

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS.



**"POTENCIA Y DIRECCION DEL OLEAJE EN LA COSTA NOROESTE DE LA
PENINSULA DE BAJA CALIFORNIA Y SU APROVECHAMIENTO"**



T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
O C E A N O L O G O
PRESENTA
ROBERTO PADILLA HERNANDEZ

ENSENADA, BAJA CALIFORNIA.

JUNIO DE 1989.

"POTENCIA Y DIRECCION DEL OLEAJE
EN LA COSTA NÓROESTE DE LA PENINSULA
DE BAJA CALIFORNIA Y SU APROVECHAMIENTO"

T E S I S
QUE PRESENTA:
ROBERTO PADILLA HERNANDEZ

Aprobada por:



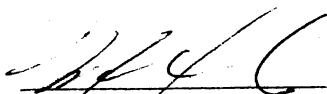
Presidente del jurado
M.C. Oscar E. Delgado González



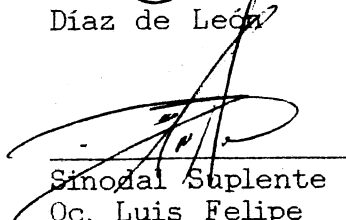
Sinodal Propietario
M.C. Carlos
Torres Navarrete



Sinodal Propietario
Oc. Asdrubal Martínez
Díaz de León



Sinodal Suplente
Oc. Modesto
Ortíz Figueroa



Sinodal Suplente
Oc. Luis Felipe
Navarro Olache

RESUMEN

Con una base de datos consistente de 905 archivos de 1024 datos de presión y las componentes de la velocidad u y v del oleaje en seis meses de información de octubre de 1985 a marzo de 1986 en Rosarito, B.C., se calculan la potencia, alturas significantes, se identifica la banda de frecuencia más energética y sus características empleando un método espectral; además, se estiman las direcciones principales de arribo por medio del método de Nagata (1964).

La mayor potencia se registra en el mes de febrero con un valor de 25.51 kw/h. La frecuencia más energética calculada corresponde a la banda de 0.0625 Hz, contribuye con el 36.56% de la energía total y cuya longitud de onda, considerando teoría lineal, es de 154.2 metros en la zona de 10 metros de profundidad y de 233.0 metros en la zona de 25 metros de profundidad.

A lo largo de las series de tiempo analizadas existe un dominio mínimo del oleaje proveniente del suroeste, sin embargo en los días donde el oleaje es más energético su dirección principal de arribo es noroeste.

En base a las características del oleaje más energético, se calculan las dimensiones de un aparato de extracción de energía del oleaje para una zona de profundidad de 25 metros.

Con amor a mis padres

Roberto Padilla Ayala y Lorenza Hernández de Padilla

A mis hermanos: Armando, Consuelo, Rocio y Claudia.

Con cariño a la familia Baltierra Rodríguez porque también es mi familia, en especial a Doña Maggy por ser padre y madre a la vez.

A Miguelito, ya que sin su ayuda hubiera sido posible terminar un poco antes esta tesis.

A mis amigos: Maricela, Adriana, Elsa y Joaquín.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto de Investigaciones Oceanológicas de la Universidad Autónoma de Baja California y así mismo a la sección de Oceanografía Física, por todo el apoyo otorgado para el desarrollo y realización de este trabajo.

A la Secretaría de Educación Pública (SEP) , por su apoyo financiero parcial a través de la Dirección General de Investigación Científica y Superación Académica segun convenio C88-01-0079, para la realización de esta tesis de licenciatura.

A la Comisión Federal de Electricidad (CFE) quienes gentilmente proporcionaron la información que se procesó en este trabajo.

De manera especial a mi director M.C. Oscar E. Delgado González por sus enseñanzas, críticas, recomendaciones y tiempo compartido.

A mis sinodales M. en C. Carlos Rodolfo Torres Navarrete, Oc. Asdrúbal Martínez Díaz de León, Oc. Luis Felipe Navarro Olache y Oc. Modesto Ortiz Figueroa, por sus correcciones, críticas y sugerencias hechas a este trabajo.

A Araceli Meléndez Crosthwaite por las correcciones al escrito y a Sergio I. Larios por su valiosa ayuda.

A Miguel Angel Tenorio por sus sugerencias.

A todas aquellas personas que de alguna manera contribuyeron a mi formación profesional.....GRACIAS!!!!

TABLA DE CONTENIDO	PAGINA
Lista de figuras	i
Lista de tablas	iii
Lista de simbolos	iv
1 INTRODUCCION	1
2 ANTECEDENTES	6
2.1 Objetivos.	9
3 MATERIALES Y METODOS	10
3.1 Area de estudio.	10
3.2 Materiales.	10
3.2.1 Descripción del instrumento.	10
3.3 Método.	13
3.3.1 Base de datos.	13
3.3.2 Pre-análisis.	13
3.3.3 Cálculo de los espectros.	16
3.3.4 Cálculo de los niveles de potencia a partir del espectro.	18
3.3.5 Cálculo de la altura significativa a partir del espectro.	19
3.3.6 Calculo de la dirección principal del oleaje.	19
3.3.7 Calculo de las dimensiones del convertidor de energía del oleaje <i>Salter's Duck</i> .	20
4 RESULTADOS	23
4.1 <i>Nodding Duck</i> .	43
5 DISCUSIONES	51
6 CONCLUSIONES	55
7 LITERATURA CITADA	56

LISTA DE FIGURAS

FIGURA		PAGINA
1	Nomenclatura para el convertidor de energía del oleaje <i>Nodding Duck</i> , (tomada de Carmichael, 1978).	4
2	Localización geográfica de la zona de estudio.	11
3	Series en tiempo de las componentes horizontales de velocidad u y v en cm/s y fluctuaciones de presión en centímetros de columna de agua debido al paso de las olas.	15
4	Notación para el perfil del <i>Nodding Duck</i> .	22
5	Espectros cualitativos de las fluctuaciones de presión para el mes de octubre de 1985.	24
6	Espectros cualitativos de las fluctuaciones de presión para el mes de noviembre de 1985.	25
7	Espectros cualitativos de las fluctuaciones de presión para el mes de diciembre de 1985.	26
8	Espectros cualitativos de las fluctuaciones de presión para el mes de enero de 1986.	26
9	Espectros cualitativos de las fluctuaciones de presión para el mes de febrero de 1986.	28
10	Espectros cualitativos de las fluctuaciones de presión para el mes de marzo de 1986.	29
11	Niveles de potencia para los meses de octubre y noviembre de 1985.	33
12	Niveles de potencia para los meses de diciembre 1985 y enero 1986.	34

FIGURA		PAGINA
13	Niveles de potencia para los meses de febrero y marzo de 1986.	35
14	Potencia promedio mensual de octubre de 1985 a marzo de 1986.	37
15	Direcciones principales del oleaje para los meses de octubre y noviembre.	38
16	Direcciones principales del oleaje para los meses de diciembre y enero.	39
17	Direcciones principales del oleaje para los meses de febrero y marzo de 1986.	40
18	Dispersión de ángulos alrededor del ángulo medio.	41
19	Alturas significantes de octubre 1985 a marzo 1986.	44

LISTA DE TABLAS

TABLA		PAGINA
I	Contribución de cada frecuencia al total de la energía. Sin compensar por profundidad.	32
II	Medidas del <i>Salter's Duck</i> .	50

LISTA DE SIMBOLOS

p	= presión de la columna de agua.
n	= número de dato.
$\bar{p}$	= presión promedio.
Δt	= intervalo de muestreo.
p	= recta de regresión.
T_r	= longitud temporal del registro.
$S_p(f)$	= espectro de presiones.
$S_e(f)$	= espectro de elevaciones.
K_r	= factor de amortiguamiento.
λ	= longitud de onda.
f	= frecuencia.
h	= profundidad en el lugar de muestreo.
z	= profundidad del sensor de presión.
T	= período.
m_0	= momento cero del espectro.
V_g	= velocidad de grupo.
K	= número de onda.
P	= potencia o flujo de energía.
ρ	= densidad del agua de mar.
f_0	= frecuencia mínima en los registros.
f_c	= frecuencia donde se cortaron los espectros corregidos.
H_{m0}	= altura significativa.
θ_0	= ángulo principal de arribo del oleaje a la costa.
u	= velocidad orbital de las partículas este-oeste.
v	= velocidad orbital de las partículas norte-sur.

- f_D = frecuencia natural de oscilación del *Nodding Duck*.
 T_D = período natural de oscilación del *Nodding Duck*.
 R_0 = radio de la panza.
 K_D = constante de diseño.
 R_2 = radio de la popa.
 d = calado del *Nodding Duck*.
 Z = profundidad en la parte inferior del *Nodding Duck*.
 g = aceleración de la gravedad.
 L_D = longitud del plano del agua entre la superficie y el *Nodding Duck*.
 B = anchura del *Nodding Duck*.
 r_D = posición del centro de masa con respecto al eje horizontal.
 A = ángulo de reposo de r_D con respecto al plano horizontal.
 I_D = momento de inercia de la masa del sistema sobre el eje de rotación.
 M = masa en rotación.
 $\tilde{R}_0$ = curva modificada de la panza.

1 INTRODUCCION

El oleaje es la forma de energía más sobresaliente de los océanos y una de las condiciones oceánicas más importantes que afectan las actividades del hombre en las regiones costeras. Es por ésto que ha sido objeto de numerosos estudios. Al observar el oleaje en su zona de rompiente es posible imaginar la gran cantidad de energía que existe en todos los océanos sin embargo, no todas las costas presentan oleaje con niveles altos de energía pues ésta se encuentra distribuida tanto temporal como espacialmente.

Kinsman (1965) presenta un espectro esquemático de las ondas que ocurren en el océano, representando la cantidad relativa de energía contenida en éstas en función de su frecuencia. Las frecuencias más energéticas se encuentran entre 1 y 0.033 Hz (1 y 30 segundos de período) y corresponden al oleaje producido principalmente por el viento.

Gran parte de los estudios realizados sobre el oleaje están enfocados hacia las diversas formas que tiene de disipar su energía en las costas, particularmente en las regiones en las que este proceso suele generar corrientes litorales, ya que estas transportan sedimento a lo largo y ancho del litoral con su consecuente erosión o asolve a cualquier construcción costera.

En contraste con el oleaje que tiene un transporte neto de masa en aguas someras, las olas en aguas profundas no tienen un transporte neto de masa debido a que las trayectorias de las partículas son cerradas. Sin embargo, se propagan fuera de su zona de generación hasta llegar a romper en la costa. Parte de la energía transmitida por la acción del viento sobre la superficie del mar es transportada por el oleaje. La razón a la cual la energía es transferida se le conoce como flujo de energía (P), y de acuerdo a la teoría lineal, es la razón a la cual una sección vertical de un fluido está haciendo trabajo sobre otra sección del mismo fluido, (Dean, 1984).

La necesidad de contar con datos de oleaje es imperante debido al aumento de asentamientos humanos en la costa, y al impulso dado a la investigación y desarrollo de actividades en el campo de las fuentes de energía no convencionales, que es uno de los mayores acontecimientos en ciencia y tecnología de los últimos quince años, (Constans, 1979).

Para el aprovechamiento de esta energía se han propuesto aparatos cuyas eficiencias van desde un 5% hasta un 90%. El aprovechamiento de la energía del oleaje no es nueva, comenzó en Francia en 1799, mas el uso práctico de esta energía es muy reciente, se originó como consecuencia de la primera crisis

petrolera en 1973. Desde entonces la tecnología para su utilización se ha desarrollado principalmente en Japón, el Reino Unido y algunos otros países, (Maeda, 1985).

De los aparatos propuestos para la extracción de la energía del oleaje uno de los más eficientes es el *Nodding Duck* o *Salter's Duck* llamado así por su diseño y funcionamiento (figura 1). Este aparato alcanza una eficiencia superior al 90% en olas monocromáticas, (Carmichael, 1978), y poco menos de ese valor ante condiciones de un mar simulado, (Serman, 1978). Por esta razón se dimensionará, como aplicación de los resultados de este trabajo a un aparato de este tipo.

Se cuenta con aproximadamente seis meses de información de las fluctuaciones de presión y las componentes horizontales de velocidad asociadas al oleaje, correspondientes a las condiciones del invierno 1985-1986 (octubre-marzo) en un punto de la costa noroeste de la Península de Baja California. En este trabajo se analiza dicha información en el dominio del tiempo y frecuencia con el propósito de determinar las características de energía y dirección del oleaje que arribó en esta época.

La secuencia en la que se presenta esta tesis consiste de la siguiente sección que son antecedentes sobre estimaciones de las características del oleaje y trabajos relacionados con la extracción de su energía y los objetivos de este estudio.

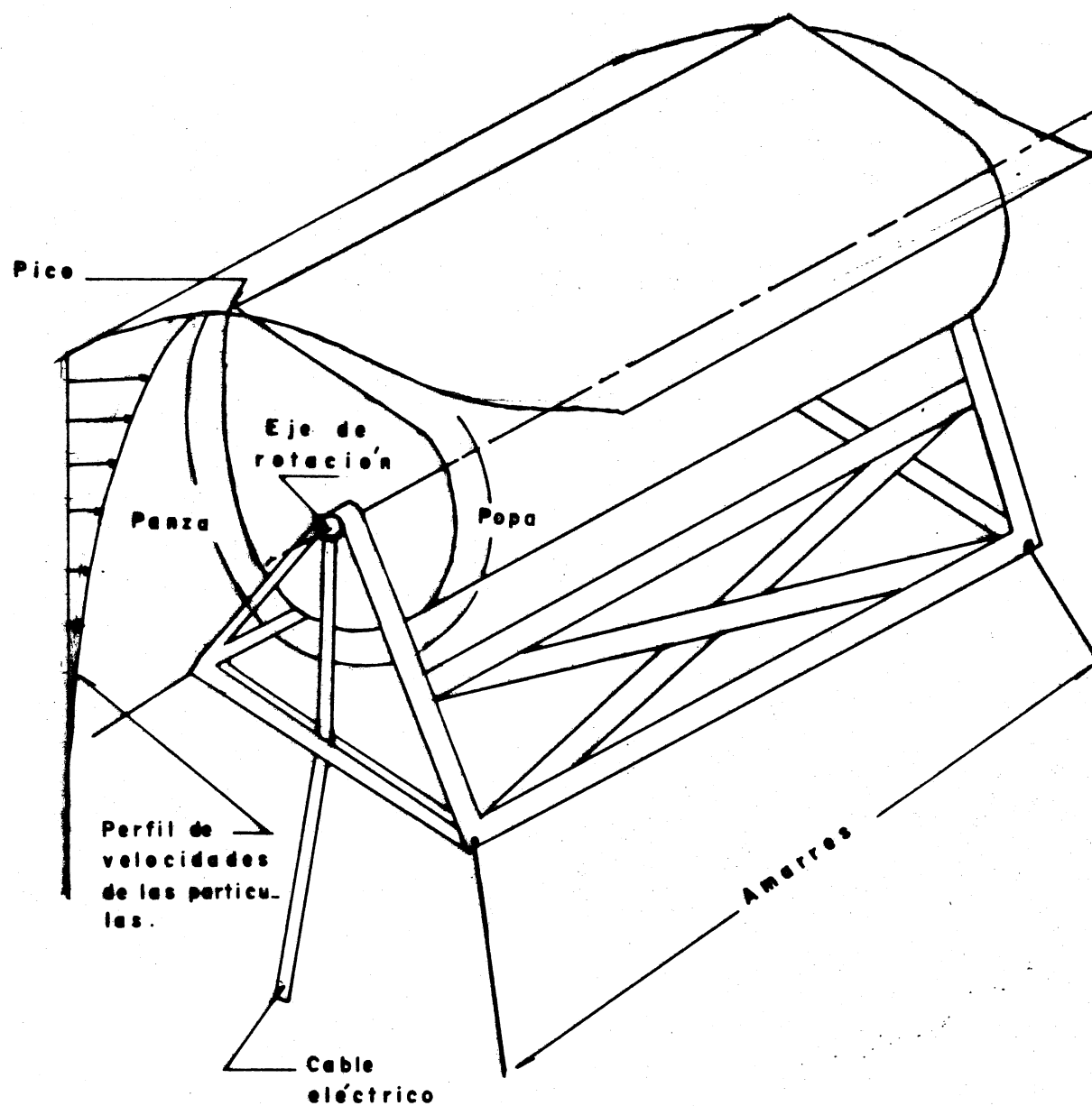


Figura 1. Nomenclatura para el convertidor de energía del oleaje *Nodding Duck*, (tomada de Carmichael, 1978).

