



**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 is drawn across the middle of the oval, and a diagonal line extends from the top right corner towards the center. Below the signature, a horizontal dotted line is drawn.

Juan José Nieto López



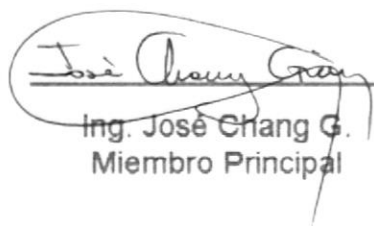
Ing. Eduardo Cervantes  
Presidente del Tribunal



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.

<b>RESUMEN</b> .....	III
<b>INDICE GENERAL</b> .....	IV
<b>INTRODUCCION</b> .....	1
<b>I. CARACTERISTICAS DEL AREA DE ESTUDIO</b> .....	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
<b>II. CONDICIONES OCEANOGRAFICAS Y METEOROLOGICAS</b> .....	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
<b>III. MEDICIONES DE OLAS</b> .....	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

<b>IV. ANALISIS DE OLAS</b> .....	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 .....	41
4.2. Refracción de olas .....	41
4.2.1. El fenómeno físico .....	41
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
<b>4.5.2. Método gráfico de Mayencón</b> .....	59
4.5.3. Método gráfico de Draper .....	62
4.5.4. Método gráfico de Weibull .....	62
4.5.5. Distribución Probabilística de Weibull .....	61
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. ....	14
Figura N-12.- Diagrama de refracción para el área de Salinas T=14 s. ....	19
Figura N-13.- Diagrama de refracción para el área de Salinas T=18 s. ....	19
Figura N-14.- Diagrama de difracción para el área de Salinas .....	24
Figura N-15.- Método gráfico de Mayencón .....	29
Figura N-16.- Método gráfico de Draper .....	31
Figuar N-17.- Método gráfico de Weibull .....	31

## INDICE DE TABLAS

	177
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 $\hat{U}_{\text{viento}}$ .....	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 puntilla 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 Puntilla 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 puede verse en 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  $2^{\circ}$  S, la circulación oceánica cercana al sector de estudio tiende a dirigirse hacia el oeste, fluctuando de Noroeste a Suroeste entre  $81^{\circ}$  W y  $83^{\circ}$  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  $81^{\circ}$  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 m/h. Los direcciones de las corrientes máximas presentaron un carácter estacional, predominantemente entre los  $50^{\circ}$  y  $80^{\circ}$  para los meses de agosto a diciembre, y entre los  $20^{\circ}$  y  $50^{\circ}$  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 definición.

