22] 0

C14: (F3) (@EXP(4.03*\$F14/\$G\$5 ^ 2) - @EXP(-(4.03*\$F14/\$G\$5 ^ 2))) / @EXP(4.03*\$F14/\$G\$5 ^ 2)

D14: (F3) (@EXP(12.57*\$F14/\$G14) - @EXP(-(12.57*\$F14/\$G14))) ^ 2

E14: (F3) (@EXP(6.28*\$F14/\$G14) - @EXP(-(6.28*\$F14/\$G14))) / @EXP(6.28*\$F14/\$G14)

F14: + \$B14 + \$K\$3 + \$K\$5

G14: (F1) 1.56*\$G\$5 ^ 2*@SQRT(\$C14)

H14: (F2) @SQRT((1/\$E14)*(\$D14/(\$D14 + (12.57*\$F14/\$G14))))

I14: (F1) [W9] + \$G\$4*\$G\$7*\$I14

J14: (F2) [W12] + F14/\$G\$4

K14: (F1) 2

L14: (F2) 4.53

M14: (F1) + \$L14*\$G\$4

N14: (F3) 1.19

O14: [W12] 0.5

P14: (F1) [W9] + \$M14*\$N14*\$O14

Q14: (F1) [W20] + \$P14 + \$K\$3 + \$K\$5

R14: (F1) [W21] + \$B14 + \$P14 + \$K\$3 + \$K\$5

L15: ^ a

N15: ^ b

O15: [W12] ^ c

A17: [F4] CARACTERISTICAS DEL MATERIAL

A19: 'Peso unitario de la roca'

F19: "Wr =

G19: (F3) 2.41

H19: 'ton/m3

A20: 'Peso unitario del agua

F20: "Ww=
 G20: (F3) 1.025
 H20: 'ton/m³
 A21: 'Gravedad específica
 F21: "Sr=
 G21: (F3) + \$G\$19/\$G\$20
 A22: 'Número de piedras en la cresta
 F22: "n=
 G22: 3
 A23: 'Coeficiente de capa (tab. 7-13)
 F23: "K=
 G23: 1
 A24: 'Número de capas en la coraza
 F24: "n=
 G24: 2
 F27: [F4] ']--> CRITERIO DE ESTABILIDAD
 A28: ^ SITIO
 B28: [W22] ^ Criterio de
 F28: ^ KD
 G28: ^ Wc
 H28: ^ Wi(min)
 I28: [W9] ^ Wi(max)
 J28: [W12] ^ Wn(min)
 K28: ^ Wn(max)
 L28: ^ dg c
 M28: ^ B
 N28: ^ rc
 O28: [W12] ^ ri max
 P28: [W9] ^ ri min
 B29: [W22] ^ Rompiente
 F29: ^ S.P.M
 G29: ^ (ton)
 H29: ^ (ton)
 I29: [W9] ^ (ton)
 J29: [W12] ^ (kg)

