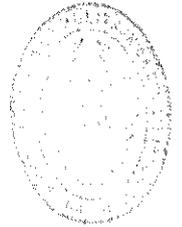


D-60496

**ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA DEL LITORAL**

FACULTAD DE INGENIERIA MARITIMA Y CIENCIAS DEL MAR

**"El Analisis espectral aplicado a Parametros
Oceanograficos y Meteorologicos de las
localidades de Ancón y la Libertad"**



TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título:

LICENCIADO EN OCEANOGRAFIA

BIBLIOTECA
FACULTAD DE
INGENIERIA

**Presentado por:
JOSE LUIS SANTOS DAVILA**

GUAYAQUIL - ECUADOR

1984



BIBLIOTECA
ING. ING.
MARITIMA

AGRADECIMIENTO

Al M.Sc. JORGE CALDERÓN VELÁSQUEZ, Director de Tesis, por su constante estímulo y acertada guía durante la realización de este trabajo.

A los Egresados de Oceanografía: Silvia Allauca, María del Pilar Cornejo, Patricia Palacios, Dafne Vera y Víctor Osorio, por su ayuda en la recopilación y procesamiento de la información.

D E D I C A T O R I A



BIBLIOTECA
FAC. ING.
MARITIMA

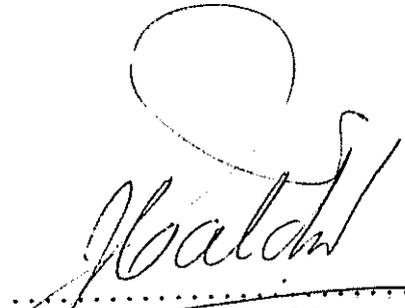
BIBLIOTECA MARITIMA
Escuela Superior Politécnica del Litoral
No. DE INVENTARIO <u>TO-1984.7</u>
VALOR
CLASIFICACION <u>SJ 1101</u>
Fecha de Ingreso
PROCEDENCIA
SOLICITADO POR

A MI MADRE:

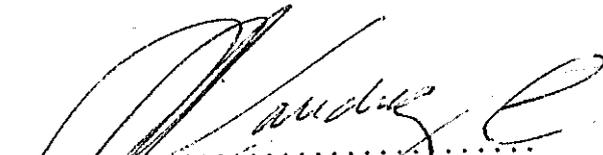
Si he llegado hasta
aquí, en gran parte
es gracias a ella.



BIBLIOTECA
FAC. ING.
MARITIMA


.....
Jorge Calderón Velásquez, M.Sc.
Director de Tesis

.....
Ing. Marco Velarde Toscano
Subdecano Facultad Ing. Marítima
y Ciencias del Mar
Presidente Tribunal


.....
Ing. Enrique Sánchez Cuadros
Miembro Tribunal

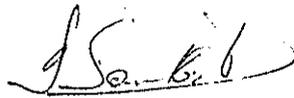

.....
Edgar Arellano Moneago, M.Sc.
Miembro Tribunal

ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA
DEL LITORAL

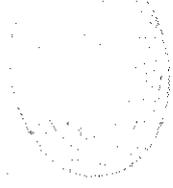
DECLARACION EXPRESA

"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".

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



.....
José Luis Santos Dávila



BIBLIOTECA
NACIONAL
Ecuador

RESUMEN

Los parámetros utilizados en nuestro estudio son: Promedios Mensuales de Temperatura del Aire en Ancón, desde enero 1927 a diciembre 1982; Precipitación Mensual Total en Ancón, para el mismo período; y Promedios Mensuales de Temperatura Superficial del Agua en La Libertad, - desde enero de 1933 a diciembre 1975.

El Análisis Estadístico Básico únicamente permitió confirmar el patrón común del clima en el Ecuador, con los cuatro primeros meses del año caracterizados por las máximas cantidades de precipitación y un aumento en las Temperaturas del Aire y del Agua en unos 3°C con respecto a los otros meses, para que luego esos valores comiencen a decaer hasta mayo, en que termina el invierno y comienza el verano en nuestro país.

En el cálculo de los estimados espectrales se utilizó el método de Blackman-Tukey, para el suavizamiento del espectro se usa la Ventana Espectral de Tukey, a las series de tiempo se les aplica diferentes tipos de filtros de acuerdo al rango de frecuencias que se desee analizar.

Los resultados del Análisis Espectral muestran que a más de las variaciones estacionales, se encuentran presentes fluctuaciones de largo

período que corresponden a valores de frecuencia casi iguales para los tres registros, entre las periodicidades resueltas tenemos; 6.5, 4, 3.5 y 2.5 años.

Por lo tanto podemos afirmar que estos parámetros se encuentran altamente correlacionados, debiéndose realizar otro tipo de análisis para determinar la naturaleza de estas relaciones.

INDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	VI
INDICE GENERAL	VIII
INDICE DE FIGURAS	IX
INDICE DE ABREVIATURAS Y SIMBOLOS	XVI
INTRODUCCION	19
I. ANALISIS PRELIMINAR DE LA INFORMACION	23
1.1. Antecedentes	23
1.2. Descripción de la información utilizada	27
1.2.1. Precipitación	30
1.2.2. Temperatura del Aire	30
1.2.3. Temperatura Superficial del Agua...	31
1.3. Análisis preliminar	32
1.3.1. Programa ESTADIST	33
1.4. REsultados	34
1.4.1. Gráficos Anuales	35
1.4.2. Anomalías'	45
II. FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y PRACTICOS DEL ANALISIS	
1.5 ESPECTRAL	52
2.1. Introducción al Análisis de Series de Tiem- po	53

2.1.1.	Series de Tiempo	54
2.2.	El Análisis Espectral	59
2.2.1.	El Espectro	64
2.2.2.	Ventanas Espectrales	70
2.2.3.	Filtros	74
2.3.	Desarrollo del Programa "ESPECTRO"	76
2.4.	Aspectos prácticos de la estimación espectral...	89
2.4.1.	Teoría y práctica del suavizamiento	89
2.4.2.	Intervalo de Muestreo	92
2.4.3.	Número de Desplazamientos.....	94
2.4.4.	Altas y Bajas frecuencias	95
2.4.5.	Plegamiento	97
2.4.6.	Función Densidad Espectral	97
2.4.7.	Intervalo de Confianza	99
2.5.	Procedimiento de Análisis	102
III	APLICACION DEL METODO	106
3.1.	Espectro de las series originales	107
3.2.	Uso de Filtros	116
3.2.1.	Filtro del Año Normal	116
3.2.2.	Filtro Pasa-Bajo	124
3.2.3.	Filtro Pasa-Alto	136
3.3.	Cambio del Intervalo de Muestreo	140
3.3.1.	Totales Anuales de Precipitación	149
3.3.2.	Registro de Temperatura del Aire	152

3.3.3. Registro de Temperatura Superficial del Agua	163
3.4. Discusión General	172
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	177
APENDICE A: Datos utilizados en la Tesis	183
APENDICE B: Programa de Computación "ESTADIST"	193
APENDICE C: Programa de Computación "ESPECTRO"	204
APENDICE D: Ejemplo práctico de la aplicación del Método del "Cerramiento de la Ventana"	217
BIBLIOGRAFIA	224



BIBLIOTECA
DEL IIG.
MARITIMA

INDICE DE FIGURAS

Fig./Nº	Pág.
1 Ubicación de las poblaciones de Ancón y La Libertad.....	28
2 Valores mensuales de precipitación en Ancón (1927-1979).....	39
3 Valores mensuales promedios, máximos y mínimos de precipitación en Ancón durante el período de 1927 a 1982.....	40
4 Promedios mensuales de temperatura del aire en Ancón (1927 - 1979).....	41
5 Valores mensuales promedios, máximos y mínimos de temperatura del aire en Ancón durante el período de 1927 a 1982.....	42
6 Promedios mensuales de temperatura superficial del agua en La Libertad (1933-1975).....	43
7 Valores mensuales promedios, máximos y mínimos de temperatura superficial del agua en La Libertad durante el período de 1933 a 1975.....	44
8 Anomalías mensuales de precipitación en Ancón (1927-1979).....	49
9 Anomalías mensuales de temperatura del aire en Ancón (1927-1979).....	50

	Pág.
10 Anomalías mensuales de temperatura superficial del agua en La Libertad (1933-1975).....	51
11 Clasificación de los diferentes tipos de registros que se pueden encontrar en la naturaleza.....	58
12 Analogía física con el Análisis Espectral.....	62
13 Espectros de potencias correspondientes a varios tipos de curvas.....	63
14 Funciones obtenidas de la aplicación del Análisis Espectral a una Serie de Tiempo.....	71
15 Funciones estabilizadoras comunes y sus respectivas transformadas de Fowrier.....	73
16 Diagrama de Flujo del Programa "ESPECTRO".....	77
17 Influencia del intervalo de muestreo en un registro.....	98
18 Efecto de plegamiento.....	98
19 Abaco para la determinación de los factores de proporcionalidad para el cálculo del intervalo de confianza	101
20 Funciones de Autocorrelación de los registros originales	109
21 Espectro de potencias del Registro Original de Precipitación para $M=75$	110
22 Espectro de Potencias del Registro Original de Temperatura del aire para $M=50$	111

	Pág.
23 Espectro superficial del agua para $M=50$	113
24 Funciones de Autocorrelación de los registros de Anomalías	119
25 Espectro de potencias del registro de anomalías de precipitación para $M=40$	120
26 Espectro de potencias del registro de Anomalías de temperatura del aire para $M=56$	121
27 Espectro de potencias del Registro de Anomalías de temperatura superficial del agua para $M=40$	122
28 Registro de precipitación una vez aplicado el Filtro Pasa-Bajo	129
29 Registro de Temperatura del aire una vez aplicado el Filtro Pasa-Bajo	130
30 Funciones de Autocorrelación de los registros una vez aplicado el Filtro Pasa-Bajo	131
31 Espectro de Potencias del Registro de precipitación una vez aplicado el Filtro Pasa-Bajo	132
32 Espectro de potencias del registro de temperatura del aire una vez aplicado el Filtro Pasa-Bajo.....	133
33 Espectro de potencias del registro de temperatura superficial del agua una vez aplicado el Filtro Pasa-Bajo	134

	Pág.
34 Registro de precipitación una vez aplicado el Filtro Pasa-Bajo	141
35 Registro de temperatura del aire una vez aplicado el Filtro Pasa-Bajo	142
36 Funciones de Autocorrelación de los Registros una vez aplicado el Filtro Pasa-Bajo	143
37 Espectro de potencias del registro de precipitación una vez aplicado el Filtro Pasa-Bajo	144
38 Espectro de potencias del registro de temperatura del aire una vez aplicado el Filtro Pasa-Alto.....	145
39 Espectro de potencias del registro de temperatura superficial del agua una vez aplicado el Filtro Pasa-Bajo	146
40 Registro correspondiente a totales anuales de precipitación	150
41 Espectro de potencias del registro de totales anuales de precipitación	151
42 Registro correspondiente al registro de temperatura del aire una vez aplicado el Procedimiento promed-6	
43 Registro de temperatura superficial del agua una vez aplicado el procedimiento Promed-6	158
44 Espectros de potencias de los registros de temperatura del aire y temperatura superficial del agua una	

	Pág.
vez aplicado el procedimiento Promed-6	159
45 Registro de temperatura del aire una vez aplicado el procedimiento Promed-12	160
46 Registro de temperatura superficial del agua una vez <u>a</u> plicado el procedimiento Promed-12	161
47 Registro de temperatura del aire una vez aplicado el procedimiento Salta-6	162
48 Registro de temperatura superficial del agua una vez aplicado el procedimiento Salta-6	165
49 Espectro de potencias de los registros de temperatura del aire y temperatura superficial del agua una vez <u>a</u> plicado el procedimiento Salta-6.....	166
50 Registro de temperatura del aire una vez aplicado el procedimiento Salta-12	167
51 Registro de temperatura superficial del agua una vez aplicado el procedimiento Salta-12	168

INDICE DE ABREVIATURAS

AB	Ancho de Banda
a	Año
CEPE	Corporación Estatal Petrolera Ecuatoriana
cpa	Ciclos por año
cpm	Ciclos por mes
D	Grados de Libertad
EN	Fenómeno "El Niño"
ERFEN	Estudio Regional del Fenómeno "El Niño"
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
fac	Función de Autocorrelación
f _{acv}	Función de Autocovarianza
fig	Figura
	Frecuencia
N	Frecuencia Nyquist
C	Intervalo de Confianza
NAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
NOCAR	Instituto Oceanográfico de la Armada
	Máximo Intervalo de Desplazamiento para el Cálculo del Espectro de Potencias
MAXM	Máximo número de Desplazamientos para el Cálculo de f _{acv} y f _{ac}

mm	Milímetros
N	Número de puntos de la Serie de Tiempo
NF	Número de Valores de Frecuencia para los cuales se calculan estimados espectrales
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
var	Varianza
$W(u)$	Función Matemática que representa una Ventana Espectral (Spectral Window)
$w(u)$	Función Estabilizadora (Lag Window)
$X(t)$	Función que contiene todos los valores de un registro determinado (Serie de Tiempo).

LISTA DE SIMBOLOS

Valor Estimado	Valor Teórico	
\bar{x}	μ	Media
s	σ	Desviación Estandard
$C(u)$	$\gamma(u)$	Función de Autocorrelación
$R(u)$	$\rho(u)$	Función de Autocovarianza
$S(f)$	$\Gamma(f)$	Espectro de Potencias
Δ		Intervalo de Muestreo

INTRODUCCION

Para atender mejor los fenómenos que ocurren en la naturaleza a través de los mecanismos y principios que los rigen, debemos disponer de suficiente información acerca de la variación en tiempo y espacio de los parámetros que describen el evento.

Cuando tenemos una estación fija y monitoreamos un parámetro con regularidad, durante un período determinado obtendremos un registro de datos, que no es otra cosa que una función cuya variable independiente es el tiempo, si esta función cumple con el requisito de ser aleatoria o no-determinística toma el nombre de Serie de Tiempo.

Si los registros a nuestra disposición son lo suficientemente largos, pueden contener en forma implícita información que describa el fenómeno al cual están relacionados, de ahí la importancia de disponer de técnicas de análisis que nos permitan descubrir los secretos que estas series guardan.

Es por esto que aquellos que nos dedicamos al estudio de los océanos necesitamos tener un amplio conocimiento de hidrodinámica, física clásica y muchas áreas de la matemática de forma que podamos reconocer y utilizar nuevos desarrollos provenientes de estos campos, con el objeto de dar una mejor interpretación acerca de la naturaleza

de los movimientos y comportamiento de los océanos.

El primer problema al que nos enfrentamos al intentar analizar fenómenos oceanográficos y meteorológicos de larga escala de tiempo en nuestro país, y en general en todo el mundo, es que no se disponen - de estaciones donde se haya realizado una recopilación de datos en forma ininterrumpida desde hace mucho tiempo, existiendo muy pocas estaciones donde se comenzó a muestrear por el año de 1930, con lo que en el mejor de los casos se tienen registros de 50 o 60 años de extensión.

Es en estas áreas donde se pueden realizar estudios detallados que pueden proporcionarnos valiosas conclusiones, las mismas que pueden ser complementadas con los resultados obtenidos del análisis de esta ciones con series de tiempo que tengan una mejor longitud.

En esta tesis se analizarán datos correspondientes a las poblaciones de Ancón y La Libertad, ubicadas en la Península de Santa Elena, Pro vincia del Guayas; por el hecho de que las mismas se encuentran ubi- cadas una muy cerca de la otra, podemos considerar que los resulta- dos que alcancemos serán aplicables a toda la región.

Inicialmente procesaremos la información en la forma común en la que se suele realizar en nuestro medio, es decir, utilizando conocimien-

tos estadísticos básicos, los cuales proporcionan resultados importantes, pero que sin embargo, están muy lejos de ser completos de contestar todas las interrogantes que surgen al realizar investigaciones de este tipo.

Posteriormente aplicaremos un método que ha sido usado desde hace ya varios años en oceanografía y meteorología: el Análisis Espectral, - técnica surgida del trabajo de La Place y Fourier en los comienzos del siglo XIX.

Es así como dentro del campo de la oceanografía es aplicable en casos como los siguientes: el estudio estadístico de ondas generadas por el viento, el análisis cruzado de registros simultáneos de salinidad, temperatura y profundidad (STD), el correlacionamiento de la presión barométrica con las variaciones del nivel medio del mar, la correlación de las ondas de marea en dos localidades con características semejantes, etc. Además podemos citar los problemas de contaminación en estuarios, los mismos que involucran la correlación entre los movimientos horizontales de una masa líquida asociados a las mareas y a la descarga del estuario y muchos otros casos de estudio difíciles de investigar usando otros métodos de análisis.

Cabe indicar que los fundamentos teóricos y técnicos de computación presentados en este trabajo son la interpretación que hace el autor

de los que otros investigadores han desarrollado con el transcurso de los años, e incluso, hemos corrido el riesgo de simplificar demasiado ciertos aspectos básicos sobre la teoría en la que se basa el Análisis Espectral, pues nuestra intención es la de presentar la metodología de forma accesible para aquellas personas que deseen aprovechar la técnica y no hayan tomado cursos especializados sobre el tema; ya que para utilizarla no se necesita dominar la compleja formulación matemática que existe detrás del Análisis Espectral, sino entender su mecanismo, y la aplicación que puede tener en la interpretación de series de tiempo.

Cabe indicar que la notación utilizada coincide con la que se encuentra en algunos textos de Análisis Espectral, pero debe tenerse presente que no existe una nomenclatura definitiva, se seleccionó los símbolos y nombres de manera que presenten la menor confusión posible y sean adaptables a propósitos computacionales.

De modo que, a más de los resultados que obtengamos del análisis de los registros de datos considerados, queda propuesto un método de fácil aplicación para el uso práctico del Análisis Espectral, herramienta que, debido al gran desarrollo alcanzado en los últimos tiempos - por los computadores digitales, ha tomado gran importancia al tratar de comprender un poco más el complejo mundo en que vivimos.

CAPITULO I

ANALISIS PRELIMINAR DE LA INFORMACION.

Comenzaremos exponiendo los hechos que nos hicieron pensar en la importancia de realizar esta tesis, luego efectuamos una descripción detallada de los datos que serán utilizados en nuestra investigación, para después realizar un análisis preliminar utilizando principios estadísticos básicos, el mismo que nos servirá como punto de partida a la parte central de nuestro trabajo.

1.1. Antecedentes.

Los años de 1982 y 1983 fueron testigos de la presencia en todo el mundo de una serie de eventos climatológicos de una severidad y devastación poco comunes, los mismos que podemos dividirlos en dos grandes grupos: primero, sequías a gran escala que causaron enormes pérdidas de orden social, económico y ecológico; y segundo, tormentas y lluvias torrenciales causantes de extensas inundaciones, que redundaron en pérdidas de la misma magnitud que las causadas por las sequías en otras regiones del orde.

Es así como tuvimos grandes sequías en Indonesia, Filipinas, Australia, Nueva Guinea, Sur de la India, Sur de China, Nores

te de Brasil, Panamá, Costa Rica y parte Sur y Sudeste de los Estados Unidos. Además se observaron tormentas, ciclones y huracanes en las Islas de Polinesia, Tahití y Hawaii. Mientras por otra parte, los Estados del Golfo de México, el este de Bolivia, sur de Brasil, norte de Argentina, este de Paraguay; y gran parte del Ecuador y Perú sufrieron inundaciones causadas por la presencia de lluvias de inusitada intensidad.

En lo que se refiere al Ecuador, el período de lluvias que lo afectó fue el más fuerte en cantidad y frecuencia de las últimas décadas, paralelamente se presentó una elevación del nivel del mar y oleajes anormalmente grandes en los meses de diciembre de 1982 y enero-marzo de 1983.

Todos estos efectos causaron grandes daños, entre los que podemos señalar: destrucción de instalaciones marítimas y vías de comunicación; decrecimiento de la actividad pesquera y portuaria; cambios en la morfología de las costas, produciéndose erosión en ciertas regiones (como Súa y Valdivia), y sedimentación en otras (Ballenita y Salinas); y finalmente, paralización casi total de la actividad turística, especialmente en los balnearios de la región litoral.

La comunidad científica se enfrascó en una ardua polémica acerca del origen de estos eventos poniendo como consecuencia de esto, en evidencia la limitación de nuestros conocimientos.

Muchos investigadores sostienen que estos fenómenos meteorológicos y oceanográficos prolongados son causados por el Fenómeno de El Niño; otros dicen que las anomalías climatológicas y El Niño están estrechamente vinculadas pero no en la relación causa-efecto, sino en el hecho de que ambos obedecen a cambios en el ambiente océano-atmósfera. Lo único que ha podido establecerse con certeza es que estos sucesos ocurren cuando hay un cambio en el patrón usual de la circulación oceánica y atmosférica durante un período mayor de seis meses.

¿Cómo y Por qué cambia este patrón?. Se barajan explicaciones como un aumento en la cantidad de las manchas solares, un incremento en la cantidad de bióxido de carbono en la atmósfera, o en la ocurrencia de grandes erupciones volcánicas en diferentes partes del mundo; eventos que aisladamente, o en forma conjunta son capaces de provocar cambios en la estratósfera en donde las grandes concentraciones de energía pueden transferirse hacia abajo, a la troposfera superior y con el tiempo causar grandes cambios en los patrones de la circulación más elevada, del aire.

Para tratar de contestar todas estas interrogantes, los países de las regiones afectadas vieron la necesidad de aunar esfuerzos para hacer frente a ésta y futuras crisis; el Ecuador, como miembro de la Comisión Permanente del Pacífico Sur (CPPS), participó en las reuniones que organiza por esta comisión, una de las cuales fue el Taller sobre el fenómeno de El Niño 1982-1983, realizado en Guayaquil, del 12 al 16 de diciembre de 1983.

En estas convenciones se llegó a la conclusión de que a más de la falta de comunicación y cooperación entre los países de la región, no existe una suficiente cantidad de datos que apoyen investigaciones de largo alcance, hecho que debe ser mejorado en el futuro con la implantación de redes de estaciones en una forma sistemática.

A lo anterior puede sumarse el hecho de que, si los datos son pocos, son aún menos los proyectos de investigación que planteen técnicas de análisis que busquen algo más que obtener los valores medios de los datos y las desviaciones con respecto a esos promedios.

En nuestro país hay entidades como el Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR) y el Instituto Nacional de Meteorología

e Hidrología (INAMHI) que recopilan datos y realizan cierto tipo de estudios que si bien aportan en algo para satisfacer la inquietud científica acerca de los eventos climatológicos que ocurren en nuestro medio, no son suficientes, debiéndose pensar en la implantación de proyectos de estudio como los que ya se realizan en otros países.

Una de las formas de conseguir esto es comenzado a implementar técnicas de análisis que, aparte de necesitar la infaltable fuente de datos, utilicen las ventajas que prestan actualmente los computadores digitales debido a su alta precisión y rapidez. Una de estas técnicas es precisamente el Análisis Espectral el cual permite conocer el porcentaje de energía acumulado en las frecuencias predominantes presentes en un registro de datos, lo cual constituye el primer paso en el intento de pronosticar aquellos eventos cuya periodicidad no es evidente.

1.2. Descripción de la Información Utilizada.

Como ya se mencionó con anterioridad, se van a tomar datos de las poblaciones de Ancón y La Libertad, su localización geográfica es mostrada en la fig. N° 1.

Se escogen estas localidades debido a que en ellas se han recolectados datos ininterrumpidamente por más de cinco décadas

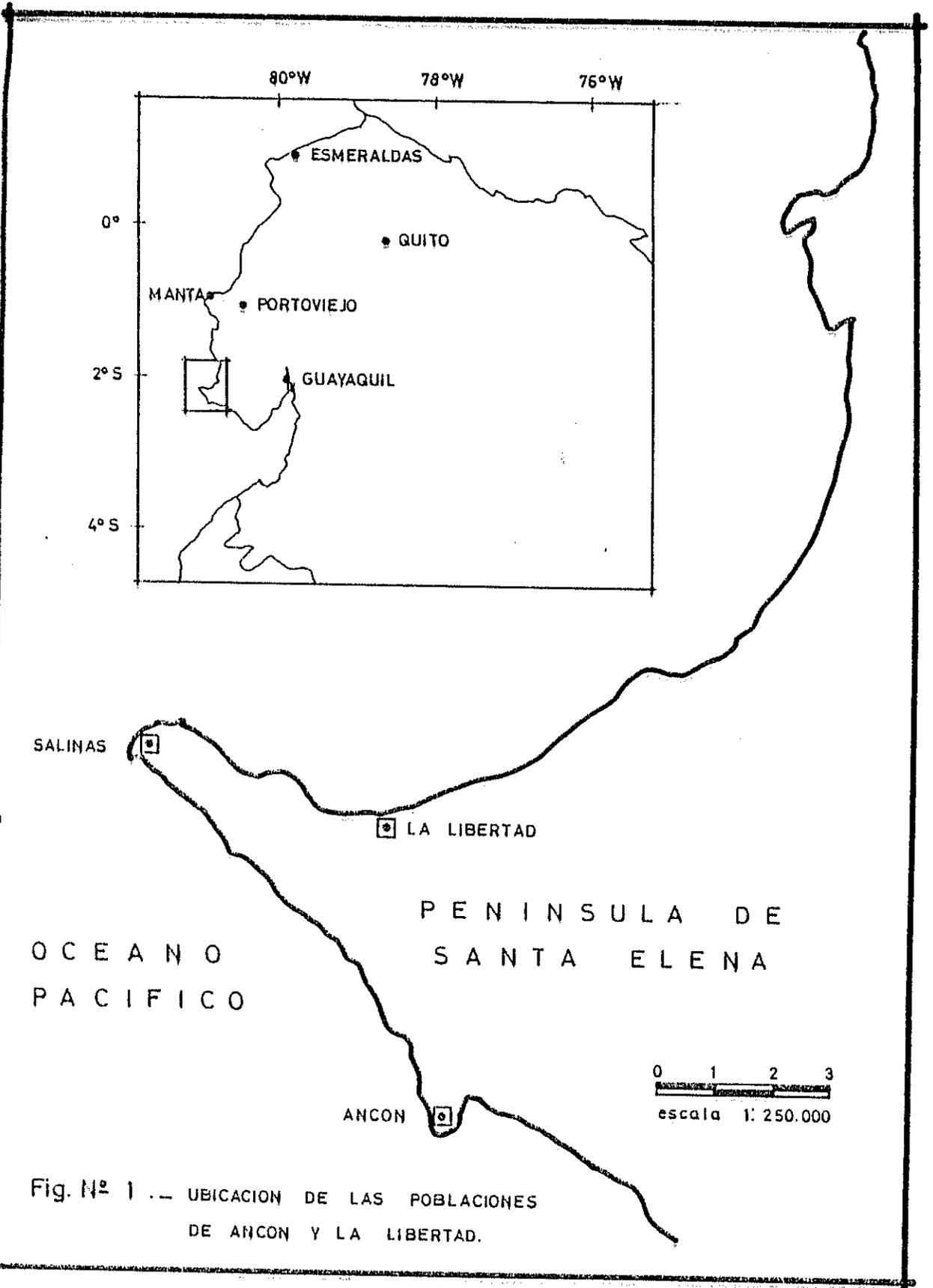


Fig. N° 1 -- UBICACION DE LAS POBLACIONES DE ANCON Y LA LIBERTAD.

y al hecho de que, por ser estaciones costeras se pueden recolectar tanto parámetros oceanográficos como meteorológicos.

El muestreo en Ancón comenzó en el año de 1926 y el de La Libertad en 1933, ambos a cargo de la compañía Anglo Ecuadorian Oilfields Ltd., la misma que necesitaba estos datos para los estudios de exploración y explotación del petróleo en la Península de Santa Elena, los parámetros que inicialmente se recogían eran los siguientes: mediciones diarias de temperatura del aire a la sombra (máxima y mínima), humedad (máxima y mínima), precipitación todas para Ancón; y temperatura del agua (superficial y de fondo) y precipitación para La Libertad. Además los reportes incluyen una breve descripción del tiempo en Ancón. Los datos actualmente están a cargo de la Corporación Estatal Petrolera Ecuatoriana.

Los archivos no incluyen las coordenadas geográficas del lugar exacto en que se realizan las mediciones en Ancón, en cuanto a La Libertad, estas coordenadas son las siguientes: Latitud $02^{\circ} 12'$ Sur, Longitud $80^{\circ} 55'$ Oeste.

A continuación describimos los parámetros a ser considerados en este estudio.

1.2.1. Precipitación.

Estación: Ancón

Período: Enero 1927 - Diciembre 1982

Datos originales: Valores diarios en pulgadas, convertidas a milímetros con el siguiente factor:

$$P_{mm} = 25.4 \text{ pulg.}$$

P_{mm} = precipitación en milímetros

$P_{pulg.}$ = precipitación en pulgadas

Datos procesados: Totales mensuales en mm.

1.2.2. Temperatura del aire.

Estación: Ancón

Período: Enero 1927 - Diciembre 1982

Datos originales: Valores diarios (temperatura máxima y mínima) en grados Fahrenheit, convertidos a grados centígrados con la siguiente expresión:

$$T_c = 5/9 T_f - 32$$

T_f = temperatura en grados Fahrenheit

T_c = temperatura en grados centígrados

Datos procesados: Promedios mensuales de temperatura, obtenido del promedio de los valores diarios promediando primero las temperaturas máxima y mínima del día.

1.2.3. Temperatura superficial del agua.

Estación: La Libertad

Período: Enero 1933 - Diciembre 1975

Datos originales: Valores diarios (en la superficie y en el fondo) en grados Fahrenheit, convertidos a grados centígrados en la forma anteriormente descrita.

Datos procesados: Promedios mensuales de temperatura - superficial del agua.

Cuando en alguno de los tres parámetros considerados - faltaban datos en uno o varios meses, con el objeto de evitar la discontinuidad de la serie se procedía a llenar esos vacíos con el valor normal del registro, obtenido promediando todos los valores de la serie para el mes correspondiente.

En el Apéndice A se presentan las tablas que contienen todos los valores de los parámetros utilizados.

1.3. Análisis Preliminar.

Lo que comúnmente realizamos en nuestro medio cuando se dispone de un cierto parámetro, es obtener su comportamiento normal o promedio sobre un determinado período de tiempo, y luego encontrar las desviaciones positivas y negativas con respecto a esos valores para ver cuales fueron las épocas en las que se produjeron condiciones extremas, de esta forma se obtienen grá ficos como los que publican esporádicamente el INAMHI e INOCAR y que sirven de base para simposiums y conferencias.

Para poner un ejemplo, podemos mencionar que gran parte del ma terial de trabajo expuesto por los diferentes países participantes del Taller sobre el Fenómeno de El Niño 1982-1983, realizado en la ciudad de Guayaquil en diciembre de 1983 fue presentado en forma de estos grá ficos.

Por considerar que es un análisis que, a pesar de ser muy elemental, puede arrojar resultados interesantes, se desarrolló el programa de computación ESTADIST, que sirve para la obtención de promedios normales anuales; cabe indicar que de forma similar puede ser de utilidad la obtención de promedios normales mensuales, semanales, diarios, etc., de acuerdo a las características del fenómeno que está siendo analizado.

1.3.1. Programa "ESTADIST".

El objetivo es calcular los valores mensuales mínimos, normales y máximos de un registro de datos mensuales.

El programa está escrito en lenguaje FORTRAN IV para un computador IBM 4341.

Procedimiento:

Consiste en encontrar los valores máximos, mínimos y promedios de toda la serie, considerando cada mes por separado.

Entrada de datos:

Se debe crear un archivo de datos cuya primera línea debe contener la siguiente información:

Columna	Formato	Descripción
1 - 4	I4	N: Número de puntos de la serie
5 - 8	I4	NAI: Año Inicial
9 - 24	2A8	G1, G2: Identificación del parámetro utilizado.
25 - 32	A8	G3: Nombre de la estación donde se tomaron los datos.

- datos ordenados de la serie de Tiempo
- Promedios anuales para toda la serie
 - Año normal, indicando el valor correspondiente a cada uno de los 12 meses del año.
 - Valores mensuales máximos, indicando el año de ocurrencia.
 - Valores mensuales mínimos, indicando el año de ocurrencia.

En el apéndice B se presenta como ejemplo un listado del Programa ESTADIST, así como una entrada y salida de resultados.

1.4. Resultados.

De la inspección visual de todo el registro de datos a nuestra disposición, así como también de la información suministrada por el Programa ESTADIST, pueden obtenerse interesantes resultados, los mismos que procederemos a presentar en esta sección.



BIBLIOTECA
NACIONAL
DE MÉXICO

1.4.1. Gráficos Anuales.

- a. Precipitación.- Si se observa el registro de datos desde 1927 hasta 1982 (fig. N° 2), puede notarse una fluctuación bastante irregular, sin embargo, puede verse que la mayor parte de las lluvias ocurren durante los primeros cuatro meses del año, aunque en ocasiones las lluvias abundantes comienzan en diciembre y a veces en noviembre; comportamiento que se aprecia con claridad en los gráficos anuales (fig. N° 3); en donde, para el año normal, la precipitación del mes de mayo corresponde a 35.64% de la ocurrida durante todo el año, mientras que para febrero es 33.8% y para los cuatro primeros meses del año es 92.96%, en tanto que para noviembre y diciembre este valor es de 3.23%, dejando el 3.81% para los restantes seis meses del año.

El año máximo tiene un comportamiento semejante al del año promedio, con excepción de los dos últimos meses que presentan valores totalmente inusuales para la localidad, con 194.82 milímetros en noviembre de 1936 y 36.6mm en diciembre de 1982.

La mayoría de los años donde se producen las máximas precipitaciones no presentan coincidencia con la aparición de un fenómeno de El Niño, cuyas ocurrencias según Quinn (13) se presentan en la Tabla I.

- Sin embargo, en general se aprecia que, cuando se reporta en EN hay precipitaciones abundantes, pero ¿Son éstas influenciadas por EN?

En cuanto al año mínimo, es una línea recta debido a que la menor precipitación que puede ocurrir es justamente que no caiga lluvia, y eso ha sucedido por lo menos una vez para todos los meses durante el período comprendido entre 1927 y 1982, como hecho importante cabe señalar que el último gran período de cero lluvias ocurrió de febrero a septiembre de 1982.

- b. Temperatura del Aire.- La serie presenta una periodicidad anual mucho más marcada que la del registro anterior, coincidiendo los meses de mayor calentamiento (febrero, marzo y abril) con los de mayor precipitación; el patrón general que se obser-

TABLA I
OCURRENCIA DE FENOMENOS "EL NIÑO"

Año	Clase	Nº de Años pa- sados	Año	Clase	Nº de años pasados
1864	fuerte	4	1923	débil	2
1868	moderado	3	1925	fuerte	4
1871	moderado	2	1929	moderado	3
1873	débil	2	1932	débil	7
1875	muy débil	2	1939	moderado	2
1877	fuerte	3	1941	fuerte	2
1880	moderado	4	1943	débil	3
1884	fuerte	3	1946	muy débil	2
1887	moderado	4	1948	muy débil	3
1891	fuerte	5	1951	débil	2
1896	moderado	3	1953	moderado	4
1899	fuerte	3	1957	fuerte	6
1902	moderado	3	1963	muy débil	2
1905	moderado	6	1965	moderado	4
1911	fuerte	3	1969	débil	3
1914	moderado	3	1972	fuerte	3
1917	débil	1	1975	muy débil	1
1918	fuerte	5	1976	moderado	

Número total de años entre ocurrencias: 112

Número total de ocurrencias: 35

Intervalo promedio entre ocurrencias considerando:

- Sólo EN fuertes: 12.3 años
- EN fuertes y moderados: 5.4 años
- EN fuertes, mod. y débiles: 3.7 años
- Todos los EN: 3.2 años

(De: *Historical trends and Statistics of El Niño*, Quinn et al. *Fishery bulletin*: Vol. 76, Nº 3, 1978)

va en la figura 4 (registro de datos), y con mayor claridad en la figura 5 (gráficos anuales), es un calentamiento a principios del año, para comenzar en que aumenta la temperatura nuevamente.

Observando los 56 años de datos disponibles (fig. 4), se observa una ligera tendencia a la disminu-ción de la temperatura media del aire conforme avan-zan los años. ¿Indica esto que el planeta se está enfriando?.

No existe coincidencia en la aparición de los valo-res máximos de temperatura del aire con los de pre-cipitación, a excepción de los meses de octubre y diciembre del año de 1982, donde se presentaron - tanto los máximos valores de temperatura del aire como los de precipitación en todo el período consi-derado.

- c. Temperatura superficial del agua.- Los gráficos - de temperatura superficial del agua (fig. N° 6), y los gráficos anuales (fig. N° 7), presentan notable similitud con los correspondientes a temperatura del aire, a pesar de que son tomados de localidades

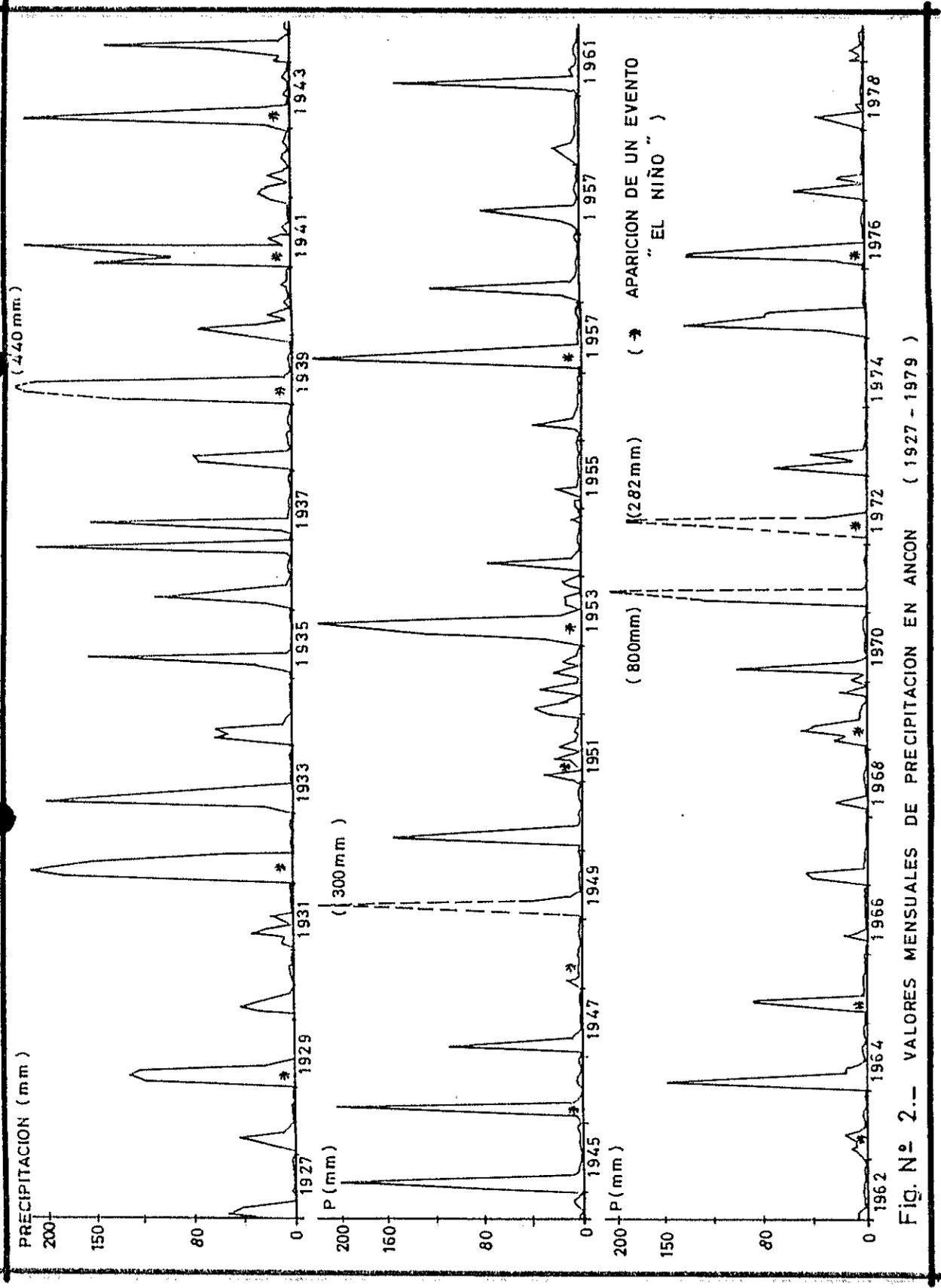


FIG. N° 2.- VALORES MENSUALES DE PRECIPITACION EN ANCON (1927 - 1979)

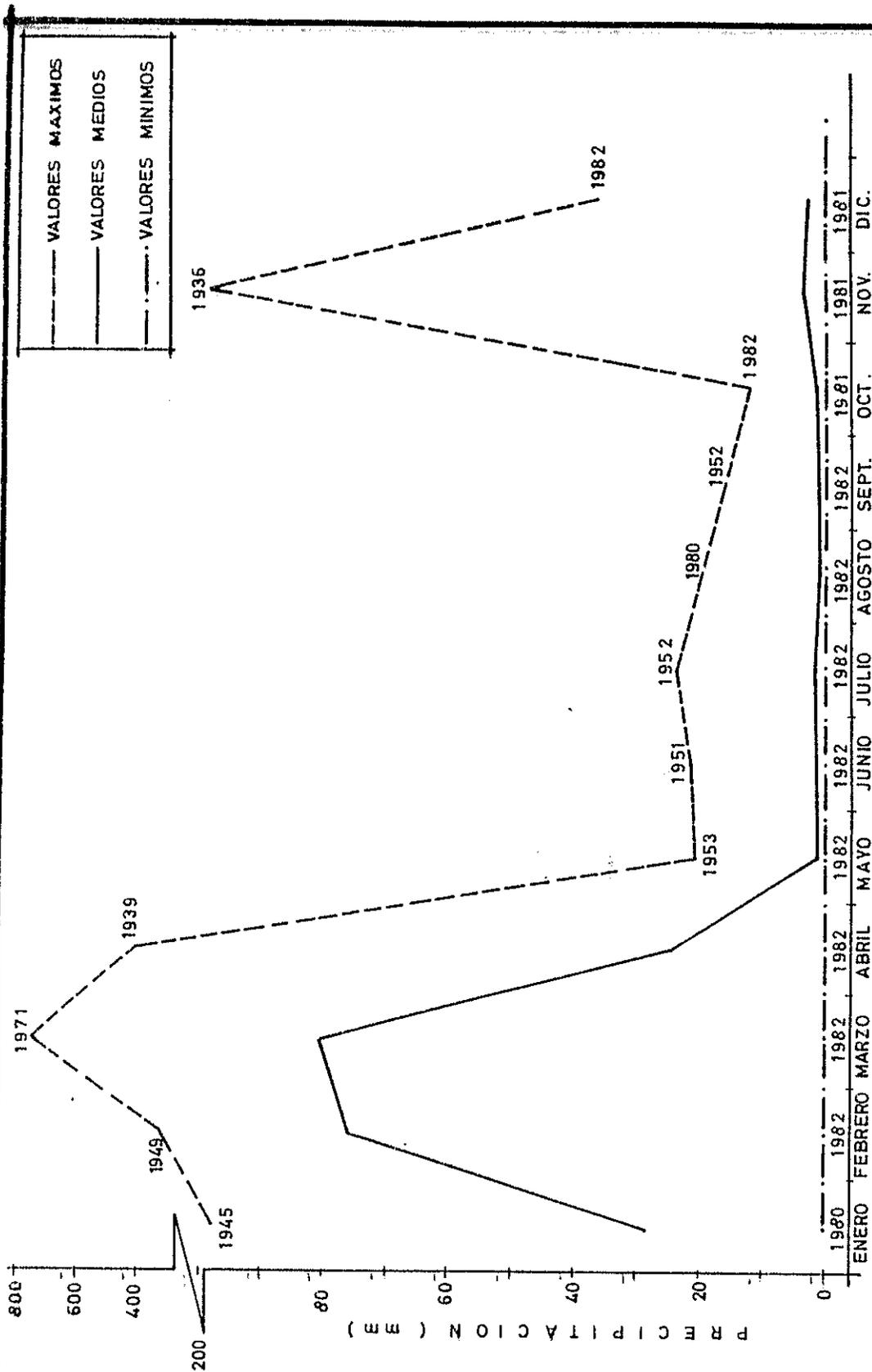


Fig. N° 3 .- VALORES MENSUALES PROMEDIOS MAXIMOS Y MINIMOS DE PRECIPITACION EN ANCON DURANTE EL PERIODO DE 1927 A 1982 .

