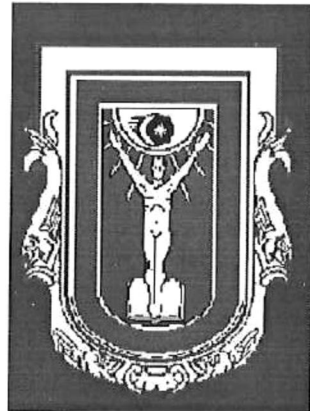


Universidad Autónoma de Baja California

Facultad de Ciencias Marinas



Descripción del clima del oleaje para las costas Mexicanas del Océano
Pacífico en los Estados de Baja California, Colima, Michoacán y Guerrero.

TESIS

Que para obtener el título de Oceanólogo presenta

Fernando Oropeza Rosales

Ensenada, B.C. Junio de 1998

RESUMEN

Se procesan datos de oleaje del 28 de octubre de 1983 al 11 de enero de 1994 contenidos en cintas magnéticas, adquiridos por medio de ológrafos automáticos, en las costas mexicanas del Océano Pacífico, frente a los estados de Baja California, Colima, Michoacán y Guerrero.

Se describe el procesamiento desde la lectura de los datos hasta el análisis de los resultados, pasando por las diferentes etapas de control de calidad. Se aplican los procedimientos de transformación de los datos de formato hexadecimal a formato decimal en unidades ingenieriles y se realiza el análisis matemático, estadístico y espectral de los datos.

Se emplea el algoritmo de la transformada rápida de Fourier (FFT), para calcular la cantidad de energía contenida en el oleaje (Brigham, 1974). Utilizando 16 bandas de frecuencia, equivalentes a 32 grados de libertad, con una resolución espectral de 0.03125 Hz.

Se utiliza el estimador de espectro direccional (Longuet-Higgins, 1963) (Nagata, 1964), para calcular la energía contenida en el oleaje relacionada con las diferentes direcciones de propagación.

Se calculó la densidad de probabilidad de alturas, períodos y conjunta empleando el modelo propuesto por Longuet-Higgins (1975).

Se encontró que del banco original de datos solo se pudo recuperar el 55.17 %, los valores máximos de altura medidos están entre 245.74 y 585.88 cm, los valores máximos de período entre 58.0 y 190.0 s, los valores promedio de altura se encuentran entre 21.67 y 74.27 cm, los valores promedio de período se encuentran entre 10.13 y 13.95 s. Los ángulos medidos muestran direcciones de propagación norte, noreste, este, sureste y sur. El espectro de densidad de energía es bimodal en 5 de los sitios de estudio y unimodal en otros 5. La densidad de probabilidad conjunta de alturas y períodos se encontró en un rango de períodos entre 0 y 30 s y a un rango de alturas entre 0 y 110 cm.

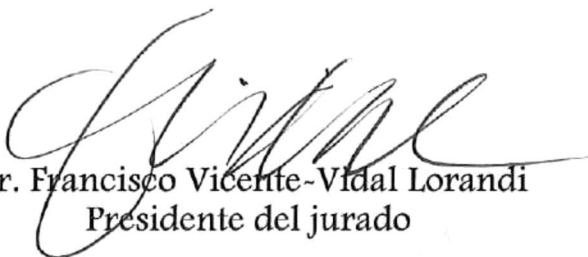
Descripción del clima del oleaje para las costas Mexicanas del Océano
Pacífico en los Estados de Baja California, Colima, Michoacán y Guerrero.

TESIS

Que para obtener el título de Oceanólogo presenta

Fernando Oropeza Rosales

Aprobada por:



Dr. Francisco Vicente-Vidal Lorandi
Presidente del jurado



M.C. Rafael Hernández Walls
Sinodal Propietario



Oc. Rafael García Krasovsky
Sinodal Propietario

DEDICATORIA

A Mónica, por tu paciencia, aliento, tenacidad e inmenso amor, pues tu eres mi razón de existir.

A mi madre, por ser esa estrella que siempre alumbra mi camino.

A mi padre, por tu ejemplo de vida que me hace ver la mía siempre positivamente.

A mis hermanos Elen, Carlos y Dulce que siempre me han dado su amor incondicionalmente.

A mis sobrinos, Grecia, Samanta, Samuel, Dulce y el próximo por que han llenado mi vida de felicidad y ternura.

los amo muchísimo.

AGRADECIMIENTOS

A los doctores Francisco y Víctor Vicente-Vidal Lorandi por brindarme la oportunidad de desarrollar este trabajo de tesis y por la dirección del mismo.

A mis sinodales el M.C. Rafael Hernández Walls y el Oc. Rafael García Krasovsky por sus valiosos comentarios en la revisión de este trabajo.

Al Instituto de Investigaciones Eléctricas y al Instituto Politécnico Nacional por el apoyo económico.

A mis amigos del GEO, por que siempre estuvieron ahí cuando se les necesitó.

A todos mis amigos con quienes compartí mi vida en las buenas y en las malas, pero definitivamente muchas más buenas que malas: Carlos, Christian, Eduardo (el oso), Billy, Eduardo (el Ungua), Ericka y Juan Apango, Nacho, Miguel, Jesús, Ericka (mi amiguita), Jorge y Mago, Guillermo y Blanca, Mónica Salazar, David Ortiz de Zárate.

También agradezco a Diego E. García Gómez, por hacerme compañía en esta aventura de la tesis, gracias por tus aportaciones y sobre todo por tu amistad.

Un agradecimiento muy especial al M.C. J. Antonio Martínez Alcalá, por tus grandes enseñanzas y tu admirable integridad como persona y como científico.

Quisiera también agradecer al ayer Oeánólogo hoy M.C. y mañana Doctor José Antonio Salinas Prieto, Toñito "pa" los cuates, por tu confianza y apoyo siempre incondicionales, pero sobre todo por tu amistad y la de tu hermosa familia.

A la familia Peynador Sánchez por admitirnos a mi esposa y a mi como parte de ellos, es un honor pertenecer a esa familia.

A mi familia tanto los Oropeza como los Rosales por que siempre han estado ahí.

A Ensenada B.C., por que lo único que te faltaba para ser perfecta era que me dieras la oportunidad de vivir ahí con mi esposa...

CONTENIDO

Página

Resumen	ii
Aprobación del documento	iii
Dedicatoria	iv
Agradecimientos	v
Contenido	vi
Lista de Tablas	xii
Lista de figuras	xv

Capítulo 1

Introducción.....	1
1.1 Objetivo General.....	5
1.2 Objetivos particulares.....	5
1.3 Descripción del área de estudio.....	6
1.3.1 Estado de Baja California.....	9
1.3.2 Estado de Sonora.....	9
1.3.3 Estado de Colima.....	10
1.3.4 Estado de Michoacán.....	10
1.3.5 Estado de Guerrero.....	10

Capítulo 2

Descripción de los Instrumentos y formato de grabación de los datos.....	12
2.1 Descripción del ológrafo Sea Data 635-12.....	12
2.2 Descripción del formato de archivos de almacenamiento.....	15
2.3 Descripción de la lectora Sea Data modelo 12 B y la ARI.....	19

2.4	Tipificación de errores en los registros.....	23
-----	---	----

Capítulo 3

	Procesamiento.....	24
3.1	Lectura de cintas y transferencia de datos.....	26
3.2	Identificación y corrección de errores en registros con formato hexadecimal.....	27
3.3	Conversión de datos en formato hexadecimal a formato decimal, en unidades ingenieriles.....	32
3.3.1	Conversión del número de cuentas del sensor de presión a frecuencias.....	32
3.3.2	Conversión de frecuencias del sensor de presión a milibares.....	33
3.3.3	Conversión de las cuentas del reloj a horas.....	34
3.3.4	Conversión de las cuentas del compás a grados.....	34
3.3.5	Conversión de los datos hexadecimales de las componentes horizontales de velocidad u y v a decimales en unidades de cm s^{-1}	35

Capítulo 4

	Análisis matemático y estadístico.....	38
4.1	Identificación y corrección de valores disparados en las series de tiempo en formato decimal en unidades ingenieriles.....	39
4.2	Eliminación de tendencias lineales de las series de tiempo de amplitud y componentes de velocidad u y v.....	41
4.3	Cálculo del nivel medio del mar a partir de los registros de oleaje.....	43
4.4	Análisis de cruces por cero.....	43
4.5	Cálculo y aplicación del coeficiente de amortiguamiento (K_p).....	45
4.6	Cálculo de las direcciones del oleaje.....	48
4.7	Análisis espectral.....	49
4.7.1	Espectro direccional.....	53
4.8	Análisis de densidad de probabilidad	57

Capítulo 5

Resultados.....	61
5.1 Resultados encontrados para el sitio Peña Blanca, Colima.....	62
5.1.1 Resultados de las mediciones de alturas, períodos y direcciones en el sitio Peña Blanca, Colima.....	63
5.1.2 Resultados del análisis espectral aplicado a las series de tiempo del sitio Peña Blanca, Colima.....	72
5.1.3 Resultados del análisis de marea aplicado a las series de tiempo del sitio Peña Blanca, Colima.....	77
5.1.4 Resultados del cálculo de la densidad de probabilidad de amplitudes, períodos y conjunta, para las series de tiempo del sitio Peña Blanca, Colima.....	78
5.2 Resultados encontrados para el sitio El Morro y en el sitio El Morro III, en el estado de Colima.....	80
5.2.1 Resultados de las mediciones de alturas, períodos y direcciones en el sitio El Morro y en el sitio El Morro III, en el estado de Colima.....	80
5.2.2 Resultados del análisis espectral aplicado a las series de tiempo de los sitios El Morro y El Morro III, en el estado de Colima.....	92
5.2.3 Resultados del análisis de marea aplicado a las series de tiempo de los sitios El Morro y El Morro III, en el estado de Colima.....	97
5.2.4 Resultados del cálculo de la densidad de probabilidad de amplitudes, períodos y conjunta, para las series de tiempo de los sitios El Morro y El Morro III, en el estado de Colima.....	99
5.3 Resultados encontrados para el sitio Colmi, en la frontera de los estados de Colima y Michoacán.....	102
5.3.1 Resultados de las mediciones de alturas, períodos y direcciones en el sitio Colmi.....	102

5.3.2	Resultados del análisis espectral aplicado a las series de tiempo del sitio Colmi.....	112
5.3.3	Resultados del análisis de marea aplicado a las series de tiempo del sitio Colmi.....	116
5.3.4	Resultados del cálculo de la densidad de probabilidad de amplitudes, períodos y conjunta, para las series de tiempo del sitio Colmi.....	118
5.4	Resultados encontrados para el sitio Puerto, en el estado de Michoacán.....	120
5.4.1	Resultados de las mediciones de alturas, períodos y direcciones en el sitio Puerto.....	120
5.4.2	Resultados del análisis espectral aplicado a las series de tiempo del sitio Puerto.....	128
5.4.3	Resultados del análisis de marea aplicado a las series de tiempo del sitio Puerto.....	131
5.4.4	Resultados del cálculo de la densidad de probabilidad de amplitudes, períodos y conjunta, para las series de tiempo del sitio Puerto.....	132
5.5	Resultados encontrados para el sitio Puerto San Juan de Alima, en el estado de Michoacán.....	135
5.5.1	Resultados de las mediciones de alturas, períodos y direcciones en el sitio Puerto San Juan de Alima.....	135
5.5.2	Resultados del análisis espectral aplicado a las series de tiempo del sitio Puerto San Juan de Alima.....	145
5.5.3	Resultados del análisis de marea aplicado a las series de tiempo del sitio Puerto San Juan de Alima.....	151
5.5.4	Resultados del cálculo de la densidad de probabilidad de amplitudes, períodos y conjunta, para las series de tiempo del sitio Puerto San Juan de Alima.....	152
5.6	Resultados encontrados para el sitio La Brisa, en el estado de Michoacán.....	155
5.6.1	Resultados de las mediciones de alturas, períodos y direcciones en el sitio La Brisa.....	155

5.6.2	Resultados del análisis espectral aplicado a las series de tiempo del sitio La Brisa.....	165
5.6.3	Resultados del análisis de marea aplicado a las series de tiempo del sitio La Brisa.....	171
5.6.4	Resultados del cálculo de la densidad de probabilidad de amplitudes, periodos y conjunta, para las series de tiempo del sitio La Brisa.....	172
5.7	Resultados encontrados en el sitio Petacalco, en el estado de Guerrero	175
5.7.1	Resultados de las mediciones de alturas, periodos y direcciones en el sitio Petacalco.....	175
5.7.2	Resultados del análisis espectral aplicado a las series de tiempo del sitio Petacalco.....	182
5.7.3	Resultados del análisis de marea aplicado a las series de tiempo del sitio Petacalco.....	185
5.7.4	Resultados del cálculo de la densidad de probabilidad de alturas, periodos y conjunta, para las series de tiempo del sitio Petacalco.....	186
5.8	Resultados encontrados para los sitios Punta Cabras y Eréndira, en el estado de Baja California.....	189
5.8.1	Resultados de las mediciones de alturas, periodos y direcciones.....	189
5.8.2	Resultados del análisis espectral aplicado a las series de tiempo de los sitios Punta Cabras y Eréndira.....	199
5.8.3	Resultados del análisis de marea aplicado a las series de tiempo de los sitios Punta Cabras y Eréndira.....	205
5.8.4	Resultados del cálculo de la densidad de probabilidad de alturas, periodos y conjunta, para las series de tiempo de los sitios Punta Cabras y Eréndira.....	207

Capítulo 6

Discusiones.....	209
------------------	-----

Capítulo 7

Conclusiones.....	214
Bibliografía.....	218

Lista de tablas

No. de tabla	Descripción	Página
2.1	Distribución de los datos por número de dígito en las líneas de marea.	17
2.2	Distribución de los datos por número de dígito en las líneas de oleaje.	18
2.3	Configuración utilizada en la lectora Sea Data modelo 12B.	20
2.4	Configuración utilizada en la herramienta Terminal de MS Windows 3.1.	22
3.1	Resumen del inventario levantado a las cintas proporcionadas por la GIC-CFE.	25
3.2	Valores del contador de tiempo para las líneas de marea.	29
3.3	Resultados del análisis de la calidad de los datos en formato hexadecimal.	31
4.1	Resultados del análisis de cruces por cero, para cada sitio de medición.	45
5.1	Resumen de la información con la que se cuenta de los datos de oleaje.	61
5.2	Tabla de valores máximos y mínimos de alturas, períodos y direcciones para cada estación de los años 1990 a 1993 del sitio Peña Blanca.	63
5.3	Tabla de valores promedio de alturas, períodos y direcciones para cada estación de los años 1990 a 1993 medidos en el sitio Peña Blanca, Colima.	66
5.4	Valores de frecuencia, período y densidad de energía de cada pico que aparece en los espectros de la figura 5.5a y b	74
5.5	Valores máximos y mínimos de alturas, períodos y direcciones para verano de los años 1988, 1989 y 1990 del sitio El Morro y para invierno y primavera del sitio El Morro III, en el estado de Colima.	81

5.6	Tabla de valores promedio de alturas, períodos y direcciones para la época de verano de los años 1988, 1989 y 1990 en el sitio El Morro y para las épocas de invierno y primavera en el sitio El Morro III, en el estado de Colima.	83
5.7	Valores de frecuencia, período y densidad de energía de cada pico que aparece en los espectros de la figura 5.20	93
5.8	Valores máximos y mínimos de alturas, períodos y direcciones para las diferentes épocas de los años 1988 a 1991, en el sitio Colmi.	103
5.9	Valores promedio de alturas, períodos y direcciones para las diferentes épocas durante los años de 1988 a 1991, en el sitio Colmi.	105
5.10	Valores de frecuencia, período y densidad de energía de cada pico que aparece en los espectros de la figura 5.37.	113
5.11	Valores máximos y mínimos de alturas, períodos y direcciones para las épocas de invierno y primavera de 1989, en el sitio Puerto.	120
5.12	Valores promedio de alturas, períodos y direcciones para invierno y primavera de 1989, en el sitio Puerto.	122
5.13	Valores de frecuencia, período y densidad de energía de cada pico que aparece en los espectros de la figura 5.50.	129
5.14	Valores máximos y mínimos de alturas, períodos y direcciones para las diferentes épocas de los años 1991 a 1993, en el sitio Puerto San Juan de Alima.	136
5.15	Valores promedio de alturas, períodos y direcciones para las diferentes épocas de los años 1991 a 1993, en el sitio Puerto San Juan de Alima.	138
5.16	Valores de frecuencia, período y densidad de energía de cada pico que aparece en los espectros de las figuras 5.63a y 5.63b.	147
5.17	Valores máximos y mínimos de alturas, períodos y direcciones para las diferentes épocas de los años 1991 a 1993, en el sitio La Brisa.	156

5.18	Valores promedio de alturas, períodos y direcciones para las diferentes épocas de los años 1991 a 1993, en el sitio La Brisa.	158
5.19	Valores de frecuencia, período y densidad de energía de cada pico que aparece en los espectros de las figuras 5.76a y 5.76b.	167
5.20	Valores máximos y mínimos de alturas, períodos y direcciones para otoño de 1984, en el sitio Petacalco.	176
5.21	Valores promedio de alturas, períodos y direcciones para otoño de 1984, en el sitio Petacalco.	177
5.22	Valores de frecuencia, período y densidad de energía de cada pico que aparece en los espectros de la figura 5.89.	183
5.23	Valores máximos y mínimos de alturas, períodos y direcciones para las diferentes épocas de los años 1990 a 1993, en los sitios Punta Cabras y Eréndira.	190
5.24	Valores promedio de alturas, períodos y direcciones para las diferentes épocas de los años 1990 a 1993, en los sitios Punta Cabras y Eréndira.	192
5.25	Valores de frecuencia, período y densidad de energía de cada pico que aparece en los espectros de la figura 5.102a y 5.102b	201

Lista de figuras

1.1	Regiones de la república Mexicana según Lankford (1977).	7
1.2	Distribución geográfica de los sitios de estudio. 1)Rosarito, 2)Punta Cabras, 3)Eréndira, 4)Puerto Libertad, 5)Peña Blanca, 6)El Morro, 7)El Morro III, 8)Colmi, 9)Puerto, 10)Puerto San Juan de Alima, 11)La brisa y 12)Petacalco.	11
2.1	Distribución de las funciones de programación del panel de control de un ológrafo marca Sea Data 635-12.	14
2.2	Registro típico de un ológrafo Sea Data 635-12.	16
2.3	Datos de presión en formato hexadecimal registrados por un ológrafo Sea Data 635-12.	16
2.4	Esquema de la distribución del tablero de la lectora Sea Data modelo 12B.	20
2.5	Esquema del tablero de control de la interface ARI (Asynchronous Reader Interface).	21
2.6	Pantalla que muestra el menú de la herramienta Terminal de MS Windows 3.1 y sus diferentes opciones de configuración.	22
3.1	Fragmento de un archivo de ráfaga en donde falta la etiqueta de la tercera línea y el contador de tiempo de la novena.	28
3.2	Fragmento de archivo de ráfaga corregido en las líneas 3 y 9.	29
4.1	Serie de tiempo no corregida con valores disparados, que exceden tres veces el valor de la desviación estándar de la serie.	39
4.2	Histograma de frecuencias correspondiente a una serie de tiempo de amplitudes.	40
4.3	Distribución de los porcentajes de la probabilidad que se encuentran bajo los diferentes sectores de la curva delimitados por una, dos y tres veces la desviación estándar, en una distribución normal.	41
4.4	Serie de tiempo con datos disparados corregidos.	41
4.5	Método de cruces por cero aplicado a una serie de tiempo de elevaciones de la superficie libre del mar (Goda, 1985).	44

4.6	Serie de tiempo de amplitudes sin el coeficiente de amortiguamiento (K_p) aplicado.	47
4.7	Serie de tiempo con el coeficiente de amortiguamiento (K_p) aplicado.	47
4.8	Diagrama de flujo del procesamiento y análisis de datos de oleaje (F. Vidal, et al, 1992).	60
5.1	Variación temporal de los valores máximos y mínimos de alturas, períodos y direcciones para cada estación de los años 1990 a 1993 medidos en el sitio Peña Blanca, Colima.	64
5.2	Variación temporal de los valores promedio de alturas, períodos y direcciones para cada estación de los años 1990 a 1993 medidos en el sitio Peña Blanca, Colima.	67
5.3	Variación temporal de los valores promedio de altura significativa para cada estación de los años 1990 a 1993 medidos en el sitio Peña Blanca, Colima.	68
5.4	Distribución conjunta de alturas y direcciones de olas correspondientes a la época de otoño de 1990 en el sitio Peña Blanca.	69
5.5	Distribución conjunta de períodos y direcciones de olas correspondientes a la época de otoño de 1990 en el sitio Peña Blanca.	71
5.6a	Variación temporal de los espectros promedio de densidad de energía para cada estación de los años 1990 a 1993 del sitio Peña Blanca, Colima.	72
5.6b	Variación temporal de los espectros promedio de densidad de energía para cada estación de los años 1990 a 1993 del sitio Peña Blanca, Colima.	73
5.7	Variación temporal de los valores promedio de picos de energía para cada estación de los años 1990 a 1993 del sitio Peña Blanca, Colima.	75
5.8	Espectro direccional del oleaje para la época de otoño de 1990 en el sitio Peña Blanca.	76

5.9	Mareograma y su respectivo espectro de densidad de energía correspondiente a la época de invierno de 1990 en el sitio Peña Blanca, Colima.	77
5.10	Distribución de densidad de probabilidad de amplitudes y períodos para datos de la época de otoño de 1990 en el sitio Peña Blanca.	78
5.11	Densidad de probabilidad conjunta de amplitudes y períodos para datos de otoño de 1990 en el sitio Peña Blanca.	79
5.12	Variación de los valores máximos de alturas, períodos y direcciones para el verano de los años 1988, 1989 y 1990 en el sitio El Morro y para invierno y primavera de 1991 en El Morro III, en el estado de Colima.	82
5.13	Variación de los valores promedio de alturas, períodos y direcciones durante el verano de los años 1988, 1989 y 1990 en el sitio El Morro y durante invierno y primavera de 1991 en El Morro III, en el estado de Colima.	84
5.14	Variación temporal de los valores de altura significativa para la época de verano de los años 1988, 1989 y 1990 en el sitio El Morro y para las épocas de invierno y primavera de 1991 en el sitio El Morro III, en el estado de Colima.	85
5.15	Variación temporal de los valores promedio de altura significativa para la época de verano de los años 1988, 1989 y 1990 en el sitio El Morro y para las épocas de invierno y primavera de 1991 en el sitio El Morro III, en el estado de Colima.	85
5.16	Distribución conjunta de alturas y direcciones para la época de verano de 1988, en el sitio El Morro, en el estado de Colima.	88
5.17	Distribución conjunta de períodos y direcciones para la época de verano de 1988, en el sitio El Morro, en el estado de Colima.	89
5.18	Distribución conjunta de alturas y direcciones para la época de invierno de 1991, en el sitio El Morro III, en el estado de Colima.	90

5.19	Distribución conjunta de períodos y direcciones para la época de invierno de 1991, en el sitio El Morro III, en el estado de Colima.	91
5.20	Espectros promedio de densidad de energía para verano de 1988, 1989 y 1990 en el sitio El Morro y para invierno y primavera de 1991 en el sitio El Morro III, en el estado de Colima.	92
5.21	Valores pico de densidad de energía para verano de 1988, 1989 y 1990 en el sitio El Morro y para invierno y primavera de 1991 en el sitio El Morro III, en el estado de Colima.	94
5.22	Valores promedio de picos de energía para verano de 1988, 1989 y 1990 en el sitio El Morro y para invierno y primavera de 1991 en el sitio El Morro III, en el estado de Colima.	95
5.23	Espectro direccional del oleaje para la época de verano de 1988 en el sitio El Morro.	95
5.24	Espectro direccional del oleaje para la época de invierno de 1991, en el sitio El Morro III.	96
5.25	Mareograma y su respectivo espectro de densidad de energía correspondiente a la época de verano de 1988 en el sitio El Morro, en el estado de Colima.	98
5.26	Mareograma y su respectivo espectro de densidad de energía correspondiente a la época de invierno de 1991 en el sitio El Morro III, en el estado de Colima.	98
5.27	Distribución de densidad de probabilidad de amplitudes y períodos para datos de la época de verano de 1988 en el sitio El Morro, en el estado de Colima.	99
5.28	Distribución de densidad de probabilidad de amplitudes y períodos para datos de la época de invierno de 1991 en el sitio El Morro III, en el estado de Colima.	100
5.29	Densidad de probabilidad conjunta de amplitudes y períodos para datos de verano de 1988 en el sitio El Morro, en el estado de Colima.	101

5.30	Densidad de probabilidad conjunta de amplitudes y períodos para datos de invierno de 1991 en el sitio El Morro III, en el estado de Colima.	101
5.31	Variación de los valores máximos de alturas, períodos y direcciones para las diferentes épocas de los años 1988 a 1991 en el sitio Colmi.	104
5.32	Variación de los valores promedio de alturas, períodos y direcciones para las diferentes épocas de los años 1988 a 1991, en el sitio Colmi.	106
5.33	Variación temporal de los valores de altura significativa para las diferentes épocas de los años 1988 a 1991, en el sitio Colmi.	107
5.34	Variación temporal de los valores promedio de altura significativa para las diferentes épocas de los años 1988 a 1991, en el sitio Colmi.	108
5.35	Distribución conjunta de alturas y direcciones para la época de invierno de 1989, en el sitio Colmi.	110
5.36	Distribución conjunta de períodos y direcciones para la época de invierno de 1989, en el sitio Colmi.	111
5.37	Espectros promedio de densidad de energía para las diferentes épocas de los años 1988 a 1991, en el sitio Colmi.	112
5.38	Valores pico de densidad de energía para las diferentes épocas de los años 1988 a 1991, en el sitio Colmi.	114
5.39	Valores promedio de picos de energía para las diferentes épocas de los años 1988 a 1991, en el sitio Colmi.	115
5.40	Espectro direccional del oleaje para la época de invierno de 1989 en el sitio Colmi.	116
5.41	Mareograma y su respectivo espectro de densidad de energía correspondiente a la época de verano de 1990 en el sitio Colmi.	117
5.42	Distribución de densidad de probabilidad de amplitudes y períodos para datos de la época de verano de 1990 en el sitio Colmi.	118
5.43	Densidad de probabilidad conjunta de amplitudes y períodos para datos de verano de 1990 en el sitio Colmi.	119