K29: ^ (kg)
 L29: ^ (m)
 M29: ^ (m)
 N29: ^ (m)
 O29: [W12] ^ (m)
 P29: [W9] ^ (m)
 A30: ^ Cabeza
 B30: [W22] @IF(F11<=\$K\$7,"Rompiente","No Rompiente")
 F30: (F2) 2.8
 G30: (F1) (\$G\$19*(\$I1 ^ 3))/(\$F30*(\$G\$21-1) ^ 3)*\$K11)
 H30: (F2) + G30/15
 I30: (F2) [W9] + G30/10
 J30: (F2) [W12] (G30/6000)*1000
 K30: (F2) (G30/200)*1000
 L30: (F1) ((6/@PI) ^ (1/3))*((G30/\$G\$19) ^ (1/3))
 M30: (F2) + \$G\$22*\$G\$23*(G30/\$G\$19) ^ (1/3)
 N30: (F2) + \$G\$24*\$G\$23*(G30/\$G\$19) ^ (1/3)
 O30: (F2) [W12] + \$G\$24*\$G\$23*(I30/\$G\$19) ^ (1/3)
 P30: (F2) [W9] + \$G\$24*\$G\$23*(H30/\$G\$19) ^ (1/3)
 A31: ^ Brazo
 B31: [W22] @IF(F12<=\$K\$7,"Rompiente","No Rompiente")
 F31: (F2) 4
 G31: (F1) (\$G\$19*(\$I2 ^ 3))/(\$F31*(\$G\$21-1) ^ 3)*\$K12)
 H31: (F2) + G31/15
 I31: (F2) [W9] + G31/10
 J31: (F2) [W12] (G31/6000)*1000
 K31: (F2) (G31/200)*1000
 L31: (F1) ((6/@PI) ^ (1/3))*((G31/\$G\$19) ^ (1/3))
 M31: (F2) + \$G\$22*\$G\$23*(G31/\$G\$19) ^ (1/3)
 N31: (F2) + \$G\$24*\$G\$23*(G31/\$G\$19) ^ (1/3)
 O31: (F2) [W12] + \$G\$24*\$G\$23*(I31/\$G\$19) ^ (1/3)
 P31: (F2) [W9] + \$G\$24*\$G\$23*(H31/\$G\$19) ^ (1/3)
 A32: ^ Codo
 B32: [W22] @IF(F13<=\$K\$7,"Rompiente","No Rompiente")
 F32: (F2) 4



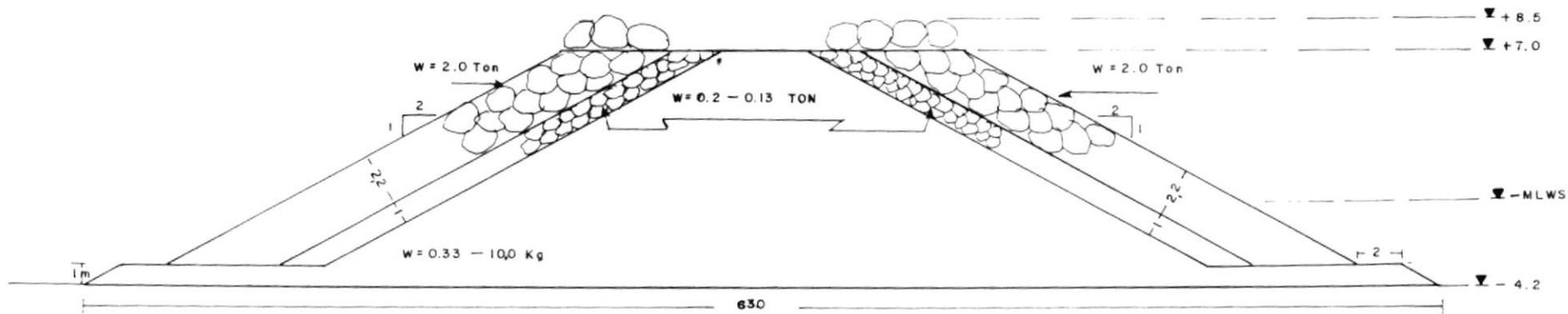
G32: $(F1) (\$G\$19^{(\$I13 \wedge 3)}) / (\$F32^{((\$G\$21 - 1) \wedge 3)} * \$K13)$
 H32: $(F2) + G32/15$
 I32: $(F2) [W9] + G32/10$
 J32: $(F2) [W12] (G32/6000) * 1000$
 K32: $(F2) (G32/200) * 1000$
 L32: $(F1) ((6/@PI) \wedge (1/3)) * ((G32/\$G\$19) \wedge (1/3))$
 M32: $(F2) + \$G\$22 * \$G\$23 * (G32/\$G\$19) \wedge (1/3)$
 N32: $(F2) + \$G\$24 * \$G\$23 * (G32/\$G\$19) \wedge (1/3)$
 O32: $(F2) [W12] + \$G\$24 * \$G\$23 * (I32/\$G\$19) \wedge (1/3)$
 P32: $(F2) [W9] + \$G\$24 * \$G\$23 * (H32/\$G\$19) \wedge (1/3)$
 A33: \wedge Tronco
 B33: $[W22] @IF(F14 < = \$K\$7, "Rompiente", "No Rompiente")$
 F33: $(F2) 4$
 G33: $(F1) (\$G\$19^{(\$I14 \wedge 3)}) / (\$F33^{((\$G\$21 - 1) \wedge 3)} * \$K14)$
 H33: $(F2) + G33/15$
 I33: $(F2) [W9] + G33/10$
 J33: $(F2) [W12] (G33/6000) * 1000$
 K33: $(F2) (G33/200) * 1000$
 L33: $(F1) ((6/@PI) \wedge (1/3)) * ((G33/\$G\$19) \wedge (1/3))$
 M33: $(F2) + \$G\$22 * \$G\$23 * (G33/\$G\$19) \wedge (1/3)$
 N33: $(F2) + \$G\$24 * \$G\$23 * (G33/\$G\$19) \wedge (1/3)$
 O33: $(F2) [W12] + \$G\$24 * \$G\$23 * (I33/\$G\$19) \wedge (1/3)$
 P33: $(F2) [W9] + \$G\$24 * \$G\$23 * (H33/\$G\$19) \wedge (1/3)$
 F34: \wedge d
 I34: $[W9] "e$
 A36: "a:
 B36: $[W22]$ Datos de las figuras 7-8 a 7-12 del SPM.
 A37: "b:
 B37: $[W22]$ Datos de la figura 7-13 del SPM.
 A38: "c:
 B38: $[W22]$ Datos de la tabla 7-2 del SPM
 A39: "d:
 B39: $[W22]$ Datos de la tabla 7-8 del SPM
 A40: "e:
 B40: $[W22]$ Datos de la figura 7-115 del SPM