En el capítulo tres se describe el área de estudio, el instrumento, los datos y el análisis a que éstos fueron sometidos, los resultados y discusiones se presentan en los capítulos cuatro y cinco dejando el capítulo seis para las conclusiones.

2 ANTECEDENTES

Para la estimación de las diversas características del oleaje, dirección altura y período, se han desarrollado varios métodos, sin embargo el método más empleado para estudiarlas está basado en el análisis espectral de las series de tiempo de las fluctuaciones de la superficie del mar en un punto. Este método tiene su origen al reconocer que la superficie del mar debe tener una descripción estadística y que la forma teórica de las olas puede aproximarse empleando la teoría lineal de ondas de pequeña amplitud, (Donelan, 1985).

Dichas características pueden ser englobadas empleando el concepto de espectro direccional, el cual proporciona información de la distribución angular de la energía por banda de frecuencia, (Longuet-Higgins, 1963). Son varios los métodos para obtener este espectro direccional, mas la implementación de esta técnica es relativamente difícil, (Ortega, 1989).

Para determinar la altura por medio de los espectros de energía Thompson (1980) presenta una descripción detallada de los procedimientos empleados comunmente.

En cuanto a la energía de oleaje y su potencia, Panicker (1976) presenta la distribución de la energía en función de la latitud y la longitud en el hemisferio norte. Son varios los

autores que manifiestan que es de gran importancia la medición y la correcta interpretación de datos de oleaje, (Crisp, 1981, Evans, 1976, Carmichael, 1976, Serman, 1978, Crisp, 1981), para el diseño de máquinas de extracción de su energía. Crisp (1981) describe algunos resultados relevantes de la estimación de la energía y la dispersión del ángulo de arribo del oleaje en la costa oeste del Reino Unido.

Para el aprovechamiento de la energía del oleaje se han propuesto muchos tipos de aparatos, uno de los más exitosos es el que presentó Salter (1974) el cual es un aparato innovador de extracción de energía del oleaje (figura 1), este aparato es una leva cuyo centro de masa difiere del centro de rotación y hace un movimiento de balanceo con las crestas y valles del oleaje incidente, sugiere la producción electrolítica de hidrógeno como almacenamiento de esta energía generada y concluye que su aparato tiene un 80% de eficiencia. Swift-Hook et al. (1975) predijeron una eficiencia por encima del 90% para ciertas características del aparato.

Evans (1976) presenta una teoría para predecir la absorción de potencia para un cilindro oscilante con amortiguamiento en un tren de olas senosoidales y más tarde Srockosz y Evans (1979) extendieron esta teoría para dos cuerpos de forma arbitraria, predice un 50% de eficiencia.

Estudios desarrollados por Carmichael (1978) y Serman (1978), sobre el aparato de Salter, predicen una eficiencia del aparato para extraer la potencia del oleaje, por encima del 90%. En cuanto al proceso de conversión de la potencia, absorbida por el *Salter's Duck*, "Salter, (1976) propone un sistema hidráulico para convertir el movimiento de balanceo del aparato en movimiento rotatorio para impulsar el generador eléctrico, Baux, (1978) también concluye que debería usarse un sistema hidráulico para impulsar un generador eléctrico", (Carmichael, 1978).

Serman et al. (1980) describen el rendimiento del aparato de Salter ante condiciones de oleaje por medio de un estudio numérico. Las características del oleaje en aguas someras y profundas son modelados por los espectros teóricos de JONSWAP y Pierson-Moskowitz respectivamente. De este estudio encuentran como decae la eficiencia y como decrece la extracción de la potencia con la falta de rigidez del sistema de soporte.

Los primeros resultados de estos trabajos fueron un indicio de que la electricidad generada por oleaje era muy costosa. Un programa de investigación efectuado por el Reino Unido en 1978, mostró resultados poco alentadores cuando los primeros logros de los diseños de cuatro sistemas originales indicaron un costo de potencia de 40-100 ϕ (US)/Kwh. Esta ha sido la experiencia de muchos investigadores en el campo, ya que sus primeros diseños dan el mismo costo de potencia. Sin embargo, en menos de un año

los costos se lograron bajar entre 10-30 ¢(US)/Kwh. Trabajos posteriores demuestran que hay una probabilidad real de que los costos descenderán a lo más bajo de dicho intervalo, (McCormick, 1979).

En trabajos recientes ingenieros noruegos estiman el costo de la potencia de 2-5 ¢(US)/Kwh. Como algunas comunidades isleñas pagan arriba de 20 ¢(US)/Kwh de combustible importado, la conversión de energía del oleaje podría ser muy atractiva, (McCormick, 1986).

2.1 OBJETIVOS

El objetivo del presente trabajo es analizar series de tiempo del oleaje de seis meses desde octubre de 1985 a marzo de 1986, identificar la banda de frecuencia más energética, la longitud de onda asociada a dicha banda, los niveles de potencia y las alturas significantes y su dirección de arribo a la costa, y determinar si la dirección de arribo está asociada a oleaje con mayor contenido energético.

Con los resultados de este análisis se plantea como segundo objetivo proponer las dimensiones aproximadas que debe tener un aparato del tipo *Salter's Duck*, para poder extraer energía del lugar en el que estuvo instalado el instrumento del cual se procesó la información.

3 MATERIALES Y METODOS

3.1 AREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra en Rosarito en el municipio de Tijuana, B.C. al noroeste de la Península de Baja California entre los $32^{\circ} 20'$ y $32^{\circ} 23'$ de latitud norte, $117^{\circ} 3'$ y $117^{\circ} 5'$ de longitud oeste. La figura (2) muestra la posición relativa del instrumento con respecto a esta zona, el cual estuvo en operación a una profundidad de 10 metros durante seis meses.

Esta zona ha sido motivo de estudio por parte de la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

3.2 MATERIALES

3.2.1 DESCRIPCION DEL INSTRUMENTO

El medidor de oleaje modelo 635-12, fabricado por la compañía Sea Data, está compuesto por tres sensores principales; un sensor de presión, un corrientímetro de inducción electromagnética y una brújula.

El sensor de presión, marca Digiquartz, modelo 2100-as-002, puede sentir los cambios de presión debidos a las variaciones del nivel de la superficie del agua con una resolución de 0.1 cm. Puede funcionar hasta profundidades de 60 metros.

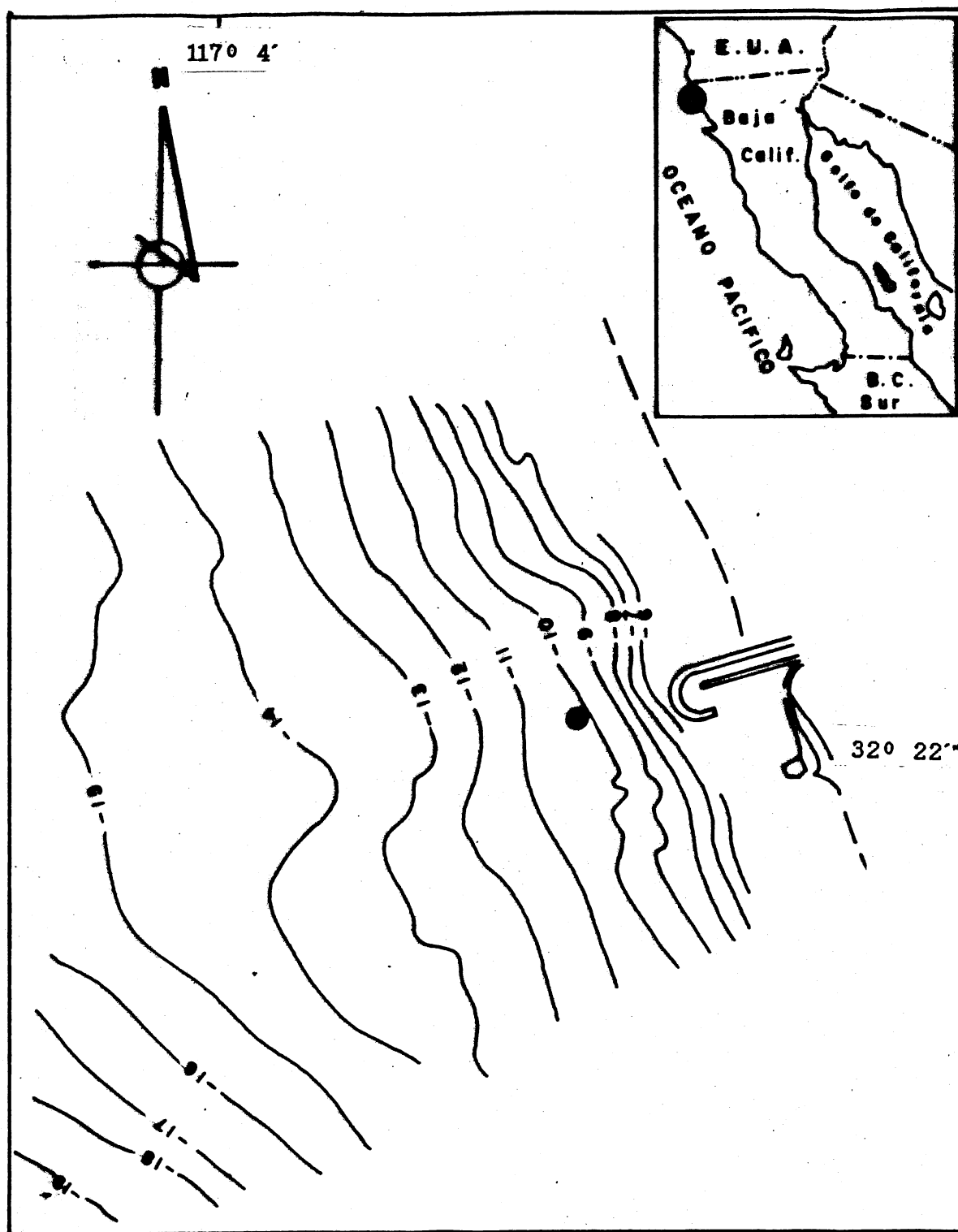


Figura 2. Localización geográfica de la zona de estudio
 ● Posición del aparato Sea Data 635-12.

El corrientímetro electromagnético Marsh-McBirney, mide el flujo de agua en un plano normal a su eje longitudinal, y presenta este flujo como las dos componentes ortogonales x , y expresadas como voltajes analógicos. La escala completa de operación es de ± 4 volts que corresponden a ± 3 m/s con una resolución de 0.3 cm/s.

La brújula marca Digicourse, modelo 225, es utilizada en el instrumento 635-12 para dar orientación a las componentes de velocidad registradas por el corrientímetro. Tiene una resolución de 1.4 minutos en cualquier orientación.

La electrónica del 635-12 permite controlar desde un tablero interno una amplia combinación de frecuencias y duración de muestreos. Una descripción más detallada del instrumento puede obtenerse de Larios (1989).

3.3 METODO

3.3.1 BASE DE DATOS

La base de datos para este trabajo consta de 905 registros tomados de octubre de 1985 a marzo de 1986. La razón de muestreo (Δt) es de un segundo, la duración del muestreo (T_r) es de 17.06 minutos (1032 segundos), y la frecuencia del muestreo es de tres horas. La distribución de los registros por mes es como sigue: octubre con registros del día 18 al 31 con un total de 108 registros, noviembre del día primero al 28 con 214 registros, diciembre del día 16 al 31 con 116 registros en total, enero del día primero al 31, sin datos los días 24 y 25, con 218 registros, febrero del día primero al 28 con 211 registros, marzo del día primero al seis con sólo 38 registros.

Cada registro consta de tres columnas con 1032 datos cada una, presión y sus velocidades asociadas u y v . Originalmente los datos se encontraban en el sistema hexadecimal, almacenados en un caset.

3.3.2 PRE-ANALISIS

La información en la computadora es separada en archivos con triadas de 1032 datos y son transformados al sistema cgs por medio de un programa computacional en lenguaje Fortran 77. Los datos en cgs se graficaron para establecer visualmente su

calidad.

Los archivos se cortaron hasta mil veinticuatro datos para ser procesados con el programa FFT ya que este requiere de un número de datos que sea potencia de 2. Se eliminó el promedio para establecer un nivel de referencia igual a cero:

$$p(n\Delta t) = p(n\Delta t) - \bar{p} \quad (1)$$

$$u(n\Delta t) = u(n\Delta t) - \bar{u} \quad (2)$$

$$v(n\Delta t) = v(n\Delta t) - \bar{v} \quad (3)$$

donde n es el número de dato, p es la presión, u y v velocidad orbitales ortogonales en el dato n , $\bar{p}$, $\bar{u}$, $\bar{v}$ son la presión y las velocidades promedio de la serie.

Para eliminar cualquier frecuencia componente cuyo período fuese mayor que la longitud del registro, como la marea, se eliminó también la tendencia lineal utilizando:

$$p(n\Delta t) = p(n\Delta t) - \hat{p}(n\Delta t). \quad (4)$$

donde $\hat{p}$ es el valor de la recta de regresión en el dato n , calculada con el método de mínimos cuadrados, se aplicó el mismo procedimiento a u y v .

La figura (3) representa la información típica del Sea Data 635-12 la cual consiste en series de tiempo de las fluctuaciones de presión y las componentes horizontales de la velocidad, u y v .

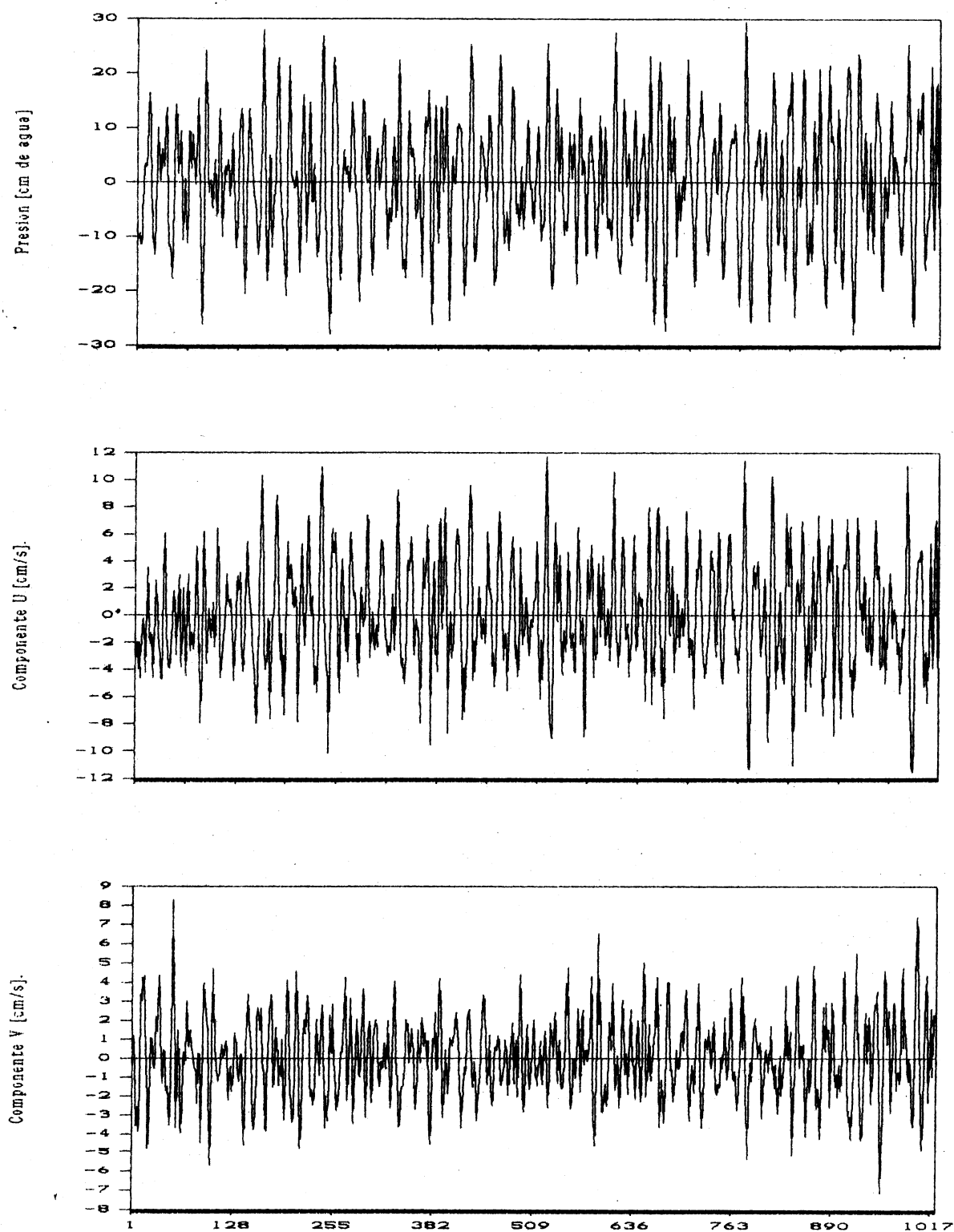


Figura 3. Series en tiempo de las componentes horizontales de velocidad u y v en cm/s y fluctuaciones de presión en centímetros de columna de agua debido al paso de las olas.