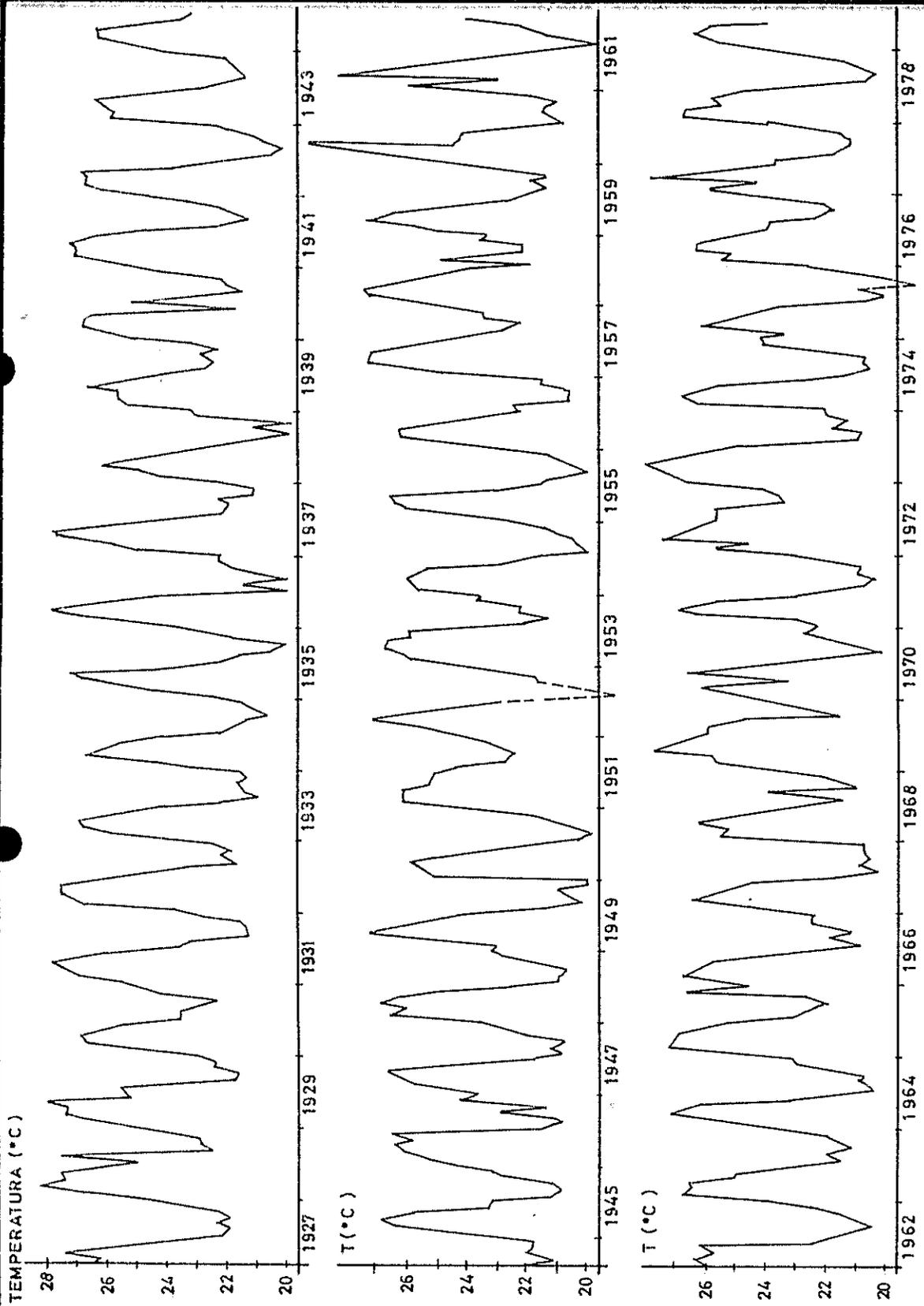


Fig. N° 4. -- PROMEDIOS MENSUALES DE TEMPERATURA DEL AIRE EN ANCON (1927 - 1979)

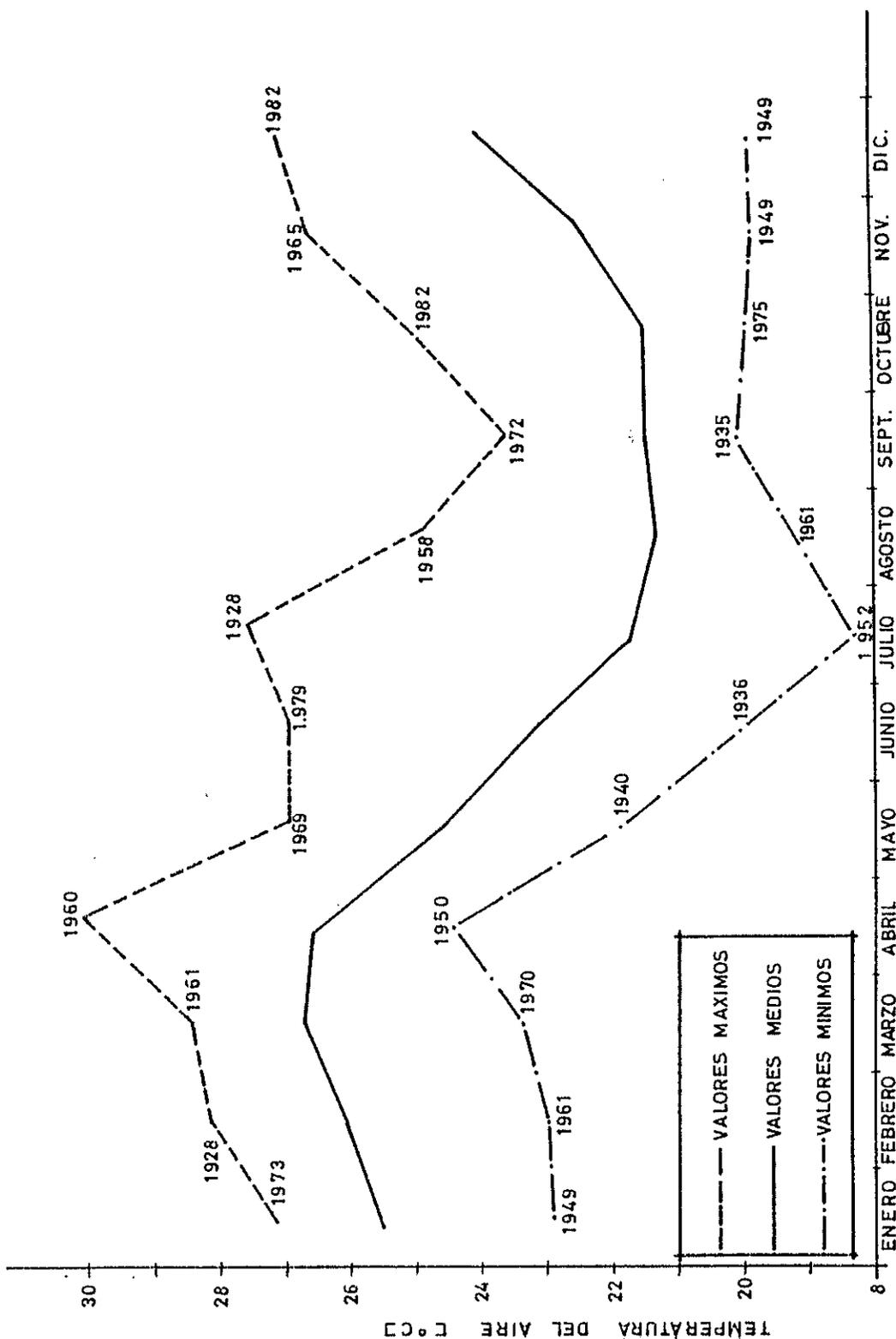


Fig. Nº 5 .-- VALORES MENSUALES PROMEDIOS, MAXIMOS Y MINIMOS DE TEMPERATURA DEL AIRE EN ANCON DURANTE EL PERIODO DE 1927 A 1982 .

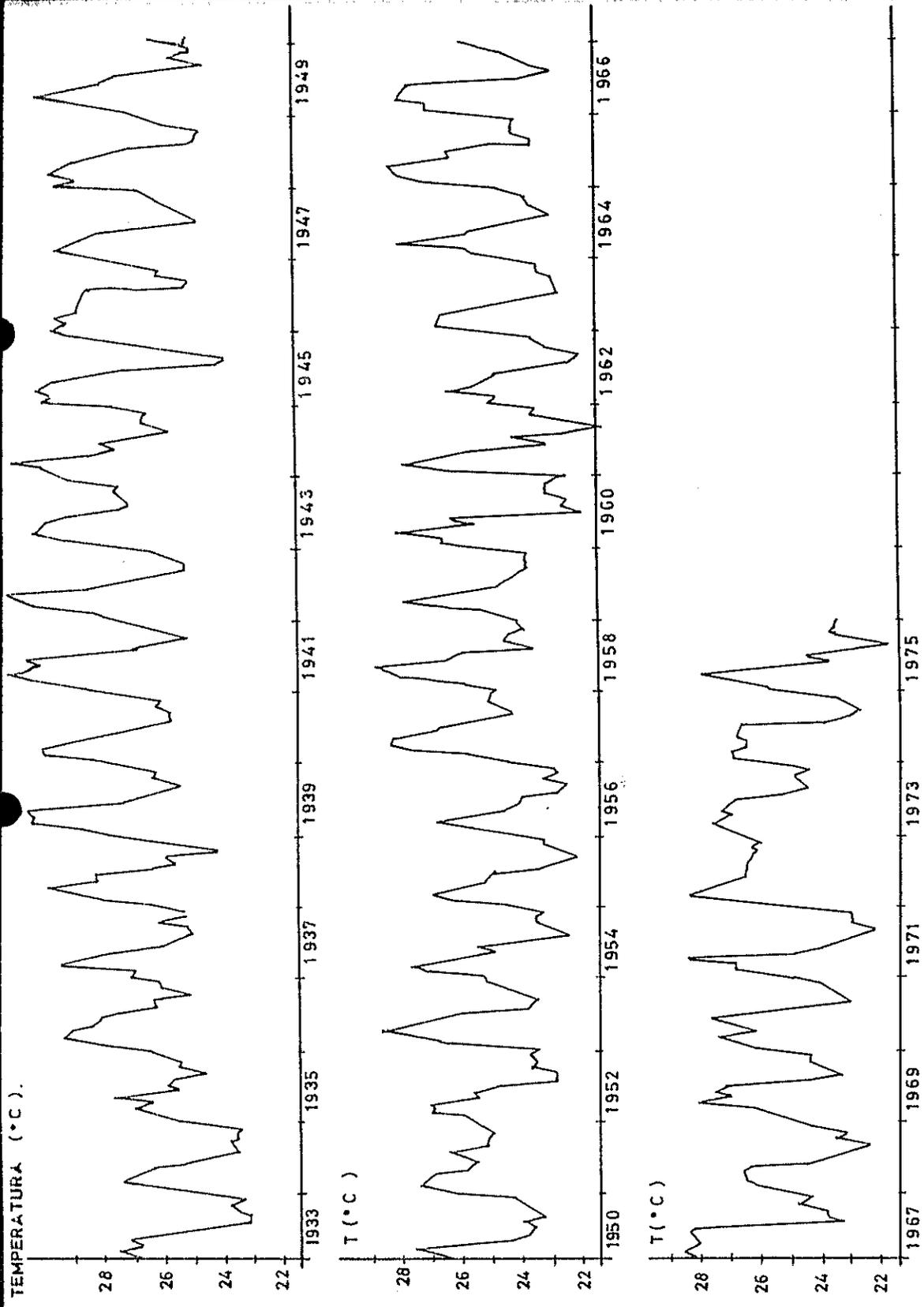


FIG. N° 6 .- PROMEDIOS MENSUALES DE TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL AGUA EN LA LIBERTAD (1933 - 1975)

UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA

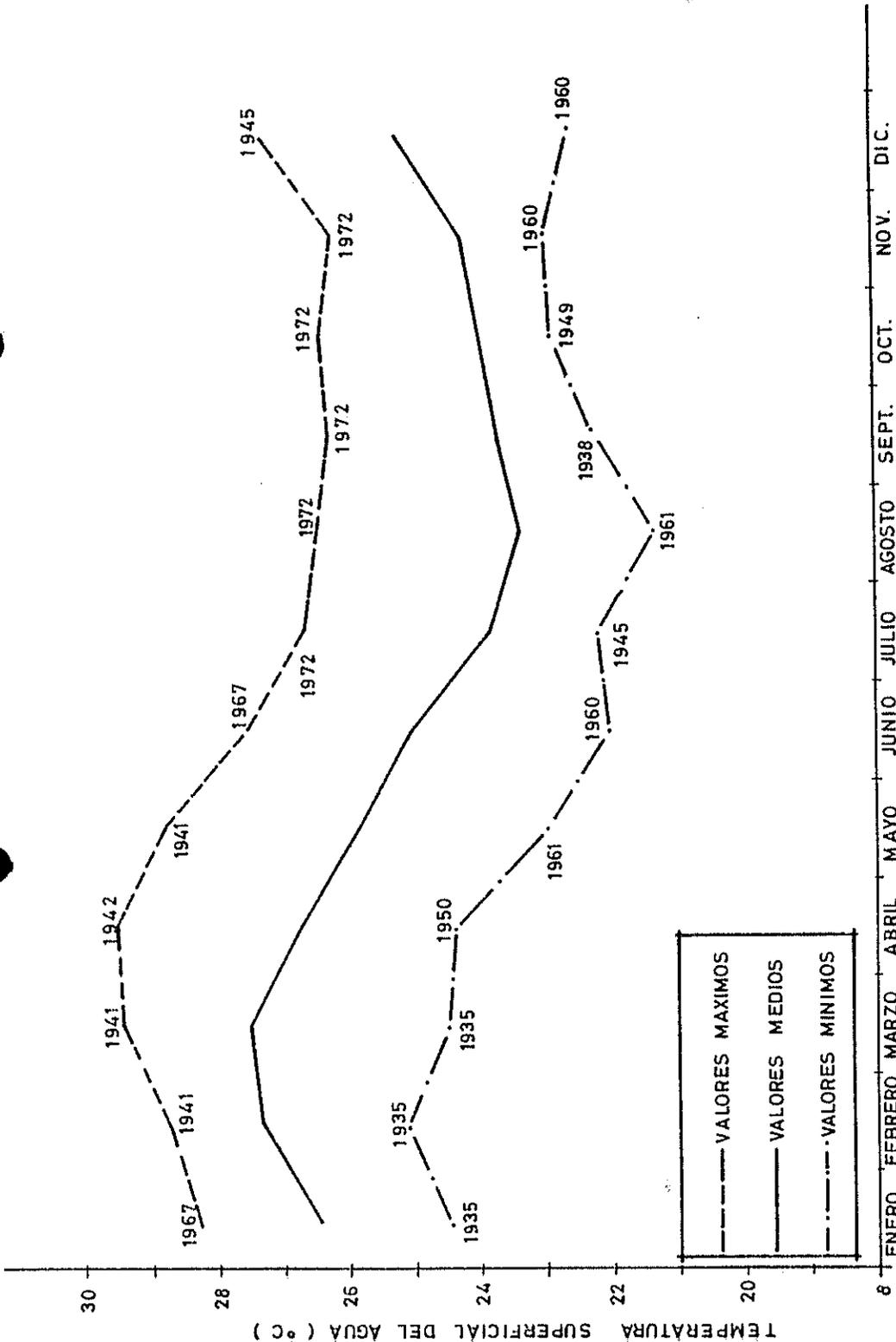


Fig N° 7 -- VALORES MENSUALES PROMEDIOS MAXIMOS Y MINIMOS DE TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL AGUA EN LA LIBERTAD DURANTE EL PERIODO DE 1933 A 1975.

diferentes.

Igualmente podemos apreciar una tendencia semejante a la del registro anterior, la misma que parece ser debida a una fluctuación de larga escala de tiempo*. No olvidemos que el período abarcado por esta serie es de 43 años, es decir 13 años menos que las dos anteriores.

1.4.2. Anomalías.

Si a cada uno de los datos de los registros originales le sustraemos el valor correspondiente al mes normal, obtenemos una nueva serie, que representa las desviaciones o anomalías de cada variable con respecto al año normal o promedio.

a. Precipitación

Las anomalías de precipitación son presentadas en la Fig. N° 8, donde puede apreciarse que el patrón usual

(*) Debido a que la serie de tiempo es insuficientemente larga, no podemos decir si esta fluctuación es periódica o no.

es la presencia de anomalías positivas al principio de cada año, a parte de esa no existe otra periodicidad evidente.

Es notoria la presencia de un período inusualmente prolongado de anomalías negativas que comienza a mediados de 1964 y termina a principios de 1969, lo que seguramente ocasionó una fuerte sequía en esa época.

b. Temperatura del aire

Se observa en la fig. N° 9, cierta fluctuación de la serie con períodos que varían de tres a seis años en los cuales hay, o sólo anomalías positivas o sólo negativas, parece ser que existen ciertas periodicidades pero estas son difíciles de discernir. No existe una época precisa del año para la aparición de las anomalías sino que, pueden comenzar (y finalizar) en cualquier época del año.

c. Temperatura superficial del agua

En cuanto al cálculo de las anomalías de temperatura del agua, debemos señalar que el taller de ERFEN realizado en Guayaquik en diciembre de 1983, recomendó a las instituciones investigadoras de la región que, con

el objeto de lograr uniformidad en los resultados, utili cen la base climatológica común de Reynolds, 1982, para calcular estas desviaciones.

Estas bases climatológicas las publica la NOAA, en for ma de mapas, con los valores numéricos de los datos nor males de temperatura superficial del agua, válidos para cuadrantes de un grado de área, sin embargo, Reynolds (10) afirma que debido a la forma en que los datos son editados y suavizados, pueden no ser válidos para regio nes ubicadas muy cerca de la costa.

Es por esta razón que Hansen, 1984, aconseja que en - las estaciones costeras donde se disponga de series de observaciones desde hace mucho tiempo, se calcule los valores promedios en la forma realizada en el presente trabajo.

Las anomalías de temperatura se muestran en la fig. - N^o 10, en ella podemos observar un intervalo de tiempo en el cual estas desviaciones oscilan en valores bajo lo normal para luego subir progresivamente hasta al - canzar uno o dos picos mayores que 2°C sobre lo normal y luego decaer brúscamente, para repetirse de nuevo el

proceso. Un detalle importante es que estos intervalos no son constantes. Como uno puede darse cuenta, el patrón descrito es muy semejante a aquel correspondiente a Temperatura del Aire.

Del análisis de los resultados presentados surgen varias interrogantes: ¿Existen otras periodicidades aparte de la anual en las series de tiempo?. ¿Hay alguna relación entre los parámetros?. ¿Qué porcentaje de los datos son predecibles y qué porcentaje son aleatorios, es decir impredecibles?. ¿Existen tendencias lineales o no-lineales que no son distinguibles por inspección visual o por el análisis estadístico básico?.

Para tratar de responder a estas y otras preguntas, debemos realizar estudios más profundos y minuciosos, aplicando herramientas matemáticas y estadísticas mucho más sofisticadas, y es a esta tarea a la cual nos dedicaremos durante el resto de este trabajo.

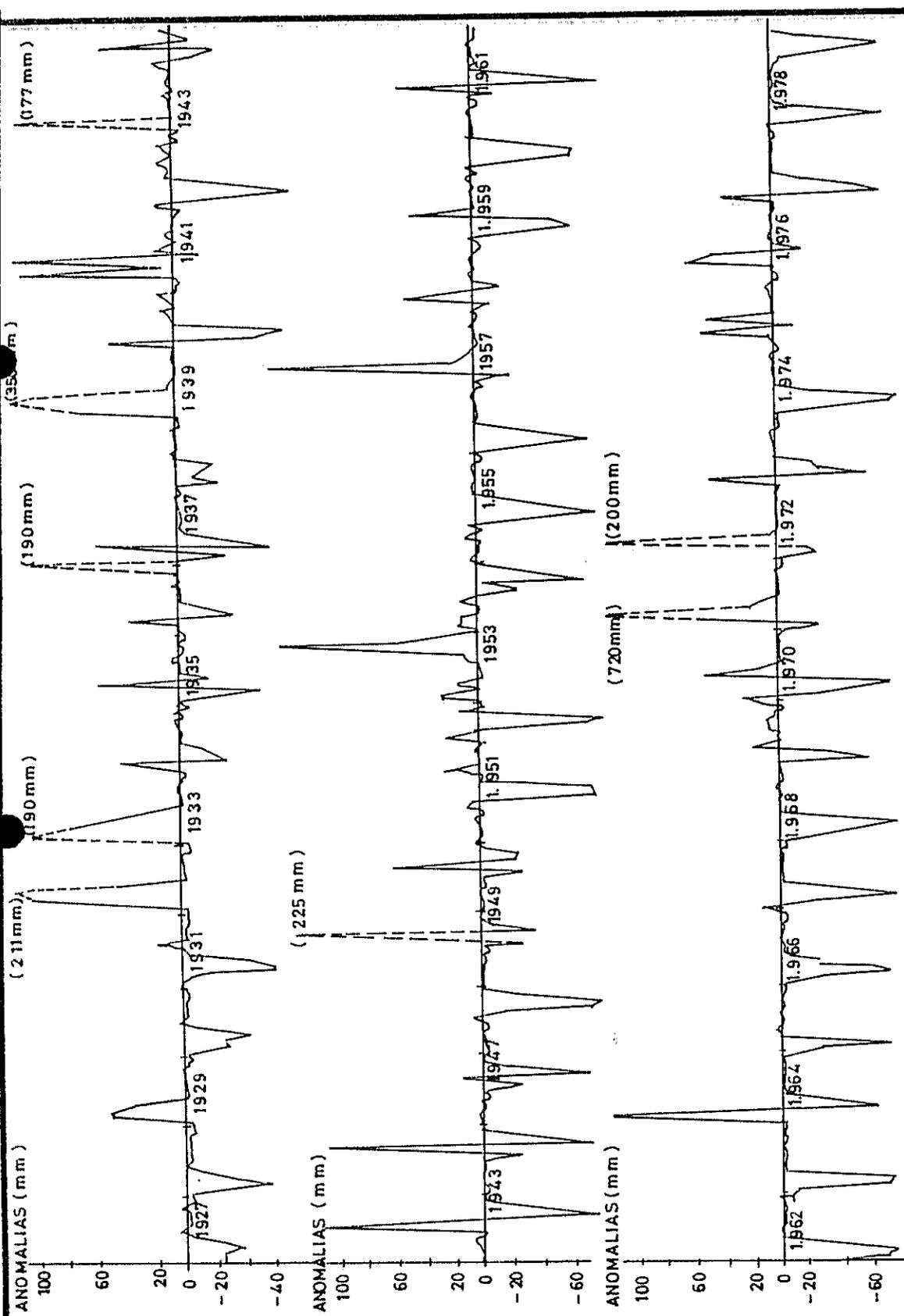


Fig. N° 8. - ANOMALIAS MENSUALES DE PRECIPITACION EN ANCON (1927 - 1979)

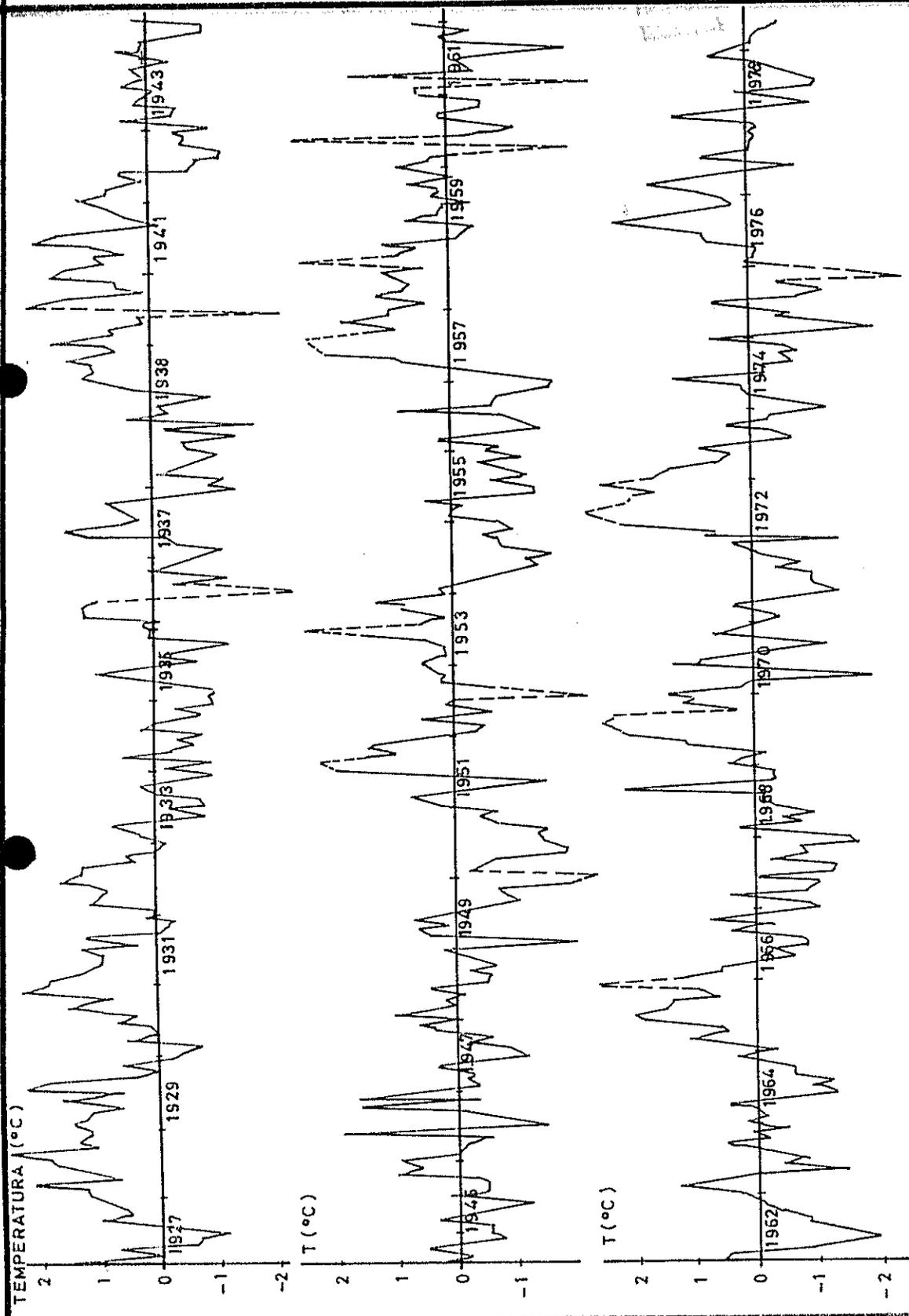


Fig. N° 9 -- ANOMALIAS MENSUALES DE TEMPERATURA DEL AIRE EN ANCON (1927 - 1979)

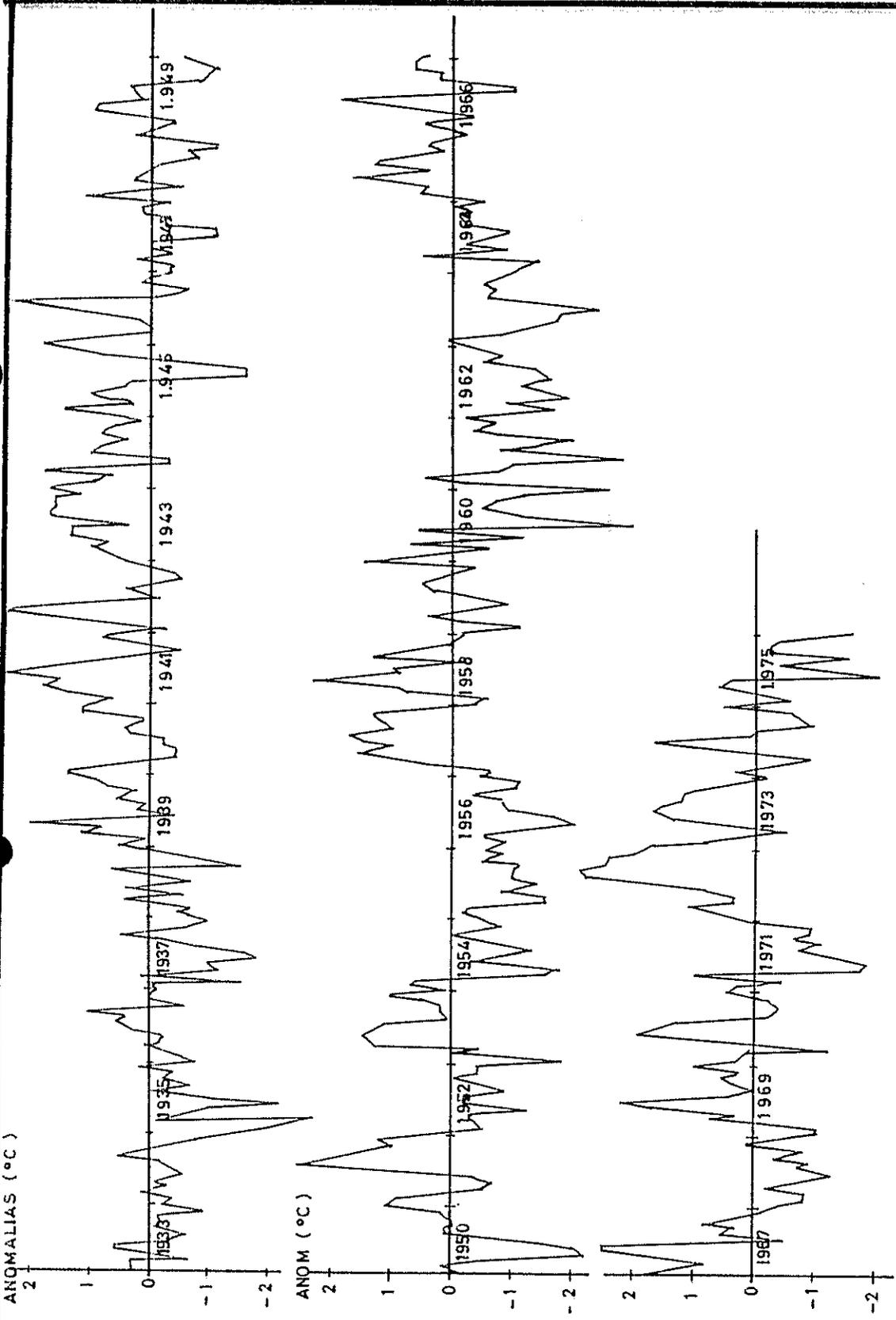


Fig. N° 10.- ANOMALIAS MENSUALES DE TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL AGUA EN LA LIBERTAD (1933 - 1975)

CAPITULO II

FUNDAMENTOS TEORICOS Y PRACTICOS DEL ANALISIS ESPECTRAL.

En este capítulo se presentaran los fundamentos teóricos y prácticos del Análisis Espectral, herramienta matemática que ha sido utilizada en el campo de la Oceanografía y en el de la Meteorología desde hace ya muchos años.

Cabe señalar que dicha técnica vió sus orígenes como una aplicación dentro del ramo de las comunicaciones, con miras al estudio del ruido electrónico, de forma que la mayoría de los textos que tratan sobre el tema utilizan vocabularios extraños para un oceanógrafo, a és to agréguese el hecho de que cada autor da su propia versión de un tema muy estudiado, introduciendo nombres nuevos y cambiando otros, lo que termina por confundir a quienes queremos analizar fenómenos físicos más "observables" que las señales de un radar.

Se ha puesto cuidado en presentar el tema de la forma más simple posible (aunque esto decepcione un poco a los matemáticos), pues aquel que lo desee puede consultar el tratamiento matemático en la amplia bibliografía que sobre el asunto existe en el medio. A pesar de esta simplificación se presenta un breve desarrollo teórico introduciendo formulaciones matemáticas con el objeto de familiarizarnos con e-

llas.

2.1. Introducción al Análisis de Series de Tiempo.

Se comenzará presentando algunos conceptos y definiciones que pueden sernos muy útiles más adelante, antes, debemos darnos cuenta que entramos en un campo extraño para el oceanógrafo, los procedimientos a ser utilizados pueden no ser los mismos que aquellos a los cuales estamos acostumbrados, esto fue expresado por Newman y Pierson en la siguiente forma:

"Cuando el mundo determinístico de la física clásica y la hidrodinámica es reemplazado por un mundo probabilístico, los problemas a ser resueltos para varias escalas de tiempo y espacio sufren simplificaciones que permiten soluciones de uso práctico directo". (10).

Es así que, pese a la aparente complejidad de estos métodos; conducen a resultados más simples y manejables que los obtenidos desde un punto de vista determinístico, para poner un ejemplo, gran parte de la información que contiene nuestro registro de Temperatura Superficial del Agua en La Libertad, y que podría ser descrita usando varios gráficos y tablas propiamente ordenadas, como un concepto determinístico, puede ser condensada en un espectro de potencias, como un concepto probabilístico.

2.1.1. Series de Tiempo.

En la introducción de esta tesis habíamos dado una definición para lo que comúnmente conocemos como series de tiempo, pero en realidad este término se aplica a una función $X(t)$ que cumpla con el requisito de ser aleatoria, o no determinística, teniendo como variable independiente t^* .

Una secuencia de números que representa las observaciones de un parámetro a intervalos de tiempo iguales, durante un cierto período, es llamada una Realización de una serie de tiempo, ejemplos de estas últimas, son los promedios mensuales de precipitación y temperatura del aire usados en este trabajo.

Si el registro observado es continuo, o analógico, toma el nombre de realización de un proceso estocástico, como ejemplo tenemos, el diagrama obtenido de un eco -

(*) En este trabajo se considera como variable independiente a tiempo, pero debe tenerse en cuenta que cualquiera otra variable (como el espacio por ejemplo) puede reemplazarla, y la teoría presentada será igualmente válida.

sonda. Debido a las facilidades que prestan hoy en día los computadores digitales es recomendable que estas observaciones sean digitalizadas (proceso llamado cuantización).

Todo registro tomado de un fenómeno físico, ya sea en forma continua o discreta puede ser de dos clases: determinístico (si los datos pueden ser predichos, es decir, descritos completamente por una relación matemática explícita), o aleatorios (si no son predecibles con exactitud y deben ser descritos con funciones de probabilidad y parámetros estadísticos).

Puede existir controversia al querer clasificar una serie de datos como determinística o aleatoria en general, se dice que si es posible reproducir datos en un experimento controlado por varias veces con resultados idénticos (dentro de los límites del error experimental) entonces los datos pueden considerarse como determinísticos.

Los datos determinísticos pueden a su vez ser periódicos (si se repite cada cierto tiempo) o no periódicos.

Mientras que los datos aleatorios pueden ser estacionarios (si sus propiedades estadísticas básicas permanecen constantes) o no estacionarios.

Existen cuatro tipos principales de funciones estadísticas usadas para describir las propiedades básicas de las series de tiempo: a) Valores cuadráticos, b) Funciones de densidad de probabilidad, c) Funciones de autocorrelación, y d) Funciones de densidad de potencia espectral.

Nosotros consideraremos todas estas funciones con excepción de la Función Densidad de Probabilidad, la cual - lo que hace es decir la probabilidad de que los datos asuman un valor dentro de algún rango definido, en cualquier instante de tiempo; debido a que siempre asumiremos que los fenómenos aleatorios están normalmente distribuidos (cuando se tengan serias dudas sobre esta asunción se deberá realizar un test para determinar la normalidad de la serie).

Otro concepto importante con el que nos ^{en} vamos a encontrar a menudo es el Proceso estocástico, que es el con

junto de todos los posibles valores $X(t)$ que una variable aleatoria puede tomar para t variando de $-\infty$ a $+\infty$, el valor observado $X(t)$ de la serie de tiempo es considerado como uno de los infinitos valores que la variable aleatoria $X(t)$ puede tener.

Como mencionamos anteriormente, prácticamente todas las series de datos que se obtienen de la naturaleza provienen de una población normal o cercana a la Normalidad, no discutiremos esta famosa función, solamente estableceremos que la función Densidad de Probabilidad Normal (o Gaussiana) tiene la siguiente forma matemática:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right)^2 \right]; \quad -\infty < x < +\infty \quad (2.1)$$

Donde la media μ , y la varianza σ^2 para una muestra de una población nunca pueden ser conocidos, sino que se tiene una idea de sus valores a través de estimados.

En la figura N° 11 se presenta un esquema con la clasificación de los tipos de registros que pueden ser obtenidos, los mismos que ya han sido explicados previamente.

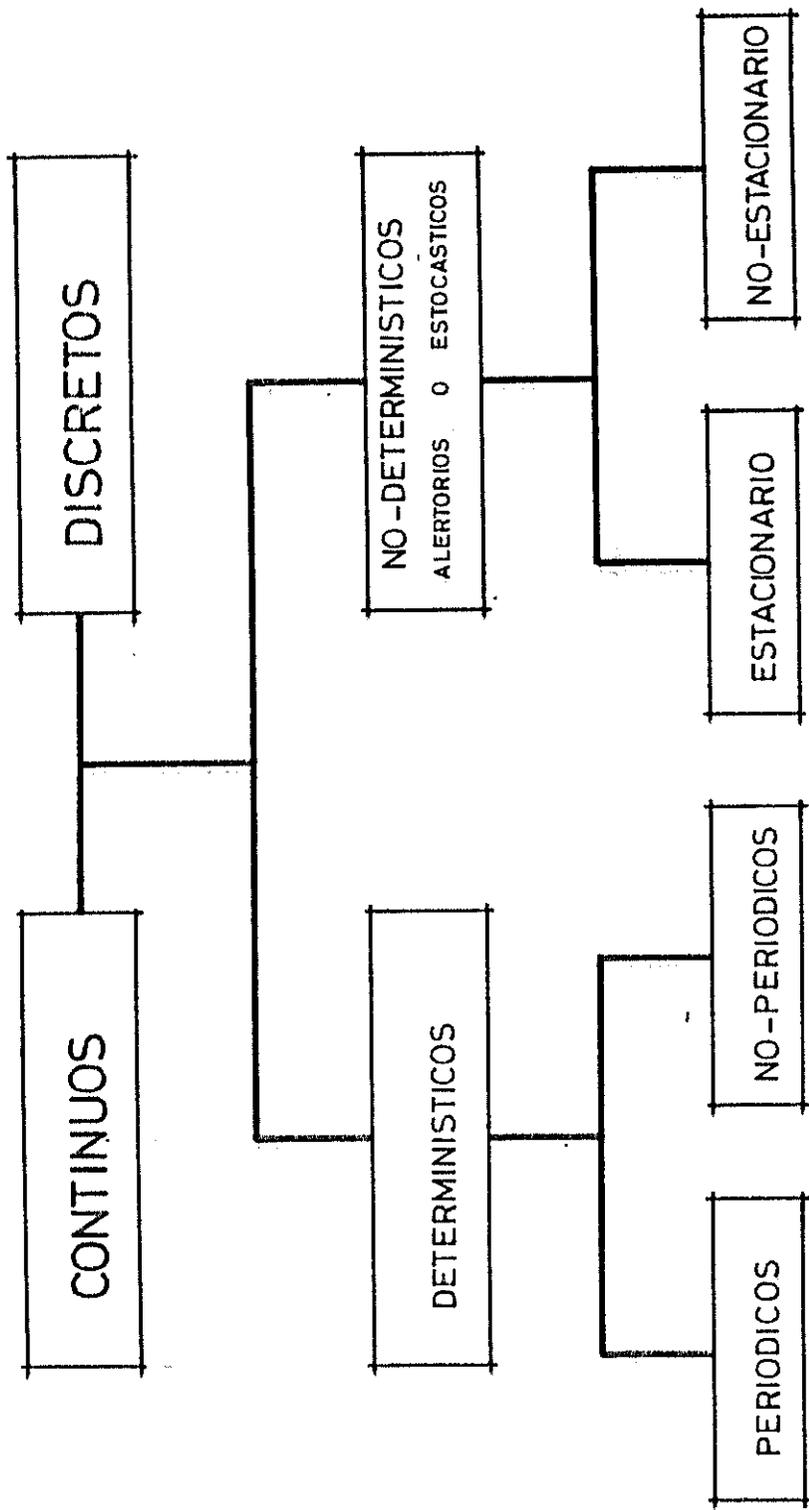


Fig. N° 11 .-- CLASIFICACION DE LOS DIFERENTES TIPOS DE REGISTROS QUE PUEDEN SER ENCONTRADOS EN LA NATURALEZA.

En la práctica, los registros que se obtienen al muestrear un parámetro son la mezcla de varios tipos de procesos, y lo que nos interesa es determinar que partes del fenómeno son de característica periódica, que porción son aleatorias, etc.

2.2. El Análisis Espectral.

Cuando se analizan series de tiempo se hace un tratamiento numérico de las observaciones muestreadas, muchas de las cuales presentan una superposición de componentes determinísticas, con ruido de fondo.

Lo que realiza el Análisis Espectral sobre un registro de datos es, en forma general, una distribución de la varianza total de la serie, para cada una de las frecuencias que la componen.

La varianza (s^2) consiste simplemente en una medida de la dispersión de las observaciones a partir de la media, (\bar{x}) lo que matemáticamente se expresa de acuerdo a la ecuación 2.2.

$$s^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \quad (2.2)$$

N: Número de puntos de la serie

En otras palabras, el Análisis Espectral estima aquellas partes de la varianza de un registro que se repiten a intervalos de tiempo constantes, así como también la parte que es aleatoria. Estos estimados forman lo que se conoce por el nombre de Espectro de Potencias, término que surgió debido a que los primeros trabajos en técnicas espectrales fueron hechos en ingeniería de comunicaciones, donde el término "potencia" está muy relacionado a la varianza de la serie, y de ahí se tornó de uso común pero, en realidad, sería más adecuado utilizar el término "Espectro de Varianzas".

Para comprender mejor el efecto que produce el Análisis Espectral aplicado en un registro de datos resulta útil compararlo con la descomposición que sufre una onda cualquiera al pasar por un obstáculo adecuado, hecho que todos hemos podido observar alguna vez (el arco iris, es un ejemplo).

Esto lo podemos ver esquemáticamente en la fig. N° 12, el haz de luz al pasar por el prisma triangular es descompuesto en un espectro de colores que están ordenados de acuerdo a sus respectivas longitudes de onda (lo que es lo mismo de acuerdo a sus respectivas frecuencias), si medimos la intensidad de la luz correspondiente a cada color, podemos construir un gráfico de barras como el que es mostrado en las figuras 12.a y

12.b, y que constituirán espectros de intensidad de luz, y la localización y tamaño de cada barra dependerá de la gama e intensidad de colores presentes en el haz de luz incidente.

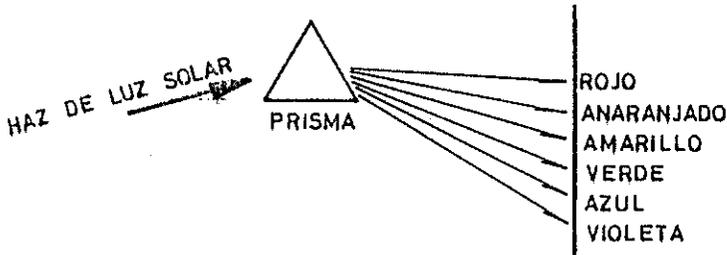
En la figura 12.c el Análisis Espectral toma el lugar del prisma triangular y el resultado es un espectro de potencias que muestra la distribución de la varianza del registro para toda la banda de frecuencias.

Entonces, obtendremos un espectro característico para cada registro en particular, lógicamente éste será más complejo mientras mayor variación presente la serie analizada, lo que puede ser observado claramente en el gráfico N° 13.

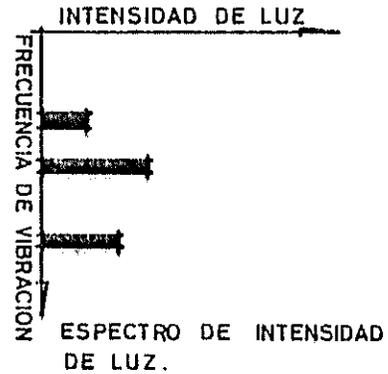
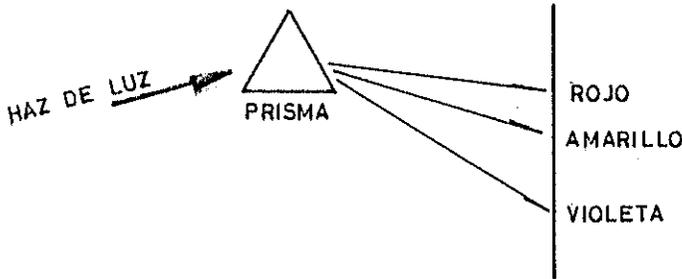
Si tenemos un registro constante (fig. 13.a), la varianza es cero y por lo tanto el espectro de potencias es cero para toda la banda de frecuencias. Si el registro tiene una tendencia lineal (fig. 13.b) esta es reflejada en el espectro como siendo de frecuencia cero (período infinito), en la sección 2.4.4 explicaremos cuales son las causas de la presencia de varianza en esta frecuencia.

En la figura 13.c se muestra una onda sinusoidal que tiene una longitud de onda que corresponde a la frecuencia F_4 por lo que

12 a.- RESOLUCION PRISMATICA DE UN HAZ DE LUZ SOLAR.



12 b.- RESOLUCION PRISMATICA DE UN HAZ DE LUZ



12 c.- RESOLUCION DE UN REGISTRO DE DATOS POR ANALISIS ESPECTRAL.

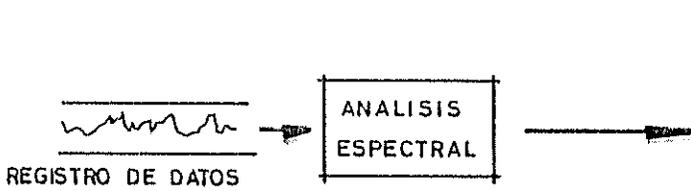


Fig. N° 12.- ANALOGIA FISICA CON EL ANALISIS ESPECTRAL

(DE: SPECTRAL ANALYSIS T. WASTLEN. WASHINGTON D.C. 1.969).

SEGMENTO DE REGISTRO :

GRAFICO DEL ESPECTRO DE POTENCIA ..

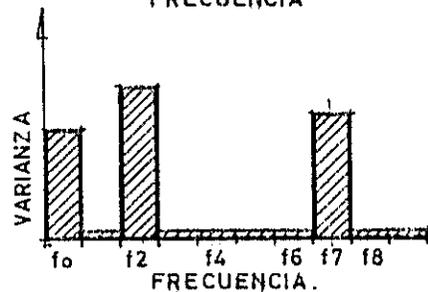
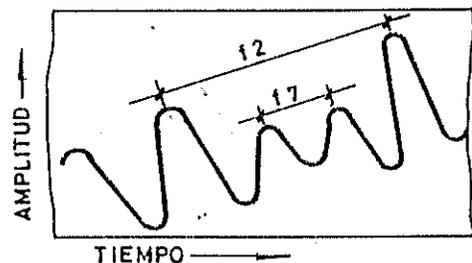
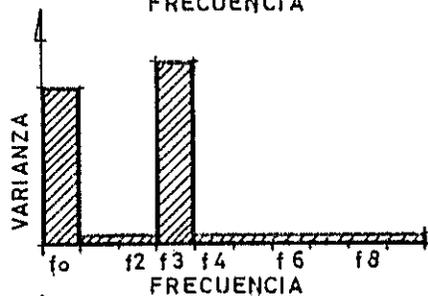
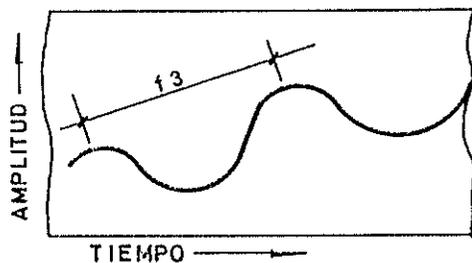
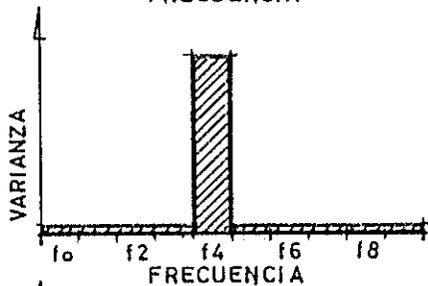
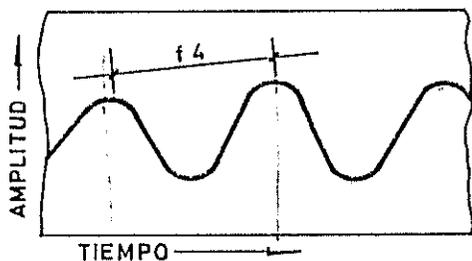
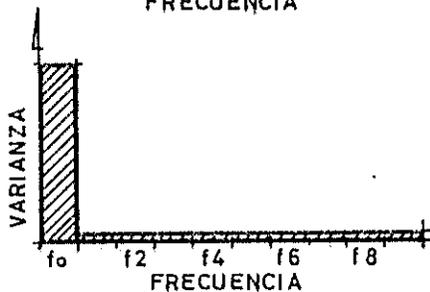
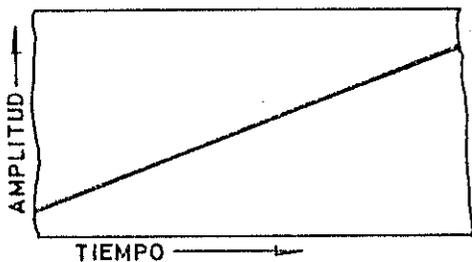
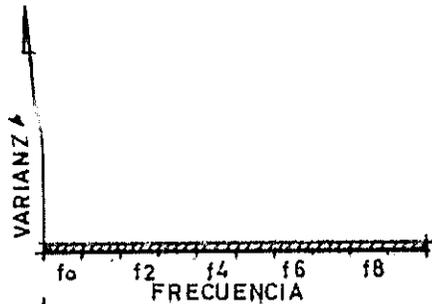
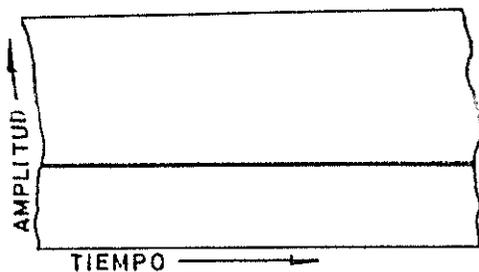


Fig. N° 13 .. ESPECTROS DE POTENCIAS CORRESPONDIENTES A VARIOS TIPOS DE CURVAS .

con el espectro la varianza estará acumulada en dicha frecuencia.