F42: EJEMPLO DEL RESULTADO OBTENIDO DE LA TRILATRA - CIRCULO DE TONDE

SECCION A - A'

ALTERNATIVA 1

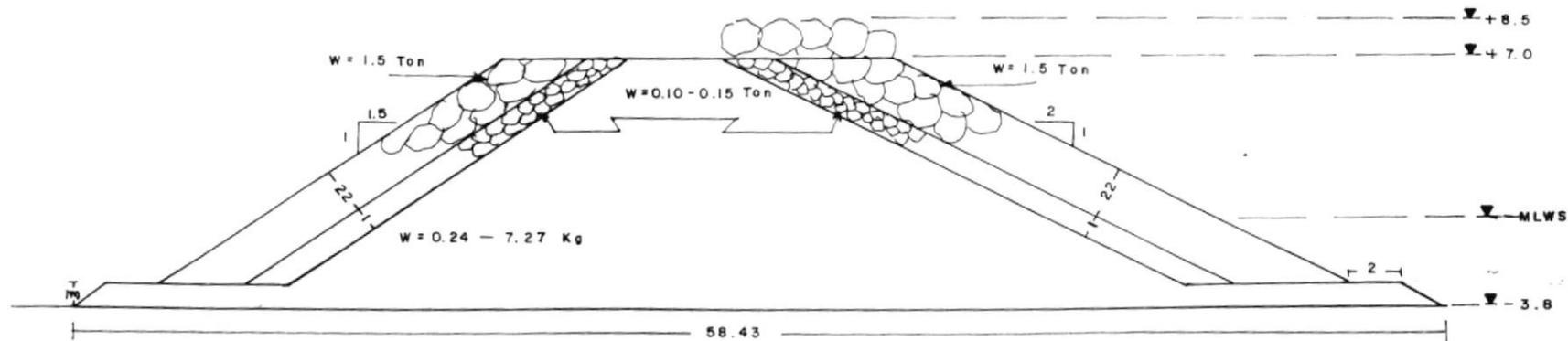
LADO EXPUESTO
AL MAR



SECCION B - B'

