



**ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA DEL LITORAL**

**FACULTAD DE INGENIERIA MARITIMA Y CIENCIAS DEL
MAR**

**“ ESTUDIO PRELIMINAR DEL OLEAJE
INCIDENTE EN SALINAS ”**

TESIS DE GRADO
Previa a la obtencion del titulo de:

OCEANOGRAFO

Presentada por:

JUAN JOSE NIETO LOPEZ

GUAYAQUIL - ECUADOR
1996

AGRADECIMIENTO

Al Instituto Oceanográfico de la Armada, por haber facilitado los datos para la elaboración del presente trabajo.

Al Ing. Enrique Sánchez, por la acertada dirección prestada durante la ejecución de esta Tesis.

Mi especial agradecimiento a la Ing. Catherine Medranda, por su invaluable ayuda y apoyo, para llevar adelante este trabajo.

DECLARACION EXPRESA

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

A handwritten signature in black ink, appearing to read "J. Nieto", is enclosed within a hand-drawn oval. A horizontal line extends from the left side of the oval across the page.

Juan José Nieto López



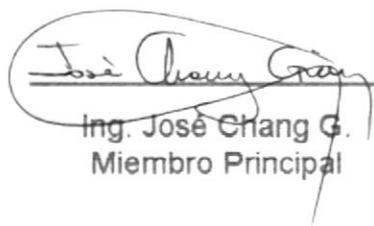
Ing. Eduardo Cervantes
Presidente del Tribunal



Ing. Enrique Sánchez
Director de Tesis



Dr. José Luis Santos
Miembro Principal



Ing. José Chang G.
Miembro Principal

RESUMEN

Este trabajo presenta un estudio preliminar del oleaje que afecta a la bahía de Salinas, el cual se ha realizado en base a datos de alturas y periodos significativos, obtenidos durante un año continuo de mediciones, mediante un oligrafo instalado por el Instituto Oceanográfico de La Armada en el sitio denominado Banco-Copé, localizado frente a la Puntilla de Santa Elena.

Se realizaron diagramas de refracción y difracción, a fin de encontrar cuales son los efectos de la morfología de la zona sobre el oleaje incidente.

Igualmente, se aplicaron distintos métodos matemáticos de pronóstico de altura de olas, para determinar las alturas de olas que se podrían esperar en intervalos de recurrencia mayores a los del período de medición de los datos usados en el presente estudio.

INDICE GENERAL

ppm.

RESUMEN	III
INDICE GENERAL	IV
INTRODUCCION	1
I. CARACTERISTICAS DEL AREA DE ESTUDIO	9
1.1. Localización	9
1.2. Geografía de la zona	9
1.2.1. Descripción general	9
1.2.2. Clima	12
1.2.3. Aspectos Socio - Económicos	13
II. CONDICIONES OCEANOGRAFICAS Y METEOROLOGICAS	14
2.1. Condiciones Oceanográficas	14
2.1.1. Mareas	14
2.1.2. Corrientes costa afuera	15
2.1.3. Corrientes Litorales	15
2.2. Condiciones geológicas	17
2.3. Condiciones meteorológicas	18
2.3.1. Presión	18
2.3.2. Viento	20
III. MEDICIONES DE OLAS	24
3.1. Sitios de medición	24
3.1.1. Ubicación del olígrafo	24
3.1.2. Período de mediciones	24
3.1.3. Mediciones visuales	26
3.2. Características del equipo	28
3.2.1. Principio físico para la medición de las alturas de las olas ..	28
3.2.2. Características técnicas del equipo	29
3.3. Fondeo y programación	30
3.3.1. Fondeo del olígrafo	30
3.3.2. Programación del olígrafo	31
3.4. Procesamiento de los datos	33

IV. ANALISIS DE OLAS	35
4.1. Estadística del oleaje incidente	35
4.1.1. Registros de olas	35
4.1.2. Alturas significativas de olas	36
4.1.3. Períodos significativos de olas	39
4.1.4. Olas rompientes observadas	41
4.1.4.1. Alturas de olas rompientes	41
4.1.4.2. Períodos de olas rompientes	43
4.2. Refracción de olas	43
4.2.1. El fenómeno físico	43
4.2.2. Diagramas de refracción para el área	45
4.3. Difracción del oleaje	52
4.4. Oleaje producido por viento local	54
4.5. Régimen de olas	59
4.5.1. Métodos gráficos para la extrapolación de altura significativa	59
4.5.2. Método gráfico de Mayencón	59
4.5.3. Método gráfico de Draper	62
4.5.4. Método gráfico de Weibull	62
4.5.5. Distribución Probabilística de Weibull	63
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	68
ANEXOS	70
BIBLIOGRAFIA	90

INDICE DE FIGURAS

Figura N-1.- Ubicación del oligrafo respecto a la zona de estudio	14
Figura N-2.- Centros de presión y ubicación de ZCIT para el mes de junio	14
Figura N-3.- Localización general del área de estudio	15
Figura N-4.- Ubicación de estaciones de medición	17
Figura N-5.- Esquema de fondeo del equipo	18
Figura N-6.- Histograma de frecuencias de altura significativa	18
Figura N-7.- Serie de tiempo de alturas significativas de olas registradas en Salinas	19
Figura N-8.- Histograma de frecuencias de periodo significativo	19
Figura N-9.- Serie de tiempo de periodos significativos de olas registradas en Salinas	19
Figura N-10.- Rango de exposición de la costa	21
Figura N-11.- Diagrama de refracción para el área de Salinas T=12 s.	24
Figura N-12.- Diagrama de refracción para el área de Salinas T=14 s.	29
Figura N-13.- Diagrama de refracción para el área de Salinas T=18 s.	30
Figura N-14.- Diagrama de difracción para el área de Salinas	34
Figura N-15.- Método gráfico de Mayencón	39
Figura N-16.- Método gráfico de Draper	41
Figuar N-17.- Método gráfico de Weibull	41

INDICE DE TABLAS

	175
Tabla I. Velocidad del viento en estación aeropuerto de Salinas	27
Tabla II. Alturas y periodos significativos registrados en Salinas	29
Tabla III. Coeficientes de refracción para el área de Salinas	51
Tabla IV. Altura y periodo significativo de olas a partir de \hat{U}_{viento}	66
Tabla V. Altura y periodo significativo de olas a partir de $U_{\text{max viento}}$	67
Tabla VI. Resultados de pronósticos de alturas significativas de olas	68

INTRODUCCION

Este trabajo pretende aprovechar los datos de un año continuo de mediciones de alturas y períodos significativos de olas, obtenidos en Salinas, para realizar un estudio inicial de las condiciones que caracterizan el oleaje que incide sobre la bahía de Salinas, por considerar que se trata del balneario más importante del Ecuador, y con una proyección turística que podrá ser fuente importante de ingresos y desarrollo, para la zona y para el país. Reconocida su importancia y su potencial de desarrollo, es imperante que se estudie uno de los factores que interviene en los procesos costeros que en su playa se dan, a fin de tener un punto de partida para futuros estudios y desarrollo de infraestructura costera.

El trabajo ha sido dividido en cuatro capítulos; el primero de ellos se refiere a las características de la zona en cuanto a su socio-economía, clima y aspectos generales. El segundo capítulo se concentra en la descripción de las condiciones oceano-atmosféricas de la zona. El tercer capítulo trata de dónde y cómo se obtuvieron los datos, tanto instrumentales como observados. Finalmente el capítulo cuatro presenta el tratamiento y análisis que se ha hecho de los datos debidamente procesados.

Este trabajo fue posible realizarlo gracias al apoyo del Instituto Oceanográfico de la Armada que permitió al autor desarrollar la tesis mientras participaba como becario del convenio Armada-Espol.

I. CARACTERISTICAS DEL AREA DE ESTUDIO

1.1. LOCALIZACION

El área de estudio está localizada en la parte norte de la Puntilla de Santa Elena, en el sector costero comprendido desde Punta San Lorenzo hasta Punta Mandinga.

Entre estas dos salientes se forman dos playas separadas por punta Chipipe, lugar donde se encuentra el Yacht Club de Salinas y donde se ha construido un espigón de concreto para la protección de las instalaciones.

No obstante esta delimitación, en el proceso de análisis oceanográfico del presente estudio, se ha considerado también la zona cercana a Salinas, como se puede apreciar en la fig. 1.

1.2. GEOGRAFIA DE LA ZONA

1.2.1. DESCRIPCION GENERAL

La Puntilla de Santa Elena se encuentra localizada en la parte más occidental de la costa continental del Ecuador, por lo que presenta características oceanográficas

muy especiales, pues está influenciada por corrientes ricas en nutrientes, lo que convierte a la zona en un lugar propicio para la pesca.

El balneario de Salinas, uno de los más importantes de la costa oeste de América del Sur, se encuentra ubicado en la punta de Santa Elena en las coordenadas $101^{\circ} 58' W$ y $2^{\circ} 12' S$ aproximadamente, y es la cabecera cantonal del cantón del mismo nombre.

El frente costero del Cantón, en la bahía de Santa Elena, llega hasta el límite con la población de La Libertad, y en él se incluye la población de Salinas y varios barrios periféricos como Santa Rosa, que es un sector en que la población se dedica exclusivamente a la pesca artesanal. A pocos kilómetros de Salinas, se encuentra el puerto de La Libertad, que es otro polo de desarrollo urbano, pero que ha perdido su atractivo turístico como balneario a raíz del deterioro de su playa provocado por el evento de El Niño 82-83 y por el desarrollo equivocado de su malecón.

Por el noroeste Salinas limita con la Punta de Santa Elena donde está situada una Base Militar. A lo largo del malecón de la ciudad, se han construido altos edificios que le dan las características de balneario internacional; cuenta además con muelles en el Yacht Club para pequeñas embarcaciones. La infraestructura hotelera se encuentra suficientemente desarrollada y alcanza a cubrir la demanda de los turistas durante la mayor parte del año, exceptuando fechas especiales, tales como los feriados de Carnaval y Semana Santa.

La playa es de baja pendiente, y está expuesta la mayor parte del día a un ambiente tranquilo de oleaje, con corrientes de baja magnitud, características que la convierte en el principal atractivo para el turismo.

1.2.2. CLIMA

En este subcapítulo se tratará a manera de información general sobre las condiciones climáticas predominantes en el área de estudio. Así, la precipitación y la temperatura ambiental son dos parámetros que caracterizan una zona en cuanto a su clima. Los niveles pluviométricos en el área siguen el patrón estacional de la costa, es decir, lluvias moderadas por lo regular en los meses de enero a mayo, (invierno); La época seca, por el contrario se presenta entre los meses de mayo y diciembre. Las temperaturas del aire presentan un patrón similar al de precipitación, encontrándose que los valores máximos de temperatura coinciden con la época de lluvias y los valores mínimos con la época seca, siendo agosto el mes más frío. La humedad relativa del ambiente alcanza valores de 80%, lo que le da una característica de clima agradable, dada la presencia de una brisa marina suave.

1.2.3. ASPECTOS SOCIO-ECONOMICOS

La población de Salinas está formada por dos estratos sociales y económicos claramente definidos. Un estrato está compuesto por la llamada clase media baja, integrada principalmente por pescadores, artesanos y personas de alguna u otra manera dedicadas al turismo.

El otro grupo, formado por la clase alta es una población más bien flotante, pues cuenta con viviendas de elevado costo, pero que no son usadas durante todo el año, sino únicamente durante la temporada de playa, es decir, entre enero y mayo. El resto del año Salinas disminuye considerablemente sus actividades económicas, que en buena parte están vinculadas con el turismo que aunque si bien es cierto no desaparece totalmente, pues recibe el turismo de la sierra y en un porcentaje significativo de Colombia, no alcanza los niveles que se presentan en la estación invernal de la Costa. Con el acelerado desarrollo que ha tenido la población en los últimos cinco años, ha empezado a crecer la población que conforma la clase media.

La población cuenta con iglesias, colegios, bancos y supermercados que le dan mayor atractivo al turista; aunque por otra parte carece del servicio de agua potable por tuberías, por lo que principalmente la gente adquiere el agua por tanqueros, en

sistema de alcantarillado es totalmente deficiente y no cumple con los requerimientos de la urbe.

Recientemente se ha observado un marcado interés por parte de los países europeos, principalmente España, Italia y Francia por realizar inversiones en el campo turístico en la zona de la Península de Santa Elena, esto se debe a las hechas a la prensa por los operadores turísticos de dichos países que asistieron a la conferencia sobre desarrollo turístico organizada por la Cámara de Comercio de Guayaquil en abril de 1996.

II. CONDICIONES OCEANOGRÁFICAS Y METEOROLÓGICAS

2.1. CONDICIONES OCEANOGRÁFICAS

2.1.1. MAREAS

Las mareas son el resultado de la atracción gravitacional entre la tierra y otros cuerpos celestes, principalmente la luna, por su cercanía al planeta.

Por la situación geográfica del Ecuador, las mareas en toda la costa son del tipo semidiurna, esto es, presentan un período de 12 horas 25 minutos, es decir, que en un lapso de aproximadamente 24 horas se producen 2 pleamares y 2 bajamares.

Para la zona de Salinas se cuenta con datos obtenidos del mareógrafo instalado por la Armada en el puerto de La Libertad, así como con los pronósticos publicados anualmente por el INOCAR en las tablas de mareas. La amplitud de la misma presenta rangos entre de 2.4 metros en sicigia y 1 metro en cuadratura, aproximadamente. Durante eventos extraordinarios como el Niño, se pueden presentar elevaciones de hasta 3 metros sobre el nivel de referencia náutico MLWS (Nivel medio de bajamares de sicigia).

2.1.2. CORRIENTES COSTA AFUERA

De acuerdo a Allauca (1990), para el mes de febrero, se ha observado que al sur de 2° S, la circulación oceánica cercana al sector de estudio tiende a dirigirse hacia el oeste, fluctuando de Noroeste a Suroeste entre 81° W y 83° W, girando ligeramente hacia el Norte y Noroeste a medida que avanza hacia el sector norte, así como frente a Salinas.

Durante los meses de abril, junio y julio, se observa que las derivas mantienen la tendencia de dirigirse al Norte girando al Noroeste y Oeste. Para julio a lo largo de 81° W a 10 millas de la costa aproximadamente, entre Salinas y Manta se presenta una fuerte circulación superficial hacia el norte, lo que demuestra la presencia de una deriva que bordea la costa, la misma que corresponde al límite norte de la corriente de Humboldt.

En lo referente a la circulación local costera, INOCAR cuenta con datos obtenidos con un correntómetro AANDERAA de registro continuo, fundado en BALCO COPE; de estos datos se pudo registrar que en la zona existen corrientes con valores que oscilaron entre 3-5 cm/s, aproximadamente 140 m³/h. Los direcciones de las corrientes máximas presentaron un carácter estacional, predominantemente entre los 50° y 80° para los meses de agosto a diciembre, y entre los 20° y 50° para los meses de enero a julio, siendo estas últimas de mayor magnitud que las primeras. Es posible que valores mayores de la velocidad de la corriente hayan

sido filtrados en el promedio de datos de velocidad que presenta el instrumento, pues en muchas ocasiones se notó en el área corrientes de apreciable magnitud.