El registro de la figura 13.d es una combinación de las figuras 13.b y 13.c, hecho que también se cumple con el espectro de potencias. En la figura 13.d tenemos un registro que tiene una tendencia lineal (lo que ocasiona una acumulación de la varianza en la frecuencia cero) y dos ondas sinusoidales de amplitudes correspondientes a F2 y F7 (presentes también en el espectro).

Esto nos indica que tendremos contribución a la varianza en tantos puntos de frecuencia como componentes periódicas tenga el registro analizado, y de esta manera podremos descomponer nuestro registro en una forma que nos facilite su análisis e interpretación.

2.2.1. El Espectro.

Existen dos formas básicas de obtener el Espectro de Potencias de un registro de datos; por medio del Análisis Indirecto, en el cual el estimado espectral es calculado a partir de la Función de Autocovarianza (f_{acv}) o de la Función de Autocorrelación (f_{ac}), y el Análi-

sis Directo en el cual el espectro es obtenido a partir de la Serie de Fourier que representa el registro observado.

Los algoritmos para la obtención de un rápido Análisis de Fourier, generalmente conocidos como FFT (Fast Fourier Transform: Transformada Rápida de Fourier), si bien son extensos y relativamente complicados, han alcanzado hoy en día una sofisticación y velocidad de operación muy altas; sin embargo, las subrutinas que se requieren exigen una capacidad de memoria de máquina que impide su uso en computadores pequeños.

Por otro lado, la matemática asociada al Análisis Indirecto es menos compleja y los resultados alcanzados son prácticamente iguales a aquellos logrados con el método anterior, por lo que resulta ideal para aquellas personas que recién están tomando contacto con este campo, sin embargo, tienen el inconveniente de que se tornan muy lentos cuando se analizan registros que contienen más de 1500 datos.

En este trabajo nos dedicaremos a presentar los fundamentos necesarios para la obtención del espectro de -

Potencias por medio del Método Indirecto, es decir a través de la Función de Autocovarianza.

En lenguaje matemático, el Espectro es la Transformada de Fourier de la facv (expresión 2.3), lo contrario también es cierto, esto es, la facv es la transformación de Fourier del Espectro de Potencias (2.4).

$$S(f) = \int_{-\infty}^{\infty} R(u) \exp(-j2\pi fu) du \quad (2.3)$$

$$R(u) = \int_{-\infty}^{\infty} S(f) \exp(j2\pi fu) du \quad (2.4)$$

Detengámonos un poco en estas dos expresiones; en primer lugar debemos enfatizar que $S(f)$ y $R(f)$ son estíma dos del Espectro de Potencias $\Gamma(f)$ y de la facv $\gamma(u)$ respectivamente, que son los valores teóricos, pues las dos últimas funciones nunca pueden ser conocidas a partir de una muestra de datos; para poder hallarlos deberíamos saber los infinitos valores que puede tomar la variable que estemos considerando, lo que físicamente es imposible.

Para calcular el espectro usando (2.3) debemos obtener la facv con la siguiente expresión:

$$R(u) = \frac{1}{T} \int_0^{T-|u|} (x(t) - \bar{x})(x(t+u) - \bar{x}) dt; \quad (2.5)$$

$$-T \leq u \leq T$$

para funciones discretas utilizamos:

$$R(k) = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^{N-k} (x_t - \bar{x})(x_{t+k} - \bar{x}); \quad (2.6)$$

$$-(n-1) \leq k \leq N-1$$

Por otra parte, las expresiones (2.3) y (2.4) en algunos textos se encuentran expresados en forma real, utilizando las siguientes identidades:

$$\exp(-j2\pi fu) = \cos(2\pi fu) - i\text{Sen}(2\pi fu) \quad (2.6a)$$

$$\exp(j2\pi fu) = \cos(2\pi fu) + i\text{Sen}(2\pi fu) \quad (2.6b)$$

con lo que, aplicando varios pasos matemáticos, se puede llegar a:

$$A(f) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} R(u) \cos(fu) du \quad (2.7)$$

$$R(u) = \int_0^{\infty} S(f) \cos(fu) df \quad (2.8)$$

El siguiente paso es introducir una función muy importante, llamada Función Estabilizadora $w(t)$, o su correspondiente Transformada de Fourier, llamada Ventana Espectral $W(u)$; de las cuales hablaremos en la siguiente Sección, por ahora basta decir que su papel es el de suavizar el espectro calculado, es decir, disminuir la diferencia entre $S(f)$ y $\Gamma(f)$.

Entonces, introduciendo en (2.3) nuestra ventana obtenemos:

$$S(f) = \int_{-\infty}^{\infty} W(u) R(u) \exp[-j2\pi fu] du \quad (2.9)$$

Como vamos a utilizar funciones discretas, reemplazamos los integrales por sumatorias:

$$S(f) = \sum_{k=-(L-1)}^{L-1} W(k) R(k) \exp[-j2\pi fu];$$

$$-\frac{1}{2\Delta} \leq f \leq \frac{1}{2\Delta} \quad (2.10)$$

En donde: $L = M/\Delta$

$M =$ punto de truncación

En (2.10), reemplazamos la parte exponencial compleja por Cosenos y, puesto que $S(f)$ es una función par, lo que significa que:

$$S(-f) = S(f) \quad (2.11)$$

necesitamos calcularla solamente el intervalo

$0 \leq f \leq 1/2$, obteniéndose por lo tanto:

$$S(f) = 2\Delta \left[R(0) + 2 \sum_{k=1}^{L-1} R(k) W(k) \cos(2\pi f k \Delta) \right] \quad (2.12)$$

Como veremos más adelante, dependiendo del intervalo de muestreo del registro, el espectro es calculado hasta un valor determinado de frecuencia (Frecuencia Nyquist o de corte: F_n), más allá de la cual el espectro de Potencias vale cero, lo que se expresa así:

$$S(f) = \begin{cases} \text{expresión 2.12} & 0 \leq f \leq F_n \\ 0 & \text{Para otros valores de } f \end{cases} \quad (2.13)$$

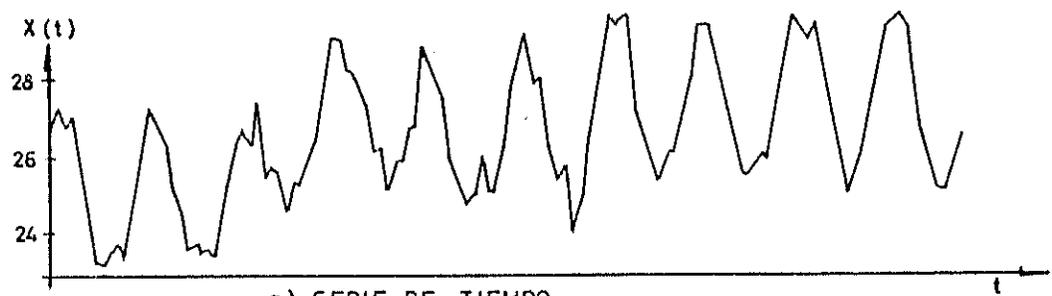
La expresión (2.12) es la utilizada para calcular el Espectro a través de la f_{acv} para un registro discreto,

la misma que nos proporciona valores para construir un diagrama de barras similar al obtenido del Análisis de Fourier, pero que por convención se prefiere graficarlos uniéndolos los puntos por líneas rectas o en forma suavizada.

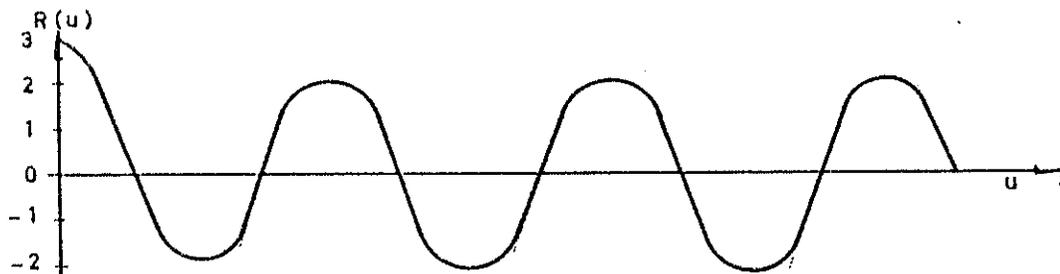
En la figura N° 14 podemos observar las funciones que con obtenidas de la aplicación del Análisis Espectral a una Serie de Tiempo $X(\ddagger)$, a la cual, al aplicarle la expresión (2.6) se obtiene la Función de Autocovarianza (fig. 14.b), en 14.c se muestra la función estabilizadora que corresponde a la Ventana Espectral de Tukey, la misma que al actuar sobre la funci^on produce la Función de Autocovarianza suavizada (fig. 14.d), a partir de la cual se calcula finalmente el Espectro de Potencias (fig. 14.e).

2.2.2. Ventanas Espectrales.

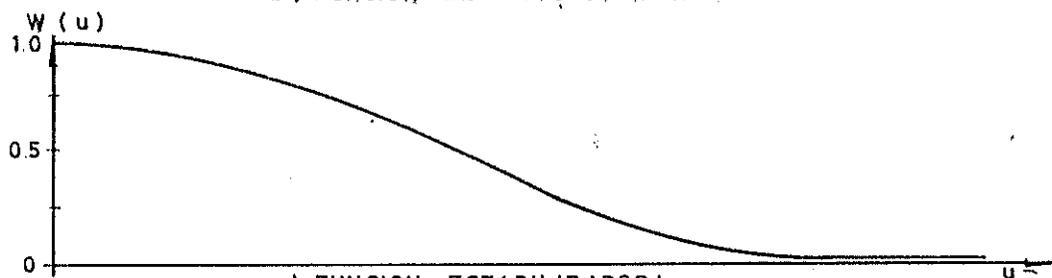
En la sección anterior introdujimos el término de Ventanas Espectrales para referirnos a una función que tiene por objeto mejorar nuestro estimado espectral debido a que el espectro calculado directamente a partir de (2.7) reproduce pobremente el espectro teórico $\Gamma(f)$.



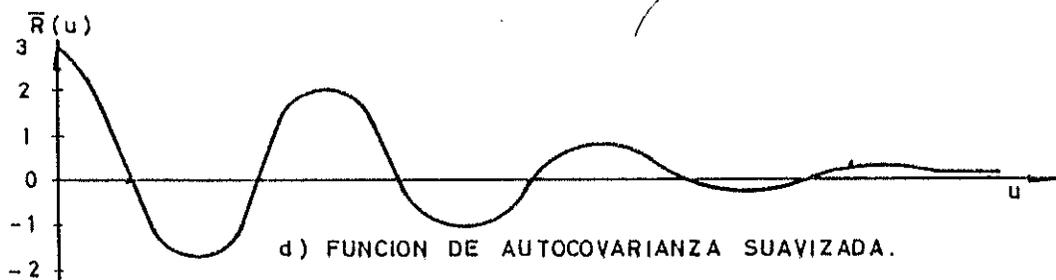
a) SERIE DE TIEMPO



b) FUNCION DE AUTOCOVARIANZA.



c) FUNCION ESTABILIZADORA



d) FUNCION DE AUTOCOVARIANZA SUAVIZADA.



e) ESPECTRO DE POTENCIAS.

Fig. N° 14 ... FUNCIONES OBTENIDAS DE LA APLICACION DEL ANALISIS ESPECTRAL A UNA SERIE DE TIEMPO.

Puesto que el papel que desempeñan estas funciones es el de eliminar fluctuaciones aleatorias del espectro - que no guardan relación con la Serie de Tiempo a partir del cual fueron obtenidos, últimamente se les ha dado el nombre de Funciones estabilizadoras, la Transformada de Fourier de ellas se llama Ventanas Espectrales (los primeros en utilizar estas funciones fueron Plackman y Tukey, que les dieron los nombres de "Lag Window" y "Spectral Window" respectivamente).

Podemos aplicar cualquiera de las dos formas matemáticas ya que el efecto es exactamente el mismo; si lo hacemos en el dominio de tiempo, sobre la Función de Autocovarianza debemos usar la Función estabilizadora, si lo hacemos en el dominio de las frecuencias, sobre el espectro de potencias, debemos usar la Ventana Espectral correspondiente.

En la figura N^o 15 se muestran algunas de las funciones estabilizadoras más usadas y sus respectivas Transformadas de Fourier (Ventanas Espectrales).

Las propiedades de estas funciones se aprecian mejor en el dominio de las frecuencias, es decir cuando es-

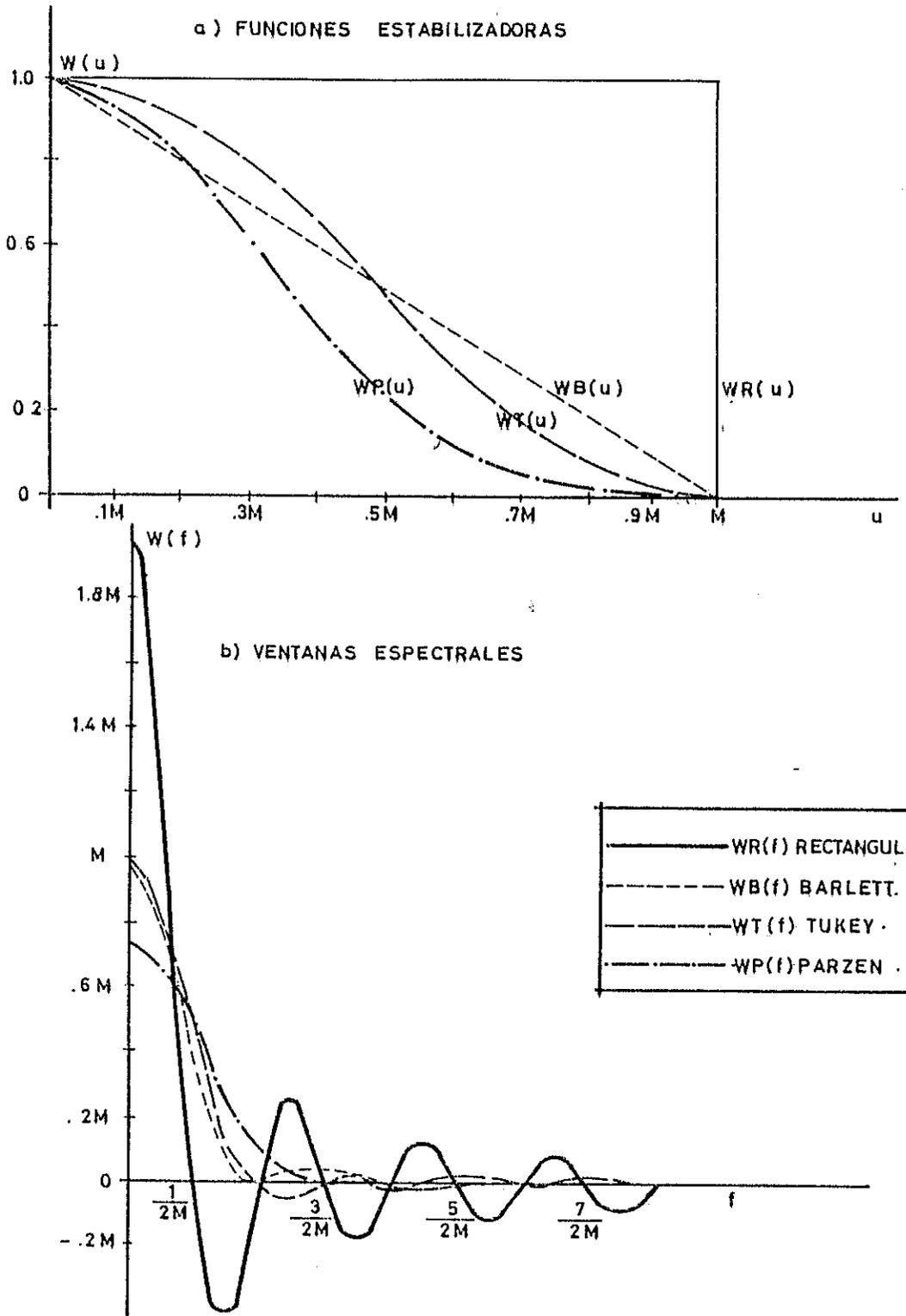


Fig. N° 15. - FUNCIONES ESTABILIZADORAS Y SUS TRANSFORMADAS DE FOURIER. (DE: SPECTRAL ANALYSIS, JENKINS & WATTS, HOLDEN DAY INC. SAN FRANCISCO 1968).

EMPRESA
NACIONAL
DE INVESTIGACIONES
CIENTÍFICAS

tán presentadas como ventanas espectrales. Una de las propiedades más importantes es el Ancho de Banda que podemos definir como el intervalo de frecuencias existente entre el más alto y el más bajo valor alcanzado por una ventana, el mismo que depende del número de puntos de truncación hasta el cual se calcula la ventana.

Por otra parte, la distorsión producida por una ventana es menor mientras más concentrada esté alrededor del cero, de acuerdo al gráfico N° 15, la ventana rectangular sería la mejor, pero en cambio tiene los lóbulos laterales más grandes lo que ocasiona el efecto conocido como plegamiento.

La presencia de lóbulos laterales negativos puede ocasionar estimados espectrales negativos, por lo que debe tratarse de que estos lóbulos sean lo más pequeños posibles.

2.2.3. Filtros.

En muchas ocasiones no estamos interesados en la totalidad del espectro $S(f)$, sino en una determinada porción del mismo; debido a que, o la varianza está con -

centrada en unas pocas bandas de frecuencias y desaparece casi por completo en las demás, o bien es preferible ignorar algunas de las variaciones presentes en nuestro registro analizado, puesto que su espectro (que a veces es complicado y difícil de interpretar) es de poco interés.

El aislamiento de una porción de $S(f)$ depende de las características del espectro, $P(f)$, del filtro utilizado. Si $P(f)$ es igual a cero para toda frecuencia mayor que f_c , $f_c < f_n$, el filtro elimina todas las frecuencias - que se encuentran más allá de f_c (lámina que toma el nombre de frecuencia de corte), y es llamado un Filtro Pasa Bajo. Si $P(f)$ desaparece para todas las frecuencias entre 0 y f_{c1} , $f_{c1} < f_n$, el filtro separa todas las bajas frecuencias y es llamado un Filtro Pasa Alto. Si $P(f)$ desaparece para todas las frecuencias entre 0 y f_c , y entre f_{c1} y f_n , siendo $f_c < f_{c1}$; tenemos un Filtro Pasa-Banda.

Nótese la diferencia en el uso de estos filtros (los mismos que son aplicados en el registro de datos previo al Análisis Espectral), y el de las ventanas espectrales (filtros especiales que se aplican sobre el espectro

directamente).

En la sección 2.3., correspondiente al desarrollo del programa "ESPECTRO", presentaremos algunos filtros utilizados en este trabajo.

2.3. Desarrollo del Programa "ESPECTRO".

Procederemos a explicar con todo detalle el método utilizado para calcular el Espectro de Potencias definido por la expresión 2.12.

Este cálculo se realiza por medio del programa de computación "ESPECTRO", escrito en Lenguaje FORTRAN IV, para un computador IBM 4341, diseñado para aceptar registros de hasta 1500 datos y que, trabajando con la máxima información permitida, tarda menos de 30 segundos en proporcionar los resultados requeridos.

A continuación procederemos a explicar el diagrama de flujo utilizado, el mismo que es mostrado en la figura N° 14, posteriormente se hará un detalle de la entrada de datos necesitada así como también de la salida de resultados que pueden obtenerse.

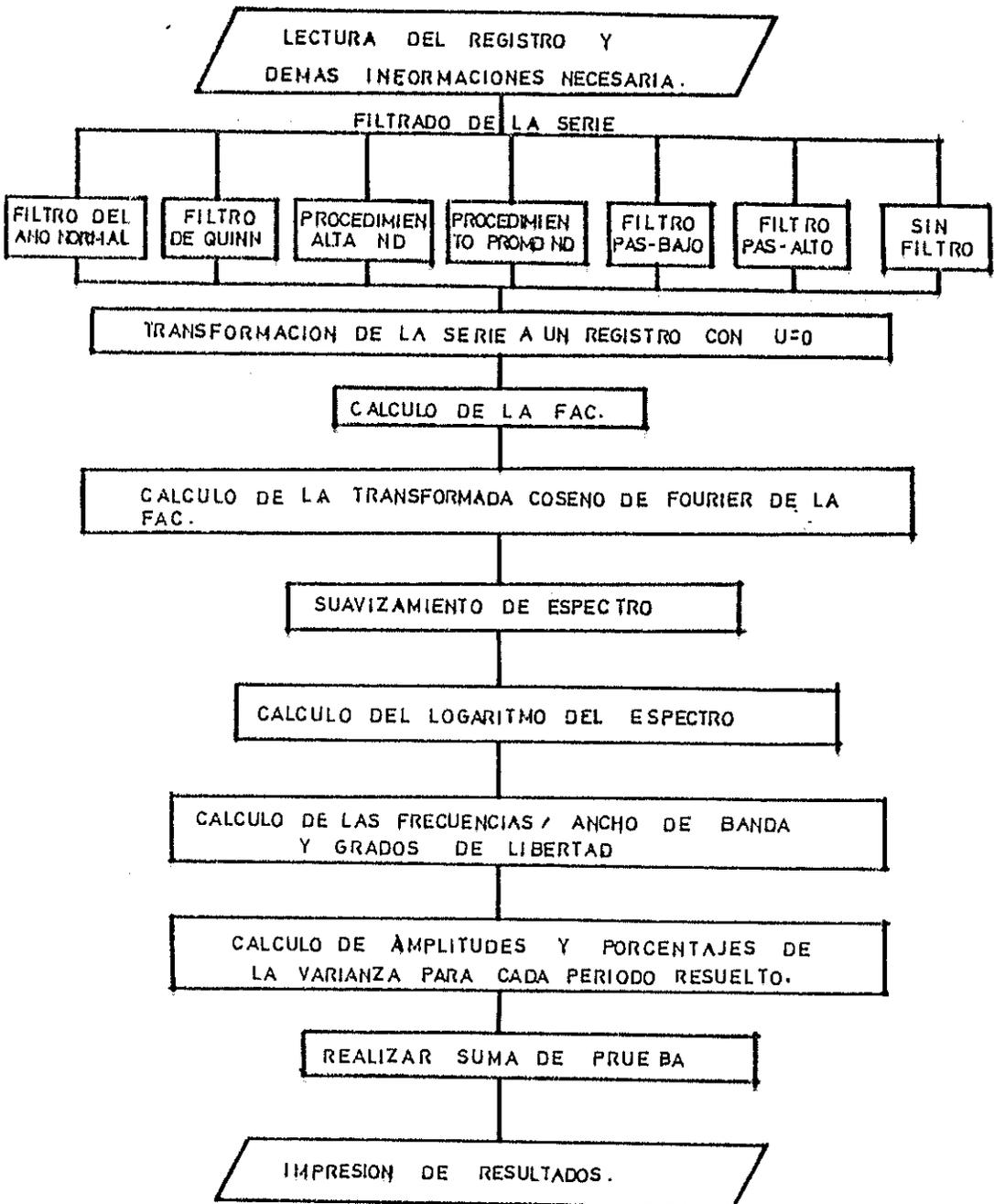


Fig. Nº 16.. Diagrama del flujo del programa "Espectro"

a. Diagrama de Flujo.-

1. Lectura del número de puntos de la serie N , el máximo intervalo de desplazamiento para el cálculo de la facv $MAXM$, el intervalo de muestreo $DELTA$ y la información que se necesita para i-dentificar el registro. También se lee la serie de datos:

$$X(I) ; I=1,N$$

2. Filtrado de la Serie.

Es un paso opcional en el cual pueden utilizarse cualquiera de los filtros que se detallan a continuación:

- Filtro del Año Normal:

Elimina las variaciones estacionales y consiste en restar a cada dato el promedio del mes correspondiente; por ejemplo, si el dato es del mes de enero, se sustrae el promedio de todos los meses de enero.

- Filtro de Quinn:

Según su autor elimina aquellas periodicidades menores o iguales que un año, consiste en realizar tres veces el siguiente paso:

$$Y(I) = \frac{\sum_{j=1}^6 X(I+J)}{6} ; I = 1, N-5 \quad (2.14)$$

- Procedimiento Salta-ND:

Propiamente dicho no es un filtro, sino más bien una forma de modificar nuestro registro antes de realizar el Análisis Espectral, con el objetivo principal de cambiar nuestro intervalo de muestreo. Lo que se hace es lo siguiente: Cuando se realiza la lectura de Datos, se salta un número determinado (ND) de ellos cada vez, de modo que, si el intervalo de muestreo original es un mes, y ND=6 entonces, DELTA después de aplicado el Procedimiento Salta-ND es 6 meses.

- Procedimiento Promed-ND:

Es semejante al anterior sólo que en este caso los ND datos son promediados y ese valor pasa a ser un dato de la serie filtrada, el intervalo de muestreo es alterado en forma exacta al anterior.

- Filtro Pasa-Bajo:

Filtro que Godin (8) lo utiliza en Análisis de Mareas para eliminar periodicidades diurnas y semidiurnas, pero que de forma general elimina todas las fluctuaciones que estén fuera del intervalo:

$$0 \leq f \leq \frac{0.07}{2 \Delta} \quad (2.15)$$

Δ : Intervalo de muestreo

Lo que en el dominio del tiempo significa que dejará pasar aquellas periodicidades que sean mayores que: 28.6Δ

Este filtro tiene la siguiente expresión:

$$\left\{ \begin{array}{cc} A_{24} & A_{25}^2 \\ \hline 25^2 & 24 \end{array} \right\} \quad (2.16)$$

El mismo que funciona de la siguiente manera: Para ~~hallar~~ ^{hallar} el primer valor ~~filtrado~~ necesitamos 72 observaciones consecutivas de $X(t)$:

$$X_1, X_2, \dots, X_{72} \quad (2.17)$$

Entonces, evaluar $A_{25} X(t)$ consiste en calcular:

$$Y1_k = \sum_{j=0}^{24} X_{j+k} \quad ; k = 1, 2, \dots, 48$$

evaluar $A_{25}^2 X(t)$ es hallar:

$$Y2_l = \sum_{k=0}^{24} Y1_{k+l} \quad ; l = 0, 1, \dots, 24$$

Después se evalúa $A_{24} A_{25}^2 X(t)$:

$$y_0 = \sum_{l=1}^{24} y_{2l}$$

Finalmente $\left[\begin{matrix} A_{24} A_{24}^2 \\ 25^2 24 \end{matrix} \right] X(t)$ nos da lo siguiente:

$$\frac{1}{25^2 24} y_0 = \bar{X}_{(3n+1)/2} \tag{2.18}$$

Esta última expresión corresponde al valor filtrado de $X(t)$, y que se localiza en el instante central del intervalo sobre el cual fue obtenido la secuencia (2.17).

El siguiente paso será tomar la secuencia:

$$x_2, x_3, \dots, x_{73}$$

y realizar el mismo procedimiento descrito, y así sucesivamente hasta terminar con todo el registro.

- Filtro Pasa-Alto:

Elimina las bajas frecuencias comprendidas dentro del intervalo:

$$0 \leq f \leq 0.2 \Delta \tag{2.19}$$

Es decir que dejará pasar las fluctuaciones menores o iguales a 5Δ . Sin embargo, debido a las características especiales del filtro puede dejar pasar periodicidades mayores que las indicadas, pero sus amplitudes estarán considerablemente reducidas y no deben considerarse en los análisis que se realicen, tiene la siguiente expresión:

$$\left\{ \frac{1}{4} S_1^2 \right\} \quad (2.20)$$

Este filtro consiste en la resta dos observaciones consecutivas, hasta terminar el registro, como está elevado al cuadrado este paso se repite dos veces y cada resultado se divide para 4.

3. Reducción de la serie a un registro con media igual a cero. Lo que se hace para lograr mayor rapidez en los cálculos, y consiste en calcular la media de la serie y sustraerla a cada dato:

$$X_M = \frac{1}{N} \sum_{I=1}^N X(I) \quad (2.21)$$

$$Z(I) = Y(I) - X_M \quad (2.22)$$

Donde: $Y(I)$ = es la serie después del filtraje

$Z(I)$ = es el registro con media cero

4. Cálculo de la funci3n COV (K):

$$COV(K) = \frac{1}{N-K} \sum_{I=0}^{N-K} Z(I) \cdot Z(I+K) \quad ; \quad K=0, MAXM+1 \quad (2.23)$$

5. Cálculo de la transformada coseno de Fourier de la funci3n SP(I).

$$SP(I) = \frac{DELTA}{\pi} \cdot \left[COV(0) + 2 \sum_{K=1}^{M-1} COV(K) \cos\left(\frac{\pi KI}{NF}\right) + \dots \right. \\ \left. + COV(M) \cos(\pi I) \right]$$

para $I = 0, NF$ (2.24)

Donde NF es el número de puntos de frecuencia en los cuales el espectro va a ser calculado y puede ser igual a 1, 2 o 3 veces MAXM según el espaciamiento requerido en las frecuencias.

6. Se realiza un suavizamiento del espectro.

Para esto se usa la Funci3n de pesaje "Hamming":

$$ESP(0) = 0.54 SP(0) + 0.46 SP(NF) \quad (2.25.a)$$

$$ESP(NF) = 0.54 SP(NF) + 0.46 SP(NF-1) \quad (2.25.b)$$

$$ESP(H) = 0.23 SP(H-1) + 0.54 SP(H) + 0.23 SP(H+1)$$

$$\text{para: } H = 1, NF-1 \quad (2.25.c)$$

Bendat y Piersol (3) demuestran que los pasos 6 y 7 equivalen a calcular primero la ventana espectral de Tukey:

$$w(k) = 0.5(1 + \cos(\pi K/M)) \quad ; K=1, M-1 \quad (2.26)$$

Y luego hallar el estimado espectral con:

$$ESP(I) = \frac{DELTA}{\pi^2} \left[COV(0) + 2 \sum_{K=1}^{M-1} COV(K) w(K) \cos \frac{\pi KI}{NF} \right] ;$$

$$I = 0, NF \quad (2.27)$$

La expresión (2.27) suele aparecer en algunos textos así:

$$ESP(I) = \frac{1}{M} \left[COV(0) + 2 \sum_{K=1}^{M-1} COV(K) w(K) \cos \frac{\pi KI}{NF} \right] \quad (2.28)$$

Lo que se ha hecho es multiplicar (2.28) por $2M\Delta/2\pi$, para obtener estimados espectrales que, al sacarles la raíz cuadrada, tengan las mismas unidades que aquellas correspondientes a nuestro registro original.



7. Cálculo del logaritmo del Espectro LOGESP.

Si el valor del espectro es negativo se le asigna un valor de -100.0 al logaritmo. Estos valores deben interpretarse como una cantidad de varianza muy pequeña, pues no tienen ningún significado físico.

8. Cálculo de los valores de frecuencia $F(I)$, ancho de Banda B , y grados de libertad para la ventana espectral de Tukey:

$$F(I) = \frac{I}{2NF \cdot \text{DELTA}} \quad ; \quad I = 0, NF \quad (2.29)$$

$$B = 4 / (3M \cdot \text{DELTA}) \quad (2.30)$$

$$D = (bN) / (3\text{MAXM}) \quad (2.31)$$

Los grados de libertad nos indican que podemos tener tanta confianza en cada estimado espectral como la que tendríamos de un valor promedio obtenido a partir de un número D de datos.

El ancho de banda nos indica que el estimado espectral reportado es un promedio de todos los períodos existentes en el rango cubierto por B .

9. Se realiza una suma de prueba.

$$\text{SUMPRU} = \frac{\pi}{\text{MAXM.DELTA}} \left[0.5(\text{ESP}(0) + \text{ESP}(\text{NF})) + \sum_{K=1}^{N-1} \text{ESP}(H)^K \right] \quad (2.32)$$

Esta suma debería ser igual a la autocovarianza con desplazamiento 0. Esto se debe a que el valor de $\text{COV}(0)$ es un estimado de la varianza total del registro, y los valores de $\text{ESP}(H)$ indican la distribución de partes de esa varianza en las diferentes bandas de frecuencia, de modo que la suma de todas esas partes debería ser igual a la varianza total.

10. Cálculo de la Función Densidad Espectral.

Esta función (que equivale a obtener el Espectro Normalizado del registro) se la obtiene al dividir cada valor de $\text{ESP}(H)$ para la autocorrelación al desplazamiento cero, además debemos multiplicar cada valor por el factor que fue indicado en el paso 7, entonces:

$$\text{ESPNOR}(I) = \text{ESP}(I) \frac{\pi}{\text{M.DELTA.COV}(0)} \quad ; I=0, \text{NF}$$

b. Entrada de Datos.-

La primera fila del archivo de datos debe contener, en el mismo orden, las siguientes variables:

<i>Variable</i>	<i>Formato</i>	<i>Descripción</i>
N	I4	Número de puntos de la serie (≤ 1500)
MAXM	I3	Núm. de desplazamientos para calcular f_{acv} (≤ 300)
DELTA	F5.2	Intervalo de muestreo
G1,G2	2A8	Título que identifique la serie
G5	A8	Nombre de la Localidad donde se tomaron los datos
G3	A4	Unidad de tiempo utilizada
UNIDAD	A8	Nombre de la Unidad en que están medidos los datos del registro.
ND	I2	Valor utilizado en los filtros 3 y 4, si no se los utiliza deje en blanco.
IFACT	I1	Puede tomar el valor de 1, 2 o 3 de acuerdo a si NF es uno, dos o tres veces MAXM
K4	I1	Si no se desea filtrar la serie deje en blanco, de otra forma escoja un número de acuerdo al filtro deseado:
		1: Filtro del Año Normal
		2: Filtro de Quinn
		3: Procedimiento Salta-ND
		4: Procedimiento Promed-ND

<i>Variable</i>	<i>Formato</i>	<i>Descripción</i>
		5: Filtro Pasa Bajo
		6: Filtro Pasa Alto
K5	I1	Valor 1 si se desea impresión de la <u>se</u> rie original, si no deje en blanco.
K6	I1	Vale 1 si se desea listado de la serie filtrada, de otra forma deje en blanco.
K7	I1	Vale 1 si se desea listado de la fun - ción de autocovarianza, de otra forma deje en blanco.

A partir de la segunda fila se escribe la serie de tiempo, con el formato F6.2.

c. Salida de Resultados.-

De acuerdo a la instrucción designada pueden obtenerse los siguientes listados:

- Datos originales de la serie (opcional)
- Datos de la Serie después del filtraje (opcional)
- Función de Autocovarianza y de Autocorrelación (opcional)
- Espectro de Potencias y logaritmo del espectro
- Listado de las amplitudes y porcentajes de la varianza para

cada período resultado.

- Media de la serie, varianza total, ancho de banda, grados de libertad y suma de prueba.

En el Apéndice C se presenta un listado del programa "ESPECTRO", así como una entrada y salida de resultados.

2.4. Aspectos prácticos de la Estimación Espectral.

Entraremos ahora a considerar ciertos aspectos que nos serán de mucha utilidad cuando construyamos nuestros espectros, disponemos de varias herramientas, y debemos jugar con ellas con el fin de obtener los mejores resultados posibles.

2.4.1. Teoría y práctica del Suavizamiento.

El objetivo general en Análisis Espectral es estimar la función $\Gamma(f)$ en la forma más exacta posible, para lograr esto deben cumplirse dos requisitos:

1) Alta fidelidad, es decir distorsión pequeña, esto es, que el espectro estimado sea tan cercano al espectro teórico como sea posible, para todo el rango de frecuencias es decir que debe cumplirse que:

$$B(f) = S(f) - \Gamma(f) \quad (2.33)$$

Debe ser pequeño para $0 \leq f \leq f_n$

2. Alta estabilidad, o sea que la varianza del estimador espectral sea pequeña:

$$\text{Var} [S(f)] = \text{pequeña}$$

Ahora bien, el suavizamiento de un estimador espectral está completamente determinado por la forma matemática y por el ancho de banda de la ventana.

a) Forma Matemática de la Ventana Espectral.

Existe una relación importante entre el ancho de la ventana (AB) y la varianza (var) del estimador correspondiente a una ventana, que es:

$$AB \times var = \text{constante}$$

Entonces, dos estimadores tienen la misma varianza si sus ancho de banda son iguales, lo que se logra escogiendo un determinado valor del punto de truncación para cada ventana. De esto se concluye que la parte importante en el Análisis Espectral empírico es la selec

ción del ancho de banda y no de la ventana espectral.

Sin embargo cabe resaltar el hecho que la ventana de Tukey tiene la distorsión más pequeña para un número de puntos de truncación (M) dado, que la que tendrían otras ventanas conocidas, como las de Barlett y de Parzen, por eso es que la usaremos en nuestro trabajo.

A pesar de esto, cuando por algún motivo específico se desee seleccionar la forma matemática de la ventana existe un proceso desarrollado por J. Tukey que se llama ventana de carpintería y consiste simplemente en ir estudiando las propiedades de cada ventana y seleccionar la que más nos convenga. Las ventanas espectrales más comunmente usadas fueron presentadas en la sección 2.2.2.

b. Ancho de Banda de la Ventana.

Se cumple que al aumentar el número de puntos de truncación (M) puede haber más detalle (menos distorsión), pero la varianza se incrementa. Entonces debe buscarse un valor de (M) tal que consiga un gran detalle pero sin que la varianza sea exagerada. Si se necesita de un punto de truncación grande, será necesario incrementar el número de puntos de la serie. Además debe -

cumplirse que el ancho de banda (AB) debe ser del mismo orden que el ancho del detalle importante más angosto del espectro.

Como la selección del (AB) es el proceso de mayor importancia en la obtención de un estimado espectral suavizado, existe un método para escogerla, llamado "Cerramiento de la Ventana"; el mismo que consiste en calcular un estimado espectral con un AB amplio e irlo reduciendo progresivamente hasta que ésta sea menor que el más pequeño detalle significativo del espectro.

Cuando los estimados tienden a converger inicialmente; divergiendo entonces debido a la inestabilidad antes de que se hayan sacado conclusiones definitivas, es recomendable calcular varios espectros en las zonas donde hay una convergencia seguida de alta divergencia. Además debe observarse que los picos que aparezcan tengan sentido físico y no sean producidos por una varianza alta.

2.4.2. Intervalo de Muestreo.

El intervalo de muestreo desempeña un papel preponderante en los resultados que obtengamos de nuestro análisis.

lisis, primedo, su valor nos determina la frecuencia Nyquist ($f_N = 1/2$) que es la frecuencia más alta que puede ser determinada a partir de datos espaciados a intervalos de longitud Δa .

De f_N obtenemos el período más corto que teóricamente es posible resolver, que será lógicamente aquel que es dos veces el intervalo de muestreo. En la práctica es to no es así, porque no se puede saber si la amplitud obtenida para este período es el resultado de su super posición de períodos más cortos que el considerado.

Por esto se recomienda escoger el intervalo de muestreo de forma que se obtenga estimados espectrales a períodos más cortos que el período dominante más corto que sea esperado, lo que se logra escogiendo el intervalo de muestreo igual a $1/3$ del período más corto esperado.

El período más largo que puede ser determinado, aparte del infinito, depende del número de desplazamientos y del intervalo de muestreo usado.

Además al escoger el intervalo de muestreo debe tenerse en cuenta que si se escoge uno muy pequeño, los pun

tos del registro quedarán tan cercanos unos de otros - que estarán muy correlacionados, teniéndose datos redundantes, lo que ocasiona cálculos innecesarios, en cambio si el intervalo es muy grande se perderán ciertas periodicidades que pueden ser muy importantes, ocasionándose una confusión entre componentes de alta y - bajo frecuencia en los datos originales.

En cuanto a los requisitos que debe llenar el registro de datos que va a ser analizado, este debe ser lo suficientemente largo y no debe haber datos faltantes, si es que los hay deben interpolarse. Si los datos perdidos están lo suficientemente espaciados, hasta el 5 por ciento del total de datos pueden ser interpolados sin causar efectos en el espectro estimado.

2.4.3. Número de Desplazamientos.

Debido al hecho de que al aumentar el número de puntos de truncación (M), aumenta la fidelidad, pero también la varianza, se debe jugar con los valores de M hasta hallar un equilibrio entre las dos, para lograr la más alta fidelidad, con la menor varianza posible.

Sin embargo, el número de desplazamientos que pueden ser usados se encuentra limitado por el número total puntos (N).

No se recomienda efectuar un análisis para un M mayor que el diez por ciento del número total de puntos de registro, sin embargo, pueden obtenerse estimados para valores de M de hasta el 25 por ciento de longitud total de la serie, pero estos resultados deben ser interpretados con mucha precaución.

El valor de M determina también los valores de las frecuencias a las cuales obtendremos estimados espectrales, de modo que cuando se desee resolver con precisión un período determinado se lo escoge de forma que una de las frecuencias a estimarse corresponda a dicho período.

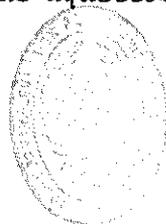
2.4.4. Altas y Bajas Frecuencias.

Quizá la región del espectro que debe analizarse con más detenimiento son sus extremos, es decir, las partes correspondientes a las más altas y a las más bajas frecuencias.

Así tenemos que la contribución de la varianza en la frecuencia cero puede deberse a los siguientes factores:

- Fluctuaciones aleatorias en los registros, debido a la forma de muestreo, a la lectura o al fenómeno físico en sí. (un error constante en los datos afecta únicamente la media del registro, pero no los resultados del espectro).
- Alguna tendencia del registro que es fundamentalmente aperiódica, o tiene un período tan grande que no alcanza a ser distinguido con la longitud del registro disponible.
- Componentes periódicos que son muy grandes para poder ser resueltos con los datos que se tienen.

En el otro extremo, para la frecuencia Nyquist, la aparición de una amplitud elevada puede deberse a la superposición de períodos más cortos que aquellos que pueden ser resueltos.



2.4.5. Plegamiento.

El efecto de Aliasing o Folding (términos en Inglés - que equivaldrían a contaminación o plegamiento) no es otra cosa que la superposición de amplitudes en un sólo valor de frecuencia debido a que éstas no alcanzan a ser diferenciadas a partir del registro de datos.

Este efecto es controlado únicamente con el intervalo de muestreo, pues de acuerdo a la selección del mismo pueden obtenerse diferentes registros de un mismo fenómeno físico, como puede apreciarse en la figura N° 17.

Finalmente, en el gráfico N° 14 se encuentra esquematizado el efecto de plegamiento.

2.4.6. Función Densidad Espectral.

Cuando se comparan series de tiempo que tienen diferentes escalas de medición, se facilita su análisis normalizando $S(f)$, lo que se consigue dividiéndolo para la varianza s^2 , obteniéndose la función densidad espectral que viene a ser la transformada de Fourier de la función autocovarianza $\{f_{ac}\}$.

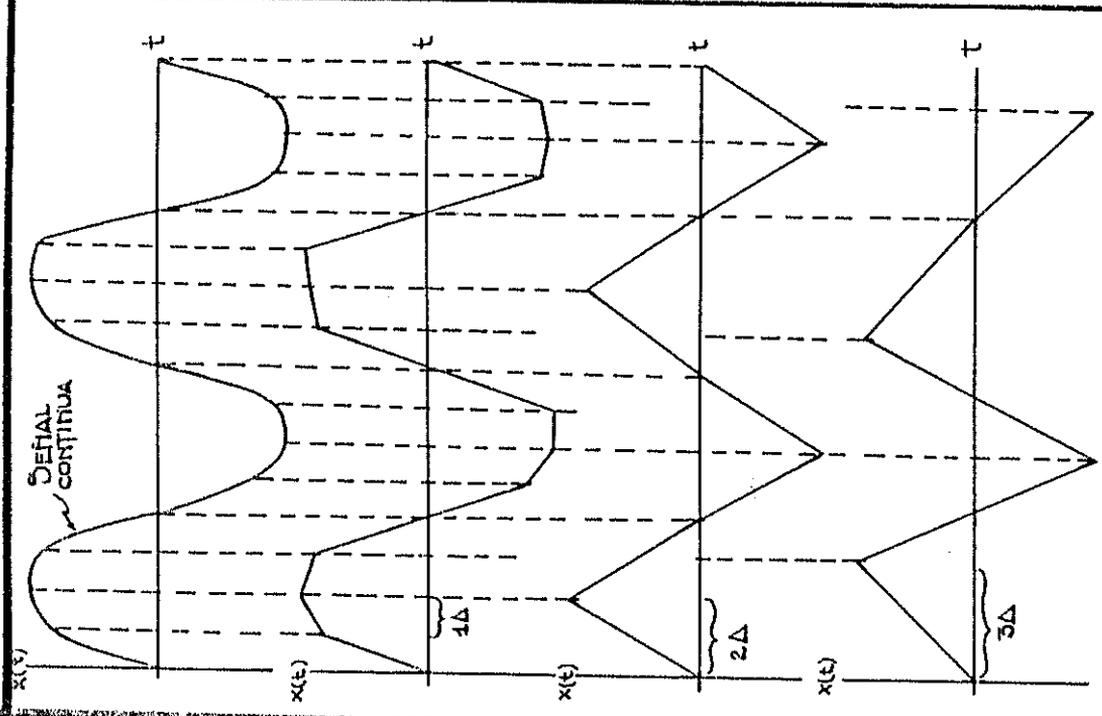


Fig. No 17 - Influencia del Intervalo Muestreo en el Registro Obtenido.