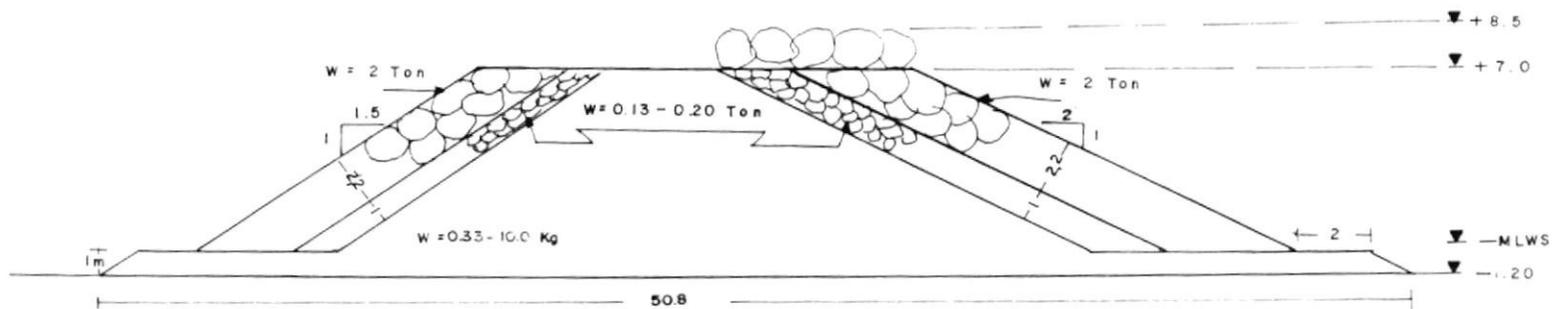
ALTERNATIVA 1

LADO EXPUESTO
AL MAR



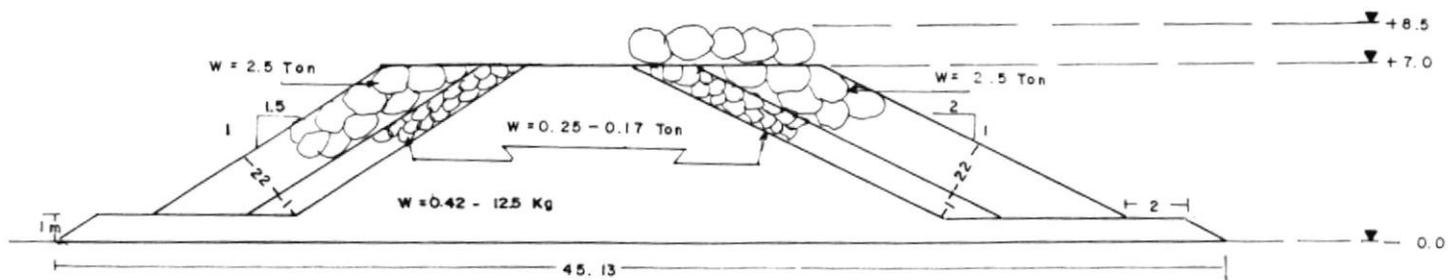
SECCION C - C'
ALTERNATIVA I

LADO EXPUESTO
AL MAR



SECCION D - D'
ALTERNATIVA I