3.3.3 CALCULO DE LOS ESPECTROS

Las series de tiempo registradas $p(n\Delta t)$ son series finitas, por las características de la medición, por lo tanto para su tratamiento analítico es necesario reducir el efecto del truncamiento, para ésto se multiplicó cada serie por una ventana coseno:

$$p(n\Delta t) = \frac{1}{2} p(n\Delta t) \left[1 - \cos\left(\frac{2\pi n\Delta t}{T_r}\right) \right]. \quad (5)$$

Esta ventana suaviza el diez por ciento en cada extremo del registro y evita el derramamiento de energía entre bandas espectrales.

Las series en tiempo se transformaron a series en frecuencia por medio de la Transformada Rápida de Fourier FFT, (Brigham, 1974).

Se calculó el espectro de potencia $S_p(f)$, el cual representa la distribución de la energía en función de la frecuencia, empleando la fórmula, dada por Bendat y Piersol (1971):

$$S_p(f) = 2\Delta t |X(f)|^2 \quad (6)$$

Donde $X(f)$ son los coeficientes de Fourier.

La disminución de la varianza debida a la aplicación de la ventana coseno se compensó multiplicando el espectro $S_p(f)$ por el factor $1/0.875$, Bendat y Piersol (1971).

Obteniéndose espectros con 512 bandas de frecuencia independientes, con dos grados de libertad cada una y una resolución de 0.00097 Hz. Estos son espectros con alta resolución pero con una estabilidad muy pobre; para aumentarla se hizo un promedio cada dieciseis bandas con lo que se gana estabilidad pero pierde resolución siendo esta de 0.0156 Hz con 32 grados de libertad.

Para obtener los espectros de las elevaciones $S_e(f)$ se multiplicaron los espectros $S_p(f)$ por el factor de amortiguamiento $1/\kappa$.

Donde la función κ , está representada, según teoría lineal por:

$$K_p(f) = \frac{\cosh \frac{2\pi}{\lambda}(h-z)}{\cosh \frac{2\pi h}{\lambda}}, \quad (7)$$

donde f es la frecuencia, λ la longitud de onda, h profundidad en el lugar de muestreo, z profundidad del sensor de presión.

Para el cálculo de λ , se resuelve numéricamente una expresión de la relación de dispersión, dada por:

$$\lambda = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi h}{\lambda}. \quad (8)$$

3.3.4 CALCULO DE LOS NIVELES DE POTENCIA A PARTIR DEL ESPECTRO

Para calcular el flujo de energía (potencia) P a partir de los espectros $S_\eta(f)$. La potencia total para un espectro dado se obtuvo por evaluación de la integral, (Crisp, 1981):

$$P = \rho g \int_{f_0}^{f_c} V_g(f) S_\eta(f) df, \quad (9)$$

donde ρ es la densidad del agua, $V_g(f)$ es la velocidad de grupo en función de la frecuencia, f_0 y f_c se eligieron en 0.016 y 0.23 Hz respectivamente.

Cada frecuencia componente del oleaje en el espectro, transporta la energía a velocidad de grupo V_g , la cual está dada por:

$$V_g = \frac{1}{2}(gh)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{1}{kh} \tanh(kh) \right)^{\frac{1}{2}} (1 + 2kh \operatorname{cosech}(2kh)), \quad (10)$$

donde el número de onda k está definido como:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}. \quad (11)$$

La ecuación (10) es inconveniente para ser usada tal como está porque V_g está expresada en términos de k en lugar de f . Para obtener la velocidad de grupo apropiada a cada banda del espectro suavizado, V_g se expresó en función de f por solución numérica de la relación de dispersión dada por la ecuación (8) en términos de f .

3.3.5 CALCULO DE LA ALTURA SIGNIFICANTE A PARTIR DEL ESPECTRO

La altura significativa H_{m_0} se calculó para cada registro por medio de la expresión:

$$m_0 = \int_{f_0}^{f_c} S_{\eta}(f) df. \quad (12)$$

$$H_{m_0} = 4 \sqrt{\int_{f_0}^{f_c} S_{\eta}(f) df} = 4 \sqrt{m_0}. \quad (13)$$

Donde m_0 es el momento cero del espectro, $S_{\eta}(f)$. Haciéndose un promedio con los archivos disponibles por día.

3.3.6 CALCULO DE LA DIRECCION PRINCIPAL DEL OLEAJE

La dirección del oleaje se calculó con las series en tiempo a partir de las velocidades $u(n\Delta t)$ y $v(n\Delta t)$ por medio de la expresión, (Nagata, 1964):

$$\tan(2\theta_0) = \frac{2\overline{uv}}{\overline{u^2} - \overline{v^2}}, \quad (14)$$

donde θ_0 es la dirección principal, $\bar{u}^2$ y $\bar{v}^2$ son los promedios cuadráticos y $\overline{uv}$ es el promedio de su producto dados por:

$$\bar{u}^2 = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} u^2(t) dt. \quad (14a)$$

$$\overline{uv} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} u(t)v(t) dt. \quad (14b)$$

$$\bar{v}^2 = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} v^2(t) dt. \quad (14c)$$

De esta manera se obtiene la dirección principal, por registro, independiente de la frecuencia.

3.3.7 CALCULO DE LAS DIMENSIONES DEL CONVERTIDOR DE ENERGIA DEL OLEAJE *SALTER'S DUCK*

El método para calcular las dimensiones del *Nodding Duck* fue tomado de McCormick (1981). Se comienza especificando la condición de diseño que corresponda a la frecuencia natural del sistema f_0 y la condición es:

$$f_D = f_{oleaje} \quad (15)$$

Donde f_{oleaje} es la banda de frecuencia más energética del oleaje calculada a partir de un año de registros como mínimo.

Para este trabajo sólo se cuenta con seis meses de información.

f_D está dada por:

$$f_D = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\frac{1}{3}\rho g L_D^3 B - M g r_D \sin(\Lambda)}{I_y + \frac{1}{32}\pi \rho B \left(\left(\frac{L_D}{\cos(\Lambda)} \right)^2 - R_2 \right)^2}} \quad (16)$$

Donde g es la aceleración de la gravedad, L_D es longitud del plano del agua entre la superficie y el *Nodding Duck*, B la anchura del *Nodding Duck*, M la masa en rotación, r_D la posición del centro de masa con respecto al eje horizontal, Λ es el ángulo de reposo de r_D con respecto al plano horizontal, I_y el momento de inercia de la masa del sistema sobre el eje de rotación y R_2 el radio de la popa. La especificación de los parámetros en el aparato se pueden ver en la figura (4).

4 RESULTADOS

De la figura (5) a la (10) se presentan los espectros cualitativos de las fluctuaciones de presión debidas al oleaje durante el período de mediciones, en la ordenada se tiene el tiempo en días, en la abcisa la frecuencia. La escala de densidad espectral es arbitraria, el objetivo de presentar dichas gráficas es ver el comportamiento de la energía en el tiempo y en las distintas frecuencias.

En las figuras 5, 7 y 10, correspondientes a los meses de octubre, diciembre y marzo respectivamente, se presentan de seis a ocho espectros por día, mientras que en las figuras 6, 8 y 9, noviembre, enero y febrero respectivamente, se presentan sólo tres espectros por día debido a la gran cantidad de espectros en estos meses y poder observar mejor las gráficas.

En el mes de octubre (figura 5) los picos espectrales más grandes están localizados en el día 22 en la banda de los 0.625 y .078 Hz. Se notan tres eventos en este mes en los días 22, 27 y 30, en los cuales es notorio el posterior corrimiento del pico espectral hacia frecuencias mayores.

En noviembre (figura 6) la energía está distribuida en un mayor número de frecuencias que en los meses anteriores, sobresalen cinco eventos y está en los días 4, 11, 17, 23 y 26,

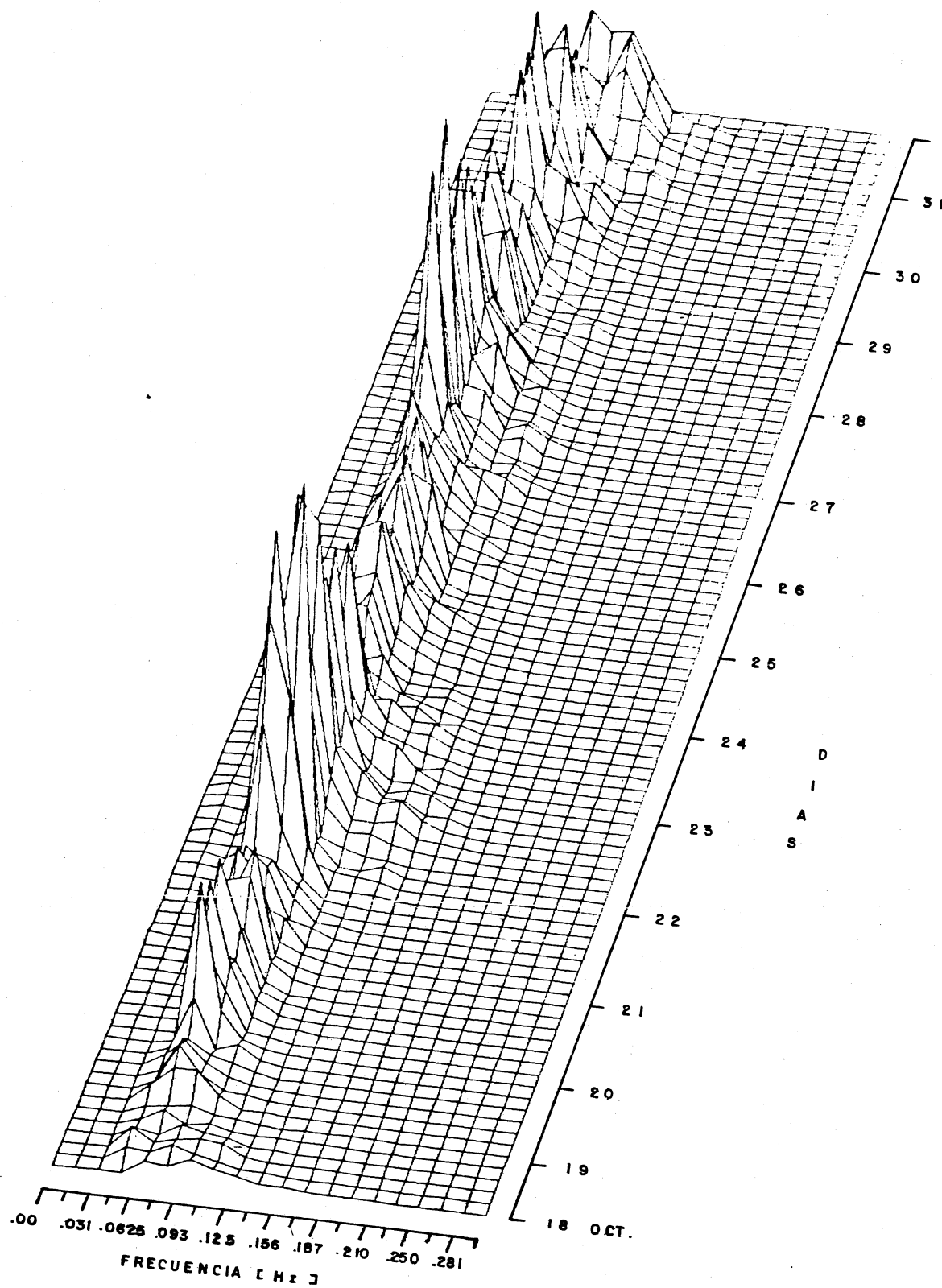


Figura 5. Espectros cualitativos de las fluctuaciones de presión para el mes de octubre de 1985.

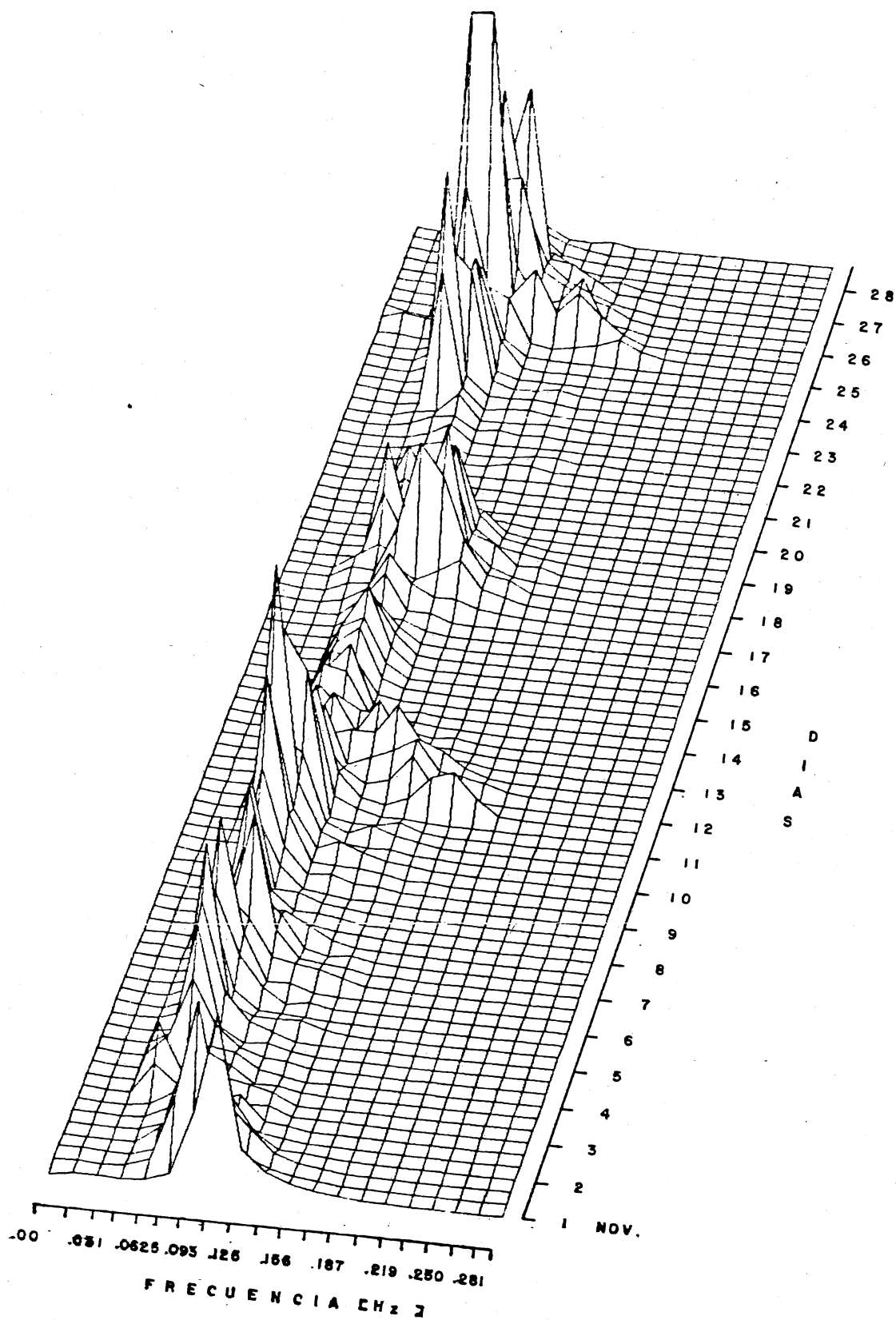


Figura 6. Espectros cualitativos de las fluctuaciones de presión para el mes de noviembre de 1985.