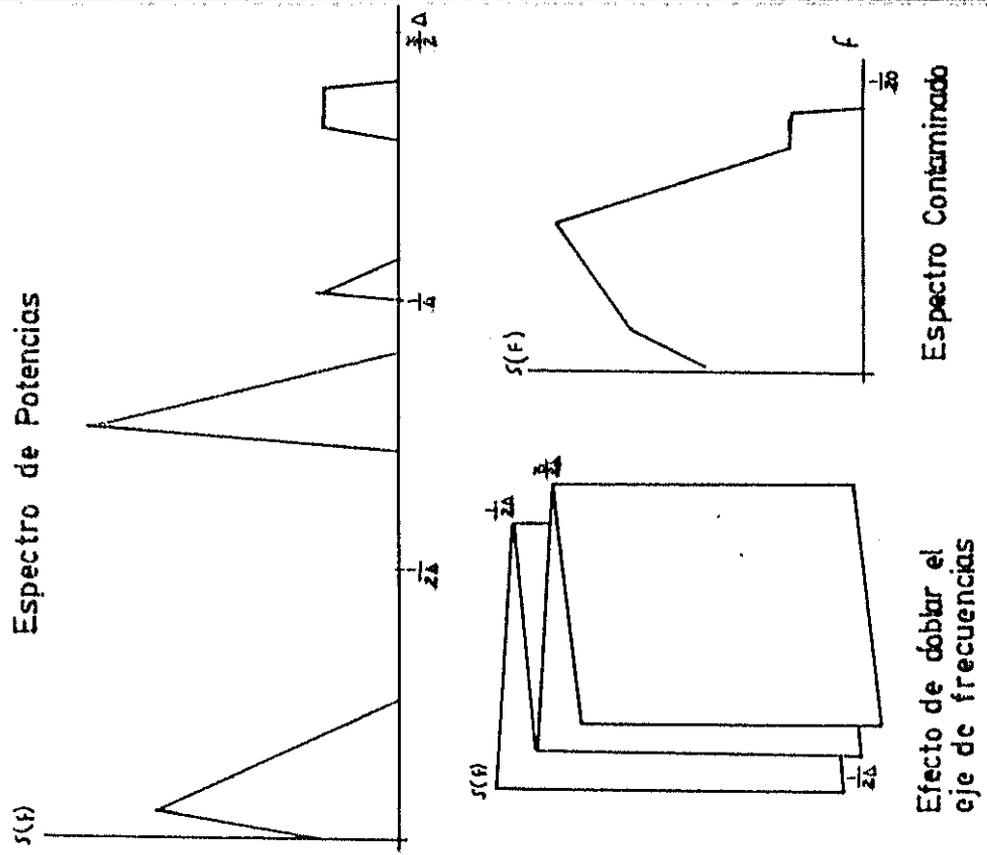


Fig. No 18 Efecto de Plegamiento

Efecto de doblar el eje de frecuencias

Espectro Contaminado

$$\frac{S(f)}{\sigma^2} = \int_{-\infty}^{\infty} C(u) \exp(-j2\pi fu) du \quad (2.34)$$

De la expresión 2.34 se deduce fácilmente que puede obtenerse el espectro normalizado reemplazado en (2.24) la f_{acv} por la función autocorrelación (f_{ac}) o simplemente dividiendo para la varianza (autocovarianza en el desplazamiento cero) el espectro obtenido es (2.24).

2.4.7: Intervalo de Confianza.

Para ayudarnos a determinar cuales de los picos obtenidos de nuestro estimado espectral son producto de fenómenos aleatorios y no tienen sentido físico, debemos calcular el intervalo de confianza para cada espectro, el cual nos establece el rango dentro del cual podemos considerar nuestros resultados confiables.

Nuestro intervalo de confianza, con una probabilidad del $100(1-\alpha)\%$, será el siguiente:

$$\frac{D S(f)}{X(1-\alpha/2)} \leq \frac{D S(f)}{X(\alpha/2)} \quad (2.35)$$

Donde: D : Número de grados de libertad

$(1-\alpha)$: Probabilidad

$S(f)$: Estimado espectral

$X(\alpha/2)$: Valor que toma la función Distribución de probabilidad a la cual está asociada el estmado espectral.

Los factores $\frac{D}{X(\alpha/2)}$ y $\frac{D}{X(1-\alpha/2)}$ son obtenidos a partir de la figura N° 19.

Entonces, obtenemos el intervalo de confianza a una frecuencia determinada, multiplicando los factores hallados por el valor del espectro a esa frecuencia.

Ahora bien, el graficar los espectros en una escala logarítmica proporciona una serie de ventajas como el hecho de que se pueden observar los cambios proporcianales que ocurren en el espectro, además, de esta manera se necesitará calcular un solo intervalo de confianza, el que servirá para todo el rango de frecuencias, a diferencia de aquel dado por la expresión 2.25^3 que es válido para un único valor de frecuencia, este nuevo intervalo tendrá la siguiente forma:

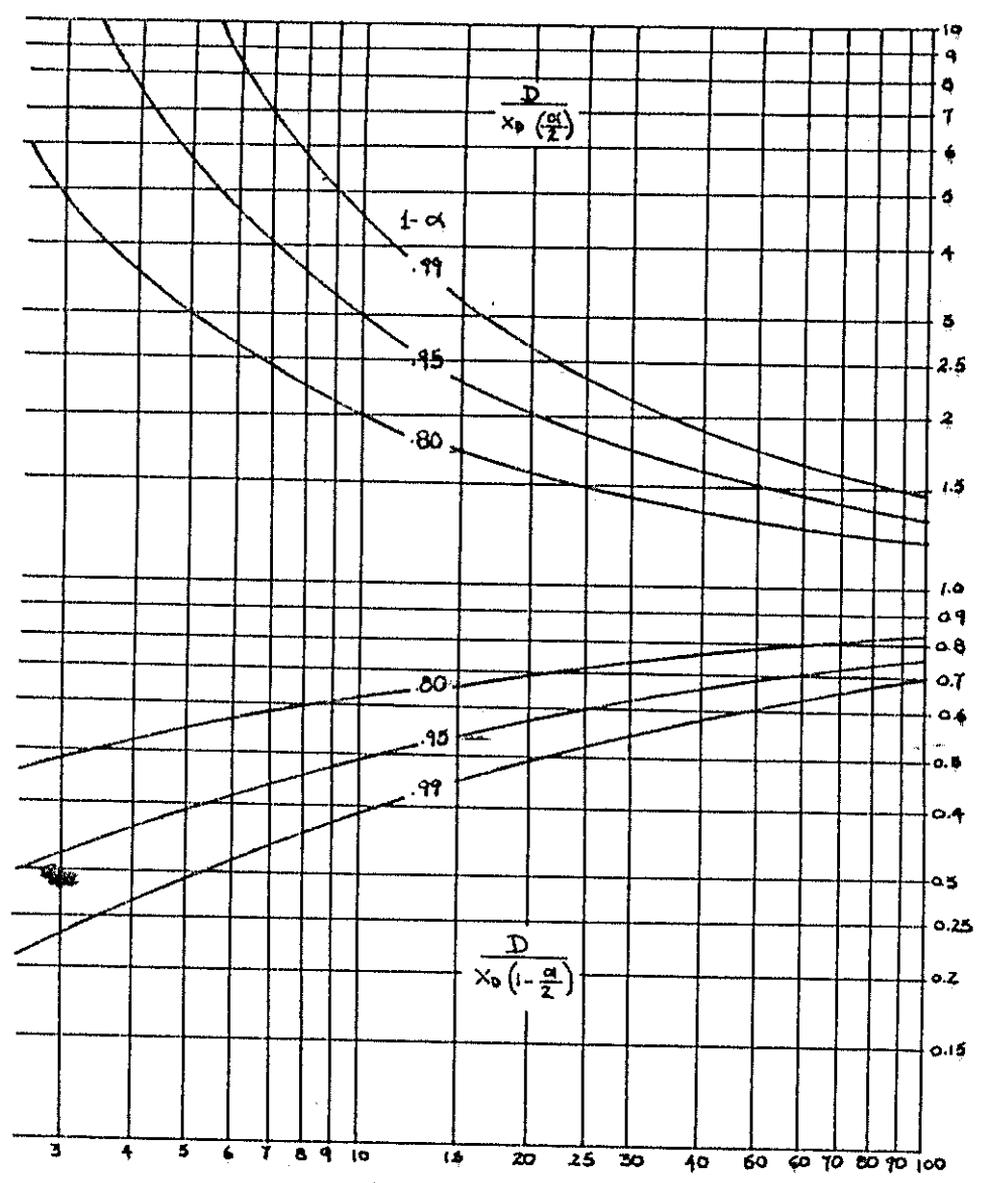


Fig. N° 19- Abaco para la determinacion de los factores de proporcionalidad para el calculo del intervalo de confianza.
(De Jenkins & Watts. Spectral Analysis, Holden Day Inc, San Fco 1968)

$$\left[\log S(f) + \log \frac{D}{x_D |1-\alpha/2|}, \log S(f) + \right. \\ \left. + \log \frac{D}{x_D |\alpha/2|} \right] \quad (2.36)$$

A partir del gráfico N° 19 se deduce que mientras mayor es el número de grados de libertad, más estrecho es el intervalo de confianza, lo conveniente sería tener un intervalo pequeño, para lo cual D tendría que ser grande, y para lograr esto, M debe ser pequeño. Sin embargo, esto último ocasiona una baja fidelidad. Esto nos refuerza el hecho de que tendremos que jugar con una serie de parámetros de forma que obtengamos los resultados más satisfactorios.

2.5. Procedimiento de Análisis.

Debe tenerse presente que no existe un procedimiento rígido para investigar registros de datos por medio del Análisis Espectral, la metodología presentada aquí puede utilizarse como guía, pero la decisión de lo que debe realizarse en cada etapa depende del criterio del investigador.

Como se sabe, es más fácil analizar los datos cuando estos se encuentran esquematizados en forma de gráficos por esta razón

una parte importante del análisis consiste en el ploteo de los resultados obtenidos, para su interpretación posterior, puede entonces seguirse el proceso que se describe a continuación:

Prímero:

Gráfico del Registro de Datos.-

Se realiza una inspección visual de la Serie de Tiempo viendo si existe alguna tendencia obvia, para determinar si se necesita algún tipo de filtro, si el intervalo de muestreo es el correcto, etc.

Segundo:

Gráfico de la Función de Autocovarianza.-

Un análisis del gráfico de la función autocovarianza (f_{acv}) o equivalentemente de la función autocorrelación (f_{ac}), puede indicarnos si existe alguna periodicidad evidente en el registro. Además, a partir de este gráfico obtenemos el punto de truncación máximo hasta el cual calcularemos los estimados espectrales, seleccionando aquellos valores para los cuales la f_{ac} tiene a cero.

Tercero:

Gráfico del Espectro de Potencias.-

Con el cual definiremos la composición de frecuencias de los datos, pudiendo obtenerse los períodos predominantes presentes

en el fenómeno físico considerado, así como también el valor de la amplitud correspondiente.

Cuarto:

Interpretación de los estimados espectrales.-

Los estimados que calculemos pueden caer en cualquiera de las categorías siguientes:

- a. *Análisis Espectral Ideal:* Si se obtienen pequeños cambios en los estimados cuando M es cambiado más allá de cierto valor, y si el intervalo de confianza es lo suficientemente pequeño; se puede concluir que se tiene alta fidelidad y estabilidad.
- b. *Análisis Espectral Intermedio:* Si el estimado converge para pequeños valores de M pero diverge para valores grandes; entonces es recomendable generar varios espectros para que los efectos que se produzcan puedan ser interpretados posteriormente.
- c. *Análisis Espectral Pobre:* Los estimados presentan gran variación para cualquier rango de valores del Ancho de Banda, puede aceptarse un espectro con un pequeño punto de truncación teniendo presente que considerable cantidad de detalle

puede estar escondido. La mejor solución sería coleccionar más datos.

Todas estas etapas podrán ser entendidas más claramente en el siguiente capítulo, donde aplicaremos la metodología de análisis desarrollada a las series de tiempo propuestas.



BIBLIOTECA
FAC. ING.
MONTICIA

CAPITULO III

RESULTADOS DEL ANALISIS ESPECTRAL.

En este capítulo procederemos a presentar los resultados obtenidos - al aplicar el Análisis Espectral a las series de tiempo propuestas; al interpretar estos resultados deben tenerse claros los conceptos - vertidos en el capítulo anterior así como también debe recordarse - que el criterio y sentido común del investigador juegan un papel muy importante, la calidad y cantidad de resultados que pueden ser al - canzados dependen en gran parte de la habilidad del analista para ju - gar con las herramientas que tiene a su disposición.

Al seleccionar los picos de los espectros que pueden tener explica - ción física como norma general, se considerará aquellos cuyas ampli - tudes sean mayores que el intervalo de confianza, calculado según la sección 2.4.7.

Lo anterior sin embargo, no es un criterio definido, en aquellos es - timados espectrales que presentan muchas fluctuaciones irregulares la selección de los picos predominantes debe ser realizada con mucho cuidado.

Para cada registro se aplicó el método de Cerramiento, de la Ventana, calculando varios estimados en cada caso, aquí se incluyen aquellos

espectros que consideramos más representativos y explícitos, las Tablas y resultados que se muestran pueden provenir de información suministrada por aquellos estimados que no se presentan por razones de espacio y continuidad en el trabajo.

3.1. Espectro de las Series Originales.

Los primeros estimados espectrales fueron obtenidos a partir de las series de tiempo originales, es decir sin aplicarles ninguna clase de filtro, estos registros puede observarse en la fig. N° 2 (precipitación), fig. N° 4 (temperatura del aire) y fig. N° 6 (temperatura superficial del agua), los mismos que fueron analizados en la sección 1.4, por lo cual procederemos directamente al análisis de sus funciones de Autocorrelación y sus Espectros de Potencias.

a. Precipitación.-

La función de Autocorrelación (fac), que se muestra en la figura 20.a presenta una periodicidad evidente, hay un pico que se repite a intervalos de 12 meses y que equivale a aproximadamente el 25% de la varianza total de la serie, lo que indica que el período anual es predominante, hecho que es confirmado en el Espectro de Potencias (fig. N° 21), el mismo que presenta 3 amplitudes que destacan nítidamente: La anual (12.04 meses), la

semianual (5.99 meses) y la de 4 meses.

Existen periodicidades cuya importancia queda falsamente reducida por la predominancia de las fluctuaciones descritas en el párrafo anterior. El escoger un número de desplazamientos más grande puede ofrecernos mayor detalle, pero el aumento de la inestabilidad del estimado espectral nos dificultará aún más su interpretación; de manera que la mejor forma de mejorar nuestro análisis es efectuar un tratamiento previo a nuestro registro - con el objeto de poder resolver determinados rangos de frecuencias con mayor precisión.

b. Temperatura del Aire.-

La fac de la figura 20.b muestra una periodicidad anual mucho más fuerte que la correspondiente a precipitación, con picos - subsecuentes que representan el 75% del pico inicial, lo que refuerza aún más el hecho de la existencia de una gran fluctuación anual; su Espectro de Potencias correspondiente (fig.Nº 22) presenta menor estabilidad que el de Precipitación, dado que para $M=75$ el Espectro de Temperatura del Aire presenta mucha - más fluctuaciones que aquel correspondiente a Precipitación, por esto reducimos nuestro número de desplazamientos para el cálculo de estimado espectral a 50 para este registro.

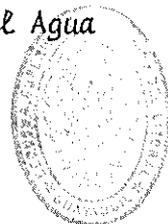
Las periodicidades anual (12.3 meses) y la semianual (5.9 meses) siguen siendo las más fuertes, no encontrándose en una forma tan marcada la de 4 meses, al contrario de lo que sucedía en el registro anterior.

c. Temperatura Superficial del Agua.-

En este caso, la amplitud de los picos subsecuentes en la Función de Autocorrelación (fig. N° 20.c) es aproximadamente el 70% de la autocorrelación para el desplazamiento cero.

El Espectro de Potencias (fig. N° 23) es bastante parecido al correspondiente a Temperatura del Aire, con las fluctuaciones anuales y semianuales siendo siempre las más predominantes.

Un resumen de las principales periodicidades encontradas en los tres registros, incluyendo su valor de amplitud y su Espectro Normalizado (el mismo que si lo multiplicamos por 100 nos da el porcentaje con respecto a la varianza total de la serie) puede ser encontrado en la Tabla II. En la misma podemos observar que para el registro de Precipitación solo hemos resuelto el 42.3% de la varianza total, para Temperatura del Aire este valor es de 42.4% y para Temperatura Superficial del Agua es de 36.2%.



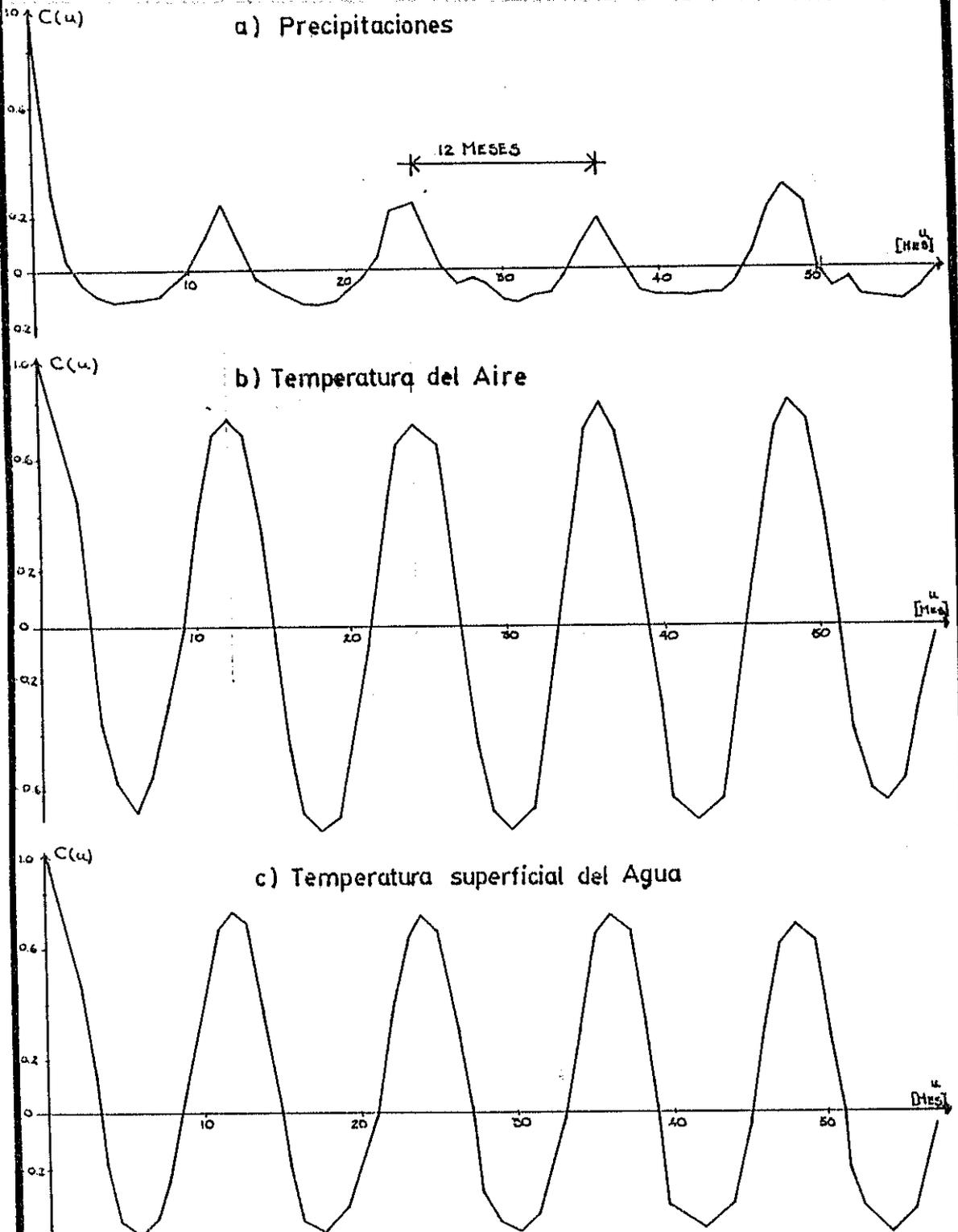


Fig. N° 20- Funciones de Autocorelacion de los Registros Originales

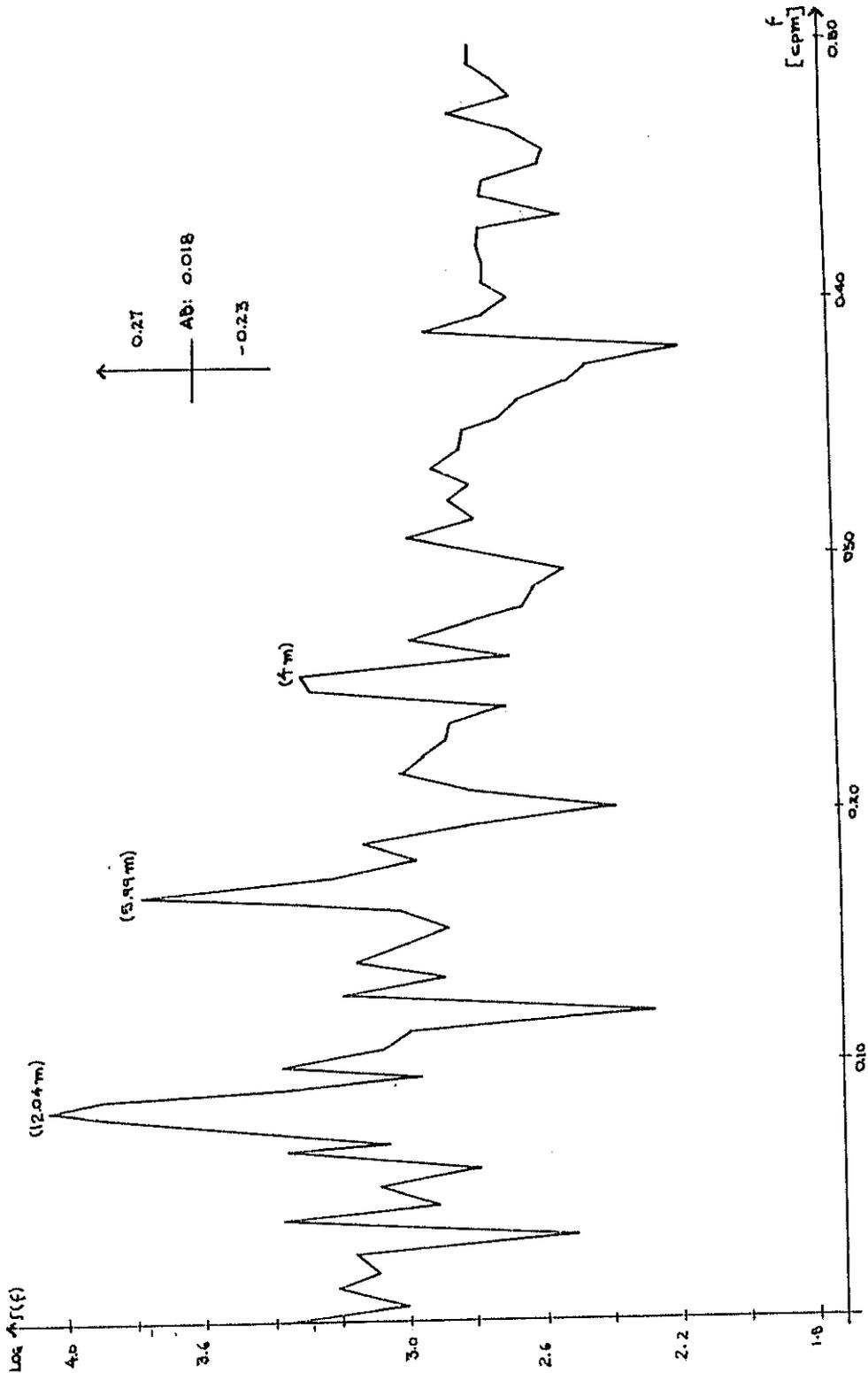


Fig. N° 21 - Espectro de potencias del registro original de precipitación para $M=75$.

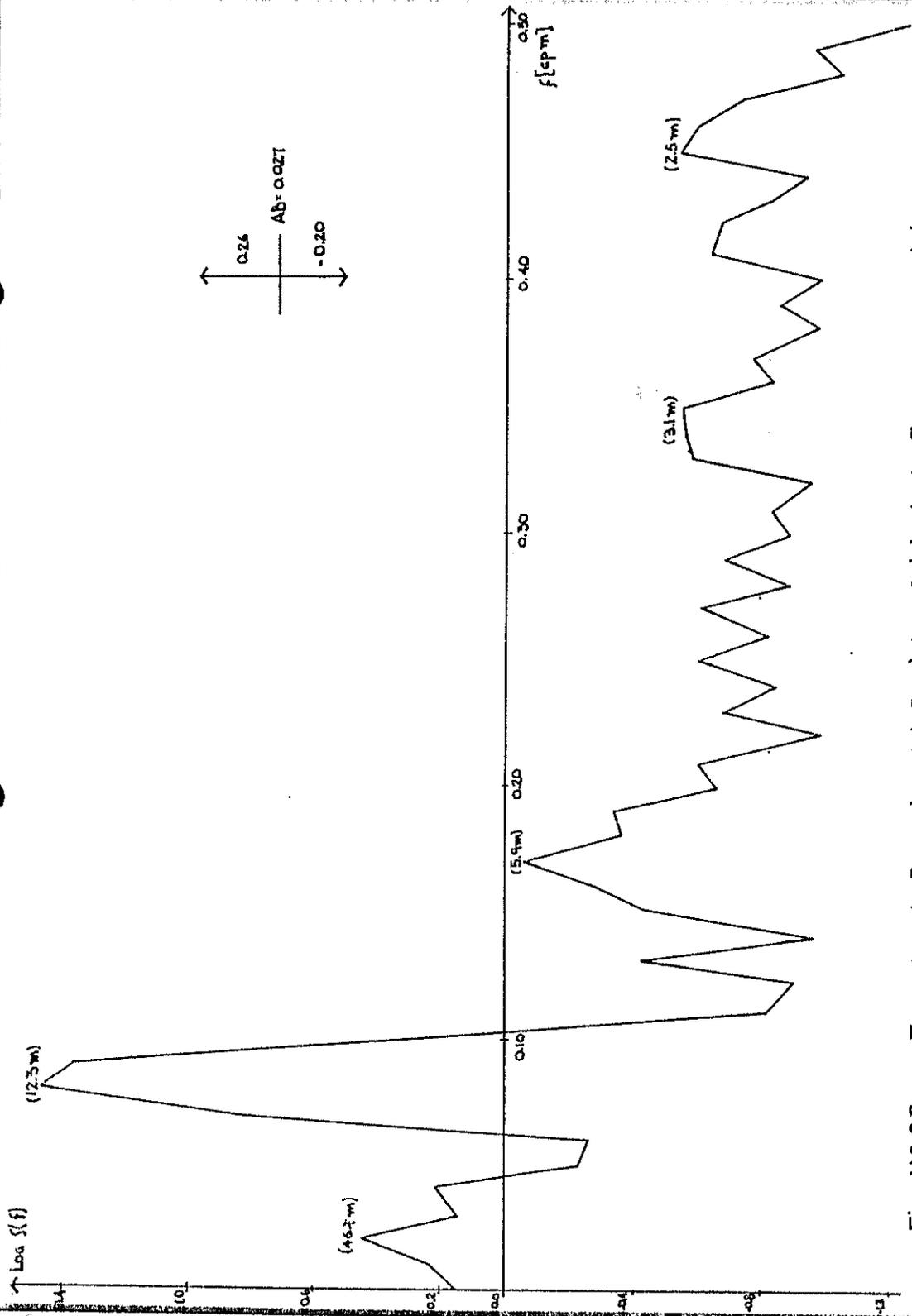


Fig. N° 22 -- Espectro de Potencias del Registro Original de Temperatura del Aire para M=50

TABLA II
PERIODOS PREDOMINANTES ENCONTRADOS EN LOS REGISTROS ORIGINALES

PERIODO (meses)	PRECIPITACION		TEMPERATURA DEL AIRE		TEMPERATURA DEL AGUA	
	Amplitud (mm)	Espectro Normal	Amplitud (°C)	Espectro Normal	Amplitud (°C)	Espectro Normal
76.9	40.36	0.021				
46.7			1.62	0.024		
25.0	47.88	0.030	1.27	0.015	1.09	0.018
12.0	104.7	0.142	6.37	0.369	4.67	0.327
6.0	75.1	0.073	0.86	0.007	0.72	0.008
4.0	49.02	0.031	0.53	0.003	0.55	0.005
3.1	29.9	0.116	0.53	0.003	0.36	0.005
2.5	28.2	0.010	0.57	0.003	0.38	0.002
		0.423		0.424		0.362

TABLA III
PARAMETROS ESTADISTICOS DE LOS REGISTROS ORIGINALES

PARAMETROS	PRECIPITACION	TEMPERATURA DEL AIRE	TEMP. SUPERF. DEL AGUA
Grados de Libertad	23.89 (M=75)	25.60 (M=70)	19.66 (M=70)
Media	18.598	23.734	25.214
Varianza	3234.20	4.93	2.99
Varianza esti- mada (SUMPRU)	3234.12	4.929	2.989

En la Tabla III presentamos algunos parámetros estadísticos obtenidos de la aplicación del Análisis Espectral a nuestras series de tiempo. En este cuadro la varianza estimada indica la suma de los estimados espectrales para todo el rango de frecuencias, a lo que en la sección 2.3 le dimos el nombre de Suma de Prueba (SUMPRU).

En todos los estimados espectrales se encuentra una considerable cantidad de varianza acumulada en la frecuencia cero, de acuerdo a lo discutido en la sección 2.4.4., existen tres causas posibles para que ello ocurra. Podemos descartar el hecho de los errores acumulados al muestrear, pues desde un punto de vista práctico se considera que los mismos son constantes, de forma que estos altos valores de amplitud para el período infinito pueden deberse o bien a efectos de característica aperiódica o con un período muy largo.

Para poder determinar cual es el motivo en nuestro caso debemos realizar un tratamiento de los registros de modo que podamos resolver esa parte del espectro correspondiente a las altas frecuencias.

3.2. Uso de Filtros.

En los Espectros de Potencias correspondientes a los registros originales, podemos observar la presencia de una periodicidad anual muy grande y una semianual de menor amplitud, las mismas que por el hecho de ser las mas predominantes tienden a disminuir la significación de otras periodicidades, por lo que para poder resolverlas con una mayor precisión debemos recurrir al uso de filtros; en esta sección presentaremos los resultados - obtenidos a partir de la aplicación de tres filtros: Filtro del Año Normal, Filtro de Pasa Bajo y Filtro de Pasa Alto, los mímos que ya fueron explicados en la sección 2.3., el programa - ESPECTRO también incluye el Filtro de Quinn pero los resultados obtenidos con éste no fueron satisfactorios por lo que no serán incluidos en este trabajo.

3.2.1. Filtro del Año Normal.

De la aplicación de este filtro se obtienen las desvíaciones a partir de los valores promedios, los nuevos - registros son mostrados en las figuras 8, 9 y 10 los - mismos que ya fueron analizados en la sección 1.4.2 por lo que procederemos directamente al análisis de sus - Funciones de Autocorrelación (fac) y Espectros de Po -

tencias.

a) Anomalía de Precipitación.

La Función de Autocorrelación se presenta en la figura N° 24 y el Espectro de Potencias en la figura N° 25; - como era de esperarse la fuerte periodicidad anual fue eliminada, siendo reemplazada por fluctuaciones de pequeña y gran frecuencia. La amplitud en la frecuencia cero logró ser reducida, pero no de una manera significativa.

b. Anomalía de Temperatura del Aire.

La fac (figura N° 24) presenta cierta similitud con la de precipitación, observándose la desaparición de la fluctuación anual, ninguna periodicidad presenta una predominancia sobre las demás. El Espectro de Potencias (fig. N° 26) tiene una menor fluctuación que aquel correspondiente al registro de Temperatura del Aire original, y las periodicidades que han sido resueltas también son diferentes.

c. Anomalías de Temperatura Superficial del Agua.

En la Figura N° 24 se presenta la Función de Autocorrelación, la misma que presenta un comportamiento opues-

to al de las dos anteriores pues cuando ésta comienza a disminuir las fac de los dos registros anteriores - comienzan a disminuir y viceversa, a pesar de esto los puntos en donde las tres funciones se hacen cero se en encuentran muy cercanos unos de otros. No se observa una disminución significativa de la varianza en la frecuencia cero del Espectro de Potencias (fig. N° 27) y la semejanza de este estimado espectral con el anterior no es muy grande tampoco.

En la Tabla IV presentamos aquellas periodicidades pre dominantes encontradas en los tres registros de anomalías; debemos señalar que en algunos casos los períodos no coincidían exactamente, por ejemplo en un caso para el Registro de Precipitación era de 3.2 meses y para - Temperatura del Aire 2.9 meses, en este caso se hace - un promedio de los dos y el período que aparecerá en la Tabla será 3.1.

En la Tabla V podemos encontrar algunos valores esta - dísticos obtenidos de la aplicación del Análisis Espec tral, los mismos que nos muestran algunas característi cas importantes de los tres registros de anomalías.

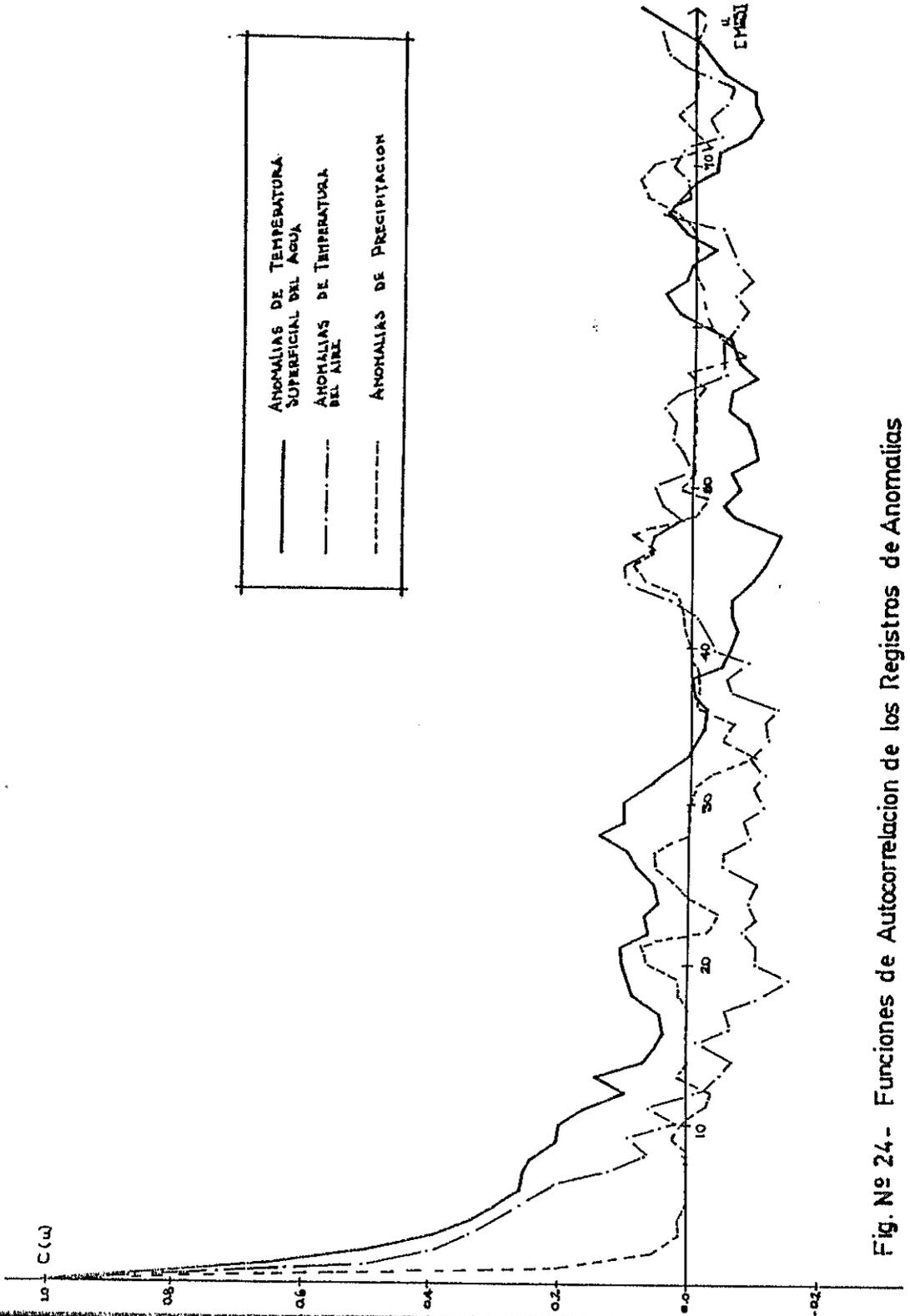


Fig. Nº 24.- Funciones de Autocorrelacion de los Registros de Anomalías

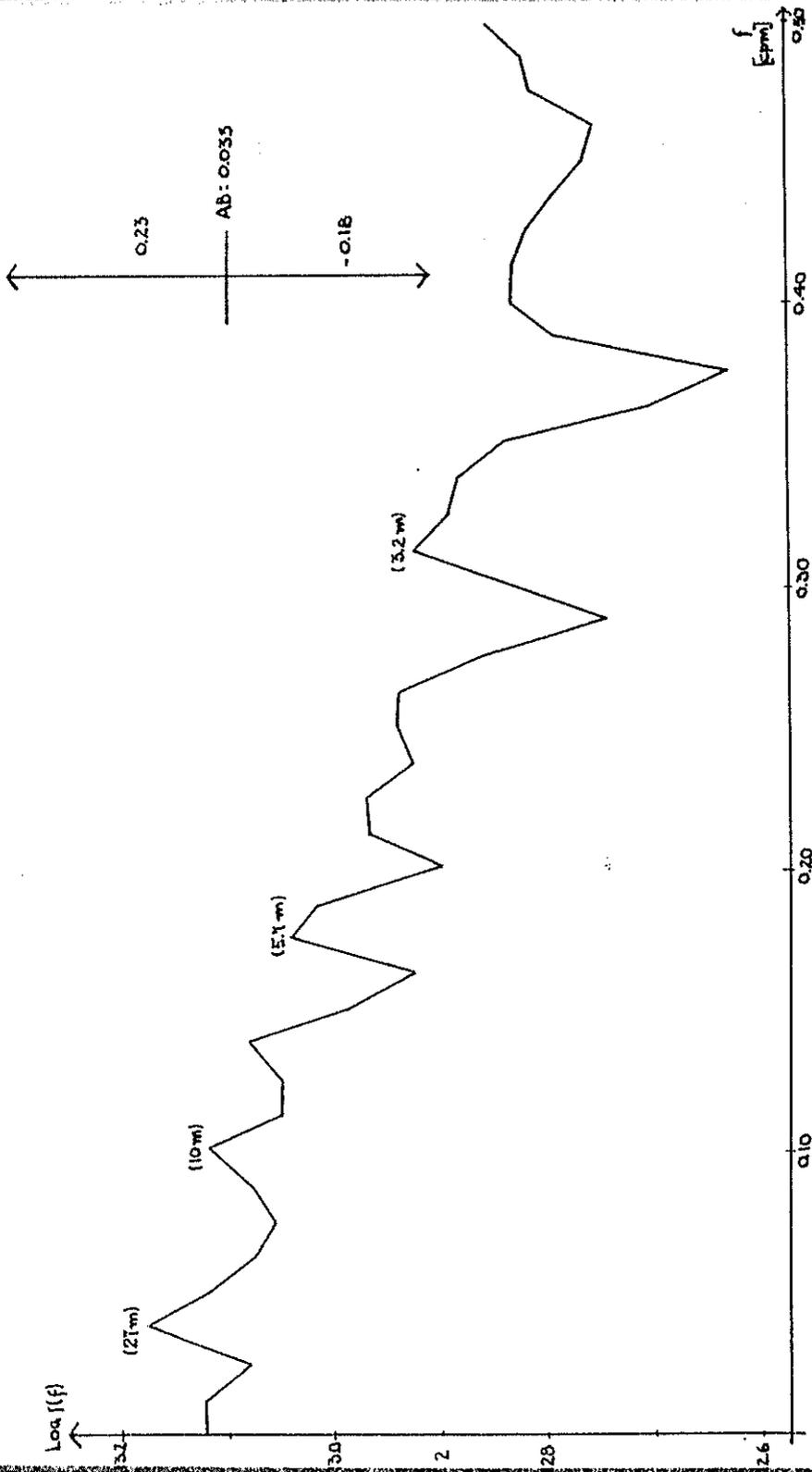


Fig. No .25 - Espectro de Potencias del Registro de Anomalías de Precipitación para M=40

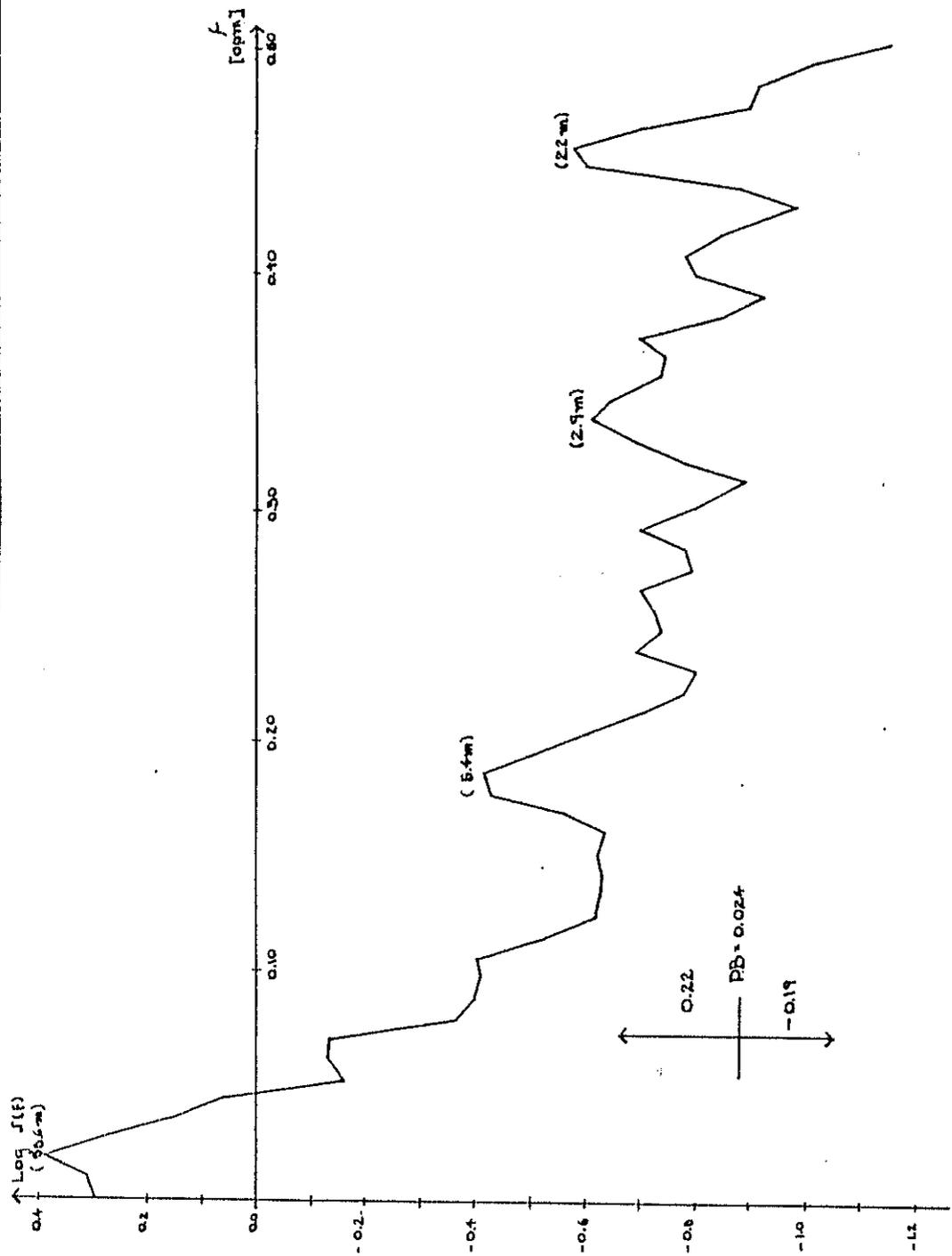


Fig. N° 26 Espectro de Potencias del Registro de Anomalías de temperatura del Aire para M = 56

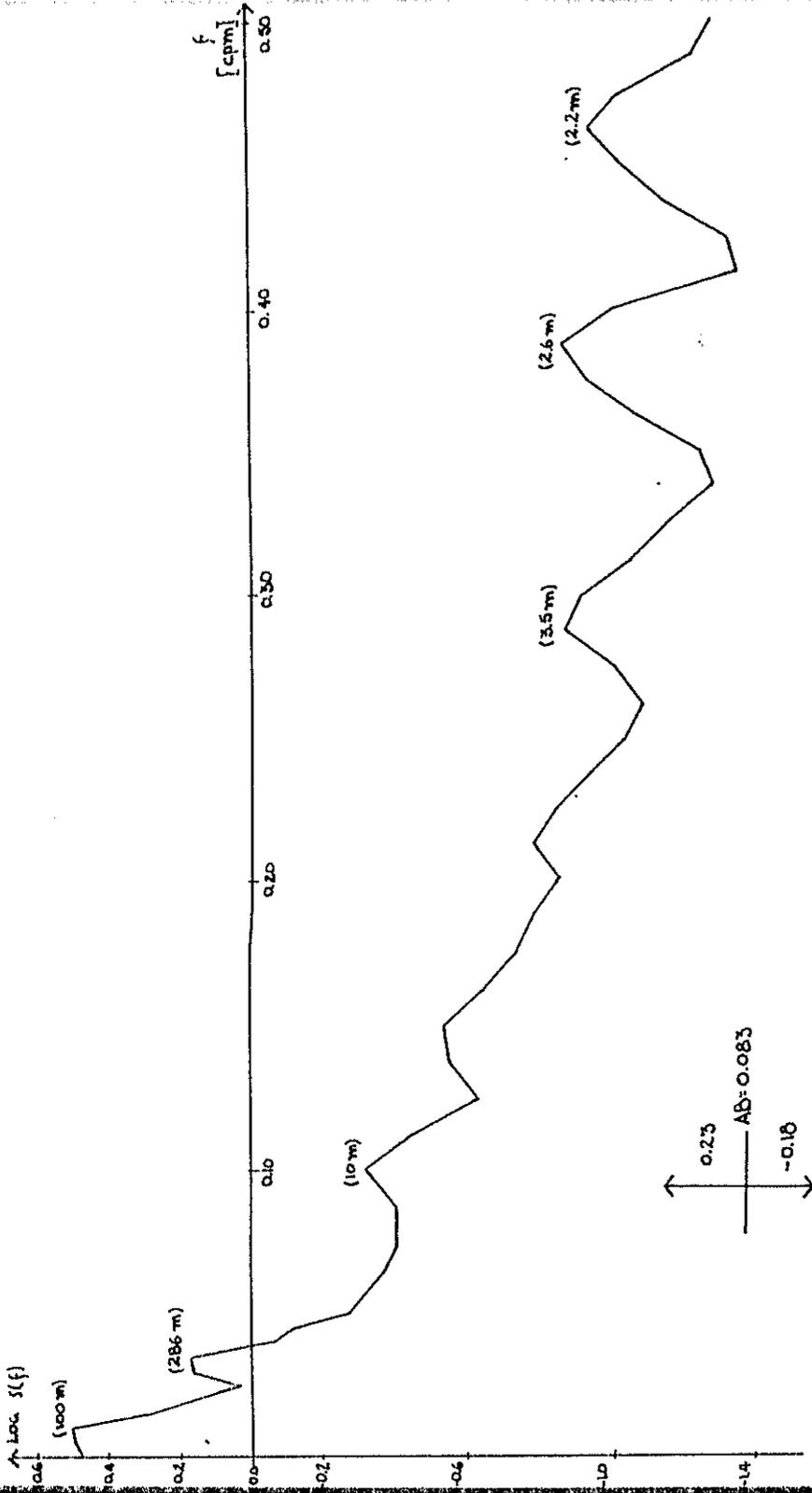


Fig. No 27. Espectro de Potencias del Registro de Anomalías de Temperatura Superficial del Agua para $M=40$

TABLA IV
PERIODOS PREDOMINANTES ENCONTRADOS EN LOS REGISTROS DE ANOMALIAS

PERIODO (meses)	PRECIPITACION		TEMPERATURA DEL AIRE		TEMPER. SUPERFICIAL DEL AGUA	
	Amplitud (mm)	Espectro Normal	Amplitud (°C)	Espectro Normal	Amplitud (°C)	Espectro Normal
100.0					1.77	0.246
66.7	38.48	0.047				
56.0			1.55	0.108		
27.8	48.75	0.076	1.10	0.054	1.22	0.117
10.0	37.1	0.044	0.61	0.017	0.69	0.037
5.9	33.9	0.037	0.62	0.017	0.53	0.022
4.1	30.1	0.029	0.45	0.009	0.39	0.012
3.1	27.4	0.024	0.49	0.011	0.37	0.011
2.4	26.0	0.022	0.53	0.013	0.35	0.010
		0.279		0.229		0.45

TABLA V
PARAMETROS ESTADISTICOS DE LOS REGISTROS DE ANOMALIAS

PARAMETRO	PRECIPITACION	TEMPERATURA DEL AIRE	TEMP. SUPERF. DEL AGUA
Grados de Li- bertad	34.80 (M=40)	32.0 (M=56)	22.93 (M=40)
Media	-0.0000	0.0001	0.0001
Varianza	2460.16	1.25	1.00
Varianza esti- mada (SUMPRUT)	2460.15	1.25	0.999

Podemos observar entonces que la resolución de los diferentes espectros no ha sido mejorada, habiendo en algunos casos disminuido, así tenemos que para el registro de Anomalías de Precipitación es de 27.9% la varianza total, para Anomalías de Temperatura del Aire 22.9% y para Anomalías de Temperatura Superficial del Agua 45.4%.