5.44	Variación de los valores máximos de alturas, periodos y direcciones para invierno y primavera de 1989 en el sitio Puerto.	121
5.45	Variación de los valores promedio de alturas, periodos y direcciones para invierno y primavera de 1989 en el sitio Puerto.	123
5.46	Variación temporal de los valores de altura significativa para invierno y primavera de 1989 en el sitio Puerto.	124
5.47	Variación temporal de los valores promedio de altura significativa para invierno y primavera de 1989 en el sitio Puerto.	124
5.48	Distribución conjunta de alturas y direcciones para la época de primavera de 1989, en el sitio Puerto.	126
5.49	Distribución conjunta de periodos y direcciones para la época de primavera de 1989, en el sitio Puerto.	127
5.50	Espectros promedio de densidad de energía para las épocas de invierno y primavera de 1989, en el sitio Puerto.	128
5.51	Valores pico de densidad de energía para las épocas de invierno y primavera de 1989, en el sitio Puerto.	129
5.52	Valores promedio de picos de energía para las épocas de invierno y primavera de 1989, en el sitio Puerto.	130
5.53	Espectro direccional del oleaje para la época de primavera de 1989, en el sitio Puerto.	131
5.54	Mareograma y su respectivo espectro de densidad de energía correspondiente a la época de primavera de 1989, en el sitio Puerto.	132
5.55	Distribución de densidad de probabilidad de amplitudes y periodos para datos de la época de primavera de 1989, en el sitio Puerto.	133
5.56	Densidad de probabilidad conjunta de amplitudes y periodos para datos de primavera de 1989, en el sitio Puerto.	134

5.57	Variación de los valores máximos de alturas, períodos y direcciones para las diferentes épocas de los años 1991 a 1993, en el sitio Puerto San Juan de Alima.	137
5.58	Variación de los valores promedio de alturas, períodos y direcciones para las diferentes épocas de los años 1991 a 1993, en el sitio Puerto San Juan de Alima.	139
5.59a	Variación temporal de los valores de altura significativa para las diferentes épocas de los años 1991 a 1993, en el sitio Puerto San Juan de Alima.	140
5.59b	Variación temporal de los valores de altura significativa para las diferentes épocas de los años 1991 a 1993, en el sitio Puerto San Juan de Alima.	141
5.60	Variación temporal de los valores promedio de altura significativa para las diferentes épocas de los años 1991 a 1993, en el sitio Puerto San Juan de Alima.	141
5.61	Distribución conjunta de alturas y direcciones para la época de verano de 1992, en el sitio Puerto San Juan de Alima.	143
5.62	Distribución conjunta de períodos y direcciones para la época de verano de 1992, en el sitio Puerto San Juan de Alima.	144
5.63a	Espectros promedio de densidad de energía para las diferentes épocas de los años 1991 a 1993, en el sitio Puerto San Juan de Alima.	145
5.63b	Espectros promedio de densidad de energía para las diferentes épocas de los años 1991 a 1993, en el sitio Puerto San Juan de Alima.	146
5.64a	Valores pico de densidad de energía para las diferentes épocas de los años 1991 a 1993, en el sitio Puerto San Juan de Alima.	148
5.64b	Valores pico de densidad de energía para las diferentes épocas de los años 1991 a 1993, en el sitio Puerto San Juan de Alima.	149
5.65	Promedios de los valores pico de energía para las diferentes épocas de los años 1991 a 1993, en el sitio Puerto San Juan de Alima.	150
5.66	Espectro direccional del oleaje para la época de verano de 1992, en el sitio Puerto San Juan de Alima.	150

5.67	Mareograma y su respectivo espectro de densidad de energía correspondiente a la época de otoño de 1991, en el sitio Puerto San Juan de Alima.	152
5.68	Distribución de densidad de probabilidad de amplitudes y períodos para la época de verano de 1991, en el sitio Puerto San Juan de Alima..	153
5.69	Densidad de probabilidad conjunta de amplitudes y períodos para la época de verano de 1991, en el sitio Puerto San Juan de Alima.	153
5.70	Variación de los valores máximos de alturas, períodos y direcciones para las diferentes épocas de los años 1991 a 1993, en el sitio La Brisa.	157
5.71	Variación de los valores promedio de alturas, períodos y direcciones para las diferentes épocas de los años 1991 a 1993, en el sitio La Brisa.	159
5.72a	Variación temporal de los valores de altura significativa para las diferentes épocas de los años 1991 a 1993, en el sitio La Brisa.	160
5.72b	Variación temporal de los valores de altura significativa para las diferentes épocas de los años 1991 a 1993, en el sitio La Brisa.	161
5.73	Variación temporal de los valores promedio de altura significativa para las diferentes épocas de los años 1991 a 1993, en el sitio La Brisa.	162
5.74	Distribución conjunta de alturas y direcciones para la época de primavera de 1993, en el sitio La Brisa.	163
5.75	Distribución conjunta de períodos y direcciones para la época primavera de 1993, en el sitio La Brisa.	164
5.76a	Espectros promedio de densidad de energía para las diferentes épocas de los años 1991 a 1993, en el sitio La Brisa.	165
5.76b	Espectros promedio de densidad de energía para las diferentes épocas de los años 1991 a 1993, en el sitio La Brisa.	166
5.77a	Valores pico de densidad de energía para las diferentes épocas de los años 1991 a 1993, en el sitio La Brisa.	168

5.77b	Valores pico de densidad de energía para las diferentes épocas de los años 1991 a 1993, en el sitio La Brisa.	169
5.78	Promedios de los valores pico de energía para las diferentes épocas de los años 1991 a 1993, en el sitio La Brisa.	170
5.79	Espectro direccional del oleaje para la época de primavera de 1993, en el sitio La Brisa.	171
5.80	Marcograma y su respectivo espectro de densidad de energía correspondiente a la época de otoño de 1992, en el sitio La Brisa.	172
5.81	Distribución de densidad de probabilidad de amplitudes y períodos para la época de primavera de 1993, en el sitio La Brisa.	173
5.82	Densidad de probabilidad conjunta de amplitudes y períodos para la época de primavera de 1989, en el sitio La Brisa.	173
5.83	Variación de los valores máximos de alturas, períodos y direcciones para otoño de 1984, en el sitio Petacalco.	176
5.84	Variación de los valores promedio de alturas, períodos y direcciones para otoño de 1984, en el sitio Petacalco.	178
5.85	Variación temporal de los valores de altura significativa para otoño de 1984, en el sitio Petacalco.	178
5.86	Variación temporal de los valores promedio de altura significativa para otoño de 1984, en el sitio Petacalco.	179
5.87	Distribución conjunta de alturas y direcciones para otoño de 1984, en el sitio Petacalco.	180
5.88	Distribución conjunta de períodos y direcciones para otoño de 1984, en el sitio Petacalco.	181
5.89	Espectros promedio de densidad de energía para la época de otoño de 1984, en el sitio Petacalco.	182
5.90	Valores pico de densidad de energía para la época de otoño de 1984, en el sitio Petacalco.	183
5.91	Promedios de los valores pico de densidad de energía para la época de otoño de 1984, en el sitio Petacalco.	184
5.92	Espectro direccional del oleaje para la época de otoño de 1984, en el sitio Petacalco.	184

5.93	Mareograma y su respectivo espectro de densidad de energía correspondiente a la época de otoño de 1984, en el sitio Petacalco.	186
5.94	Distribución de densidad de probabilidad de amplitudes y períodos para la época de otoño de 1984, en el sitio Petacalco.	187
5.95	Densidad de probabilidad conjunta de amplitudes y períodos para la época de otoño de 1984, en el sitio Petacalco.	187
5.96	Variación de los valores máximos de alturas, períodos y direcciones para las diferentes épocas de los años 1990 a 1993, en los sitios Punta Cabras y Eréndira.	191
5.97	Variación de los valores promedio de alturas, períodos y direcciones para las diferentes épocas de los años 1990 a 1993, en los sitios Punta Cabras y Eréndira.	193
5.98a	Variación temporal de los valores de altura significativa para las diferentes épocas de los años 1990 a 1993, en los sitios Punta Cabras y Eréndira.	194
5.98b	Variación temporal de los valores de altura significativa para las diferentes épocas de los años 1990 a 1993, en los sitios Punta Cabras y Eréndira.	195
5.99	Variación temporal de los valores promedio de altura significativa para las diferentes épocas de los años 1990 a 1993, en los sitios Punta Cabras y Eréndira.	195
5.100	Distribución conjunta de alturas y direcciones para la época de invierno de 1992.	197
5.101	Distribución conjunta de períodos y direcciones para la época de invierno de 1992.	198
5.102a	Espectros promedio de densidad de energía para las diferentes épocas de los años 1990 a 1993, en los sitios Punta Cabras y Eréndira.	199
5.102b	Espectros promedio de densidad de energía para las diferentes épocas de los años 1990 a 1993, en los sitios Punta Cabras y Eréndira.	200
5.103a	Valores pico de densidad de energía para las diferentes épocas de los años 1990 a 1993, en los sitios Punta Cabras y Eréndira.	202

5.103b	Valores pico de densidad de energía para las diferentes épocas de los años 1990 a 1993, en los sitios Punta Cabras y Eréndira.	203
5.104	Promedios de los valores pico de energía para las diferentes épocas de los años 1990 a 1993, en los sitios Punta Cabras y Eréndira.	203
5.105	Espectro direccional del oleaje para la época de invierno de 1992, en el sitio Punta Cabras.	204
5.106	Mareograma y su respectivo espectro de densidad de energía correspondiente a la época de verano de 1992, en el sitio Punta Cabras.	205
5.107	Mareograma y su respectivo espectro de densidad de energía correspondiente a la época de otoño de 1993, en el sitio Eréndira.	206
5.108	Distribución de densidad de probabilidad de amplitudes y períodos para la época de invierno de 1992, en el sitio Punta Cabras.	207
5.109	Densidad de probabilidad conjunta de amplitudes y períodos para la época de invierno de 1992, en el sitio Punta Cabras.	208

Capítulo 1

Introducción

Difícilmente podría encontrarse en el planeta un cuerpo de agua al aire libre en cuya superficie no existan ondas, éstas son la manifestación de fuerzas actuando sobre el fluido tendiendo a deformarlo. La magnitud de estas oscilaciones depende directamente de la magnitud de las fuerzas que las producen.

El cuerpo de agua de mayor importancia y dimensiones en la Tierra, es el océano, debido a que su extensión cubre más de dos terceras partes de la superficie total del planeta. Existen varios tipos de fuerzas con diferentes magnitudes que actúan sobre él, entre las más importantes se encuentran la atracción gravitacional, ejercida por cuerpos celestes relativamente cercanos a nuestro planeta (principalmente la Luna y el Sol), y el esfuerzo del viento. Cada una de estas fuerzas produce un tipo de onda diferente, cuya principal diferencia radica en sus dimensiones espacio-temporales y en el agente restitutivo que actúa sobre ellas.

El resultado de la acción gravitacional referida, es una onda con dimensiones de longitud muy grandes conocida como marea. Por su parte el viento produce ondas de diferentes características y cuya longitud es considerablemente menor a la de la onda de marea. Cuando los períodos de éstas se encuentran entre 1 y 30 segundos y la gravedad terrestre es quien actúa sobre ellas como agente restitutivo, estas ondas son conocidas como olas.

Cualquier cuerpo que se encuentra dentro del mar o cerca de su superficie, está sujeto a la acción del oleaje. Este es el caso de las grandes plataformas en mar abierto, las embarcaciones, boyas de señalamiento y medición entre otros. En las costas la acción del oleaje origina corrientes litorales, cambios en la topografía y morfología costera, destrucción de estructuras ingenieriles durante condiciones de tormenta y erosión de cantiles, entre muchas otras. La importancia del estudio del oleaje radica en varios aspectos.

En el estudio de los procesos costeros, la altura y el ángulo de incidencia del oleaje determinan en gran medida la intensidad y dirección de las corrientes que se generan (Dean et al., 1984). Por lo anterior, el oleaje está considerado como el principal agente de erosión y transporte de sedimento en el medio costero (Longuet-Higgins, 1970).

Por otra parte, el conocimiento de la dirección de propagación del oleaje es de utilidad básica para efectuar estudios sobre su generación, propagación y disipación (Phillips, 1958), pues juega un papel preponderante en los procesos de transferencia de energía, tanto de la atmósfera al océano como entre las diferentes componentes de frecuencia del oleaje (Young et al., 1987, citado por Delgado, 1988). También existe interés en la determinación de la dirección de propagación para calibrar y evaluar modelos de predicción (Barstow y Guddal, 1987) y otras técnicas de estudio del oleaje.

En la actualidad gracias a la existencia de los satélites, es posible tener mediciones continuas de oleaje para algún sitio en particular, algunas instituciones e incluso compañías privadas tienen disponibles productos como el World Wave Atlas, de la empresa OCEANOR realizado por Steve Barstow y Ola Haug, que reporta datos de oleaje y viento para todo el planeta recabados por medio de satélites de cobertura global como el Topex/Poseidon, el ERS-1 y el ERS-2. Otros productos disponibles son el Atlas of the Oceans: WIND AND WAVE CLIMATE, de Elsevier Science Ltd., que presenta datos adquiridos por el satélite GEOSAT/NASA y el COMPENDIUM OF U.S. WAVE DATA SUMMARY STATISTICS, publicado por la NOAA y el U.S. Army Corps of Engineers en 1995, además de algunos modelos numéricos de dominio público, como el WAM.

Todos estos estudios y publicaciones contienen una gran cantidad de información y datos de oleaje para la Unión Americana, pero contemplan muy pocos puntos en las costas mexicanas. Conocer el comportamiento del oleaje en las costas de nuestro país resulta indispensable para la realización de estudios y proyectos específicos en esta nación.

En México se han realizado muy pocos estudios sobre el comportamiento del oleaje en las costas mexicanas, éstos describen el oleaje para sitios muy específicos; destacando los realizados por el Instituto de Investigaciones Oceanológicas, que ha publicado reportes mensuales de estadísticas de oleaje para los años de 1986 y 1987, en la Bahía de Todos Santos en Ensenada, B.C. (Martínez y Nava, 1986, 1987).

Existe pues la necesidad en el país, de contar con un banco de datos de oleaje, que comprenda largos periodos de medición y estadísticas espectrales para diferentes sitios representativos de las costas de la República Mexicana. Este banco de información básica podría servir de apoyo a investigaciones más especializadas: modelación numérica, estudios de transporte litoral e incluso para el diseño de obras de ingeniería oceánica.

El Grupo de Estudios Oceanográficos (G.E.O.), del Instituto Politécnico Nacional (I.P.N.), cuenta con un total de 297 cintas magnéticas, que contienen datos oceanográficos registrados por ológrafos, correspondientes a 18 sitios, ubicados a lo largo de las costas mexicanas del Golfo de México y el Océano Pacífico. Las cintas contienen datos recabados durante el periodo comprendido entre 1983 y 1994. La obtención de los datos fue realizada por el Departamento de Oceanografía, de la Gerencia de Ingeniería Civil (G.I.C.), de la Comisión Federal de Electricidad (C.F.E.).

La C.F.E. realiza estas mediciones con la intención de determinar las condiciones de oleaje a las que serían sometidas las obras de ingeniería oceánica asociadas a las obras de toma y descarga, necesarias para cubrir la gran demanda de agua de enfriamiento, utilizada en el proceso de generación de energía eléctrica por plantas termoeléctricas en diversas zonas costeras.

El presente trabajo se presenta como parte integral de un proyecto del G.E.O.-I.P.N, bajo contrato con la C.F.E., dividido en tres etapas principales. Éste contribuye con la segunda parte, enfocada al análisis de garantía de calidad de datos y caracterización del oleaje en zonas costeras. Abarcando para este estudio la zona correspondiente a las costas del Pacífico Mexicano; cuyos datos se encuentran contenidos en 145 de las 297 cintas, y corresponden a 12 de los 18 sitios que conforman el banco de información.

Los objetivos del proyecto del G.E.O. antes mencionado, incluyen la sistematización total en el tratamiento de los datos de oleaje, incluyendo lectura, procesamiento, análisis, almacenamiento y presentación de la información. Para lograr lo anterior el G.E.O. ha proyectado el desarrollo de un sistema experto de análisis de calidad de datos de oleaje y una base de datos, que permita consultar, actualizar y modificar la información disponible. Resulta así, de gran importancia la contribución de este trabajo como base para desarrollos posteriores.

Es importante destacar que una contribución más de este trabajo radica en el hecho de haber dado seguimiento a la gran inversión tanto económica como temporal que ha significado la realización de las campañas de medición mediante las cuales se obtuvieron estos datos.

El desarrollo de este documento se presenta en siete capítulos. En el primer capítulo se definen los objetivos y se describen las áreas de estudio; en el segundo se hace una descripción de los instrumentos y el formato de grabación de los datos; en el tercero se describe el procesamiento de los datos, incluyendo su lectura, el control de calidad aplicado a los datos registrados en formato hexadecimal y las transformaciones necesarias para pasar de las cuentas de cada sensor a unidades ingenieriles; en el cuarto capítulo se describe el análisis matemático y estadístico que se aplica a los datos; en el quinto capítulo se presentan los resultados obtenidos para cada sitio y se discute y concluye sobre ellos en el sexto y séptimo capítulo respectivamente.

1.1 Objetivo general

Describir y analizar el comportamiento espacio-temporal de las características físicas de datos de oleaje, obtenidos por ológrafos instalados frente a las costas mexicanas del Océano Pacífico en los Estados de Baja California, Sonora, Colima, Michoacán y Guerrero.

1.2 Objetivos particulares

- a) Generar una base de datos de oleaje de las costas mexicanas del Océano Pacífico.

- b) Estimar la calidad de los datos registrados en cintas magnéticas.
- c) Determinar los principales parámetros ingenieriles del oleaje para cada sitio y analizarlos.

1.3 Descripción del área de estudio

El presente trabajo fue desarrollado con datos obtenidos en 12 localidades de las costas del Océano Pacífico Mexicano, para los Estados de Baja California, Sonora, Colima, Michoacán y Guerrero, cuya ubicación geográfica se presenta más adelante en la figura 1.2. Debido a la naturaleza de este trabajo se considera necesario hacer una descripción amplia de las costas de estudio. Para tal efecto se ha tomado dicha descripción de Tamayo (1974) y Contreras (1993).

La República Mexicana dispone de un largo litoral que alcanza 8,559 Km. de longitud en la parte continental y 9,903 Km. considerando las islas. De éstos, 7,147 Km. corresponden al Océano Pacífico y 2,756 Km. reciben el contacto de las aguas del Atlántico, ya sea en el Golfo de México o en el Mar Caribe. Es común considerar que el litoral del Pacífico es accidentado, presentando costas acantiladas y, por el contrario, que el Golfo de México y Mar Caribe ofrecen costas bajas y arenosas. El accidente más notable del Océano Pacífico lo constituye la península de Baja California, que en una dirección NW-SE se extiende paralelamente a la masa continental, formando con ella el Mar de Cortés o Golfo de California. El resto del litoral del Océano Pacífico tiene una forma convexa, en la que no se destacan sino accidentes de importancia local.

Según Lankford (1977) es posible considerar cuatro secciones bien definidas en el litoral del océano pacífico, teniendo en cuenta sus características como resultado de los

diversos procesos que han intervenido en su morfología actual. Nos referiremos a ellas en la figura 1.1 como región A, B, C y D.

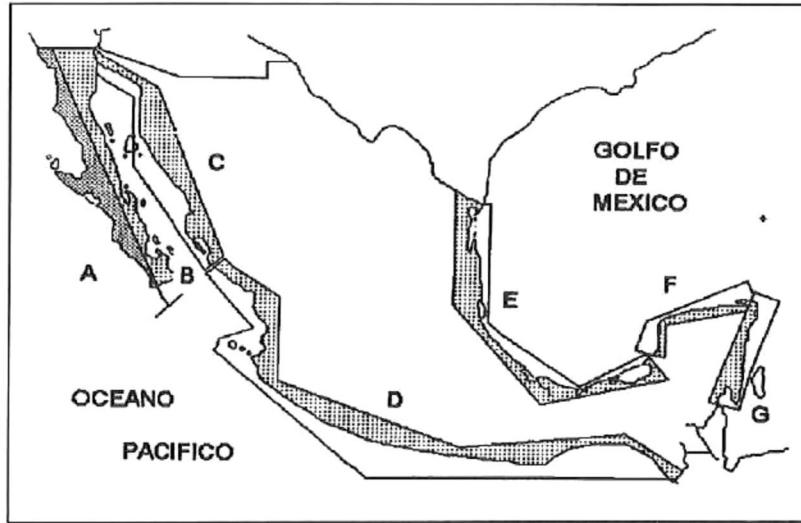


Fig.1.1 Regiones de la república Mexicana según Lankford (1977)

La región A comprende las costas del Pacífico de la península de Baja California, desde la frontera con los Estados Unidos hasta Cabo San Lucas. Sus principales características geomorfológicas son las siguientes: línea de costa con relieve entre intermedio y alto, poco derrame de agua, muchos valles secos con pequeñas cuencas. El clima de la costa y la montaña es seco y árido; en el norte, la precipitación ocurre en invierno; en el sur durante el verano. Las lluvias aumentan con la altitud. La plataforma continental es estrecha, generalmente menor de 20 Km., aunque la porción más amplia tiene de 50 a 70 Km. En la región central y sureste, la energía del oleaje es alta en costas abiertas, y la energía mareal presenta corrientes elevadas en las corrientes de reflujó. Los vientos predominantes provienen del NW. La corriente de California (proveniente del norte) y la contracorriente ecuatorial influyen en la costa de la península. La de California se clasifica como agua subártica de transición, mientras que la segunda forma

parte de la masa del Pacífico Ecuatorial. Lo anterior tiene como consecuencia que tal región abunde en nutrientes, lo que la convierte en un área altamente productiva, de hecho es la zona sardinera y atunera más rica del país.

La región B comprende el litoral interior de la península de Baja California, desde el paralelo 32 hasta Cabo San Lucas. Esta región muestra usualmente un frente montañoso de muy alto relieve, planicies costeras angostas y abruptas en los extremos norte y sur, un derrame de agua extremadamente escaso y muchos cañones escarpados. El clima tanto costero como montañoso, es árido. La precipitación aparece en el norte en invierno, mientras que en el sur lo hace en verano; también aquí se incrementan las lluvias con la altitud. Los escurrimientos son raros excepto en el Río Colorado. La plataforma continental es muy estrecha, casi inexistente; en su parte más amplia (al norte) llega a medir de 40 a 80 Km. La energía del oleaje va de baja a muy baja; y la energía mareal es alta, con fuertes velocidades de flujo en el norte.

La región C comprende las costas continentales del Golfo de California, desde el Río Colorado hasta Mazatlán. Se señala por un relieve costero que va de intermedio a alto, por planicies costeras angostas o anchas y por un derrame limitado de agua. Abundan los ríos con pequeñas cuencas de drenaje. Tanto en las costas como en las montañas el clima es árido en el norte y semiárido en el sur, por lo que los ríos de volumen pequeño, intermedio, mayor y de flujo estacional llegan a secarse. La plataforma continental es generalmente angosta e irregular y va de 5 a 25 Km.; se ensancha en el norte hasta 70 Km. La energía de las olas es baja, se incrementa a lo largo de los frentes deltáicos y aumenta hacia el sur cerca de la abertura del Golfo. La energía mareal varía de intermedia en el sur, con velocidades de reflujos altas, a extremadamente alta en el norte, donde la velocidad de inundación es considerable.

La región D se encuentra en la costa del Océano Pacífico y comprende desde Mazatlán hasta la frontera con América Central. Las características geomorfológicas de la región son relieves altos de la línea, mínimo derrame de agua, numerosos ríos con pequeñas cuencas de drenaje. El clima de la costa varía de semiárido a subhúmedo y llega a ser muy húmedo en el sur. En el verano la precipitación se incrementa con la altitud y hacia el sur. Los ríos de pequeño volumen y flujo estacional muy marcado pueden llegar a secarse en invierno. La plataforma continental es muy estrecha, generalmente de 5 a 10 Km.; no obstante, en ocasiones llega a ser amplia en el noreste y sureste; la energía del oleaje es alta en costas expuestas y abiertas. La energía mareal es elevada y tiene velocidades de reflujos significativas.

1.3.1 Estado de Baja California

El estado de Baja California se encuentra localizado en la región A y en éste se localizan tres de los sitios en los que se realizaron mediciones: 1)Rosarito en los $31^{\circ}34'07''$ de latitud norte y los $116^{\circ}08'59''$ de longitud oeste. 2)Punta Cabras en los $31^{\circ}19'43''$ de latitud norte y los $116^{\circ}26'50''$ de longitud oeste y 3)Eréndira en los $31^{\circ}14'26''$ de latitud norte y $116^{\circ}22'12''$ de longitud oeste; figura 1.2.

1.3.2 Estado de Sonora

El estado de Sonora se encuentra dentro de la región C y para este estado se cuenta con un sitio de muestreo: 4)Puerto Libertad, en los $29^{\circ}53'56''$ de latitud norte y $112^{\circ}42'26''$ de longitud oeste, figura 1.2.

1.3.3 Estado de Colima

En la región D se encuentra, entre otros, el estado de Colima en cuyas costas se localizan tres de los doce sitios de estudio, 5) Peña Blanca. a los $18^{\circ}36'27''$ de latitud norte y los $103^{\circ}41'54''$ de longitud oeste. 6) El Morro a los $18^{\circ}36'22''$ de latitud norte y $103^{\circ}42'25''$ de longitud oeste 7) El Morro.III a los $18^{\circ}36'18''$ de latitud norte y $103^{\circ}42'21''$ de longitud oeste; figura 1.2.

1.3.4 Estado de Michoacán

El estado de Michoacán se encuentra también en la región D, y en este estado se encuentran cuatro de los doce sitios de estudio 8) Colmi que se encuentra en la frontera de los estados de Colima y Michoacán a los $18^{\circ}37'17''$ de latitud norte y los $103^{\circ}39'24''$ longitud oeste. 9) Puerto a los $18^{\circ}36'27''$ de latitud norte y los $103^{\circ}41'54''$ de longitud oeste. 10) Puerto San Juan de Alima en los $18^{\circ}36'08''$ de latitud norte y $103^{\circ}42'26''$ de longitud oeste y 11) La Brisa a los $18^{\circ}32'31''$ de latitud norte y los $103^{\circ}30'14''$ de longitud oeste; figura 1.2.

1.3.5 Estado de Guerrero

En el estado de Guerrero, también contenido en la región D, se encuentra el sitio 12) Petacalco a los $17^{\circ}58'05''$ de latitud norte y $96^{\circ}06'11''$ de longitud oeste; figura 1.2.