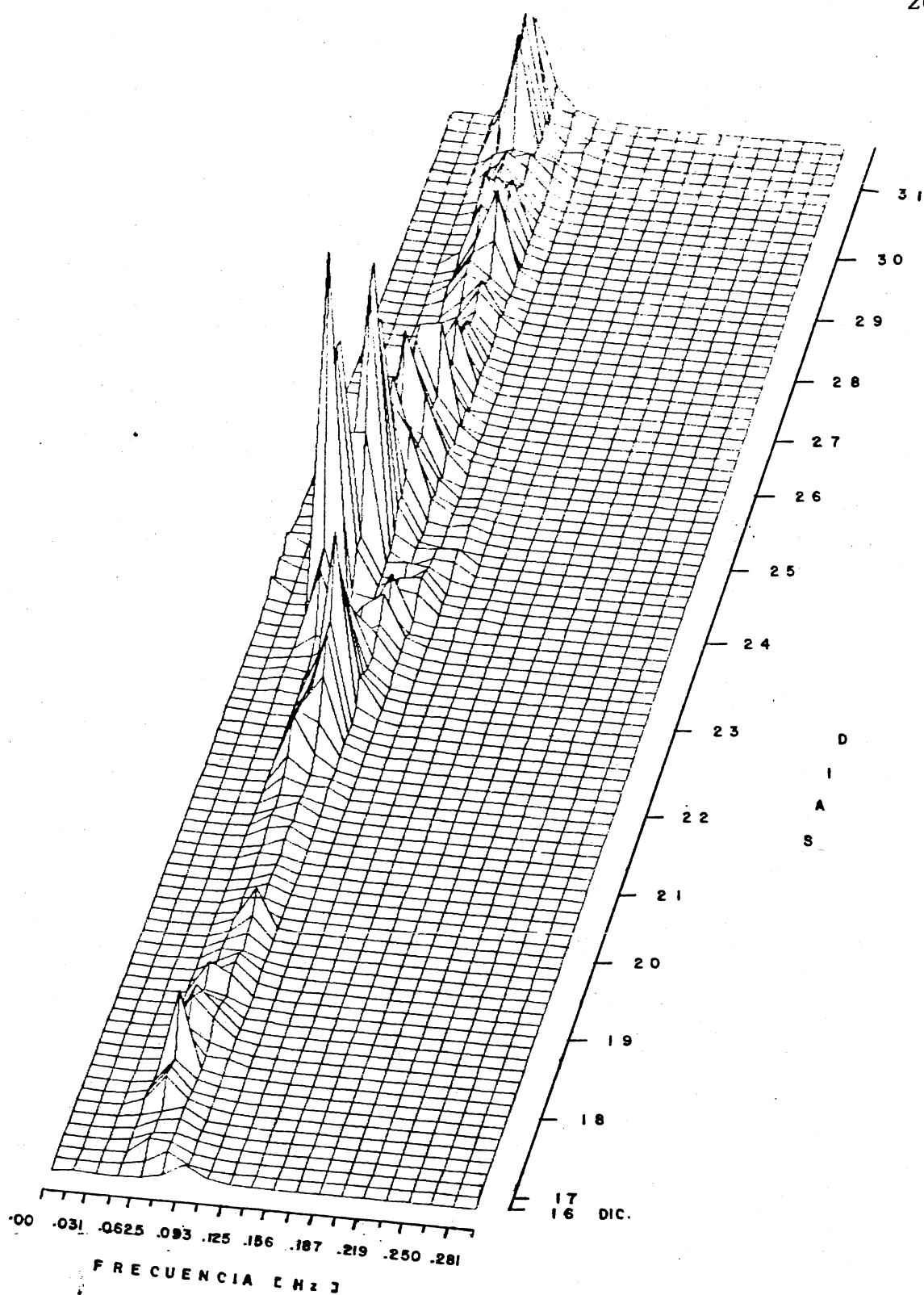


Figura 7. Espectros cualitativos de las fluctuaciones de presión para el mes de diciembre de 1985.

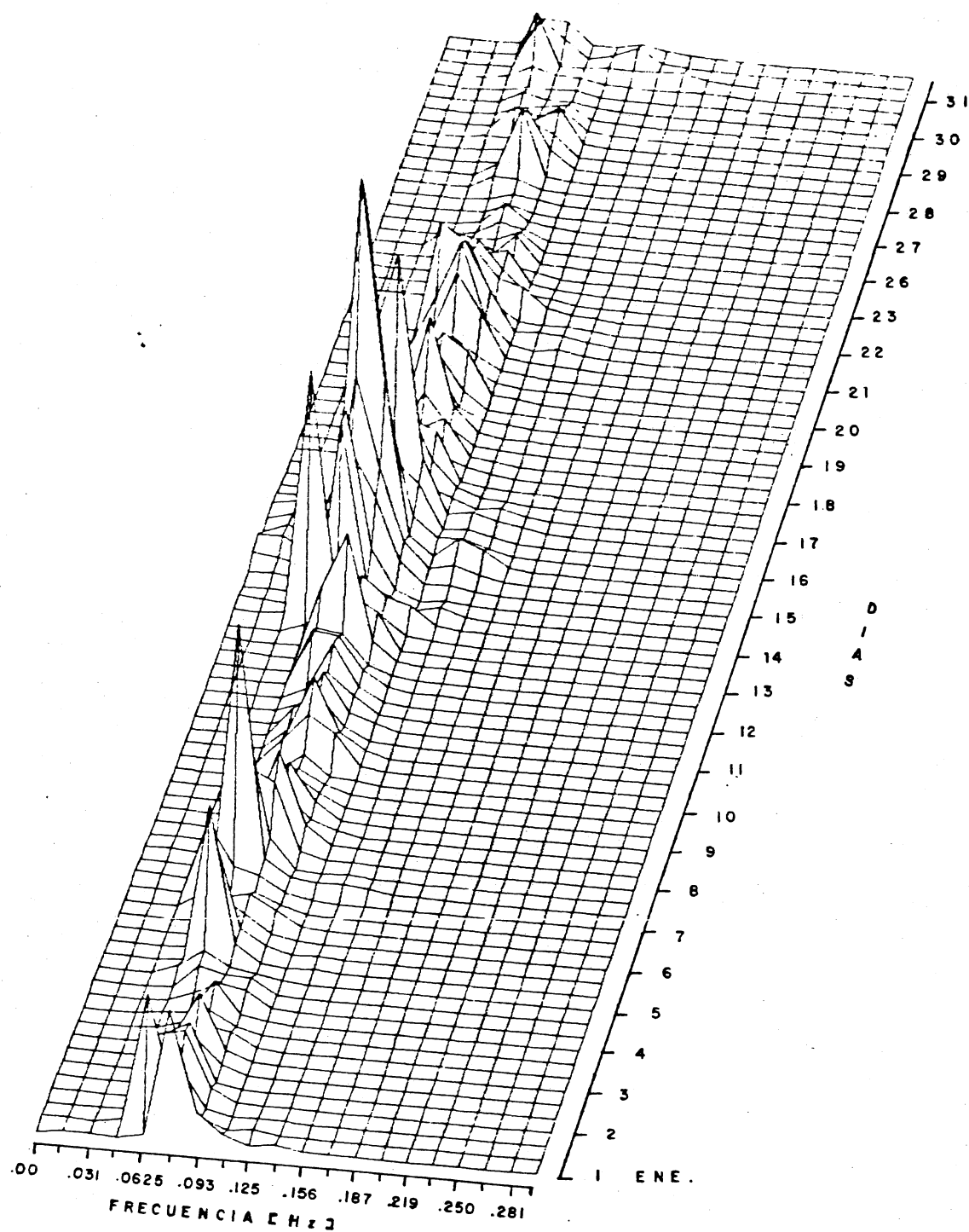


Figura 8. Espectros cualitativos de las fluctuaciones de presión para el mes de enero de 1986.

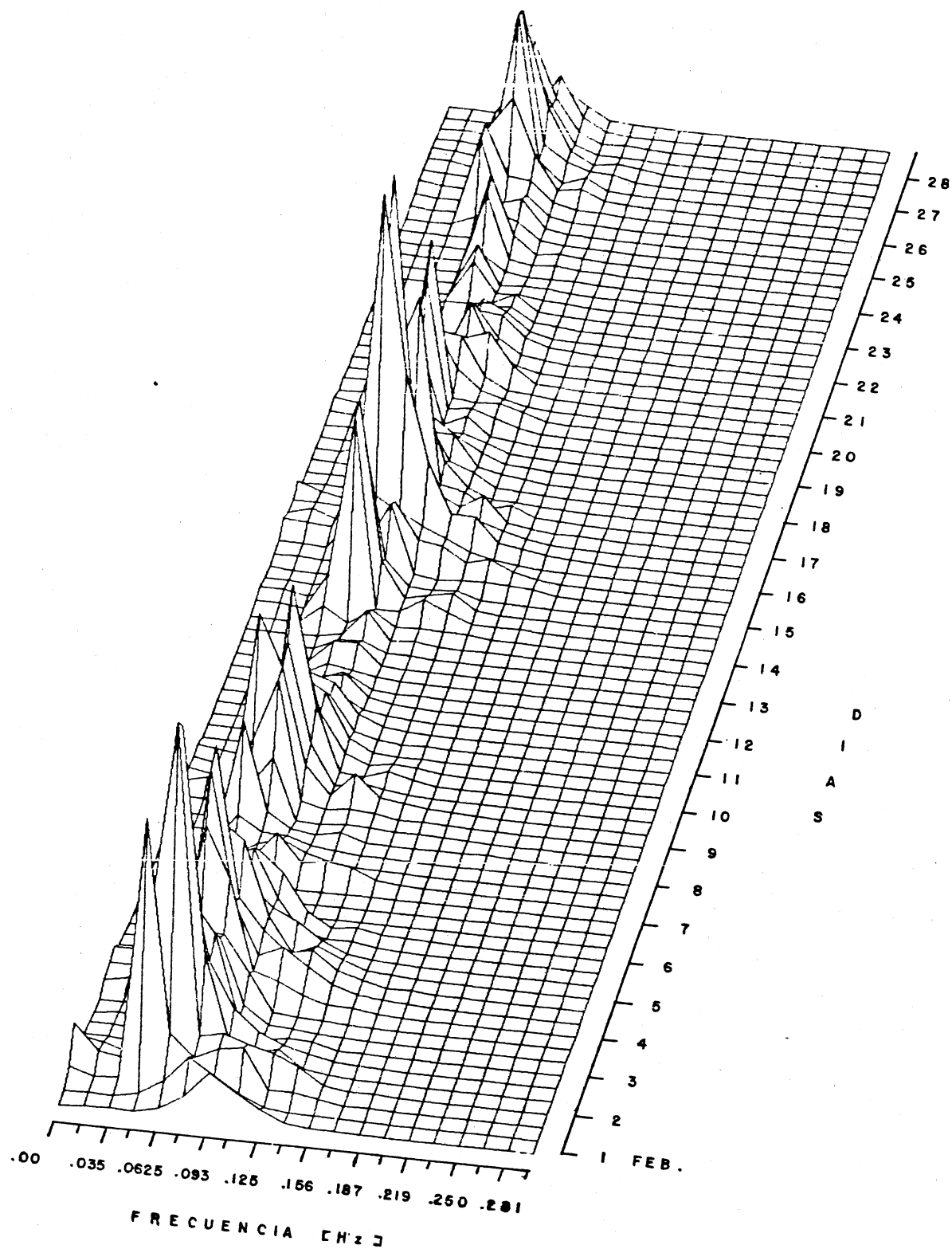


Figura 9. Espectros cualitativos de las fluctuaciones de presión para el mes de febrero de 1986.

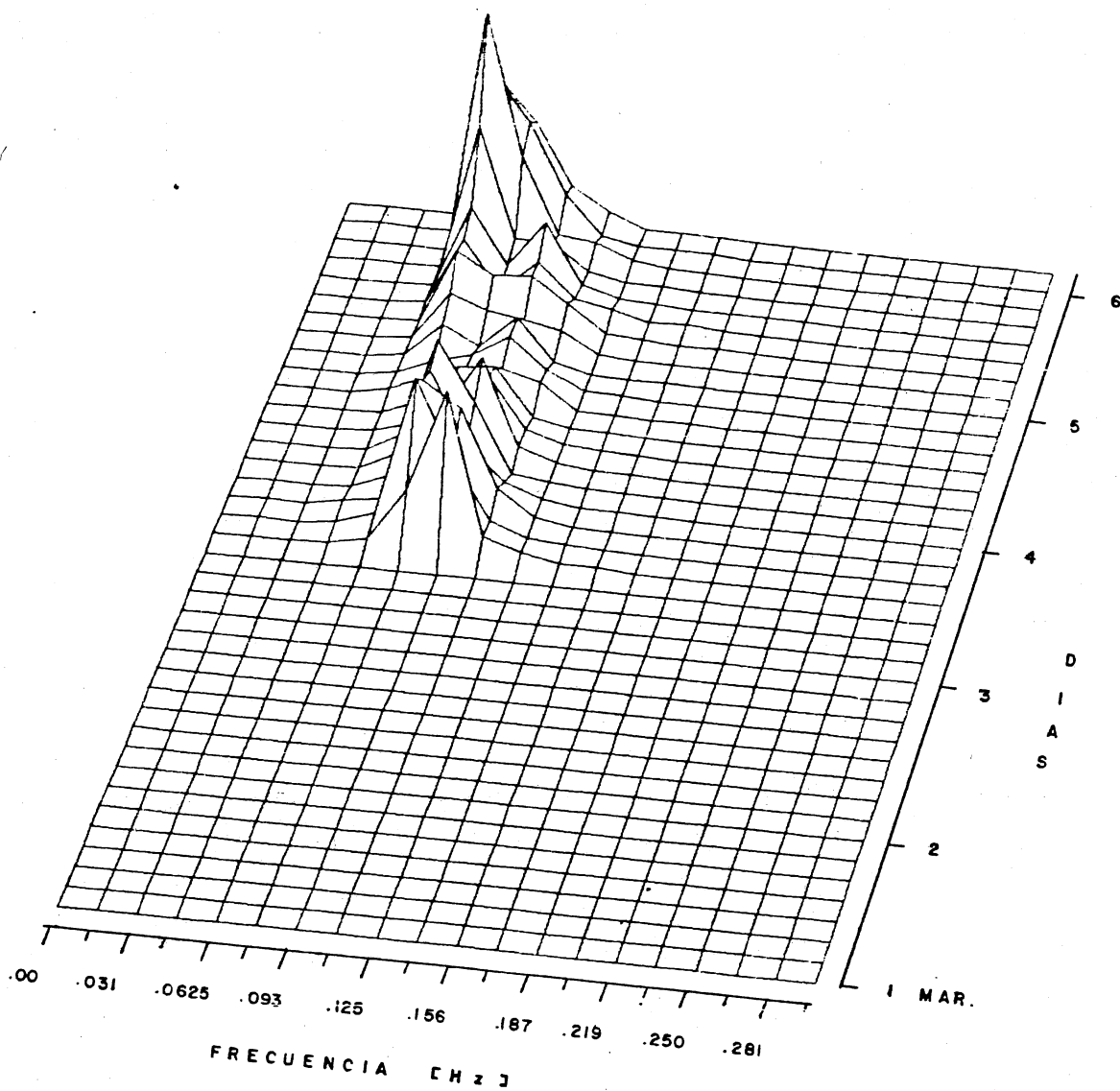


Figura 10. Espectros cualitativos de las fluctuaciones de presión para el mes de marzo de 1986.

en los días 11, 17 y 26 existen espectros bimodales, los picos principales se localizan entre los 0.0625 Hz y el otro entre los 0.125 y 0.172 Hz.