LADO EXPUESTO
AL MAR

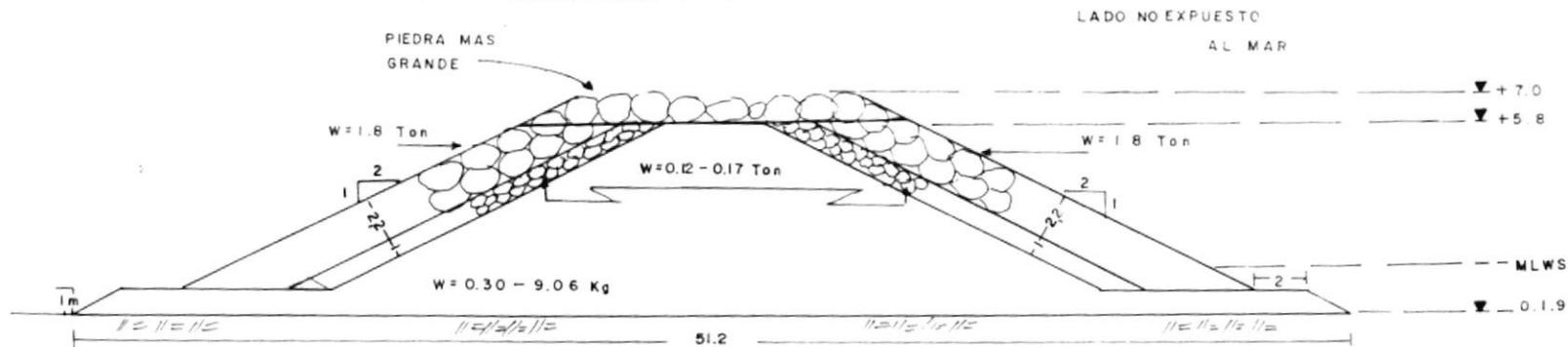


ESCALA 1:200

ESCOLLERA I

ALTERNATIVA II

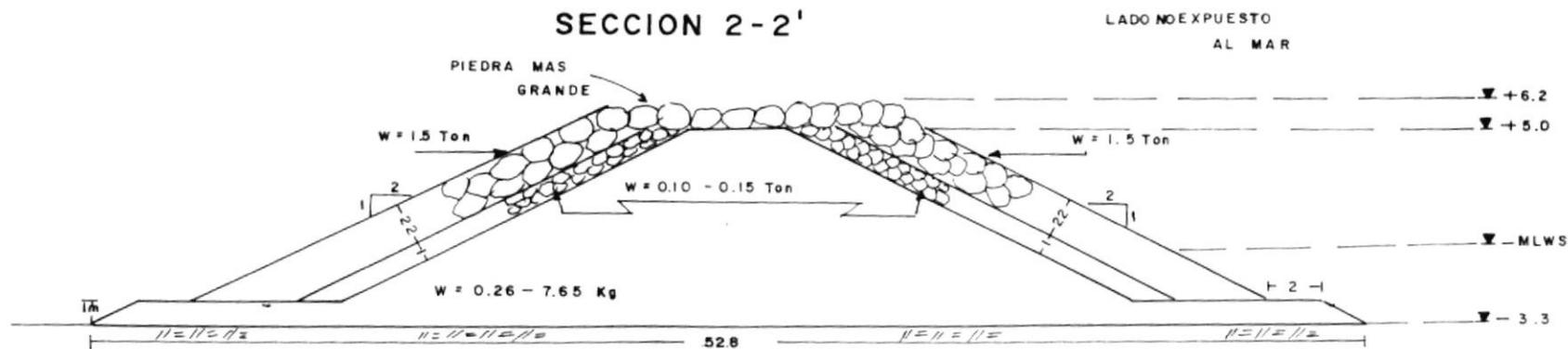
SECCION I - I'



ESCOLLERA II

ALTERNATIVA II

SECCION 2-2'