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

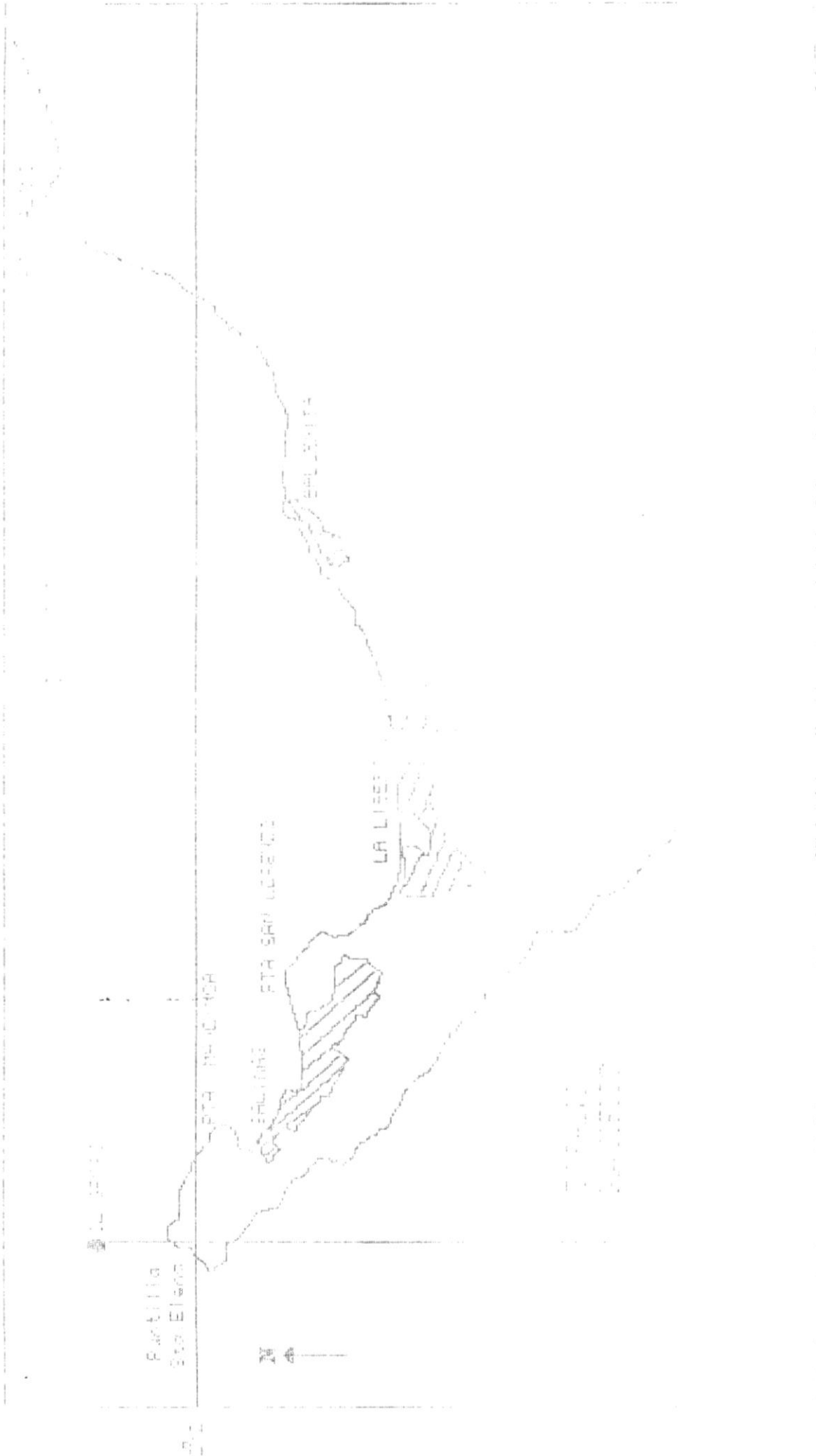
### 2.3.1. PRESION

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 Oceano 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 Oceano Pacífico, el centro de Alta Presión del Hemisferio Norte ubicado aproximadamente sobre los  $40^{\circ}$  N , y el centro de Alta Presión ubicada alpeñador de los  $30^{\circ}$  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 correspondientes. 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  $10^{\circ}$  N ( $30^{\circ}$ 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

Así mismo, existe un centro de Baja Presión localizado en Ecuador ecuatorial 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