Si incluyéramos algunas de las fluctuaciones que se muestran en los diferentes espectros de Anomalías la resolución aumentaría, pero estas periodicidades están muy cercas una de la otra y más parecen deberse a inestabilidad que a la presencia de algún fenómeno físico.

3.2.2. Filtro Pasa-Bajo.

Tanto en los Espectros de Potencias correspondientes a los registros originales como en los registros de anomalías hemos podido observar la presencia de una considerable cantidad de varianza acumulada en las cercanías de la frecuencia cero, para poder resolver mejor esta parte del Espectro utilizamos el Filtro Pasa-Bajo, descrito en la sección 2.3., recordemos que el intervalo de frecuencias que deja pasar este filtro (de acuerdo

a la expresión 2.15) es el siguiente:

$$0 \leq f \leq \frac{0.07}{2 \Delta}$$

Como el intervalo de muestreo que usamos es un mes esto quiere decir que el filtro eliminará todas las fluctuaciones que se encuentran dentro del siguiente rango:

$$0 \leq t \leq 28.6 \text{ meses}$$

Procederemos ahora a analizar los registros obtenidos.

a. Registro de Precipitación una vez aplicado el Filtro Pasa Bajo.-

La Serie de tiempo (fig. N° 28) ha quedado muy suavizada, pues han sido eliminadas las periodicidades cortas que producían fluctuaciones marcadas de un punto a otro. La curva presenta oscilaciones de largo período y amplitudes pequeñas en comparación con aquellas del registro original, oscilando en un rango de aproximadamente 50mm de longitud.

La Función de Autocorrelación mostrada en la figura 30.a es un reflejo del patrón ya descrito, pues consis

te en una curva bastante suave con fluctuaciones de largo período, puede verse que hasta el desplazamiento 80 aún no alcanza valores negativos esto nos obliga a utilizar un número de puntos de truncación (M) bastante - grande para el cálculo del Espectro de Potencias.

En la figura 31.a observamos el Espectro para $M=50$ como era de esperarse presenta la mayor parte de la va - rianza (alrededor de un 90% acumulada en frecuencias - menores que 0.05cpm, a partir de este valor comienza a oscilar entre valores positivos y negativos muy peque - ños que representan una cantidad insignificante de va - rianza.

Con el objeto de obtener una mejor resolución en ese - pequeño rango de frecuencias se aumenta el número de - puntos de truncación para el cálculo del Espectro (M) a 200 y el número de puntos de Frecuencia (NF) a 600 pero de toda esa información solo nos interesa la parte correspondiente a las bajas frecuencias, que es la mostrada en la figura N° 31.b, en la cual podemos obser - var que el intervalo donde se acumula la varianza es - aún menor, (desde 0 hasta 0.030 cpm), este límite supe - rior está en concordancia con el valor de la frecuen -

cia de corte previamente establecido para el Filtro Pasa-Bajo utilizado (0.035 cpm).

b. Registro de Temperatura del Aire una vez aplicado el Filtro Pasa-Bajo.-

La Serie de Tiempo (fig. N° 29) obtenido una vez aplicado el filtro presenta oscilaciones de largo período y con amplitudes de hasta 3°C de variación, las fluctuaciones de corto período han sido eliminadas.

La Función de Autocorrelación (fig. 30.b) presenta así mismo fluctuaciones de largo período, con amplitudes un poco más altas que aquellas correspondientes a la fac del registro de Precipitación anterior.

En la figura N° 32.a se muestra el Espectro de Potencias para $M=40$ que, igual que en el caso anterior tiene la mayor parte de su varianza acumulada en una pequeña banda de frecuencias bajas, al hacer $M=150$ y $NF=450$ se logra encontrar picos muy claros. A pesar de que al aumentar tanto el número de puntos de truncación disminuimos el número de grados de libertad y por consiguiente aumentamos el intervalo de confianza, podemos descartar la posibilidad de que estas amplitudes se deban a

inestabilidad del estimado espectral, pues se encuentran bien separadas unas de otras.

c. Registro de Temperatura Superficial del Agua una vez aplicado el Filtro Pasa-Bajo.-

El comportamiento de las Series de Tiempo y de las Funciones de Autocorrelación (fig. 30.c) es muy parecido a aquellas correspondientes al registro de Temperatura del Aire, un hecho importante es que las fluctuaciones de la fac son de igual orden en magnitud que las del registro anterior, pero los puntos de inflexión (donde $\text{fac}=0$) son diferentes, lo que indica que hay un desfase en la ocurrencia de estas dos curvas.

El Espectro de Potencias de la figura N° 33.a, calculado para $M=50$ presenta la acumulación de la varianza en las bajas frecuencias, al calcularlo para $M=125$ (fig. 33.b) se obtiene mejor resolución pero tenemos problemas con una alta inestabilidad del estimado espectral debida probablemente al menor número de puntos de la serie en comparación con los dos registros anteriores.

Los resultados generales obtenidos de la aplicación del Análisis Espectral a los registros previamente explica-

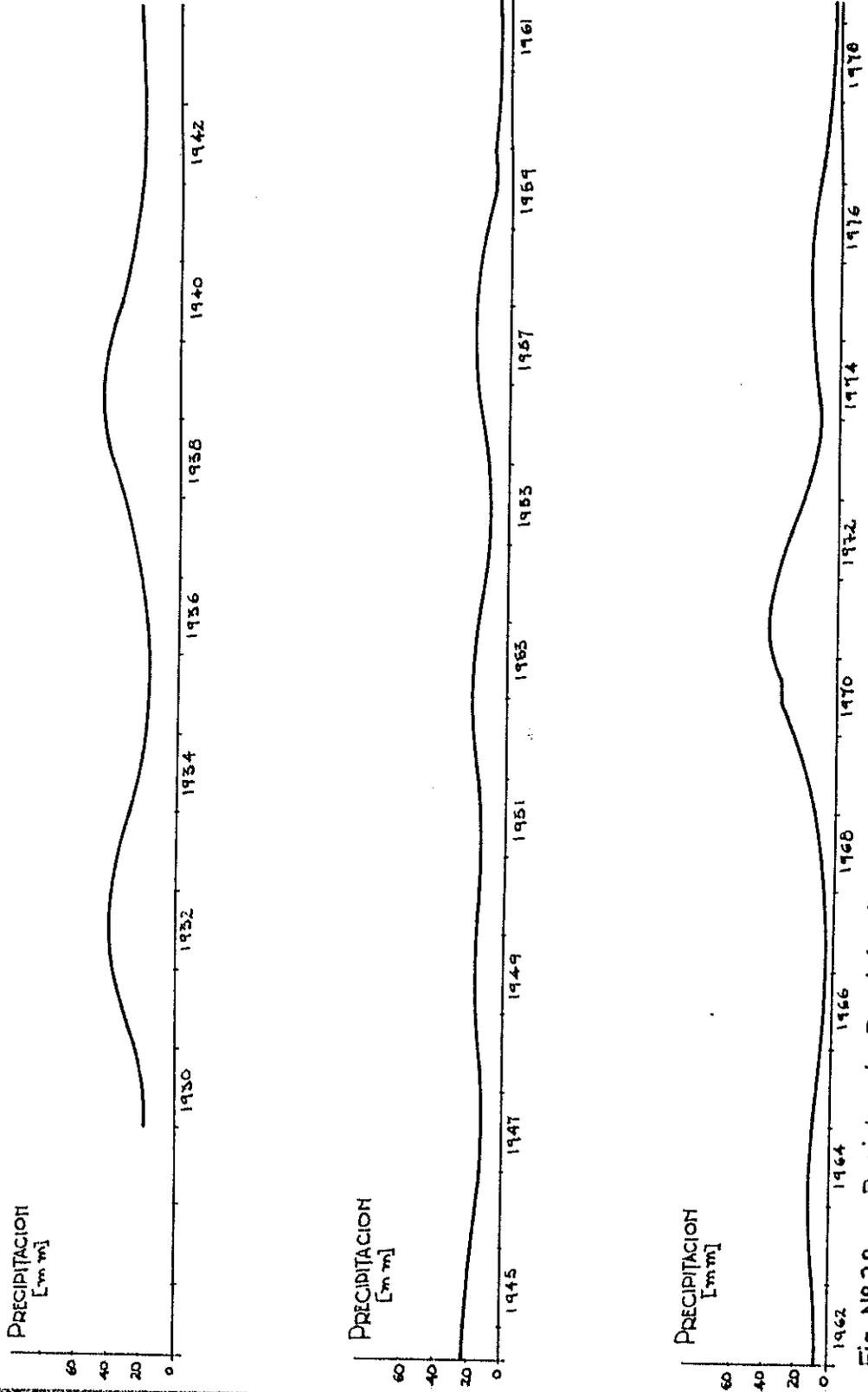


Fig. Nº 28 - Registro de Precipitación una vez Aplicado el Filtro Pasa - Alto.

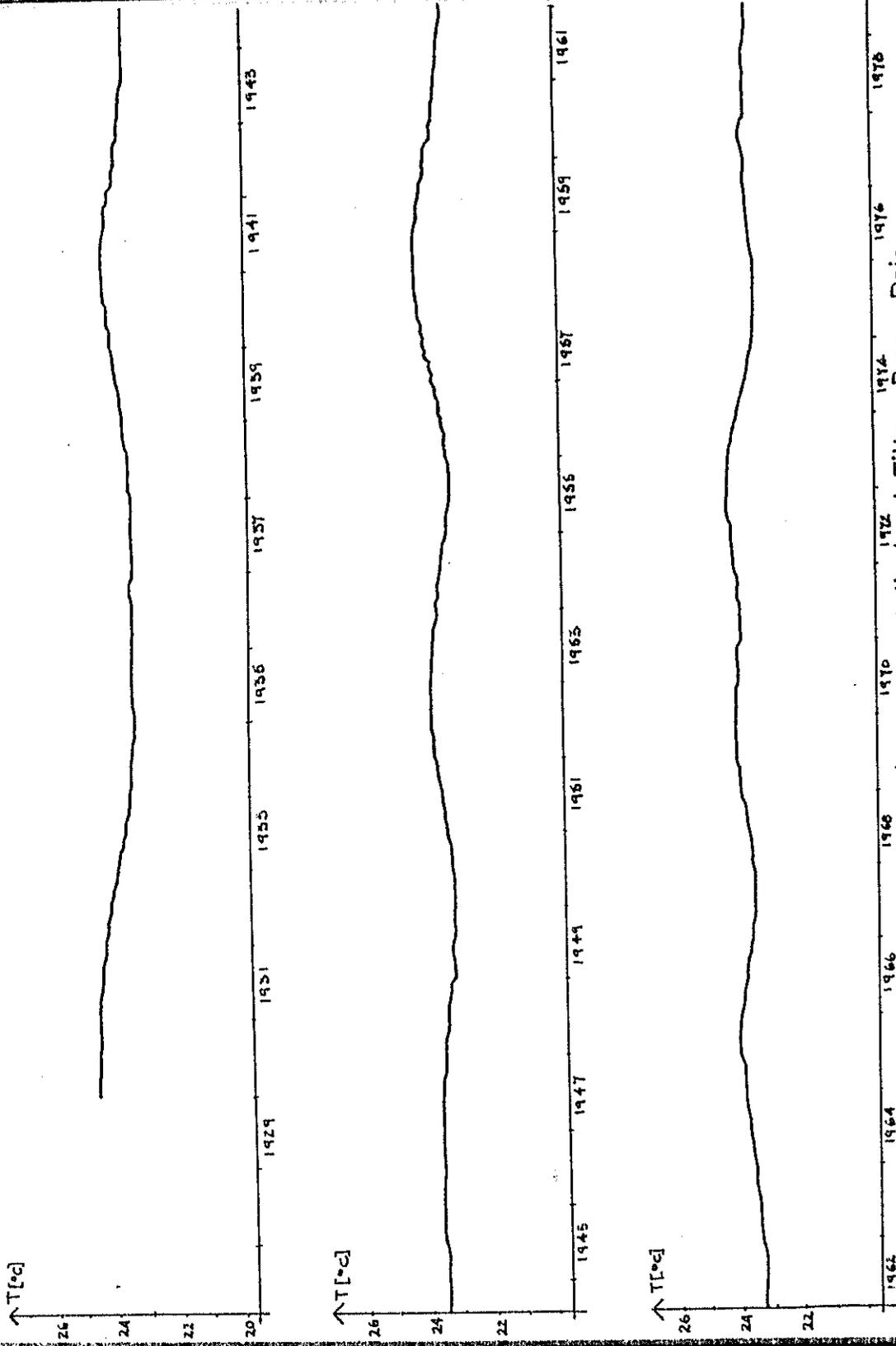


Fig - Nº 29 - Registro de Temperatura del Aire una vez Aplicado el Filtro Pasa - Bajo

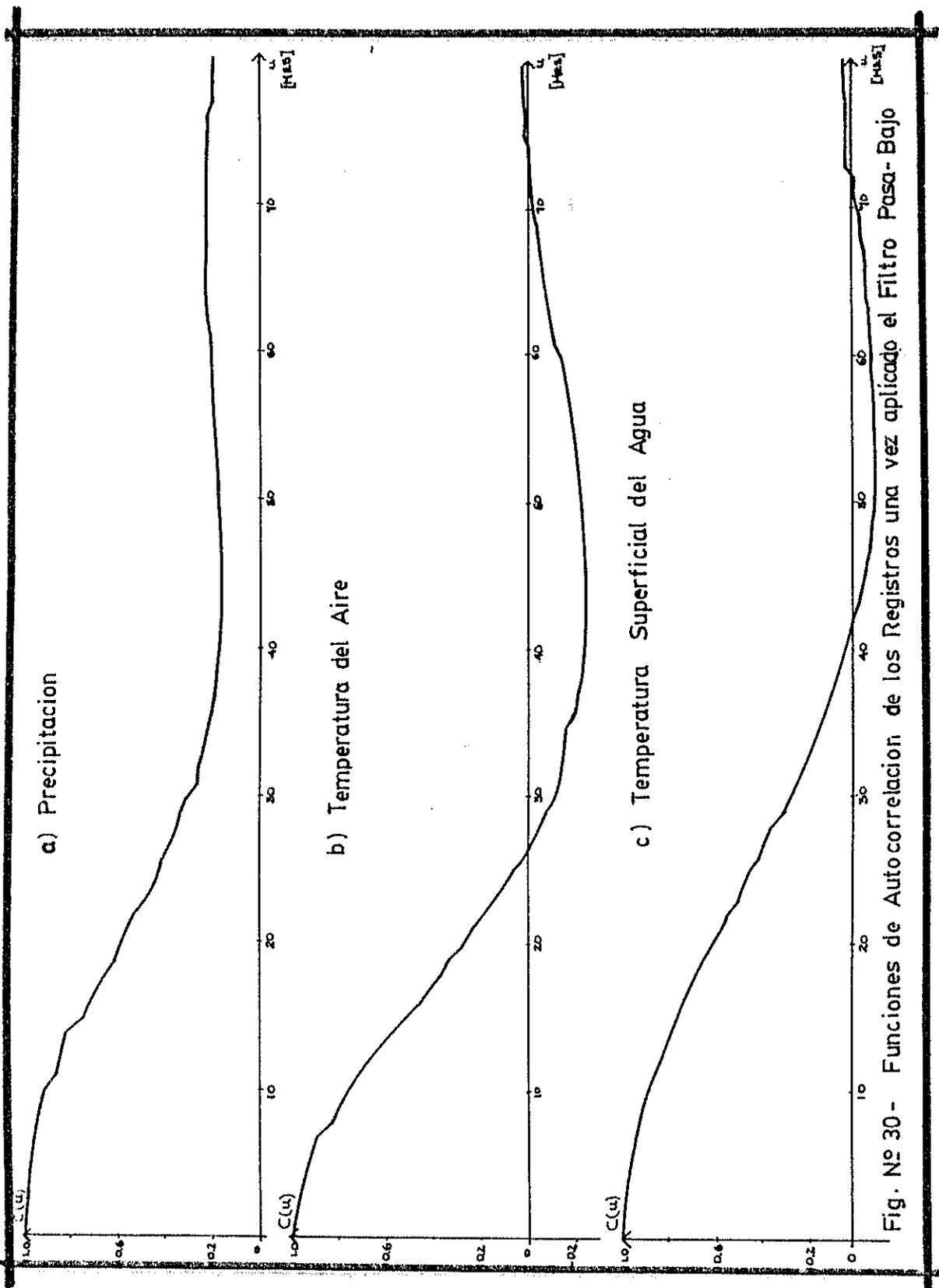


Fig. No 30 - Funciones de Autocorrelacion de los Registros una vez aplicado el Filtro Pasa-Bajo

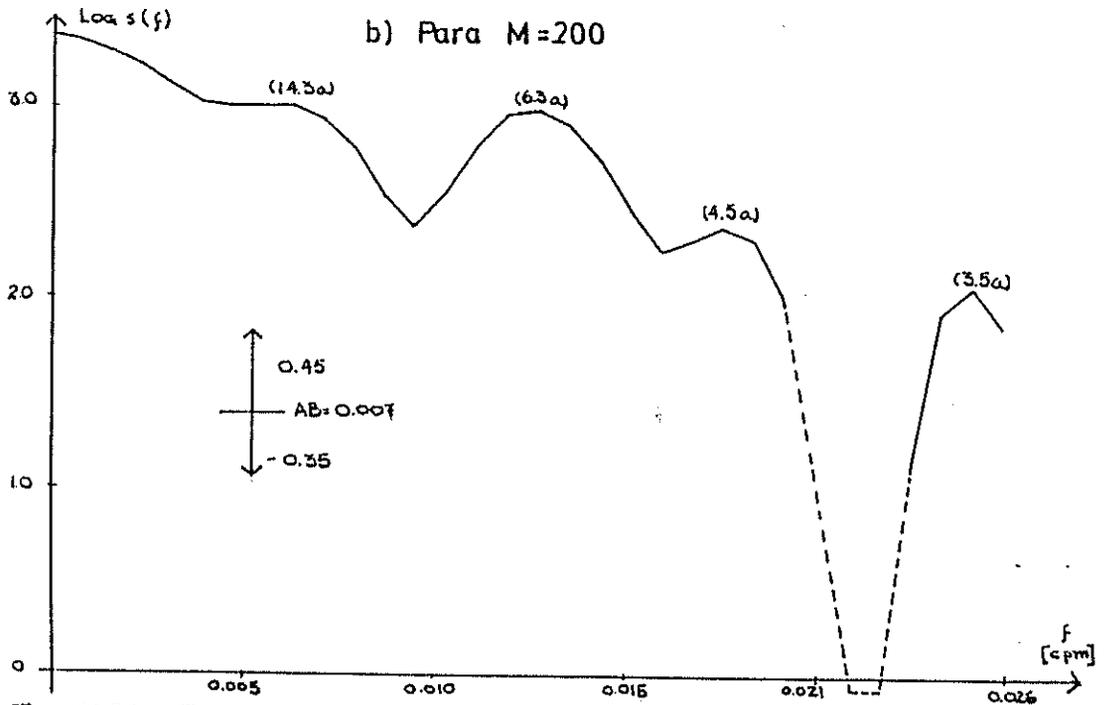
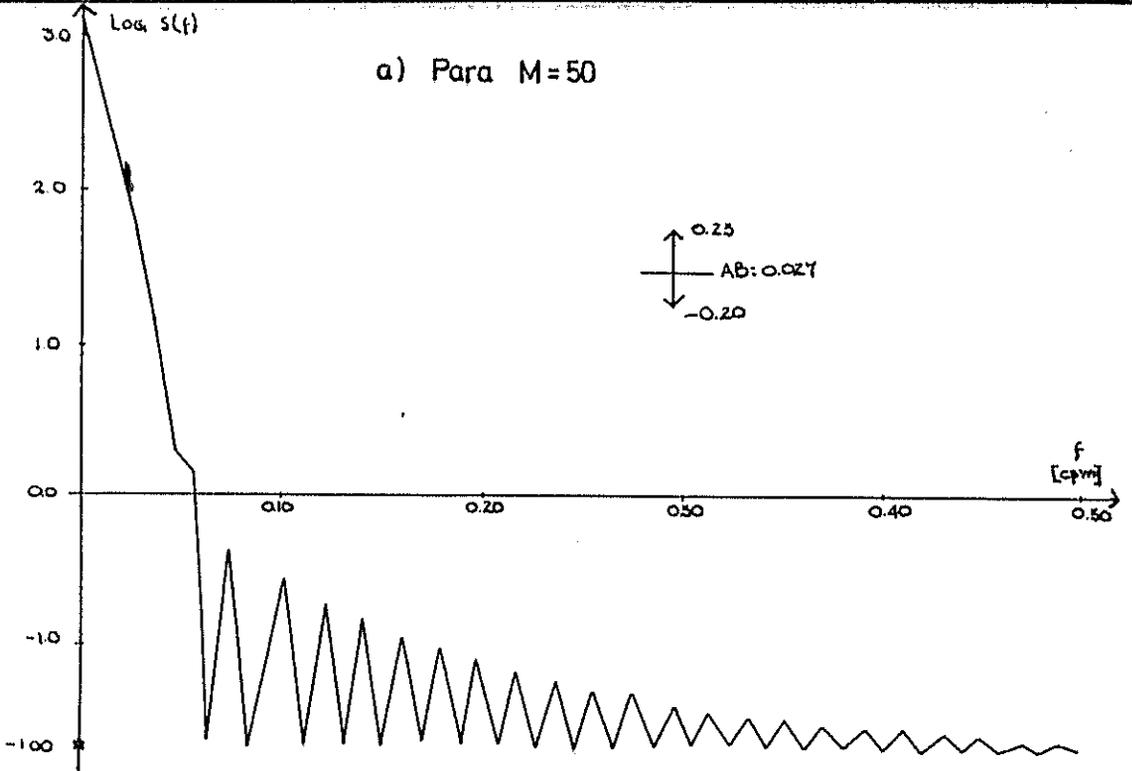


Fig. N° 31.- Espectro de Potencias del Registro de Precipitación una vez Aplicado el Filtro Pasa Bajo

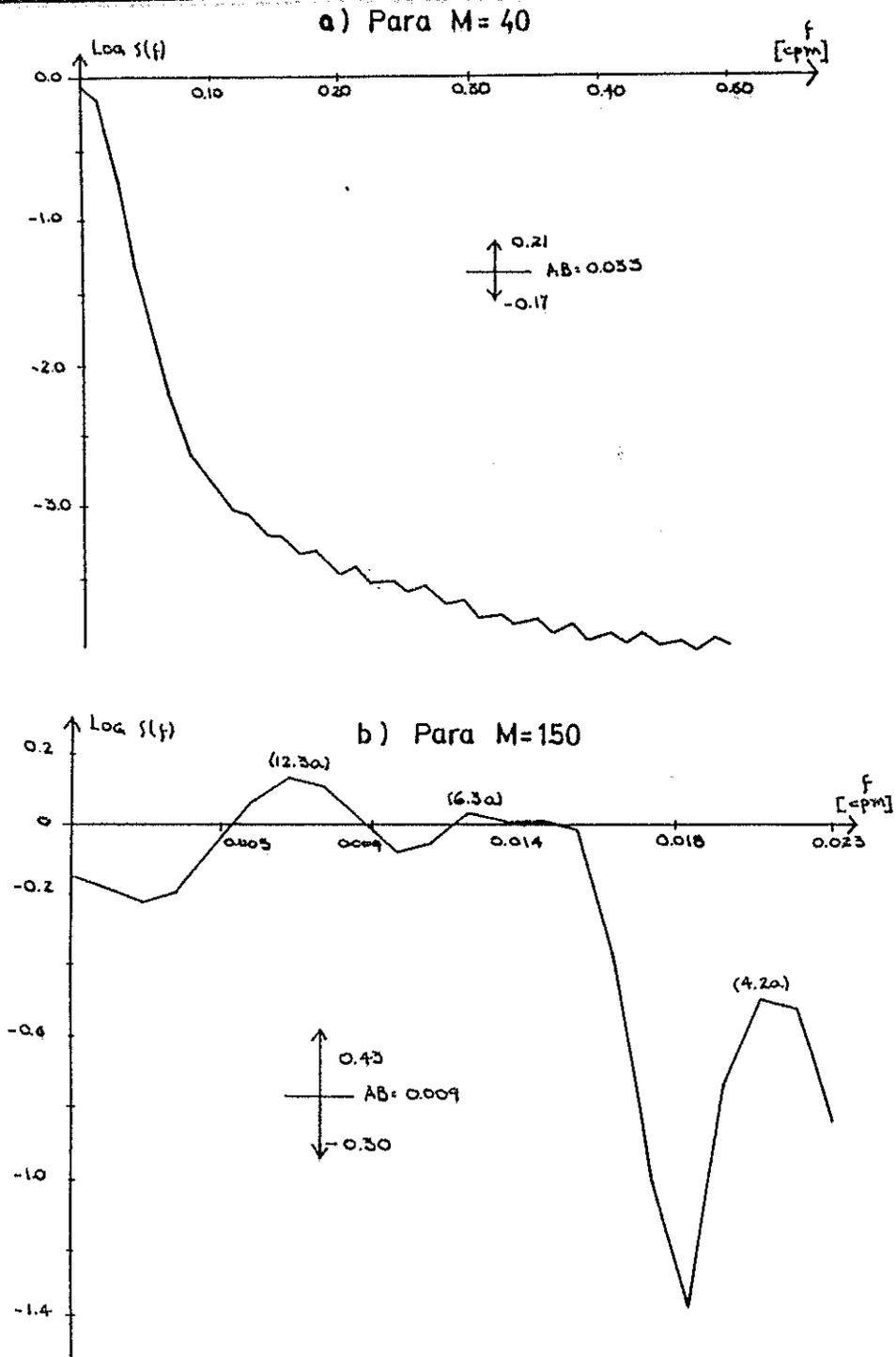


Fig. Nº 32... Espectro de Potencias del Registro de Temperatura del Aire una vez aplicado el Filtro Pasa Alto.

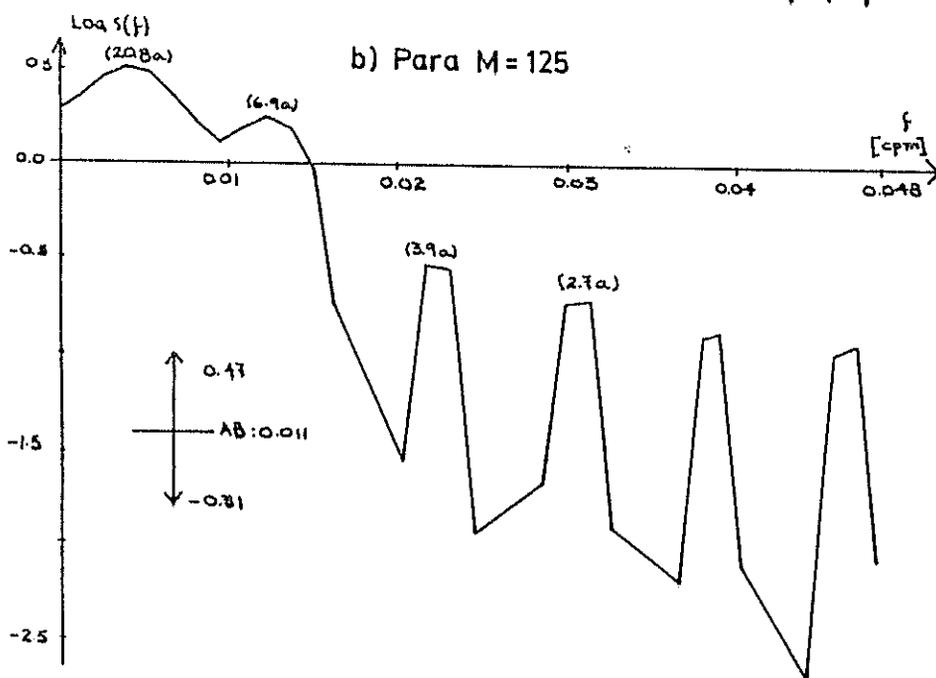
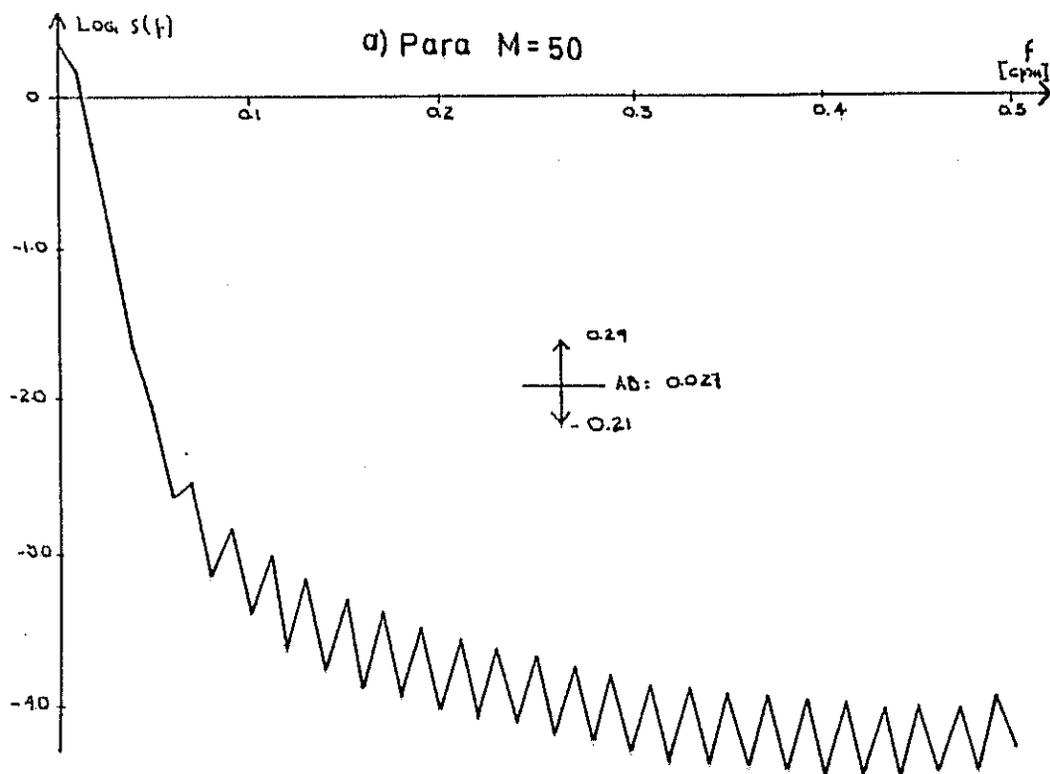


Fig. Nº.33- Espectro de potencias para temperatura superficial del Agua una vez aplicado el filtro paso-bajo

VE
TABLA XII

PERIODOS PREDOMINANTES ENCONTRADOS EN LOS REGISTROS UNA VEZ APLICADO
EL FILTRO PASA-BAJO

PERIODO (Años)	PRECIPITACION		TEMPERATURA DEL AIRE		TEMPER. SUPERFICIAL DEL AGUA	
	Amplitud (mm)	Espectro Normal	Amplitud (°C)	Espectro Normal	Amplitud (°C)	Espectro Normal
20.8					1.83	0.41
14.3	31.96	0.15				
12.3			1.16	0.254		
6.9					1.33	0.216
6.25	31.37	0.144	1.12	0.237		
4.3	15.38	0.035	0.55	0.057		
3.9					0.53	0.034
3.45	10.10	0.015				
2.7	5.60	0.005			0.44	0.027
		0.39		0.548		0.684

TABLA VII

PARAMETROS ESTADISTICOS DE LOS REGISTROS UNA VEZ APLICADO EL
FILTRO PASA-BAJO

PARAMETRO	PRECIPITACION	TEMPERATURA DEL AIRE	TEMP. SUPERFICIAL DEL AGUA
Grados de Libertad	8.01 (M=200)	10.68 (M=150)	9.49 (M=125)
Media	19.63mm	23.695°C	25.24°C
Varianza	107.21	0.111	0.2054
Varianza estimada (SUMPRU)	107.18	0.111	0.2056

dos se resumen en las Tablas VI y VII.

Como último comentario señalamos que las amplitudes indicadas en la Tabla VI corresponden a un 39% de la varianza total para el registro de Precipitación, 54.8% para Temperatura del Aire y 68.4 para Temperatura Superficial del Agua. La serie de Precipitación presenta un valor bajo de resolución debido a que la acumulación de la varianza en la frecuencia cero es del orden del 40% valor un poco más bajo para los otros dos registros, el resto de la varianza se encuentra distribuida en diferentes bandas de frecuencias pero no ha podido ser resuelta.

3.2.3. Filtro Pasa Alto.

Este es otro de los filtros que puede utilizarse en el programa "ESPECTRO", de acuerdo a lo explicado en la sección 2.3 elimina todas las frecuencias comprendidas dentro del intervalo:

$$0 < f < 0.2 \Delta$$

Como el intervalo de muestreo usado es de un mes esto significa que dejará pasar las fluctuaciones iguales o menores que 5 meses, sin embargo, debido a las características espectrales del filtro su acción no es efectiva pudiendo dejar periodicidades mayores, pero estas se encontrarán considerablemente reducidas en magnitud.

Debido al hecho de que su mayor efectividad se encuentra en los alrededores de la frecuencia Nyquist dejará pasar todas las fluctuaciones cercanas a ella, debe recordarse que las periodicidades en esta región pueden estar superpuestas con otras más pequeñas que no alcanzaron a ser resueltas por el intervalo de muestreo utilizado.

Generalmente estos filtros se usan simultáneamente con filtros Pasa-Bajo para formar uno Pasa-Banda el cual permite filtrar únicamente una porción determinada de frecuencias, los mismos que tienen mucha aplicación en casos de estudios como Análisis de Mareas.

Procederemos ahora a explicar los resultados hallados en los tres registros analizados.

a. Registro de Precipitación una vez aplicado el Filtro Pasa-Alto.-

La Serie de Tiempo de este registro que es mostrada en la figura N° 34 presenta fluctuaciones marcadas de un mes a otro producto del efecto causado por el filtro, - que ha eliminado las periodicidades grandes dejando únicamente las pequeñas.

La Función de Autocorrelación (fig. 36.a) presenta muchas fluctuaciones, reflejo de lo que acontece en la Serie de Tiempo, esto dificulta a la selección del máximo intervalo de desplazamiento para el cálculo del Espectro (M). Como hecho importante cabe anotar que el valor de ρ_{ac} para el desplazamiento 1 es 0.5, a partir de ahí tenemos valores positivos seguidos de valores negativos en un rango que fluctúa en (0.2 y -0.2), lo que nos indica que a una desviación positiva en la Serie de Tiempo le sigue una negativa, patrón que se mantiene durante todo el registro.

La aparición de estimados negativos en la zona de bajas frecuencias de el Espectro de Potencias (fig. 37) es una señal de la poca cantidad de varianza acumulada en esa zona, producto del efecto causado por el fil

tro.

La mayor cantidad de la varianza se encuentra distribuída en las frecuencias mayores que 0.15 cpm, lo que está en concordancia con el valor de la frecuencia de corte del filtro (0.20 cpm). Existen bastantes picos del orden de dos meses de período pero no los seleccionaremos debido al hecho de que están muy cerca de la frecuencia Nyquist.

Las fluctuaciones que se encuentran ya han sido resueltas previamente por lo que este filtro no nos proporciona nuevos resultados, solamente viene a confirmar lo que ya ha sido establecido.

b. Registro de Temperatura del Aire una vez aplicado el Filtro Pasa-Alto.-

En la figura N° 35 podemos ver la Serie de Tiempo, la misma que presenta similitud con la correspondiente al registro anterior, con muchas fluctuaciones de corto período, sin apreciarse una periodicidad dominante.

La fac (fig. 36.b) presenta el mismo patrón descrito para el registro anterior, de igual forma, el Espectro

de Potencias (fig. 38) muestra amplitudes en valores de frecuencia cercanos a aquellos del registro de Precipitación.

c. Registro de Temperatura Superficial del Agua una vez aplicado el Filtro Pasa-Alto.-

La Serie de Tiempo y la Función de Autocorrelación (fig. 36.c) presentan comportamiento similares a los del registro de Temperatura del Aire, lo mismo acontece con el Espectro de Potencias (fig. 39).

No ha sido necesario usar un número alto de puntos de truncación para calcular los diferentes estimados espectrales pues con los valores seleccionados se ha alcanzado suficiente detalle, los resultados generales obtenidos de la aplicación del Filtro Pasa-Alto se muestran en las Tablas VIII y IX.

La baja cantidad de resolución en los Espectros de Potencias calculados: 9.3% para Precipitación, 28.2% para Temperatura del Aire y 26.6% para Temperatura Superficial del Agua; se debe al hecho de que aproximadamente el 50% de la Varianza se encuentra acumulada en la banda de frecuencias (0.4-0.5, cpm) pero las periodicidades

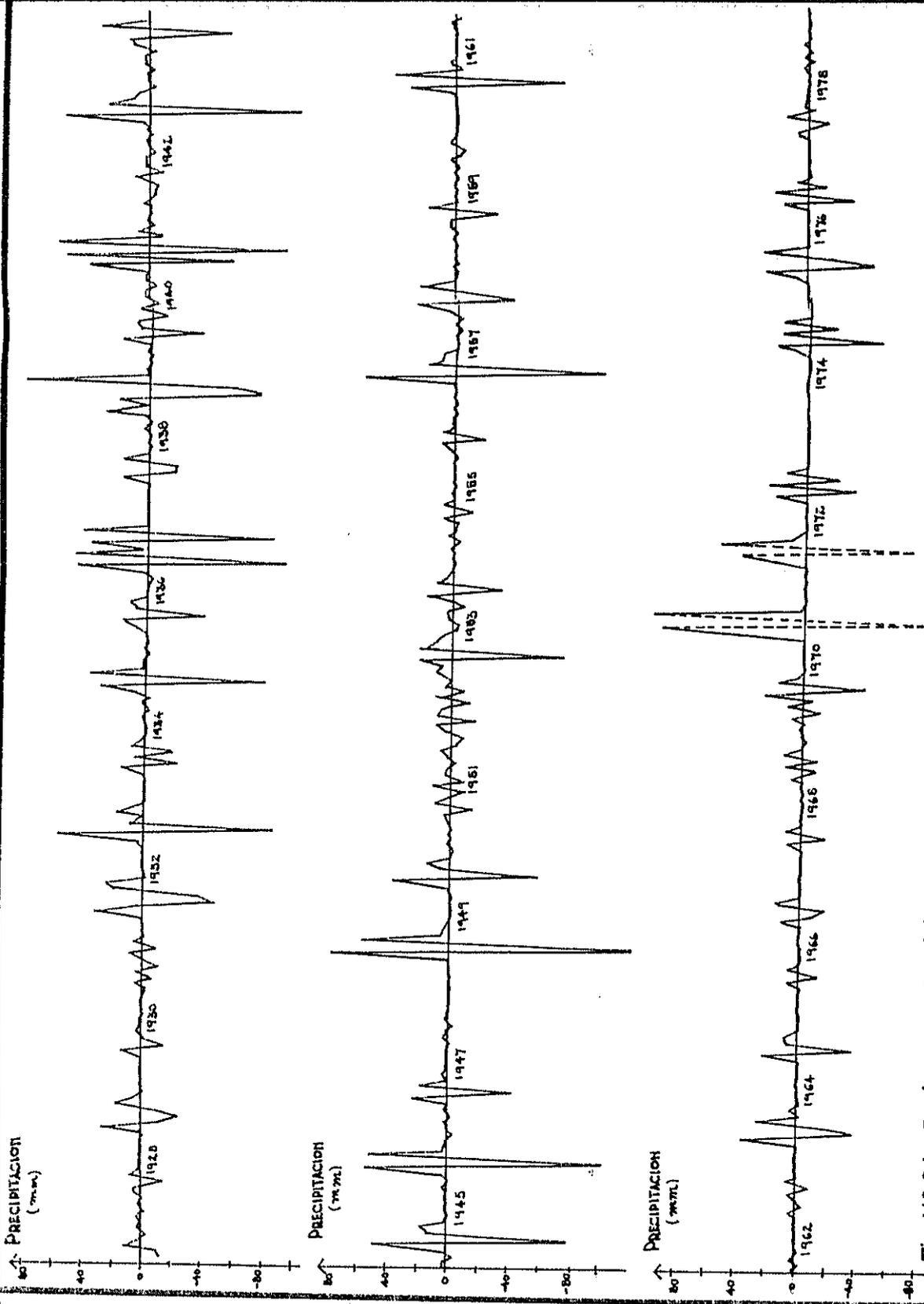


Fig. Nº 34.- Registro de Precipitación una vez aplicado el filtro Pasa-Alto

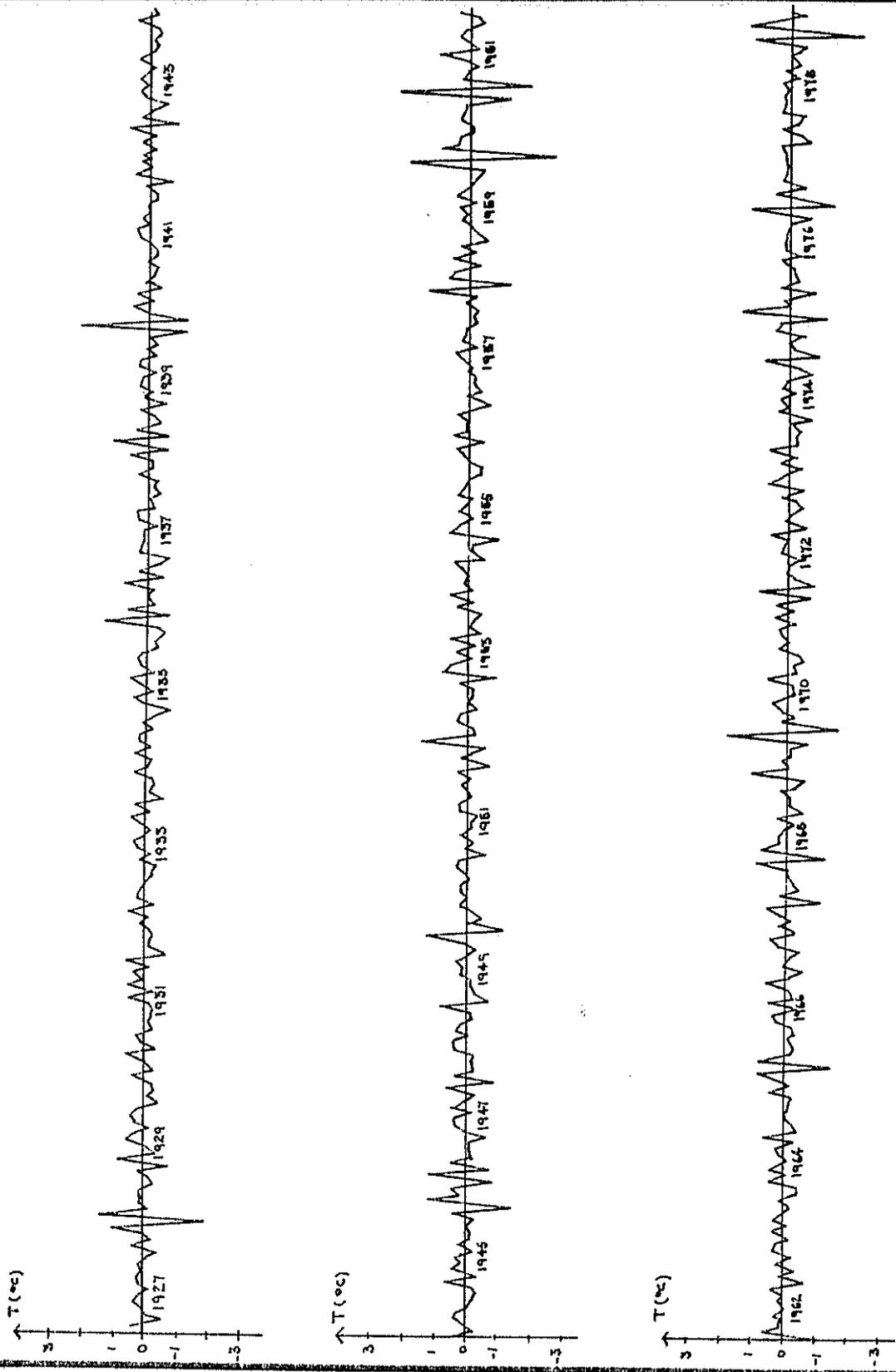


Fig. Nº 35 - Registro de Temperatura del Aire Una Vez Aplicado el Filtro Pasa-Alto

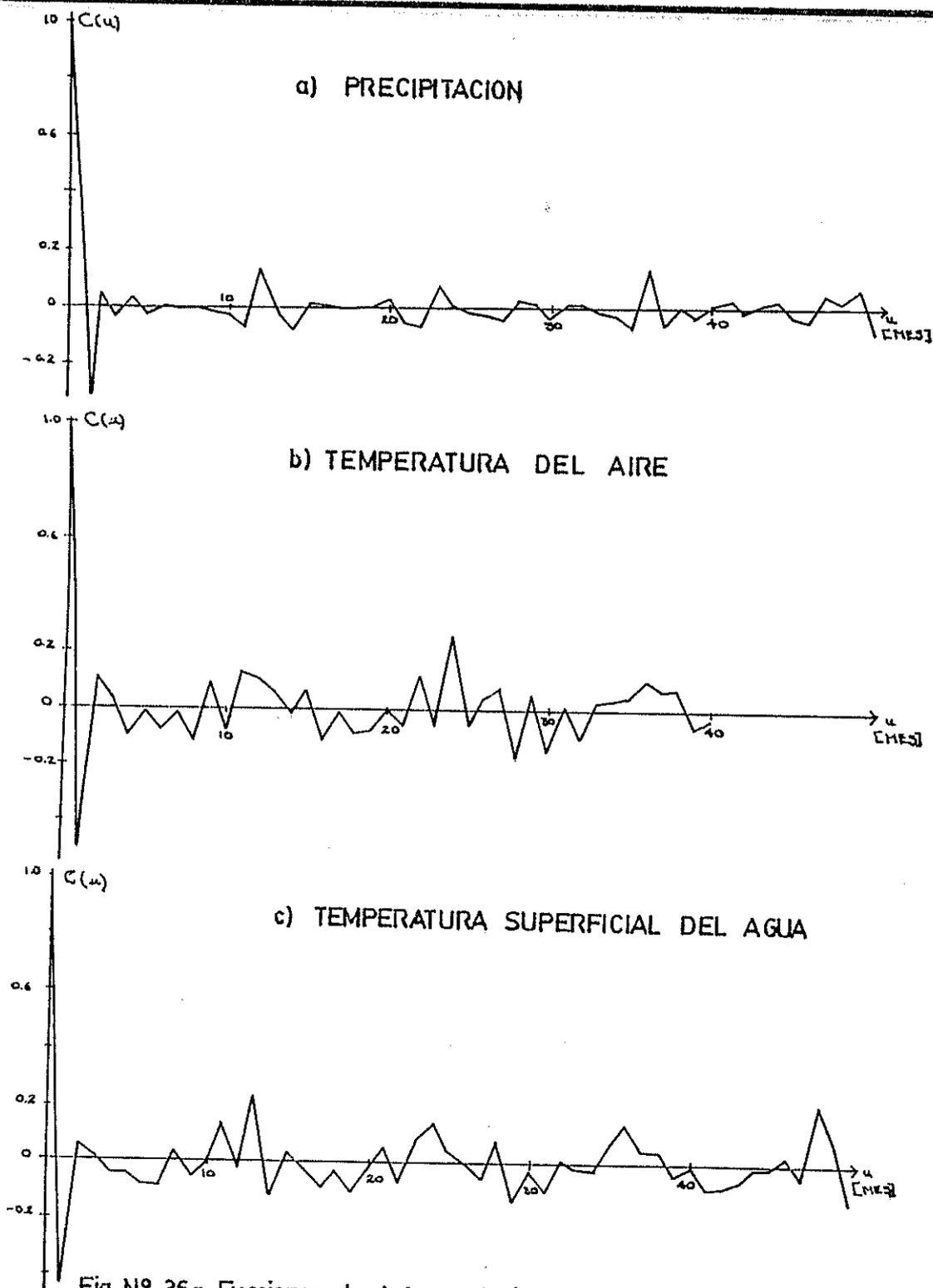


Fig. Nº 36 - Funciones de Autocorrelacion de los Registros una vez Aplicado el Filtro Pasa-Alto .