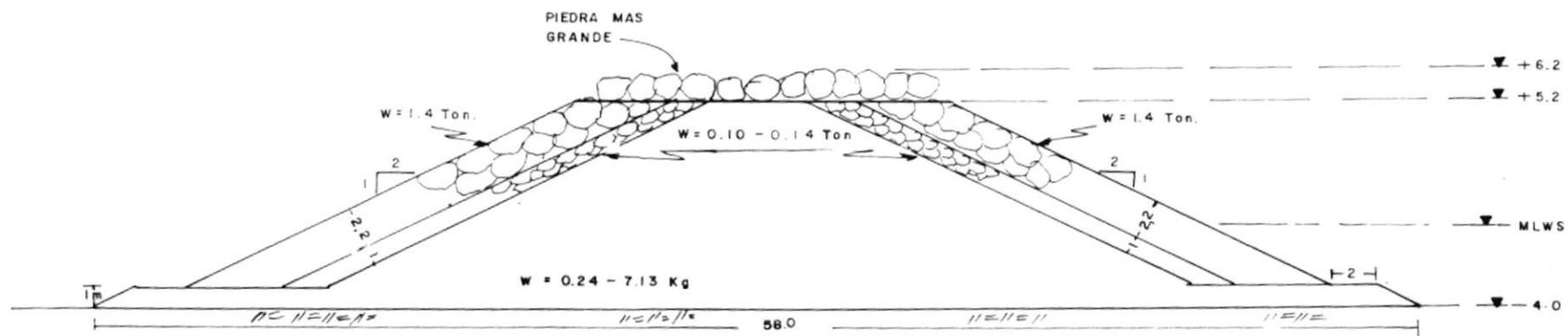
ESCALA 1:200

ESCOLLERA III

ALTERNATIVA II

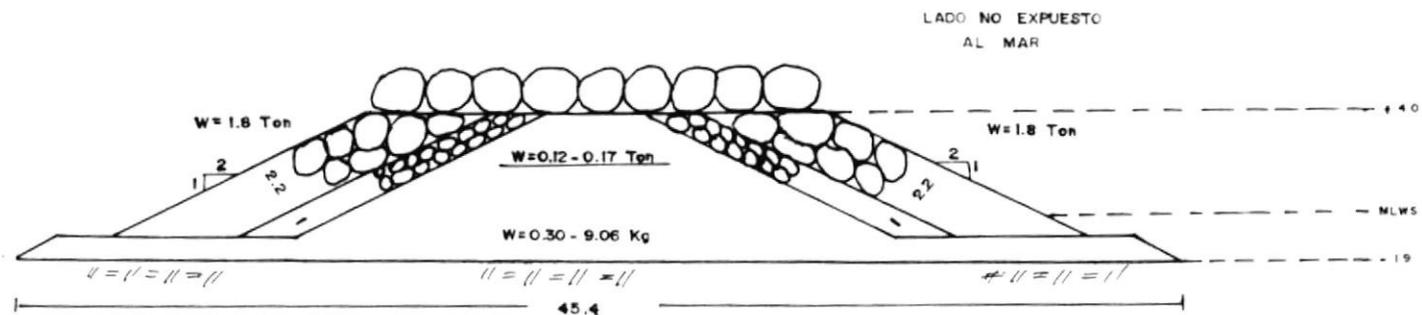
SECCION 3-3'

LADO NO EXPUESTO
AL MAR

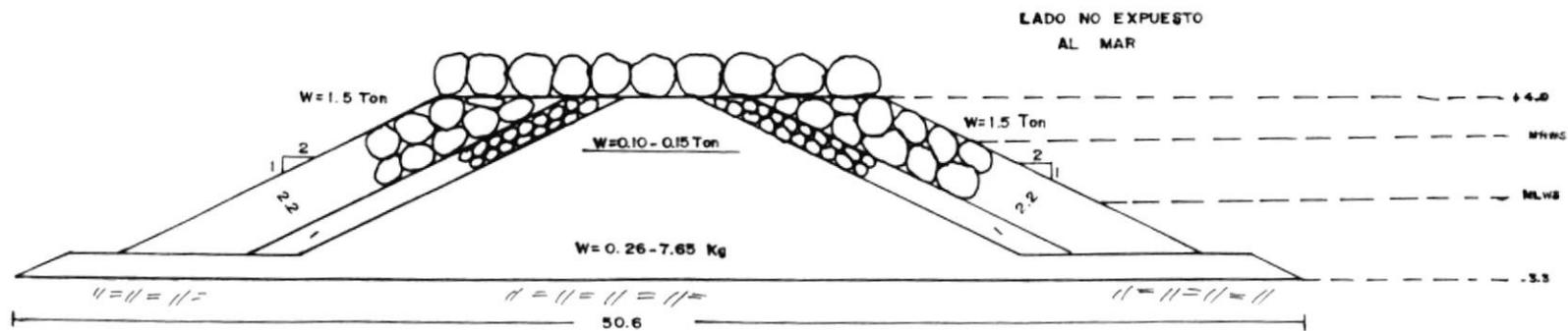


ESCALA 1:200

ESCOLLERA I
ALTERNATIVA II
SECCION 1-1'



ESCOLLERA II
ALTERNATIVA II
SECCION 2-2'



ESCOLLERA III

ALTERNATIVA II

SECCION 3-3'