2.1.3. CORRIENTES LITORALES

Como corrientes litorales se conocen a aquellas que están delimitadas por la rompiente más lejana y la línea de costa, son producidas por la componente paralela a la playa que tiene el oleaje cuando éste llega a la misma formando un ángulo con ella (Sánchez, 1978).

Así, para la zona se cuenta con mediciones de corrientes litorales realizadas para un estudio de transporte de sedimentos, publicado por Jácome & Ubina en el Acta Oceanográfica del Pacífico (1992). De este estudio se estableció que para la zona comprendida entre Punta Mandinga y Punta Chipipe, el valor de la velocidad de la corriente se encontró el 90% de la veces en un rango comprendido entre 0.05 y 0.15 m/s, alcanzando valores de 0.40 m/s. La dirección predominante observado fue hacia la derecha (mirando de la playa hacia el mar), aunque en contadas ocasiones las corrientes litorales se dirigieron también hacia la izquierda (Espín, referencia personal)

2.2. CONDICIONES GEOLOGICAS

Desde el punto de vista geomorfológico, la costa del sector que va desde la puntilla de Santa Elena hasta Ballenita se presenta muy irregular, con acantilados bajos e inestables, con materiales de playa emergidos. El relieve es plano y con poca elevación.

Existen además salientes rocosas que continúan mar adentro hasta unas decenas de metros. Entre estas salientes rocosas se forman playas embolsadas acompañadas por acantilados bajos, como es el caso de Salinas (Ayón, 1987).

En cuanto a tipos de sedimentos, a partir de investigaciones realizadas por el INOCAR y publicadas por Jácome & Llanos en el Acta Oceanográfica del Pacífico del año 1992, se determinó que el material típico de playa del área de estudio, tiene un diámetro medio comprendido en el intervalo de 2.0 a 3.0 FI, lo cual corresponde a arena fina. Cabe mencionar que en esta playa, el sedimento se encuentra bien seleccionado, ya que el 100% de la clasificación textural corresponde a este rango, debido a la poca energía que tiene el oleaje que incide sobre ella. De acuerdo a Jácome & Llanos (1992), en la zona existe un proceso de clasificación natural por lo que definitivamente a este se lo considera como un ambiente de depositación.

2.3. CONDICIONES METEOROLOGICAS

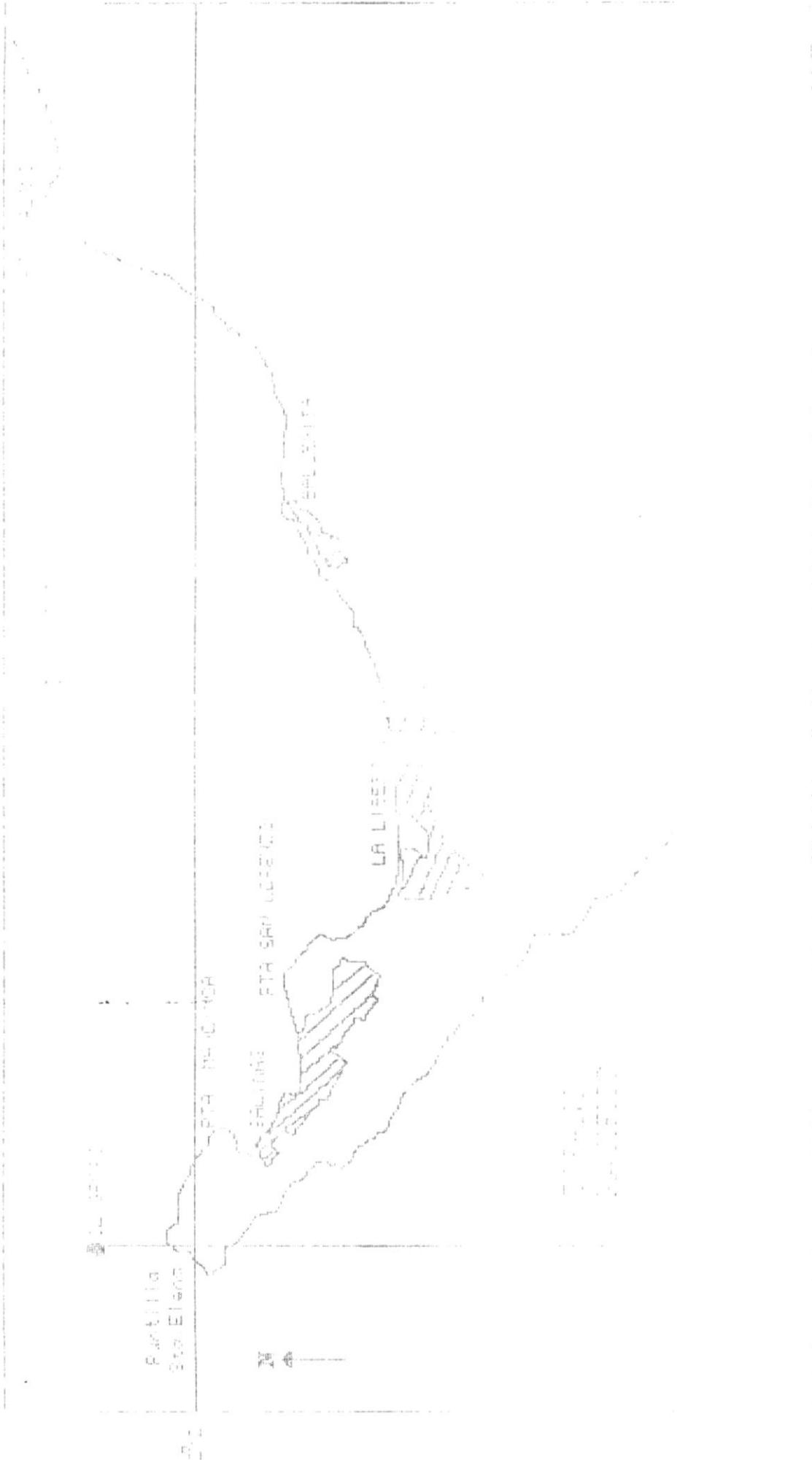
2.3.1. PRESION

La presión atmosférica a gran escala, es el factor preponderante en la generación de vientos a escala global, por lo tanto es importante tener una idea de cuales son las condiciones en que se encuentra el patrón de presión atmosférica que actúa sobre el Océano Pacífico, y principalmente sobre el Pacífico Oeste, por su íntima relación e injerencia primordial sobre la costa ecuatoriana, en cuanto a la generación de vientos a gran escala y por lo tanto de olas de mar de leva que llegan a la misma.

En el Océano Pacífico, el centro de Alta Presión del Hemisferio Norte ubicado aproximadamente sobre los 40° N , y el centro de Alta Presión ubicada alrededor de los 30° S, interactuando respectivamente con centros de Baja Presión ubicados en ambos hemisferios son los que principalmente originan la circulación atmosférica sobre el Pacífico Norte y Sur. Ambos centros no permanecen estáticos, por el contrario, debido a factores estacionales cambian de posición en el transcurso del año, provocando cambios significativos en los sistemas de vientos. Estos cambios tienen diferencias bastante marcadas, por lo que es posible su determinación con cierta exactitud en cuanto a los meses en que ocurren. Se tiene entonces que para los meses de Julio a Septiembre ambos centros de Alta Presión del Pacífico se encuentran en su posición más alta del Norte, provocando la intensificación de los vientos Alisios del Sur y el fortalecimiento

de Convergencia Intertropical ZCIT (Zona donde se encuentran los vientos Alisios del Noreste y del Suroeste) hacia el Norte, hasta aproximadamente 10° N (30° W). Por otra parte, en los meses de Diciembre a Marzo ambos centros están en su posición más hacia el sur, trayendo como consecuencia la intensificación de los vientos Alisios del Norte y desplazando la ZCIT hasta aproximadamente los 10° S.

Así mismo, existe un centro de Baja Presión localizado en Ecuador que juega un papel importante en la circulación atmosférica que afecta a la zona ecuatorial, pues se conoce que el viento toma dirección desde un centro de Alta Presión hacia un centro de Baja Presión, produciendo vientos predominantemente del Oeste y Suroeste en cierta época del año y del Noroeste en otra.



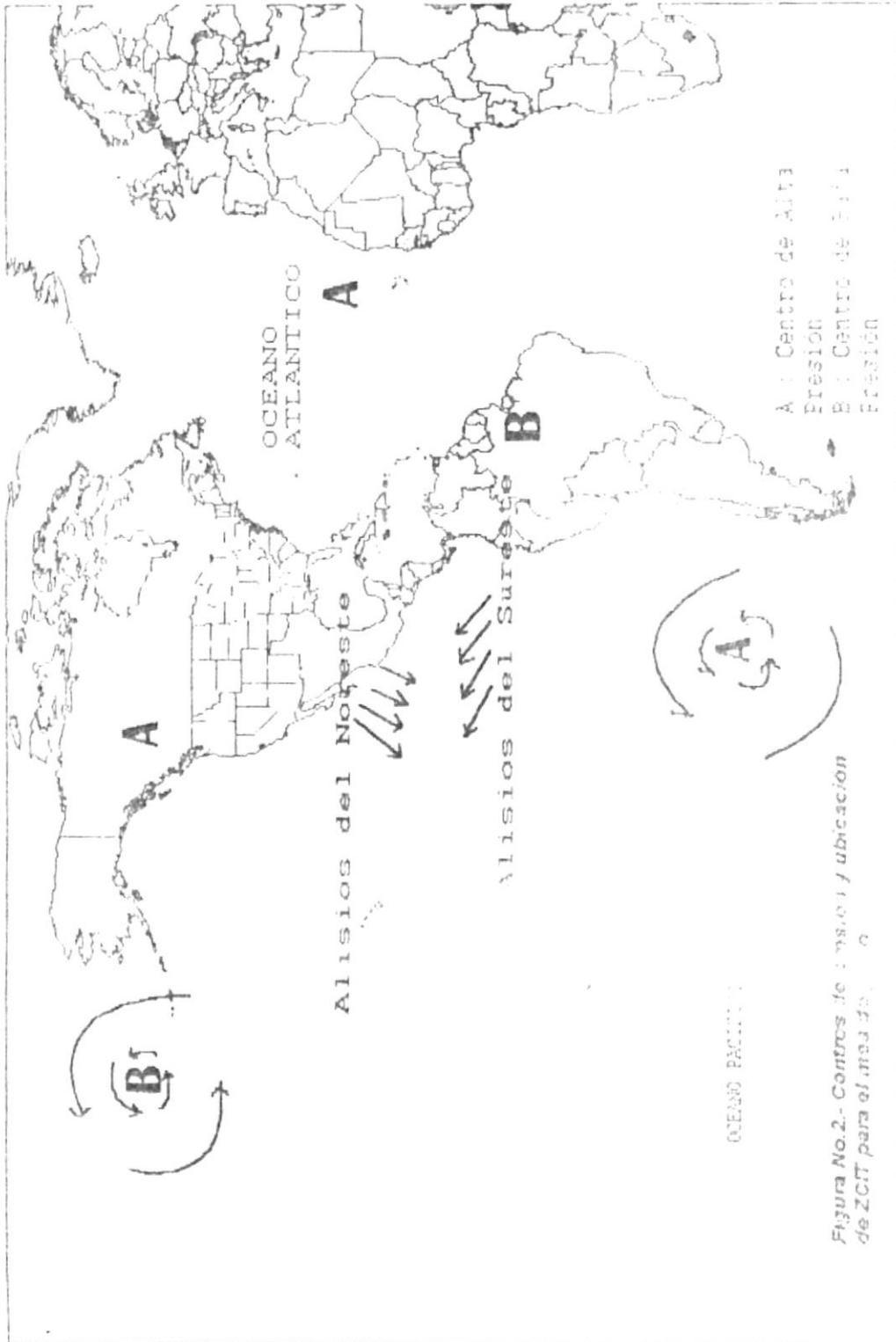


Figura No.2.- Centros de masas y ubicación de ZCIT para el mes de...

2.3.2. VIENTO

Como se dijo en la sección anterior, los vientos juegan un papel muy importante en el mecanismo que genera las olas, como se explica en la sección 4.3.1. En este análisis se cuenta con datos del Atlas Meteorológico publicado por el INECAR, que es una recopilación de muchos años, de parámetros de velocidad y dirección del viento tomados en la estación meteorológica del aeropuerto de Salinas.

En la Tabla I se presentan las magnitudes promedio y máxima del viento registrado en Salinas, tomado de Allauca (1985). Del Atlas Meteorológico se observa que la dirección predominante es la del Oeste seguida de la del Suroeste y del Noroeste, entre las tres representan más del 70% de las direcciones presentes. De igual manera se reporta que los vientos cumplen un patrón estacional presentándose más débiles en los meses de Enero a Abril. Las velocidades promedio por día oscilan entre 3.30 y 4.20 m/s, por otro lado las máximas velocidades se encuentran entre 8.20 y 16.5 m/s.

TABLA I. VELOCIDAD DEL VIENTO EN ESTACION AEROPUERTO DE SALINAS

MES	VELOCIDAD MEDIA (m/s)	VELOCIDAD MAXIMA (m/s)
ENERO	3.70	8.23
FEBRERO	3.29	8.23
MARZO	3.40	8.23
ABRIL	2.98	10.29
MAYO	3.40	13.38
JUNIO	4.01	10.29
JULIO	4.22	10.29
AGOSTO	3.29	8.23
SEPTIEMBRE	4.12	8.23
OCTUBRE	4.22	12.35
NOVIEMBRE	4.22	14.40
DICIEMBRE	4.12	16.46

Fuente: Atlas Meteorológico del Mar Territorial Ecuatoriano, INOCAR 1977

De acuerdo a la fuente no se conocen los porcentajes de ocurrencia de las velocidades mensuales máximas, lo que hubiera servido para establecer los porcentajes de las máximas alturas posibles de olas generadas por viento leve sobre la bahía de Salinas.

III. MEDICIONES DE OLAS

3.1. SITIOS DE MEDICION

3.1.1. UBICACION DEL OLIGRAFO

El Instituto Oceanográfico de la Armada se encuentra desarrollando un proyecto encaminado a obtener información del régimen de oleaje en toda la costa ecuatoriana; es así como ha instalado olígrafos en puntos como Jaramijó, en la Provincia de Manabí y Salinas, en la Provincia del Guayas. Precisamente de este último se han tomado los datos para el presente estudio.

Debido a requerimientos propios de la Institución se decidió colocar un olígrafo en un bajo cercano a la Puntilla de Santa Elena, conocido como Banco-Copé en las coordenadas $2^{\circ} 09' 54'' S - 81^{\circ} 00' 04'' W$ (fig. 3).

3.1.2. PERIODO DE MEDICIONES

Los datos usados en el presente estudio corresponden al período de mediciones que va desde noviembre 6 de 1991 a noviembre 12 de 1992, lo que comprende un total de 372 datos tanto de altura significativa como de período significativo.