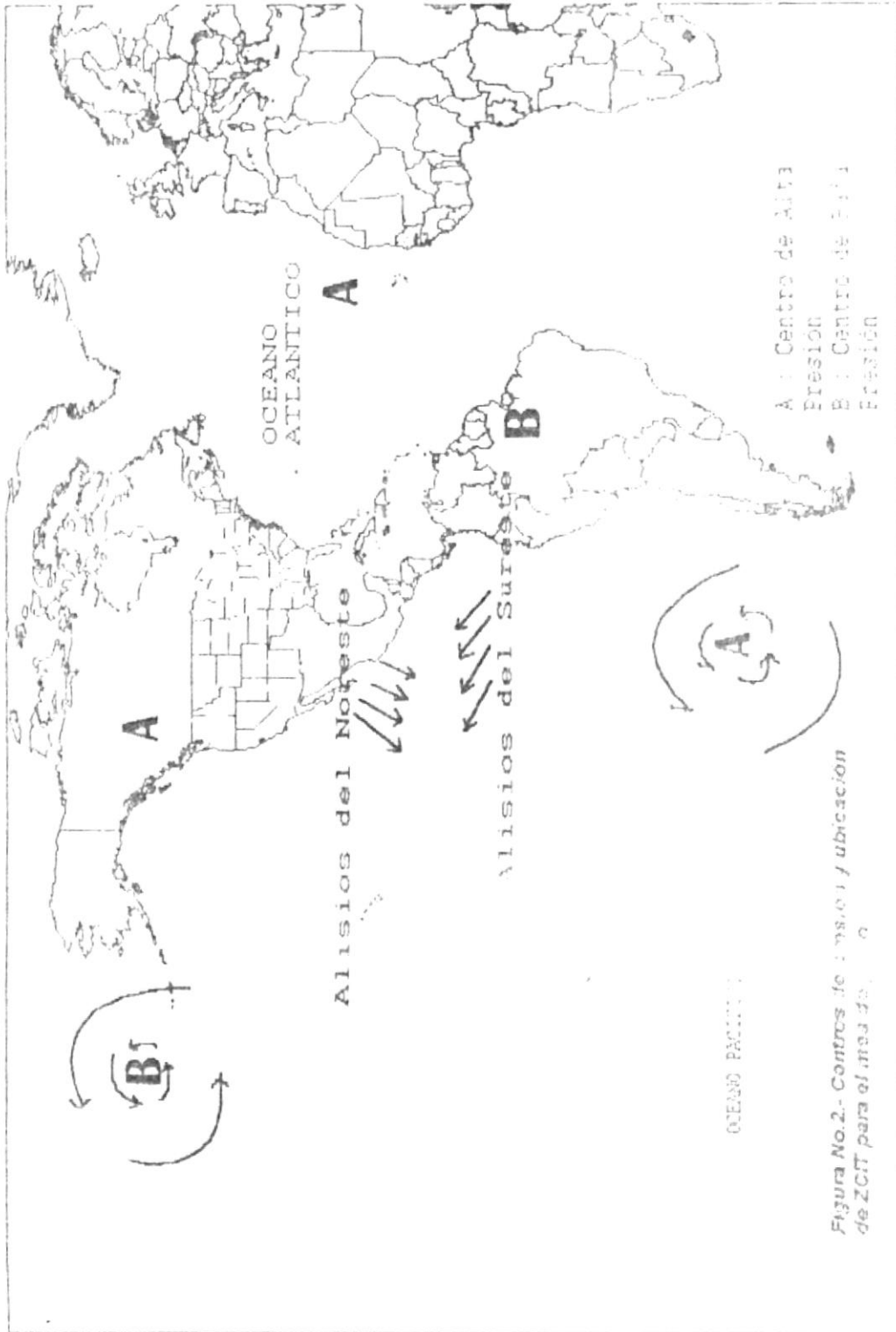


Figura No.2.- Centros de masas y ubicación de ZCIT para el mes de mayo

### 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  $2^{\circ} 09' 54'' \text{ S} - 81^{\circ} 00' 04'' \text{ W}$  (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.



Map of the San Juan Department in Chile, showing the location of the 'LA LIBERTAD' area.

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 como los 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 instrumento de alturas 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

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

Donde :

- $\rho$  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. CARACTERISTICAS TECNICAS 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 BAILO DE LA BARRERA, 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 flintearon la zona de la superficie para que el personal en tierra le diera mantenimiento a este equipo, para 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 un computador para que tome medidas en el agua de acuerdo a los requerimientos de acuerdo a los requerimientos. Esto significa que puede filtrar fracciones de interés 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)**