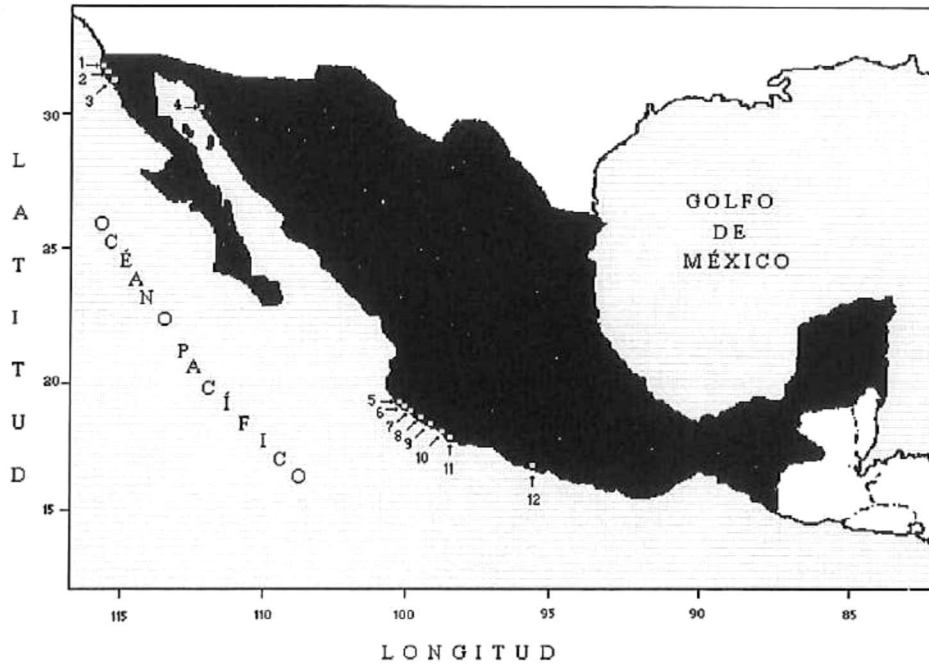


Fig. 1.2 Distribución geográfica de los sitios de estudio. 1) Rosarito, 2) Punta Cabras, 3) Eréndira, 4) Puerto Libertad, 5) Peña Blanca, 6) El Morro, 7) El Morro III, 8) Colmi, 9) Puerto, 10) Puerto San Juan de Alima, 11) La Brisa y 12) Petacalco.

Capítulo 2

Descripción de los instrumentos de medición y lectura y formato de grabación de los datos.

En este capítulo se presenta una descripción de los instrumentos utilizados en la adquisición y recuperación de los datos, una descripción más completa de los instrumentos y su modo de operación puede encontrarse en el manual de usuario titulado “Model 635-12 Directional Wave and Tide Recorder. Owner’s User Handbook” (Sea Data Corporation, 1983).

2.1) Descripción del ológrafo sea data 635-12.

Los datos de oleaje procesados y analizados en este trabajo fueron grabados en cintas magnéticas marca Verbatim T 300 nh, que tienen la capacidad de almacenar hasta

cuatro meses de datos en formato hexadecimal. Las cintas fueron grabadas por un ológrafo marca Sea Data, modelo 635-12, el cual registra señales provenientes de un sensor de presión, un corrientímetro de inducción electromagnética y una brújula.

El sensor de presión (Digiquartz, 2100-AS-002) registra la variación de la presión, debida a las fluctuaciones ascendentes y descendentes de la superficie del mar, con una resolución de 1.0 mm. Puede funcionar hasta 60 m de profundidad y su principio de operación consiste en registrar la frecuencia de oscilación de un cristal de cuarzo, obteniendo así las fluctuaciones de presión debidas al oleaje.

Además del sensor de presión, el instrumento posee un corrientímetro de inducción electromagnética marca Marsh McBirney que mide el flujo de agua normal al eje longitudinal del sensor y descompone este flujo en sus dos componentes ortogonales x , y expresadas como voltajes analógicos. La escala completa de operación es de ± 4 volts, que corresponden a velocidades máximas de ± 3 m/s. Se utilizan datos de 12 bits para almacenar la información.

La brújula Digicourse, modelo 225, proporciona la orientación de las componentes de velocidad registradas por el corrientímetro. Tiene una resolución de 1.4° en cualquier orientación.

El instrumento es autónomo y programable, adquiere su energía de baterías especiales y su electrónica permite programar desde un tablero interno los intervalos de muestreo. El instrumento presenta una amplia gama de combinaciones para ser programado. En la figura 2.1 se muestra la distribución que presenta el panel de control de un ológrafo Sea Data 635-12.

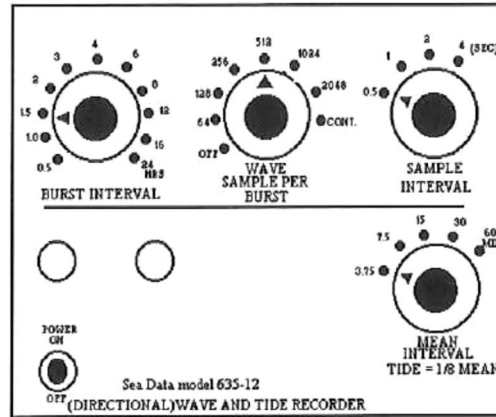


Fig. 2.1. Distribución de las funciones de programación del panel de control de un ológrafo marca Sea Data modelo 635-12

El burst interval (intervalo de ráfagas) indica el período de tiempo que habrá entre cada inicio de grabación de datos de oleaje, las posibilidades con las que el panel cuenta son: 0.5, 1.0, 1.5, 2, 3, 4, 6, 8, 12, 16, y 24 horas.

Por otra parte el wave sample per burst (número de muestras por ráfaga) indica cuantos datos de oleaje serán grabados durante el intervalo de ráfaga, este número debe ser potencia de dos para facilitar el análisis de Fourier, las posibilidades son: OFF, 64, 128, 256, 512, 1024, 2048 y muestreo continuo; la presencia de la condición de apagado nos indica que el instrumento puede operar grabando datos de marea sin grabar datos de oleaje, pero no puede operar grabando datos de oleaje sin grabar datos de marea.

El sample interval (intervalo de muestreo) indica cada cuanto tiempo será grabado un dato de oleaje, las posibilidades son: 0.5, 1, 2 y 4 segundos. La forma en que estos datos son guardados es en líneas de 8 datos cada una.

Por último el mean interval (intervalo de marea promedio) nos indica cada cuanto tiempo será grabado un registro o línea de marea, que cuenta con ocho datos separados entre sí a $1/8$ del tiempo seleccionado. Las posibilidades son: 3.75, 7.5, 15, 30 y 60 minutos y esto será continuo durante el tiempo en el que el instrumento esté operando.

2.2) Descripción del formato de archivos de almacenamiento.

En el caso de los datos utilizados en este trabajo, los instrumentos fueron programados con un intervalo entre ráfagas de 3 horas, con 1024 datos de oleaje por ráfaga, con intervalo de muestreo entre ellos de 1.0 segundo y con un intervalo de muestreo de 15 minutos por registro de marea, lo que quiere decir que se tiene un dato de marea cada 1.875 minutos.

Como resultado de esta programación la información grabada en cintas presenta el siguiente formato: cada 3 horas se grabaron 12 líneas de marea y durante los primeros 17 minutos se grabaron 1024 datos de oleaje en 128 líneas de 8 datos cada una, además de una línea extra de oleaje.

De esta forma, en adelante, al mencionar una ráfaga nos referiremos al grupo de datos formados por 12 líneas de marea y 129 líneas de oleaje. En la figura 2.2 se muestra esquemáticamente un registro típico de un ológrafo Sea Data.

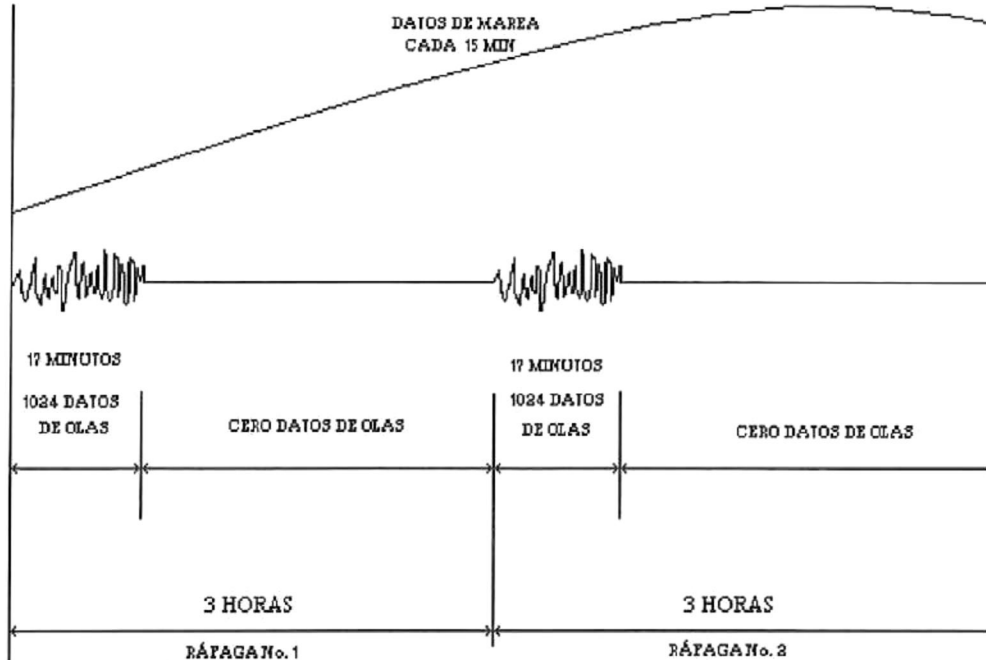


Fig. 2.2 Registro típico de un ológrafo Sea Data 635-12.

En la figura 2.3 se muestra el fragmento de un archivo de datos grabado por un ológrafo Sea Data 635-12, en formato hexadecimal.

```

1 41151E0182196219621992198219A219B2195219D219DBE9F643585820000000000006G
2 40151F018219921992198219C2196219B2196219F219CBE9C641583820000000000009G
3 401520018219E219D219A219A219A219A2198219D2199219A1BE9664758E820000000000006G
4 401521018219F219F219B219C219F219429AB915211BBE8E643D8C8A0000000000008G
5 40152201821A221A3219F21A421A0219A21A7219D21A7BE876405A38200000000000FG
6 401523018219E219E219E21B0219E21A321A021A621A5BE7F63A5A82000000000002G
7 40152401821A521A521A021A021A021E321A221E365ADBE7A23A19982000000000004G
8 40152501821A321A321AC21AB21A521A621AA21AB21A7BE7464359982000000000002G
9 40152601821A821A821AB21A021A721A921AC21AA21A8BE6F63D5848200000000000DG
10 40152701821B221B221A421B021AB21AC21B121AB21AFBE6B63C5A28200000000000AG
11 40152801821AB21AB21AE21A821B021AA21AA21B121ACBE676335B082000000000008G
12 41152901821AD21AD21AF21AE21AC21B421A921B621B1BE656355998200000000000BG
13 80401004C93FF1F7B2408C01C8412A19E3413A27E1411124DB40C924D6405819C100EG
14 81403305C0407303E040B209EE40AD17DC40AD1DCC40DD1CCF41141FDA40E027E600DG
15 82405516E43FECFDD43FEFF2CD406103DD41101FE3417338DF410D34E0407417D8002G
16 83404304D8406002E5407207E3406F09C840AA0FBF410B1FD6413024E740EE1DE6FFBG
17 84406012D53PFE09C2402304C340A711D540EF1FE240D01EDC409C1CD0409516CAFF6G
18 8540B512D140B111D7407612D040690DD240AB0BE240DD0EE7409D10D540660AC7FFCG
19 86409F0AD2407015D8410C1DDB40E81BE340870FD6403007C5403709C9408E10D8FF6G
20 8741011BDF412B29E040DD2AE040701AD7401E0DCB400703C4405D02D640EE11ECFFFG
    
```

Fig. 2.3 Datos de presión en formato hexadecimal registrados por un ológrafo Sea Data 635-12

De la figura 2.3 se puede ver que las líneas de datos están formadas por 70 caracteres, las líneas de la 1 a la 12 corresponden a los registros de marea, de la línea 13 en adelante se presentan los registros de valores instantáneos de presión y velocidad inducidos por las olas.

En las tablas 2.1 y 2.2 se muestra la distribución de los datos por número de dígito para las líneas de marea y oleaje respectivamente.

Dígitos	Representación
1-2	Encabezado: Modo de operación
3-7	Tiempo transcurrido en horas
8	Selector de la tasa de muestreo de olas
9	Bit más significativo
10-13	Presión 0
14-17	Presión 1
18-21	Presión 2
22-25	Presión 3
26-29	Presión 4
30-33	Presión 5
34-37	Presión 6
38-41	Presión 7
42-45	Presión 8
46-49	Temperatura
50-52	Componente x de la velocidad
53-55	Componente y de la velocidad
56-57	Dirección respecto al norte magnético
58-69	Espacio libre para sensores extra, opcionales
70	Bandera de control de calidad de línea (G,P ó S)

Tabla 2.1 Distribución de los datos, por número de dígito en las líneas de marea.

Los dos primeros caracteres identifican el tipo de dato que fue grabado. Los registros de marea se identifican por tener en sus dos primeros dígitos valores de 40 ó 41 en hexadecimal.

Dígitos	Representación
1-2	Encabezado: Modo de operación
3-6	Presión 1
7-8	Velocidad E1
9-10	Velocidad N1
11-14	Presión 2
15-16	Velocidad E2
17-18	Velocidad N2
19-22	Presión 3
23-24	Velocidad E3
25-26	Velocidad N3
27-30	Presión 4
31-32	Velocidad E4
33-34	Velocidad N4
35-38	Presión 5
39-40	Velocidad E5
41-42	Velocidad N5
43-46	Presión 6
47-48	Velocidad E6
49-50	Velocidad N6
51-54	Presión 7
55-56	Velocidad E7
57-58	Velocidad N7
59-62	Presión 8
63-64	Velocidad E8
65-66	Velocidad N8
67-69	Vacío
70	Bandera de control de calidad de línea (G,P ó S)

Tabla 2.2 Distribución de los datos, por número de dígito en las líneas de oleaje.

Por su parte los registros de olas inician siempre con valores de 8, 9, A y B en hexadecimal.

Todas las líneas presentan una bandera de control que indica si la línea es buena (G), corta (S) o si presentó algún error de paridad (P), esta etiqueta es el dígito 70. Una línea corta es aquella en la que falta alguno de los 70 dígitos, una línea con error de paridad es aquella que generalmente está completa pero alguno de los dígitos que está en ella no corresponde al que fue originalmente grabado, este error se da principalmente en

la transferencia de los datos y puede ser difícil de corregir. Por último una línea buena es aquella que no presenta ninguno de los errores mencionados.

2.3) Descripción de la lectora Sea Data modelo 12 B y la interface asíncrona (ARI).

Los datos grabados por un ológrafo 635-12 pueden ser leídos con diferentes medios, pertenecientes al mismo fabricante, esto incluye el VDM (Video Data Monitor), los modelos 12A y 12B de lectoras, el modelo 15 de caja de despliegue de bits, el modelo 17 convertidor de digital a analógico y la interpretación manual del sensor.

En este caso los datos de oleaje fueron leídos de las cintas con una lectora marca Sea Data, modelo 12B, que tiene un puerto serie que puede ser usado para sacar los datos a un VDM para una visualización digital inmediata, o puede mandarse a un modelo 17 D/A caja de despliegue para convertir de digital a analógico o bien pueden leerse los datos directamente a una computadora vía una interface asíncrona ARI (Asynchronous Reader Interface). Ésta es la forma más conveniente de utilizar la lectora, la ARI es una pequeña computadora que actúa como buffer y controlador para la lectora. Ésta obtiene datos sincronos de la lectora y los transfiere durante una asincronía controlada por la computadora. La ARI adquiere los datos de la lectora 12B hasta que el buffer se llena, después estos datos son transferidos uno a uno hasta que el buffer vuelve a quedar vacío, la ARI lee entonces otro bloque de datos, un registro a la vez y el inicio del nuevo bloque se agrega al final del bloque anterior de modo que no se pierda información entre un bloque y otro.

La interface se conectó al puerto paralelo de una computadora por lo que fue necesario también utilizar una herramienta de MS Windows 3.1 llamada Terminal.

La lectora debe ser configurada de acuerdo al tipo de registros a transferir. En la figura 2.4 se muestra un esquema del tablero de programación de la lectora Sea Data Modelo 12B y la configuración utilizada se muestra en la tabla 2.3.

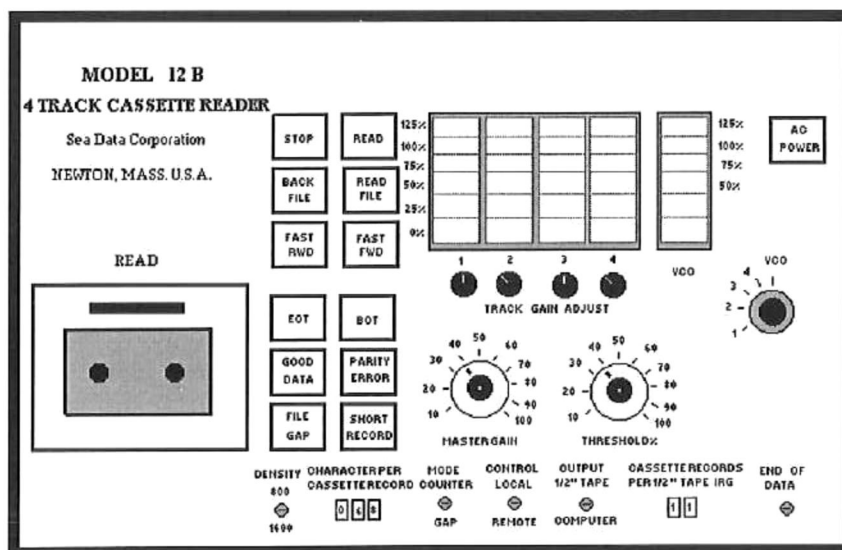


Fig. 2.4 Esquema de la distribución del tablero de la lectora Sea Data Modelo 12B

OPCIÓN	VALOR
Caracteres por registro	68
Modo	Contador
Control	Remoto
Salida	Computadora
Umbral	20%
Canales de ganancia	100%

Tabla 2.3 Configuración utilizada en la lectora Sea Data modelo 12B.

Por otra parte también fue necesario configurar la ARI, en la figura 2.5 se muestra un esquema del tablero de control de la interface ARI.

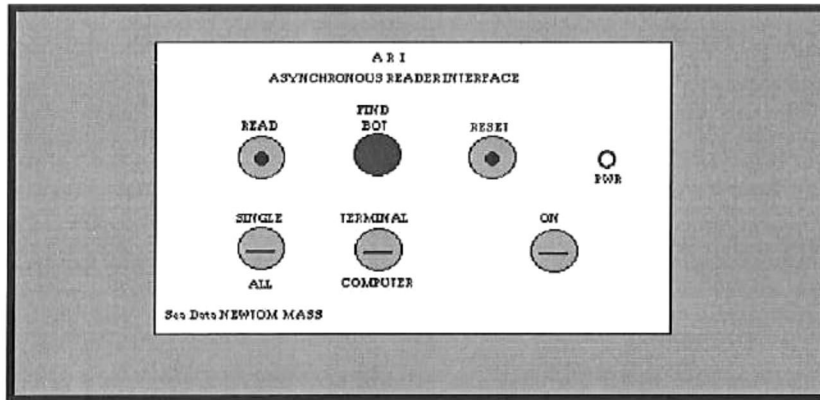


Fig. 2.5. Esquema del tablero de control de la interface ARI (Asynchronous Reader Interface).

En cuanto a la configuración de la ARI se utilizó en All y Terminal además de que la velocidad de transferencia, que se regula en una perilla que se encuentra en la parte posterior de la interface, se eligió a 9600 baudios lo que permitió leer cada cinta en un tiempo aproximado de dos horas.

Por último fue necesario configurar la herramienta Terminal de Microsoft Windows 3.1 acorde con la configuración de la lectora y de la ARI. En la figura 2.6 se muestra una pantalla de Terminal para explicar posteriormente en la tabla 2.4 la configuración utilizada en ella.

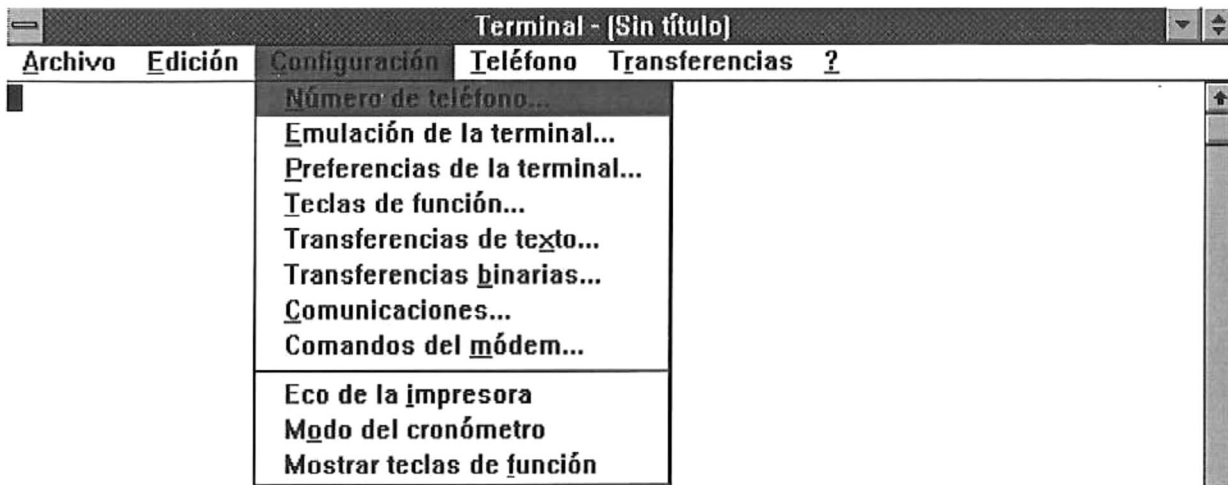


Fig. 2.6. Pantalla que muestra el menú de la herramienta Terminal de MS Windows 3.1 y sus diferentes opciones de configuración

OPCIÓN	VALOR
Emulación de la terminal	VT-100
Preferencias de la terminal	Eco local -desactivado
	Mostrar barras de desplazamiento-activado
Transferencia de texto	Control de flujo - estándar
Comunicación	Velocidad de transferencia en baudios - 9600
	Bits de datos - 8
	Bits de paro - 1
	Paridad - ninguna
	Control de flujo - Xon/Xoff
	Conector puerto - COM1
El resto de opciones - deshabilitadas	

Tabla 2.4 Configuración utilizada en la herramienta Terminal de MS Windows 3.1.

Es importante señalar que la lectura de cintas requiere de supervisión continua, ya que no siempre se detiene la lectora automáticamente al terminar de leerse los datos de la cinta y puede llegar a sufrir daños.

2.4) Tipificación de errores en los registros

La adquisición de datos, haciendo uso de instrumentos autónomos no está exenta de fallas, éstas han sido clasificadas por Morang (1990) en base a su experiencia durante más de una década de trabajo con estos instrumentos, de la siguiente forma:

- a) Errores debidos al mal funcionamiento del ológrafo.
- b) Errores en la transferencia de los datos
- c) Errores en el procesamiento.

De éstos el más grave es el debido al mal funcionamiento del instrumento ya que los datos se pueden perder por completo, estos errores se pueden clasificar a su vez en dos tipos: en errores de medición y errores de grabación; así pues, es posible tener datos grabados en el formato adecuado pero no tener ninguna interpretación física real; en el caso de que éstos se presenten resulta muy difícil corregirlos. También se puede presentar la situación opuesta en la que los sensores y circuitos electrónicos del instrumento funcionan adecuadamente durante el período de medición pero por algún motivo los datos se graban mal o simplemente no se graban. Para evitar este tipo de errores es importante realizar el mantenimiento preventivo adecuado al equipo y sobre todo es importante que, quien interprete los datos, tenga la capacidad de decidir si lo que está procesando concuerda o no con la física del fenómeno.

Capítulo 3

Procesamiento

Este capítulo se enfoca a describir los pasos que se siguieron para realizar el análisis de calidad de los datos y el procesamiento de los mismos. Como se mencionó en el capítulo 1 los datos se encuentran contenidos en cintas magnéticas y fueron recabados por la GIC-CFE y proporcionados al GEO-IPN tal y como se recuperan de los sitios de medición, así pues el primer paso fue hacer un inventario de las cintas para saber con cuantos sitios de medición se cuenta, cuantas cintas existen de cada sitio y los intervalos de tiempo que cubren dichas cintas.

Los resultados que el inventario arrojó muestran que existe un total de 145 cintas correspondientes a 12 sitios, que el intervalo de tiempo que cubren está entre el 28 de octubre de 1983 y el 11 de enero de 1994; pero que desafortunadamente las mediciones no son continuas durante este período, más bien son mediciones esporádicas en su mayoría y en el mejor de los casos son mediciones continuas pero en períodos mucho más cortos.

En la tabla 3.1 se muestra un resumen del inventario realizado, señalando el nombre de los sitios, el número de cintas que se tiene para cada uno y el período que éstas abarcan.

INVENTARIO DE LAS CINTAS PROPORCIONADAS POR LA GIC-CFE.		
Nombre del sitio y estado	Número de cintas	Intervalo de tiempo
1) Rosarito, Baja California.	02	26/04/85 al 22/07/85
2) Punta Cabras, Baja California	22	23/03/90 al 20/01/93
3) Erendira, Baja California	01	04/11/93 al 29/11/93
4) Puerto Libertad, Sonora	02	15/10/88 al 26/05/89
5) Peña Blanca, Colima	19	05/02/90 al 13/07/93
6) El Morro, Colima	13	25/03/88 al 09/11/90
7) El Morro III, Colima	04	14/01/91 al 24/06/91
8) Colmi, Colima-Michoacán.	14	01/06/88 al 24/05/91
9) Puerto, Michoacán	09	15/10/88 al 10/10/89
10) Puerto San Juan de Alima, Michoacán.	21	02/09/91 al 11/01/94
11) La Brisa, Michoacán	26	26/06/91 al 08/10/93
12) Petacalco, Guerrero	12	28/10/83 al 12/01/85
TOTAL	145	10 AÑOS 3 MESES

Tabla 3.1 Resumen del inventario levantado a las cintas proporcionadas por la GIC-CFE

Como se puede notar en la tabla 3.1 los cuatro sitios con mayor número de cintas son La Brisa, Michoacán con 26, Punta Cabras, Baja California con 22, Puerto San Juan de Alima, Michoacán con 21 y Peña Blanca, Colima con 19 cintas. Aún que no así con respecto al período de medición; pues según las fechas el sitio con el período más largo de medición es Peña Blanca, Colima con una duración de 3 años y 5 meses , después Punta

Cabras, Baja California con 2 años 10 meses y Puerto San Juan de Alima y La Brisa Michoacán con 2 años 4 meses de medición cada uno.

Una cuestión que es interesante resaltar es que la mayor densidad de los datos se encuentra concentrada en los estados de Colima, Michoacán y Guerrero que están dentro de la región D según la clasificación de Lankford (1977). Estos estados tienen 118 de las 145 cintas, lo que representa el 81.4 % de los datos.

Estos resultados no son definitivos, en las siguientes secciones en este mismo capítulo se discutirán los motivos por los que fueron desechados los datos de algunas de las cintas en el transcurso del procesamiento y se mencionará también cual es el banco de datos real con el que se cuenta.

El procesamiento y análisis de calidad de los datos se realizó en diferentes etapas, éstas se pueden dividir básicamente en tres: lectura de cintas y transferencia de datos, análisis de archivos en formato hexadecimal y Análisis matemático y estadístico de los datos.

3.1 Lectura de cintas y transferencia de datos

El primer paso para procesar los datos de oleaje es leer las cintas y transferir los datos de formato analógico a formato digital, es importante este paso ya que es la única forma de tener accesibles los datos para computarlos, además de que con esto se actualiza el medio de almacenamiento por uno más moderno y confiable que permita preservar la información durante más tiempo.