En el mes de diciembre (figura 7) se notan 4 eventos en los días 18, 22, 24, 29 y 31. Sobresalen el evento que comienza el día 22 con el pico principal en la banda de los 0.0625 Hz con un claro desplazamiento hacia altas frecuencias, y el evento del día 24 por ser el primer evento con oleaje en la banda de frecuencia de 0.047 Hz.

En enero (figura 8) se observa el incremento en la energía sobre todo a mitad del mes, se distinguen tres eventos claramente los días 5, 13 y 15, en estos dos últimos días los picos mayores se localizan en la banda de los 0.047 Hz.

En febrero (figura 9) son cinco eventos los que sobresalen, en los días 1, 4, 9, 16 y 26, el nivel de energía es muy superior en este mes a los anteriores, la mayor parte de la energía se concentra en la banda de los 0.0625 Hz, con picos importante en la banda de los 0.047 Hz.

En marzo (figura 10) el nivel energético decae y se observa que en el quinto día comienza otro evento, la energía se centra en los 0.0625 Hz.

La tabla I muestra el porcentaje de energía por banda de frecuencia, esta tabla se obtuvo promediando el total de los espectros de los registros disponibles, los espectros promediados no estaban corregidos por profundidad porque solo interesa observar la frecuencia más energética para el cálculo de la longitud de onda correspondiente.

Puede observarse que las frecuencias más energéticas son 0.063 y 0.078 Hz, respectivamente, entre las dos bandas aportan aproximadamente el 62% de la energía total, estas frecuencias se encuentran dentro de la banda del *swell* que va de 0.10 a 0.03 Hz, lo que hace evidente que esta banda fue la principal aportadora de energía en esta zona para el período de tiempo procesado. El aporte energético de frecuencias mayores es insignificante.

De la figura (11) a la (13) se tienen los niveles de potencia por día para los diferentes meses, se puede observar que ocurren variaciones con cierta periodicidad en el nivel de potencia. Para los meses de octubre y noviembre, (figura, 11), se observa que ocurre un máximo en la potencia cada cinco ó siete días, así por ejemplo, el primer máximo ocurre el día 22 de octubre, cinco días más tarde, día 27, ocurre otro máximo, luego el primero de noviembre y los siguientes el 6, 12, 18 y 25 de noviembre.

Tabla I. Contribución de cada frecuencia al total de la energía. Sin compensar por profundidad.

Frecuencia (Hz)	Porcentaje
0.0(<.016 Hz)	1.83
0.016	1.39
0.031	0.74
0.047	9.45
0.063	36.56
0.078	26.28
0.094	10.79
0.109	5.50
0.125	3.41
0.141	2.00
0.156	1.01
0.172	0.52
0.188	0.26
0.203	0.13
0.219	0.06
0.234	0.03
0.250	0.01
0.266	0.01
0.281	0.00

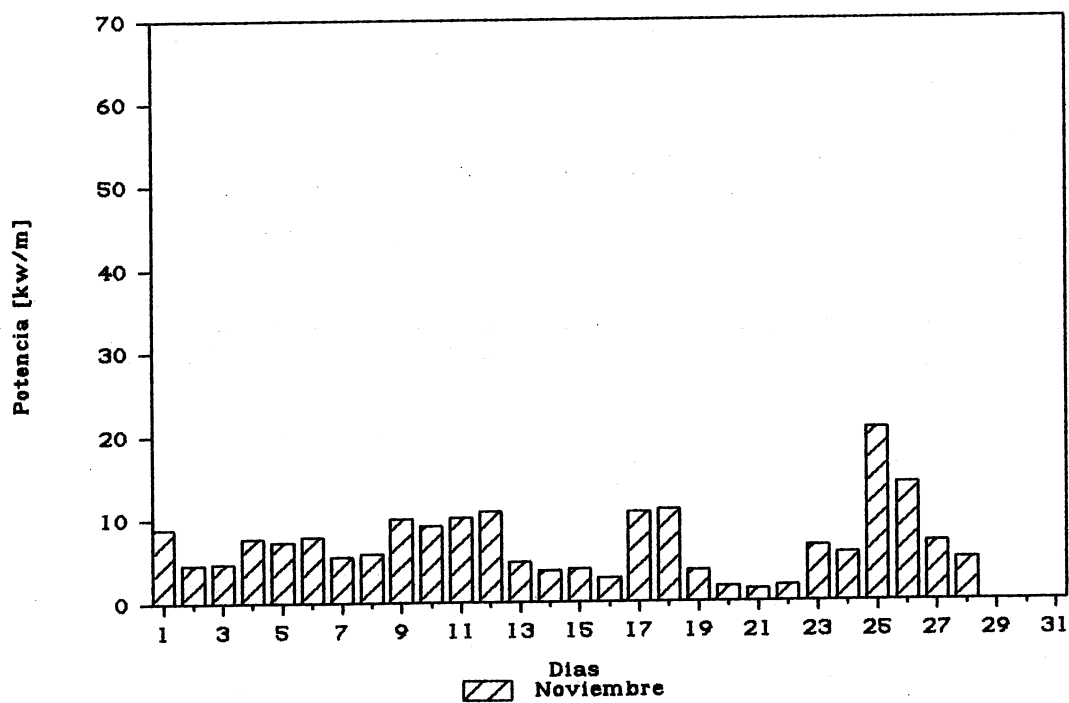
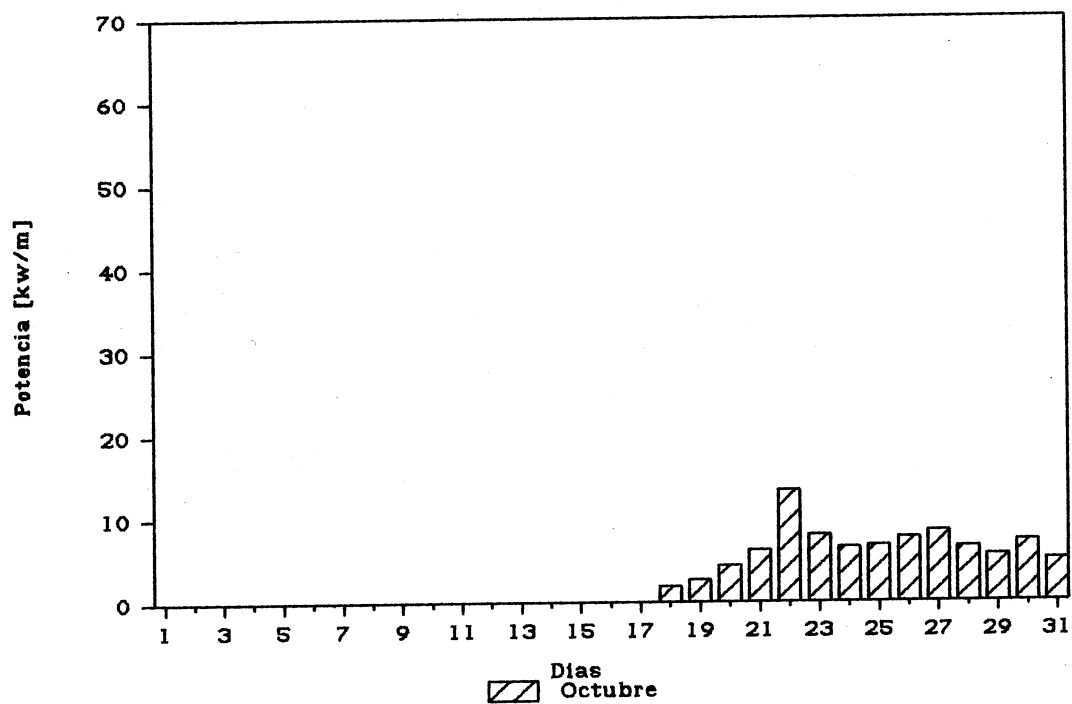


Figura 11. Niveles de potencia para los meses de octubre y noviembre de 1985.

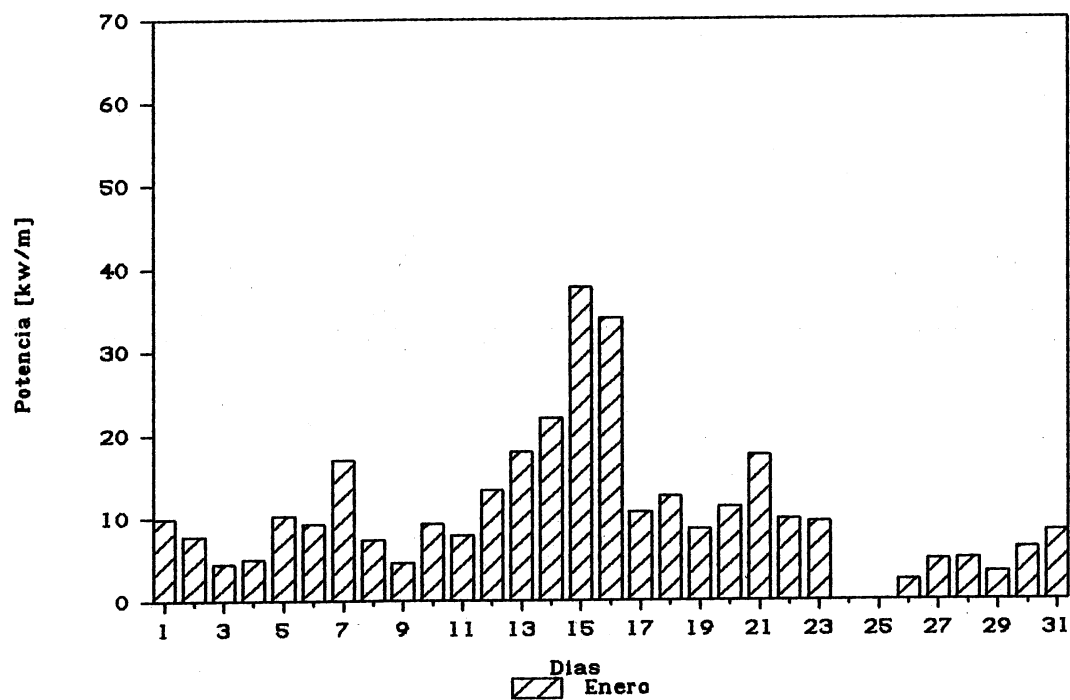
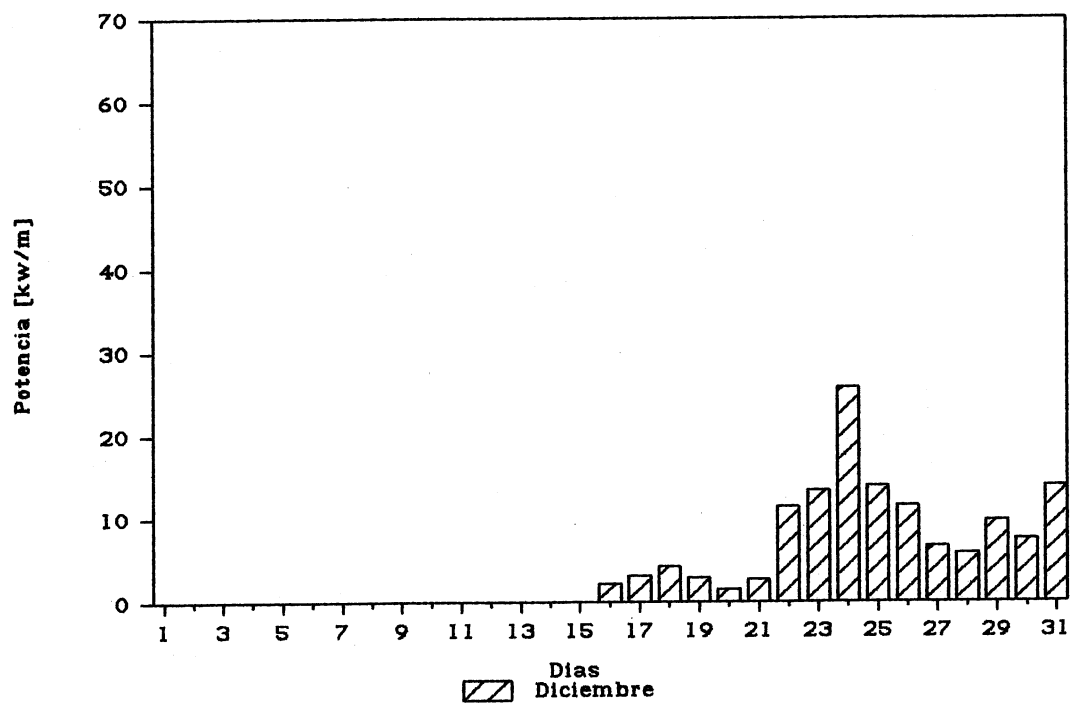


Figura 12. Niveles de potencia para los meses de diciembre de 1985 y enero de 1986.

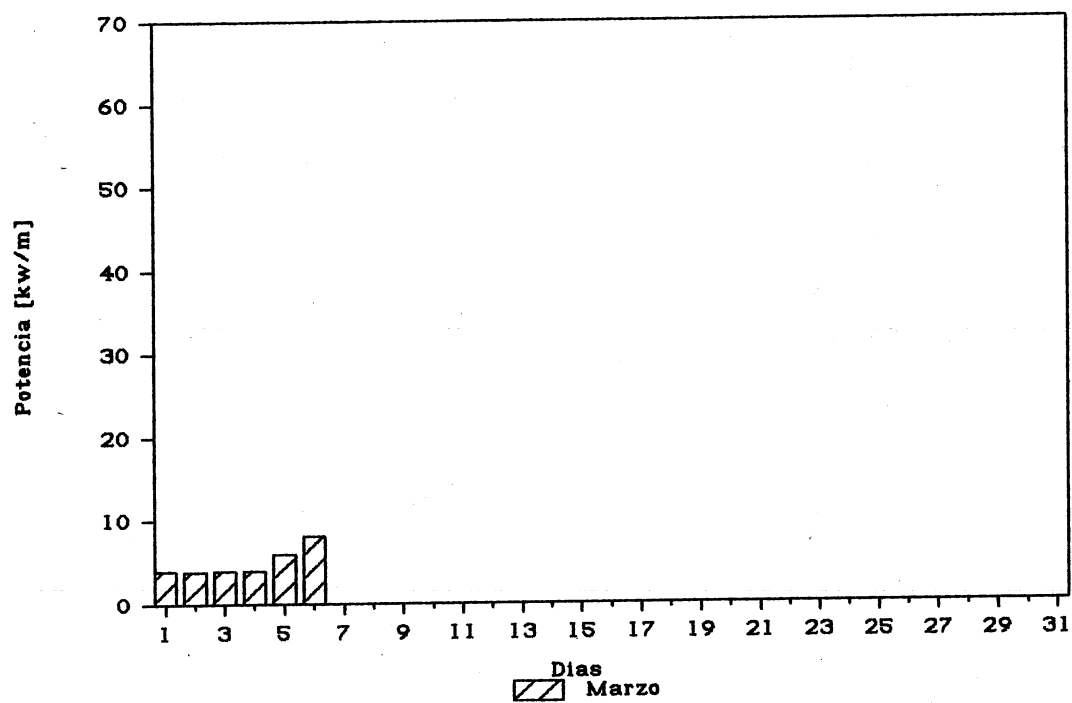
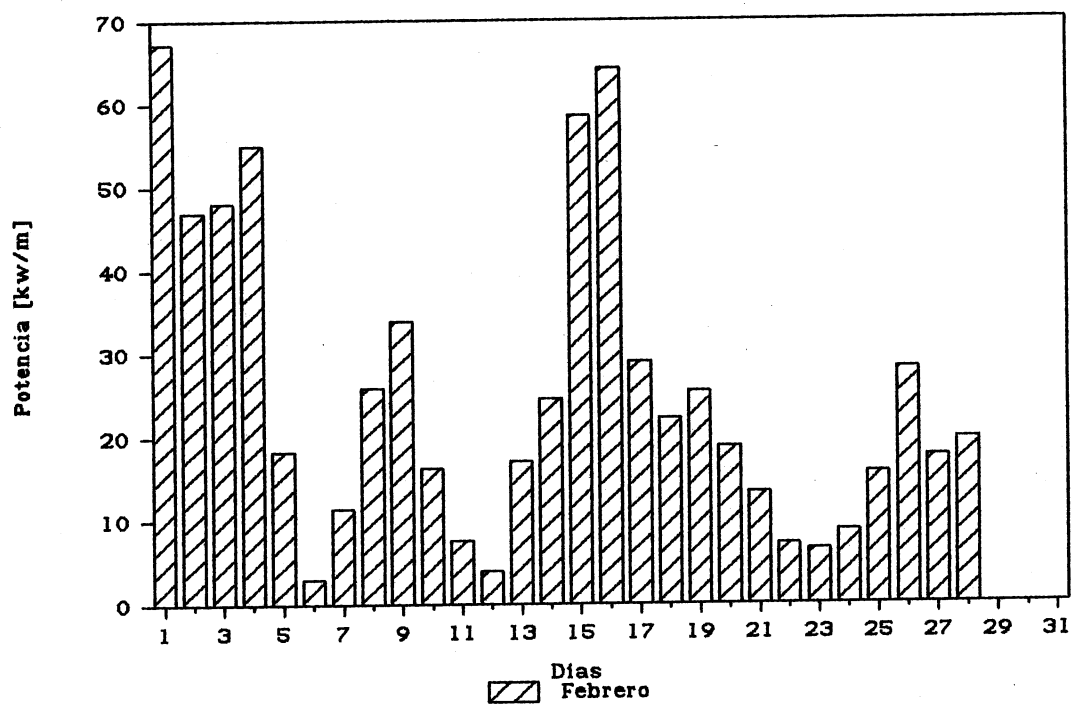


Figura 13. Niveles de potencia para los meses de febrero y marzo de 1986.