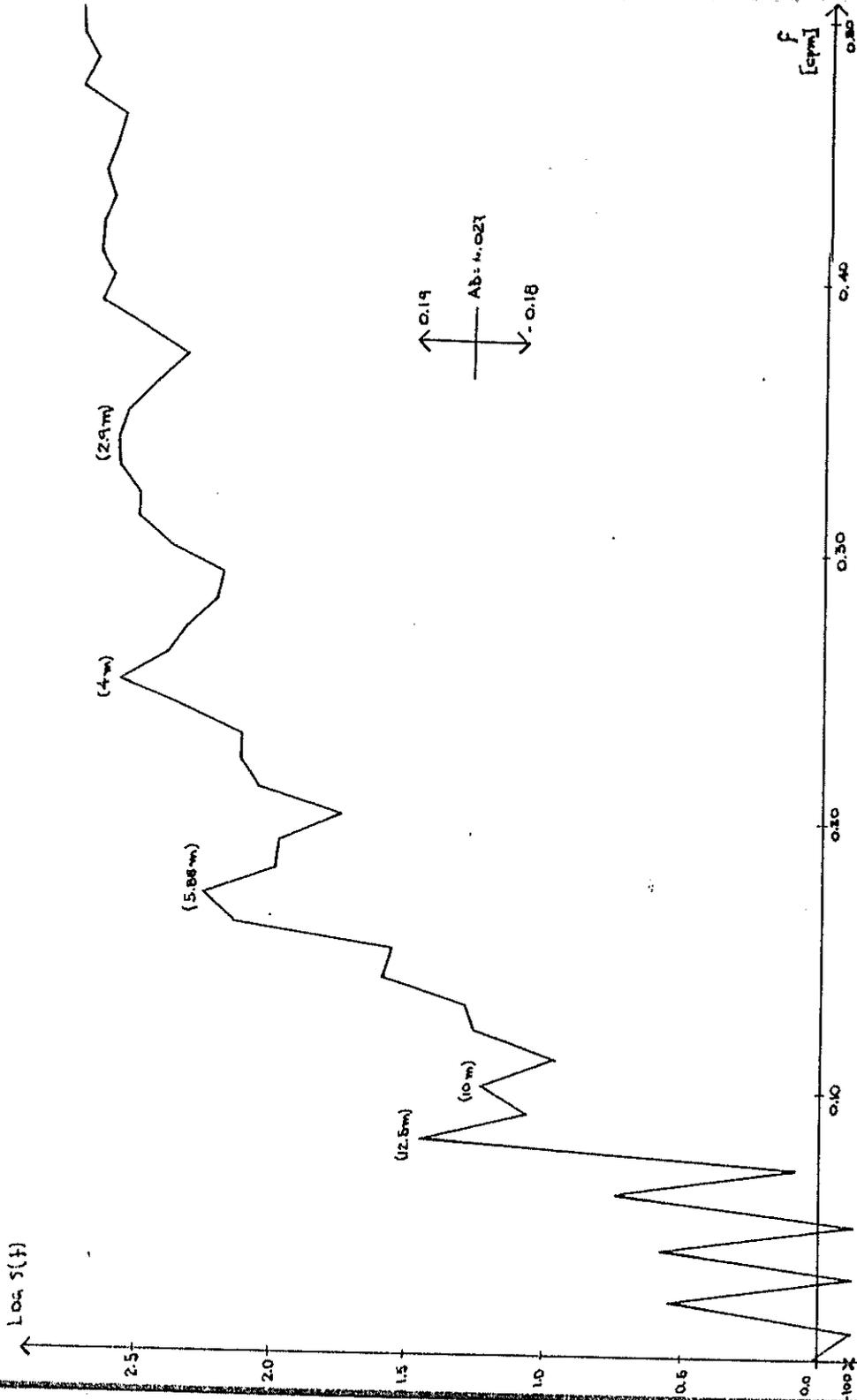


Fig.- No 37 Espectro de Potencias del Registro de Precipitacion una vez Aplicado el Filtro Pasa - Alto para M = 50

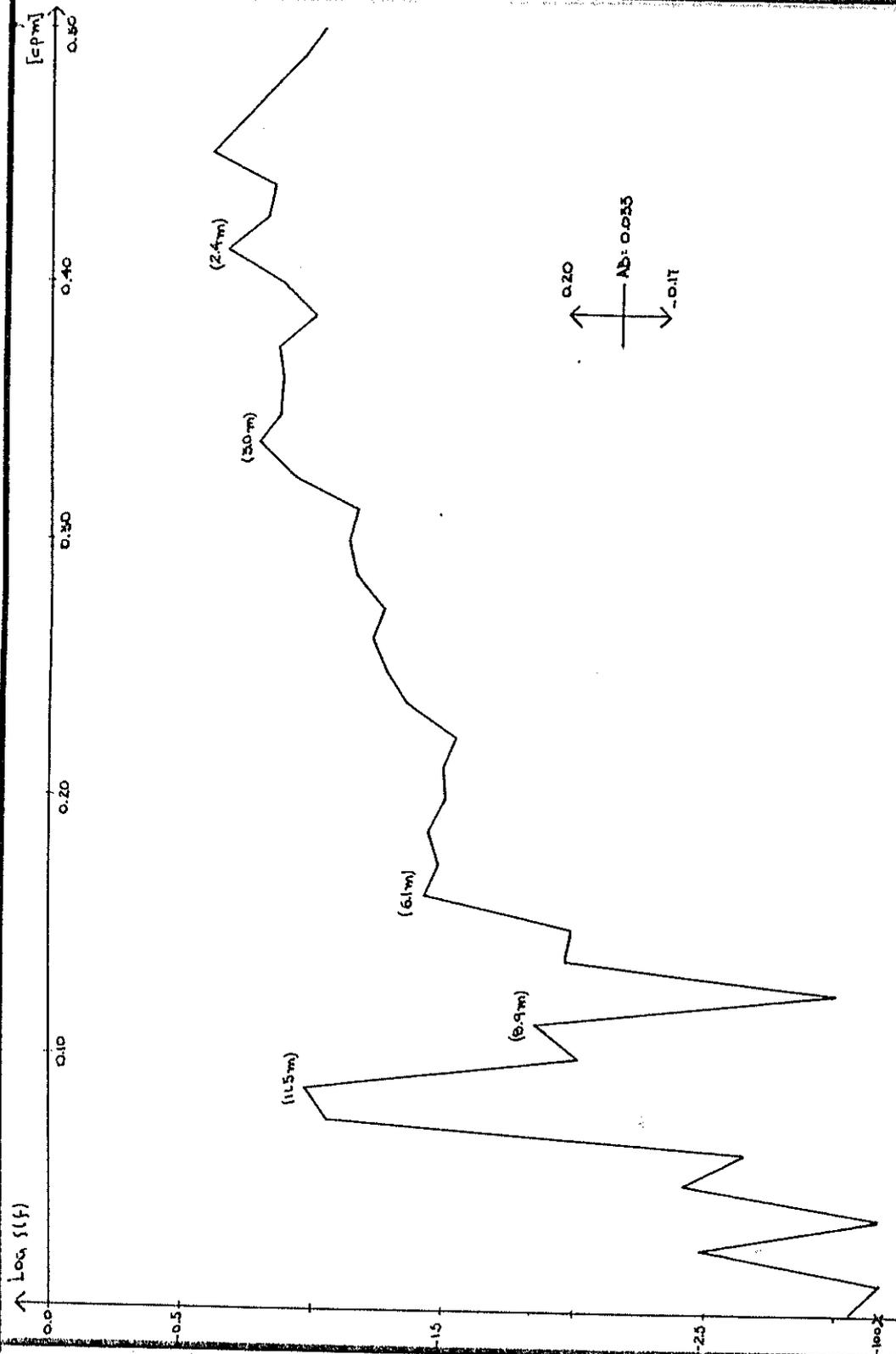


Fig. N° 38 - Espectro de potencias del registro de temperatura del aire una vez aplicado el filtro pasa alto-para $M=40$

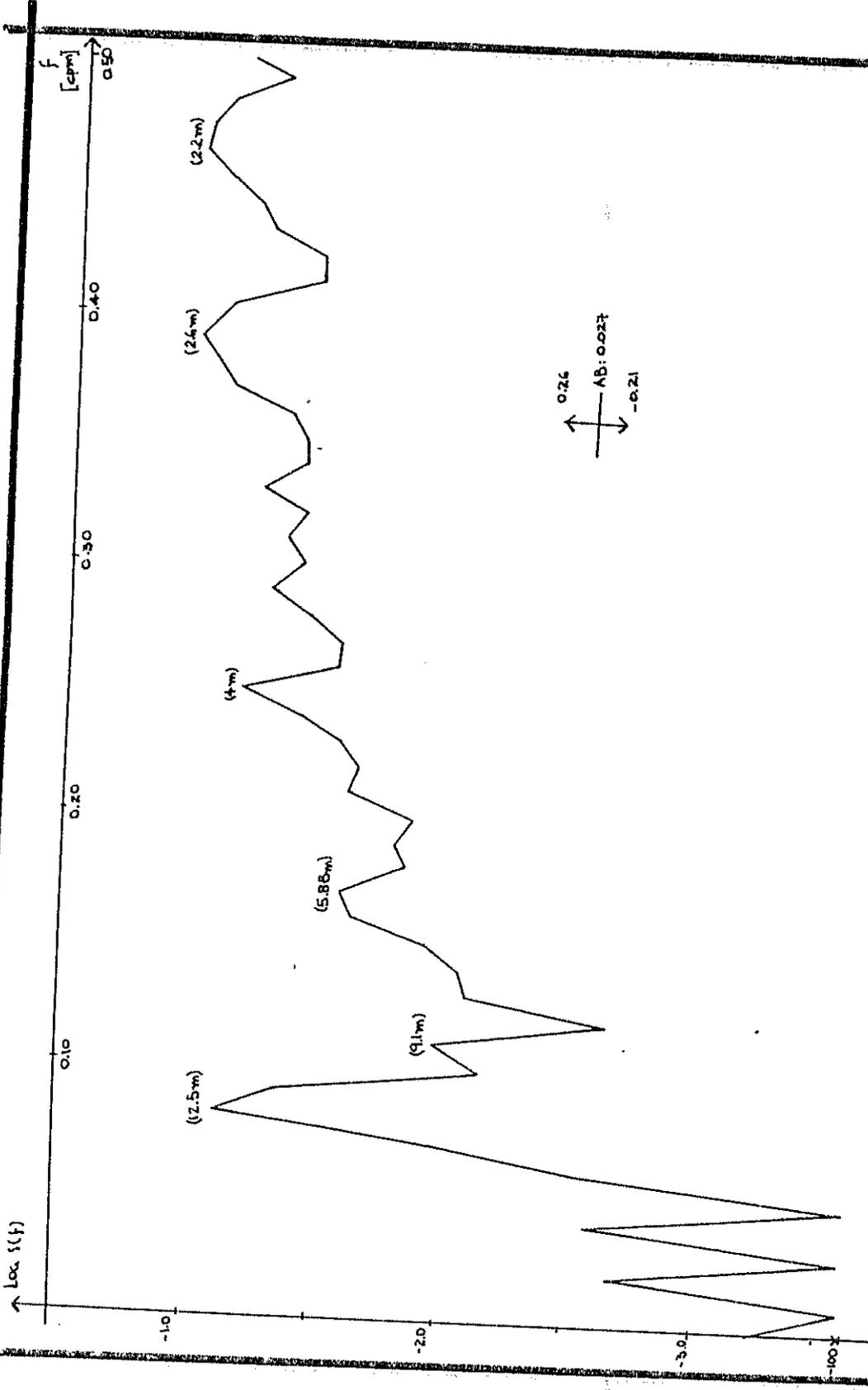


Fig. N° 39 - Espectro de potencias del registro de temperatura superficial del agua una vez aplicado el filtro pasa alto para $M=50$

TABLA VIII

PERIODOS PREDOMINANTES ENCONTRADOS EN LOS REGISTROS UNA VEZ APLICADO EL FILTRO PASA-ALTO

PERIODO (meses)	PRECIPITACION		TEMPERATURA DEL AIRE		TEMPER. SUPERFICIAL DEL AGUA	
	Amplitud (mm)	Espectro Normal	Amplitud (°C)	Espectro Normal	Amplitud (°C)	Espectro Normal
12.0	5.3	0.003	0.33	0.037	0.28	0.040
9.6	4.19	0.002	0.12	0.005	0.10	0.005
6.0	13.47	0.017	0.19	0.012	0.16	0.013
3.9	19.42	0.035	0.24	0.019	0.26	0.034
3.45					0.24	0.029
3.0	19.66	0.036	0.40	0.054	0.25	0.032
2.5			0.46	0.071	0.34	0.058
2.2			0.5	0.084	0.33	0.055
		0.093		0.282		0.266

TABLA IX

PARAMETROS ESTADISTICOS DE LOS REGISTROS UNA VEZ APLICADO EL FILTRO PASA-BAJO

PARAMETRO	PRECIPITACION	TEMPERATURA DEL AIRE	TEM. SUPERF. DEL AGUA
Grados de Libertad	35.73 (M=50)	44.67 (M=40)	27.41 (M=50)
Media	-0.0082	0.0005	-0.0004
Varianza	667.670	0.2334	0.1243
Varianza estimada (SUMPRU)	667.346	0.2333	0.1237

dades comprendidas en este rango no se pueden considerar muy confiables puesto que corresponden al rango (2.5-2 meses) y el intervalo de muestreo/usado es de un mes.

3.3. Cambio de Intervalo de Muestreo.

Hemos podido observar que una considerable parte de las fluctuaciones presentes en nuestros registros de datos corresponde a períodos largos, la aplicación del Filtro Pasa-Bajo nos permitió resolver ese rango de frecuencias pero desperdiciamos gran cantidad de datos pues la frecuencia Nyquist era demasiado grande y gran porción de la banda de frecuencias no era de interés, para reducir la frecuencia Nyquist tenemos que aumentar el intervalo de muestreo.

Debido a la naturaleza física de nuestros registros debemos tratarlos de manera diferente a cada uno de ellos, para cambiar el intervalo de muestreo en el registro de Precipitación calcularemos el Registro de Totales Anuales de Precipitación. Para las series de Temperatura del Aire y Temperatura Superficial del Agua aplicaremos los procedimientos Promed-ND y Salta-ND.

3.3.1. Totales Anuales de Precipitación.

Debe notarse que cuando realizamos la suma de la cantidad total de lluvia que cayó en un año estamos reduciendo nuestro registro, en doce veces con respecto al número de puntos que teníamos al principio.

La serie de tiempo puede observarse en la figura N° 40.a en la misma podemos observar que los años en que se reporta un fenómeno de "El Niño" (Tabla I) ocurre un aumento de la cantidad de Precipitación por sobre la media, las excepciones ocurren cuando se presentan eventos "El Niño" débiles o muy débiles (años 1948, 1951, 1963, 1969).

En general las fluctuaciones observadas son de corto período y gran amplitud, parece existir una tendencia no lineal pero los datos son insuficientes para determinarla con precisión. Los años de 1938 y 1971 destacan como los de mayor cantidad de Precipitación durante el período considerado. La Función de Autocorrelación (fig. 40.b) presenta cierta periodicidad, lamentablemente se la ha calculado para muy pocos intervalos de desplazamiento (12) debido a que los puntos de la -

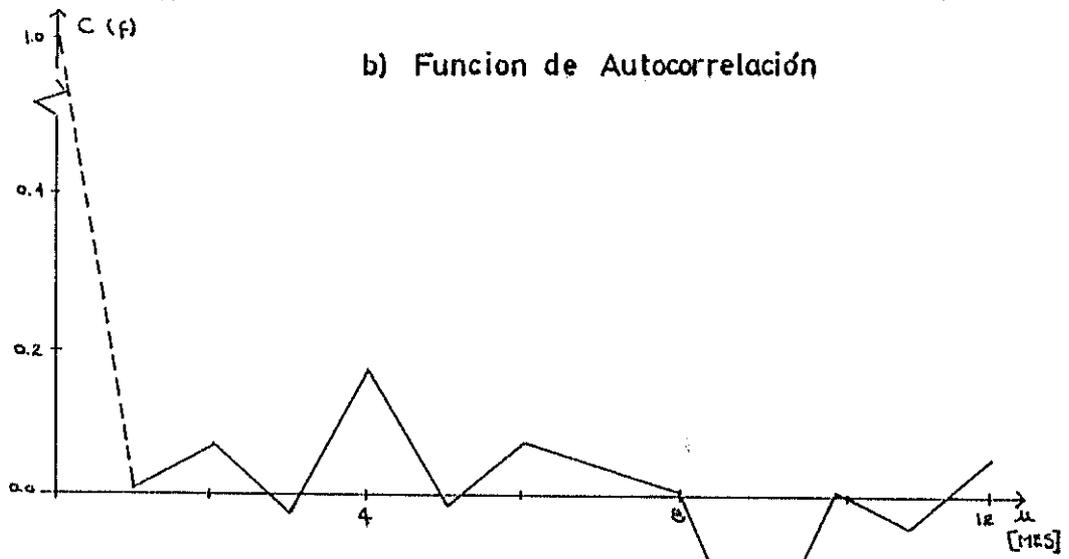
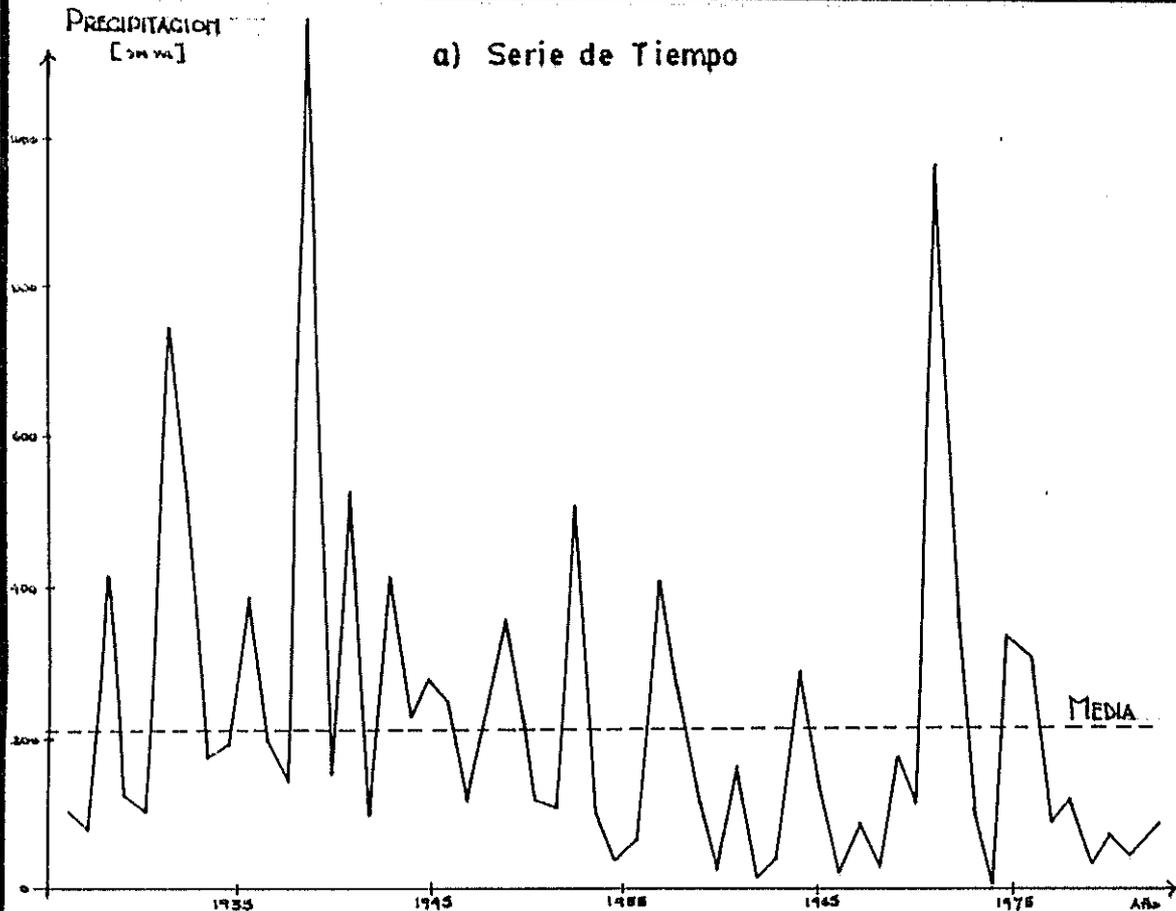


Fig. Nº 40 - Registro correspondiente a totales anuales de precipitación

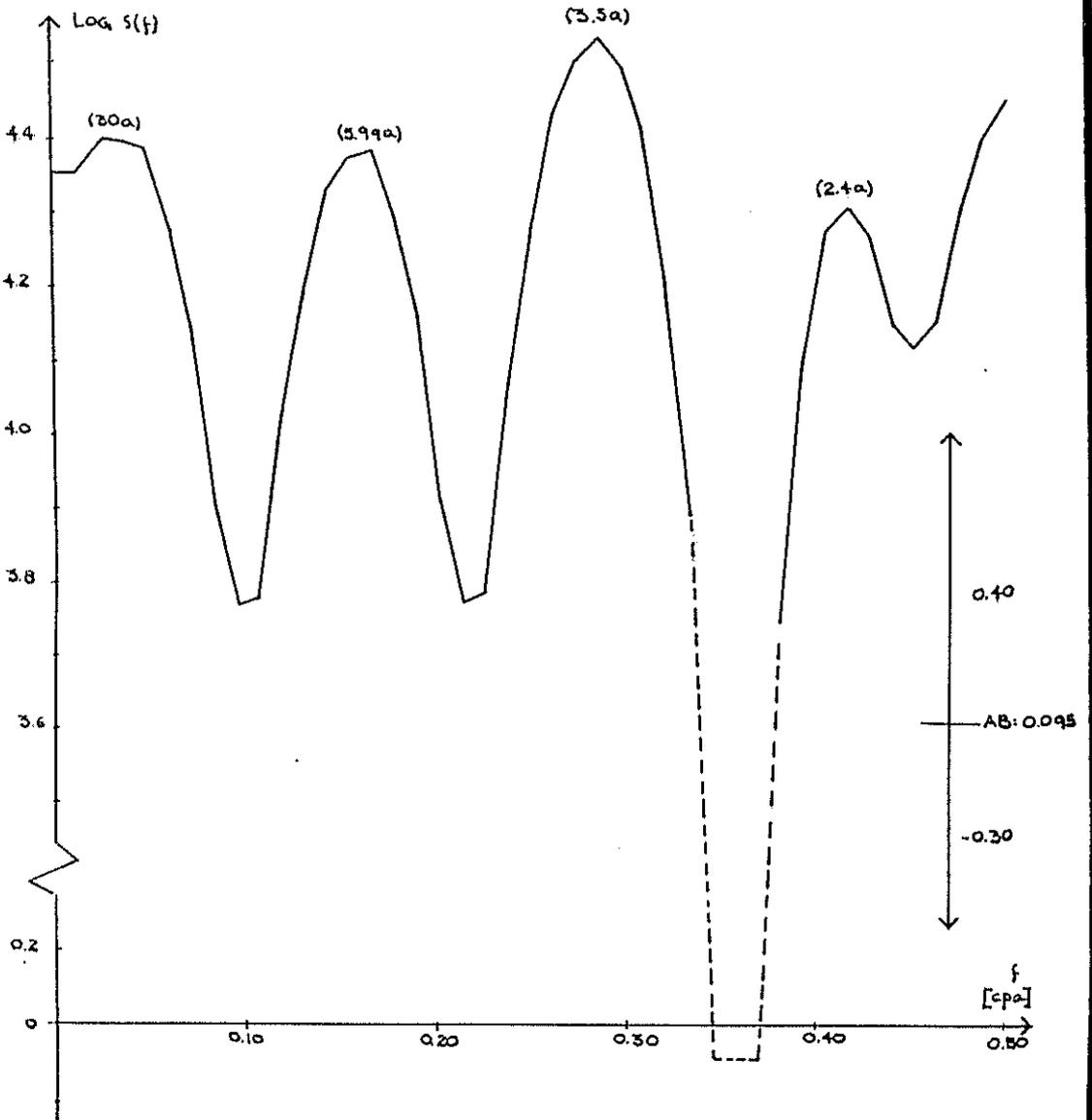


Fig. N° 41.- Espectro de Potencias del Registro de Totales Anuales de Precipitaciones para M=14, N=42

serie son solamente 56.

El Espectro de Potencias (fig. 41) presenta una alta cantidad de energía acumulada en toda la banda de frecuencias (con excepción de una pequeña franja alrededor de 0.35 cpa, en donde los valores del estimado espectral son muy bajos).

El Espectro de Potencias es suave, a pesar del alto número de puntos de truncación usado (en comparación con el número de puntos de la serie). Las periodicidades encontradas corresponden a 30, 5.99, 3.5 y 2.4 años.

3.3.2. Registro de Temperatura del Aire.

Los dos registros de temperatura presentan la desventaja de que no se puede realizar lo mismo que en el caso anterior (no suena lógico hablar de Totales anuales de Temperatura del Aire), entonces debemos, o bien sacrificar ciertos valores intermedios, o aprovecharlos para obtener valores promedios. ¿Qué es más ventajoso?. Presentaremos algunos estimados espectrales que nos pueden ayudar a establecer esto.

a. Procedimiento Promed-ND.-

Calcularemos estimados espectrales para $ND=6$ (con lo cual la Frecuencia Nyquist será 0.083cpm), y para $ND=12$ ($f_N = 0.5\text{ cpa}$). Cuando $ND=6$, la Serie de Tiempo (fig. N° 42.a) presenta muchas fluctuaciones: por lo general un valor alto seguido de un valor bajo, a más de esta oscilación hay una tendencia no lineal presente en el registro. El rango de oscilaciones es de unos 6°C . La Función de Autocorrelación (fig. 42.b) es un reflejo de la periodicidad dominante de un año.

El comportamiento de estos registros está en concordancia con las dos estaciones climáticas en el Ecuador, con el primer semestre del año caracterizado por temperaturas altas y el segundo semestre en el cual la temperatura desciende varios grados.

El Espectro de Potencias (fig. 44.a) presenta mucha inestabilidad debido a la presencia de estimados espectrales negativos en gran parte del rango de frecuencia. También puede observarse el efecto de Plegamiento: la fuerte periodicidad anual no ha podido ser resuelta y ha quedado acumulada alrededor de la Frecuencia Nyquist.

Para $ND=12$, el registro de Temperatura del Aire presenta un comportamiento diferente al anterior, las fluctuaciones son menores y están comprendidas en un rango de aproximadamente $2.5^{\circ}C$. La Función de Autocorrelación muestra así mismo que los datos están mucho menos correlacionados que cuando $ND=6$. El Espectro de Potencias de la figura N^o 45 se encuentra muy suavizado y en él encontramos varios picos claramente diferenciados. En vista de que en virtud del intervalo de muestreo utilizado, hemos eliminado las variaciones estacionales, la cantidad de varianza acumulada en la Frecuencia Nyquist no es tan grande como la del caso anterior.

b. Procedimiento Salta- ND .-

La Serie de Tiempo del registro de Temperatura del Aire obtenida al hacer $ND=6$ (fig. 47), presenta un comportamiento semejante a la correspondiente a Promed-6, pero el rango de fluctuaciones es menor, lo mismo sucede con la Función de Autocorrelación.

El Espectro de Potencias (fig. 49.d), presenta así mismo características semejantes, con una alta inestabilidad y el efecto de plegamiento en la Frecuencia Nyquist.

La Serie de Tiempo, la Función de Autocorrelación y el Espectro de Potencias obtenidos al hacer $ND=12$ se muestran en la figura N° 50, las mismas que presentan las iguales características que las correspondientes al registro de Temperatura del Aire una vez aplicado el procedimiento Promed-12.

Parece ser que los procedimientos Promed-ND y Salta-ND producen resultados semejantes, sin embargo, la descripción realizada hasta aquí proviene de la inspección visual de los diferentes registros obtenidos, procederemos ahora a analizar los resultados cuantitativos obtenidos del análisis, los mismos que son presentados en las Tablas X y XI.

A partir de los datos presentados en la Tabla X, podemos darnos cuenta que los Procedimientos Promed-6 y Salta-6 no son aconsejables para este parámetro, al hacer nuestro intervalo de muestreo igual a 6 meses no podemos, ni eliminar la fuerte periodicidad anual, ni resolverla con precisión; esto trae como consecuencia la aparición del efecto de plegamiento, el mismo que ocasiona una fidelidad baja en nuestro espectro de po-

TABLA X

PERÍODOS PREDOMINANTES ENCONTRADOS EN EL REGISTRO DE TEMPERATURA DEL AIRE UNA VEZ APLICADOS LOS PROCEDIMIENTOS.

PROMED-ND y SALTA-NE

Período (Años)	Promed-6 Amplitud [°C], (Esp. Noz.)	Promed-12 Amplitud [°C], (Esp. Noz.)	Salta-6 Amplitud [°C], (Esp. Noz.)	Salta-12 Amplitud [°C], (Esp. Noz.)
∞	2.07(0.028)	0.31(0.063)	0.75(0.0003)	0.32(0.035)
21.5	2.48(0.040)	0.46(0.138)	3.27(0.05)	--
12.0				0.66(0.150)
7.3	2.31(0.035)	0.46(0.138)	2.53(0.030)	
5.6				0.57(0.112)
4.5	2.16(0.031)		2.44(0.028)	
3.6	2.52(0.042)	0.55(0.198)	3.4(0.054)	0.62(0.1324)
2.5	2.24(0.033)	0.35(0.080)	2.64(0.033)	0.53(0.097)
2.1	2.58(0.044)		3.15(0.046)	
6N	14.9(1.473)	0.46(0.138)	16.4(1.25)	0.37(0.047)

TABLA XI
PARAMETROS ESTADISTICOS DEL REGISTRO DE TEMPERATURA DEL AIRE UNA
VEZ APLICADOS LOS PROCEDIMIENTOS PROMED-ND Y SALTA-ND

PARAMETRO	PROMED-6	PROMED-12	SALTA-6	SALTA-12
Grados de Libertad	12.44 (M=24)	14.93 (M=10)	12.44 (M=24)	10.67 (M=14)
Media	23.736	23.736	23.702	25.468
Varianza	3.3236	0.4803	4.6711	0.6517
Varianza estimada (SUMPRU)	3.3235	0.4816	4.6710	0.6517

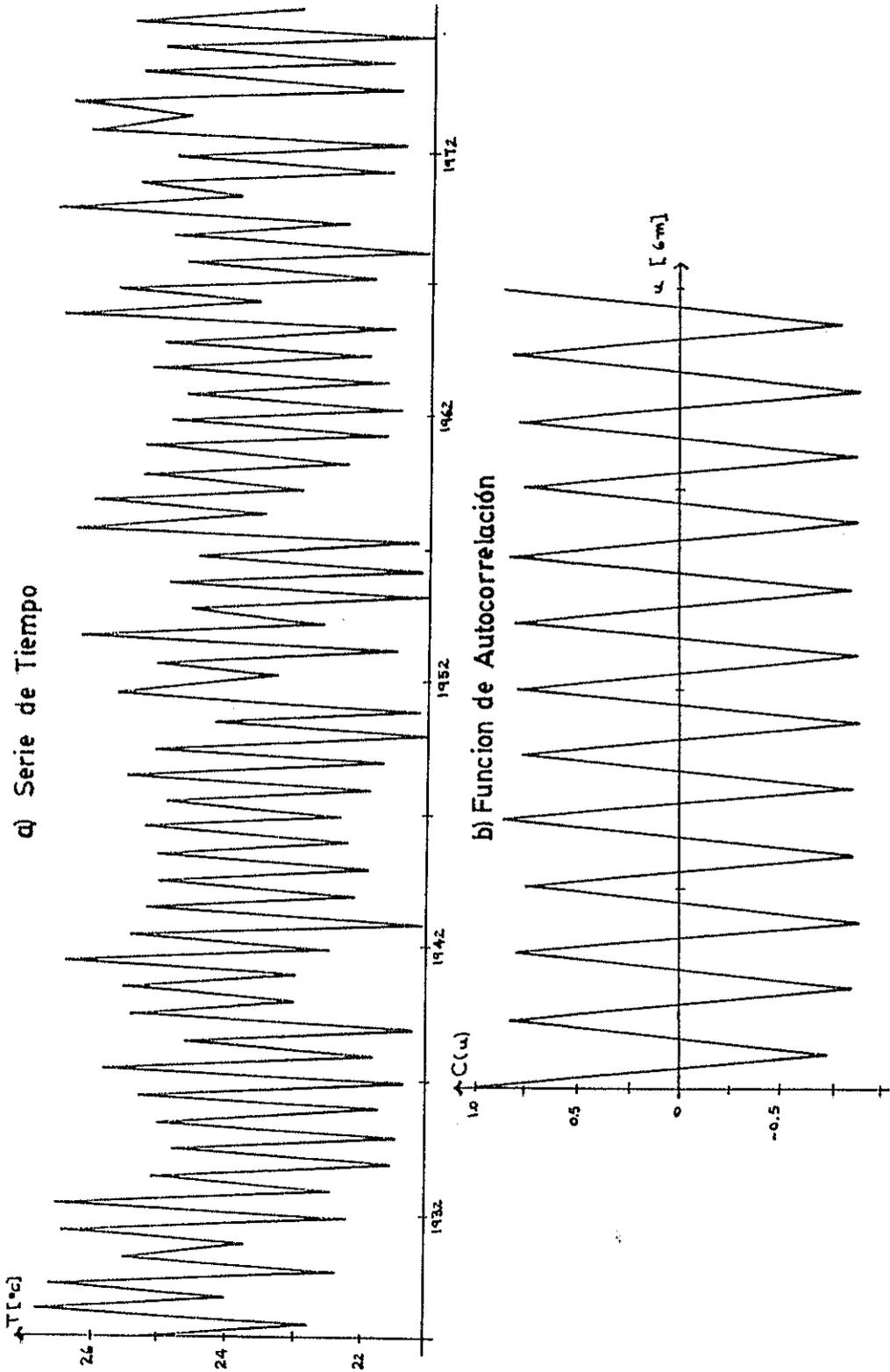
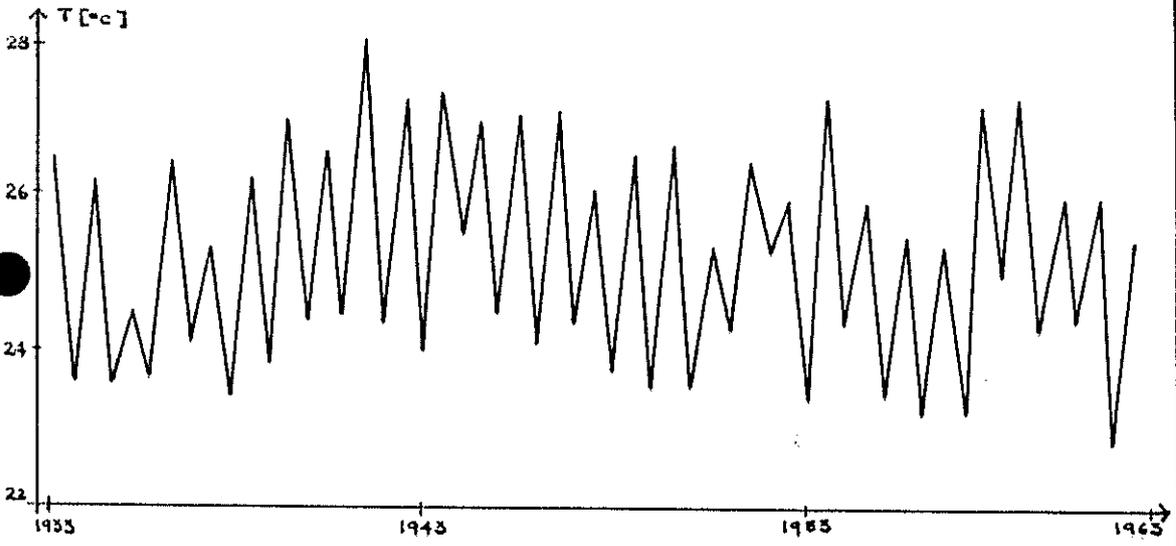


Fig. Nº 42 - Registro de temperatura del aire una vez aplicado el procedimiento Promed - 6

a) Serie de Tiempo



b) Funcion de Autocorrelación

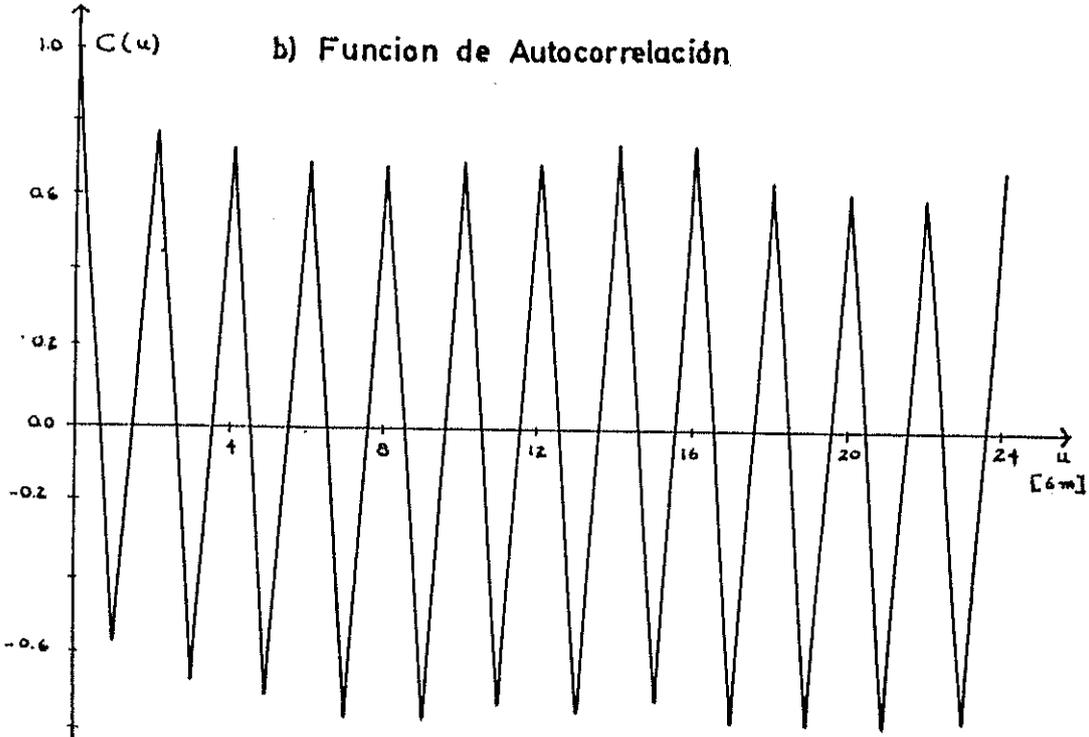


Fig. N° 43 - Registro de temperatura superficial del agua una vez aplicado el procedimiento Promed - 6

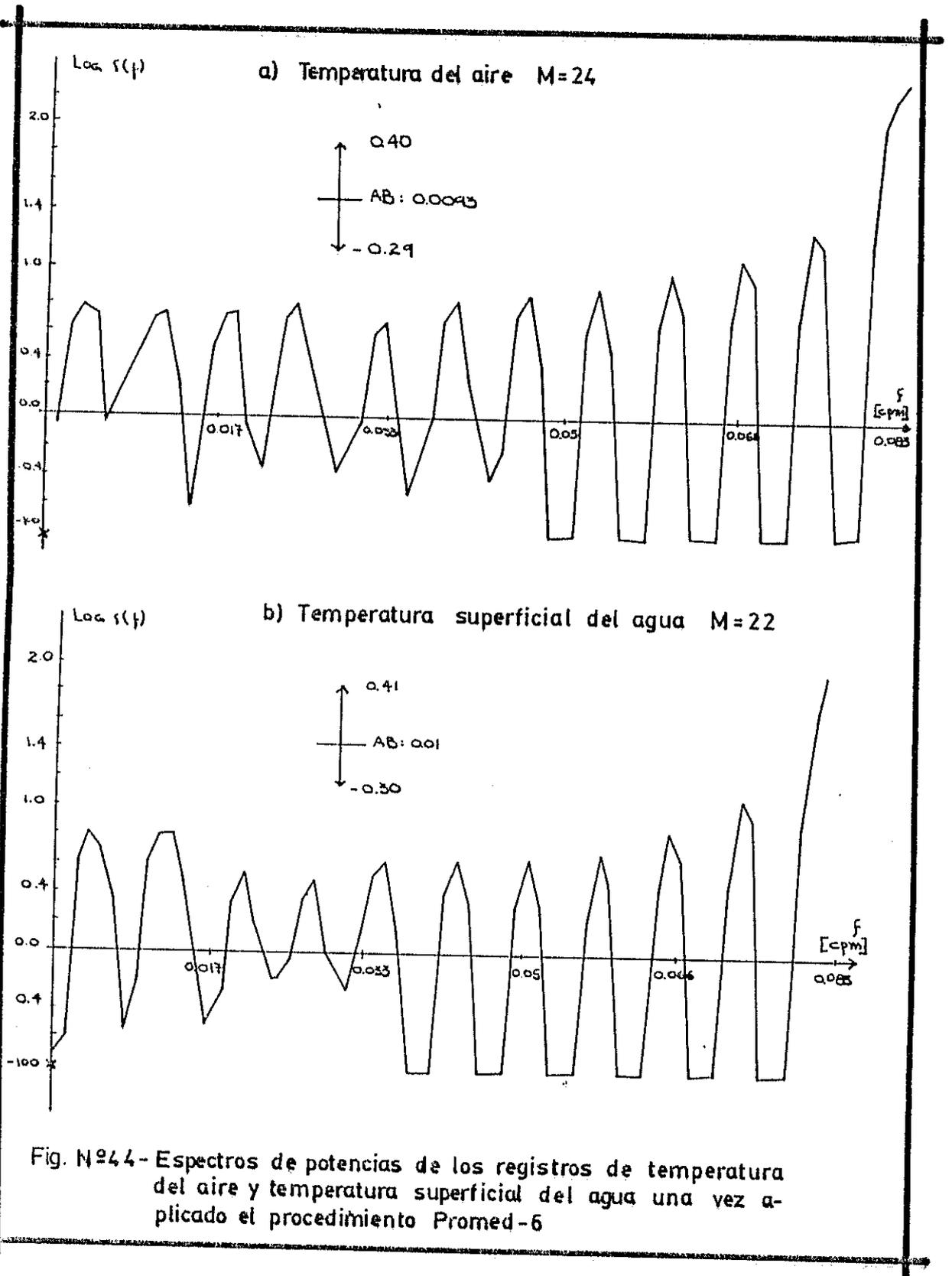


Fig. N°44- Espectros de potencias de los registros de temperatura del aire y temperatura superficial del agua una vez aplicado el procedimiento Promed-6