Lo primero entonces es revisar el estado físico de las cintas, pues en algunos casos las cintas tienen tantos años que han excedido ya su tiempo de vida útil o carecen de alguna pieza y es imposible leerlas.

Los daños más comúnmente encontrados fueron: la falta del cojín de apoyo para las cabezas magnéticas de la lectora, cintas rotas, cintas dobladas, enredadas o atoradas y cintas que perdieron sus características magnéticas al grado de no ser siquiera reconocidas por la lectora.

Como resultado de esta revisión se encontraron un total de 13 cintas dañadas que en general pertenecen a sitios con una cantidad considerable de cintas, siendo la pérdida más grave la de una cinta dañada correspondiente al sitio El Morro ya que solo se cuenta con 4 cintas de este sitio.

3.2 Identificación y corrección de errores en registros con formato hexadecimal

Una vez que fueron leídas las cintas, ya con los archivos de datos en la PC se procedió a revisar visualmente cada uno de los archivos, con la intención de detectar la mayor cantidad de errores y corregirlos en la medida de lo posible.

Para dar una idea de las dimensiones de esta tarea basta con mencionar que un archivo típico de una sola cinta mide aproximadamente 3 megabytes y está compuesto por 38,700 líneas con 70 caracteres cada una; por lo que resultó imposible editarlos en el sistema operativo DOS, y esto hizo necesaria la transferencia de archivos a otra plataforma computacional que permitiera editar archivos de esta dimensión, en este caso la plataforma elegida fue VAX/VMS.

La transferencia de archivos de una plataforma a otra se hizo utilizando el protocolo de comunicación NFT (Network File Transfer) de la red DEC/NET.

La revisión visual consistió básicamente en localizar y eliminar caracteres raros o basura, en la ráfaga inicial de cada archivo, así como verificar que ésta tuviera sus 12

ráfaga el archivo original de toda la cinta. El algoritmo para separar las ráfagas consiste en contar las líneas de marea. pero éstas no son reconocibles si no están completas.

Al analizar el tipo de errores que se deben corregir en la etapa de revisión visual se antoja pensar que este trabajo bien puede ser realizado por un sistema computacional. En efecto es factible generar dicho sistema, pero no es una trivialidad, ya que se requiere de un sistema experto que incluya una serie de reglas de inducción que permitan contemplar todos y cada uno de los problemas que puede presentar un archivo de datos de oleaje y sus debidas correcciones. Debido a la naturaleza de esta tesis y a los objetivos que en ella se persiguen, la confección de dicho sistema quedó totalmente excluida y se reserva a desarrollos posteriores en otras disciplinas.

Una vez realizada la revisión visual se procedió a separar el archivo original en sus respectivos archivos de ráfaga, ésto se hizo utilizando el criterio de que una ráfaga cuenta con 12 líneas de marea identificadas por los primeros dos caracteres. De esa forma todas las líneas que se encuentran entre las primeras 12 líneas de marea y la línea número 13 de marea que se encuentre, son líneas de oleaje que junto con las 12 líneas de marea forman la primera ráfaga; y así sucesivamente hasta separar la totalidad de las ráfagas que conforman al archivo original. Una vez separados los archivos de ráfaga se procedió a corregirlos, esto es detectando por medio de un algoritmo computacional, las líneas de oleaje que presentan errores de paridad o de línea corta. En las líneas de oleaje la información que proporcionan los caracteres 67 a 69 es nula, como se mostró en el capítulo 2 en la tabla 2.2, así que, si la línea es corta por que le falten estos 3 caracteres, se puede resolver copiando la parte correspondiente de la línea anterior o posterior y cambiando la bandera de control de S por G, convirtiéndola así en línea buena. Si la línea es corta por que le falten más datos no se hace ninguna corrección, simplemente se contabilizan los errores como líneas cortas en cada ráfaga. En cuanto a los errores de

paridad respecta, el programa no hace más que contabilizar el número de líneas que lo presentan en cada ráfaga.

Debido a los intervalos de medición con los que se operaron los instrumentos, es común encontrar a la última línea de marea intercalada entre las líneas de oleaje, así que en esta parte también se localiza esa línea y se coloca en el lugar que le corresponde, para facilitar la separación de las líneas de oleaje y las de marea que requieren de procesamientos diferentes.

En la columna 4 de la tabla 3.3 se muestra el número de cintas que se encontraron dañadas durante la revisión en formato hexadecimal.

RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE CALIDAD DE DATOS EN FORMATO HEXADECIMAL

Nombre del sitio	Número total de cintas	cintas malas en la transferencia	cintas malas revisión en f. hexadecimal	Total de cintas buenas	Porcentaje de pérdida de cintas
1) Rosarito, Baja California	02	00	02	00	100.00 %
2) Punta Cabras, Baja California	22	02	08	12	45.45 %
3) Erendira, Baja California	01	00	00	01	0.00 %
4) Puerto Libertad, Sonora	02	00	02	00	100.00 %
5) Peña Blanca, Colima	19	00	03	16	15.78 %
6) El Morro, Colima	13	02	07	04	69.23 %
7) El Morro III, Colima	04	01	01	02	50.00 %
8) Colmi, Colima-Michoacán.	14	03	04	07	50.00 %
9) Puerto, Michoacán	09	00	07	02	77.77 %
10) Puerto San Juan de Alima, Michoacán.	21	00	06	15	28.57 %
11) La Brisa, Michoacán	26	02	05	19	26.92 %
12) Petacalco, Guerrero	12	03	07	02	83.33 %
TOTAL	145	13	52	80	44.82 %

Tabla 3.3 Resultados del análisis de la calidad de los datos en formato hexadecimal.

Como se muestra en la tabla 3.3, el porcentaje de cintas dañadas es alto, pues casi la mitad de las cintas resultaron dañadas o con datos mal grabados, con estas cintas se

perdió en su totalidad la información con que se contaba para dos sitios: Rosarito B.C. y Puerto Libertad Sonora. En el resto de los sitios las pérdidas significan una interrupción en la continuidad de los muestreos.

3.3 Conversión de datos en formato hexadecimal a formato decimal, en unidades ingenieriles

Con fines de aprovechamiento de espacio en memoria, los datos de oleaje son grabados en formato hexadecimal así pues es importante explicar la forma en que se hacen las conversiones a unidades ingenieriles basándose en los algoritmos proporcionados por el fabricante una descripción más detallada al respecto se puede encontrar en el manual (Sea Data Corporation, 1983).

3.3.1 Conversión del número de cuentas del sensor de presión a frecuencias

La conversión del número de cuentas a frecuencias del sensor de presión inducidas por la onda de marea se realiza de manera diferente al cálculo de las presiones inducidas por el oleaje. En el caso de los datos de marea el número de cuentas integradas del sensor de presión se convirtieron a frecuencias mediante la siguiente expresión:

$$F = \frac{\text{cuentas}}{14.065} \quad (3.1)$$

en donde F es la frecuencia del sensor de presión y es el cociente de las cuentas del sensor entre 14.065 y ésta es la constante resultado de dividir los 3,600 segundos que tiene una hora entre 256. Para el caso de los datos de presión correspondientes al oleaje las cuentas del sensor de presión se convirtieron a frecuencias mediante la siguiente expresión:

$$F = \frac{\text{cuentas}}{16} \quad (3.2)$$

En donde F es la frecuencia del sensor de presión.

3.3.2 Conversión de frecuencias del sensor de presión a milibares.

Antes de hacer la conversión de las frecuencias del sensor de presión a presiones en unidades ingenieriles, las frecuencias deben ser corregidas para anular el efecto de deriva del reloj de cuarzo inducido por cambios de temperatura. Las frecuencias corregidas se denominan F_p . En condiciones normales $F_p = F$.

Las frecuencias del sensor de presión calculadas para los datos de marea y de oleaje se convierten a unidades de presión en libras por pulgada cuadrada mediante la siguiente expresión:

$$P = A (1 - T_o / T_p) - B (1 - T_o / T_p)^2 \quad (3.3)$$

en donde A, B y T_o son las constantes de calibración del sensor de presión que son diferentes para cada instrumento y son proporcionadas por el fabricante. T_p es el período; inverso de la frecuencia F_p .

La presión en milibares se calcula mediante la siguiente expresión:

$$P(\text{mbar}) = P(\text{psia}) \times 33.864 \quad (3.4)$$

Los metros de columna de agua (Δ) sobre el sensor se calculan mediante la expresión:

$$\Delta = P(\text{mbar}) - 1013.3 / 123.5279 \quad (3.5)$$

en donde 1013.3 representa los milibares equivalentes a una atmósfera de presión, y 123.5279 los milibares equivalentes a cada metro de columna de agua.

3.3.3 Conversión de las cuentas del reloj a horas.

La palabra del tiempo de 5 dígitos (del 3 al 7, tabla 2.1) se incrementa a una razón de 128 por cada hora. Por lo tanto para calcular el tiempo que transcurre desde que se inicializa el contador del reloj, es necesario multiplicar el número de cuentas por la tasa a la cual se incrementa la palabra del tiempo:

$$\text{Tiempo} = (\text{cuentas} \times 28.125) \text{segundos} = (\text{cuentas} / 128) \text{horas} \quad (3.6)$$

3.3.4 Conversión de las cuentas del compás a grados.

Es importante señalar que la orientación que el compás proporciona es la orientación del cero del instrumento con respecto al norte magnético y este dato se registra en cada una de las líneas de marea (caracteres 56 y 57, tabla 2.1), para convertir

los datos hexadecimales del compás a grados primero es necesario convertirlos a decimal y posteriormente a unidades de grados mediante la siguiente expresión:

$$\theta = [\kappa \times (360/255)] \quad (3.7)$$

en donde κ representa la palabra del compás convertida en base diez y el cociente es la proporción en grados para las cuentas del compás, es decir los datos medidos por el compás se graban en solo dos dígitos en formato hexadecimal, por lo que el rango en el que están estas mediciones va de 00 a FF , que corresponde al rango de 0 a 255 en base diez.

3.3.5 Conversión de los datos hexadecimales de las componentes horizontales de velocidad u y v a decimales en unidades de cm s^{-1} .

Los datos hexadecimales de las componentes horizontales de velocidades instantáneas de oleaje u y v se convierten a decimales en unidades de cms^{-1} utilizando las velocidades promedio u y v calculadas y grabadas por los ológrafos durante el registro de los datos de marea. Para cada componente u de velocidad instantánea en unidades de pies s^{-1} se calculan cuatro velocidades V mediante las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned} V1 &= \frac{u \times 10}{512} & V2 &= V1 + 5 \\ V3 &= \frac{(u - 256) \times 10}{512} & V4 &= V3 - 5 \end{aligned} \quad (3.8)$$

y cuatro coeficientes:

$$\begin{aligned} D1 &= V1 - XX & D2 &= V2 - XX \\ D3 &= V3 - XX & D4 &= V4 - XX \end{aligned} \quad (3.9)$$

en donde:

$$XX = \left[\left(\frac{u}{1608} \right) \right] \times \frac{10}{1608} \quad (3.10)$$

El coeficiente D con menor valor absoluto determina la velocidad V que representa el valor de la componente horizontal de la velocidad u en sistema decimal en unidades de pies s^{-1} . Este valor se convierte a unidades de $cm s^{-1}$ multiplicando la velocidad V correspondiente por el factor de conversión 30.48.

El cálculo de las componentes v de velocidad instantánea de oleaje en sistema decimal en unidades de $cm s^{-1}$ se efectúa utilizando las mismas ecuaciones que se utilizaron para las componentes u de velocidades instantáneas.

Finalmente, en virtud de que los ológrafos no se instalan en el mar perfectamente orientados hacia el norte magnético, el sistema coordinado formado por las componentes horizontales de velocidad instantánea u y v de éstos aparece desfasado respecto al norte magnético, por lo que resulta conveniente rotarlo para que así coincidan. Para esto resulta necesario realizar las siguientes transformaciones:

$$U = u \cos\theta + v \sin\theta \quad (3.11)$$

$$V = -u \sin\theta + v \cos\theta \quad (3.12)$$

en donde U y V representan las componentes horizontales de velocidad instantánea referidas al norte magnético, u y v representan las componentes horizontales de velocidad instantánea registradas por los ológrafos, θ es el ángulo que indica la orientación del instrumento respecto al norte magnético. Mediante esta transformación las componentes horizontales U y V positivas de la velocidad quedan correctamente orientadas hacia el norte magnético y hacia el este respectivamente.

Capítulo 4

Análisis matemático y estadístico.

Hasta este momento se han discutido los puntos referentes a la adquisición de los datos, a los instrumentos utilizados para este fin, a la transferencia de los datos de cintas a memoria en PC, y la transformación de los datos del formato de grabación a datos ingenieriles, pero existe una serie de análisis matemáticos y estadísticos que deben realizarse a los datos, por una parte como un proceso más de control de calidad de los datos y por otra parte para eliminar algunos efectos asociados a las mediciones in-situ con la intención de aislar el fenómeno de interés, en este caso el oleaje.

Por otra parte es necesario realizar los análisis para llegar a los valores de interés relacionados con el oleaje, como son la altura significativa y la dirección de propagación.

4.1 Identificación y corrección de valores disparados en las series de tiempo en formato decimal en unidades ingenieriles

El primer análisis que se realizó con las series de tiempo de alturas y de componentes horizontales de velocidad u y v fue encontrar los valores disparados, el criterio para corregir datos disparados es que aquel dato que excede tres veces el valor de la desviación estándar de la serie, será substituido por el valor de la desviación estándar de la misma, en la figura 4.1 se muestra un ejemplo de una serie de tiempo que presenta datos disparados.

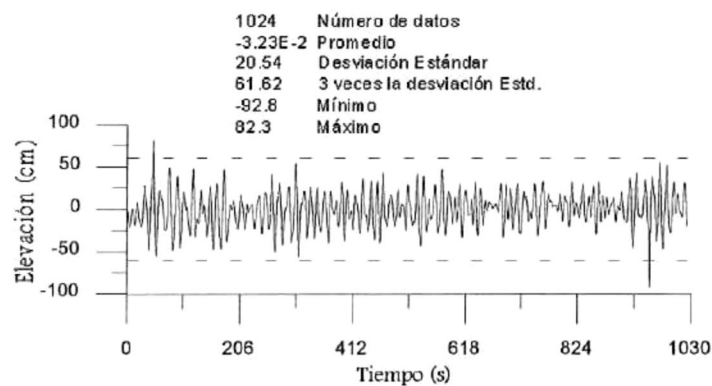


Figura 4.1 Serie de tiempo no corregida con valores disparados, que exceden tres veces el valor de la desviación estándar de la serie.

Este criterio se utiliza partiendo de la base que las series de tiempo de amplitudes y componentes de velocidad horizontal u y v presentan una distribución de densidad que se puede aproximar a una distribución de densidad normal. La distribución normal se caracteriza por tener forma de campana, en la que el punto medio es el promedio o media aritmética, la curva es simétrica por lo que la mitad del área bajo dicha curva se encuentra a cada lado del promedio. En la figura 4.2 se muestra el histograma de

frecuencias para una serie de tiempo de amplitudes con la respectiva curva teórica de la distribución de densidad normal.

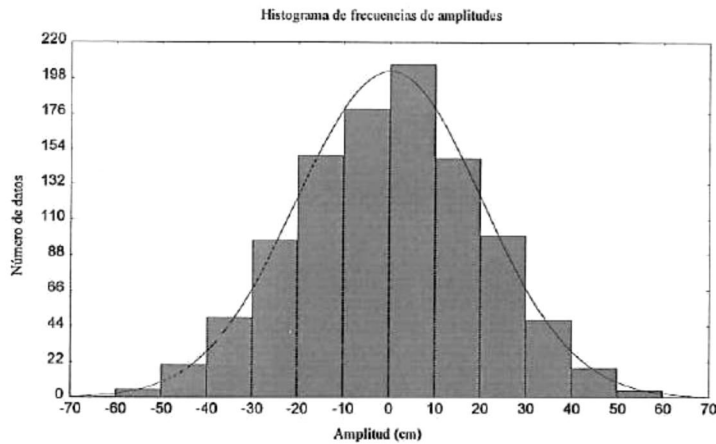


Figura 4.2 Histograma de frecuencias correspondiente a una serie de tiempo de amplitudes.

Por otra parte la desviación estándar es una medida de dispersión que admite interpretación en términos de la observación. Ésta sirve como una unidad para decidir si una observación es común y corriente o si es un valor no usual para la población dada.

En una distribución normal el área bajo la curva que se encuentra limitada entre \pm una desviación estándar representa el 68.3% de la población de datos, de esta forma el área bajo la curva comprendida entre \pm dos veces la desviación estándar representa el 95.4 % de la población y la que se encuentra entre \pm tres veces la desviación estándar es el 99.7 % de la población. Así pues se establece que cualquier dato que rebase tres veces \pm el valor de la desviación estándar tiene una alta probabilidad de no pertenecer a esta población de datos ya que el 99.7 % de ellos está por debajo de este valor.

En la figura 4.3 se muestran los porcentajes de la población que se localizan bajo cada sector de la curva, limitados por \pm una, dos y tres veces el valor de la desviación estándar, para una distribución normal.

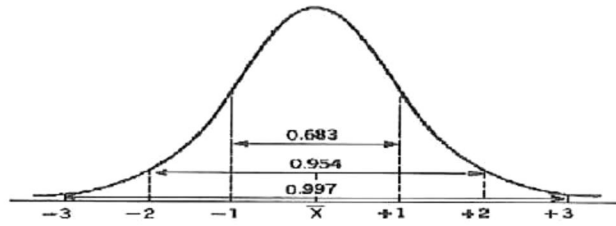


Figura 4.3 Distribución de los porcentajes de la población que se encuentran bajo los diferentes sectores de la curva limitados por una, dos y tres veces la desviación estándar , en una distribución normal

En la figura 4.4 se muestra la misma serie de tiempo de la figura 4.1, pero ya con la corrección de los valores disparados.

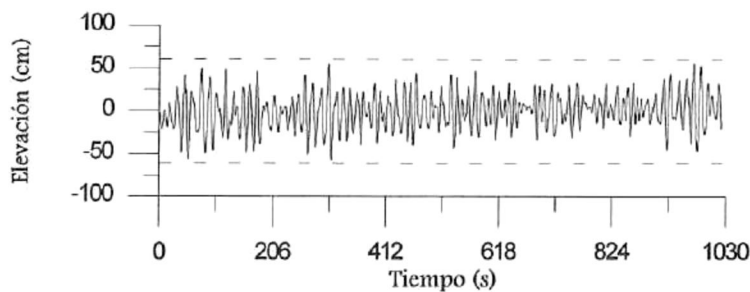


Figura 4.4 Serie de tiempo con datos disparados corregidos.

4.2 Eliminación de tendencias lineales de las series de tiempo de amplitud y componentes de velocidad U y V.

Debido a que los períodos durante los cuales se mide el oleaje son relativamente cortos (17 minutos cada 3 horas), y que los períodos de las ondas de baja frecuencia como la marea son muy largos (12 o 24 h), la señal que el instrumento registra es

realmente la sobreposición de ambas ondas, por lo que resulta necesario aplicar algunas técnicas matemáticas para separar la señal del oleaje de la señal de la marea.

En este caso se hace la suposición de que el fragmento de la onda de marea en el que se encuentra montada la señal inducida por el oleaje es una línea recta, por lo que para eliminar esta tendencia se hace una regresión lineal simple.

$$\text{Sea} \quad AVx = (Ndat + 1) / 2 \quad (4.1)$$

en donde $Ndat$ es el número de datos, que es 2^n y en este caso siempre fue 1024

$$AVy = \frac{\left(\sum_{i=1}^{Ndat} y(i) \right)}{Ndat} \quad (4.2)$$

en donde $y(i)$ representa el conjunto de datos medidos de η , u o v ; en un intervalo constante de muestreo; e i es el número de dato η , u o v .

$$Sxx = \sum_{i=1}^{Ndat} (i - AVx)^2 \quad (4.3)$$

$$Sxy = \sum_{i=1}^{Ndat} (i - AVx)(y(i) - AVy) \quad (4.4)$$

$$Syy = \sum_{i=1}^{Ndat} (y(i) - AVy)^2 \quad (4.5)$$

$$B3 = \frac{Sxy}{Sxx} \quad (4.6)$$

$$A3 = AVy - (B3)(AVx) \quad (4.7)$$

Y la serie ya sin tendencia (Y_{SNT}) será:

$$Y_{SNT}(i) = y(i) - A3 - B3(i) \quad \text{para } i=1 \dots N_{dat} \quad (4.8)$$

4.3 Cálculo del nivel medio del mar a partir de los registros de oleaje.

El nivel medio del mar se calcula mediante métodos lineales de mínimos cuadrados utilizando las siguientes expresiones (Goda, 1985):

$$\eta = A_0 + A_1 n \quad : n=1, 2, \dots, N \quad (4.9)$$

en donde

$$A_0 = \frac{N_2 Y_0 - N_1 Y_1}{N_0 N_2 - N_1^2}, \quad A_1 = \frac{N_0 Y_1 - N_1 Y_0}{N_0 N_2 - N_1^2} \quad (4.10)$$

$$N_r = \sum_{n=1}^N n^r \quad Y_r = \sum_{n=1}^N n^r \eta_n \quad (4.11)$$

en donde N denota el número total de puntos.

4.4. Análisis de cruces por cero

En este trabajo se utilizó el método de cruces por cero para definir y caracterizar las olas, éste es el método estándar utilizado en los estudios analíticos estadísticos, y de garantía de calidad para definir olas a partir de registros analógicos y digitales. El método consiste en definir el inicio de la primera ola localizando el punto de la serie en donde la señal cruza hacia arriba la línea del nivel medio del mar, es decir en el punto en que el

valor de elevación cambia de negativo a positivo. En segundo lugar se define el final de la primera ola y el inicio de la segunda, cuando la señal vuelve a cruzar la línea hacia arriba, después de haber cruzado la línea hacia abajo en una ocasión. Y así sucesivamente hasta encontrar el número de olas que forman a la serie de tiempo.

Con este mismo método se define el período como el producto del número de datos que forman una ola y el intervalo de muestreo de la serie (Δt), el cual en el caso de los datos utilizados en este trabajo siempre fue de 1.0 s. Además la altura de la ola se define como la distancia vertical entre el punto más alto y el punto más bajo del grupo de puntos que la forman. En la figura 4.5 se muestra esquemáticamente el método de cruces por cero.

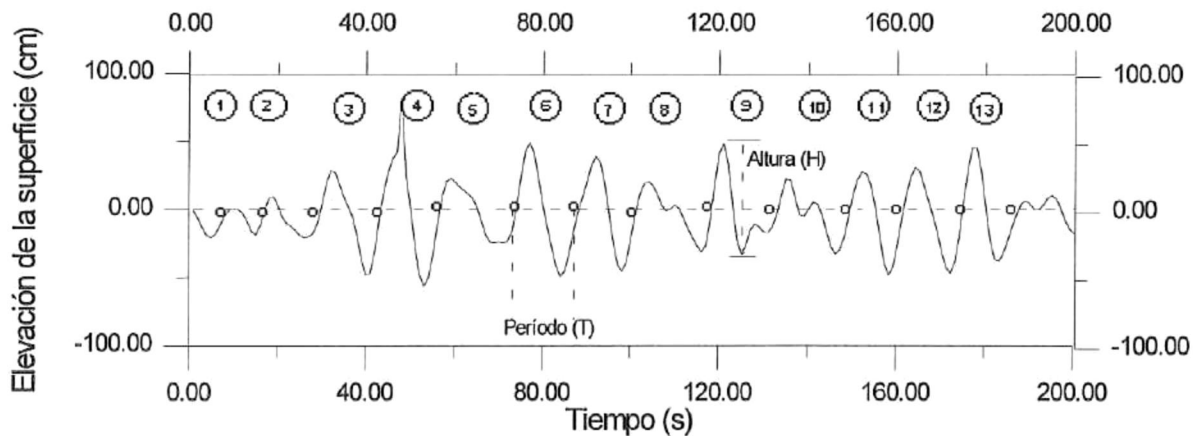


Figura 4.5 Método de cruces por cero aplicado a una serie de tiempo de elevaciones de la superficie libre del mar (Goda, 1985).

En la figura 4.5 se muestra como se identificaron 13 olas en la serie de tiempo, de éstas se marca el período de la ola número 6 que está formada por 16 datos con intervalo de tiempo entre ellos de 1.0 s; por lo que la ola número 6 tiene un período de $16\Delta t$, es decir 16 segundos. Por otra parte se muestra también la altura de la ola número 9 que

presenta un valor máximo de 50 cm y un valor mínimo de -25 cm, por lo que su altura es de 75 cm. Es importante resaltar que al utilizar este método se asume que las olas son simétricas en la vertical, así que la ola número 9 tiene una altura (H) de 75 cm. y una amplitud ($a= H/2$) de 37.5 cm.

En la tabla 4.1 se muestra el número de olas encontradas para cada sitio, con el método de cruces por cero.

Nombre del sitio	No. de olas contadas con el m. de cruces por cero
1) Punta Cabras, Baja California	233,576
2) Eréndira, Baja California	12,351
3) Peña Blanca, Colima	301,148
4) El Morro, Colima	86,051
5) El Morro III, Colima	37,455
6) Colmi, Colima-Michoacán.	143,718
7) Puerto, Michoacán	37,713
8) Puerto San Juan de Alima, Michoacán.	284,857
9) La Brisa, Michoacán	352,316
10) Petacalco, Guerrero	27,370
TOTAL	1,516,555

Tabla 4.1 Resultado del análisis de cruces por cero, para cada sitio de medición.

4.5 Cálculo y aplicación del Coeficiente de Amortiguamiento (Kp).

El coeficiente de amortiguamiento o coeficiente de atenuación representa el cambio que sufre la señal del oleaje en la componente vertical conforme la profundidad aumenta, su valor está entre cero y uno, siendo uno en la superficie. Se calcula utilizando la siguiente expresión.

$$K_p = \frac{\cosh k(h-z)}{\cosh kh} \quad (4.12)$$

En donde h es la profundidad del sitio, z es la profundidad a la que se encuentran los sensores del aparato y k es el número de onda ($2\pi/L$), y L es la longitud de onda.

De esta expresión se cuenta con los valores de h y de z pero para obtener k es necesario calcular la longitud de onda mediante la relación de dispersión de ondas gravitatorias con la siguiente ecuación trascendental.

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi h}{L}\right) \quad (4.13)$$

El cálculo numérico se realizó con un proceso iterativo en el que se aplica el método de Newton-Raphson para encontrar raíces de ecuaciones.

Una vez que fue calculado el valor del K_p , se aplica a las alturas como

$$\text{Altura} = \text{Altura} / K_p.$$

En la figura 4.6 se muestra una serie de tiempo de alturas que muestra los valores directamente medidos por el instrumento.