Este número de datos corresponde al promedio diario de alturas promedio de oleaje que registró el instrumento, de acuerdo al procedimiento operativo que se describe en la sección 3.3.2.

Para complementar los datos del oligrafo se realizaron observaciones de las características del oleaje en la zona litoral, esto es, altura, período y dirección de aproximación a la playa.

3.1.3. MEDICIONES VISUALES

Para realizar las mediciones visuales del oleaje se escogieron como puntos de observación uno ubicado a la altura de la Capitanía del Puerto (Estación 1) y otro al inicio de la Base Naval en Chipipe (Estación 2), por considerarse puntos representativos de cada una de las playas (Fig. 4).

3.2. CARACTERISTICAS DEL EQUIPO

3.2.1. PRINCIPIO FISICO PARA LA MEDICION DE LAS ALTURAS DE LAS OLAS

Resulta importante dar una idea general del principio bajo el cual opera el equipo en la mayoría de los oligrafos en uso actualmente. El principio de altura de oleaje

realizar las mediciones de oleaje fue un olígrafo SBE-26 de la Casa Sea Bird Electronics Inc., el cual calcula la altura significativa de ola mediante un sensor de presión colocado en su parte superior. Este sensor mide la presión absoluta, que es una combinación de la presión atmosférica más la presión que ejerce la columna de agua sobre el instrumento, es decir, la presión hidrostática, es así como estos parámetros se encuentran relacionados por la fórmula

$$\text{Presión Absoluta} = \text{Presión Atmosférica} + \int_0^h \rho \cdot g \cdot (dz)$$

Donde :

- ρ Es la densidad del agua.
- g Es la aceleración de la gravedad.
- h La altura de la columna de agua sobre el punto en consideración.

Se asume que la densidad del agua permanece constante en toda la columna de agua, entonces se puede escribir:

$$h = \frac{\text{Presión absoluta} - \text{Presión atmosférica}}{\rho \cdot g}$$

El instrumento luego utiliza la temperatura y salinidad promedio del agua (Obtenida por el mismo equipo) para calcular la densidad; con este valor más el valor de h

aceleración de la gravedad g y asumiendo que la presión atmosférica no varía durante el período de mediciones, se obtiene la altura de la columna de agua sobre el equipo.

3.2.2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL EQUIPO

Se verá ahora cuales son las características físicas y técnicas del instrumento utilizado, para conocer las bondades, precisión y confiabilidad del mismo.

El olígrafo tiene aproximadamente 64 cms. de altura, cuenta con un sensor de presión cuyo rango de medición va de los 0 a los 21 metros con una resolución de 1 mm., su peso es de 13 lbs. lo que lo hace muy fácil de manipular.

La energía necesaria para su operación está provista por 9 pilas alcalinas tipo "D" de 1.5 Voltios cada una, que le dan una capacidad de 6 meses de operación continua.

Para la programación del instrumento y para la recuperación de la información, se lo conecta a un computador PC IBM o compatible vía puerto serial RS-232C.

El instrumento cuenta además con dos programas internos que le permiten comunicarse, programar, recuperar y convertir los datos de unidades ASCII a unidades de ingeniería; para luego entregarlos en la forma requerida por el

usuario, ya sea por pantalla o por impresión, en forma numérica o en un gráfico con ejes coordinados para ambos casos.

3.3. FONDEO Y PROGRAMACION

3.3.1. FONDEO DEL OLIGRAFO

Se mostrará en esta sección esquemáticamente el tipo de anclaje utilizado para lograr que el equipo se mantenga en el sitio adecuado, así como también para que cumpla con las medidas de seguridad necesarias para evitar daño físico o robo del equipo; se suma a esto las facilidades que debe tener el anclaje para propiciar una rápida recuperación del equipo.

El oligrafo fue fondeado en el baio conocido como "BAIO GUAYAMA" a aproximadamente a 1 milla náutica costa afuera de la Punta de Chiles Elva a una profundidad de 11 metros, sujeto a un peso muerto de concreto por sus facilidades abrazaderas de acero inoxidable colocadas en cada extremo del oligrafo para impedir que éste sea movido de su posición por las corrientes o el oleaje.

Para lograr su recuperación, una boya fue anclada a un peso muerto primario y este a su vez fue conectado al peso muerto secundario (de 10 toneladas) por una cadena de acero inoxidable, como se muestra en la Foto, para evitar la corrosión que produce el agua de mar sobre los metales.

Para esta maniobra fue necesario contar con dos buzos que flotasen en la superficie para que el personal en tierra le diera mantenimiento a este equipo, limpiarlo de conchillas incrustadas en el mismo. Luego la información fue recuperada y almacenada en diskettes para su posterior procesamiento. Una vez hecho esto, al equipo se lo volvió a programar y fondear para que continúe trabajando aproximadamente durante un mes, plazo en que la maniobra de recuperación se repitió.

3.3.2. PROGRAMACION DEL OLIGRAFO

Como se mencionó anteriormente el oligrafo permite ser programado por el computador para que tome medidas en cualquier punto de trabajo, de acuerdo a lo que se requiere. Esto significa que puede filtrar fracciones del fondo del mar que no son de interés; por ejemplo puede separar mariscos de otros indistintamente.

Para este proyecto el ológrafo fue programado por el INOCAR para obtener en solo tres horas un dato de altura y período significativo, tomando mediciones durante 15 minutos continuos, filtrando las olas con períodos menores que 5 segundos. Luego el instrumento toma los paquetes de datos registrados durante el día y calcula el promedio de altura y período significativos diarios.

3.4. PROCESAMIENTO DE LOS DATOS

Se hace necesario explicar la manera como el equipo procesa y calcula los datos que el usuario necesita y la forma en que los presenta.

Los pasos que ejecuta el programa para cada serie de datos son en síntesis los siguientes:

- Lee el paquete de datos.
- Realiza un promedio y elimina la tendencia.
- Crea un arreglo de potencia 2.
- Aplica la ventana de Hanning.
- Mediante la transformada de Fourier estima un espectro de potencia.
- Calcula la máxima frecuencia.
- Realiza una comparación entre la frecuencia máxima y los coeficientes de Fourier.
- Promedia la banda del espectro estimado para crear el auto-espectro.
- Calcula la estadística de las olas del auto-espectro, obteniendo la varianza, la media, la altura y el período significativo.

- Con la transformada inversa de Fourier crea la serie de tiempo de la ola.
- Aplica la ventana inversa de Hanning.
- Analiza el cruce de ceros de la serie de tiempo para obtener el período correspondiente de cada ola.
- Calcula la estadística de oleaje utilizando la serie de tiempo, obteniendo así la altura promedio de ola, el período promedio, altura máxima de la ola, altura y período significativo.

IV. ANALISIS DE OLAS

4.1. ESTADISTICA DEL OLAJE INCIDENTE

4.1.1. REGISTROS DE OLAS

En los siguientes subcapítulos se presenta el tratamiento estadístico de la información de los datos de altura y período significativo de olas, y se ha tratado de caracterizar el régimen de oleaje, con las limitaciones propias de un estudio preliminar, pues la base de datos comprende únicamente un año, lo cual no permite obtener conclusiones definitivas.

Los datos de altura y período significativo registrados por el ológrafo instalado por el INOCAR, debidamente procesados constan en la tabla II y corresponden a un total de 372 datos obtenidos en un tiempo neto de mediciones continuas de 102 años, como se explicó en la sección 3.3.2.

Estos datos corresponden a valores de altura significativa promedio diaria, obtenidas de datos registrados cada 3 horas por el equipo, que, dada las necesidades propias del INOCAR, fue programado para entregar el valor diario en Hs y no cada una de las alturas registradas como hubiera sido lo deseable.

El análisis de las alturas y períodos significados se los ha realizado en forma separada en los numerales 4.1.2 y 4.1.3 que se indican a continuación.

TABLA II. Alturas y periodos significativos registrados en Salinas (Nov/91 - Nov/92)

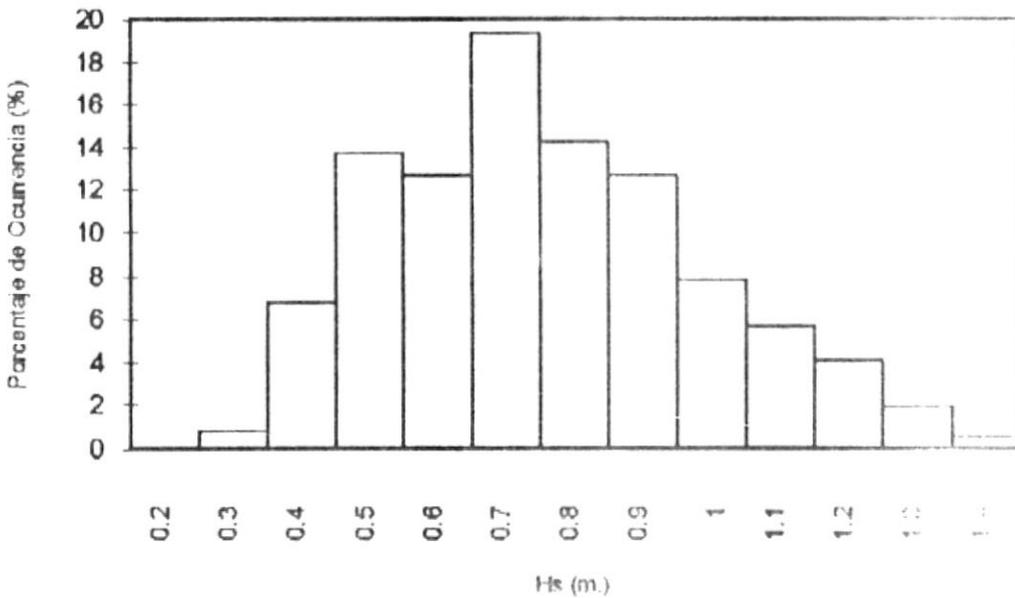
PERIODO (seg)	RANGO DE ALTURA (m.)												TOTAL	
	02-03	03-04	04-05	05-06	06-07	07-08	08-09	09-10	10-11	11-12	12-13	13-14		
10-11														0
11-12		7	4											11
12-13	1	8	8	5	1		1							25
13-14	1	3	16	14	17	6	1							59
14-15	1	5	11	14	20	17	13	5	3	1				71
15-16		1	6	6	25	20	18	11	9	5	2			103
16-17		1	3	5	4	3	5	6	6	2	1			36
17-18			1	3	3	6	4	2	2	3	2	1		27
18-19			2		1	1	4	4	1	4	1	1		21
19-20														0
20-21					1		1				1			3
22-23								1						1
TOTAL	3	25	51	47	72	53	47	29	21	15	7	7	377	

4.1.2. ALTURAS SIGNIFICATIVAS DE OLAS

Se puede apreciar en la Fig.6 que el 75% de las olas están entre los 0.45 y 0.85 metros.

De los datos obtenidos por el olgrafo se desprende que el promedio de la altura significativa para la serie anual es 0.71 metros.

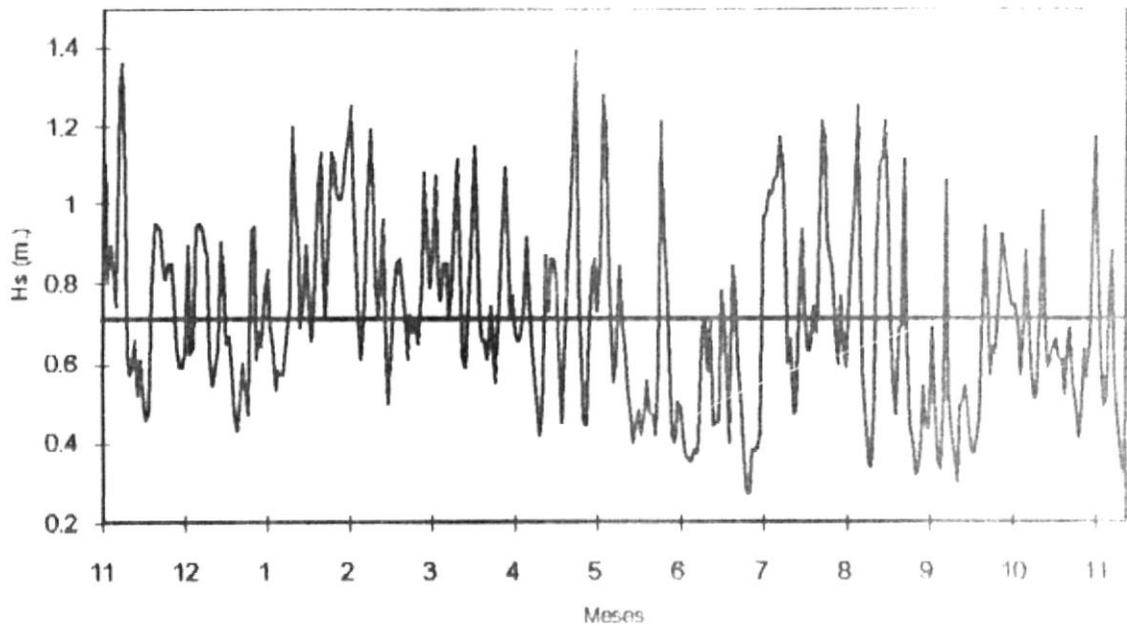
Fig.6 Histograma de Frecuencias de Alturas Significativas



En cuanto a la variación temporal de las alturas significativas se determinó que, para el período de enero a abril, el 80% de las olas estuvieron sobre el promedio

anual, mientras que para los meses de mayo a julio el 80% de las mismas estuvieron bajo este promedio, según se aprecia en la Fig 7.

Fig.7 Serie de Tiempo de Alturas Significativas de olas registradas en Salinas (Nov / 91 - Nov / 92)



En cierta forma se puede decir que la altura significativa de la ola presenta un carácter estacional, pues como se observa en dicha figura, para los meses de noviembre a mayo, un alto porcentaje de las mismas estuvo sobre la media, ocurriendo lo contrario para los meses restantes. Se exceptúa el mes de julio en que se registraron valores altos, con un promedio de 0.85 metros.