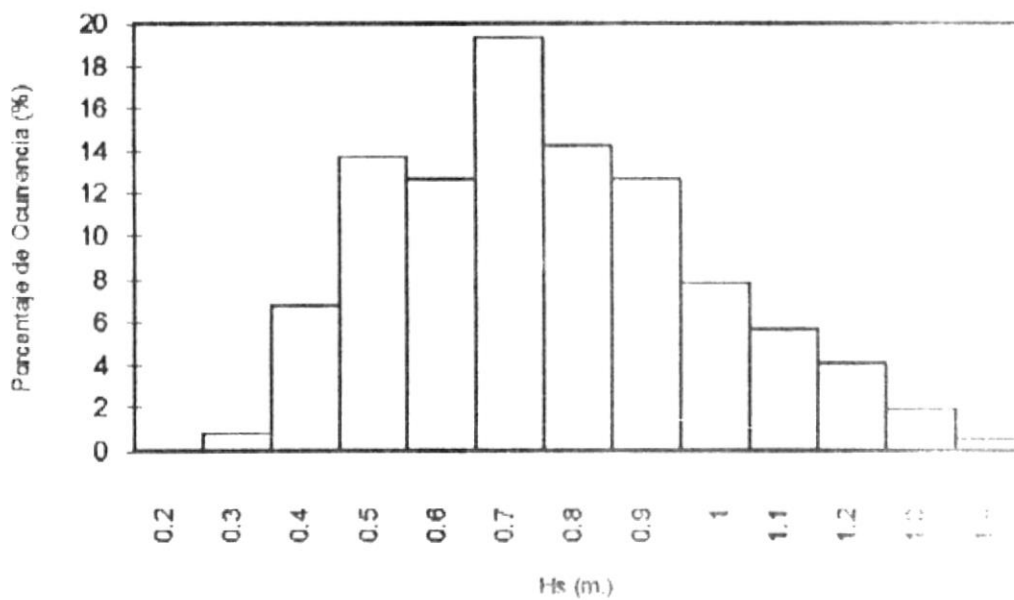
PERIODO (seg)	RANGO DE ALTURA (m.)												TOTAL	
	02-03	03-04	04-05	05-06	06-07	07-08	08-09	09-10	10-11	11-12	12-13	13-14		
10-11														0
11-12		7	4											11
12-13	1	8	8	5	1		1							25
13-14	1	3	16	14	17	6	1							59
14-15	1	5	11	14	20	17	13	5	3	1				71
15-16		1	6	6	25	20	18	11	9	5	2			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
<b>TOTAL</b>	<b>3</b>	<b>25</b>	<b>51</b>	<b>47</b>	<b>72</b>	<b>53</b>	<b>47</b>	<b>29</b>	<b>21</b>	<b>15</b>	<b>7</b>	<b>7</b>		<b>372</b>

#### 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.

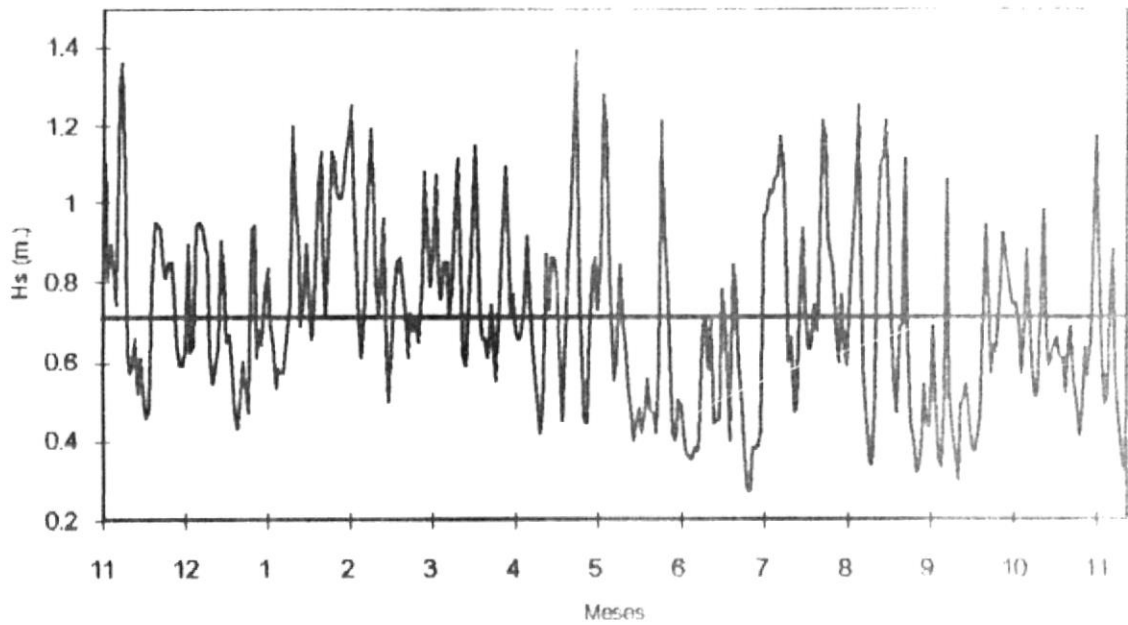
Fig.6 Histograma de Frecuencias de Alturas Significativas



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.