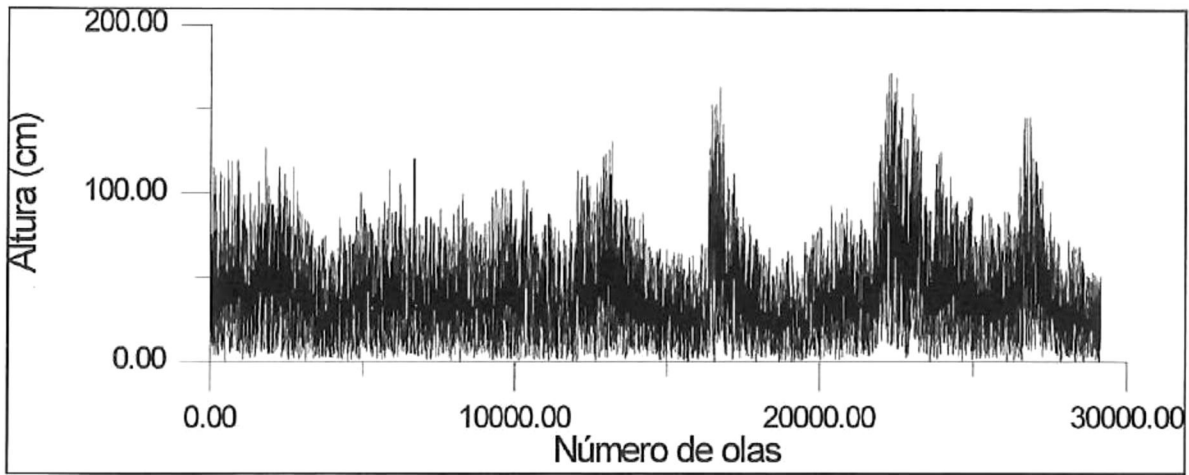


Figura 4.6 Serie de tiempo de alturas sin el coeficiente de amortiguamiento (K_p) aplicado.

En la figura 4.7 se muestra la misma serie pero con el K_p aplicado.

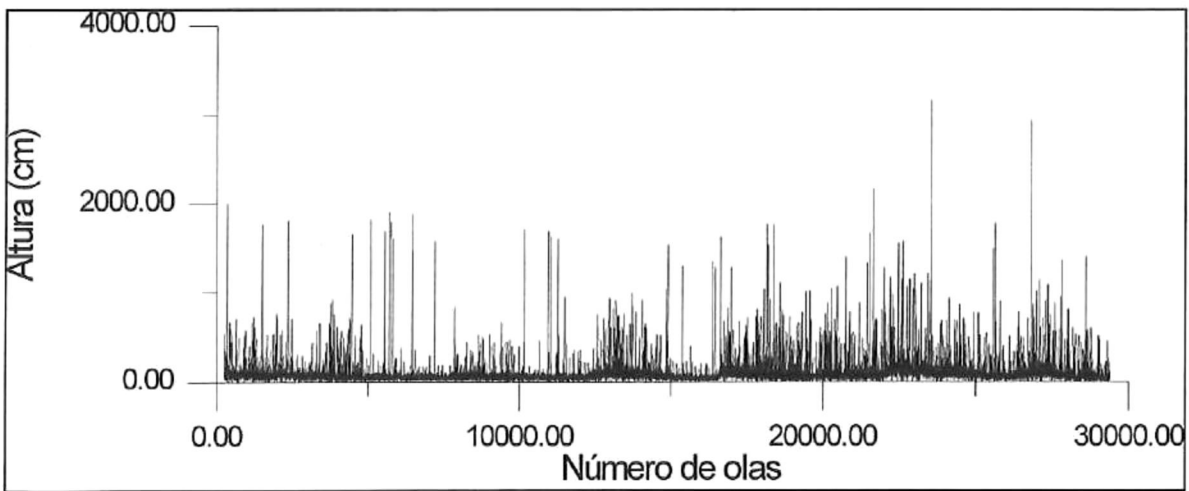


Figura 4.7 Serie de tiempo con el coeficiente de amortiguamiento (K_p) aplicado.

4.6 Cálculo de las direcciones del oleaje

Uno de los parámetros más importantes a determinar en el estudio del oleaje es el ángulo de incidencia. En estudios de ingeniería oceánica el ángulo de incidencia es el factor más importante para determinar la orientación de las estructuras de protección. En el estudio de procesos litorales la dirección en el transporte de sedimento está determinada por el ángulo con que inciden las olas a la costa.

La dirección de incidencia del oleaje se calculó a partir de las componentes horizontales de velocidad (u y v) registradas por los ológrafos Sea Data 635-12 mediante las siguientes expresiones (Nagata, 1964):

$$\theta_0 = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{2\overline{uv}}{\overline{u^2} - \overline{v^2}} \right) \quad (4.14)$$

en donde θ_0 es la dirección principal,

$$\overline{u^2} = \frac{1}{ND} \sum_{i=1}^{ND} u^2 \quad (4.15)$$

$$\overline{v^2} = \frac{1}{ND} \sum_{i=1}^{ND} v^2$$

$$\overline{uv} = \frac{1}{ND} \sum_{i=1}^{ND} u \cdot v \quad (4.16)$$

y ND es el número de datos de una ola. Recordando del método de cruces por cero que una ola es el resultado de varias mediciones de elevación y por cada una de éstas existe

un par de componentes de la velocidad instantánea; es decir que se calcula la dirección de incidencia de cada ola registrada.

Este ángulo se transforma de radianes a grados y se le suma la orientación del instrumento respecto al norte magnético ver sección (3.3.4).

Los ángulos correspondientes se miden a partir del este, aumentando en contra de las manecillas del reloj. Todas las direcciones se reportan como dirección de propagación del oleaje, es decir la dirección hacia donde las olas se dirigen. Así, olas con direcciones de 0° ó 360° se propagan hacia el este, olas con direcciones de 90° se propagan hacia el norte, olas con direcciones de 180° se propagan hacia el oeste y olas con direcciones de 270° se propagan hacia el sur.

4.7 Análisis Espectral

En el estudio del oleaje y principalmente para fines ingenieriles lo más importante a determinar es la energía asociada a las olas, ésta depende de todas sus características físicas (altura, período, longitud) por lo que resulta muy importante el tener una forma de cuantificar la energía contenida en las olas.

El cálculo de la cantidad de energía contenida en el oleaje se realiza mediante el análisis espectral de las series de tiempo del oleaje. En dicho análisis las series de tiempo de oleaje se representan como series finitas de Fourier y los coeficientes de éstas se calculan mediante el algoritmo de la transformada rápida de Fourier (FFT) (Brigham, 1974). Puesto que la energía de cada senoide de la serie de Fourier es igual a la suma del cuadrado de sus coeficientes, y la suma de las sinusoides constituye el registro original del oleaje, entonces la suma de sus energías constituye la energía contenida en las olas del registro original. La forma compleja de la transformada de Fourier se define como:

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \exp(-j2\pi ft) dt \quad (4.17)$$

en donde x es la variable en el dominio del tiempo que representa a las elevaciones η del nivel del mar, y a las componentes horizontales u y v de velocidad instantánea, $j = \sqrt{-1}$, f es la frecuencia, y t es el tiempo.

En realidad, esta expresión se utiliza para funciones continuas, en este caso al tener series de tiempo se trata de variables discretas, de manera que la transformada de Fourier discreta de una serie de longitud N se define como:

$$X(k) = \Delta t \sum_{i=0}^{N-1} x(i) \exp\left(\frac{-j2\pi ik}{N}\right) \quad (4.18)$$

en donde N es el número de datos de la serie, k es el índice de la frecuencia, Δt es el intervalo de muestreo y $j = \sqrt{-1}$.

Una limitante del algoritmo estándar de FFT es que para poder utilizarse la longitud de la serie de tiempo debe ser una potencia de 2.

Para el caso de las series de tiempo procesadas en este trabajo el número de datos que se utilizó fue de 1024 en todos los casos ya que esta variable es una de las que se pueden programar directamente en el tablero del ológrafo; ver sección (2.2).

Con la intención de evitar el derramamiento de energía de las frecuencias más energéticas a las menos energéticas, las series de tiempo de oleaje se filtraron haciéndolas pasar por una ventana coseno mediante las siguientes expresiones.

$$\left. \begin{aligned} \eta(t^*) &\rightarrow b(t^*)\eta(t^*) \\ u(t^*) &\rightarrow b(t^*)u(t^*) \\ v(t^*) &\rightarrow b(t^*)v(t^*) \end{aligned} \right\} t^* = 1, 2, \dots, N. \quad (4.19)$$

en donde el conjunto de coeficientes $b(t^*)$ representan el filtro coseno que se define como:

$$b(t^*) = \begin{cases} \frac{1}{2} [1 - \cos \pi t^* / l] & : 0 < t^* < l, \\ 1 & : l \leq t^* \leq N-l, \\ \frac{1}{2} [1 - \cos \pi (N-t^*) / l] & : N-1 < t^* \leq N \end{cases} \quad (4.20)$$

Un inconveniente de la ventana coseno es que reduce el número de grados de libertad y la energía total del espectro, por lo que resulta indispensable corregir las estimaciones de densidad de energía multiplicándolas por la siguiente tasa:

$$\frac{N}{\sum b^2(t^*)} \quad (4.21)$$

Por otra parte, la resolución del cálculo espectral depende de la longitud de las series, entendiéndose por resolución la capacidad para distinguir entre dos picos espectrales contiguos. La resolución del cálculo espectral se mide efectivamente por el ancho de banda espectral, mismo que se define como la distancia mínima de frecuencias

entre dos cálculos espectrales independientes. La resolución espectral es alta cuando el ancho de banda es angosto. Por lo que a mayor resolución espectral menor precisión (estabilidad) y viceversa.

Para el caso de los datos procesados en este trabajo se escogieron 16 bandas de frecuencia equivalente a 32 grados de libertad y esto nos dio una resolución espectral de 0.03125 Hz.

En virtud de que el intervalo de muestreo (Δt) con el que se realizó la adquisición de los datos de oleaje para todos los sitios fue de 1.0 s, la frecuencia más alta a la que se pudo calcular la densidad de energía fue de 0.5 Hz. Esta frecuencia se denomina frecuencia de Nyquist, o frecuencia de corte, y se calcula mediante la siguiente expresión:

$$F_N = 1/2\Delta t \quad (4.22)$$

Los espectros de densidad de energía se calcularon a partir de las series de tiempo de elevaciones η del nivel del mar y de las componentes horizontales de velocidad instantánea u y v . Así obtenemos dos estimaciones independientes de la varianza de las elevaciones del nivel del mar, y podemos calificar el funcionamiento de los ológrafos.

Por otra parte, siempre resulta conveniente evaluar la correlación entre las series de tiempo de elevaciones η del nivel del mar y de las componentes horizontales de velocidad instantánea u y v , para verificar su dependencia estadística, ya que las mediciones de altura y direcciones del oleaje se realizan por sensores independientes pero suponiendo que físicamente existe una relación causa-efecto entre las dos variables. Para ésto se calcula la función de coherencia a partir de los espectros cruzados entre las series de tiempo de elevación y velocidad mediante la siguiente expresión:

$$r = \frac{\sigma_{ijk}}{(\sigma_{ij} \sigma_{ik})^{\frac{1}{2}}} \quad (4.23)$$

en donde:

- r = coherencia entre las series j y k ,
- σ_{ijk} = densidad espectral cruzada entre las series j y k para la frecuencia i ,
- σ_{ij} = densidad espectral de la serie j para la frecuencia i ,
- σ_{ik} = densidad espectral de la serie k para la frecuencia i .

Finalmente, la caracterización cuantitativa de los espectros de densidad de energía se logra mediante el cálculo de sus momentos espectrales utilizando la siguiente expresión:

$$\mu_n = \int_0^{F_c} f^n E(f) df \quad (4.24)$$

en donde, μ_n es el momento espectral de orden n y se calcularon hasta orden 4, f es la frecuencia, y E es la densidad de energía.

4.7.1 Espectro direccional

Para poder hablar de una caracterización completa de la naturaleza del oleaje es necesario incluir la descripción cuantitativa de la cantidad de energía asociada con las alturas, períodos y direcciones de las olas. Las olas en el océano poseen espectros de

densidad de energía asimétricos, y se propagan libremente en todas direcciones, de manera que resulta indispensable cuantificar la cantidad de energía contenida en las olas que viajan en distintas direcciones. Esta información es indispensable y de fundamental importancia para el diseño y cálculo de las estructuras costeras. Por lo general las estructuras costeras son asimétricas por lo que responden de manera distinta al oleaje proveniente de diferentes direcciones. El cálculo de la energía contenida en el oleaje de distintas frecuencias y direcciones se realiza mediante el análisis espectral direccional de las series de tiempo de elevaciones η y de las componentes horizontales de velocidad instantánea u y v . Los espectros direccionales de densidad de energía correspondientes a los datos utilizados en este trabajo se calcularon utilizando un ancho de banda de 0.03125 Hz, y una frecuencia de corte de 0.5 Hz, utilizando los modelos de Longuet-Higgins (1963) y Nagata (1964). La solución de estos modelos implica primero calcular las funciones de covarianza entre las series de tiempo de elevación y componentes de velocidad, mediante las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned}\Psi_{\eta u}(f) &= \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{2} k_n a_n^2 \cos(\theta_n) \text{sen}(\omega_n T) \\ \Psi_{\eta v}(f) &= \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{2} k_n a_n^2 \text{sen}(\theta_n) \text{sen}(\omega_n T) \\ \Psi_{uv}(f) &= \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{2} k_n a_n^2 \cos(\theta_n) \text{sen}(\theta_n) \cos(\omega_n T)\end{aligned}\tag{4.25}$$

en donde Ψ son las funciones de covarianza entre las series que se indican como subíndices, k es el número de onda para la n ésima frecuencia, θ es el ángulo de aproximación del oleaje para la n ésima frecuencia, ω_n es la n ésima frecuencia angular equivalente a $2\pi f$, T es el tiempo, y a_n es el n ésimo coeficiente de Fourier.

A partir de estas tres funciones de covarianza se calcula un espectro cruzado y dos de cuadratura, mismos que se relacionan con el espectro direccional de densidad de energía mediante las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned}
 C_{uv}(f) &= \int_{-\infty}^{\infty} \psi_{uv}(T) \cos(2\pi fT) dT = \frac{1}{2} \int_0^{2\pi} S(f, \theta) k^2 \cos\theta \sin\theta d\theta \\
 Q_{\eta u}(f) &= \int_{-\infty}^{\infty} \psi_{\eta u}(T) \sin(2\pi fT) dT = \frac{1}{2} \int_0^{2\pi} S(f, \theta) k \cos\theta d\theta \\
 Q_{\eta v}(f) &= \int_{-\infty}^{\infty} \psi_{\eta v}(T) \sin(2\pi fT) dT = \frac{1}{2} \int_0^{2\pi} S(f, \theta) k \sin\theta d\theta
 \end{aligned} \tag{4.26}$$

Asimismo, de las funciones de autocovarianza de η , u y v se obtienen los siguientes tres coespectros, mismos que se relacionan con el espectro direccional de densidad de energía mediante las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned}
 C_{\eta\eta}(f) &= \int_{-\infty}^{\infty} \psi_{\eta\eta}(T) \cos(2\pi fT) dT = \frac{1}{2} \int_0^{2\pi} S(f, \theta) d\theta \\
 C_{uu}(f) &= \int_{-\infty}^{\infty} \psi_{uu}(T) \cos(2\pi fT) dT = \frac{1}{2} \int_0^{2\pi} S(f, \theta) k^2 \cos^2 \theta d\theta \\
 C_{vv}(f) &= \int_{-\infty}^{\infty} \psi_{vv}(T) \cos(2\pi fT) dT = \frac{1}{2} \int_0^{2\pi} S(f, \theta) k^2 \sin^2 \theta d\theta
 \end{aligned} \tag{4.27}$$

De esta manera se obtienen seis cantidades a partir de los tres espectros cruzados y tres funciones de autocorrelación, mismas que se relacionan con las integrales del espectro direccional de densidad de energía $S(f, \theta)$ que se representa por una serie de Fourier:

$$S(f, \theta) = \frac{1}{2} A_0(f) + \sum_{n=1}^{\infty} [A_n(f) \cos(n\theta) + B_n(f) \sin(n\theta)] \quad (4.28)$$

y ésta se sustituye en las ecuaciones 4.26 y 4.27, e integrándolas se determinan los valores de los coeficientes de Fourier para $n=0,1$ y 2 mediante las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned} A_0(f) &= \frac{2}{\pi} C_{mv}(f) \\ A_1(f) &= \frac{2}{\pi k} Q_{\eta u}(f) \\ A_2(f) &= \frac{2}{\pi k^2} [C_{mv}(f) - C_{mv}(f)] \\ B_1(f) &= \frac{2}{\pi k^2} Q_{\eta v}(f) \\ B_2(f) &= \frac{4}{\pi k^2} C_{mv}(f) \end{aligned} \quad (4.29)$$

Esta estimación de $S(f, \theta)$ representa a la serie infinita de Fourier de la ecuación 4.28 solamente hasta los términos de segundo orden, por lo que resulta ser una estimación sesgada del verdadero espectro direccional de densidad de energía. Para obtener el verdadero valor del espectro direccional basta con multiplicar por un factor de corrección:

$$\hat{S}_1(f, \theta) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} S(f, \theta) W_1(\phi - \theta) d\theta \quad (4.30)$$

en donde:

$$W_1(\phi) = \frac{\text{sen } \frac{5}{2}\phi}{\text{sen } \frac{1}{2}\phi} = 1 + 2 \cos \phi + 2 \cos 2\phi$$

Para reducir aún más el sesgo inducido por la función ventana $W_1(\phi)$, Longuet Higgins (1963) propone la siguiente expresión para el cálculo del espectro direccional de densidad de energía:

$$\hat{S}_2(f, \theta) = \frac{1}{2} A_0 + \frac{2}{3} (A_1 \cos \theta + B_1 \text{sen } \theta) + \frac{1}{6} (A_2 \cos 2\theta + B_2 \text{sen } 2\theta) \quad (4.31)$$

Lo que resulta equivalente a aplicar la siguiente función ventana al estimador sesgado del espectro direccional:

$$W_2(\phi) = \frac{8}{3} \cos^4 \frac{1}{2}\phi = 1 + \frac{4}{3} \cos \phi + \frac{1}{3} \cos 2\phi \quad (4.32)$$

4.8 Análisis de densidad de probabilidad

Finalmente en el procesamiento resulta de suma importancia la descripción probabilística de la respuesta pico de las estructuras a las fuerzas aleatorias producto del oleaje. Para ésto resulta indispensable calcular la densidad de probabilidad conjunta de las alturas y períodos de las olas, mediante las expresiones teóricas propuestas por Longuet-Higgins (1975).

Conforme al modelo teórico de Longuet-Higgins, la densidad de probabilidad de la altura de una ola está dada por la distribución de Rayleigh mediante la siguiente expresión:

$$P(\xi) = \xi \exp(-\xi^2 / 2) \quad \xi = \frac{a}{\mu_0^{1/2}} \quad (4.33)$$

en donde μ_0 es el momento espectral de orden cero del espectro de densidad de energía, y a es la amplitud de la ola.

Por otra parte, la densidad de probabilidad del período de una ola está dada por:

$$P(\beta) = \frac{1}{2(1 - \beta^2)^{3/2}}; \quad \beta = \frac{T - \bar{T}}{V\bar{T}} \quad (4.34)$$

en donde \bar{T} es el período promedio de las olas del archivo en cuestión y

$$V = \left(\frac{\mu_2}{\mu_0} \right)^{1/2} \left(\frac{\bar{T}}{2\pi} \right) \quad (4.35)$$

siendo μ_2 el momento espectral de orden 2.

Por consiguiente, la densidad de probabilidad conjunta del período y altura de una ola está dada teóricamente por la siguiente expresión:

$$P(\xi, \beta) = \frac{\xi^2}{(2\pi)^{\frac{1}{2}}} \exp[-\xi(1 + \beta^2)/2] \quad (4.36)$$

en donde ξ y β tienen el mismo significado que en las ecuaciones anteriores.

En la figura 4.8 se presenta un diagrama de flujo que resume el procesamiento y análisis realizado a los datos de oleaje.

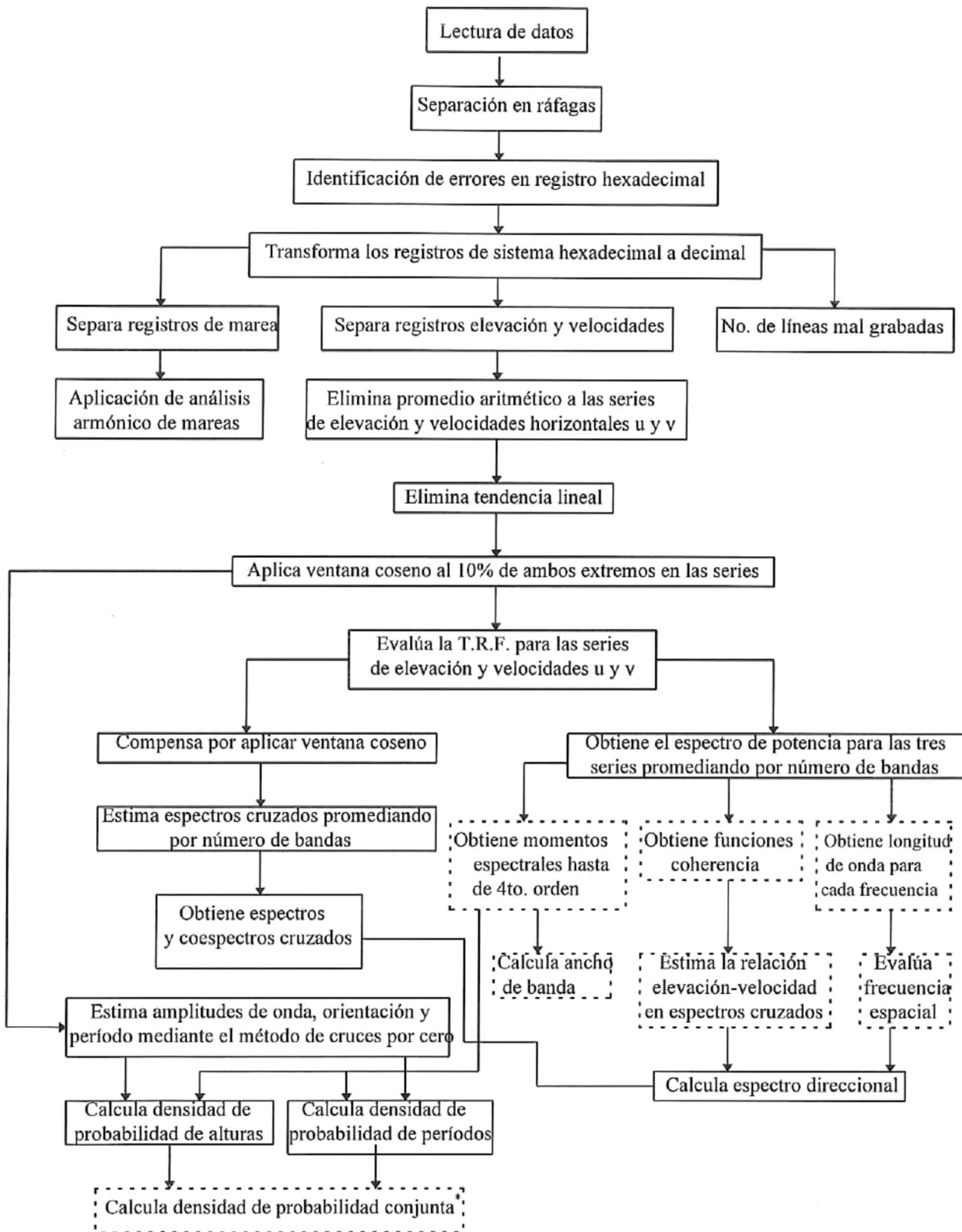


Figura 4.8 Diagrama de flujo del procesamiento y análisis de datos de oleaje (F. Vidal, et al, 1992).

Capítulo 5

Resultados.

Hasta el momento se ha discutido sobre la adquisición el control de calidad y el procesamiento de los datos; este capítulo se enfoca a revisar los resultados que a través de esto se obtuvieron. En primer lugar se presenta como resultado, una tabla en la que se resume y desglosa la información final que se tiene de datos que cumplieron con todas las etapas del procesamiento, tabla 5.1.

#cintas	Año	INVIERNO			PRIMAVERA			VERANO			OTOÑO			# de meses
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jún	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	
0	1983													0
2	1984										PT	PT		2
0	1985													0
0	1986													0
0	1987													0
3	1988								EM				GM,PU	2
3	1989		CM		PI			EM						3
16	1990		PC,CM	PC,PB,CM		CM	PB	PC,EM			FB	FB	PC,PB	9
17	1991	PB	PB,M3	M3	CM	PB	PC,PB,LB	PB,LB		SJ,LB	SJ,LB	SJ	SJ	11
23	1992	SJ,LB,PC	SJ,LB,PC	SJ,LB	SJ,LB,PC		PC,SJ,LB	PC,PC,SJ	SJ	LB	PB,LB	SJ,LB	PC	11
15	1993	LB	SJ	LR,FB	LR,FB	LB,FB	LR,FB	SJ,LB	LB		SJ	ED		10
0	1994													0
No. DE CINTAS POR ESTACIÓN		21			21			19			19			TOTAL DE CINTAS 80
PC- Punta Cabras ED - Erendira PB - Peña Blanca		EM - El morro M3 - El Morro III CM - Colmi			PU- Puerto SJ- San Juan de A. LB- La Brisa			PT- Petacalco Sin datos			Meses con por lo menos un sitio de la región D			

Tabla 5.1 Resumen de la información con la que se cuenta de los datos de oleaje.

En la tabla 5.1 se muestra la distribución temporal de los datos para cada mes en los años de 1983 a 1994, éstos son los datos con los que finalmente se cuenta del banco original, ya que dichos datos son los que pasaron todas las pruebas de control de calidad.

En la primera sección del capítulo 3, en la tabla 3.1 se señaló la existencia de datos en un período aproximado de 10 años y con una distribución espacial que comprendía 12 sitios diferentes, en 5 estados costeros del Océano Pacífico Mexicano; en esta nueva perspectiva, se aprecia que la mayor concentración temporal de datos se da entre los años 1990 y 1993, que como se discutió en la segunda sección del capítulo 3, en la tabla 3.3, durante el proceso de control de calidad se perdieron dos sitios completos (Rosarito, B.C. y Puerto Libertad, Son.) ya que solo se contaba con dos cintas para cada uno de ellos y en ambos casos resultaron estar dañadas; además se ve claramente que la mayor concentración espacial se da en la zona D según la clasificación de Lankford (1977). Se puede ver también que para dicha zona se cuenta con datos en las cuatro estaciones del año (primavera, verano, otoño e invierno), distribuidos en forma balanceada, aún que no así para cada sitio. Además dentro de la zona D, los sitios que presentan la mayor abundancia de datos corresponden a los estados de Colima y Michoacán.

Resalta también que los años 1991 y 1992 presentan datos en 11 de los 12 meses del año, en al menos un sitio, el año 1993 en 10 meses.