Continuando con esta variación en los meses de diciembre y enero, (figura 12), en febrero (figura 13) se rompe el patrón observado. Resalta de estos histogramas el hecho de que el nivel de potencia se va incrementando de octubre a febrero. Los máximos son cada vez mayores alcanzando en febrero la mayor potencia. En marzo sólo se cuenta con pocos días de información mas se observa la disminución de la potencia, (figura 13).

En la figura (14) se presenta la potencia promedio por mes, se observa la gran diferencia en potencia entre febrero y el resto de los meses registrados. Los valores son los siguientes: octubre 6.42 kw/m, noviembre 7.05 kw/m, diciembre 8.47 kw/m, enero 11.31 kw/m, febrero 25.51 kw/m y marzo 3.6 kw/m.

De la figura (15) a la (17) se tienen las direcciones principales del oleaje por registro, los ángulos son con respecto a un paralelo. Así, los ángulos positivos indican arribo de oleaje del suroeste y los ángulos negativos indican arribo de oleaje del noroeste.

En la figura (15) se tienen las direcciones principales de octubre y noviembre se observan oscilaciones alrededor de los cero grados. Para el mes de octubre la dispersión de ángulos con respecto al ángulo medio es de 65° como puede observarse en la figura (18a), existiendo aproximadamente la misma cantidad de registros de oleaje provenientes tanto del noroeste como del

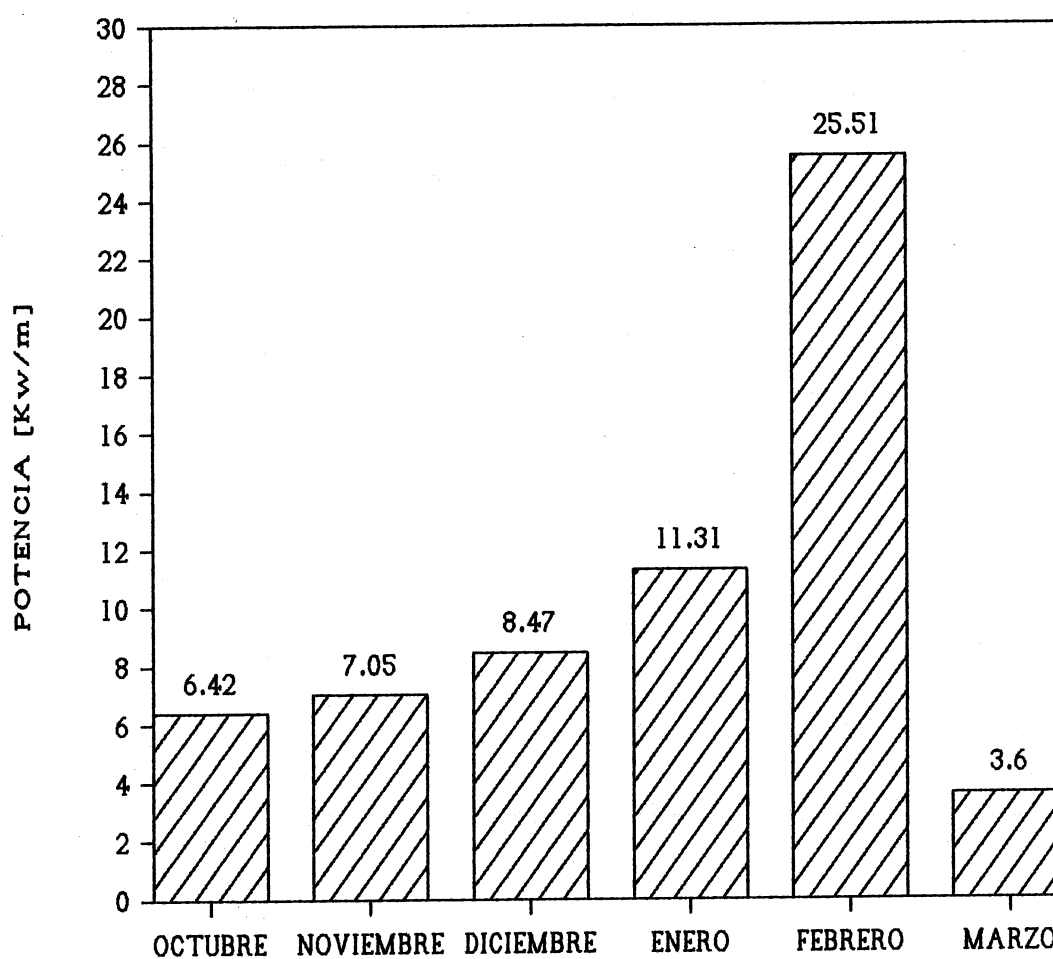


Figura 14. Potencia promedio mensual de octubre de 1985 a marzo de 1986.

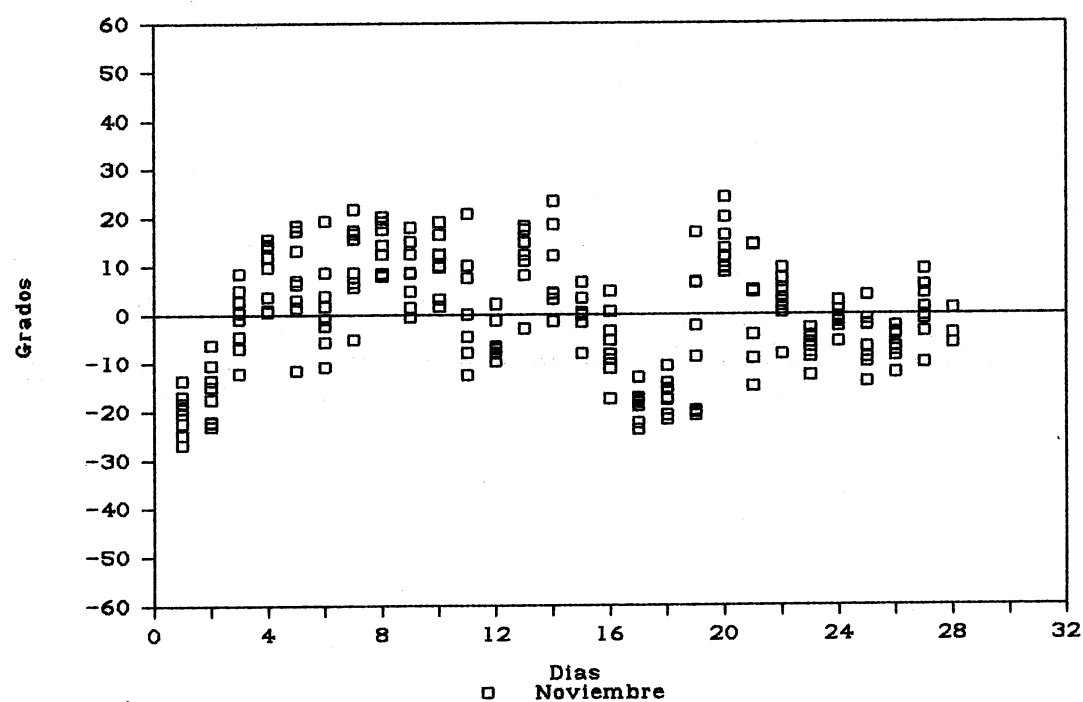
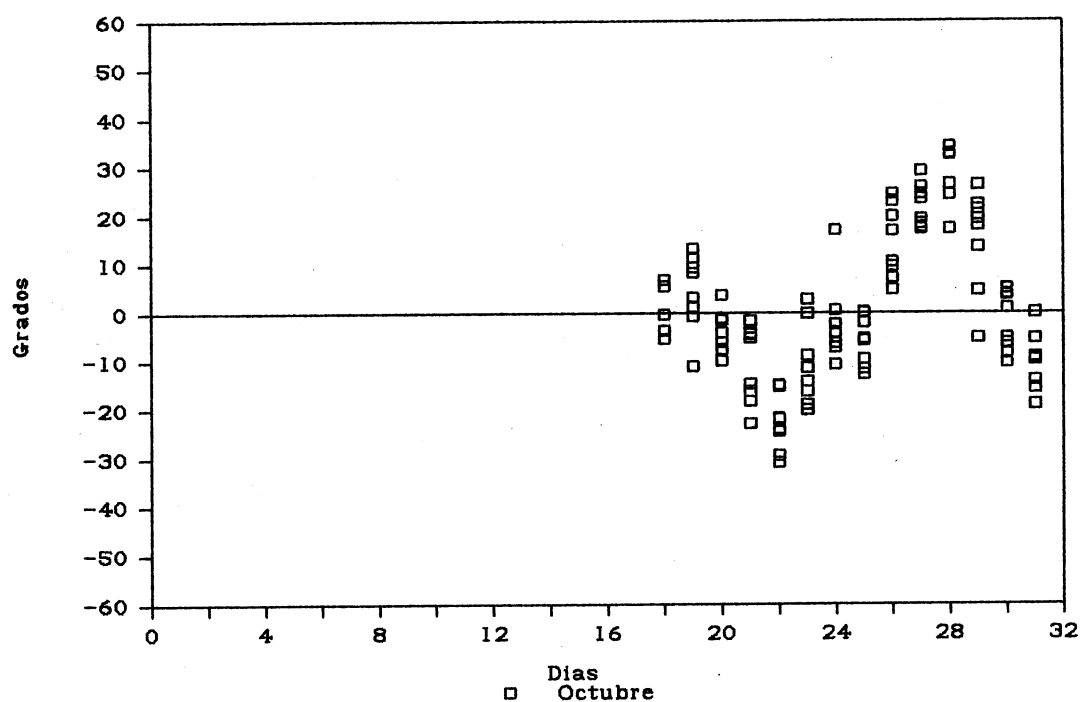


Figura 15. Direcciones principales del oleaje para los meses de octubre y noviembre.

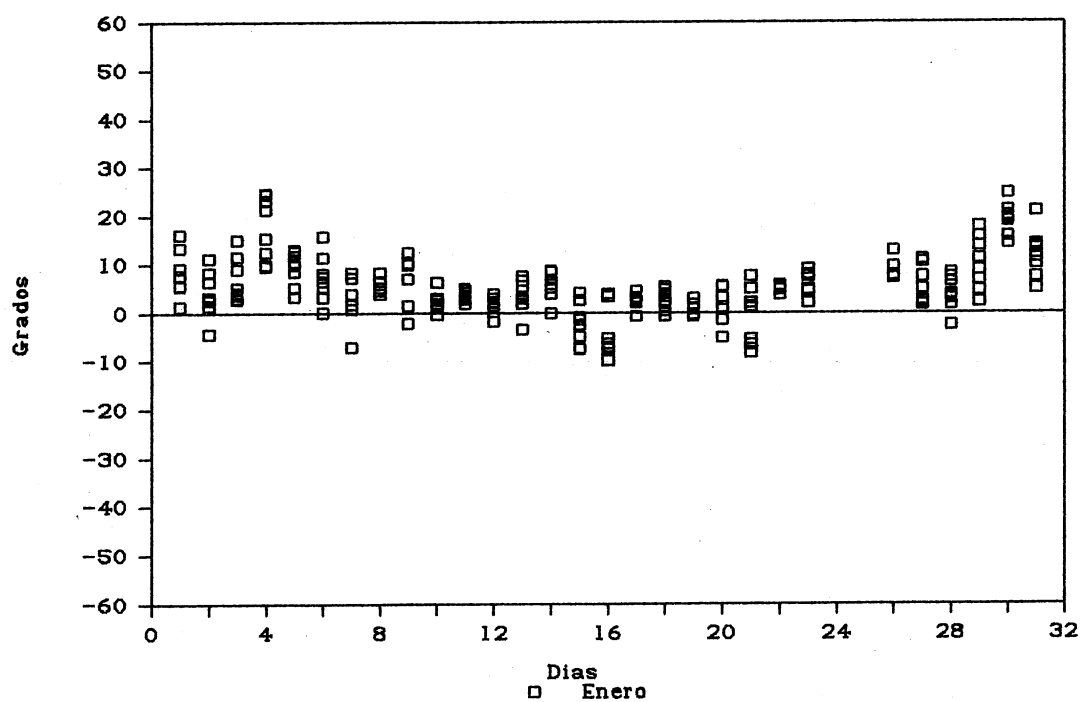
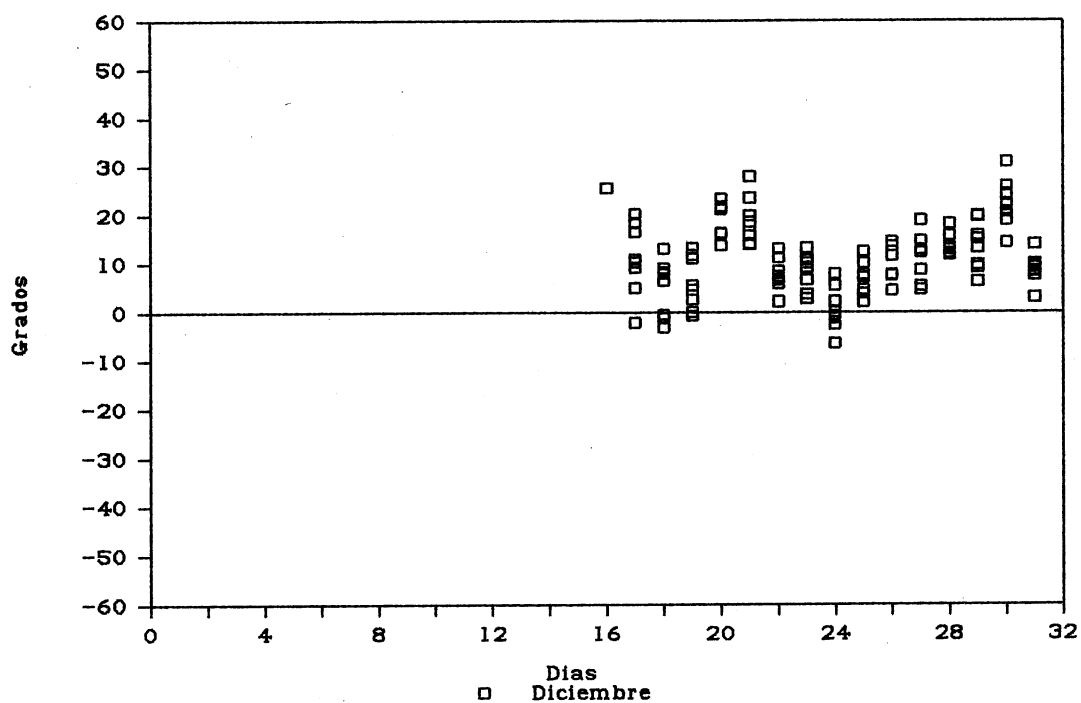


Figura 16. Direcciones principales del oleaje para los meses de diciembre 1985 y enero 1986.