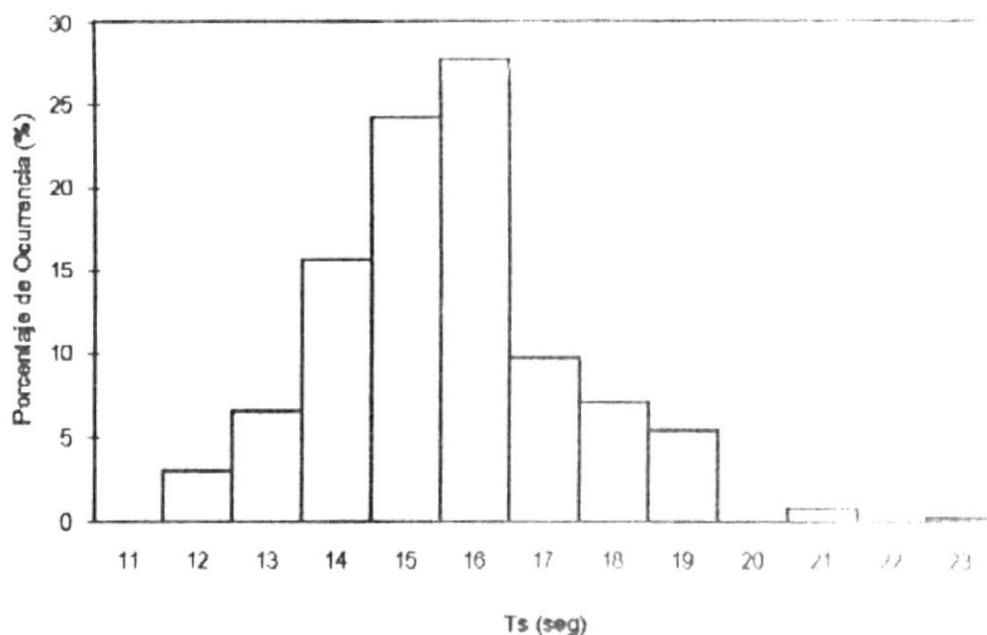
La máxima altura significativa de ola registrada por el olgrafo en el periodo de mediciones fue de 1.39 m. que correspondió al día 27 de abril de 1992.

4.1.3. PERIODOS SIGNIFICATIVOS DE OLAS

En la Fig. 8 se puede observar que aproximadamente el 70% de las olas presentan un periodo significativo en el rango de los 14 a los 16 segundos.

De la serie anual de periodo significativo se observa que el periodo significativo promedio es de 15.2 segundos, lo que significa una diferencia aproximada de 2 segundos sobre el valor obtenido visualmente en la costa.

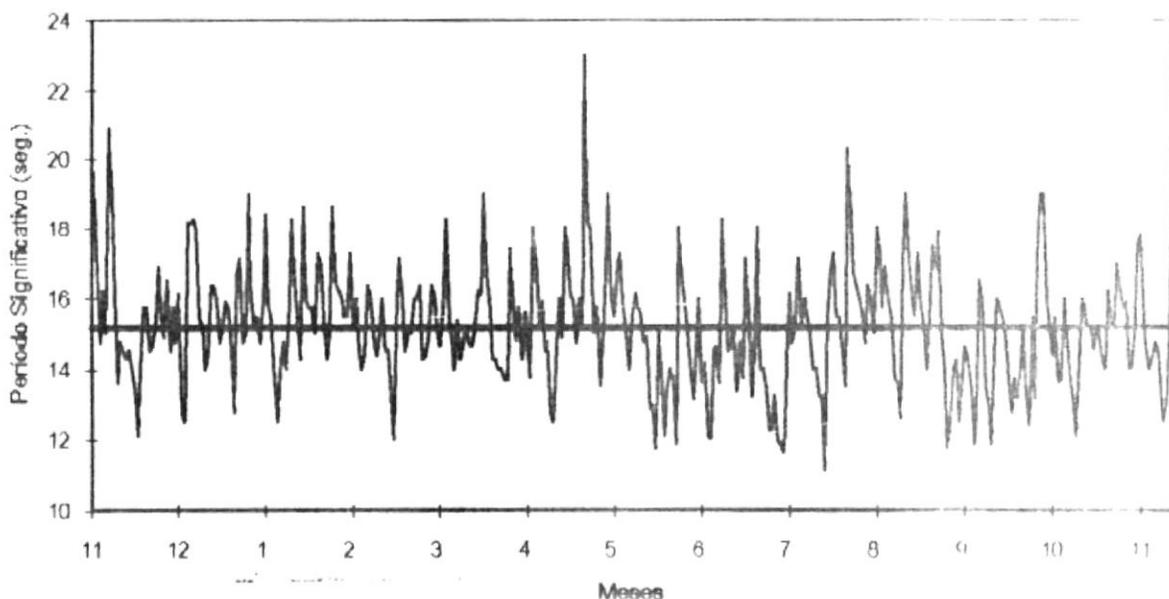
Fig.8 Histograma de Frecuencias de Periodo Significativo



Se aprecia de la Fig. 9. que para los meses de enero a mayo, el 90% de las olas mantuvieron un período por sobre los 14 segundos,

Para el resto del año por el contrario los períodos se concentraron en menor porcentaje por debajo del promedio, excepto para el mes de julio y mediados de agosto en que se colocaron por sobre los 15 segundos.

Fig.9 Serie de Tiempo de Períodos Significativos de olas registradas en Salinas (Nov / 91 - Nov / 92)



El máximo período significativo obtenido por el ológrafo fue de 23 segundos y corresponde a la medición realizada el 25 de abril de 1992. Esto permite estimar que tanto la máxima altura de ola como el máximo período, correspondieron a oleaje de tormenta que llegó al área de estudio en la última semana de Abril de 1992.

4.1.4. OLAS ROMPIENTES OBSERVADAS

4.1.4.1. ALTURAS DE OLAS ROMPIENTES

De las observaciones realizadas en la estación 1 en la costa, se obtuvieron alturas de olas que en promedio estuvieron alrededor de los 0.30 metros, mientras que para la estación 2 se encontraron alturas aún mayores, con un promedio de alrededor de 0.40 metros. Esta ligera diferencia de alturas puede deberse a la presencia de la estructura sólida que representa el rompeolas del Yacht Club de Salinas, que en alguna medida atenúa la altura de ola que llega a la estación 1.

Moradores de Salinas han indicado que eventualmente se pueden tener valores de alturas de rompientes mayores, especialmente durante las marejadas que son acompañadas de vientos de mayor intensidad.

4.1.4.2. PERIODOS DE OLAS ROMPIENTES

Las mediciones del período de las olas también fueron hechas tanto con el olígrafo como visualmente.

Aunque generalmente el período de las ondas en el mar no se ve afectado por los cambios en la profundidad, se encontró que, al igual que para las alturas, existe una diferencia entre el valor observado y el medido con el equipo, ya que este último arroja un período promedio por encima de aquel tomado en la costa.

Esta diferencia en los valores se debió al limitado número de datos visuales de olas obtenido, y al error que comete el observador, ya que el ojo humano tiende a concentrarse en las olas con períodos más cortos, descartando de esta manera aquellas de períodos largos. En la literatura científica se mencionan correlaciones matemáticas efectuadas para encontrar relaciones de ajuste entre los períodos significativos registrados por el instrumento y los observados.

El período promedio observado de olas para ambas estaciones fue aproximadamente de 13 segundos. Para obtener este valor se midieron trenes de onda formados por grupos de 11 olas y se tomó el tiempo en que estos pasaron por un mismo punto; al dividir este valor para 10 se

tiene el período promedio de la ola. Este resultado se obtuvo de observaciones hechas 1 año después, los meses de noviembre y diciembre de 1993; dos días cada mes, durante las mareas de crecida y cuadratura.

Para el presente trabajo no se ha intentado realizar algún ajuste entre las olas registradas visualmente y aquellas obtenidas con el oligrato, porque las primeras fueron tomadas en sitios diferentes al del registro instrumental de olas.

4.2. REFRACCION DE OLAS

4.2.1. EL FENOMENO FISICO

Toda onda en aguas intermedias o rasas, al entrar a un medio con profundidad diferente sufre el fenómeno de la refracción. El ángulo que forma la cresta de la ola con los contornos de profundidad, generalmente va disminuyendo a medida que ésta se acerca a la playa.

El mecanismo por el cual se produce la refracción se lo puede explicar de la siguiente manera; Cuando una ola se acerca a la costa formando un ángulo con los veriles de profundidad, una parte de la cresta de la ola estará en aguas menos profundas que otra. Como se conoce, la celeridad de la ola disminuye a medida

que disminuye la profundidad, de modo que la porción de cresta en agua más profunda avanzará más rápido que la porción de agua menos profunda provocando así que la ola trate de alinearse con los veriles de profundidad. Cabe anotar que cualquier cambio en la velocidad de la ola, provocado por ejemplo por los gradientes de las corrientes superficiales puede también producir refracción, cualquiera que sea la profundidad del agua, pero eso es caso de otro estudio.

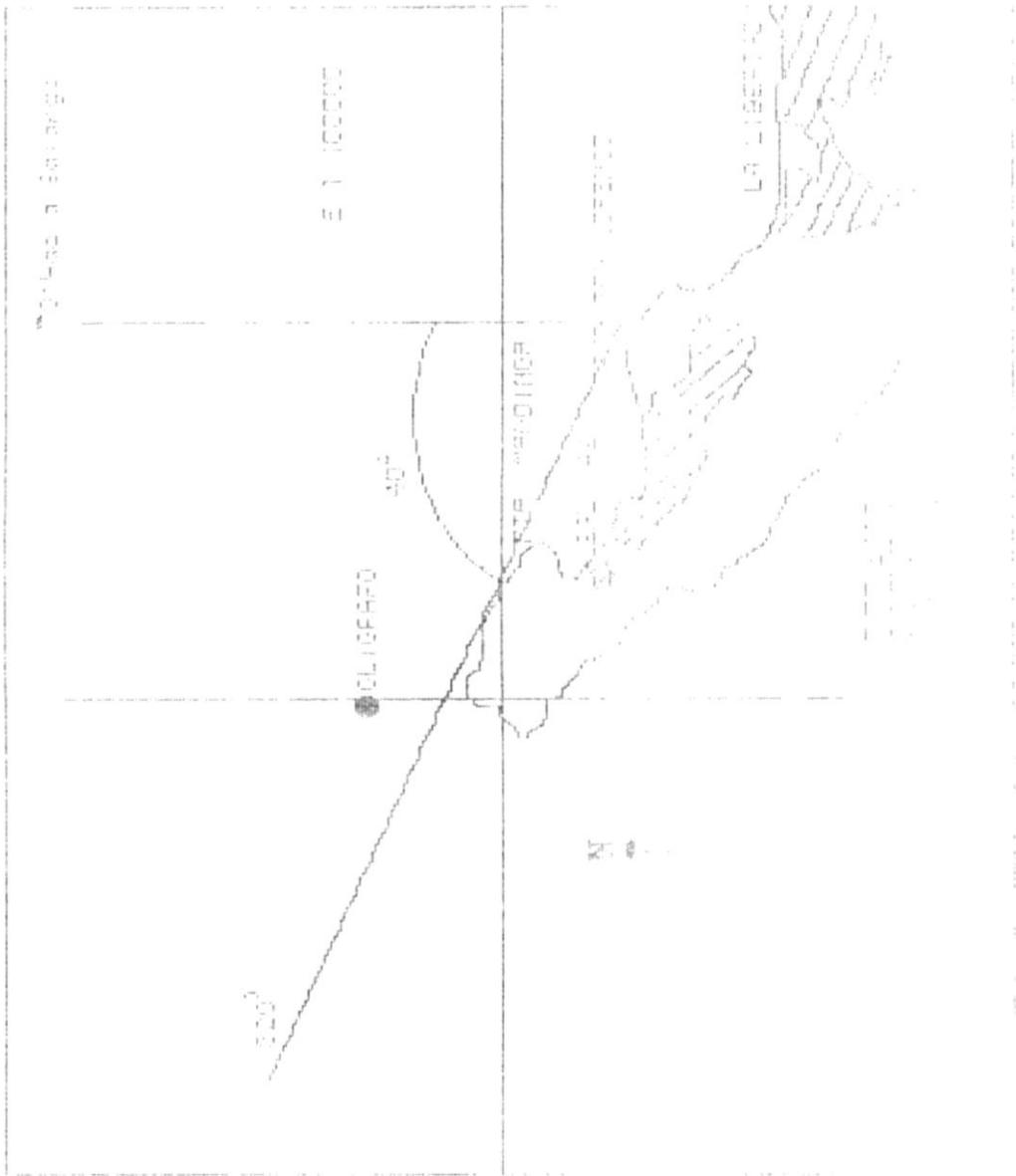
4.2.2. DIAGRAMAS DE REFRACCION PARA EL AREA

Al estar el ológrafo situado costa afuera en el punto Capó, se tiene una mayor energía y mayor rango de direcciones que la costa comprendida en el presente estudio, por lo que se han establecido los coeficientes de refracción K_r adecuados para la zona.

Para elaborar los diagramas de refracción se decidió tomar como dirección característica la de 315° por considerarla como la dirección en que la costa en particular tiene mayor exposición al oleaje refractado, especialmente de mar de leva. En la fig. 10 se muestra el rango de exposición directa al oleaje para la zona. Se tomaron como períodos representativos los de 12, 14 y 18 segundos por ser los que mayor porcentaje de ocurrencia tuvieron.

En síntesis, los pasos para elaborar un diagrama de refracción con el método dado por el SHORE PROTECTION MANUAL (1975), son los siguientes:

- Se elige una carta náutica que incluya aguas profundas, en donde se elige una línea que cumpla la relación $d/L_0 = 0,5$, donde L_0 es la longitud de onda en aguas profundas, calculada como $L_0 = 1,56 \times T^2$, donde T es el período medido en segundos y L_0 es la longitud de onda en metros.
- En un papel transparente colocado sobre la carta náutica se dibuja la cresta de la onda en forma perpendicular a la dirección escogida.
- Se construyen ortogonales que lleguen hasta el veril escogido. Se suavizan los contornos, eliminando irregularidades.
- Entre los contornos se dibuja el contorno medio que represente la profundidad media entre ambos.
- Se elabora una tabla numérica de C_2/C_1 para cada par de veriles, donde C_2 es la celeridad de la ola en el veril de aguas más profundas que la celeridad de la ola en aguas menos profundas C_1 .



- Usando la plantilla provista para el método y siguiendo los pasos para su uso, explicados en el SHORE PROTECTION MANUAL VOLUME I, se graficaron los rayos que representan el cambio de dirección en el oleaje.

Una vez hecho esto se calcularon los coeficientes de refracción promedio (K_r) para cada una de los períodos estudiados; esto se lo hizo usando la relación

$$K_r = \sqrt{\frac{b_0}{b}}$$

Donde b_0 es la separación entre ortogonales en aguas profundas, y b es la separación de las ortogonales en el sitio de interés en aguas rasas. El K_r promedio se obtiene simplemente promediando los distintos valores de K_r entre cada par de ortogonales hasta abarcar toda la extensión de la costa en estudio para nuestro caso desde Punta Mandinga hasta Punta San Lorenzo. Las figuras 11, 12 y 13 muestran los diagramas de refracción elaborados para el área de estudio.

Los coeficientes de refracción K_r encontrados evidencian una divergencia de la energía del oleaje que llega a la costa en mención; los mismos que son presentados en la tabla III.