5.1 Resultados encontrados para el sitio Peña Blanca, Colima.

Debido a que la mayor concentración de datos, tanto espacial como temporal, se encuentra en la zona D según la clasificación de Lankford (1977), se presentarán primero los resultados de los sitios comprendidos en esta zona. El primer estado costero

en el que se tienen datos y que cae dentro de esta zona es el estado de Colima y el primer sitio en este estado es Peña Blanca.

5.1.1 Resultados de las mediciones de alturas, períodos y direcciones en el sitio Peña Blanca, Colima.

Con la intención de presentar en forma resumida los valores de alturas, períodos y direcciones medidos en el sitio Peña Blanca, se presentan en la tabla 5.2 los valores máximos y mínimos para cada variable durante las diferentes estaciones del año a lo largo de los años de 1990 a 1993.

VALORES MÁXIMOS Y MÍNIMOS DEL SITIO PENA BLANCA						
ÉPOCA Y AÑO	ALTURA (cm)		PERÍODO (s)		DIRECCIÓN (grados)	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
INV90	423.48	0.10	45.00	2.0	324.10	54.20
INV90	173.20	0.10	48.00	2.0	324.20	54.20
PRIM90	202.96	0.00	48.00	2.0	329.80	59.80
VER90	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO
OTO90	317.90	0.12	64.00	2.0	329.80	59.80
OTO90	127.75	0.10	94.00	2.0	329.80	59.80
OTO90	180.90	0.10	62.00	2.0	359.90	0.00
INV91	271.38	0.20	74.00	2.0	59.80	8.50
INV91	179.94	0.10	54.00	2.0	329.80	59.80
PRIM91	285.13	0.10	45.00	2.0	300.20	30.00
VER91	223.44	0.00	68.00	2.0	329.80	59.80
VER91	221.62	0.00	78.00	2.0	329.80	61.20
OTO91	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO
INV92	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO
PRIM92	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO
VER92	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO
OTO92	209.94	0.10	68.00	2.0	297.50	208.50
INV93	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO
PRIM93	243.71	0.00	68.00	2.0	297.50	208.50
PRIM93	211.66	0.00	63.00	2.0	119.30	32.50
PRIM93	286.10	0.10	57.00	2.0	359.90	0.10
PRIM93	281.72	0.12	44.00	2.0	110.80	22.90

Tabla 5.2 Tabla de valores máximos y mínimos de alturas, períodos y direcciones para cada estación de los años 1990 a 1993 del sitio Peña Blanca.

El rango en el que se encontraron todas las alturas del sitio Peña Blanca para las diferentes épocas del año, durante los años en que se tienen datos está entre 0.1 y 423 cm.

En la figura 5.1 se muestra gráficamente la variación temporal de los valores máximos registrados de alturas, periodos y direcciones.

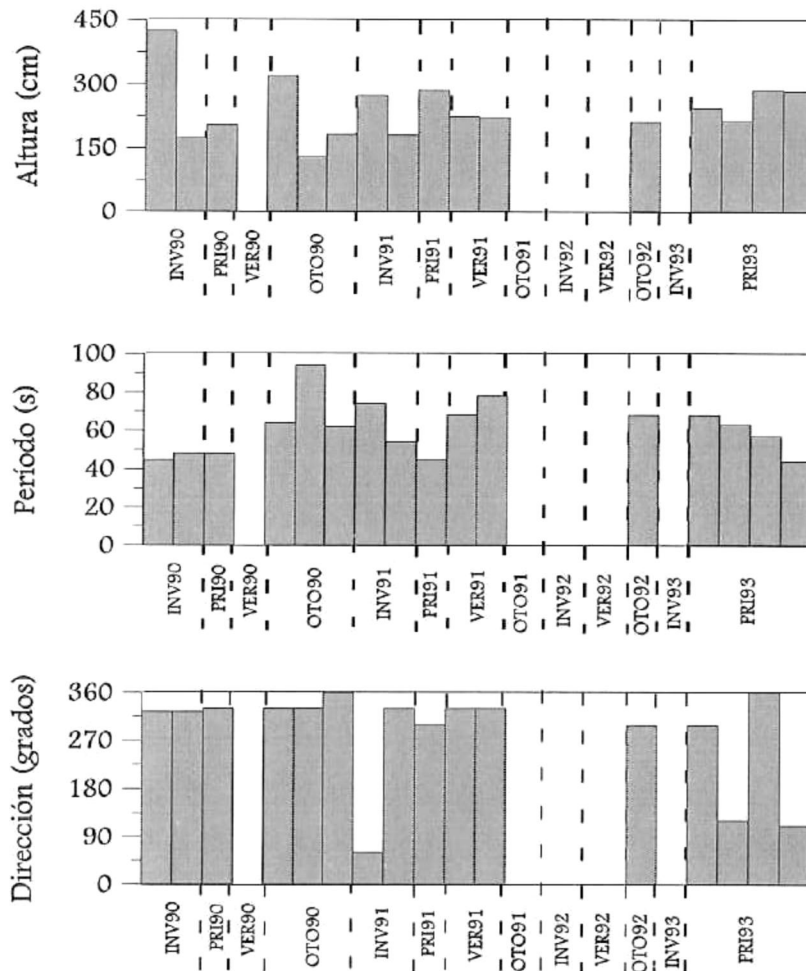


Figura 5.1 Variación temporal de los valores máximos de alturas, periodos y direcciones para cada estación de los años 1990 a 1993 medidos en el sitio Peña Blanca, Colima.

El valor máximo de alturas en este sitio se dio para la época de invierno del año 1990 con 423.48 cm, en segundo lugar se encontró un valor de 317.90 cm en otoño del mismo año y en tercero se tiene un valor de 286.10 cm para la época de primavera del año 1993.

El rango en que se encontraron los datos de períodos se dio entre 2 y 94 segundos, presentándose las olas con período más grande en la época de otoño de 1990 con un período máximo de 94 s, en segundo lugar la época de verano de 1991 con 78 s y en tercer lugar la época de invierno de 1991 con 74 s. Es importante resaltar el hecho de que los valores máximos o mínimos pueden ser meramente incidentales y que no son necesariamente el reflejo de los valores que prevalecen en la serie de tiempo, de hecho en este caso todos los valores máximos de período encontrados exceden el límite superior del rango de períodos en el que se definen las olas de gravedad (entre 1 y 30 segundos, según Kinsman, 1965) y caen en el rango de ondas infragravitacionales.

Por otra parte el rango de direcciones medidas abarca al rededor de 121 grados, recordando que los ángulos se reportan como ángulos geométricos, con el cero en dirección este y aumentando en dirección contraria a la de las manecillas del reloj.

En la tabla 5.3 se presentan los valores promedio de alturas, períodos y direcciones para cada estación del año, calculados para cada una de las cintas que cayeron en las diferentes épocas.

En los valores promedio de alturas, el valor máximo encontrado corresponde a la época de primavera de 1993 con 42.98 cm, en segundo lugar la época de invierno de 1990 con 42.21 cm y en tercero primavera de 1993 con 41.70. Es importante resaltar que calcular el promedio de una serie de tiempo, funciona como aplicar un filtro a la misma, en donde los valores pico se pierden, es por esta razón que es posible detectar algunos parámetros de comportamiento en las variables cuando han sido promediadas,

en el caso de las alturas, se puede apreciar que los valores son en general más altos para las épocas de invierno y primavera, y más bajos para las épocas de verano y otoño.

VALORES PROMEDIO DEL SITIO PEÑA BLANCA			
ÉPOCA Y AÑO	ALTURA (cm)	PERÍODO (s)	DIRECCIÓN (grados)
INV90	40.11	11.65	8.90
INV90	42.21	10.13	11.82
PRIM90	30.07	12.06	11.21
VER90	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO
OTO90	34.01	12.28	12.59
OTO90	21.82	11.05	18.61
OTO90	21.67	11.75	301.37
INV91	25.50	12.18	19.03
INV91	37.93	11.47	19.05
PRIM91	36.84	12.19	320.0
VER91	29.03	12.94	10.83
VER91	26.49	12.07	12.89
OTO91	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO
INV92	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO
PRIM92	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO
VER92	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO
OTO92	25.25	12.51	40.11
INV93	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO
PRIM93	41.70	11.79	42.92
PRIM93	39.07	12.15	40.80
PRIM93	42.98	11.77	41.63
PRIM93	37.06	12.14	41.39

Tabla 5.3 Tabla de valores promedio de alturas, períodos y direcciones para cada estación de los años 1990 a 1993 medidos en el sitio Peña Blanca, Colima.

En cuanto a los valores promedio de período, los valores se mantienen entre 10 y 13 s, que sí corresponden a olas de gravedad y que hace sospechar que el oleaje que arriba a las costas del sitio Peña Blanca, Colima es generalmente Swell (oleaje lejano). La época que presenta el valor máximo de período promedio es verano de 1991 con 12.94 s, en segundo lugar otoño de 1992 con 12.51 s y en tercer lugar la época de otoño de 1990 con 12.28 s.

En la figura 5.2 se muestran gráficamente las variaciones temporales de los valores promedio de alturas, períodos y direcciones, para el sitio Peña Blanca.

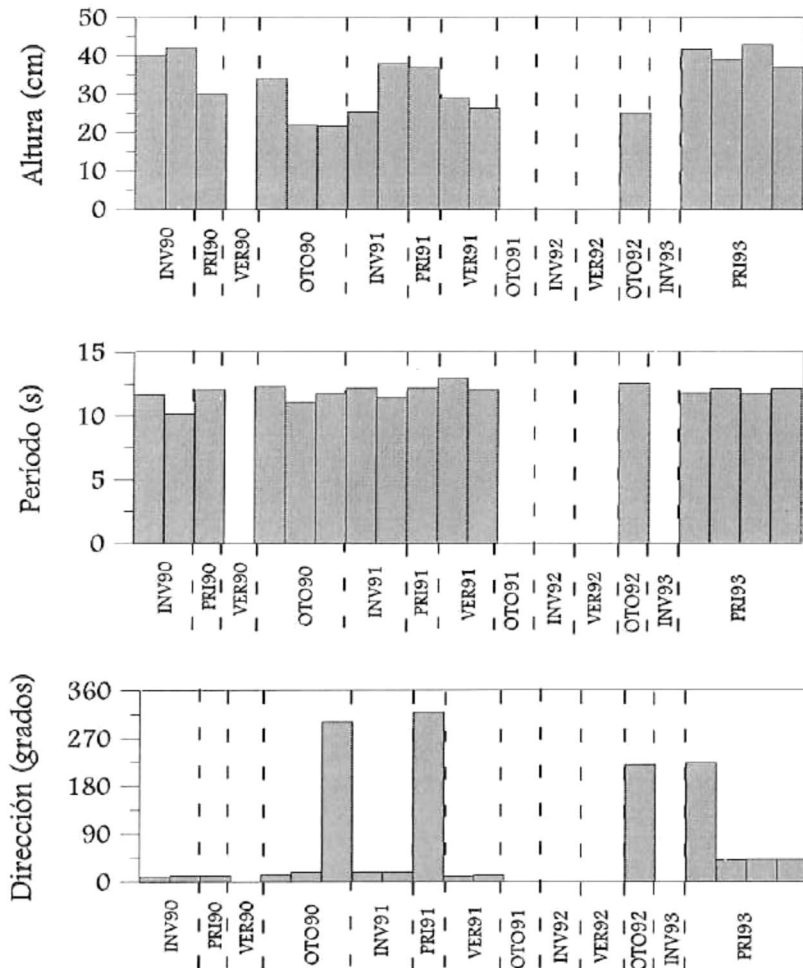


Figura 5.2 Variación temporal de los valores promedio de alturas, períodos y direcciones para cada estación de los años 1990 a 1993 medidos en el sitio Peña Blanca, Colima.

En cuanto a las direcciones respecta los promedios muestran direcciones de propagación al noreste, este y sureste, pero éstas se discutirán más adelante.

En la figura 5.3, se muestra la distribución temporal de los valores promedio de altura significativa calculados para cada una de las ráfagas que formaban parte de cada cinta perteneciente al sitio.

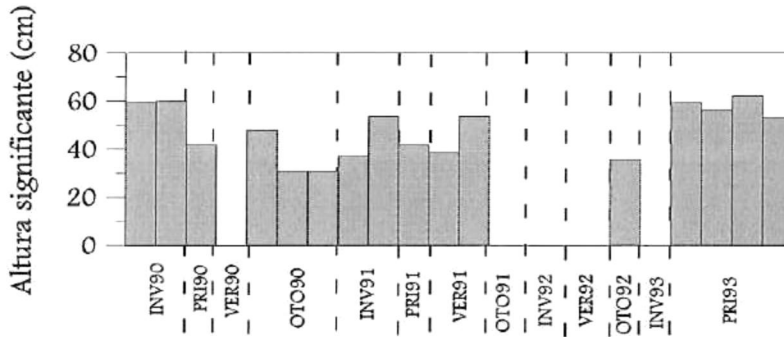


Figura 5.3 Variación temporal de los valores promedio de altura significativa para cada estación de los años 1990 a 1993 medidos en el sitio Peña Blanca, Colima

En cuanto a los valores de altura significativa promedio, aparentemente se conserva el hecho de que las mayores alturas se dan en las épocas de invierno y primavera y las menores en verano y otoño, aunque la diferencia es muy sutil. El mayor de ellos se encontró en la época de primavera de 1993 con 62.0 cm, en segundo lugar la época de invierno de 1990 con 59.98 cm y en tercero invierno de 1990 con 59.58.

En la figura 5.4 se muestra una rosa de olas con la distribución conjunta de alturas y direcciones, correspondiente a la época de otoño de 1990 en el sitio Peña Blanca como un ejemplo del cálculo realizado con los datos contenidos en cada una de las cintas del sitio. Este análisis muestra que el 95.4 % de las olas están entre 0 y 40 cm de altura y que de este porcentaje el 59.4 % presenta un ángulo de propagación con dirección este, el 24.9 % presenta dirección noreste y un 11.1% dirección sureste, el 5% restante de las olas se propagan en dirección este y se encuentran en un rango de alturas entre 40 y 200 cm.

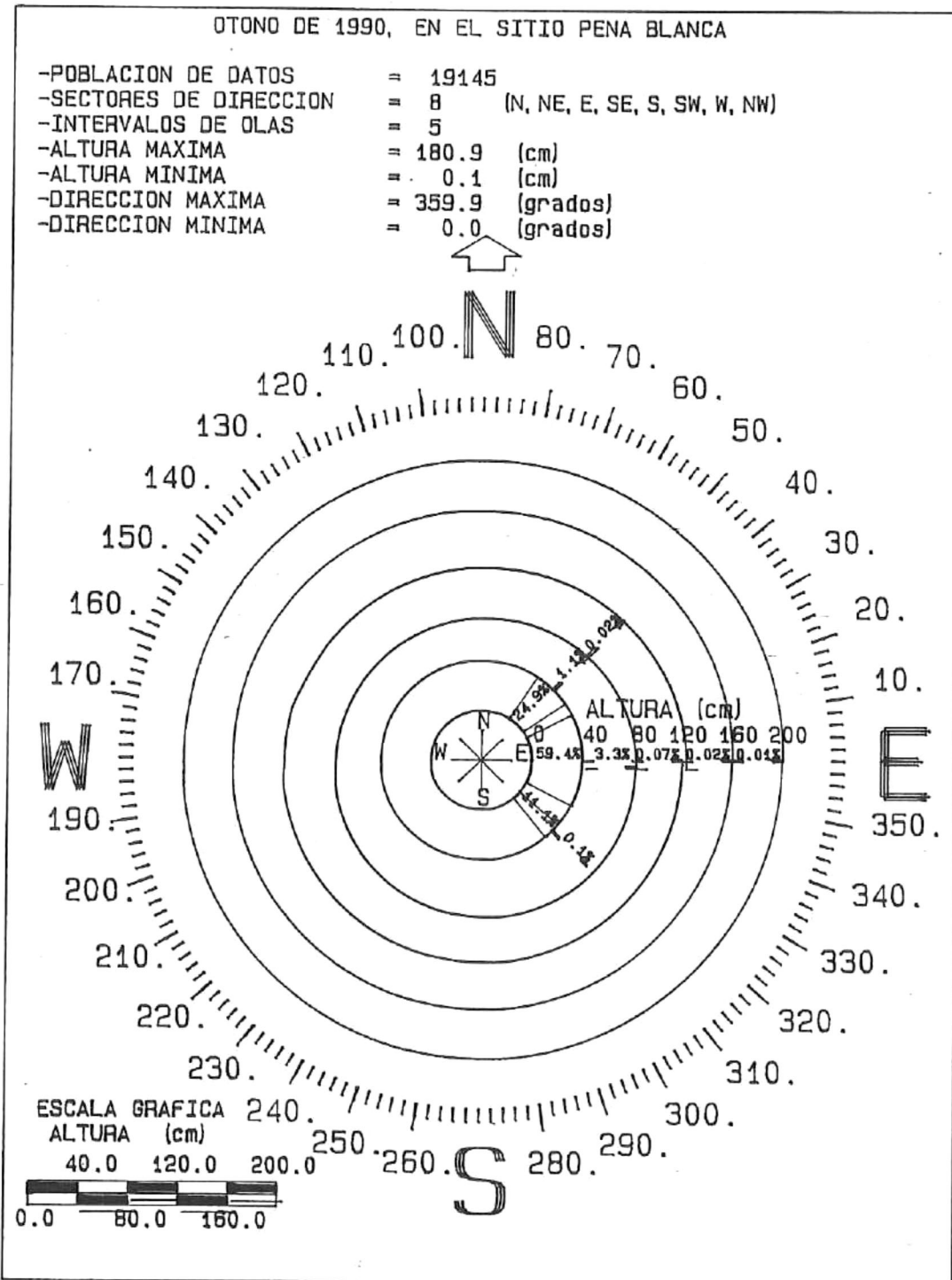


Figura 5.4 Distribución conjunta de alturas y direcciones de olas correspondientes a la época de otoño de 1990 en el sitio Peña Blanca, Colima

Por otra parte, en la figura 5.5 se muestra una rosa de olas con la distribución conjunta de períodos y direcciones, en donde se puede notar que el 62.2% de los datos presentan períodos entre 0 y 22 segundos, asociados a una dirección este, mientras que un 27.7% de los datos que también presentan períodos entre 0 y 22 segundos, están asociados a direcciones noreste y un 11% dentro del mismo rango de período presenta dirección sureste.

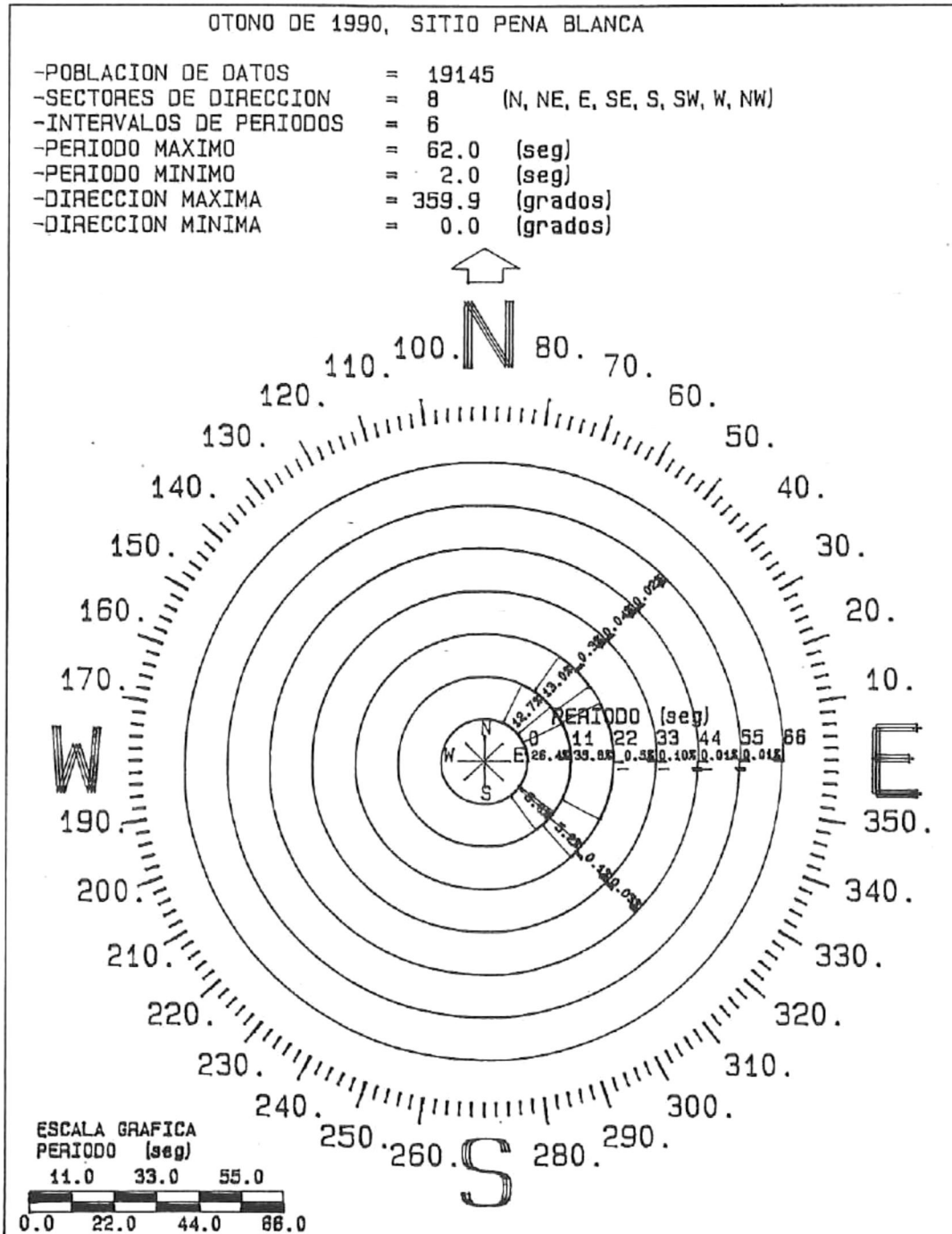


Figura 5.5 Distribución conjunta de periodos y direcciones de olas correspondientes a la época de otoño de 1990 en el sitio Peña Blanca, Colima

5.1.2 Resultados del análisis espectral aplicado a las series de tiempo del sitio Peña Blanca, Colima.

En la figura 5.6a y 5.6b se presentan los espectros promedio de densidad de energía para las diferentes épocas del año.

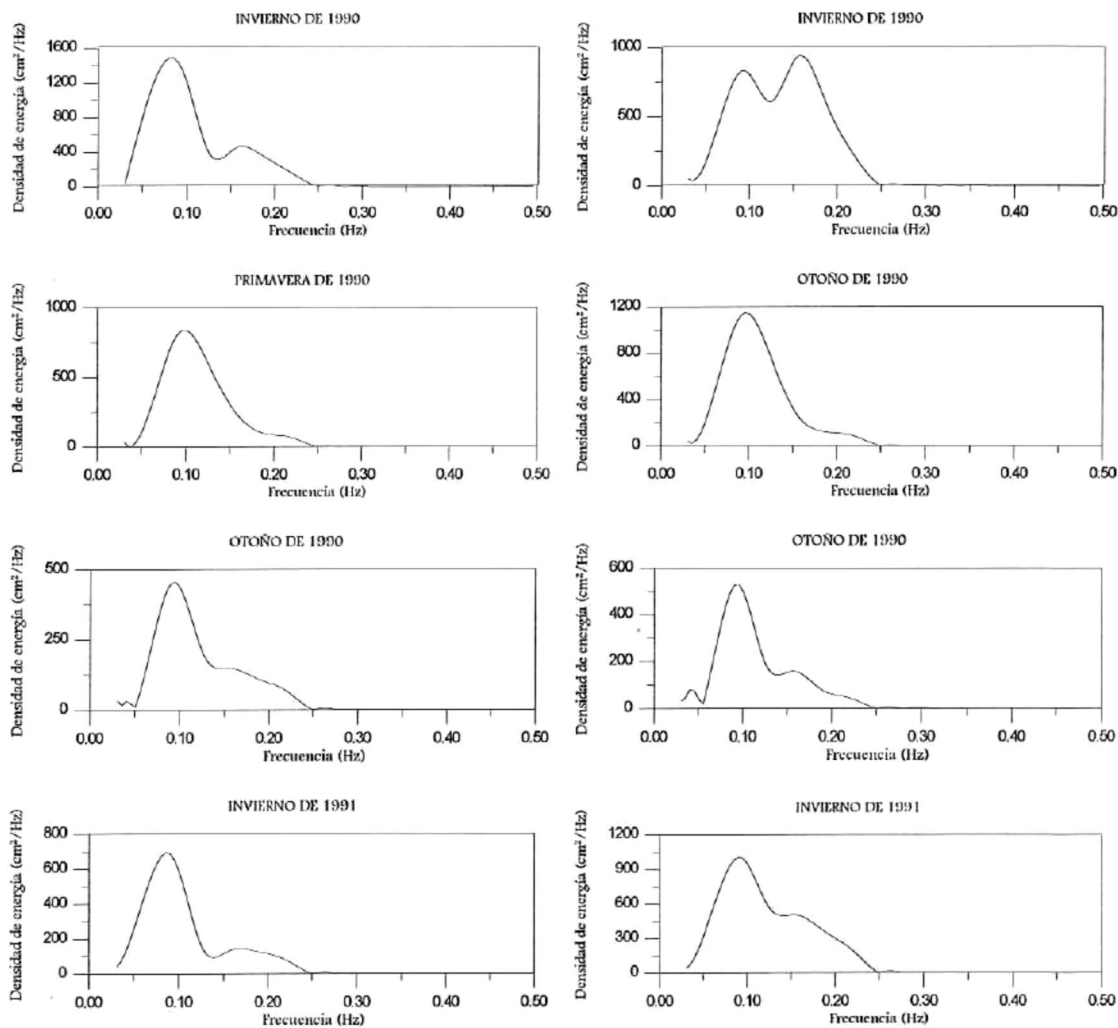


Figura 5.6a Variación temporal de los espectros promedio de densidad de energía para cada estación de los años 1990 a 1993 del sitio Peña Blanca, Colima (primera parte)

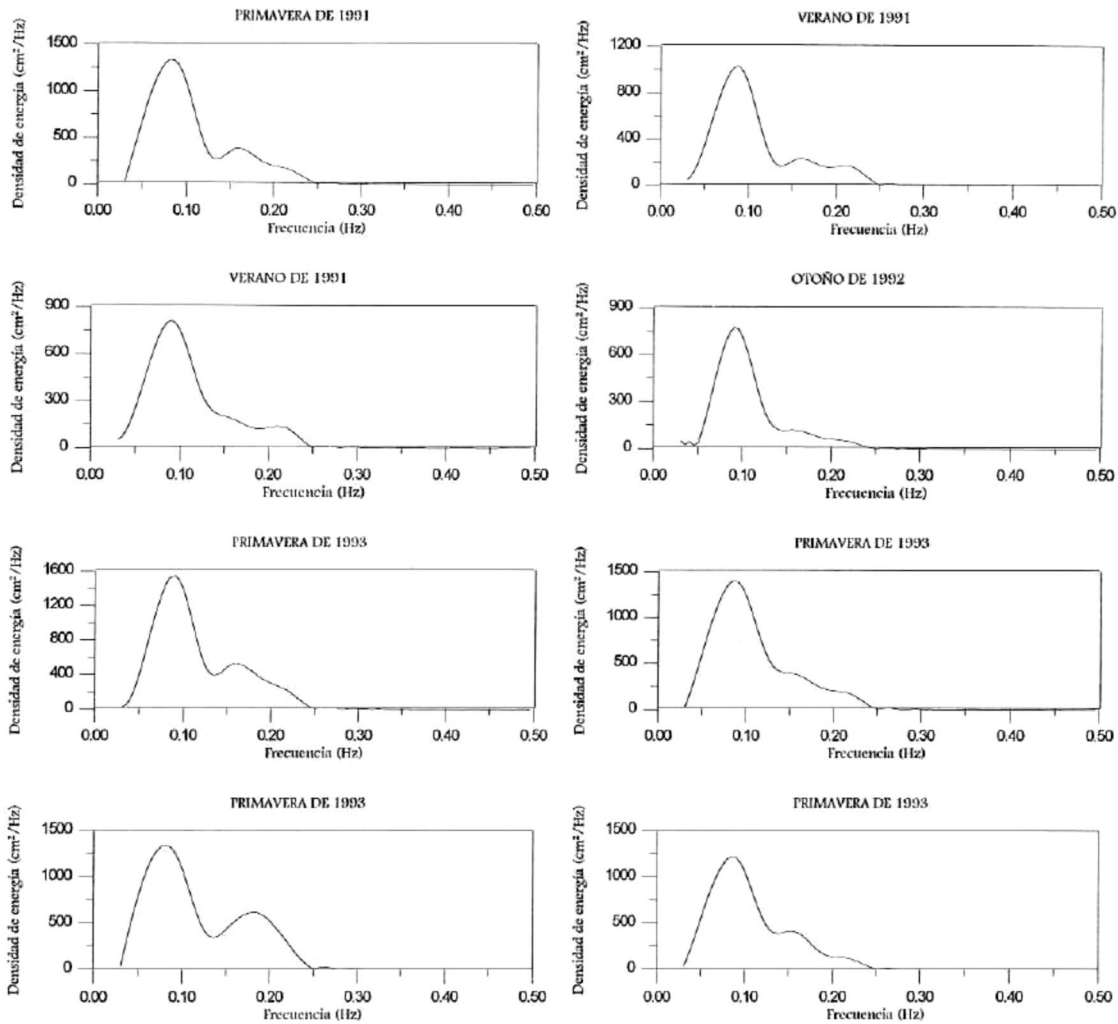


Figura 5.6b Variación temporal de los espectros promedio de densidad de energía para cada estación de los años 1990 a 1993 del sitio Peña Blanca, Colima (segunda parte)

Los espectros de densidad de energía se obtuvieron promediando por bandas de frecuencia los espectros calculados para cada ráfaga en cada una de las cintas del sitio Peña Blanca. En la mayoría de estos espectros se observa un comportamiento bimodal, aunque generalmente uno de los picos es aproximadamente un orden de magnitud más grande que el otro.