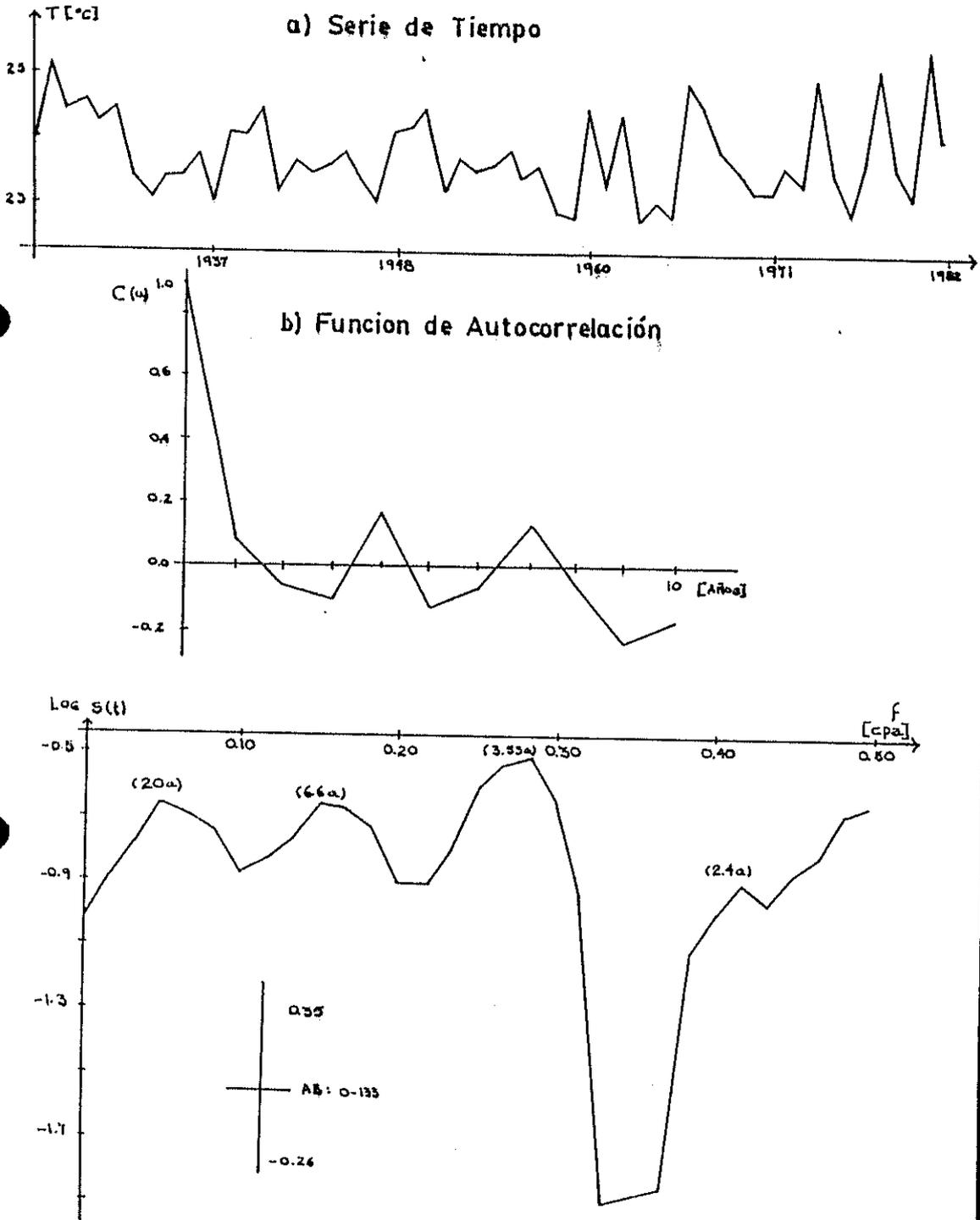
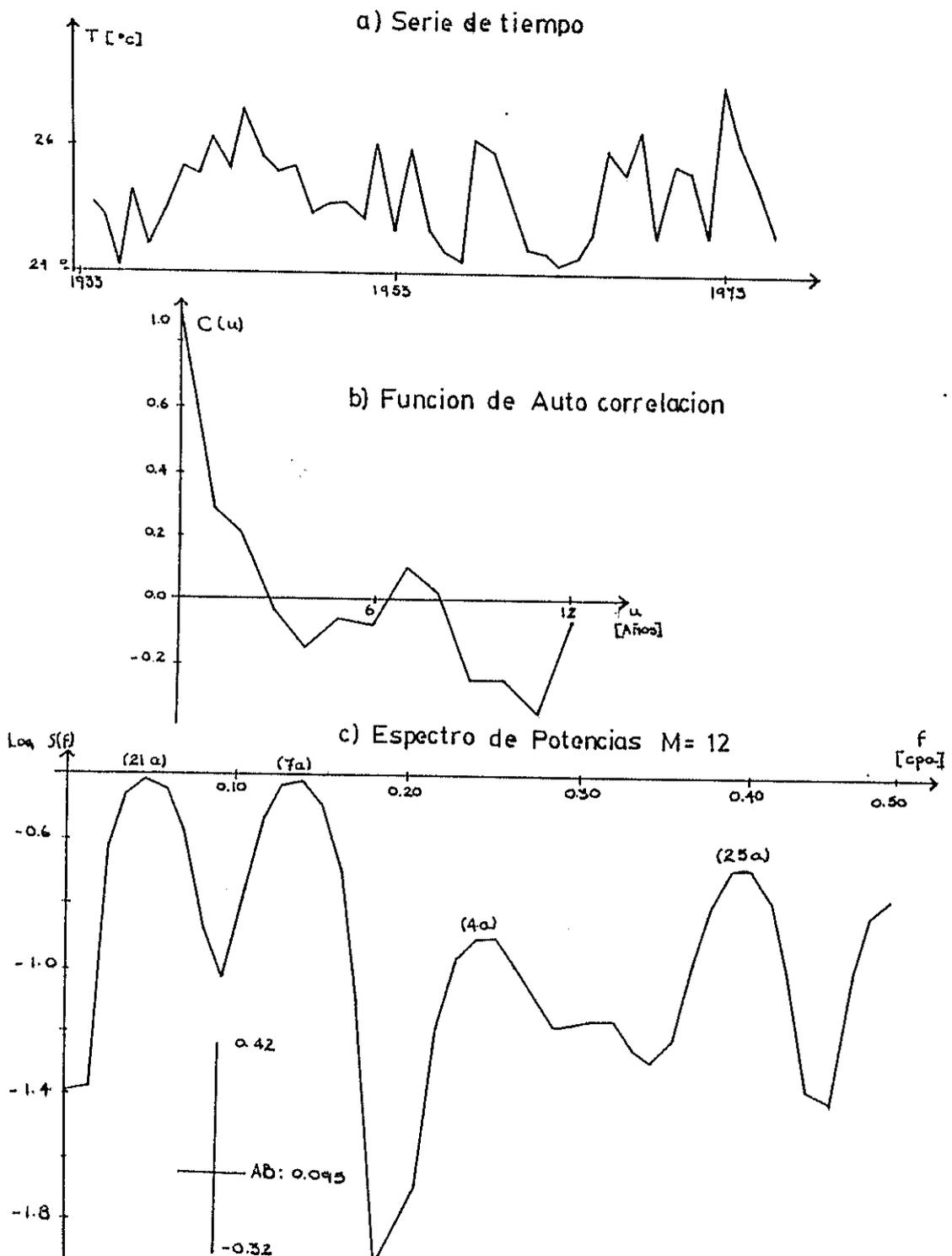


Fig. N°45 - Registro de temperatura del aire una vez aplicado el procedimiento Promed -6 /



tencias.

Por el contrario, en los Procedimientos Promed-12 y Salta-12 las fluctuaciones iguales o menores que un año han sido removidas, permitiendo la resolución de oscilaciones de largo período, las mismas que tienen gran similitud con aquellas obtenidas al aplicar el Filtro Pasa-Bajo.

En general, cuando se selecciona el valor de ND al aplicar los Procedimientos Promed-ND y Salta-ND, debe considerarse las fluctuaciones que están siendo eliminadas con el nuevo intervalo de muestreo adoptado, para que con el estimado espectral que se calcule se pueda resolver la varianza en las bandas de frecuencias deseadas.

3.3.3. Registro de Temperatura Superficial del Agua.

De igual forma en que procesamos el registro de Temperatura del Aire, calcularemos varios estimados espectrales para el registro de Temperatura Superficial del Agua, para observar en que forma se obtienen los resul

tados más favorables.

a. Procedimiento Promed-ND.

Los registros obtenidos al aplicar el Procedimiento Promed-6 al Registro de Temperatura Superficial del Agua - son presentados en las figuras N° 43 y 44, los cuales - presentan iguales características que aquellas mencionadas al describir los registros correspondientes a Temperatura del Aire. Cuando hacemos ND=12, sucede lo mismo, - conforme se puede apreciar en la figura N° 46.

b. Procedimiento Salta-ND.

Los registros que se obtienen cuando ND=6 son mostrados en las figuras N° 43 y 49, y aquellos obtenidos para - ND=12, en la figura N° 51.

No realizamos ninguna descripción detallada de estos - gráficos, pues la semejanza de los mismos con los correspondientes a Temperatura del Aire es muy grande, para evaluar la información y establecer conclusiones es más importante analizar los resultados alcanzados, los mis-
mos que se resumen en las Tablas XII y XIII.

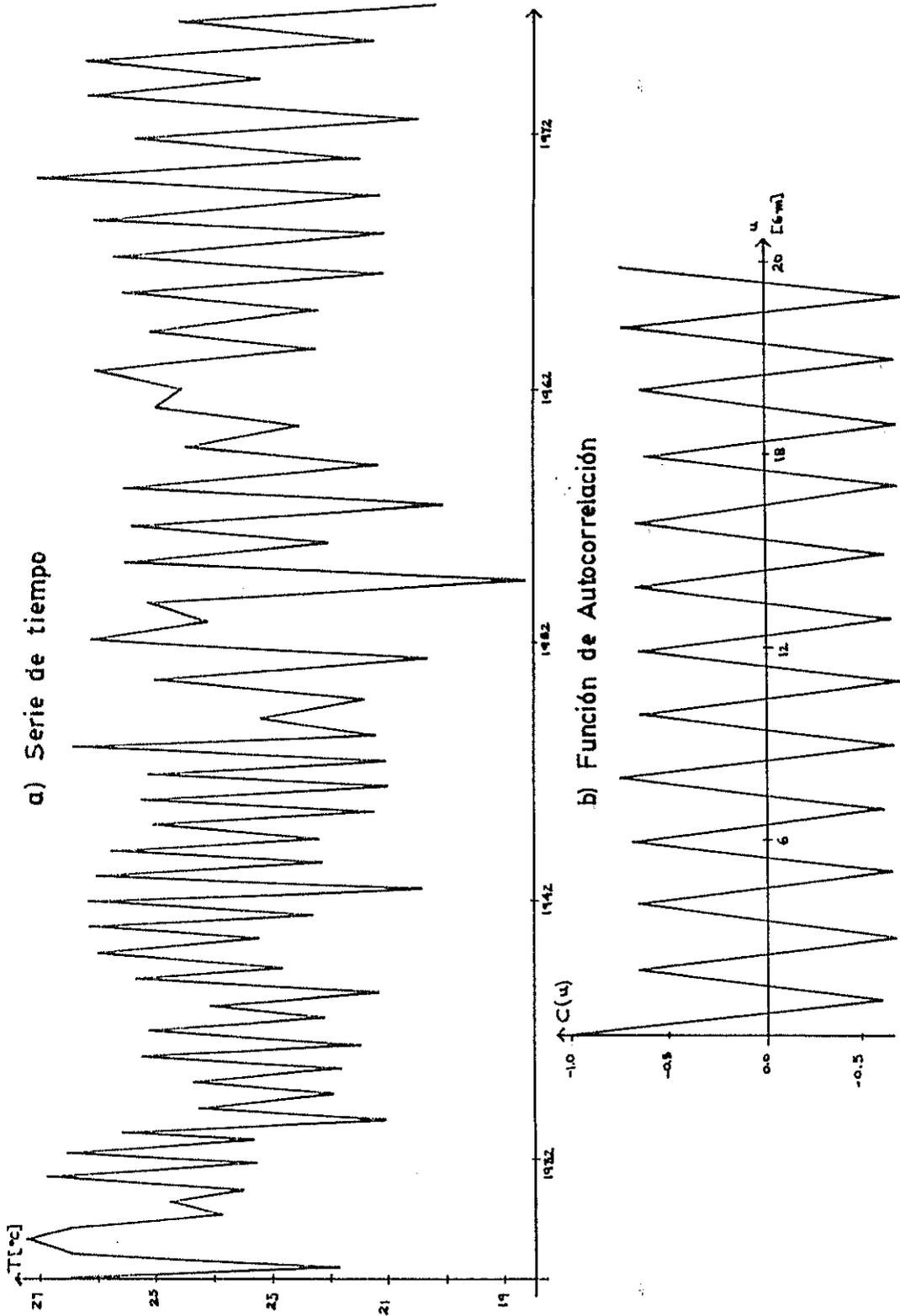
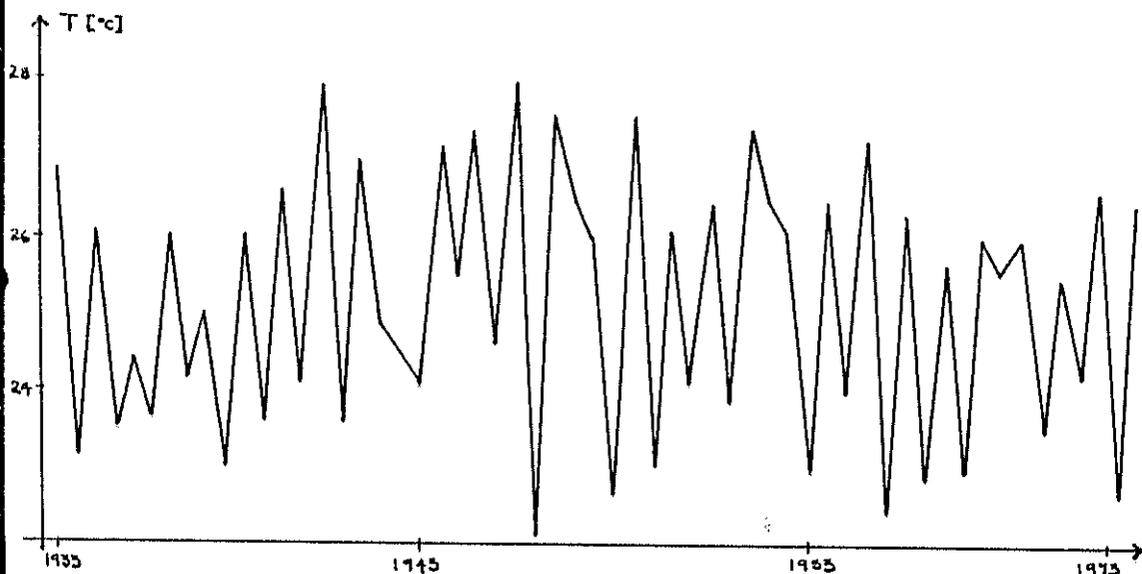


Fig. N° 47 - Registro de temperatura del aire una vez aplicado el procedimiento Salta -6

a) Serie de Tiempo



b) Funcion de Autocorrelación

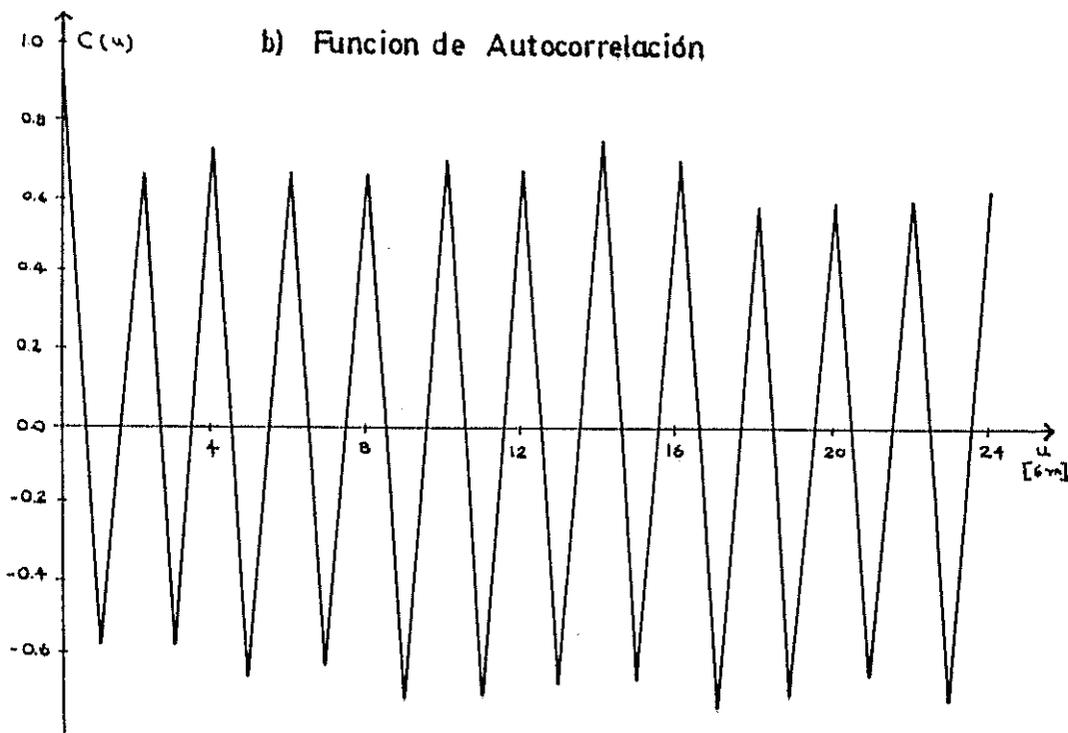


Fig. N° 48 - Registro de temperatura superficial del agua una vez aplicado el procedimiento Salta-6

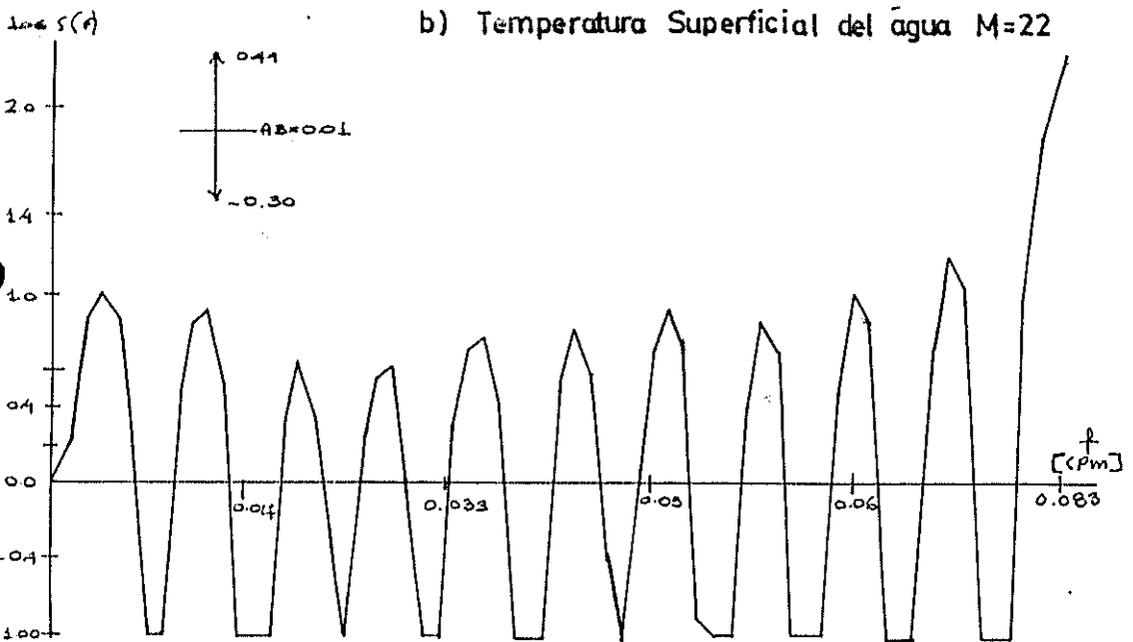
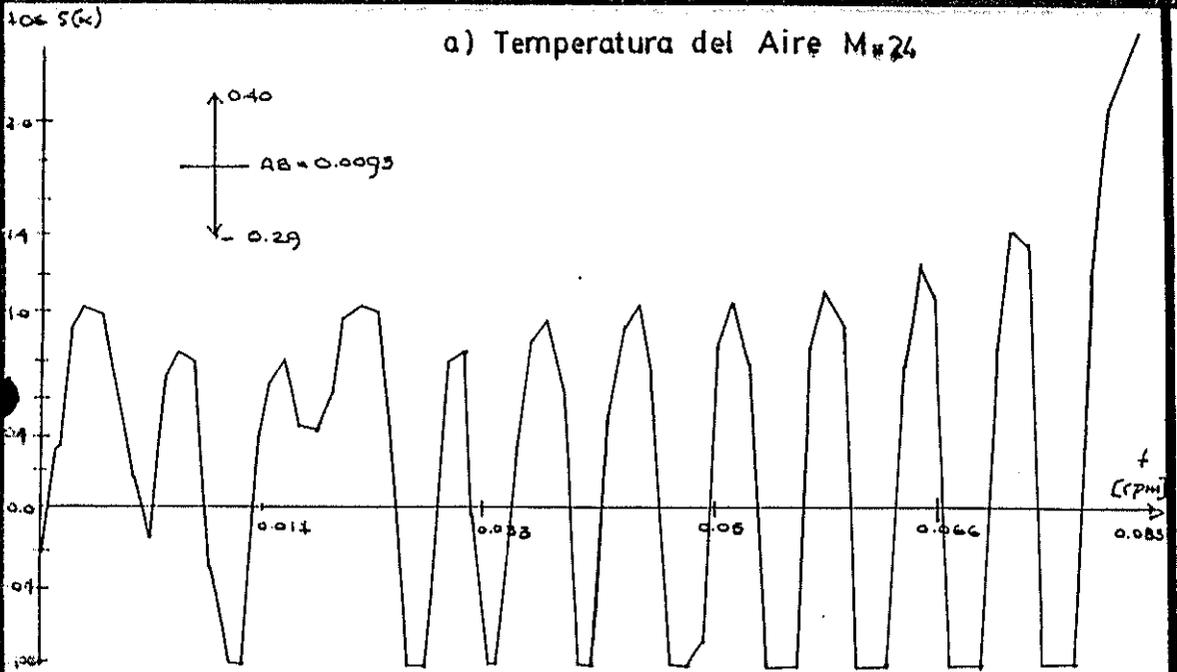


Fig. Nº 49 - Espectros de Potencia de los Registros de Temperatura del Aire y Temperatura Superficial del agua una vez aplicado el Procedimiento Salta-6

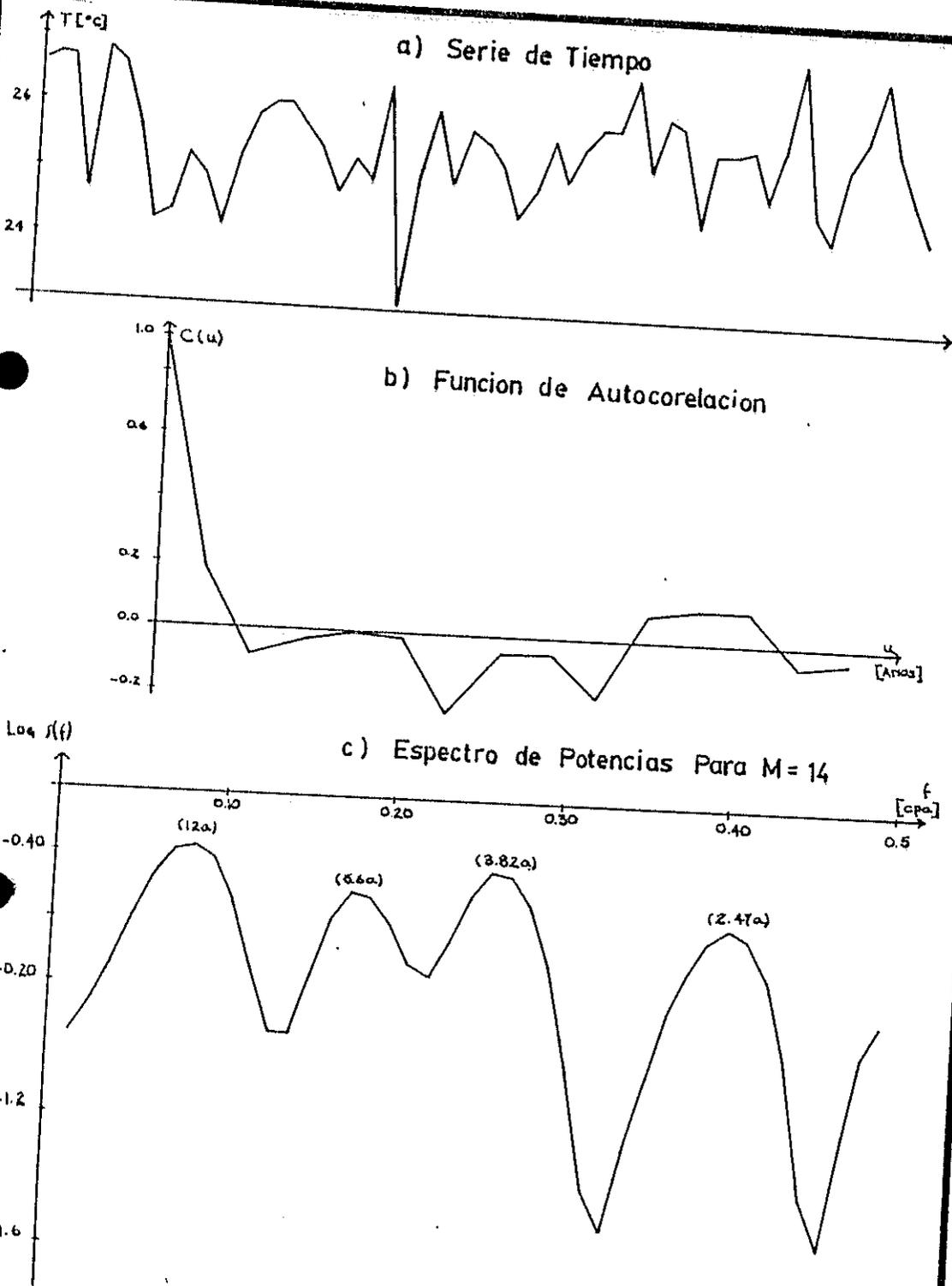


Fig. Nº 50- Registro de Temperatura del Aire una vez Aplicado el Procedimiento Salta - 12

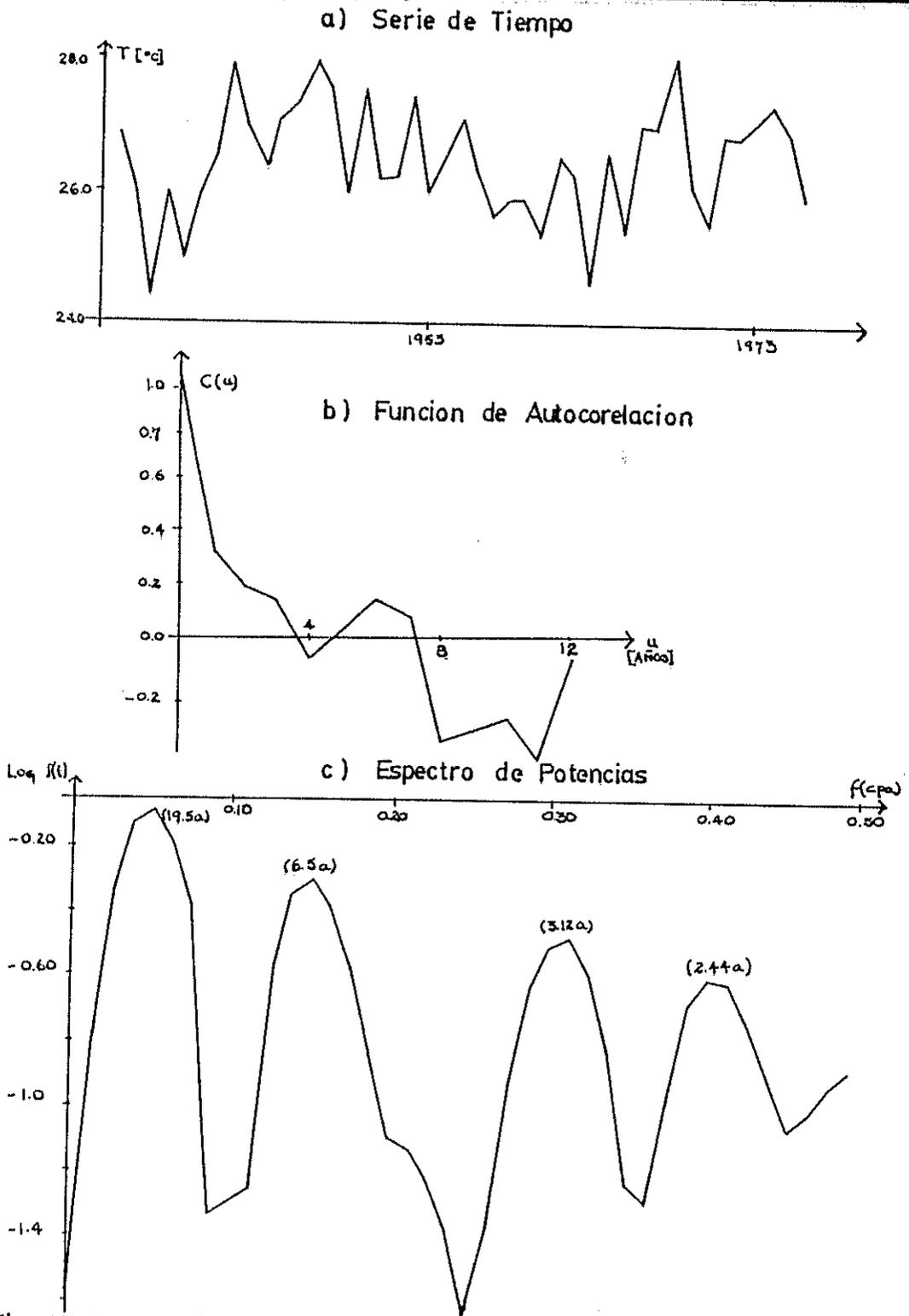


TABLA XII

PERIODOS PREDOMINANTES ENCONTRADOS EN EL REGISTRO DE TEMPERATURA DEL AGUA UNA VEZ APLICADOS LOS PROCEDIMIENTOS PROMED-ND Y SALTA-ND

PERIODO (años)	Promed-6 Amplitud [°C], (Esp. Nor.)	Promed-12 Amplitud [°C], (Esp. Nor.)	Salta-6 Amplitud [°C], (Esp. Nor.)	Salta-12 Amplitud [°C], (Esp. Nor.)
∞	0.49(0.003)	0.41(0.078)	1.26(0.014)	0.40(0.056)
21.0	2.53(0.073)	0.71(0.235)	2.97(0.075)	0.90(0.281)
6.7	2.57(0.076)	0.64(0.191)	2.79(0.066)	0.71(0.175)
4.1	1.89(0.041)	0.36(0.061)	2.01(0.034)	
3.1	1.77(0.036)	0.27(0.034)	2.03(0.035)	0.59(0.121)
2.4	2.08(0.050)	0.46(0.029)	2.49(0.053)	0.50(0.087)
1.94	2.10(0.051)		2.52(0.054)	
6 _N	10.7(1.30)	0.42(0.082)	11.9(1.21)	0.38(0.05)

TABLA XIII

PARAMETROS ESTADISTICOS DEL REGISTRO DE TEMPERATURA DEL AGUA UNA VEZ
APLICADOS LOS PROCEDIMIENTOS PROMED-ND Y SALTA-ND

PARAMETRO	PROMED-6	PROMED-12	SALTA-6	SALTA-12
Grados de Libertad	10.42 (M=22)	8.19 (M=14)	10.42 (M=22)	8.82 (M=13)
Media	25.215	25.215	25.128	26.474
Varianza	2.0798	0.4806	2.7947	0.656
Varianza estimada (SUMPRU)	2.0798	0.4806	2.7946	0.6956

Los diferentes procedimientos aplicados en el Registro de Temperatura Superficial del Agua producen el mismo efecto que aquellos descritos para la Serie de Temperatura del Aire.

Debido al efecto de plegamiento presente en los estimados espectrales para Promed-6 y Salta-6 no podemos considerar estos resultados satisfactorios.

En cambio los Procedimientos Promed-12 y Salta-12 tienen valores de amplitudes que guardan concordancia con aquellos encontrados al aplicar el Filtro Pasa-Bajo.

3.4. Discusión General.

En este capítulo se han presentado varios estimados espectrales obtenidos a partir de los registros de Precipitación, Temperatura del Aire y Temperatura Superficial del Agua.

Las periodicidades con las que nos hemos encontrado podemos clasificarlas en dos grandes grupos:

1. Períodos cortos (iguales o menores que un año), para resolverlos hemos aplicado el Filtro Pasa-Bajo^{AB}, el Filtro del Año Normal y los Registros originales.

2. Períodos largos (mayores que un año), para los cuales utilizamos el Filtro Pasa-Bajo, y los procedimientos Pro-med-ND y Salta-ND.

En la Tabla N° XIV presentamos un resumen de las periodicidades predominantes encontradas en los tres registros, información que proviene de la recopilación de los resultados suministrados por todos los espectros analizados en este capítulo.

Encontramos una coincidencia en los períodos resueltos para las tres series, (con excepción de aquellos comprendidos entre los 8 y 14 años), lo que nos da una idea de la alta correlación existente entre los parámetros analizados.

La aplicación del Análisis Espectral a estas series de Tiempo ha probado su eficacia al resolver con bastante precisión una amplia gama de periodicidades que al principio no eran detectadas.

TABLA XIV
RESUMEN DE LAS PERIODICIDADES PREDOMINANTES ENCONTRADAS EN LOS
TRES REGISTROS ANALIZADOS

PERIODO	PRECIPITACION (mm)	TEMPERATURA DEL AIRE (°C)	TEMPER. SUPERFICIAL DEL AGUA (°C)
22.5 a	13.01	0.31	0.90
14.3 a	31.96		
12.3 a		1.16	
8.3 a			1.77
6.2 a	31.37	1.12	1.30
4.3 a	15.38	0.55	0.46
3.5 a	15.47	0.62	0.53
2.7 a	11.7	0.53	0.44
12.0 m	104.7	6.37	4.67
6.0 m	75.1	0.86	0.72
4.0 m	49.02	0.53	0.55
3.1 m	29.90	0.53	0.36
2.5 m	28.20	0.57	0.38
Media (\bar{x})	18.597	23.734	25.214

Procedimientos similares pueden realizarse cuando se tengan registros de datos como los presentados, ya que, debido a que la mayoría de los parámetros meteorológicos son registrados como función de tiempo, el procedimiento de análisis más eficaz es expandir tales observaciones en Serie de Fourier con el propósito de extraer todos los períodos que el registro puede contener, para probar su significancia estadística.

Sin embargo, debe manifestarse que cuando tales datos fueron usados para propósitos de predicción, los esfuerzos - casi siempre fueron fallidos: Panofsky (1955) dice que la razón para lo anterior se debe a que las variables meteorológicas no parecen ser caracterizadas por oscilaciones de períodos particulares, con excepción de las variaciones diurnas y anuales.

Lo anterior también fue confirmado por Roden (1963, 1966), el cual obtuvo Espectros de Potencias de Registros de Temperatura Superficial del Agua y oscilaciones de baja frecuencia del nivel del mar a lo largo de la costa oeste de U.S.A., los mismos que no tenían ningún pico significativo con excepción de aquel debido a la variación anual.

Estos resultados muestran concordancia con lo alcanzado en nuestro trabajo ya que observando las amplitudes de los períodos encontrados en la Tabla XIV, si comparamos en los registros de Temperatura del Aire y Temperatura Superficial del Agua las amplitudes anuales con las restantes, podríamos considerar que la incidencia de estas últimas oscilaciones sobre el parámetro es muy poca.

También hemos podido observar los cambios obtenidos al aplicar los procedimientos Promed-ND y Salta-ND; trabajos similares fueron realizados por Smith, Ward y Shapiro en el año de 1961 para varios parámetros meteorológicos.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El análisis aplicado a los registros de Precipitación, Temperatura - del Aire y Temperatura Superficial del Agua, así como también la información recopilada de la bibliografía que se consultó nos permite establecer las siguientes conclusiones:

1. La resolución de periodicidades que no fueron encontradas con el análisis estadístico básico es una muestra de las aplicaciones que puede tener el Análisis Espectral en la investigación de las oscilaciones presente en una Serie de Tiempo.
2. La fluctuación anual resultó ser la periodicidad más dominante - que se presenta en los tres registros, los valores bajos de amplitud para las periodicidades restantes de los registros de Temperatura del Aire y Temperatura Superficial del Agua indican que éstas no desempeñan un papel significativo en la variación del parámetro, igual cosa puede decirse para el Registro de Precipitación.
3. La oscilación anual de los tres parámetros es ^oprovocada por las variaciones estacionales; aquellas menores que un año también son debidas a los cambios climáticos normales que sufre nuestro país a lo largo de todo el año. En cuanto a las periodicidades mayores a dos años son originadas por cambios a gran escala de tiempo y espacio de una serie de patrones característicos en los cuales están involucra-

dos una serie de parámetros entre los cuales podemos citar: Presión Atmosférica, vientos, fluctuaciones de largo período del nivel del mar y trayectoria de las corrientes oceánicas, entre los más importantes.

Un valor de amplitud relativamente alto encontrado en los tres registros es el correspondiente a 6.2 años, el cual seguramente guarda relación con la aparición de Eventos "El Niño" de intensidad fuerte, - los cuales según Quinn ocurren cada período de siete años aproximadamente.

4. A pesar de que las periodicidades encontradas tengan poca amplitud, no se deben a fluctuaciones aleatorias, debido a que su presencia fue observada al espectralizar los mismos registros en condiciones variables: aplicando filtros, cambiando el intervalo de muestreo, etc.; está es la forma más segura de verificar que los períodos resueltos se deban a variaciones reales y no a inestabilidad del espectro estimado, de modo que, el hecho de que una amplitud se encuentre dentro del Intervalo de Confianza calculado, no asegura que sea verdadera.

5. Los valores de amplitudes mostradas en las diferentes Tablas deben interpretarse como el rango dentro del cual va a oscilar la contribución correspondiente a la frecuencia resuelta, debido al hecho de que aquella puede tomar tanto valores positivos como negativos, - la desviación máxima que puede alcanzar la variable será igual a la

mitad de la amplitud.

6. Cuando los períodos encontrados para los tres parámetros no coinciden exactamente sino que difieren en fracciones de unidad de tiempo se procede a efectuar un promedio de los mismos y se ubica un sólo valor en las tablas, debido al hecho de que los estimados espectrales no son calculados para un valor de frecuencia único, sino que son promedios de los valores que toma para un intervalo de ellas, el mismo que está dado por el Ancho de Banda de la Ventana Espectral utilizada.

Es por esta razón que la representación gráfica más adecuada para los estimados espectrales en forma de histogramas de barras, sin embargo, se suele unir los puntos por líneas rectas como lo hemos hecho, pero en los casos en que se requiere mayor exactitud en el cálculo de las amplitudes es conveniente graficar los espectros por medio de líneas curvas suavizadas.

7. La aparición de valores negativos en el cálculo de algunos estimados espectrales se debe a que al seleccionar un número de puntos - de truncación alto, la ventana espectral de Tukey presenta lóbulos laterales negativos bastante grandes los que ocasionan amplitudes menores que cero, las mismas que deben interpretarse simplemente como una cantidad de varianza muy pequeña.

8. Como los registros de datos con que nos encontramos generalmente en Oceanografía y Meteorología corresponden a series continuas de longitud infinita, debemos estar seguros de que la duración del registro y el intervalo de muestreo seleccionados son los más aconsejables

para el estudio a realizarse, pues puede darse el caso de que el espectro sea verdadero con respecto al registro dado pero no necesariamente represente lo que sucede con el fenómeno analizado.

9. Finalmente debemos manifestar que el Análisis Espectral ha probado ser muy útil no sólo para estudiar observaciones sino para sugerir maneras de muestreo y procesamiento de datos.

Consideramos que los resultados alcanzados nos permiten realizar las siguientes recomendaciones:

1. Aplicar metodologías de análisis similares a los presentados para una mayor cantidad de parámetros, entre los cuales podemos citar: Variación media mensual del Nivel del mar en La Libertad, Presión Atmosférica en Ancón y La Libertad, vientos en las dos localidades y demás parámetros que se encuentran disponibles.
2. Aplicar técnicas de Análisis Espectral Cruzado para encontrar de una manera cuantitativa las relaciones existentes entre los diferentes parámetros oceanográficos y meteorológicos de la zona de estudio, las mismas que fueron establecidas en una manera cuantitativa en este trabajo.
3. Establecer un intercambio continuo de información entre las Instituciones encargadas de la recopilación de los diferentes parámetros oceanográficos y meteorológicos en los países de la región, así como

también los resultados de las investigaciones realizadas, pues esta es la única forma de obtener una mejor visión de los fenómenos físicos presentes en la naturaleza con la finalidad de evitar que los mismos causen estragos en nuestro ambiente.

APPENDICES

APENDICE A

DATOS UTILIZADOS EN LA TESIS:

- Precipitación: Ancón
- Temperatura del Aire:
Ancón
- Temperatura Superficial del
Agua: La Libertad.