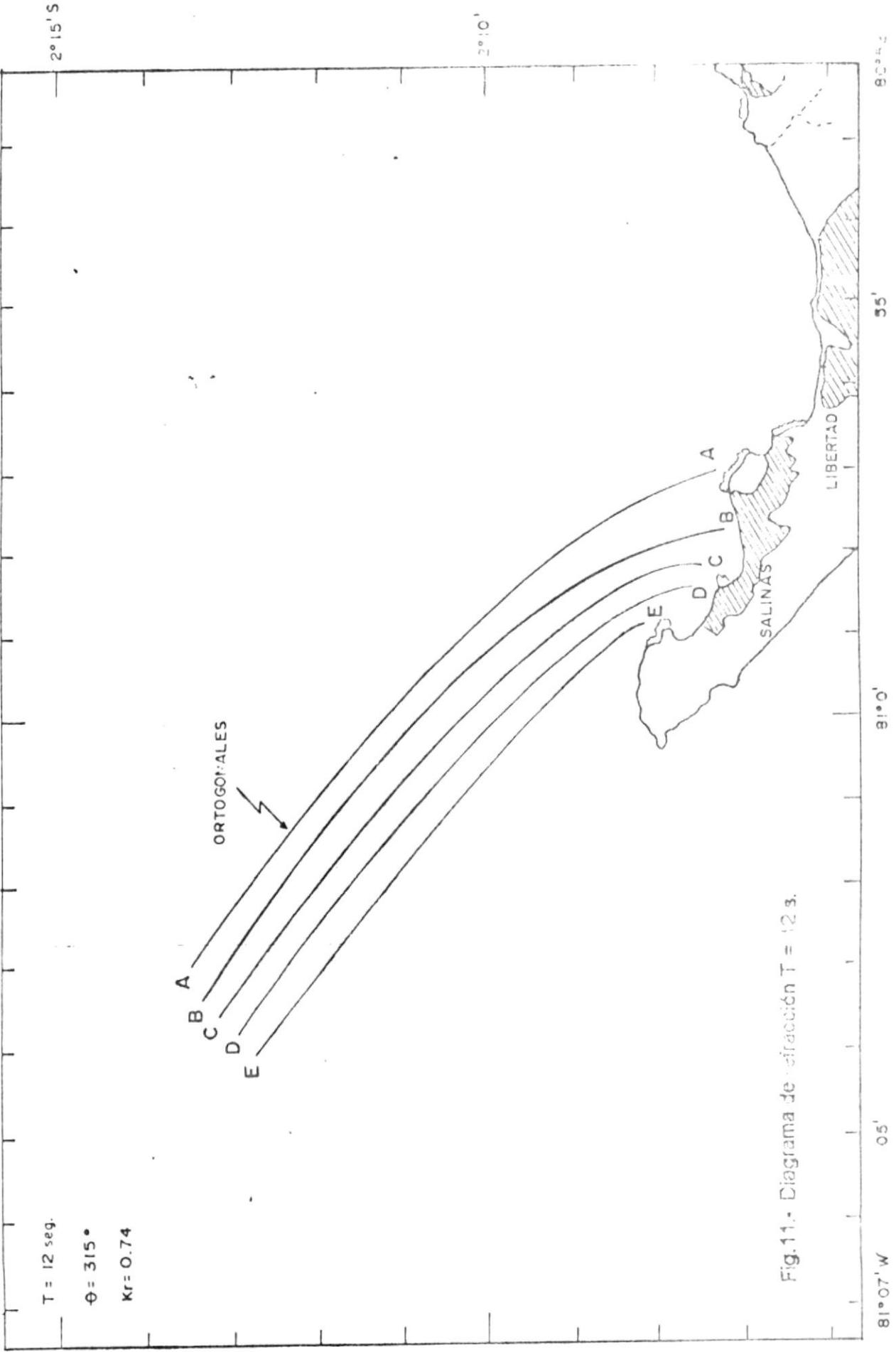


Fig.11.- Diagrama de refracción $T = 12 \text{ s.}$

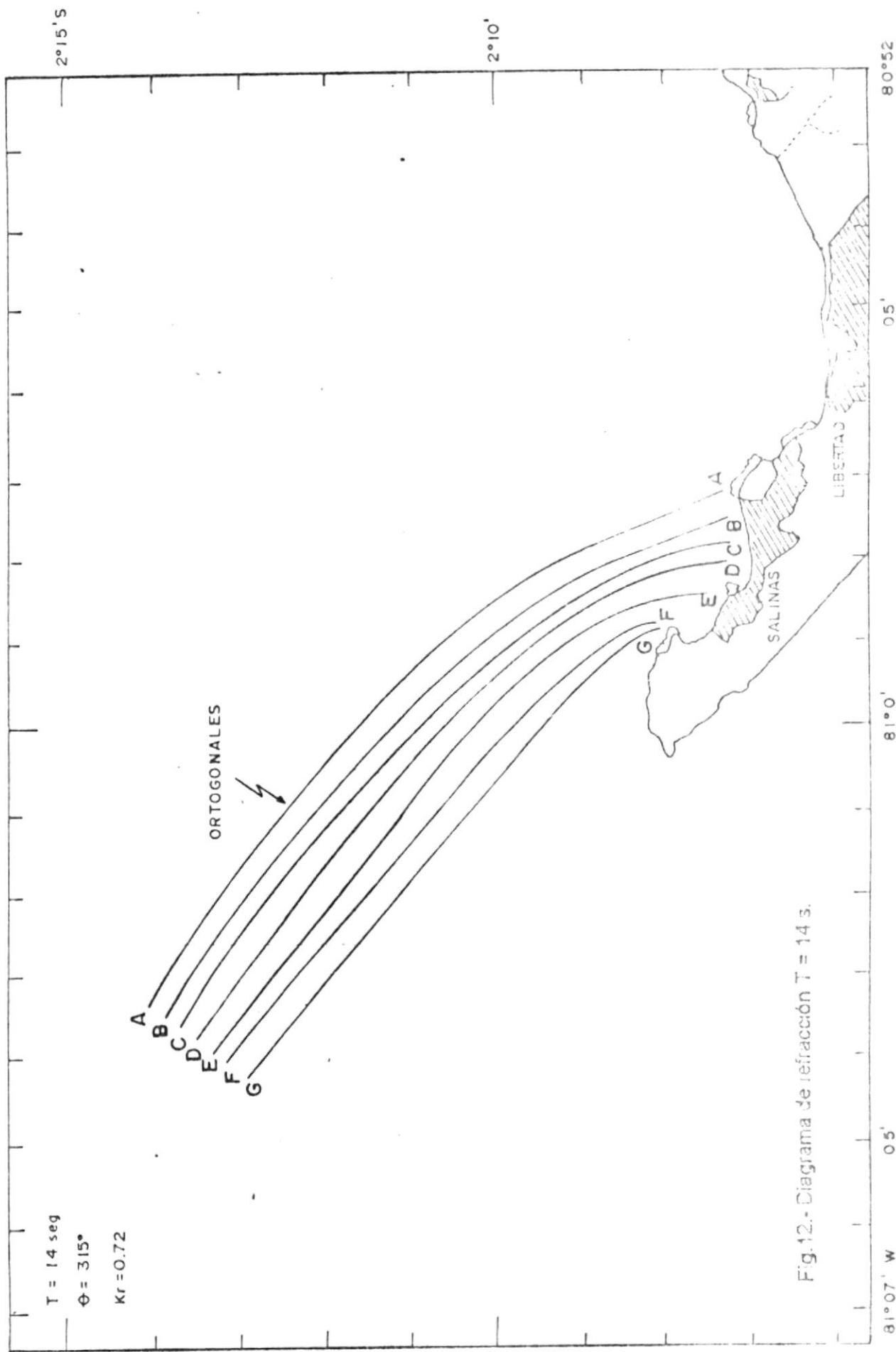


Fig. 12.- Diagrama de refracción $T = 14 \text{ s.}$

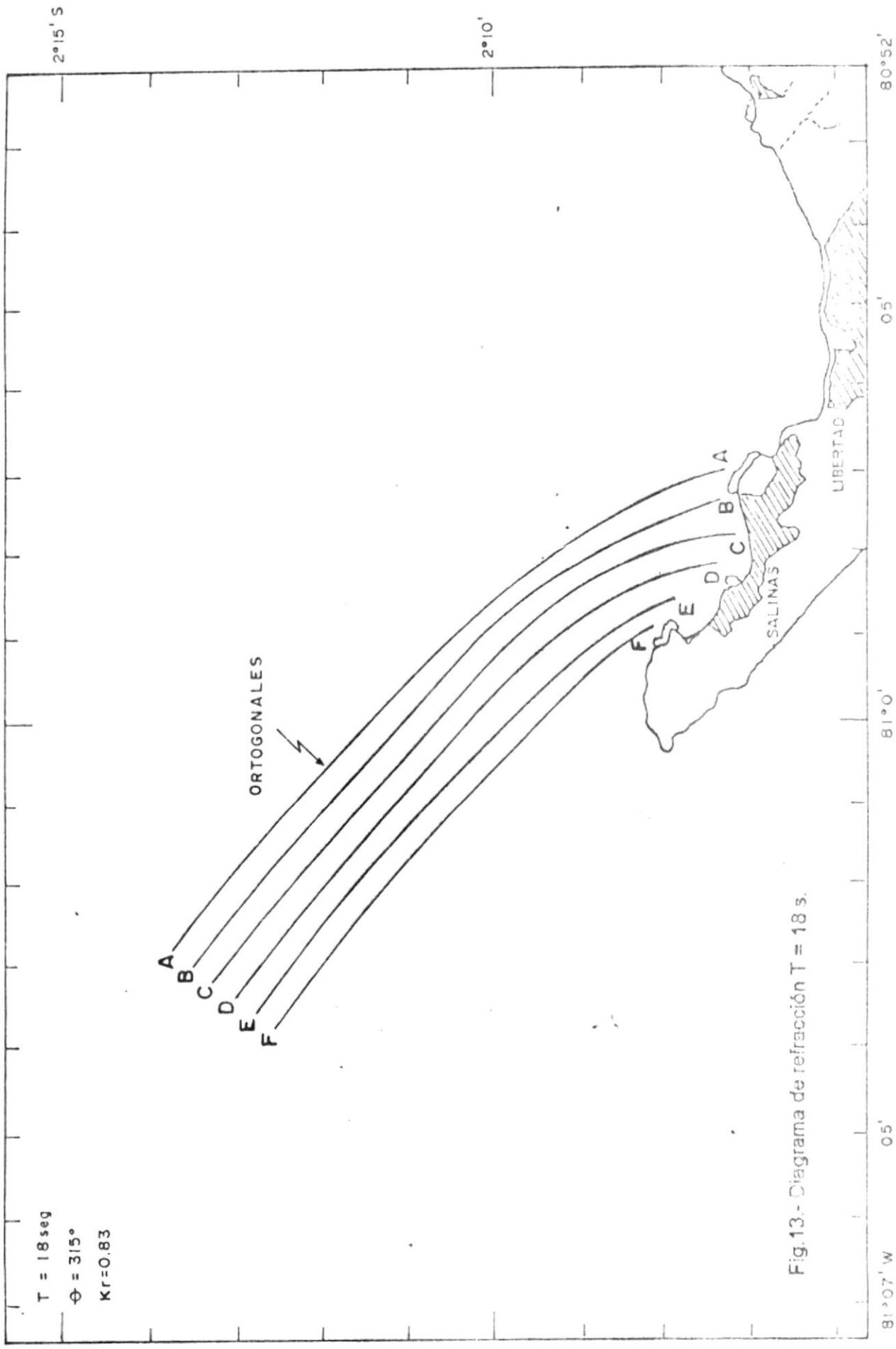


Tabla III. COEFICIENTES DE REFRACCIÓN PARA EL AREA DE SALINAS

$$\Theta_0 = 315^\circ$$

<u>PERIODO</u>	<u>Kr</u>
12 segundos	0.74
14 segundos	0.82
18 segundos	0.88

En casi toda el área se nota la divergencia de ortogonales, lo que indica que la densidad de energía del oleaje proveniente de aguas profundas se esparce en el interior de la bahía, produciendo alturas de olas menores que en zonas profundas. En Pta. Viejita se nota por el contrario la convergencia de ortogonales, lo que da lugar a la presencia de olas mayor altura, debido a la concentración de la energía del oleaje que proviene de aguas profundas.

Los valores de Kr, en conjunto con los del coeficiente de refracción que se presenta a continuación, podrían servir para efectuar transformaciones de la altura de las olas desde el sitio de mediciones hasta zonas cercanas a la costa en la bahía de Salinas, en caso de que fuese de interés.

4.3. DIFRACCIÓN DEL OLEAJE

Para efectuar una estimación gruesa del posible efecto de la Puntilla de Santa Elena sobre el oleaje incidente, se realizó un diagrama de difracción, usando el método de plantillas propuesto en el SHORE PROTECTION MANUAL. Se utilizó la dirección de aproximación del oleaje de 297° y período de 15 segundos, encontrándose, según se observa en la fig.14, que entre Pta. Mandinga y Pta. Chipipe el coeficiente de difracción K_d es menor a 0.2, lo que indica el grado de protección que brinda la Puntilla a la bahía de Salinas, expresada por alturas de olas con una magnitud del 20% de las olas incidentes. Cabe anotar que esta es una aproximación bastante baja a lo que ocurre en la zona, pues el método asume muchos elementos difíciles de modelar para la costa en cuestión.

4.4. OLEAJE PRODUCIDO POR VIENTO LOCAL

Una vez que el viento empieza a soplar en una zona oceánica en calma, se considera que existen dos fases principales en el proceso de generación y crecimiento de las olas del mar de viento. Primero, las pequeñas fluctuaciones de presión debido al flujo turbulento del aire que sopla sobre el agua, son suficientes para producir pequeñas perturbaciones en la superficie del mar, las mismas que continúan creciendo a medida que entran en resonancia con las fluctuaciones de presión.