En la tabla 5.4 se muestran los valores de frecuencia, período y densidad de energía para cada uno de los picos presentes en los espectros.

VALORES DE FRECUENCIA, PERÍODO Y DENSIDAD DE ENERGÍA PARA CADA PICO						
Época del año	Pico mayor			Pico menor		
	Frecuencia (Hz)	Período (s)	Energía (cm ² /Hz)	Frecuencia (Hz)	Período (s)	Energía (cm ² /Hz)
INV90	0.081	12.34	1490.44	0.161	6.21	465.76
INV90	0.091	10.98	829.94	0.156	6.41	939.92
PRIM90	0.096	10.41	839.15	-	-	-
VER90	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO
OTO90	0.096	10.41	1149.04	-	-	-
OTO90	0.096	10.41	454.11	0.156	6.41	147.77
OTO90	0.096	10.41	528.56	0.156	6.41	159.27
INV91	0.086	11.62	694.81	0.166	6.02	144.55
INV91	0.091	10.98	1008.66	0.156	6.41	505.76
PRIM91	0.081	12.34	1334.32	0.161	6.21	386.78
VER91	0.086	11.62	1027.57	0.161	6.21	231.66
VER91	0.091	10.98	811.94	0.211	4.73	139.38
OTO91	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO
INV92	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO
PRIM92	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO
VER92	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO
OTO92	0.091	10.98	774.43	0.156	6.41	120.54
INV93	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO
PRIM93	0.091	10.98	1548.83	0.161	6.21	529.33
PRIM93	0.086	11.62	1401.93	-	-	-
PRIM93	0.081	12.34	1345.19	0.181	5.52	617.99
PRIM93	0.086	11.62	1220.61	0.156	6.41	411.62

Tabla 5.4 Valores de frecuencia, período y densidad de energía de cada pico que aparece en los espectros de la gráfica 5.5.a y b.

Como se puede ver en la tabla 5.4 la energía pico máxima del espectro promedio se encuentra asociada a olas con períodos entre 10.41 y 12.34 s (frecuencia de 0.096 y 0.081 Hz, respectivamente), mientras que el pico menor está asociado a olas con períodos entre 4.73 y 6.41 s (frecuencias de 0.211 y 0.156 Hz, respectivamente). Ésto nos da una idea de que las olas que aportan mayor energía al sistema son olas asociadas a Swell (oleaje distante) y las que aportan menor energía son olas asociadas a Sea (oleaje local).

Por otra parte el comportamiento en general de la energía mantiene la distribución temporal que se ha venido mostrando en las diferentes variables, los valores

máximos de energía están asociados a datos que fueron tomados durante las épocas de invierno y primavera, mientras que los valores más pequeños están asociados a datos tomados en verano y otoño; éstos llegan a ser casi de la mitad de los valores máximos.

A continuación se presenta la distribución temporal de los valores pico promedio de densidad de energía que se obtuvieron promediando los valores pico de densidad de energía calculados para todas las ráfagas que constituyen a cada una de las cinta pertenecientes al sitio Peña Blanca, figura 5.7.

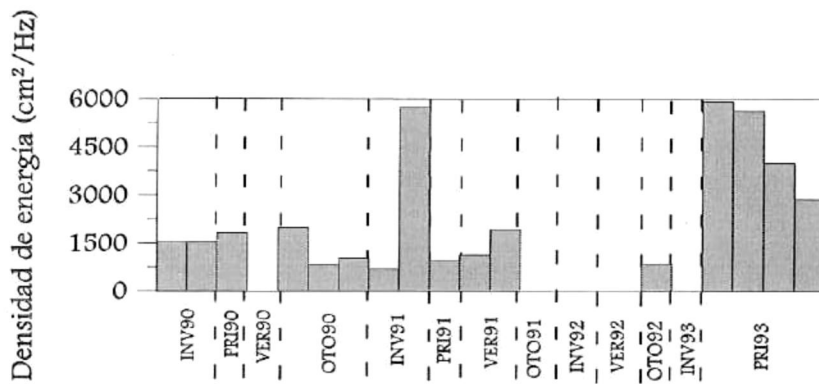


Figura 5.7 Variación temporal de los valores promedio de picos de energía para cada estación de los años 1990 a 1993 del sitio Peña Blanca, Colima.

En los valores pico de energía, también se localizaron los picos más altos en las épocas de invierno y primavera y los menores en verano y otoño. El valor promedio máximo corresponde a la época de primavera del año 1993 con 5993.165 cm²/Hz, en segundo lugar se encuentra la época de invierno de 1990 con 5744.04 cm²/Hz y en tercero primavera de 1993 con 5622.824 cm²/Hz.

A continuación, en la figura 5.8, se muestra el espectro direccional del oleaje calculado para datos correspondientes a otoño de 1990.

Este espectro se presenta como un ejemplo que ilustra la forma en que fue calculado para cada una de las cintas del sitio Peña Blanca. Este cálculo se realizó con la intención de analizar la relación entre la energía contenida en el oleaje y las diferentes direcciones de propagación del mismo.

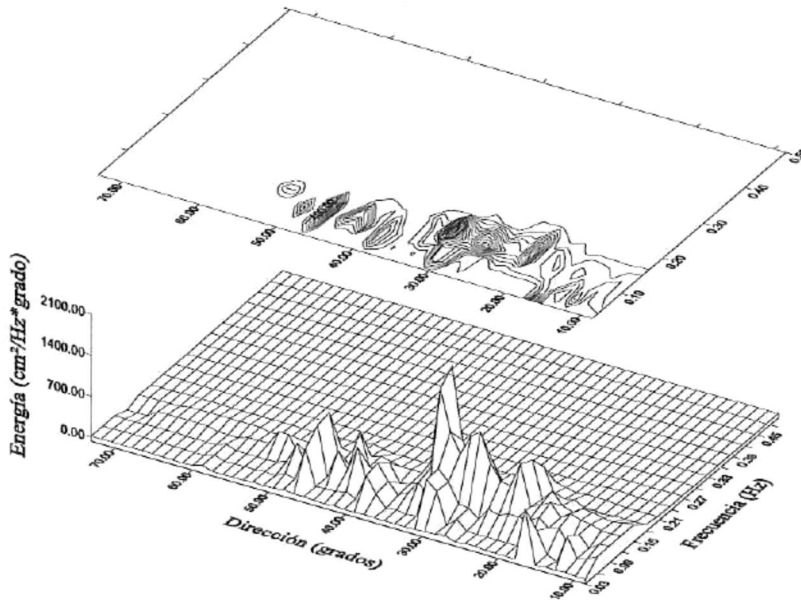


Figura 5.8 Espectro direccional del oleaje para la época de otoño de 1990 en el sitio Peña Blanca.

El espectro direccional muestra que la mayor cantidad de energía se encuentra asociada a un rango de direcciones entre los 10 y 50 grados y un rango de períodos entre 4.7 y 33 segundos (0.21 y 0.03 Hz, respectivamente). Y el pico máximo de energía se encuentra asociado a un período de 8.3 segundos y a una dirección de propagación de 32.5 grados al noreste.

5.1.3 Resultados del análisis de marea aplicado a las series de tiempo del sitio Peña Blanca, Colima.

En la figura 5.9 se muestra un mareograma y su respectivo espectro de densidad de energía, medido durante la época de Invierno de 1990 en el sitio Peña Blanca. La frecuencia de corte utilizada para calcular el espectro fue de 0.16 ciclos/hr. Se escogieron 15 bandas de frecuencia, lo que permitió obtener una resolución espectral de 0.01 ciclos/hr.

En este caso se muestra una marea tipo mixta semidiurna que presenta su componente más energética asociada con el período de 12.04 hr (0.083 ciclos/hr), la cual es aproximadamente 1.4 veces más energética que la componente diurna.

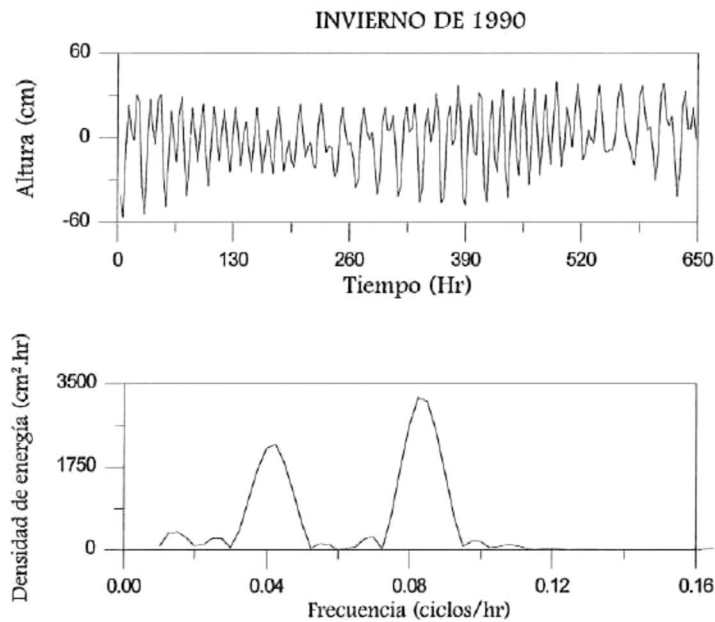


Figura 5.9 Mareograma y su respectivo espectro de densidad de energía correspondiente a la época de Invierno de 1990 en el sitio Peña Blanca, Colima.

5.1.4 Resultados del cálculo de la densidad de probabilidad de amplitudes, periodos y conjunta, para las series de tiempo del sitio Peña Blanca, Colima.

En la figura 5.10 se muestra la distribución de densidad de probabilidad de amplitudes y periodos correspondientes a la época de otoño de 1990, en ésta se muestra que la densidad de probabilidad pico corresponde a amplitudes de 7 cm es decir, a alturas de 14 cm y a periodos de 12 segundos.

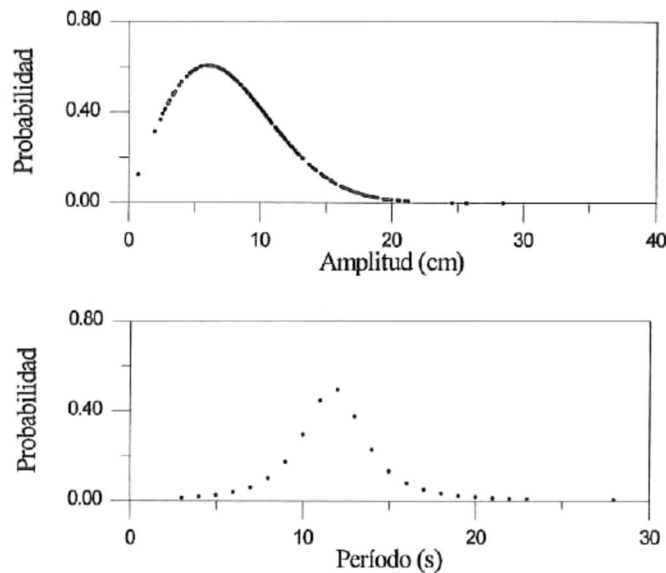


Figura 5.10 Distribución de densidad de probabilidad de amplitudes y periodos para datos de la época de otoño de 1990 en el sitio Peña Blanca.

En la figura 5.11 se muestra la densidad de probabilidad conjunta de amplitudes y periodos para la época de otoño de 1990

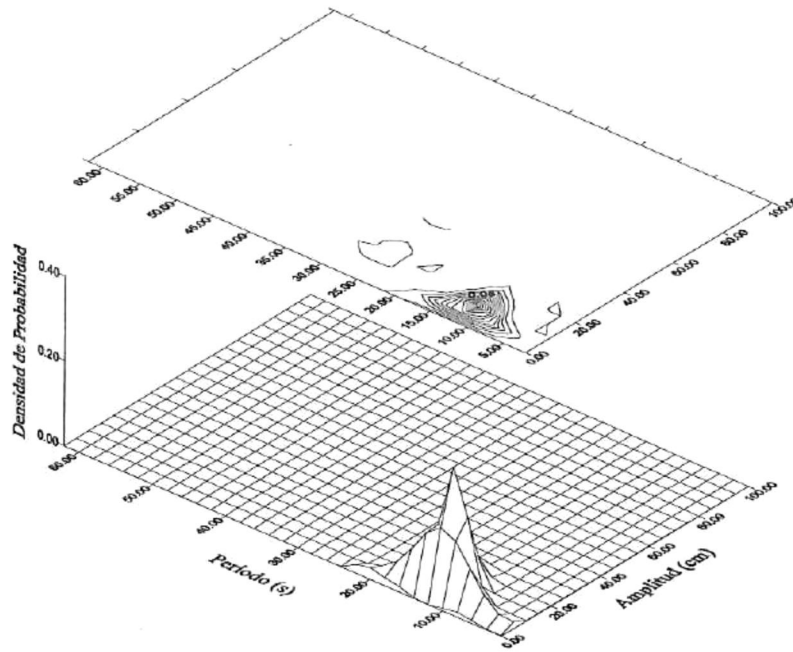


Figura 5.11 Densidad de probabilidad conjunta de amplitudes y períodos para datos de otoño de 1990 en el sitio Peña Blanca.

En el caso de la densidad de probabilidad conjunta, los picos se encuentran asociados a olas con períodos entre 0 y 22 segundos y a amplitudes entre 0 y 22 cm (alturas entre 0 y 44 cm). El pico máximo se dio aproximadamente a los 12 s de período y a los 20 cm de amplitud (40 cm de altura).

5.2 Resultados encontrados para el sitio El Morro y en el sitio El Morro III, en el estado de Colima.

El siguiente sitio localizado dentro del estado de Colima es El Morro, y luego El Morro III, para el primero el número de cintas que sobrevivieron a las pruebas de control de calidad son 4 de 13 que originalmente se tenían y para el segundo solo 2 de 4. Estas cintas se encuentran distribuidas en el tiempo de la siguiente forma: para el sitio El Morro, todas cayeron en la época de verano, de las cuales una pertenece al verano de 1988, una al verano de 1989 y dos más al verano de 1990. Para El Morro III una corresponde a la época de invierno del año 1991 y la otra a la época de primavera del mismo año. Debido a que los datos que se tienen de ambos sitios, son muy escasos y no presentan cobertura en todas las estaciones, para los diferentes años, se presentan los resultados sin pretender encontrar parámetros de comportamiento estacional en ellos.

5.2.1 Resultados de las mediciones de alturas, períodos y direcciones en el sitio El Morro y en el sitio El Morro III, en el estado de Colima.

En la tabla 5.5 se presentan los valores máximos y mínimos para la época de verano de los años 1988,1989 y 1990, para el sitio El Morro y para invierno y primavera de 1991, en el sitio El Morro III.

El rango en el que se encontraron todas las alturas del sitio El Morro para el verano de los diferentes años en que se tienen datos esta entre 0.1 y 585.88 cm. Para El Morro III, el rango de alturas esta entre 0.10 Y 269.72 cm.

VALORES MÁXIMOS Y MÍNIMOS EN LOS SITIOS EL MORRO Y EL MORRO III						
ÉPOCA Y AÑO	ALTURA (cm)		PERÍODO (s)		DIRECCIÓN (grados)	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
VER88	463.20	0.40	48.0	2.0	358.40	268.40
VER89	302.16	0.10	68.0	2.0	360.00	0.00
VER90	308.82	0.10	51.0	2.0	359.90	0.00
VER90	585.88	0.20	96.0	2.0	359.90	0.00
INV91	269.72	0.10	64.0	2.0	359.90	0.00
PRIM91	245.13	0.10	45.0	2.0	359.90	0.00

Tabla 5.5 Valores máximos y mínimos de alturas, períodos y direcciones para verano de los años 1988, 1989 y 1990 del sitio El Morro y para invierno y primavera del sitio El Morro III, en el estado de Colima.

El valor máximo de altura en El Morro se dio para el verano de 1990 con 585.88 cm, en segundo lugar se encontró un valor de 463.20 para el verano de 1988 y por último verano de 1990 con 308.82 cm. En El Morro III, el valor más grande de alturas se dio para la época de invierno de 1991, con 269.72 cm.

El rango en que se encontraron los valores de período de El Morro se dio entre 2 y 96 segundos, presentándose las olas con período más grande en el verano 1990 con 96 s, en segundo lugar el verano de 1989 con 68 s y en tercero el verano de 1990 con 51 s. En El Morro III, los valores están entre 2 y 64 s, siendo el mayor el de 64 s, para la época de invierno de 1991.

En ambos casos los valores máximos de período encontrados exceden el límite superior del rango de períodos en el que se definen las olas de gravedad (entre 1 y 30 segundos, según Kinsman, 1965) y caen en el rango de ondas infragravitacionales.

Por otra parte el rango de direcciones medidas abarca al rededor de 91.60 grados, en el caso del Morro y en el Morro III el valor máximo y mínimo coinciden.

En la figura 5.12 se muestra gráficamente los valores máximos de alturas, períodos y direcciones en los tres años durante los cuales se tienen datos de verano para El Morro y para invierno y primavera de El Morro III.

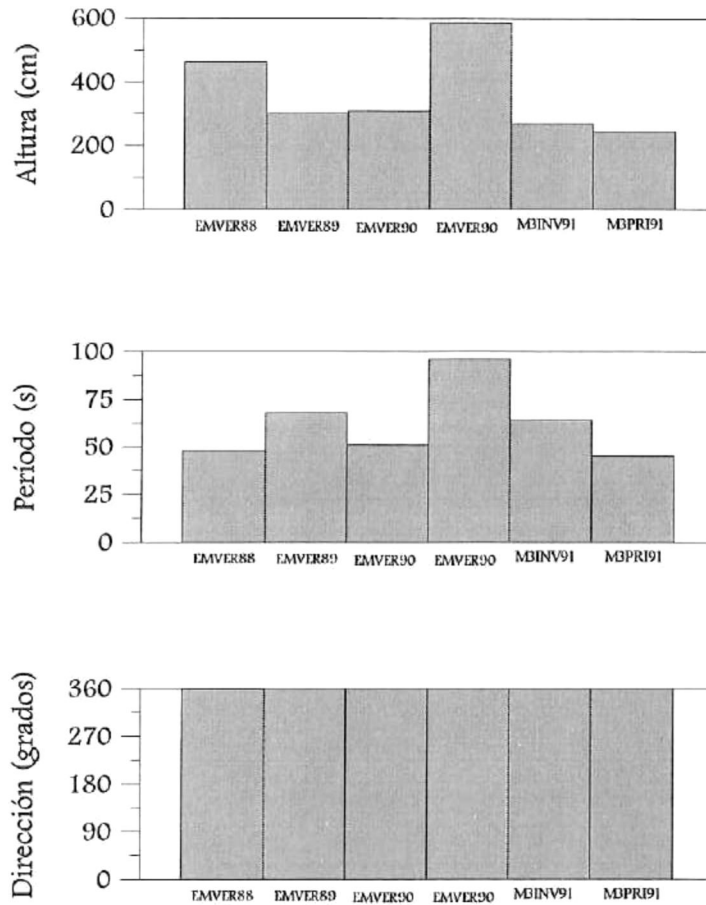


Figura 5.12 Variación de los valores máximos de alturas, períodos y direcciones para el verano de los años 1988, 1989 y 1990 en el sitio El Morro y para el invierno y primavera de 1991 en El Morro III, en el estado de Colima.

En la tabla 5.6 se presentan los valores promedio de alturas, períodos y direcciones para la época de verano en cada año en los que se tienen datos de El Morro y para las épocas de invierno y primavera de 1991 en El Morro III.

En los valores promedio de alturas, el valor máximo encontrado corresponde al año 1988 con 74.27 cm, en segundo lugar el año 1990 con 34.82 cm y en tercero 1989 con 34.21 cm.

VALORES PROMEDIO DE LOS SITIOS EL MORRO Y EL MORRO III			
ÉPOCA Y AÑO	ALTURA (cm)	PERÍODO (s)	DIRECCIÓN (grados)
VER88	74.27	11.08	324.54
VER89	34.21	12.44	310.90
VER90	28.80	13.32	322.62
VER90	34.82	12.69	320.59
INV91	33.23	12.58	10.0
PRIM91	30.07	11.76	10.0

Tabla 5.6 Tabla de valores promedio de alturas, períodos y direcciones para la época de verano de los años 1988, 1989 y 1990 en el sitio El Morro y para las épocas de invierno y primavera de 1991 en el sitio El Morro III, en el estado de Colima.

Para el sitio El Morro III, el valor promedio máximo de altura es de 33.23 y corresponde a invierno de 1991.

En cuanto a los valores promedio de período en El Morro, los valores se mantienen entre 11.08 y 13.32 s, y entre 11.76 y 12.58 s para El Morro III, valores que si corresponden a olas de gravedad y que podrían indicar que el promedio de las olas que llegan a estas costas son swell. El año que presenta el período promedio máximo en El Morro es 1990 con 13.32 s, en segundo lugar 1990 con 12.69 s y en tercero 1989 con 12.44 s, en El Morro III es invierno de 1991 con 12.58 s.

En la figura 5.13 se muestra gráficamente las variaciones de los valores promedio de alturas, períodos y direcciones en verano de los tres años en que hay datos para el sitio El Morro y en invierno y primavera de 1991 del sitio El Morro III.

En cuanto a las direcciones respecta los promedios del sitio El Morro, muestran direcciones de propagación al sureste, mientras que los promedios para el sitio El Morro III, muestran direcciones de propagación al noreste.

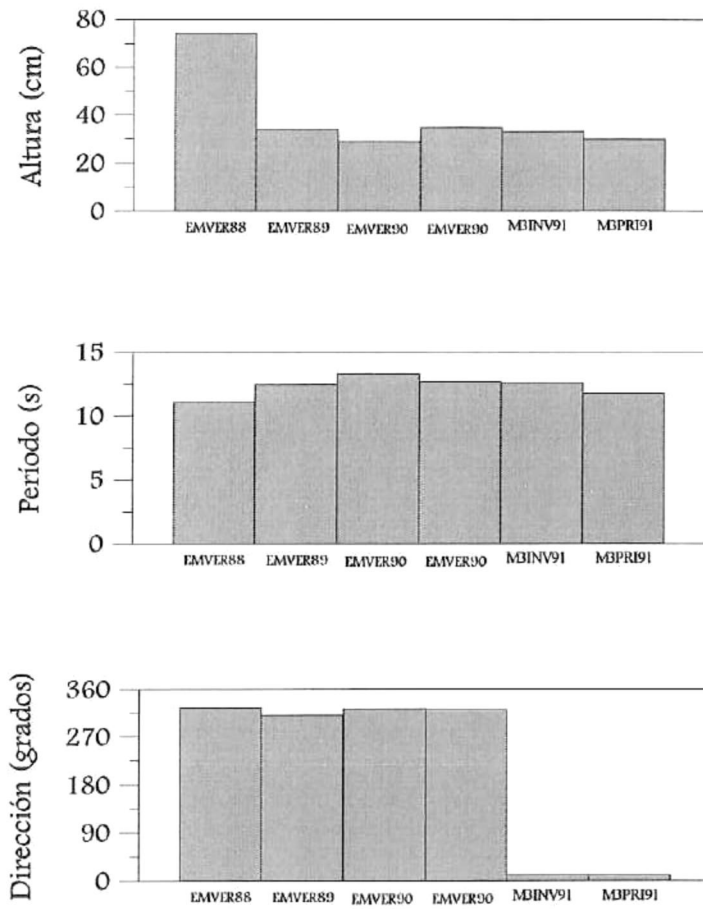


Figura 5.13 Variación de los valores promedio de alturas, períodos y direcciones durante el verano de los años 1988, 1989 y 1990 en el sitio El Morro y durante invierno y primavera de 1991 en el sitio El Morro III, en el estado Colima.

En la figura 5.14, se muestra la distribución temporal de los valores de altura significativa, para cada una de las cintas de los sitios El Morro y El Morro III.