ESTACION: AVCOM

PRECIPITACION MENSUAL

TABLA No 11 - a

ANO / MES	ENER	FEBR	MARZ	ABRI	MAYO	JUNT	JULI	AGOS	SEPT	OCTU	NOVI	DECI
1927	2.54	48.51	40.64	0.0	0.0	6.10	0.0	0.0	0.0	3.81	0.0	0.0
1928	1.27	16.0	45.97	10.67	3.05	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.25	0.25
1929	105.66	159.0	116.33	26.67	0.0	0.25	0.51	0.51	0.0	1.27	0.76	0.0
1930	0.25	47.63	36.07	15.24	5.33	0.25	0.51	0.25	0.0	2.03	3.81	0.0
1931	12.7	11.43	32.77	16.26	1.27	20.32	0.0	0.0	0.25	0.25	0.0	0.0
1932	128.78	287.02	258.8	39.15	0.0	0.25	0.25	0.0	0.0	0.25	0.25	0.25
1933	22.35	269.75	157.42	75.18	0.25	0.0	0.25	1.27	0.51	0.0	0.0	0.0
1934	64.01	46.48	59.94	8.89	2.03	0.0	0.25	0.25	0.0	3.81	0.0	0.0
1935	2.54	24.13	65.86	6.35	0.0	0.0	2.54	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1936	24.89	13.79	48.01	2.79	1.27	0.0	1.02	3.05	0.38	3.30	194.82	0.0
1937	0.0	11.18	71.70	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.51	0.0	0.76
1938	0.25	69.09	71.12	1.27	2.03	4.57	1.65	1.52	0.0	3.05	0.0	0.0
1939	114.05	236.73	439.93	340.61	9.4	3.81	1.27	1.27	2.03	0.51	2.03	2.29
1940	85.34	31.24	7.62	23.37	0.0	7.75	0.0	0.25	9.65	0.25	0.0	0.0
1941	155.19	90.17	32.41	8.89	20.57	0.0	7.37	1.27	1.78	3.05	0.25	17.27
1942	24.89	22.35	2.29	20.32	4.32	2.03	8.13	4.57	3.3	6.1	0.76	1.27
1943	17.53	56.54	86.11	23.88	0.0	4.32	0.76	1.27	6.86	1.52	2.03	13.97
1944	10.67	50.29	37.15	8.13	0.0	3.56	4.83	1.27	2.79	7.62	0.13	1.02
1945	194.31	74.68	5.51	2.29	0.51	0.0	0.0	1.02	0.0	0.0	5.08	0.51
1946	3.05	24.28	12.95	1.73	0.0	1.53	4.83	3.05	0.0	2.79	0.0	0.0

ESTACION: ANCON
 PRECIPITACION MENSUAL
 TABLA N° A1-c

ANO / MES	ENER	FEBR	MARZ	ABRI	MAYO	JUNI	JULI	AGOS	SEPT	OCTU	NOVI	DIC
1966	0.0	0.0	25.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1967	41.15	54.36	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1968	0.0	33.51	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	2.0	1.0	0.0	0.0
1969	27.77	19.05	50.8	44.45	0.0	0.0	6.35	6.35	3.18	3.13	0.0	25.4
1970	0.0	15.62	6.35	92.96	12.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1971	0.0	136.53	806.45	9.53	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1972	0.0	59.74	282.91	31.46	0.0	0.0	0.0	0.0	0.13	0.36	0.0	0.0
1973	72.31	14.07	51.36	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1974	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1975	30.73	147.57	72.8	71.22	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1976	27.77	163.51	120.2	2.7	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1977	61.4	2.2	24.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1978	27.77	43.2	3.5	8.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	11.4
1979	6.5	12.8	4.5	2.8	0.0	1.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0
1980	0.0	0.0	23.5	12.0	0.0	0.0	0.0	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1981	2.5	0.0	17.3	12.4	0.0	0.0	0.5	0.5	2.2	0.0	0.0	0.0
1982	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.0	12.6	36.6

AÑO MES	ENER	FEBR	MARZ	ABRI	MAYO	JUNI	JULI	AGOS	SEPT	OCTU	NOVI	DICI
1927	26.55	26.16	27.33	25.72	23.88	22.12	21.88	22.33	21.94	22.27	23.49	24.77
1928	26.66	28.19	27.36	27.5	26.25	24.99	27.49	22.36	22.77	22.91	23.66	24.99
1929	26.7	27.25	27.2	27.94	25.11	25.38	23.72	21.72	21.49	22.27	22.27	22.94
1930	24.7	26.61	26.66	26.38	25.27	23.44	23.44	22.77	22.16	24.11	24.55	25.33
1931	26.77	27.27	27.55	27.22	25.83	23.49	23.11	21.22	21.22	21.38	22.72	23.55
1932	26.55	26.99	27.38	27.38	26.16	24.49	23.27	21.61	21.99	21.72	22.44	23.99
1933	25.66	26.72	26.88	25.38	24.0	22.1	20.94	21.27	21.61	21.33	21.49	23.22
1934	24.33	26.55	26.77	25.54	24.1	22.2	21.83	21.33	20.55	21.16	21.44	22.49
1935	24.35	25.37	26.75	27.17	24.4	22.19	21.73	20.57	20.05	21.71	22.52	23.61
1936	25.27	27.11	27.77	27.22	24.44	20.0	21.44	19.99	21.11	21.66	22.2	22.2
1937	24.99	25.83	27.72	27.77	24.99	23.23	22.22	21.94	22.22	21.11	21.11	22.44
1938	24.16	25.94	26.16	25.49	23.33	22.36	21.16	19.88	21.11	19.83	22.88	23.16
1939	25.27	25.55	25.55	26.55	25.11	24.11	22.66	22.27	22.27	22.22	23.16	25.11
1940	25.94	26.83	26.66	26.44	21.72	25.16	23.22	21.44	21.88	22.22	24.16	24.98
1941	26.11	26.99	26.99	27.22	26.44	24.55	22.44	21.33	21.77	22.22	23.38	24.61
1942	26.05	26.72	26.72	26.77	23.72	22.22	20.49	20.11	20.83	20.99	21.94	22.38
1943	25.77	25.66	26.11	26.44	24.44	22.88	22.05	21.27	21.55	21.83	22.05	23.94
1944	25.49	26.16	26.27	25.33	23.55	23.16	22.22	21.11	21.83	21.72	21.72	22.83
1945	24.77	26.38	26.83	25.66	23.16	23.05	21.16	20.83	21.11	22.61	23.05	24.27
1946	25.33	25.99	26.44	25.66	26.39	21.59	20.83	21.05	22.94	21.32	24.05	23.55

ESTACION: ANCON

TEMPERATURA DEL AIRE

TABLA Nº A2-b

ANO MES	ENER	FEBR	MARZ	ABRI	MAYO	JUNI	JULI	AGOS	SEPT	OCTU	NOVI	DI CI
1947	24.99	25.83	26.3	26.55	24.12	21.78	20.78	21.09	20.8	21.97	23.11	23.46
1948	26.38	26.02	26.77	26.18	24.9	22.48	21.07	21.11	20.67	21.47	22.72	23.06
1949	22.96	26.45	27.16	26.33	25.11	22.88	21.42	20.22	20.55	20.88	19.99	19.99
1950	25.13	25.61	25.94	24.48	22.69	21.46	20.27	19.83	20.73	21.19	21.82	23.58
1951	26.1	26.11	26.12	25.31	25.18	24.99	24.44	22.77	22.42	22.93	23.33	23.88
1952	24.99	25.55	27.11	25.55	24.51	22.84	18.33	20.55	21.57	21.66	22.77	23.88
1953	25.75	26.11	26.66	26.66	25.94	25.99	22.22	21.39	22.22	22.33	23.7	23.55
1954	25.58	25.75	25.96	25.39	23.02	21.66	19.99	20.43	20.55	21.01	21.51	22.6
1955	25.34	26.05	26.44	26.64	23.09	21.59	20.96	20.03	20.38	21.03	21.31	22.78
1956	24.52	26.23	26.33	24.77	23.16	22.16	22.47	20.65	20.56	20.56	20.73	21.59
1957	24.88	26.05	27.3	27.16	26.67	25.45	24.34	22.86	22.27	23.38	23.52	24.44
1958	25.73	27.23	27.41	26.83	25.27	24.11	22.02	24.81	22.17	22.09	23.59	23.45
1959	25.07	25.62	27.26	26.44	24.56	22.57	21.88	21.45	21.94	21.45	22.63	24.19
1960	25.63	26.11	24.27	29.98	24.19	21.76	20.84	21.37	21.45	20.99	21.87	23.79
1961	25.89	22.98	28.23	25.72	24.05	22.77	20.76	19.36	21.24	21.66	22.08	23.88
1962	25.93	26.32	25.69	26.15	22.38	21.5	20.93	20.52	21.02	21.5	22.52	23.76
1963	26.7	26.53	26.55	24.91	24.08	22.16	21.53	21.85	21.16	21.71	22.02	23.65
1964	25.3	25.03	27.13	26.18	23.12	21.95	20.44	20.84	20.74	21.28	22.83	23.13
1965	26.06	27.16	27.09	26.88	26.34	25.22	23.15	22.73	22.04	22.62	26.61	24.62

TABLA Nº A2-C

TEMPERATURA DEL AIRE

ESTACION: ANCON

AÑO MES	ENER	FEBR	MARZ	APRI	MAYO	JUNI	JULI	AGOS	SEPT	OCTU	NOVI	DI CI
1966	25.98	26.67	26.38	25.67	24.48	22.16	21.03	21.82	21.05	22.39	22.61	22.37
1967	24.52	26.54	25.82	25.25	24.46	21.8	20.42	20.99	20.59	20.83	20.82	21.95
1968	25.65	25.27	26.18	25.41	24.13	22.87	21.56	24.04	21.06	21.32	22.15	23.94
1969	25.65	25.85	27.67	27.42	26.76	26.04	25.89	24.77	21.65	22.76	23.61	24.89
1970	25.66	26.18	23.37	27.63	25.38	23.92	21.57	20.16	21.11	22.32	22.66	24.4
1971	24.99	26.42	26.93	25.56	23.04	22	20.82	20.38	20.99	20.9	22.37	23.39
1972	25.74	24.71	27.37	26.97	26.21	25.74	25.79	24.17	23.54	23.69	24.18	26.71
1973	27.07	27.57	27.97	26.83	24.86	23.92	21.08	21.02	21.92	21.37	22.08	22.22
1974	24.69	26.16	26.81	26.42	25.73	22.86	21.55	20.72	20.94	20.83	22.02	24.14
1975	24.29	23.54	26.18	25.65	24.57	23.67	20.89	20.22	21.02	17.77	20.18	22.66
1976	25.51	25.27	26.4	26.2	25.3	24.1	24	22.5	21.9	22.2	23.2	24.7
1977	25.91	24.42	27.77	26.07	23.83	23.79	21.94	21.32	21.31	21.63	22.5	24.01
1978	26.8	26.8	25.58	25.86	24.85	22.17	20.87	20.49	20.98	21.52	23.24	24.05
1979	25.69	26.08	26.49	26.12	24.13	26.75	20.68	20.54	21.52	20.69	20.17	21.56
1980	25	26.08	26.72	26.61	25.34	24.05	22.67	20.46	20.86	21.52	21.88	22.25
1981	24.37	25.69	26.5	26.37	23.27	21.6	20.55	19.47	21.47	20.53	22.18	23.59
1982	24.37	25.91	24.18	24.42	24.23	22.77	21.93	20.61	22.31	24.93	26.2	27.07

AÑO MES	ENER	FEBR	MARZ	ABRI	MAYO	JUNI	JULI	AGOS	SEPT	OTTO	NOVI	DI CI
1933	26.75	27.62	26.8	27.16	26.24	24.72	23.16	23.24	23.49	23.76	23.26	24.87
1934	26.1	27.43	27.09	26.52	25.33	24.62	23.6	23.78	23.71	23.55	23.4	23.6
1935	24.44	25.03	24.43	25.6	23.62	23.82	23.67	22.56	23.48	23.49	23.23	24.51
1936	26	27.25	27.21	26.4	26.09	25.51	24.19	24.33	23.1	23.97	24.1	25.03
1937	25.1	27.25	26.33	25.59	24.01	23.42	22.97	23.08	24.12	23.18	23.19	24.43
1938	26.02	26.57	27.83	26.1	26.18	24.31	23.5	23.9	22.13	23.24	24.25	25.71
1939	26.59	28.38	28.27	28.6	25.34	24.89	24	23.43	24.12	24.11	24.87	26.07
1940	27.88	28	27.44	26.21	25.35	24.82	23.56	23.65	24.05	24.04	24.93	26.31
1941	27.04	28.58	29.25	28.12	28.65	26.93	24.77	23.62	23.12	23.86	24.93	25.68
1942	26.26	28.33	28.89	29.39	26.29	24.82	24.15	23.18	23.18	23.49	24.25	25.52
1943	27.18	28.29	28.16	27.88	27.11	25.41	25.43	25	25.28	25.5	25.34	27.05
1944	27.38	27.86	29.23	26.37	25.46	25.95	24.68	23.66	24.47	24.58	24.36	25.53
1945	27.87	27.58	28.24	27.62	26.23	25.2	22.15	21.74	23.22	24.75	25.38	27.11
1946	27.58	27.27	27.46	26.83	26.67	26.74	26.36	23.16	22.99	24.02	24.15	24.84
1947	26.04	27.47	27.06	26.61	25.78	23.92	22.73	23.12	23.38	24.02	24.27	24.85
1948	27.59	26.75	27.73	26.9	25.86	24.85	23	22.69	22.58	23.81	24.5	25.05
1949	26.19	27	28.33	27.44	25.89	25.33	24.15	22.5	23.65	22.86	23.17	24.62
1950	26.31	27.47	26.9	24.39	23.78	23.61	23.92	23.45	23.56	23.89	24.33	26.31
1951	27.4	27.19	26.97	25.96	25.5	26.11	26.35	25.18	25.05	24.89	25.31	25.53

AÑO MES	ENER	FEBR	MARZ	ABRI	MAYO	JUNI	JULI	AGOS	SEPT	OCTU	NOVI	DI CI
1952	25.98	27.01	27.12	25.47	25.58	24.81	22.9	22.94	23.64	23.55	23.77	23.38
1953	26.47	26.94	28.69	28.15	27.19	26.07	23.88	23.46	23.86	24.39	25.23	25.56
1954	27.21	27.75	25.89	24.85	25.51	24.13	22.45	23.17	23.61	23.74	23.4	24.58
1955	26.28	26.96	25.95	25.16	25.03	23.54	22.76	22.28	22.6	23.44	23.38	24.67
1956	25.72	26.82	26.35	24.59	24.1	23.97	22.92	22.49	23.39	22.88	23.03	24.65
1957	25.88	27.73	28.28	28.25	26.76	26.5	25.49	24.26	24.85	25.18	25.05	24.89
1958	25.85	27.98	28.32	28.88	26.64	26.03	23.55	24.61	24.37	23.99	24.18	24.92
1959	25.42	27.08	27.88	26.22	24.89	24.46	24.07	23.83	23.88	23.9	23.88	26.55
1960	26.64	26.71	28.13	25.43	26.28	22	22.55	22.45	23.2	23.23	22.99	22.54
1961	26.26	27.81	26.67	25.6	22.98	24.2	22.44	21.33	22.83	23.55	23.44	25
1962	24.74	26.37	25.54	25.12	24.66	23.34	22.4	22.02	23.12	23.17	23.65	24.93
1963	26.56	26.52	26.11	24.91	23.95	22.63	22.71	22.75	22.94	23.45	23.43	24.22
1964	25.37	25.92	27.98	25.68	25.54	24.27	22.93	23.06	23.6	23.7	24.11	24.67
1965	26.99	27.77	28.15	28.24	26.2	26.27	24.91	23.53	24.1	24.15	24	25.29
1966	26.96	27.02	27.87	27.74	27.63	23.94	22.79	23.48	23.81	24.51	24.75	25.66
1967	28.19	28.51	28.19	28.19	28.32	27.45	23.26	23.83	23.91	24.75	24.32	25.1
1968	26.1	26.5	26.6	26.4	24.4	23.7	23.1	22.4	23.4	23.1	24.3	24.8
1969	25.5	26.17	28.15	26.96	27.47	27.18	24.3	23.41	23.99	24.44	24.42	26.15
1970	26.75	27.44	26.19	26.84	27.72	26.49	25.11	23.08	23.26	23.65	24.09	25.71

TABLA N° A3-c TEMPERATURA SUP. DEL AGUA ESTACION LA LIBERTAD

AÑO MES	ENER	FEBR	MARZ	ABRI	MAYO	JUNI	JULI	AGOS	SEPT	OCTU	NOVI	DICI
1971	26.75	26.92	28.39	24.89	23.97	23.85	23.08	22.25	23.01	22.99	23.3	25.28
1972	27.08	28.37	27.79	26.99	26.63	26.5	26.54	26.43	26.2	26.39	26.11	26.88
1973	27.26	27.6	27.07	27.28	27.14	26.73	25.34	24.58	24.83	24.92	24.51	25.06
1974	26.89	27.14	26.63	26.53	26.94	26.68	24.02	23.2	22.8	23.12	23.58	25.68
1975	25.89	27.29	28.02	27.03	23.8	24.56	22.85	21.8	23.41	23.71	23.55	23.55

APENDICE B

PROGRAMA DE COMPUTACION

ESTADIST.

Con el objeto de que no exista ninguna complicación al utilizar - el programa ESTADIST, desarrollado en Lenguaje FORTRAN IV para un computador IBM 1130, se procede a presentar un ejemplo de aplicación, utilizando los datos correspondientes a Temperatura Superficial del Agua, de la localidad de La Libertad.

a. Entrada de Datos.-

La primera línea del archivo deberá tener lo siguiente:

Col.

1

0516	1933	Temp Super Agua	Libertad
------	------	-----------------	----------

N NAI G1,G2 G3

En donde: N: Número de puntos de la Serie

NAI: Primer año en donde se tienen datos

G1, G2: Variables que describen el registro

G3: Nombre de la Localidad donde se tomó los datos

A partir de la segunda línea del archivo se escriben los datos del registro (en °C):

Col.

1

26.75

27.62

26.80

.

.

23.55

23.55



PROGRAMA ESTADÍSTICO - CÁLCULO DE PERÍODOS MÁXIMOS, MEDIOS Y NORMALES
 APROBADO POR JOSÉ L. SANTOS D. - ENERO DE 1984
 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

GESERCOMP - ESPOL

PERÍODO DE TIEMPO CORRESPONDIENTE A TEMP. SUPER AGUA

NÚMERO DE MESES = 516
 AÑO INICIAL = 1935
 AÑO FINAL = 1975
 LOCALIDAD LIBERTAD

DATOS MENSUALES



CESERCOMP - ESPOL

1933	1934	1935	1936
25.75	26.10	24.44	26.00
27.82	27.43	25.05	27.25
26.80	27.09	24.43	27.21
27.10	26.52	25.80	26.40
26.24	25.33	23.82	26.09
24.72	24.62	23.82	25.51
23.10	23.60	23.67	24.19
23.24	23.78	22.50	24.53
23.45	23.71	23.48	23.10
23.70	23.55	23.49	23.97
23.20	23.40	24.25	24.10
24.37	23.60	24.51	25.03

1937	1938	1939	1940
25.01	26.02	26.59	27.88
27.25	26.57	28.33	28.00
26.30	27.83	28.27	27.44
25.59	26.10	26.80	26.21
24.01	26.18	25.54	25.35
23.42	24.31	24.89	24.82
22.97	23.30	24.30	23.50
23.08	23.90	23.43	23.85
24.22	22.13	24.12	24.05
23.10	23.24	24.21	24.04
23.19	24.25	24.87	24.93
24.43	25.71	26.07	26.31

1941	1942	1943	1944
27.04	26.28	27.18	27.38
26.56	28.33	28.29	27.50
29.25	26.87	26.10	29.23
26.12	29.39	27.00	26.57
28.85	26.29	27.11	25.46
26.95	24.82	25.41	25.35
24.77	24.15	25.43	24.38
23.82	23.18	25.00	23.80
23.12	23.10	25.28	24.47
23.80	23.19	25.50	24.58
24.95	24.25	25.54	24.35
25.88	25.52	27.05	25.53

1945	1946	1947	1948
27.87	27.58	26.04	27.59
27.50	27.27	27.47	26.75
23.24	27.46	27.00	27.73
27.82	26.83	26.81	26.95

23.22
24.15
20.30
27.11

22.99
24.02
24.15
24.24

23.98
24.02
24.21
24.85

22.38
23.81
24.50
25.05



CESERCOMP - ESPOL

1949

1950

1951

1952

26.19
27.00
28.33
27.44
25.85
28.33
24.15
22.50
23.05
22.86
23.17
24.02

26.31
27.47
26.90
24.39
23.78
23.61
23.92
25.40
23.50
23.89
24.33
26.31

27.40
27.19
26.97
25.96
25.50
26.11
26.35
25.18
25.05
24.89
25.31
25.53

25.98
27.01
27.12
25.47
25.53
24.81
22.90
22.94
23.64
23.55
23.77
23.38

1953

1954

1955

1956

26.47
26.94
23.59
28.15
27.19
26.07
23.88
23.10
23.80
24.59
23.23
23.20

27.21
27.75
25.89
24.05
25.51
24.13
22.40
23.17
23.01
23.74
23.40
24.58

26.28
26.56
25.95
25.16
25.03
23.54
22.70
22.28
22.00
23.44
23.38
24.67

25.72
26.82
26.35
24.59
24.10
23.97
22.92
22.49
23.39
22.83
23.03
24.05

1957

1958

1959

1960

23.00
27.73
23.28
28.25
20.70
20.90
23.49
24.20
21.85
25.13
23.03
24.33

25.85
27.98
28.32
28.33
26.64
26.03
23.33
24.61
24.37
23.99
24.18
24.92

25.42
27.08
27.36
26.22
24.89
24.40
24.07
23.03
23.80
23.90
23.88
26.55

26.54
26.71
26.13
25.43
26.28
22.00
22.55
22.40
23.20
23.23
22.79
22.54

1961

1962

1963

1964

20.20
27.01

24.14
26.27

26.50
26.52

25.37
25.92



GOBIERNO DE ESPAÑA

22.33	23.12	22.94	23.00
23.33	23.17	23.45	23.70
23.19	23.03	23.43	24.11
23.00	24.93	24.22	24.07

	1965	1966	1967	1968
26.99	26.96	26.56	28.19	26.10
27.77	27.82	27.82	28.51	26.50
28.15	27.87	27.87	28.19	26.00
28.24	27.14	27.14	28.19	26.40
28.20	27.63	27.63	28.32	24.40
28.27	23.94	23.94	27.45	23.70
24.91	22.79	22.79	23.20	23.10
23.33	23.46	23.46	23.83	22.40
24.10	23.81	23.81	23.91	23.40
24.15	24.91	24.91	24.75	23.10
24.30	24.73	24.73	24.32	24.30
23.29	23.60	23.60	23.10	24.80

	1969	1970	1971	1972
23.30	26.73	26.73	26.75	27.08
26.17	27.44	27.44	28.92	28.37
23.15	28.19	28.19	28.39	27.79
28.36	26.34	26.34	24.89	26.99
27.47	27.72	27.72	23.97	26.83
27.18	28.43	28.43	23.83	26.50
24.30	23.11	23.11	23.03	26.54
23.41	23.88	23.88	22.25	26.43
23.99	23.26	23.26	23.01	26.20
24.44	23.85	23.85	22.99	26.39
24.72	24.09	24.09	23.30	26.11
26.15	23.71	23.71	23.28	26.88

	1973	1974	1975	****
27.26	26.89	26.89	25.89	0.00
27.50	27.14	27.14	27.29	0.00
27.07	26.03	26.03	28.02	0.00
27.26	26.33	26.33	27.03	0.00
27.14	26.94	26.94	23.80	0.00
28.73	26.03	26.03	24.30	0.00
23.34	24.02	24.02	22.85	0.00
24.58	23.20	23.20	21.80	0.00
24.33	22.80	22.80	23.41	0.00
24.92	23.12	23.12	23.71	0.00
24.91	23.53	23.53	23.55	0.00
23.00	23.83	23.83	23.55	0.00

PREMIOS ANUALES



CBSERCOMP-

ANNO	PREMIUM
1933	25.09
1934	24.89
1935	24.67
1936	25.20
1937	24.38
1938	24.96
1939	25.72
1940	25.52
1941	26.21
1942	25.64
1943	26.47
1944	25.79
1945	25.59
1946	25.67
1947	24.94
1948	25.11
1949	25.09
1950	24.63
1951	25.95
1952	24.68
1953	25.80
1954	24.69
1955	24.34
1956	24.24
1957	26.09
1958	25.76
1959	25.17
1960	24.35
1961	24.34
1962	24.09
1963	24.16
1964	24.74
1965	25.80
1966	25.51
1967	26.17
1968	24.57
1969	25.63
1970	25.53
1971	24.50
1972	26.55
1973	26.03
1974	25.27
1975	24.52



OSERCOMP - ES

ANNUAL REPORT

ER	25.11
BR	27.25
RZ	27.13
RI	25.83
YC	25.70
MI	21.50
LI	25.70
CS	25.30
PI	25.00
TU	25.53
VI	24.10
CI	25.15

MAXIMUM

ER	1967	25.15
BR	1991	26.50
RZ	1991	29.25
RI	1992	25.35
TU	1991	28.05
VI	1967	27.45
LI	1972	26.54
CS	1972	26.45
PI	1972	22.20
TU	1972	28.35
VI	1972	26.11
LI	1990	27.11

MINIMUM

ER	1935	24.44
BR	1935	25.03
RZ	1935	24.43
RI	1950	24.55
TU	1901	22.95
MI	1900	22.00
LI	1945	22.15
CS	1901	21.35
PI	1935	22.15
TU	1945	22.80
VI	1900	22.55
LI	1900	22.54

APENDICE C

PROGRAMA DE COMPUTACION

ESPECTRO.

Para que no exista ninguna complicación cuando se desee aplicar el programa ESPECTRO a cualquier registro de datos, se procede a presentar un ejemplo de aplicación de este programa, el mismo que ya fue explicado con detalle en la sección 2.3. Los datos a ser usados serán los correspondientes al Registro de Temperatura Superficial del Agua, Estación La Libertad.

a. Entrada de Datos.-

La primera línea del archivo de datos deberá tener la siguiente configuración:

Col.

1

0516	05001	.00	TEMP SUPER AGUA	LIBERTAD	MES	°C	1	1	1
N	M	D	G1, G2	G5	G3	UNID	ND		
			8 8	8		2			

En donde: N: Número de puntos de la Serie

M: (MAXM) Máximo intervalo de desplazamiento para el cálculo de la Función de Autocorrelación.

D: [DELTA], Intervalo de Muestreo

G1, G2: Variables que sirven para identificar el registro

G5: Nombre de la Localidad

G3: Unidad de tiempo utilizada

UNIDAD: Unidad de medición en usada en los datos

ND: Valor a ser usado en los procedimientos

Promed-ND y Salta-ND (en este caso no se usa)

A partir de la columna 55 se escriben algunos índices, los mismos que son:

- (1) IFact: Factor por el cual se multiplica MAXM para obtener NF (en este ejemplo es 1).
- (2) K4: Índice que indica el tipo de Filtro usado, en el ejemplo se deja en blanco porque no se usará ningún filtro.
- (3) K5: Vale 1 porque se desea un listado de la serie original.
- (4) K6: Se deja en blanco porque no se desea la serie filtrada.
- (5) K7: Vale 1, porque se desea listado de la Función de Autocovarianza.

A continuación de la segunda línea se comienzan a escribir los datos del registro:

Col.

1

26.75

27.62

26.80

.

.

.

.

.

23.71

23.55

23.55



```
=C.25*(Y(1+1)-Y(1))
C 100
```

CESERCOMP
ESP011
ESP012
ESP013
ESP014
ESP015
ESP016
ESP017
ESP018
ESP019
ESP020
ESP021
ESP022
ESP023
ESP024
ESP025
ESP026
ESP027
ESP028
ESP029
ESP030
ESP031
ESP032
ESP033
ESP034
ESP035
ESP036
ESP037
ESP038
ESP039
ESP040
ESP041
ESP042
ESP043
ESP044
ESP045
ESP046
ESP047
ESP048
ESP049
ESP050
ESP051
ESP052
ESP053
ESP054
ESP055
ESP056
ESP057
ESP058
ESP059
ESP060
ESP061
ESP062
ESP063
ESP064
ESP065
ESP066
ESP067
ESP068
ESP069
ESP070
ESP071
ESP072
ESP073
ESP074
ESP075
ESP076
ESP077
ESP078
ESP079
ESP080
ESP081
ESP082
ESP083
ESP084
ESP085
ESP086
ESP087
ESP088
ESP089
ESP090
ESP091
ESP092
ESP093
ESP094
ESP095
ESP096
ESP097
ESP098
ESP099
ESP100

LA SERIE NO ES FILTRADA

```
DO I=1,N1  
X(I)
```

CALCULO DE LA AUTOCOVARIANZA COV(K) HASTA EL LAGO MAXM

```
I=1,N1  
Y(I) -> Suma de todos los p/er series  
/N1 -> division de la serie  
I=1,N1  
Z(I)=Y(I)-X(I)  
K=0,MAXM
```

maxm = 0 y maxm



```
I=1,N1-K  
Z(I)*Z(I+K)  
K+1)=A/(N1-K)  
K(K+1)=COV(K+1)/COV(1)  
FINJC  
=SQRT(COV(1)) ?
```

CALCULO DEL ESPECTRO SPEC(I) PARA EL PUNTO DE TRUNCACION M

```
3.1415926  
MAXM  
FACT=MAXM  
I=0,NF  
F(I)=1/(2*NF*DELTA)  
CULO DE LA TRANSFORMADA DE FOURIER DE LA FUNCION COV(K)
```

```
A=C.  
DO K=1,M-1  
A=SUMA+COV(K+1)*COS(EPI*K*I/NF)  
+1)=(DELTA/EPI)*(COV(1)+2*SUMA+COS(EPI*I)*COV(M+1))  
FINJC  
/(3.*K*DELTA)  
3.*N1)/(3.*K)  
CAMBIAMIENTO DEL ESTIMADO ESPECTRAL
```

```
(1)=0.54*SP(1)+0.45*SP(2)  
NF+1)=0.54*SP(NF+1)+0.45*SP(NF)  
DO H=2,NF  
(H)=0.25*SP(H-1)+0.54*SP(H)+0.25*SP(H+1)  
DO I=1,NF+1  
SPEC(I).LE.CILOC TO ID  
PEC(I)=ALCULO(EPS(I))  
TU  
PEC(I)=-100.
```




```

A111h1,/,/, ' *****
E(5,80)AM,VAR,D,D
AT(1X,/,/,12X,'MEJIA DE LA SERIE=',F10.4,/,/,12X,'VARIANZA=',F9.
,12X,'ANCHO DE BANDA=',F6.4,/,/,12X,'GRADOS DE LIBERTAD=',F6.2)
L(5,85)SUMPRO,COV(1),DIFE
AT(1X,/,/, ' LA SUMA DE PROEBA ES ',F14.0, ' Y DEBERIA SER ',
0,/, ' LA DIFERENCIA ES ',F14.7,/,/)

```

```

CESER@CMPSESP027
ESP027
ESP027
ESP027
ESP028
ESP028
ESP028
ESP028

```



ESPECTRO - CALCULO DE LA AUTOCOVARIANZA Y ESPECTRO DE POTENCIA
ELABORADO POR JOSE L. SANJOS D - ENERO DE 1984
SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

ESERCOMP - ESP

SERIE DE TIEMPO CORRESPONDIENTE A TEMP. SUPER AGUA

LOCALIDAD = LIBERTAD

NUMERO DE PUNTOS DE LA SERIE = 516

NUMERO DE CLAS = 50

NUMERO DE PUNTOS DE FRECUENCIA = 50

INTERVALO DE MUESTREO = 1.00 MES

UNIDAD DE MEDICION = G CENTIG

FILTRO = NINGUNO



DATOS ORIGINALES DE LA SERIE

CESERCOMP - E

0	27.6	25.8	27.2	26.2	24.7	23.2	23.2	23.5	23.8
1	24.9	26.1	27.4	27.1	26.5	25.3	24.6	23.5	23.8
2	23.8	23.4	23.6	24.4	25.0	24.4	25.6	23.5	23.8
3	22.6	23.5	23.5	24.2	24.5	26.0	27.3	27.2	26.4
4	25.5	24.2	24.3	23.1	24.0	24.1	25.0	25.0	27.3
5	25.6	24.0	23.4	23.0	23.1	24.1	23.2	23.2	24.4
6	26.8	27.8	26.1	26.2	24.3	23.5	23.9	22.1	23.2
7	25.7	26.0	26.4	28.3	28.6	25.3	24.9	24.0	23.4
8	24.1	24.9	26.1	27.9	26.0	27.4	26.2	25.4	24.3
9	23.6	24.1	24.0	24.9	26.3	27.0	26.6	29.3	28.1
0	26.9	24.8	23.6	23.1	23.9	24.9	25.7	26.3	28.3
1	29.4	26.3	24.8	24.1	23.2	23.2	23.5	24.3	25.5
2	23.3	28.2	27.9	27.1	25.4	25.4	25.0	23.3	25.5
3	27.1	27.4	27.9	25.2	26.4	25.5	25.9	24.7	23.7
4	24.6	24.4	25.5	27.9	27.0	28.2	27.6	26.2	25.2
5	21.7	23.2	24.8	25.4	27.1	27.6	27.3	27.5	26.8
6	26.7	26.4	23.2	23.0	24.0	24.1	24.8	26.0	27.5
7	26.6	25.8	23.5	22.7	23.1	23.4	24.0	24.3	24.9
8	26.8	27.7	26.9	25.9	24.9	23.0	22.7	22.6	23.8
9	25.1	26.2	27.0	28.3	27.4	25.9	25.3	24.1	22.5
0	22.9	23.2	24.6	26.3	27.5	26.9	24.4	23.8	23.6
1	23.1	23.6	23.9	24.3	26.3	27.4	27.2	27.0	26.0
2	26.1	26.4	25.2	25.1	24.9	25.3	23.5	26.0	27.0
3	25.5	25.6	24.8	22.5	22.9	23.6	23.6	23.8	23.4
4	26.9	28.7	23.1	27.2	26.1	23.9	23.5	23.9	24.4
5	23.3	27.2	27.8	25.9	24.9	25.5	24.1	22.4	23.2
6	23.7	23.4	24.6	26.3	27.0	25.9	25.2	25.0	23.3
7	22.3	22.6	23.4	23.4	24.7	25.7	26.8	26.4	24.6
8	24.0	22.9	22.5	23.4	22.9	23.0	24.6	25.9	27.7
9	26.3	26.8	26.5	25.5	24.3	24.9	25.2	25.1	24.9
0	28.0	28.3	28.9	26.6	26.0	23.6	24.6	24.4	24.0
1	24.3	25.4	27.1	27.3	26.2	24.9	24.5	24.1	23.8
2	23.9	23.9	26.6	26.6	26.7	28.1	25.4	26.3	22.0
3	22.4	23.2	23.2	23.0	22.5	26.3	27.0	26.7	25.6
4	24.2	22.4	21.3	22.6	23.0	23.4	25.0	24.7	26.4
5	25.1	24.7	23.3	22.4	22.0	23.1	23.2	23.6	24.9
6	26.5	26.1	24.9	23.9	22.6	22.7	22.6	22.9	23.4
7	24.2	25.4	23.9	26.0	25.7	25.5	24.3	22.9	23.1
8	23.7	24.1	24.7	27.0	27.8	28.1	26.2	26.2	26.3
9	23.3	24.1	24.1	24.0	23.3	27.0	27.0	27.9	27.7
0	23.7	22.8	23.5	23.6	24.0	24.8	23.7	28.2	26.5
1	23.2	26.3	27.4	23.3	23.3	23.9	24.8	24.3	23.1
2	26.3	26.0	26.4	24.4	23.7	23.1	22.4	23.4	23.1
3	24.3	25.5	26.2	26.1	27.0	27.5	27.2	24.3	23.4
4	24.4	24.4	26.1	26.8	27.4	26.2	26.6	27.7	26.5
5	23.1	23.3	23.6	24.1	23.7	26.3	26.9	28.4	24.9
6	23.7	23.1	22.3	23.0	23.3	23.3	23.3	27.1	28.4
7	27.0	26.6	26.5	26.3	26.4	26.2	26.4	26.1	26.9
8	27.6	27.1	27.3	27.1	26.7	23.3	24.6	24.6	24.9
9	23.1	26.9	27.1	26.6	26.3	26.9	26.7	24.0	23.2
0	23.1	23.0	25.7	25.5	27.3	26.0	27.0	23.8	24.6



AUTOCOVARIANZA

AUTOCORRELACION

CESERCOMP - ESPC

3.00	1.00
2.37	0.79
1.45	0.48
0.38	0.13
-0.23	-0.21
-1.37	-0.46
-1.66	-0.55
-1.42	-0.47
-0.74	-0.25
0.17	0.00
1.12	0.37
1.80	0.62
2.10	0.70
1.84	0.61
1.01	0.34
0.03	0.01
-0.92	-0.31
-1.61	-0.53
-1.84	-0.61
-1.58	-0.53
-0.88	-0.29
0.06	0.02
0.99	0.33
1.74	0.58
2.04	0.68
1.75	0.58
1.01	0.34
0.07	0.02
-0.85	-0.28
-1.60	-0.53
-1.88	-0.63
-1.66	-0.55
-0.97	-0.32
-0.05	-0.02
0.91	0.30
1.69	0.56
2.01	0.67
1.72	0.57
0.96	0.32
-0.00	-0.02
-1.00	-0.35
-1.00	-0.30
-2.07	-0.69
-1.61	-0.60
-1.11	-0.37
-0.16	-0.05
0.83	0.20
1.62	0.54
2.00	0.67
1.71	0.57
0.91	0.30

ENCIA
(S/MES)

ESPECTRO DE POTENCIAS

LOG. DEL ESPECTRO



CESERCOMP - ESP

000	3.18	0.50
010	2.50	0.40
020	1.79	0.25
030	1.10	0.04
040	1.19	0.07
050	0.50	-0.30
060	0.40	-0.34
070	3.64	0.56
080	15.70	1.20
090	11.52	1.08
100	1.42	0.15
110	0.45	-0.35
120	0.17	-0.73
130	0.29	-0.54
140	0.21	-0.68
150	0.35	-0.46
160	0.30	-0.44
170	0.47	-0.33
180	0.17	-0.76
190	0.19	-0.72
200	0.09	-1.03
210	0.20	-0.70
220	0.12	-0.91
230	0.16	-0.79
240	0.10	-0.80
250	0.29	-0.54
260	0.12	-0.91
270	0.10	-1.00
280	0.09	-1.05
290	0.10	-0.79
300	0.10	-1.01
310	0.12	-0.93
320	0.07	-1.15
330	0.12	-0.93
340	0.06	-1.20
350	0.03	-1.12
360	0.00	-1.24
370	0.13	-0.90
380	0.12	-0.92
390	0.15	-0.81
400	0.09	-1.06
410	0.00	-1.23
420	0.02	-1.01
430	0.07	-1.14
440	0.06	-1.20
450	0.10	-1.01
460	0.10	-1.00
470	0.12	-0.92
480	0.06	-1.22
490	0.06	-1.22
500	0.04	-1.38



LA VARIANZA PARA CADA PERIODO RESUELTO Y ESPECTRO NORMAL CESERCOMP - ESP

AMPLITUD (G CENTIC)	ESPECTRO (NORMAL.)
1.7d	0.06663
1.58	0.05231
1.34	0.03742
1.05	0.02301
1.09	0.02483
0.71	0.01051
0.68	0.0096e
1.91	0.07611
3.97	0.33004
3.45	0.24955
1.19	0.02963
0.67	0.00938
0.41	0.00350
0.54	0.00609
0.46	0.00440
0.59	0.00723
0.60	0.00754
0.68	0.00979
0.42	0.00365
0.44	0.00400
0.31	0.00195
0.44	0.00414
0.35	0.00255
0.40	0.00339
0.40	0.00332
0.54	0.00610
0.35	0.00257
0.32	0.00210
0.30	0.00185
0.40	0.00340
0.31	0.00207
0.34	0.00246
0.27	0.00147
0.34	0.00246
0.25	0.00131
0.28	0.00159
0.24	0.00119
0.3e	0.00264
0.34	0.00249
0.39	0.00322
0.29	0.00181
0.24	0.00122
0.1e	0.00052
0.27	0.00151
0.24	0.00124
0.31	0.0020e
0.32	0.00209
0.35	0.00254
0.25	0.00126



CESERCOMP - ESP

MEDIA DE LA SERIE= 25.2142

VARIANZA= 1.73

ANCHO DE BANDA= 0.0267

GRADOS DE LIBERTAD= 27.52

A DE PROJEJA ES 3.003282 Y DEBERIA SER 3.003283
ERENCIA ES 0.000010

APENDICE D

*Ejemplo práctico de la aplicación
del Método del "Cerramiento de la
Ventana".*

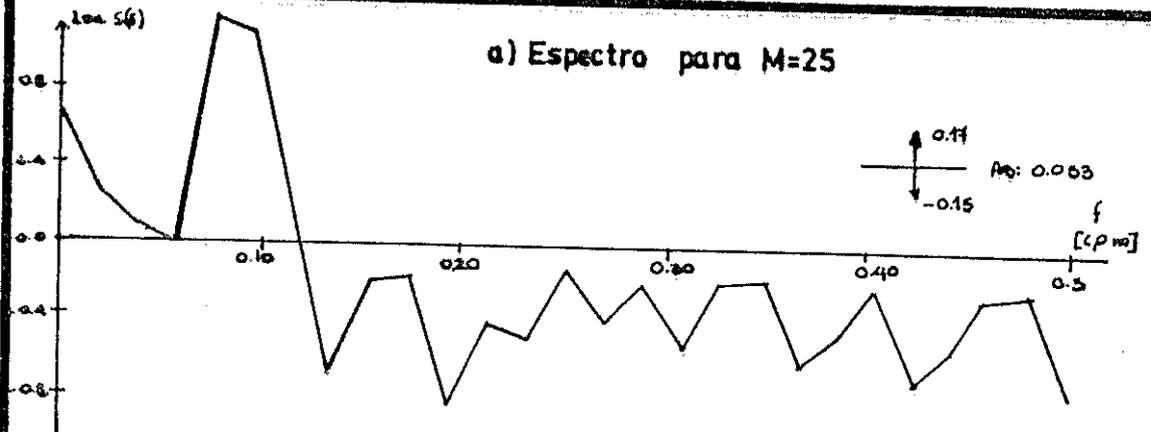
Podemos obtener diferentes estimados espectrales de un registro de datos simplemente cambiando el número de puntos de truncación para el cálculo del Espectro (M); en la sección 2.4 se explicó el Método de Cerramiento de la Ventana, por medio del cual vamos calculando estimados para varios valores de M hasta encontrar aquel que consideremos más representativo del fenómeno analizado.

Como ejemplo práctico presentaremos los resultados obtenidos al aplicar el método al Registro original de Temperatura Superficial del Agua.

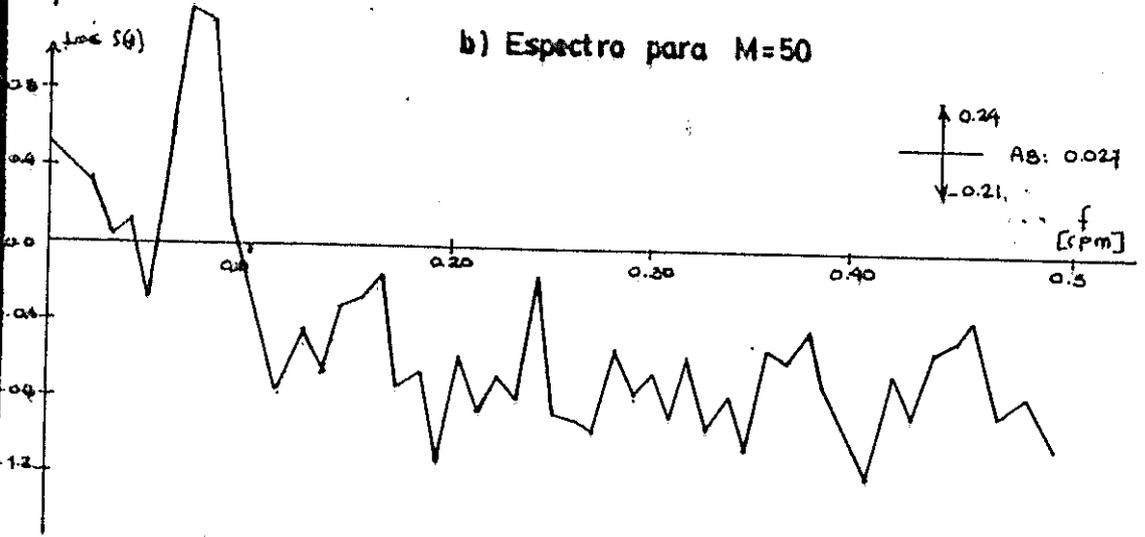
Para $M=75$ (fig. N° 52.c) observamos una gran inestabilidad del espectro, el cual nos impide diferenciar con claridad los picos predominantes, a esto se suma el hecho de tener un intervalo de confianza muy grande, el cual provoca que tengamos serias dudas acerca de si los picos presentes se deben a fenómenos o inestabilidad del Espectro.

En la figura 52.b observamos que para $M=50$ la varianza del estimado espectral disminuye, es decir su estabilidad aumenta, la disminución de M provoca un aumento del número de grados de libertad y por lo tanto una disminución del intervalo de confianza, mejorando nuestros estimados, como desventaja observamos que el ancho de banda aumenta; lo que disminuye el número de puntos para los cuales tendremos esti-

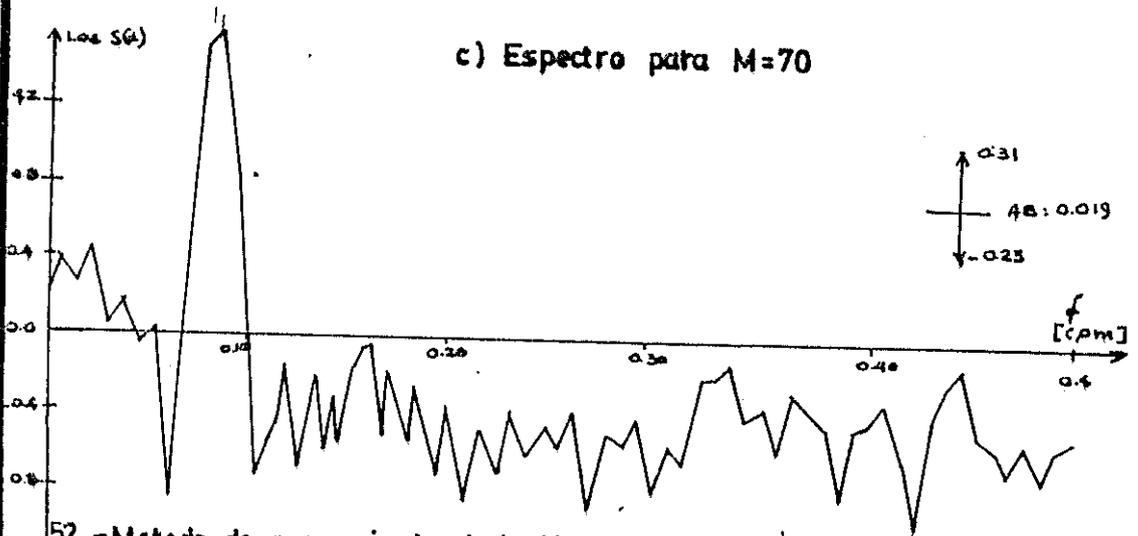
a) Espectro para M=25



b) Espectro para M=50



c) Espectro para M=70



52.-Metodo de cerramiento de la Ventana aplicado al Registro de Temperatura superficial del Agua.

mados del espectro, por lo cual las periodicidades pueden estar un poco desfasadas de su valor original.

Cuando hacemos $M=25$ (fig. N^o 52.a) tenemos un Intervalo de Confianza aún más pequeño, pero nuestro espectro tiene tan pocos puntos que perdemos considerable cantidad de detalle, por lo que su resolución será muy baja. Por esto podemos afirmar que el mejor estimado espectral es aquel correspondiente a $M=50$.

Cabe indicar que, si conociéramos la configuración del Espectro Teórico (f) de nuestro registro, la tarea de seleccionar el valor de M para encontrar el estimado espectral con las más altas fidelidad y estabilidad se vería muy facilitada, lamentablemente esto raramente sucede, de modo que el criterio y conocimiento del investigador desempeña un papel muy importante en la interpretación de los resultados obtenidos.

Es así que, en la selección de los períodos predominantes como regla general se escogen aquellos cuyas amplitudes sean mayores que el Intervalo de Confianza calculado, pero esto no es un criterio fijo, - pues nos puede conducir a errores; una regla empírica muy simple es aquella dada por Stuart (2) el cual manifiesta lo siguiente:

"Una línea espectral es significativa si contiene por lo menos tres puntos calculados que se desvían del ruido y tiene un máximo que es dos o tres veces más grande que el nivel del ruido que lo rodea".

Otra pista que nos ayuda a determinar si nuestros picos son significativos, es observar si estos se presentan en estimados espectrales calculados para diferentes valores de M , en la figura N° 52, la amplitud correspondiente a la variación anual, localizada en la frecuencia 0.083 cpm es sin lugar a dudas originada por la presencia de un fenómeno físico de característica periódica por cuanto se manifiesta en los tres estimados espectrales calculados.

B I B L I O G R A F I A

1. BLACKMAN R. & TUKEY J. *The Measurement of Power Spectra*, Dover Publications Inc., New York, 1958, 190 p.
2. BATH MARKUS. *Spectral Analysis in Geophysics*, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 1974, 563 p.
3. BENDAT J. & PIERSOL A. *Random Data: Analysis and Measurement Procedures*, Wiley-Interscience, New York, 1971, cap. 1,7,9.
4. COMISION PERMANENTE DEL PACIFICO SUR. *Informe de las Actividades realizadas y los resultados obtenidos durante el Taller sobre el Fenómeno de El Niño 1982-1983.*
(En vías de publicación).
5. COPORACION ESTATAL PETROLERA ECUATORIANA. *Datos Oceanográficos y Meteorológicos de Ancón y La Libertad, desde 1927 hasta 1982.*
6. ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL. *Disposiciones para la elaboración de la Tesis de Grado*, ESPOL, Guayaquil, 1981, 26 p.
7. FRANCO A.S. *Análise Espectral Contínua e Discreta*, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de Sao Paulo, Sao Paulo, 1982, cap. 2, 6, 8 y 9.
8. GODIN GABRIEL. *The Analysis of Tides*, Liverpool University, Press, Liverpool, 1972, 263 p.

9. JENKINS G. & WATTS D. *Spectral Analysis and its Applications*, Hoden-Day, San Francisco, 1968, cap. 1, 2, 5, 7.
10. NEUMAN G. & PIERSON W. *Principles of Physical Oceanography*, Prentice-Hall Inc., New York, 1966, cap. 15.
11. NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. *Numerical Values for the Eastern Tropical Pacific Ocean from Climatology of Reynolds (1982)*.
12. PENALOZA M. *Manual de Programación FORTRAN*, Imprenta de la ESPOL, Guayaquil, 1983, 31 p.
13. QUINN W., ZOPF D., SHORT K., KUO YANG R. *Historical Trends and Statistics of the Southern Oscillation, El Niño, and Indonesian Droughts*, *Fishery Bulletin*: Vol. 76, Nº 3, 1978, p. 663-678.
14. STEVENSON M. GUILLEN O. SANTORO J. *Atlas de las Aguas Costeras del Océano Pacífico en América del Sur*, University of California Press, Los Angeles-California. 1961.
15. SANTOS J. *Estudio Preliminar de Alturas Medias Mensuales y Anuales del Nivel del Mar para Estaciones a lo largo de la Costa Occidental del Continente Americano*, Universidad de Sao Paulo, 1983. (Trabajo en vías de publicación).
16. WASTLER T.A. *Spectral Analysis: Applications in Water Pollution Control*, Washington, 1969, 99p.
17. TRABAJOS NO PUBLICADOS, REALIZADOS EN EL DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MARITIMA Y CIENCIAS DEL MAR DE LA ESPOL:

- *Análisis Espectral aplicado a datos de precipitación en Ancón.* SANTOS J., VERA D.
- *Aplicación del Análisis Espectral a datos de Temperatura Superficial del Agua en La Libertad.* ALLAUCA S., CORNEJO M., OSORIO V.
- *Análisis Espectral de Temperatura del Aire en Ancón, Saldaña P., Ormazza F.*
- *Investigaciones Preliminares para la Implementación del Proyecto de Estudio del Clima en la ESPOL,* SANTOS J.