La segunda fase de desarrollo comienza cuando las pequeñas olas han alcanzado un tamaño suficiente como para perturbar el normal flujo del aire sobre la superficie, dando

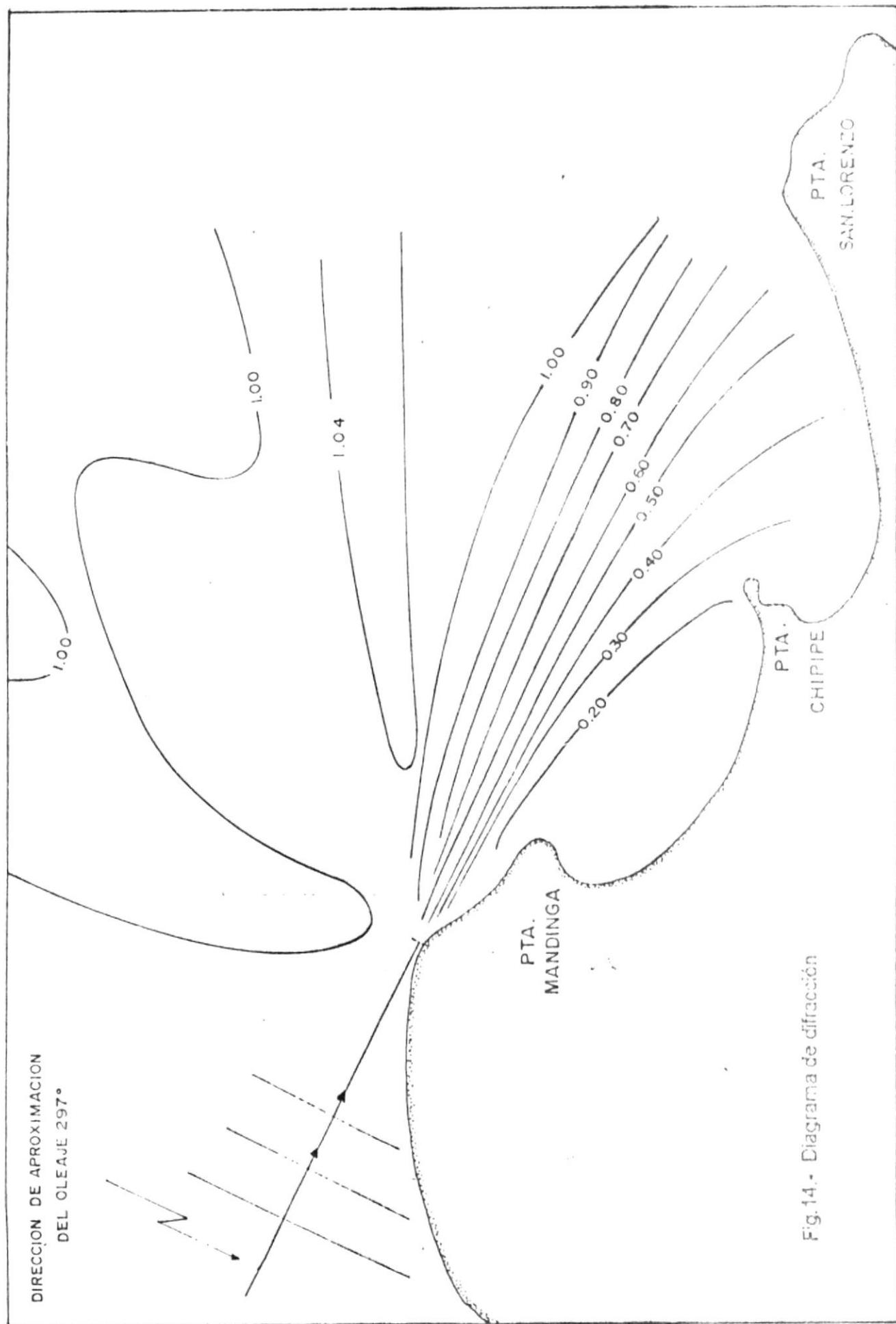


Fig.14.- Diagrama de difracción

el viento impulsa las olas, las cuales están en función de la intensidad del mismo.

El proceso de propagación se basa en el principio de que toda perturbación en el agua tiende a alejarse del punto en que ésta fue generada, con un período T y longitud de onda L , que dependen directamente del mecanismo generador. La velocidad $C = LT$ con que se desplaza la ola por lo general, no es la misma que la velocidad del grupo C_g (velocidad a la que se desplaza la energía), excepto en aguas muy poco profundas, en donde por efectos del fondo ambas son iguales.

El viento que sopla sobre la bahía y áreas cercanas, generalmente en forma de Föhn, produce un oleaje local. Para determinarlo a partir de partir de datos conocidos, de viento se usaron las siguientes ecuaciones presentadas por el "Shore Protection Manual" para predicción de olas:

$$H_s = 0.283 \frac{U^2}{g} \operatorname{Tanh} \left[0.530 \left[\frac{gd}{U^2} \right]^{\frac{1}{4}} \right] \operatorname{Tanh} \left[\frac{0.00565 \left[\frac{gF}{U^2} \right]^{\frac{1}{2}}}{\operatorname{Tanh} \left[0.530 \left[\frac{gd}{U^2} \right]^{\frac{1}{4}} \right]} \right]$$

$$T_s = 7.54 \frac{U}{g} \operatorname{Tanh} \left[0.833 \left[\frac{gd}{U^2} \right]^{\frac{1}{4}} \right] \operatorname{Tanh} \left[\frac{0.0379 \left[\frac{gF}{U^2} \right]^{\frac{1}{2}}}{\operatorname{Tanh} \left[0.833 \left[\frac{gd}{U^2} \right]^{\frac{1}{4}} \right]} \right]$$

siendo:

U	Velocidad del viento en superficie (m/s)
d	Profundidad media de la zona de interés (m)
F	Alcance del viento (m)
g	Aceleración de la gravedad (m/s ²)
H_s	Altura Significativa de olas (m)
T_s	Período Significativo de olas (s)

Se calcularon alturas y períodos significativos de olas para todos los meses del año, con los valores de la magnitud promedio y máxima del viento en la estación de Calles, indicados en la **tabla I**, los cuales representan básicamente vientos locales, además, no se ha hecho corrección de altura para llevarlos a la superficie del mar, de ahí la limitación de esta aproximación.

Se utilizó como distancia de alcance del viento 15 millas náuticas, según propone Zúñiga en su Tesis de Grado, que representan aproximadamente 30 Km. costa afuera, donde se tomó la profundidad promedio del sector.

Los resultados constan en la **Tabla IV** para $U_{\text{promedio viento}}$ y **Tabla V** para $U_{\text{max viento}}$, observándose que los valores calculados de altura significativa están en los rangos de aquellos observados en la zona de estudio, pues éstos se encuentran entre 0,10 y 0,17 m. cuando ocurre la velocidad promedio $U_{\text{promedio viento}}$, y entre 0,69 y 1,37 m. para la velocidad máxima $U_{\text{max viento}}$.

Cabe anotar que el método para predicción de olas a partir de los datos del viento da resultados aproximados, sin embargo, es una herramienta aceptada de uso en la aplicación en la práctica de la ingeniería costera.

Tabla IV. ALTURA Y PERIODO SIGNIFICATIVO DE OLAS A PARTIR DE $\bar{U}_{prom. viento}$

MES	$\bar{U}_{prom. viento}$ (m/s)	Hs (m.)	Ts (s)
ENERO	3.70	0.26	2.2
FEBRERO	3.29	0.23	2.1
MARZO	3.40	0.24	2.1
ABRIL	2.98	0.20	1.9
MAYO	3.40	0.24	2.1
JUNIO	4.01	0.29	2.3
JULIO	4.22	0.32	2.4
AGOSTO	3.29	0.23	2.1
SEPTIEMBRE	4.12	0.31	2.4
OCTUBRE	4.22	0.32	2.4
NOVIEMBRE	4.22	0.32	2.4
DICIEMBRE	4.12	0.31	2.4

Fuente: Atlas Meteorológico del Mar Territorial Ecuatoriano, INOCAR 1977

Tabla V. ALTURA Y PERIODO SIGNIFICATIVO DE OLAS A PARTIR DE $U_{\text{max viento}}$

MES	$U_{\text{max viento}}$ (m/s)	Hs (m.)	T_s (s)
ENERO	8.23	0.69	3.5
FEBRERO	8.23	0.69	3.5
MARZO	8.23	0.69	3.5
ABRIL	10.29	0.86	3.8
MAYO	13.38	1.12	4.2
JUNIO	10.29	0.86	3.8
JULIO	10.29	0.86	3.8
AGOSTO	8.23	0.69	3.5
SEPTIEMBRE	8.23	0.69	3.5
OCTUBRE	12.35	1.04	4.1
NOVIEMBRE	14.40	1.21	4.3
DICIEMBRE	16.46	1.37	4.5

Fuente: Atlas Meteorológico del Mar Territorial Ecuatoriano. INOCAR 1977

4.5. REGIMEN DE OLAS

4.5.1. METODOS GRAFICOS PARA LA EXTRAPOLACION DE ALTURA SIGNIFICATIVA

Una de las maneras de predecir la altura de la ola requerida principalmente para propósitos de diseño es el uso de métodos gráficos, los mismos que sirven para calcular parámetros importantes en las consideraciones de diseño de estructuras marinas como lo son la altura significativa y la altura máxima de ola que se espera en una zona determinada. En el presente estudio se aplicarán los métodos gráficos de Mayencon, Draper y Weibull, por ser los más conocidos y usados en distintos estudios. Todos estos métodos se basan en la obtención de gráficas graduadas a escalas propuestas por los distintos autores, con el fin de obtener una recta que ajuste los datos de altura significativa de olas graficados y extrapolar la misma hacia valores con periodos de retorno de varios años, más allá del periodo de medición de los datos usados.

4.5.2. METODO GRAFICO DE MAYENCON

Este método se basa en utilización de papel semi-log para graficar en la escala logarítmica los porcentajes de excedencia de altura significativa y en escala lineal los datos de altura significativa, y así obtener el mejor ajuste de la recta

de extrapolación. En la Fig.15 se presenta el ajuste de los datos de olas de Salinas mediante este método.

Adicionalmente, y en base a las probabilidades de ocurrencia se han graficado los puntos con intervalo de recurrencia (Periodo promedio en que se repite una altura significativa de ola dada) de 1,10 y 100 años, para obtener las máximas alturas de ola esperadas en esos lapsos. Esto se logra calculando las probabilidades de ocurrencia para los distintos periodos de interés, de la siguiente manera:

El olígrafo se programó para obtener un dato de altura significativa (Hs) cada tres horas (8 diarios), pero por haber sido así programado, entregó un dato promedio diario de Hs, con los cuales se graficó, por lo que para la extrapolación gráfica, la ola con intervalo de recurrencia de 1 año ("ola anual") tendrá una probabilidad de ocurrencia aproximada de $1/372$, pues la ola anual tendría una probabilidad de $1/365$, pero la aproximación aquí usada se puede asumir como válida. La de 10 años de intervalo tendrá $1/372/10$ de probabilidad de ocurrencia y la de 100 años tendrá $1/372/100$ de probabilidad de ocurrir; Se utiliza en el denominador el número de datos N mas 1, de acuerdo a la práctica aceptada en el cálculo de las probabilidades. En la **Tabla VI** se presentan las alturas significativas de olas con intervalos de recurrencia de 1 (ola anual) , 10 y 100 años. La ola anual esperada con este método sería de 2.7 m.

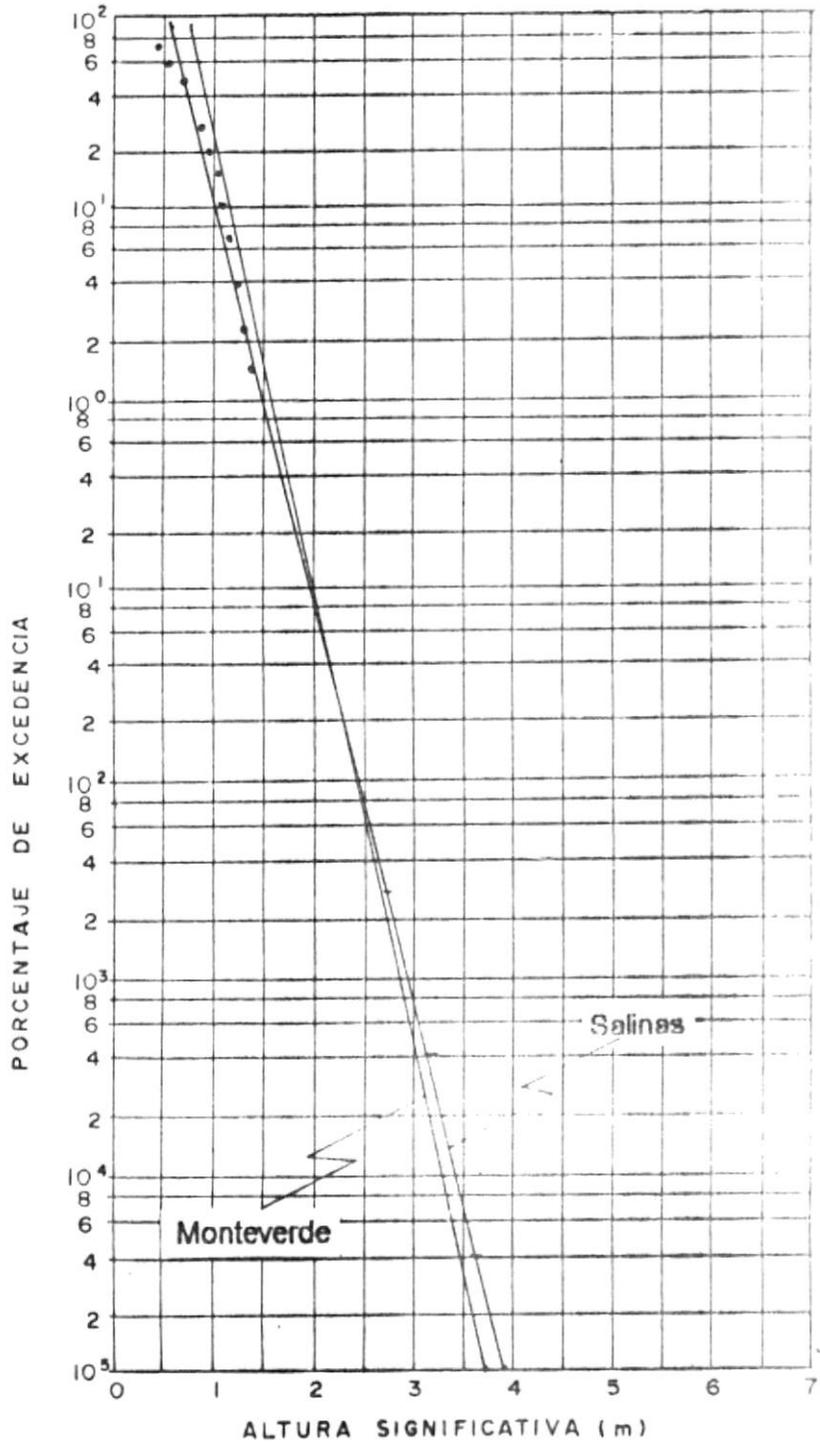


Fig.15 .- Método gráfico de Mayencon

4.5.3. METODO GRAFICO DE DRAPER

Este método gráfico propone que si se usa papel log-normal probabilístico y se grafican las probabilidades de excedencia de altura significativa vs. altura significativa se obtendrá un patrón lineal de los puntos representados. Los datos registrados en Salinas fueron ajustados a la recta indicada en la Fig. 16.

Procediendo de igual forma que en el método anterior, es decir, calculando las probabilidades de excedencia para intervalos de recurrencia de 1 (ola anual), 10 y 100 años y colocándolas sobre la recta, se puede determinar la altura significativa que se puede esperar para dichos intervalos de recurrencia. Mediante este método, en la Tabla VI se presentan éstas alturas, la ola anual esperada será de 3 m.