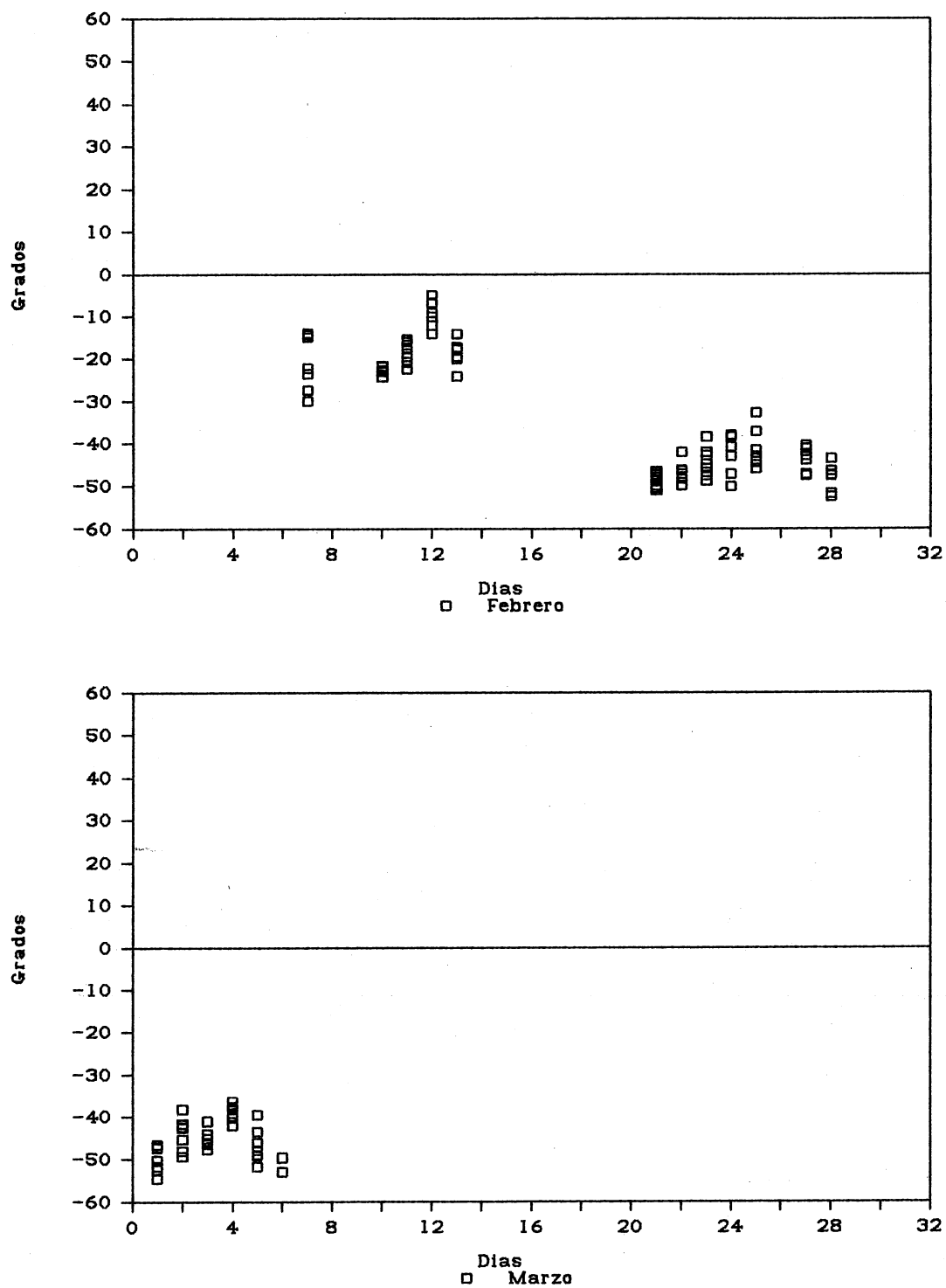
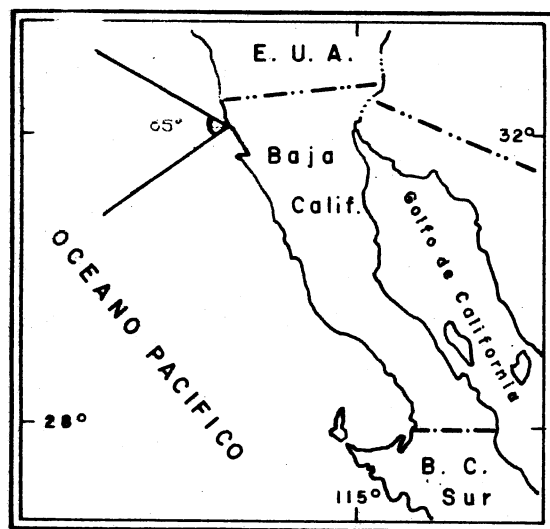
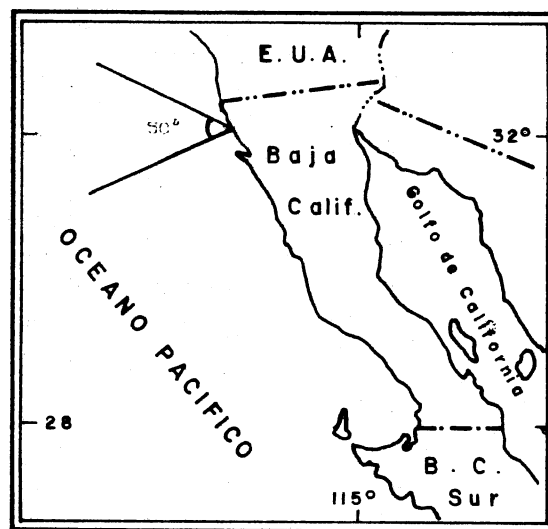


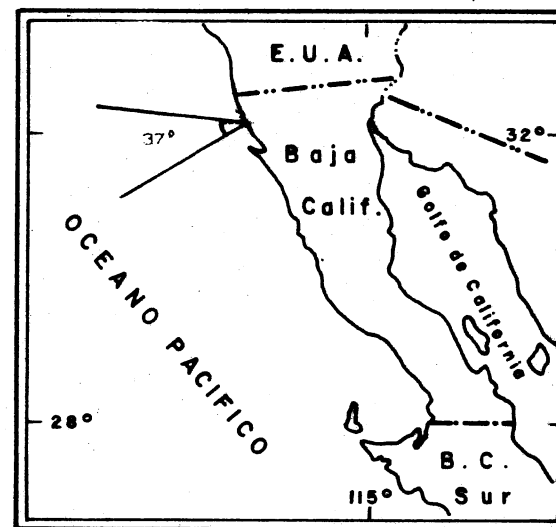
Figura 17. Direcciones principales del oleaje para los meses de febrero y marzo de 1986.



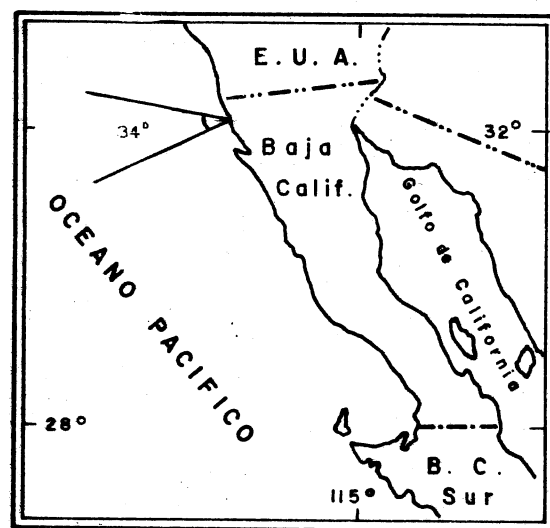
a) Octubre



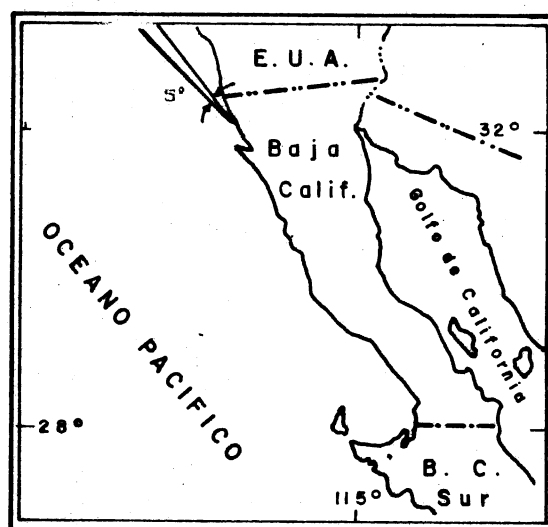
b) Noviembre



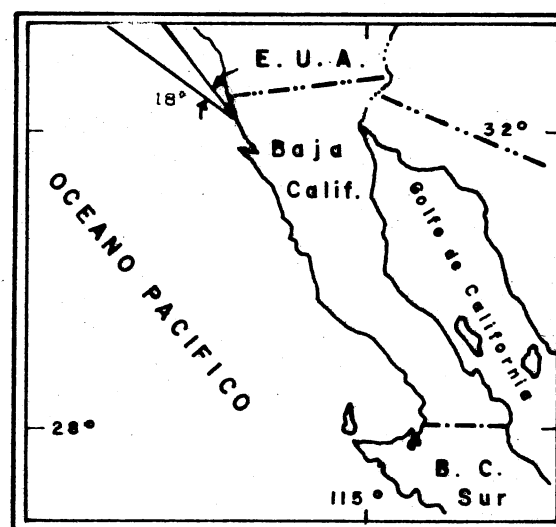
c) Diciembre



d) Enero



e) Febrero



f) Marzo

Figura 18. Dispersión de ángulos alrededor del ángulo medio.

suroeste. El oleaje más energético ocurrió el día 22 con un promedio de 13.3 Kw/h y sus direcciones principales estuvieron entre los -14.8° y los -30.8° noroeste.

En el mes de noviembre la dispersión de ángulos con respecto al ángulo medio es de 50° , (figura, 18b). Al igual que en octubre las direcciones del oleaje se alternan entre el noroeste y el suroeste. El oleaje más energético de este mes ocurrió el día 25 con 20.7 Kw/h en promedio y sus direcciones principales estuvieron entre los 3.9° suroeste y los -13.8° noroeste.

En el mes de diciembre, (figura, 16), la dispersión de ángulos es de 37° , como se observa en la figura (18c), y el oleaje más energético del mes, cuando menos en los registros disponibles, fue el día 24 con 25.7 Kw/h en promedio y sus direcciones principales estuvieron entre los -6.4° noroeste y 7.9° suroeste.

Para el mes de enero, (figura, 16), la dirección del oleaje se conserva principalmente suroeste, tendiendo a ángulos menores, hasta el día 19 donde tenemos una dispersión pequeña, la dispersión de ángulos es de 34.5° , (figura, 18d). El oleaje más energético del mes ocurrió el día 15 con 37.7 Kw/h en promedio y sus direcciones principales estuvieron entre los -7.5° noroeste y 4° suroeste.

En el mes de febrero, (figura, 17), todo el oleaje proviene del noroeste la dispersión de ángulos es de 47.4° , (figura, 18e). El oleaje más energético del mes ocurrió el día primero con 67.2 Kw/h en promedio, no se cuenta con la dirección correspondiente.

En el mes de marzo es donde existe la mínima dispersión, comparándolo con los meses anteriores, en este mes el oleaje proviene también totalmente del noroeste, aunque hay que hacer énfasis de que sólo se cuenta con seis días de registros, esta dispersión es de apenas 18.4° , (figura, 18f), el día más energético es el sexto día del mes con 8.1 Kw/h en promedio y cuyas direcciones están entre los -53.0° y -49.6° noroeste.

En la figura (19) se presentan las alturas significantes obtenidas a partir del espectro, en general se comportan igual que los niveles de potencia, y esto es lógico ya que la potencia es directamente proporcional al cuadrado de la altura del oleaje, entonces donde tengamos un máximo de potencia, es que existe un máximo en la altura significativa del oleaje.

La banda de frecuencia asociada con el oleaje de mayor energía durante el período de tiempo analizado fue 0.0625 Hz y su longitud de onda asociada se calculó utilizando la ecuación (5), de donde tenemos que $\lambda = 154.2$ m.

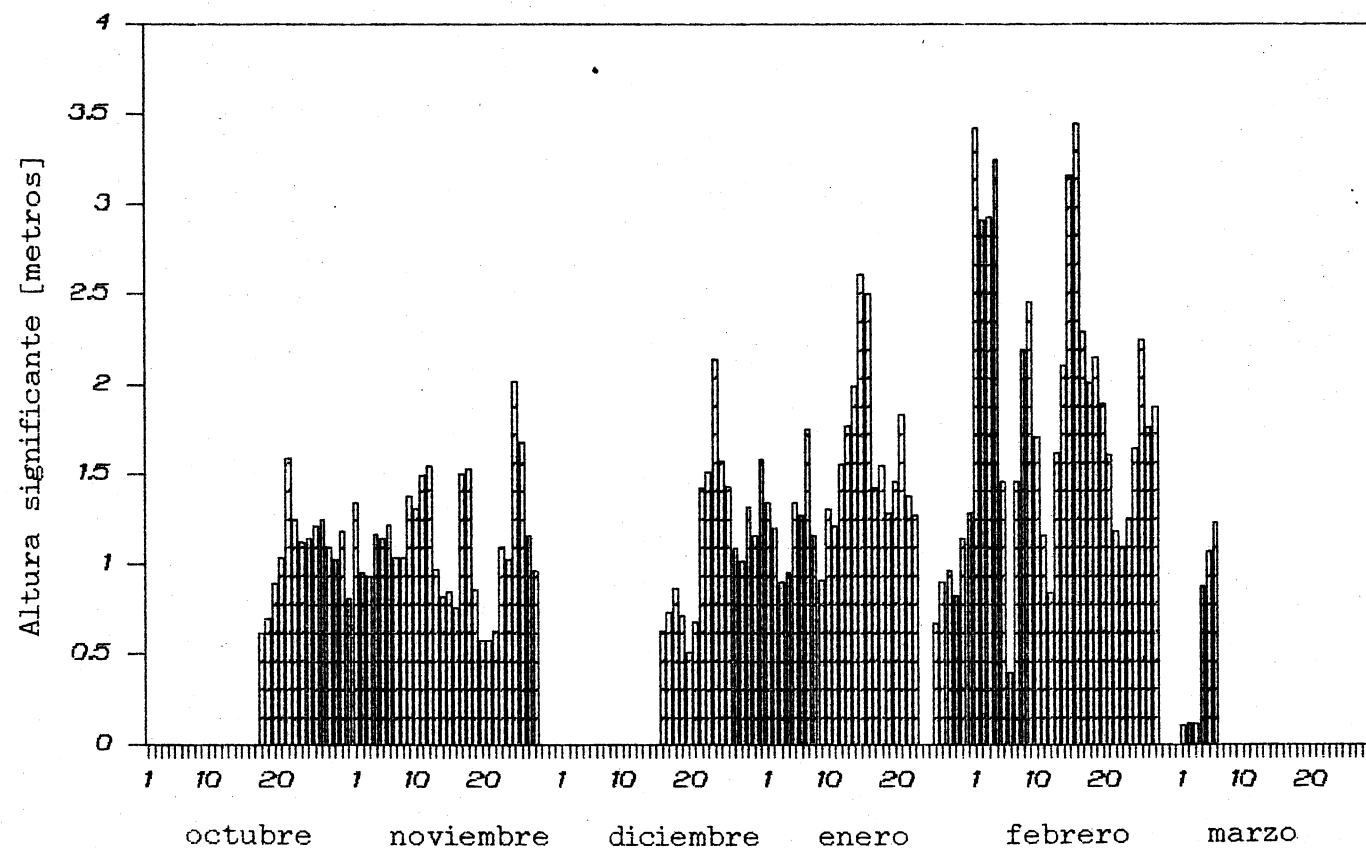


Figura 19. Alturas significantes de octubre 1985 a marzo 1986.