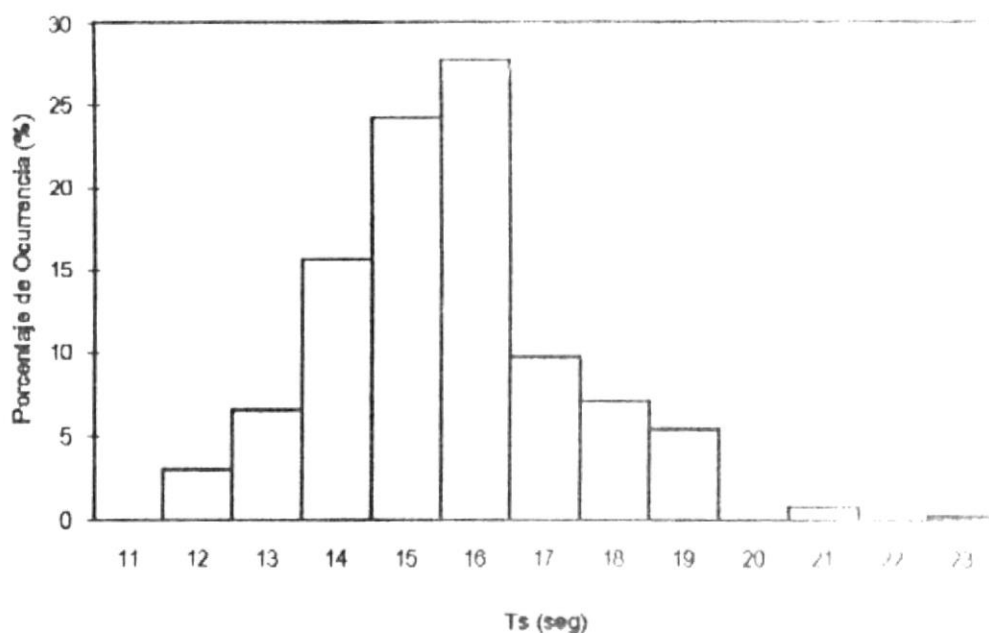
La máxima altura significativa de ola registrada por el olgrafo en el periodo de mediciones fue de 1.39 m. que correspondió al día 27 de abril de 1992.

#### 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.

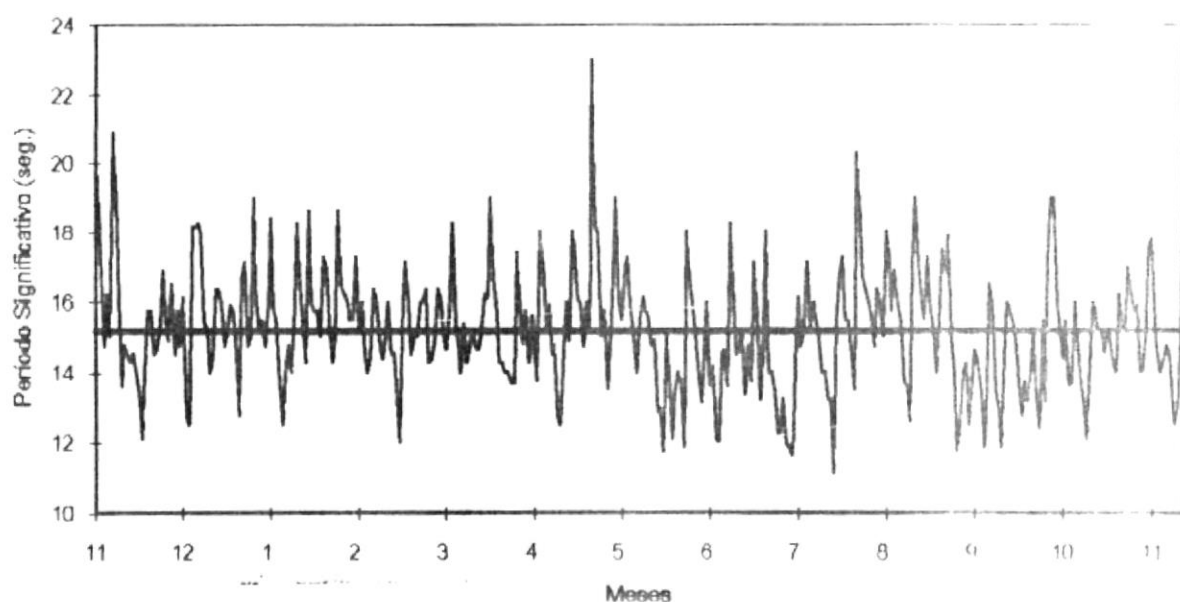
Fig.8 Histograma de Frecuencias de Periodo Significativo



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.