4.5.4. METODO GRAFICO DE WEIBULL

Este autor propone usar papel probabilístico de Weibull, el mismo de cuenta de escalas graduadas con H_s o indistintamente $\ln H_s$ y con $\ln(-\ln(1-P(H_s)))$,

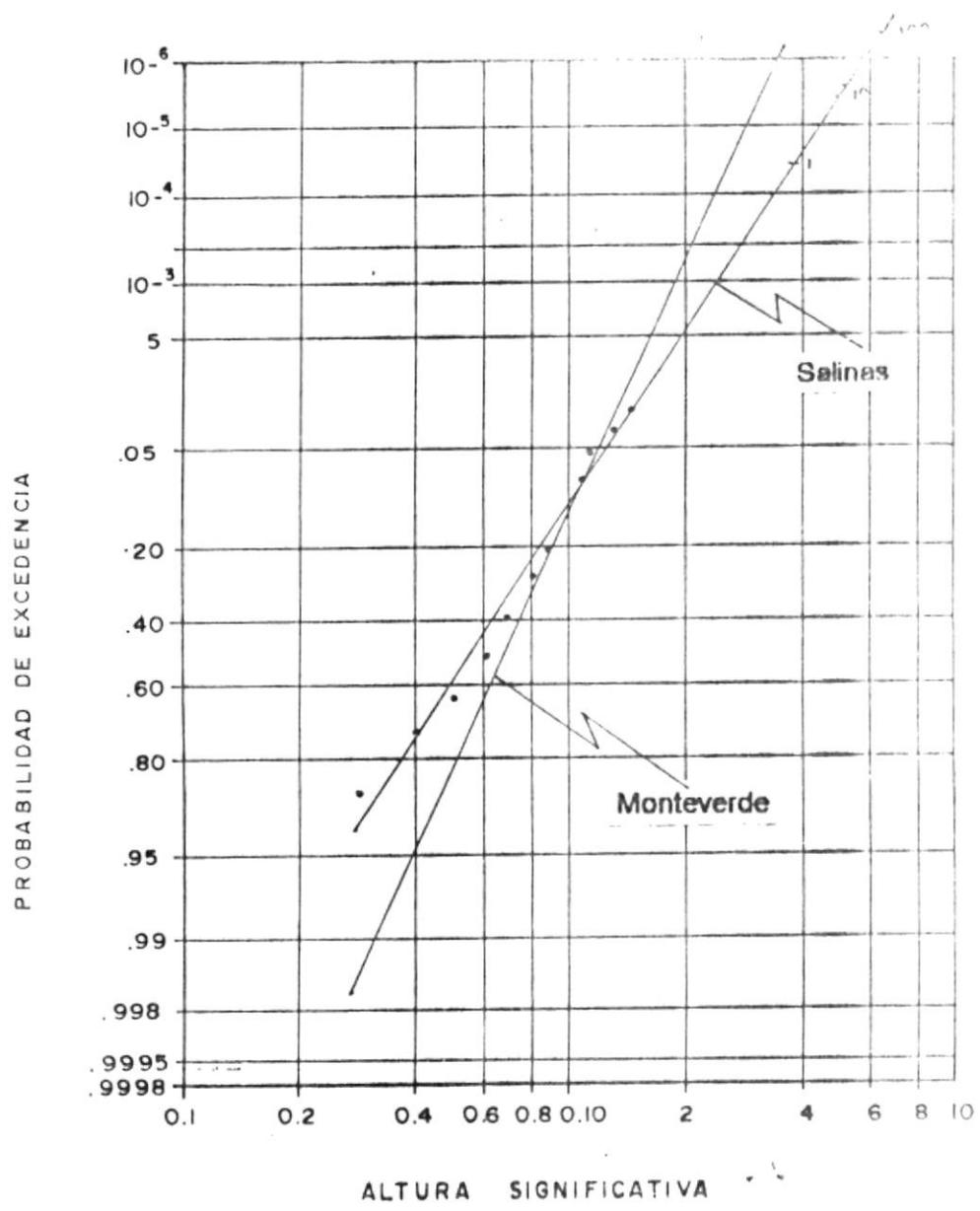


Fig.16.- Método gráfico de Draper

donde $(1-P(H_s))$ es la probabilidad de excedencia de altura significativa. En la Fig.17 se presenta la recta de ajuste determinada por este método

De igual manera que en los métodos anteriores, una vez determinada la recta de ajuste se extrapola hacia valores con probabilidades pequeñas característico de aquellos intervalos de recurrencia mayores, lo cual consta en la Tabla VI. La altura de la ola anual para Salinas, de acuerdo a este método sería aproximadamente 2.2 m.

4.5.5. DISTRIBUCIÓN PROBABILÍSTICA DE WEIBULL

Adicionalmente a los métodos gráficos es posible usar otros elementos de pronóstico como son las distribuciones de probabilidad, una de las más conocidas y aplicadas en nuestro medio es la de Weibull. Este método utiliza una distribución probabilística que relaciona la altura significativa con su probabilidad de excedencia, mediante la siguiente relación:

$$P(H_s) = e^{-\left(\frac{H_s - A}{B}\right)^C}$$

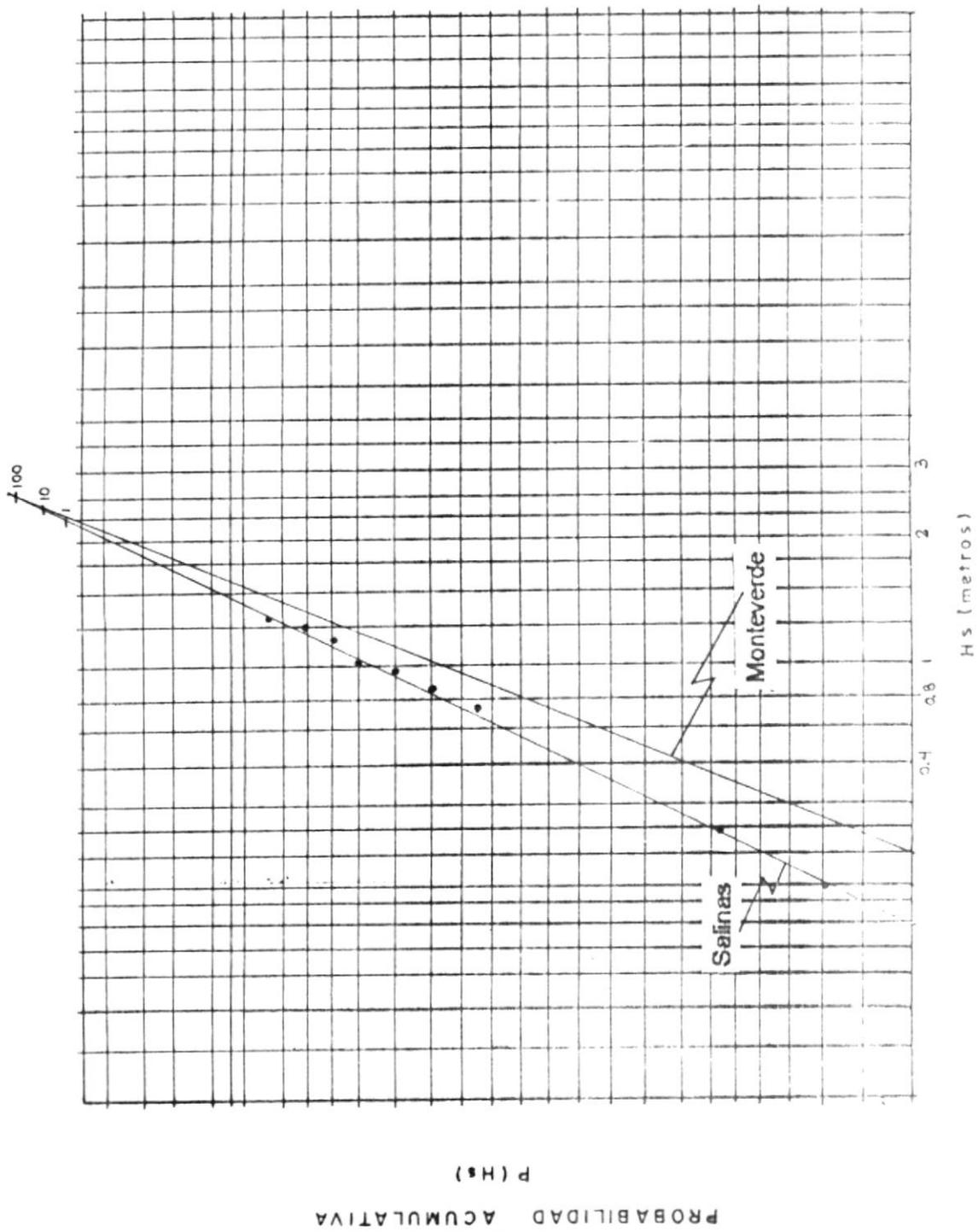


Fig.17.- Metodo grafico de Weibull

Donde e es la base del logaritmo natural, A Es la condición mínima de oleaje para el área de estudio, se asume con bastante aproximación que para la costa ecuatoriana esta es igual a cero por considerarse que la condición mínima de oleaje es la calma. Los factores B y C , factor de escala y factor de forma respectivamente, pueden ser encontrados resolviendo el sistema de dos ecuaciones que se puede formar calculando los respectivos valores de probabilidad de excedencia para dos valores de altura significativa observados.

Después de resolver el sistema para B y C se encontró que la distribución de probabilidad de Weibull aplicable para el área de estudio sería:

$$P(H_s) = e^{-\left(\frac{H_s}{0.69}\right)^{2.02}}$$

De esta manera se puede también determinar el valor de altura significativa, a partir de la probabilidad de excedencia que ésta tenga, o viceversa. Entonces, despejando H_s de la ecuación tenemos:

$$H_s = [-0.47 \ln(P(H_s))]^{0.495}$$

De esta manera encontramos que la ola anual en función de la probabilidad de excedencia de la misma sería de 1.66 m. Los valores de altura significativa esperados para períodos de ocurrencia más largos se presentan en la tabla

Tabla VI.

Tabla VI. Resultados de pronósticos de alturas significativas de olas

METODOS DE PRONOSTICO	INTERVALO DE OCURRENCIA		
	1 Año	10 Años	100 Años
Método gráfico de Draper	3.0 m.	4.0 m.	5.0 m.
Método gráfico de Mayencon	2.7 m.	3.3 m.	3.7 m.
Metodo gráfico de Weibull	2.2 m.	2.8 m.	3.0 m.
Distribución probabilística Weibull	1.66 m.	1.95 m.	2.21 m.

De los valores encontrados a partir de los cuatro métodos de ajuste o predicción utilizados, los de Weibull (gráfico y probabilístico), tienen mayor relación con los datos obtenidos por el ológrafo, por lo que cualquiera de estos podrían ser utilizados en el área de Salinas.

CONCLUSIONES

1. De las mediciones de olas registradas en Banco-Copé durante un año, la máxima altura significativa de ola registrada fue de 1.39 metros, y el máximo período significativo de ola fue de 23 segundos. El promedio de altura y período significativo fue de 0.71 metros y 15.2 segundos respectivamente.
2. El análisis de refracción de las olas estableció valores de K_r entre 0.72 y 0.88, indicando que el efecto de refracción en la bahía de Salinas, determina que para este efecto las alturas de olas sean menores en un 20% a aquellas que provienen de aguas profundas.
3. El análisis de difracción determina valores bajos de K_d , de hasta 0.2, lo que indica que la Puntilla de Santa Elena puede atenuar la altura de ola hasta en 80% (resultado obtenido en base a un aproximación muy baja, pues el método exige modelar la costa con consideraciones bastante especiales).
4. El área de Salinas está expuesta al efecto directo de las olas producidas por el viento local lo que lo convierte en un aspecto importante para el estudio de las olas en la zona. De los análisis de las estadísticas de viento, se obtuvieron los valores de H_s y T_s , calculados a partir de la velocidad promedio y máxima del viento. Así, la máxima altura significativa de ola ocurriría durante diciembre con una altura posible de 1.37 metros.

5. Del análisis de estadísticas de largo período realizado por los métodos de Mayenroux y Draper y Weibull, se encontró que los ajustes y predicciones por extrapolación realizadas por los métodos de Mayenroux y Weibull para $\lambda = 10$ y $\lambda = 100$, presentan la mayor coincidencia con lo que se podría esperar en la realidad para intervalos de 1, 10 y 100 años. Así, la ola con período de retorno de 1 año estaría entre 1.93 y 2.49 metros, la ola con período de retorno de 10 años estaría entre 2.18 y 3.30 metros y la ola con período de retorno de 100 años estaría entre 2.41 y 3.70 metros; esto para el punto de mediciones, es decir Banco-Copé.

6. Finalmente, es necesario aclarar las limitaciones y el cuidado con que deben ser tratados los resultados encontrados en este trabajo, pues la serie de datos con que se ha trabajado es de aproximadamente un año, lo cual no permite establecer conclusiones definitivas respecto a lo que ocurre en la zona.

RECOMENDACIONES

Por la importancia turística de la zona y la necesidad de manejar adecuadamente la playa y zona acuática de la bahía, se recomienda continuar con el programa de mediciones, proponiéndose estudiar problemas del análisis direccional de la energía incidente sobre la bahía, para efectos de estudios costeros y de circulación en la zona.

Concurrente a lo anterior se recomienda el monitoreo y observación de altura rompiente, circulación y pendiente de playa, así como mediciones de viento simultáneas durante un período mayor que 1 año.