De resultados obtenidos por Salter (1976), citado por McCormick (1981), $\lambda/R_2=20$.

$$R_2 = \frac{\lambda}{20} = \frac{154.2}{20} = 7.71 \text{ m.}$$

El calado d del *Nodding Duck* es:

$$d = 2R_2 = 2(7.71) = 15.42 \text{ m.}$$

Este calado es mayor que la profundidad de muestreo, así que cambiaremos la profundidad de instalación del aparato de extracción de energía a 25 m; recalculando la longitud de la ola de diseño a esa profundidad, tenemos que

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi}$$

Donde L_0 es la longitud de onda en aguas profundas, T el período del oleaje más energético que es 16 segundos, con esto L_0 es igual a 399.3 m.

$$\frac{h_1}{L_0} = \frac{25}{399.3} = 0.06261$$

donde h_1 es la nueva profundidad, de la tabla C-1 del Shore Protection Manual (1984) tenemos:

$$\frac{h_1}{L} = 0.1073; L = \frac{h_1}{0.1073}; L = 233.0 \text{ m.}$$

Haciendo $\lambda = L = 233.0$ entonces tenemos que:

$$R_2 = \frac{\lambda}{20} = \frac{233.0}{20} = 11.65m.$$

ahora el calado del *Nudding Duck* es:

$$d = 2R_2 = 2(11.65) = 23.3m.$$

El radio de la panza R_0 es:

$$R_0 = 0.0937\lambda \exp\left(\frac{2\pi Z}{\lambda}\right) = 11.65m.$$

donde $Z = -2R_2 = -23.3 \text{ m}$.

Tomando la consideración de McCormick (1981) que el centro de masa se localiza de tal modo que r_D y R_D coinciden, donde $r_D = 0.3R_D$, refiriéndonos a la figura (4).

La longitud de la parte superior plana en el agua es:

$$L_D = R_D \cos(A) = \sqrt{R_D^2 - R_2^2},$$

donde $R_D = [R_0]_{Z=0} = 21.83 \text{ m}$

obtenido con la ecuación (4.79) de McCormick (1981)

$$R_2 = 11.65m.$$

Entonces :

$$L_D = \sqrt{(21.83)^2 - (11.65)^2} = 18.46m.$$

$$A = \cos^{-1}\left(\frac{L_D}{R_D}\right) = 32.3^\circ$$

Se efectúa una modificación remplazando la curva de la panza ideal descrita por R_0 en la ecuación (4.79) de McCormick (1981) por un arco circular de radio: $R_0 = 1.5R_2$

Con las modificaciones hechas al R_0 tenemos $R_0 = 1.5R_2 = 17.47 m.$

Con origen en O' en $Z = -R_2/2 = -5.8 m.$, como se presenta en la figura (4), la curva de la panza modificada se extiende sobre los 80° . Entre el final superior del arco y el pico esta una línea tangencial al arco.

Usando esta geometría modificada y empleando las suposiciones dadas por Salter (1976) en McCormick (1981), de que la masa (M) del aparato es igual a la masa de agua desplazada y que la anchura del *Duck* es $B = 2R_2 = 23.3 m.$, se tiene que la masa desplazada es:

$$M = \rho B \left\{ \frac{\pi R_2^2}{2} + 0.222\pi(R_0)^2 + 0.5(R_0)^2 \sin(10^\circ) [\cos(10^\circ) + \tan(10^\circ)] + \frac{R_2 L_D}{2} - L_D^2 \tan(10^\circ) \right\}$$

Lo cual nos da $M = 7.25 \times 10^6 \text{ Kg}$.

Salter (1976) en McCormick (1981) supone además que el momento de inercia de la masa I , es igual al momento de inercia de la masa agregada, esto es, el segundo término de la ecuación (4.84) en McCormick (1981), ahora se puede determinar la

frecuencia natural del sistema empleando la ecuación (16):

$$f_D = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\frac{1}{3}\rho g L_D^3 B - M g (0.3 R_D) \sin(\Lambda)}{2\left(\frac{1}{32}\pi \rho B \left[\left(\frac{L_D}{\cos(\Lambda)}\right)^2 - R_D^2\right]^2\right)}} = 0.034 \text{ Hz}; T = 29.3 \text{ seg.}$$

La frecuencia natural del aparato y la frecuencia más energética del oleaje no es la misma, para hacerlas iguales se cambia de posición el centro de masa r_D .

$$r_D = 0.2618 R_D$$

Con esto la frecuencia natural del sistema es $f_D = 0.0625 \text{ Hz}$ entonces:

$$f_D = f_{oleaje} = 0.0625 \text{ Hz}$$

La potencia del oleaje desde $z=-d$ a la superficie libre se obtiene de la expresión:

$$P_D = \frac{\rho g H^2 c B}{16} (1 - \exp(-2kd))$$

Donde H es la altura del oleaje, c es la velocidad de fase de la ola, B ancho considerado.

La potencia total se obtiene de:

$$P = \frac{\rho g H^2 c B}{16}.$$

El porcentaje de la potencia disponible para el *Nodding Duck* es entonces:

$$\frac{P_D}{P} = (1 - \exp(-2kd)).$$

donde:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{233.0} = 0.0267$$

$$d = 23.3$$

entonces:

$$\frac{P_D}{P} = (1 - \exp(-2(0.0267)(23.3)))$$

$$= (1 - 0.288)$$

$$= 0.711 \text{ o } 71.1\%$$

de la potencia total.

En la tabla II se muestran las medidas del *Salter's Duck* a partir de las características del oleaje en Rosarito.

Tabla II. Medidas del *Salter's Duck*.

L _D	18.46 m
R _D	21.83 m
R ₀	11.65 m
R ₂	11.65 m
λ	32.3°
r _D	7.71 m
d	23.3 m
λ_0	17.47 m
B	23.3 m
M	7.25x10 ⁶ Kg
f _D	0.0625 Hz
p _D	71.1 %

5 DISCUSIONES

Los espectros cualitativos, (figuras 5 a la 10), muestran los cambios que tiene el pico espectral en el tiempo (días) y en las distintas frecuencias. Primero arriba a la costa el oleaje de bajas frecuencias luego el de altas, debido a las diferentes velocidades con que viajan, esto es predicho por la relación de dispersión, y es más evidente esta separación entre más lejana ocurra de la costa la tormenta, ya que da más tiempo para que las diferentes frecuencias se separen más. Este fenómeno se observa claramente en la figura (7) en el mes de diciembre del día 22 al 24.

Se observan espectros bimodales durante los meses de noviembre, (figura 6) y febrero, (figura 9), la presencia de este tipo de espectros es, a menudo, indicativo del arribo de trenes de ondas con diferentes períodos, alturas y direcciones, aunque ocasionalmente representan el mismo tren de ondas generado por la misma tormenta, sobre todo cuando las olas son muy picudas, (Thompson, 1980). El método utilizado en este trabajo no es capaz de determinar si el oleaje que causa el pico secundario es o no independiente del oleaje que causa el pico principal o primario.

Se observa un predominio de las frecuencias bajas a lo largo de toda la serie de datos, ocurriendo eventos extraordinarios donde llega oleaje de 0.047 Hz (21 segundos de

período), en enero (figura 8) y febrero (figura 9), el principal aportador de energía es el *swell* (tabla I) lo cual concuerda con resultados obtenidos por Martínez y Nava (1987), en la Bahía de Todos Santos, 80 km al sur de Rosarito.

Es importante hacer notar que el oleaje que arribó en el mes de febrero es el causante de que la principal banda de frecuencia sea la de 0.0625 Hz, debido a la gran cantidad de energía centrada principalmente en esa banda ya que de octubre a enero y marzo las frecuencias pico se localiza entre los 0.078 y 0.093 principalmente.

En los niveles de potencia observamos un pequeño aumento de octubre a enero y un drástico aumento en el mes de febrero, esto se debe al ciclo de tormentas que se presentan en invierno, (González y Cupúl, 1986). Con lo que se pone de manifiesto que el mes de año donde el oleaje es más energético es el de febrero, para el mes de marzo la potencia decae.

Puede haber una conexión entre la variación periódica de los máximos en los niveles de potencia y la periodicidad en la presión atmosférica que es aproximadamente de una semana, esta periodicidad en la presión atmosférica fue obtenida por González (1988), para la región de Ensenada, B.C.

Las direcciones del oleaje se alternan entre noroeste y suroeste en octubre y noviembre, existiendo una relación entre los máximos de potencia y direcciones principales del noroeste, (figura, 15). En diciembre y enero, (figura, 16), la mayoría del oleaje viene del suroeste. Para los máximos de potencia en enero la dirección predominante es noroeste.

Para el mes de febrero, (figura, 17), el oleaje en los días analizados proviene en su totalidad del noroeste, *Coastal Data Information Program*, (1986) en su reporte establece el dominio total del oleaje que proviene del noroeste, sólo se pudo hacer cálculos de dirección para doce días ya que hubo oleaje extremo (muy alto) y el sensor de rapidez tomó datos de mala calidad, en marzo el oleaje conserva su dirección noroeste.

Para el cálculo de la dirección en los meses de febrero y marzo, (los ángulos de arribo más grandes), se utilizó la regresión lineal ya que en ángulos cercanos, por arriba o por abajo, de los 45° la técnica de Nagata (1964) es inconsistente.

La dirección promedio predominante del oleaje registrado en la estación para los meses analizados es suroeste, sin embargo, este dato no puede utilizarse para fines prácticos pues los eventos energéticos importantes están asociados a eventos del noroeste como sucede en el mes de febrero.

En cuanto a las alturas significantes obtenidas de cada mes desde octubre a enero (figura 19), las alturas máximas entre 1 y 2.5 metros están relacionadas con frecuencias alrededor de los 0.078 Hz, para febrero es evidente la relación que existe entre las alturas máximas y frecuencias muy bajas con valores en las bandas que van de los 0.047 a 0.0625 Hz. Para marzo las alturas máximas vuelven a ocurrir en frecuencias de los 0.078 Hz.

En las características del *Salter's Duck* d valía 15.42 m en la profundidad de muestreo, esto, obviamente traería problemas al colocar tal aparato, así que se decidió por un lugar con una profundidad de 25 metros lo cual trae como consecuencia un cambio en la longitud de la ola más energética.

6 CONCLUSIONES

El oleaje más energético en la zona de estudio fue el *swell* cuyas características son las siguientes: a) banda de frecuencia 0.0625 Hz. b) longitud de onda en la zona de 10 metros de profundidad 154.2 metros. c) longitud de onda en la zona de 20 metros de profundidad 233.0 metros. d) aporte del total de la energía 36.56%.

Las direcciones de arribo se alternan entre suroeste y noroeste, sin embargo el oleaje más energético proviene del noroeste entre los -5.0° y -52.4° .

La distribución de la potencia en el tiempo va de menor a mayor de octubre a febrero siendo este mes el de mayor potencia con 25.51 kw/m en promedio.

El aparato de extracción de energía se colocaría en la isóbata de los 25 metros, no existen evidencias de una dirección preferencial de arribo del oleaje como para darle una orientación al aparato de extracción de la energía.

7 LITERATURA CITADA

- Bendat, J. S., Piersol, A. G., 1971.** Random Data: Analisis and Measurement Procedures. John Willey & Sons, Inc. New York, N.Y. USA. 327 pp.
- Brigham, E. O., 1974.** The Fast Fourier Transform. Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs, N. J. 228 pp.
- Carmichael, A. D., 1978.** An experimental study and engineering evaluation of Salter Cam Wave Energy Converter. Report No. MITSG 78-22. Sea Grant College Program. Massachusetts Institute of Technology. Cambridge, Massachusetts. 02139.
- Constans, J., 1979.** Marine Sources of Energy. Pergamon Press United Nations. 89 pp.
- Crisp, G. N., Scott, M., 1981.** The spatial distribution of wave power on the western UK coast. Second International Symposium on Wave and Tidal Energy. September 23-25, 1981. Held at St. John's College, Cambridge, England.
- Dean, R., Dalrymple, R., 1984.** Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists. Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey 07632.
- Delgado, Gonzalez, O., Ortíz, Figueroa, M. 1985.** Comparación entre registros de oleaje obtenidos de una boya y dos sensores de presión. Reporte Técnico Instituto de Investigaciones Oceanológicas, (I.I.O.) 59 pp.
- Doneland, M. A., Hamilton, J. and Hui, W. H., 1985.** Directional spectra of wind-generated waves. Phil. Trans. R. Soc. Lond. 509-562.
- Evans, D. V., 1976.** A theory of wave power absorption by oscillating bodies. Journal of Fluids Mechanics. Vol. 77, part 1. 1-25.

- González, Calvillo, A., Cupul, Magaña, L. 1986.** Causas de erosión en playas de Tijuana, B. C. durante el período 1975-1985. Revista de Ciencias Marinas publicada por el Instituto de Investigaciones Oceanológicas, (I.I.O.) UABC. Vol. 12, No.3. 90 pp.
- Kinsman, B. 1965.** Wind Waves. Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey. 667 pp.
- Larios, Castillo S., 1989.** Relación entre el viento y el oleaje a partir de observaciones en San Felipe, B.C. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas, UABC.
- Longuet-Higgins, M. S., D. E. Cartwright, and N. D. Smith., 1963.** Observations of the directional spectrum of sea waves using the motions of a floating buoy, Ocean Wave Spectra, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- Maeda, H., 1985.** Technology of wave energy utilization. First Symposium of wave energy utilization in Japan. Ocean Engineering. Vol. 12, No. 6. 547 pp.
- McCormick, E. M., 1973.** Ocean Engineering Wave Mechanics. John Wiley & Sons, Inc. New York, USA.
- _____, 1979. Ocean wave energy concepts. Proceedings, Oceans '79 Conference (MTS-IEEE), San Diego, 553-558.
- _____, 1981. Ocean Wave Energy Conversion. John Wiley & Sons, Inc. New York, USA.
- _____, 1986. Ocean wave energy conversion. Sea Technology. Vol. 27, No.5, 32-34. June.
- Martínez, A., Nava, B. C., 1987-4.** Estadísticas del oleaje en las costas de Baja California. Reporte Técnico. Instituto de Investigaciones Oceanológicas, (I.I.O.) 12 pp.

- Nagata, Yutaka., 1964.** Observations of the directional waves properties. Coastal Engineering in Japan. Vol 7, 11-30.
- Ortega, Rivera, A., 1989.** Determinación de la dirección del oleaje en Rosarito, B.C., México e importancia en la administración de zona costera. Tesina de especialidad en Administración de Recursos Marinos. Facultad de Ciencias Marinas, UABC.
- Panicker, N. N., 1976.** Power resource estimate of ocean surface waves. Ocean Engineering. Vol.3, No.6, 429-439.
- Coastal Data Information Program, 1986.** US Army Corps of Engineers. California. Department of Boating and Waterways. February.
- Srokosz, M. A., Evans, D. V., 1979.** A theory of wave power absorption by two independently oscillating bodies. Journal Fluids Mechanics. Vol. 90 part 2. 337-362.
- Salter, S. H., 1974.** Wave power. Nature, Vol. 249, No. 5459, 720-724. June.
- Serman, D. D., 1978.** Theory of Salter's wave energy device in random sea. Massachusetts Institute of Technology.
- Serman, D., Mei C. 1980.** Note on Salter's energy absorber in random waves. Ocean Engineering, Vol.7, No.4, 477-490.
- Swift-Hook, D. T., Count, B.M., Glendenning, I., Salter, S., 1975.** Characteristics of a rocking wave power device. Natural, Vol. 254, 504-506. John Wiley & Sons, Inc. USA.
- Thompson, E. F., 1980.** Interpretation of wave energy spectra. Coastal Engineering Research Center. U.S. Army. Report No. CETA 80-5.
- U.S. Army Corps of Engineers., 1984.** Shore Protection Manual. Vol.2, Washington, D.C.