ANEXO

TABLA DE DATOS DE ALTURA Y PERIODO SIGNIFICATIVO EN BANCO COFE
PERIODO: 6-Nov-1991 a 12-Nov-1992
FUENTE: INSTITUTO OCEANOGRAFICO DE LA ARMADA (Dpto. Oceanografía Física)

ANO	MES	DIA	Altura Significativa (m.)	Periodo Significativo (s.)
1991	11	6	0.64	20.25
1991	11	7	1.10	18.63
1991	11	8	0.81	16.75
1991	11	9	0.89	14.75
1991	11	10	0.83	16.25
1991	11	11	0.74	15.00
1991	11	12	1.30	20.88
1991	11	13	1.36	19.00
1991	11	14	1.09	16.13
1991	11	15	0.63	13.63
1991	11	16	0.57	14.75
1991	11	17	0.59	14.50
1991	11	18	0.66	14.25
1991	11	19	0.52	14.50
1991	11	20	0.61	14.00
1991	11	21	0.50	13.25
1991	11	22	0.46	12.13
1991	11	23	0.48	14.50
1991	11	24	0.78	15.75
1991	11	25	0.95	15.75
1991	11	26	0.94	14.50
1991	11	27	0.93	14.67
1991	11	28	0.85	15.38
1991	11	29	0.81	16.88
1991	11	30	0.85	15.75
1991	12	1	0.85	14.88
1991	12	2	0.76	16.50
1991	12	3	0.65	14.50
1991	12	4	0.59	15.75
1991	12	5	0.59	14.75
1991	12	6	0.62	16.13
1991	12	7	0.89	12.75
1991	12	8	0.62	12.50
1991	12	9	0.64	16.13
1991	12	10	0.94	18.13
1991	12	11	0.95	13.75
1991	12	12	0.93	18.00
1991	12	13	0.89	15.50
1991	12	14	0.87	15.25
1991	12	15	0.62	14.00

ANO	MES	DIA	Altura Significativa (m.)	Periodo Significativo (%)
1991	12	16	0.54	14.38
1991	12	17	0.59	16.38
1991	12	18	0.63	16.38
1991	12	19	0.90	16.00
1991	12	20	0.81	14.75
1991	12	21	0.65	15.13
1991	12	22	0.67	15.88
1991	12	23	0.55	15.75
1991	12	24	0.48	14.50
1991	12	25	0.43	12.75
1991	12	26	0.49	16.63
1991	12	27	0.60	17.13
1991	12	28	0.53	11.75
1991	12	29	0.47	15.00
1991	12	30	0.93	19.00
1991	12	31	0.94	16.38
1992	1	1	0.61	15.25
1992	1	2	0.68	15.50
1992	1	3	0.64	14.75
1992	1	4	0.77	15.88
1992	1	5	0.83	18.38
1992	1	6	0.70	15.88
1992	1	7	0.65	15.50
1992	1	8	0.53	13.75
1992	1	9	0.58	12.50
1992	1	10	0.57	14.25
1992	1	11	0.57	14.75
1992	1	12	0.66	14.00
1992	1	13	0.74	15.25
1992	1	14	1.20	18.25
1992	1	15	1.01	16.50
1992	1	16	0.91	15.50
1992	1	17	0.69	14.25
1992	1	18	0.76	18.63
1992	1	19	0.89	16.00
1992	1	20	0.79	15.75
1992	1	21	0.66	15.75
1992	1	22	0.74	15.00
1992	1	23	1.04	17.25
1992	1	24	1.13	17.00
1992	1	25	0.89	15.50
1992	1	26	0.72	14.25
1992	1	27	0.88	14.88
1992	1	28	1.13	19.63
1992	1	29	1.10	16.50

ANO	MES	DIA	Altura Significativa (m.)	Período Significativo (s.)
1992	1	30	1.03	16.25
1992	1	31	1.01	16.00
1992	2	1	1.03	15.50
1992	2	2	1.12	15.50
1992	2	3	1.18	17.25
1992	2	4	1.25	15.25
1992	2	5	1.03	16.00
1992	2	6	0.86	11.50
1992	2	7	0.71	14.00
1992	2	8	0.61	14.38
1992	2	9	0.75	16.38
1992	2	10	0.96	16.00
1992	2	11	1.19	14.75
1992	2	12	1.04	14.38
1992	2	13	0.80	15.00
1992	2	14	0.72	16.00
1992	2	15	0.79	14.50
1992	2	16	0.96	14.50
1992	2	17	0.64	13.25
1992	2	18	0.50	12.00
1992	2	19	0.62	16.00
1992	2	20	0.78	17.13
1992	2	21	0.85	16.00
1992	2	22	0.86	14.50
1992	2	23	0.79	15.00
1992	2	24	0.72	15.13
1992	2	25	0.61	16.00
1992	2	26	0.72	16.00
1992	2	27	0.68	16.23
1992	2	28	0.71	14.25
1992	3	1	0.65	14.38
1992	3	2	0.81	14.88
1992	3	3	1.08	16.38
1992	3	4	0.93	16.00
1992	3	5	0.79	15.25
1992	3	6	0.86	14.63
1992	3	7	1.07	15.63
1992	3	8	0.83	18.25
1992	3	9	0.76	15.50
1992	3	10	0.85	14.88
1992	3	11	0.85	14.00
1992	3	12	0.71	15.38
1992	3	13	0.78	14.25
1992	3	14	0.96	14.75
1992	3	15	1.11	15.25

ANO	MES	DIA	Altura Significativa (m.)	Periodo Significativo (°)
1992	3	16	0.83	14,75
1992	3	17	0.62	14,63
1992	3	18	0.59	15,25
1992	3	19	0.75	16,25
1992	3	20	0.88	16,13
1992	3	21	1.15	19,00
1992	3	22	0.97	16,75
1992	3	23	0.72	15,75
1992	3	24	0.66	14,25
1992	3	25	0.66	11,25
1992	3	26	0.61	11,00
1992	3	27	0.74	14,00
1992	3	28	0.64	13,71
1992	3	29	0.55	13,75
1992	3	30	0.70	17,38
1992	3	31	0.91	16,27
1992	4	1	1.09	14,82
1992	4	2	0.96	15,75
1992	4	3	0.71	14,25
1992	4	4	0.77	15,63
1992	4	5	0.68	14,75
1992	4	6	0.66	13,75
1992	4	7	0.67	18,00
1992	4	8	0.74	17,13
1992	4	9	0.91	15,25
1992	4	10	0.78	15,88
1992	4	11	0.66	14,50
1992	4	12	0.56	14,75
1992	4	13	0.49	12,75
1992	4	14	0.42	12,50
1992	4	15	0.47	14,63
1992	4	16	0.87	16,00
1992	4	17	0.73	14,88
1992	4	18	0.86	18,00
1992	4	19	0.86	17,50
1992	4	20	0.81	16,00
1992	4	21	0.63	16,00
1992	4	22	0.45	14,75
1992	4	23	0.66	16,00
1992	4	24	0.87	15,25
1992	4	25	0.95	23,00
1992	4	26	1.15	18,13
1992	4	27	1.39	18,00
1992	4	28	0.79	15,00
1992	4	29	0.65	15,75

ANO	MES	DIA	Altura Significativa (m.)	Periodo Significativo (%)
1992	4	30	0.46	13.50
1992	5	1	0.44	14.63
1992	5	2	0.67	16.00
1992	5	3	0.83	19.00
1992	5	4	0.86	16.00
1992	5	5	0.73	15.50
1992	5	6	0.84	17.00
1992	5	7	1.28	17.25
1992	5	8	1.20	16.00
1992	5	9	0.82	15.00
1992	5	10	0.67	14.00
1992	5	11	0.55	15.50
1992	5	12	0.60	16.13
1992	5	13	0.84	15.75
1992	5	14	0.70	15.63
1992	5	15	0.65	14.75
1992	5	16	0.54	14.88
1992	5	17	0.47	12.88
1992	5	18	0.40	13.00
1992	5	19	0.45	11.75
1992	5	20	0.48	15.00
1992	5	21	0.42	14.00
1992	5	22	0.47	12.13
1992	5	23	0.55	13.00
1992	5	24	0.47	14.00
1992	5	25	0.47	13.75
1992	5	26	0.42	11.88
1992	5	27	0.58	19.00
1992	5	28	1.21	16.75
1992	5	29	0.93	16.00
1992	5	30	0.79	15.13
1992	5	31	0.61	13.88
1992	6	1	0.42	13.13
1992	6	2	0.40	14.50
1992	6	3	0.50	16.00
1992	6	4	0.49	13.63
1992	6	5	0.40	14.13
1992	6	6	0.37	12.13
1992	6	7	0.36	12.00
1992	6	8	0.35	14.50
1992	6	9	0.38	14.63
1992	6	10	0.37	13.63
1992	6	11	0.47	18.25
1992	6	12	0.69	16.00
1992	6	13	0.71	14.50

ANO	MES	DIA	Altura Significativa (m)	Período Significativo (%)
1992	6	14	0.58	14.63
1992	6	15	0.70	15.25
1992	6	16	0.44	13.38
1992	6	17	0.45	14.75
1992	6	18	0.45	13.75
1992	6	19	0.78	17.13
1992	6	20	0.70	15.75
1992	6	21	0.51	13.25
1992	6	22	0.40	14.38
1992	6	23	0.84	18.00
1992	6	24	0.79	14.00
1992	6	25	0.60	14.00
1992	6	26	0.49	13.50
1992	6	27	0.40	12.25
1992	6	28	0.28	12.25
1992	6	29	0.27	13.25
1992	6	30	0.38	12.00
1992	7	1	0.38	11.88
1992	7	2	0.39	11.63
1992	7	3	0.42	14.88
1992	7	4	0.97	16.13
1992	7	5	0.97	14.75
1992	7	6	1.03	15.25
1992	7	7	1.02	17.13
1992	7	8	1.06	15.25
1992	7	9	1.07	16.88
1992	7	10	1.17	15.50
1992	7	11	1.10	15.00
1992	7	12	0.80	14.00
1992	7	13	0.60	14.00
1992	7	14	0.66	13.25
1992	7	15	0.47	13.25
1992	7	16	0.49	11.13
1992	7	17	0.79	15.50
1992	7	18	0.93	16.75
1992	7	19	0.74	17.25
1992	7	20	0.63	15.50
1992	7	21	0.63	15.50
1992	7	22	0.74	14.50
1992	7	23	0.68	13.50
1992	7	24	0.83	20.25
1992	7	25	1.21	19.00
1992	7	26	1.17	16.75
1992	7	27	0.91	16.38
1992	7	28	0.86	16.00

ANO	MES	DIA	Altura Significativa (m.)	Periodo Significativo (s.)
1992	7	29	0.85	15.50
1992	7	30	0.68	14.75
1992	7	31	0.60	16.38
1992	8	1	0.77	16.00
1992	8	2	0.63	15.00
1992	8	3	0.59	18.00
1992	8	4	0.77	17.25
1992	8	5	0.90	15.75
1992	8	6	1.01	16.88
1992	8	7	1.25	16.00
1992	8	8	0.92	15.50
1992	8	9	0.59	13.75
1992	8	10	0.46	13.63
1992	8	11	0.35	12.63
1992	8	12	0.34	17.00
1992	8	13	0.52	19.00
1992	8	14	0.85	17.13
1992	8	15	1.09	16.00
1992	8	16	1.12	15.50
1992	8	17	1.21	17.25
1992	8	18	0.98	16.00
1992	8	19	0.71	15.25
1992	8	20	0.56	14.00
1992	8	21	0.47	15.38
1992	8	22	0.69	17.50
1992	8	23	0.69	16.75
1992	8	24	1.11	17.88
1992	8	25	0.72	15.00
1992	8	26	0.45	14.00
1992	8	27	0.40	14.75
1992	8	28	0.32	12.50
1992	8	29	0.31	14.00
1992	8	30	0.41	14.25
1992	8	31	0.54	12.50
1992	9	1	0.43	13.38
1992	9	2	0.44	14.63
1992	9	3	0.69	14.25
1992	9	4	0.52	13.50
1992	9	5	0.36	11.88
1992	9	6	0.33	12.75
1992	9	7	0.52	16.50
1992	9	8	1.06	16.00
1992	9	9	0.52	13.50
1992	9	10	0.44	13.00
1992	9	11	0.37	11.88

ANO	MES	DIA	Altura Significativa (m.)	Período Significativo (h)
1992	9	12	0.30	14.38
1992	9	13	0.49	16.00
1992	9	14	0.50	15.75
1992	9	15	0.51	15.50
1992	9	16	0.48	14.75
1992	9	17	0.38	13.75
1992	9	18	0.37	12.75
1992	9	19	0.41	13.75
1992	9	20	0.46	13.13
1992	9	21	0.66	14.00
1992	9	22	0.94	15.25
1992	9	23	0.74	13.25
1992	9	24	0.57	12.38
1992	9	25	0.64	15.50
1992	9	26	0.62	13.13
1992	9	27	0.75	17.13
1992	9	28	0.92	19.00
1992	9	29	0.88	19.00
1992	9	30	0.83	16.00
1992	10	1	0.78	15.00
1992	10	2	0.74	14.38
1992	10	3	0.75	15.50
1992	10	4	0.69	13.63
1992	10	5	0.57	13.75
1992	10	6	0.64	16.00
1992	10	7	0.88	14.75
1992	10	8	0.72	14.00
1992	10	9	0.57	13.25
1992	10	10	0.51	12.13
1992	10	11	0.52	14.13
1992	10	12	0.75	16.00
1992	10	13	0.98	15.75
1992	10	14	0.68	15.13
1992	10	15	0.59	15.25
1992	10	16	0.61	14.50
1992	10	17	0.64	15.25
1992	10	18	0.66	15.00
1992	10	19	0.61	14.25
1992	10	20	0.61	14.00
1992	10	21	0.52	16.38
1992	10	22	0.63	15.50
1992	10	23	0.69	15.13
1992	10	24	0.56	17.00
1992	10	25	0.49	16.38
1992	10	26	0.41	15.63

ANO	MES	DIA	Altura Significativa (m.)	Periodo Significativo (s.)
1992	10	27	0.46	15.88
1992	10	28	0.63	14.00
1992	10	29	0.56	14.00
1992	10	30	0.65	14.88
1992	10	31	0.95	17.63
1992	11	1	1.17	17.75
1992	11	2	0.83	15.50
1992	11	3	0.64	14.75
1992	11	4	0.49	14.00
1992	11	5	0.51	14.25
1992	11	6	0.74	14.75
1992	11	7	0.88	14.50
1992	11	8	0.58	13.00
1992	11	9	0.46	12.50
1992	11	10	0.35	13.00
1992	11	11	0.32	15.13
1992	11	12	0.48	19.00

PROMEDIO	0.71 metros	15.2 segundos
MAXIMO	1.39 metros	22 segundos

BIBLIOGRAFIA

1. ALLAUCA, S. & V. CARDIN, 1987. Análisis de olas en la costa central del Ecuador.- Acta Oceanográfica del Pacífico, INOCAR, Vol. IV, No. 1, p:1-6
2. ALLAUCA, S. Estudio del olaje en la zona de Valdivia. ESPOL, Tesis de grado, 1985
3. AYÓN, H., 1988. Grandes Rasgos Geomorfológicos de la Costa; Proyecto de Manejo de Recursos Costeros, PMRC; Informe #1.
4. ENDFIELD, D. , 1976. Manual de prácticas de Oceanografía física, INOCAR, p:109-121
5. ESPÍN, S. & J. NATH, 1992. Características del régimen de olas en San Cristobal - Islas Galápagos. Acta Oceanográfica del Pacífico, Vol. VII, No. 1, p 13-20
6. GLEEN AND ASSOCIATES, 1975. Meteorological-Oceanographic Condition Affecting Planning and Design of Facilities in the Offshore Guyanaque
7. JÁCOME, M. & L. LLANOS, 1992. Influencia de los Procesos Costeros en las Características Sedimentológicas en el area de la Península de Santa Elena. Acta Oceanográfica del Pacífico, Vol. VII, No. 1, p: 95-109

8. RUSSELL, M & C. MACMILLAN, 1970. *Waves and Tides*. Greenwood Press: Capitulo 3, p: 50-71

9. SÁNCHEZ, E., 1978. *Transporte Litoral en General Villamil (Playas)*; Dpto.de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar, ESPOL, Tesis de Grado; p: 12-36

10. SAN JUAN GARCÍA, F. *Curso Internacional de Ingeniería Hidráulica Portuaria*, p:1-19

11. SEA BIRD ELECTRONICS, INC., *Seagauge SBE 26 Wave and Tide Recorder operating manual*, p: 1-3

12. SHORE PROTECTION MANUAL, 1975. Vol. I, p: 69-96

13. TAMAYE, E., 1975. *Design Criteria for Offshore Platform for West Coast of India; Operational Sea State and Design Wave Criteria for Ocean Thermal Energy Conversion Projects*. U.S. Department of Energy. Vol. 2, p: 397-412