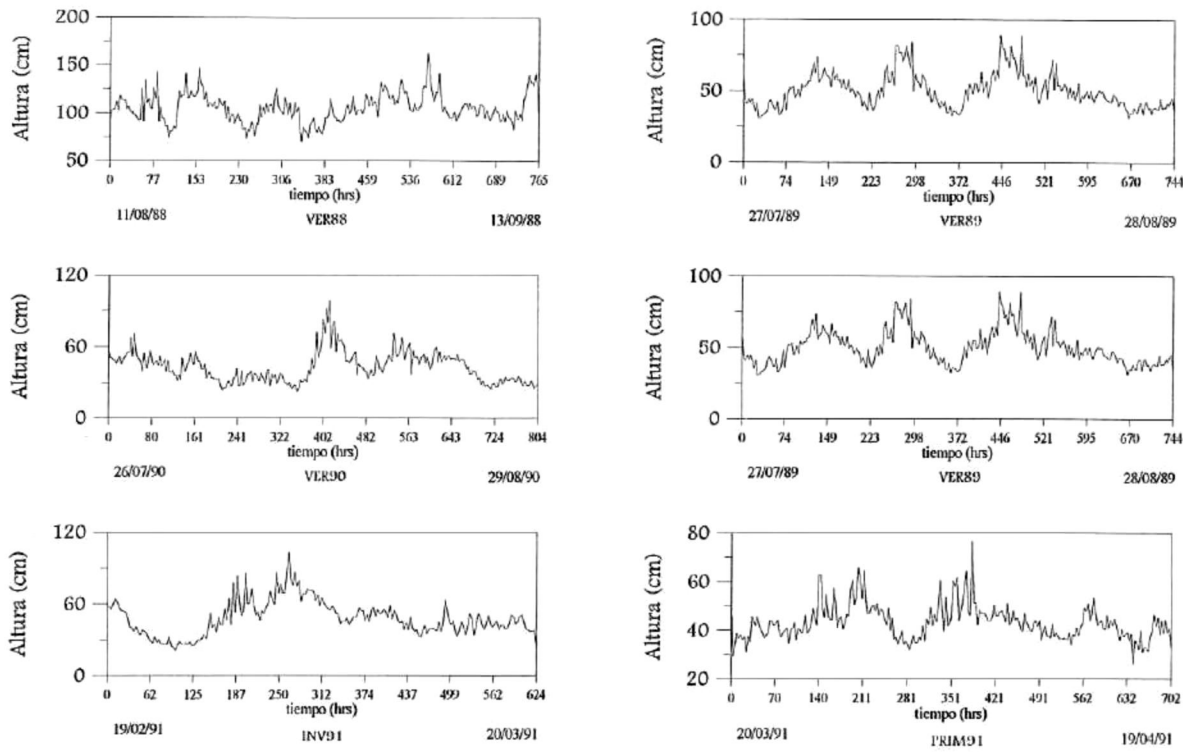


Figura 5.14 Variación temporal de los valores de altura significativa para la época de verano de los años 1988, 1989 y 1990 en el sitio El Morro y para las épocas de invierno y primavera de 1991 para el sitio El Morro III, en el estado de Colima.

En la figura 5.15 se muestra una gráfica con los valores promedio de altura significativa calculados para cada una de las cintas de los dos sitios.

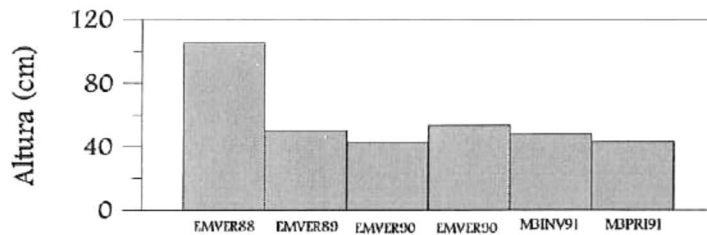


Figura 5.15 Variación temporal de los valores promedio de altura significativa para la época de verano de los años 1988, 1989 y 1990 en el sitio El Morro y para las épocas de invierno y primavera de 1991 para el sitio El Morro III, en el estado de Colima.

En los valores de altura significativa, el promedio nos indica que los valores más altos de altura significativa se dieron en verano de 1988, con un promedio del orden de 105 cm, después el año de 1990 con 53 cm y el año de 1989 con 50 cm, todo esto para el sitio El Morro, en el sitio El Morro III, el valor promedio máximo se dio en invierno de 1991 con 48 cm, aproximadamente.

En la figura 5.16 se muestra una rosa de olas con la distribución conjunta de alturas y direcciones, correspondiente a la época de verano de 1988 en el sitio El Morro, como un ejemplo del cálculo realizado con los datos contenidos en cada una de las cintas del sitio. Este análisis muestra que aproximadamente un 50 % de las olas medidas en este período están asociadas a alturas entre 0 y 140 cm, con un ángulo de propagación de 0 grados, que da una dirección este. El otro 50 % de los datos se encuentra repartido aproximadamente un 25 % de ellos asociados a un ángulo de propagación de 316 grados en dirección sureste y el otro 25 % con un ángulo de 270 grados con dirección sur. Todos éstos también se encuentran asociados a olas con alturas entre 0 y 140 cm.

En la figura 5.17 se muestra la rosa de olas correspondiente a la distribución conjunta de períodos y direcciones para la misma época y año del sitio El Morro. En ella se puede notar que existe un 51.4 % de los datos, asociado a olas con períodos entre 0 y 10 s, con un ángulo de propagación de 0 grados con dirección este, otro 25 % de los datos, también asociados al mismo rango de períodos presentan un ángulo de 316 grados con dirección sureste y el otro 25 % también en el mismo rango de períodos presentan un ángulo de 270 grados con dirección sur.

Por otra parte en la figura 5.18 se muestra una rosa de oleaje con la distribución conjunta de alturas y direcciones, correspondiente a la época de invierno de 1991 del sitio El Morro III, en donde se puede notar que un 65.3 % de los datos presentan alturas entre 0 y 100 cm y un ángulo de propagación de 0 grados, con dirección este, otro 25.1

% de ellos, dentro del mismo rango de alturas presentan un ángulo de 44 grados, con dirección noreste. Un 9.2 % de los datos también dentro del mismo rango de alturas presenta un ángulo de 318 grados, con dirección sureste.

En la figura 5.19 se muestra la distribución conjunta de períodos y direcciones para la misma época y año del sitio El Morro III. En ella se puede notar que un 65 % de los datos presentan un período entre 0 y 30 segundos asociado esto a olas con ángulo de propagación de 0 grados, dirección este, otro 25.1 % de los datos dentro del mismo rango de períodos se encuentra asociado a un ángulo de 48 grados, dirección noreste y el resto dentro del mismo rango de períodos, presentan un ángulo de 318 grados, dirección sureste.

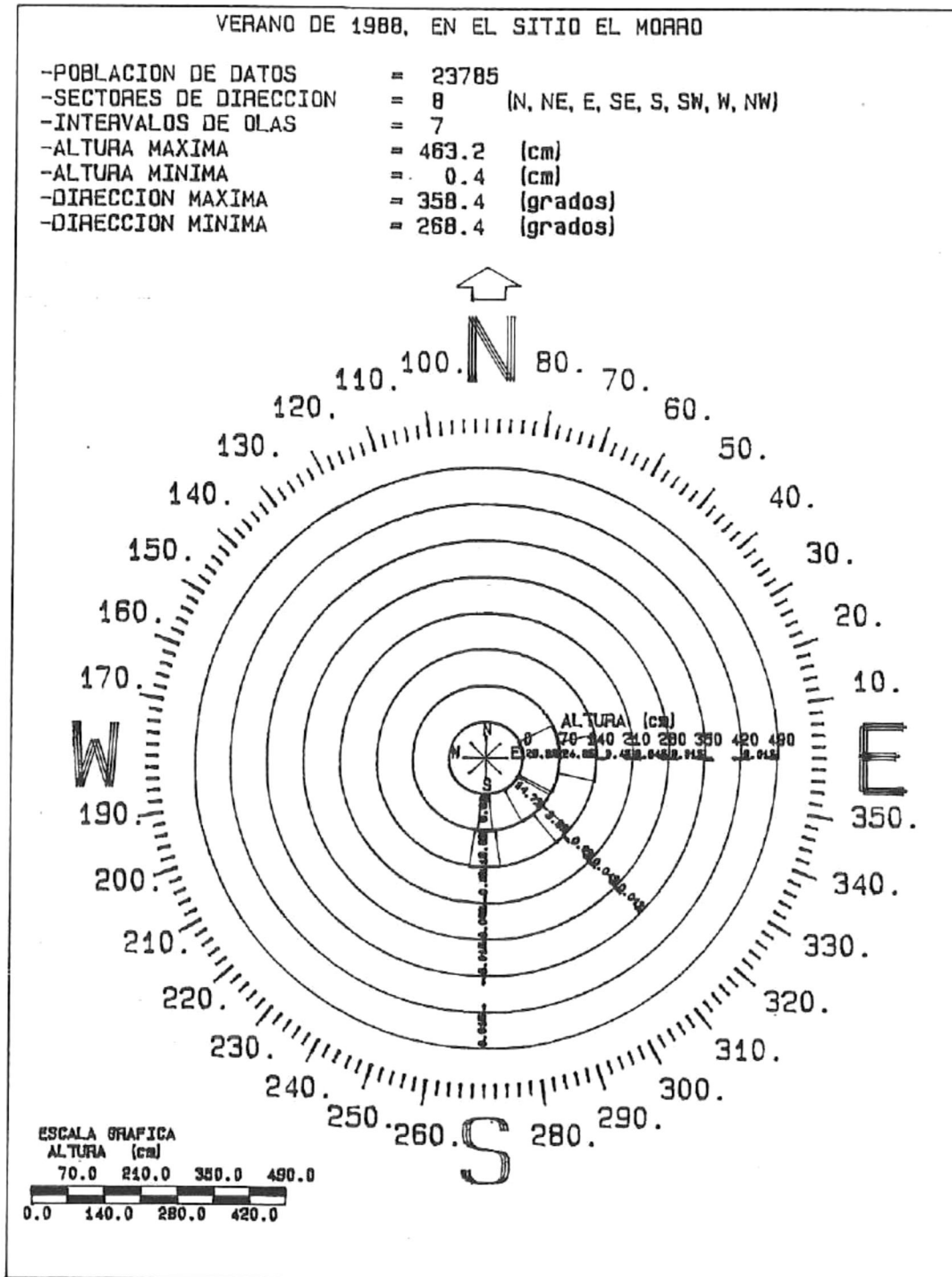


Figura 5.16 Distribución conjunta de alturas y direcciones para la época de verano de 1988, en el sitio El Morro, en el estado de Colima.

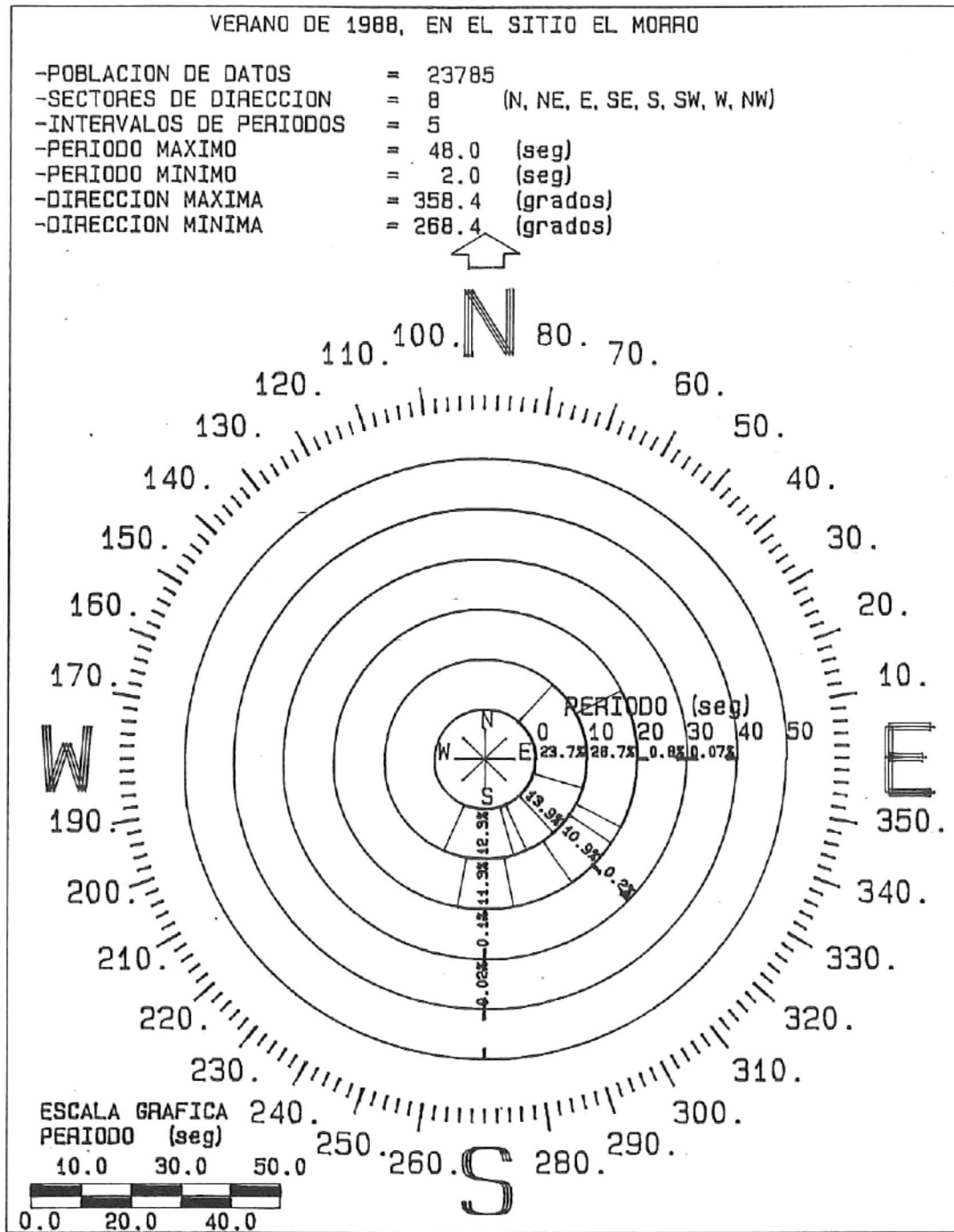


Figura 5.17 Distribución conjunta de períodos y direcciones para la época de verano de 1988, en el sitio El Morro, en el estado de Colima.

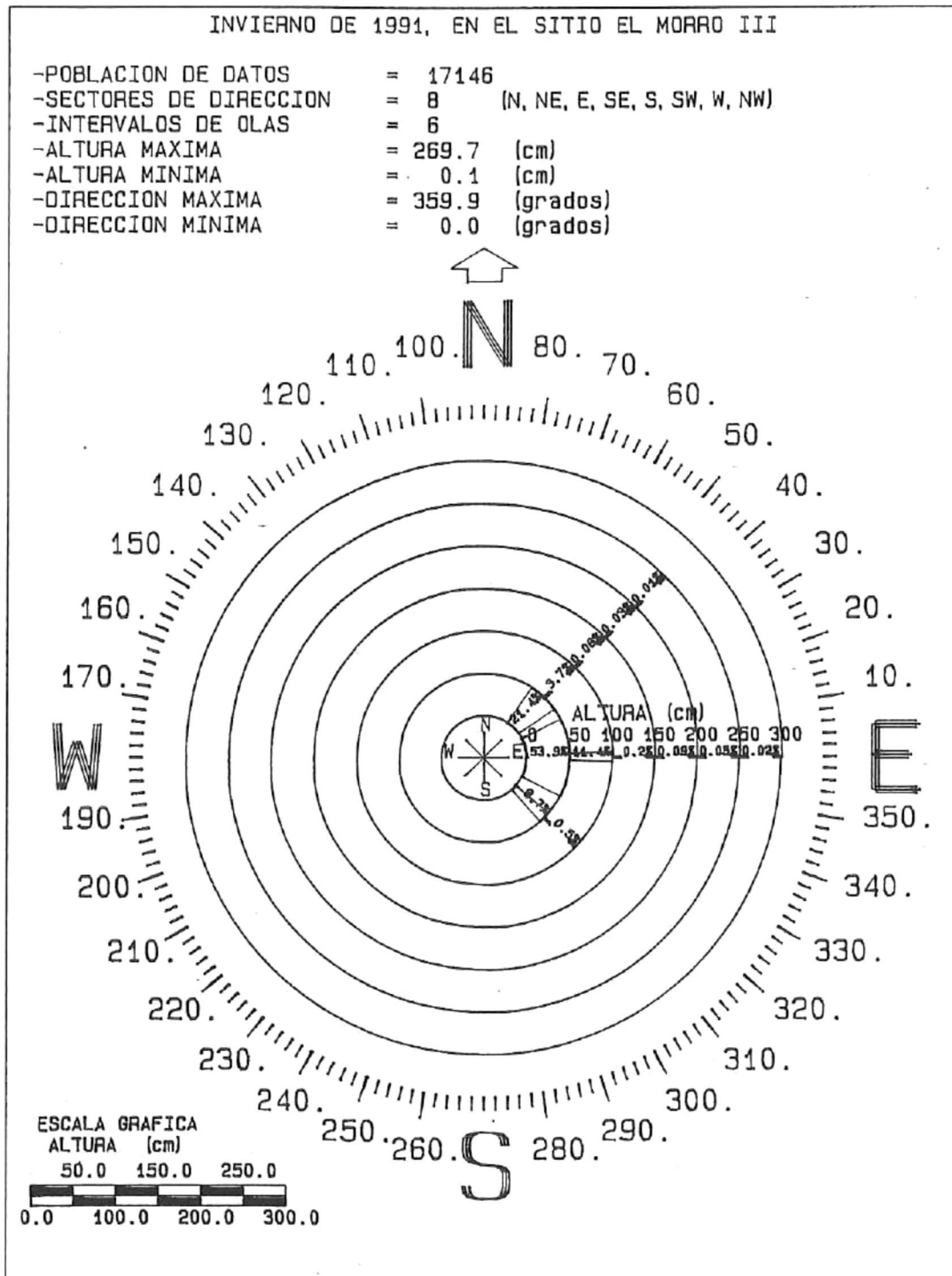


Figura 5.18 Distribución conjunta de alturas y direcciones para la época de invierno de 1991, en el sitio El Morro III, en el estado de Colima.

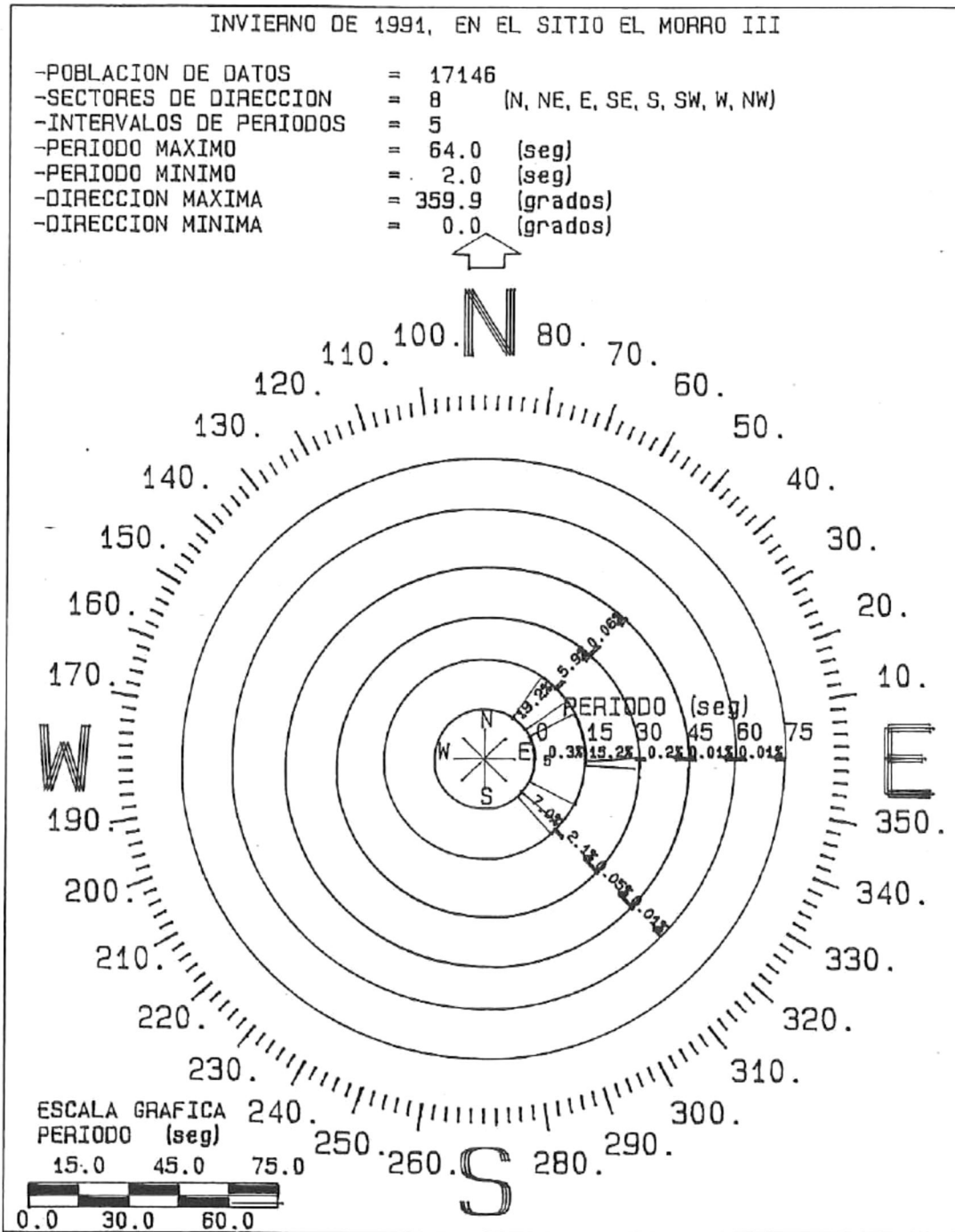


Figura 5.19 Distribución conjunta de períodos y direcciones para la época de invierno de 1991, en el sitio El Morro III, en el estado de Colima.

5.2.2 Resultados del análisis espectral aplicado a las series de tiempo de los sitios El Morro y El Morro III, en el estado de Colima.

En la figura 5.20 se presentan los espectros promedio de densidad de energía para la época de verano de los años 1988, 1989 y 1990 del sitio El Morro y para invierno y primavera de 1991 del sitio El Morro III.

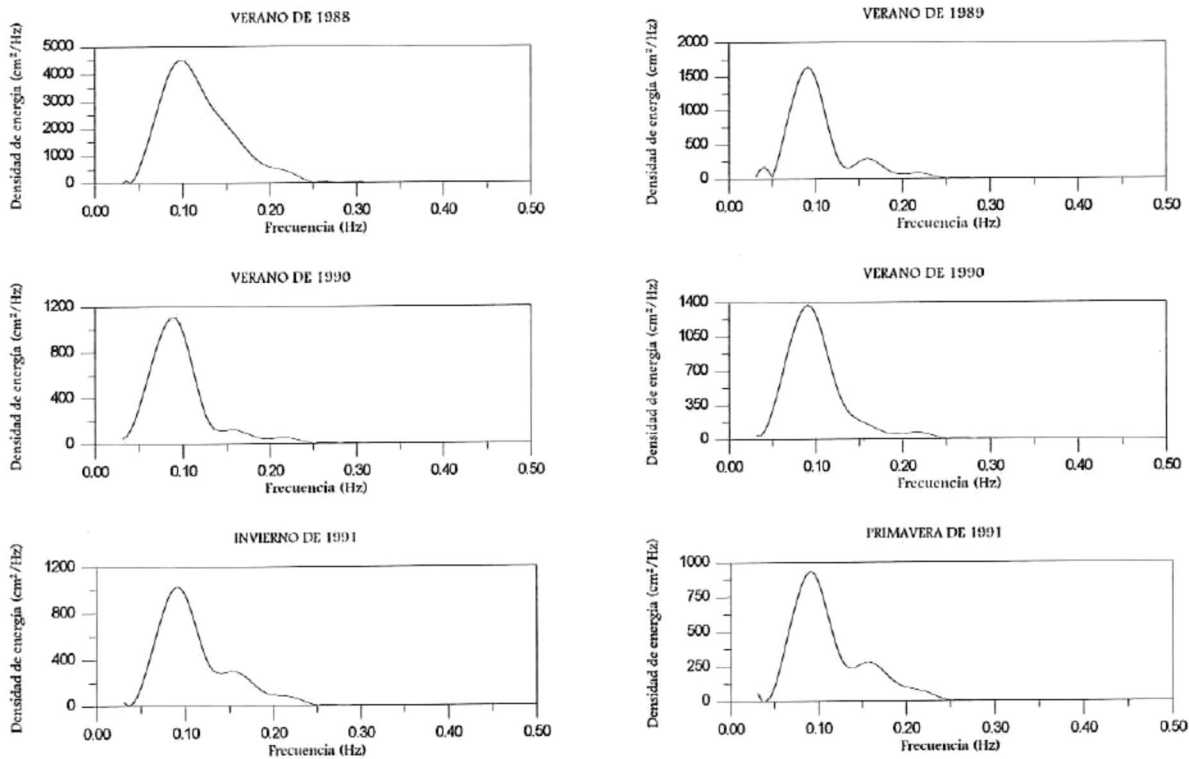


Figura 5.20 Espectros promedio de densidad de energía para verano de 1988, 1989 y 1990 en el sitio El Morro y para invierno y primavera de 1991 en el sitio El Morro III, en el estado de Colima.

Los espectros de densidad de energía se obtuvieron promediando por bandas de frecuencia los espectros calculados para cada ráfaga en cada una de las cintas de los sitios

El Morro y El Morro III. En la mayoría de estos espectros se observa un comportamiento unimodal, es decir que prevalece la presencia de un solo pico.

En la tabla 5.7 se muestran los valores de frecuencia, período y densidad de energía para cada pico presente en los espectros.

VALORES DE FRECUENCIA, PERÍODO Y DENSIDAD DE ENERGÍA DE CADA PICO			
Época del año	Frecuencia (Hz)	Período (s)	Energía (cm ² /Hz)
VER88	0.094	10.63	4500.67
VER89	0.094	10.63	1629.97
VER90	0.094	10.63	1083.18
VER90	0.094	10.63	1363.77
INV91	0.094	10.63	1024.72
PRIM91	0.094	10.63	929.03

Tabla 5.7 Valores de frecuencia, período y densidad de energía de cada pico que aparece en los espectros de la figura 5.20.

Como se puede ver en la tabla 5.7 la energía pico máxima del espectro promedio se encuentra asociada a olas con períodos de 10.63 s (0.094 Hz) en todos los casos.

Esto nos da una idea de que en estos dos sitios para las épocas que se tienen datos, las olas que aportaron mayor energía son Sea (oleaje local).

El comportamiento de la energía es mucho mayor en el caso del verano de 1988, para el sitio el Morro y en El Morro III la mayor energía se registró en invierno de 1991.

A continuación se presenta la distribución temporal de los valores pico de densidad de energía que se obtuvieron para cada ráfaga de cada cinta, figura 5.21.

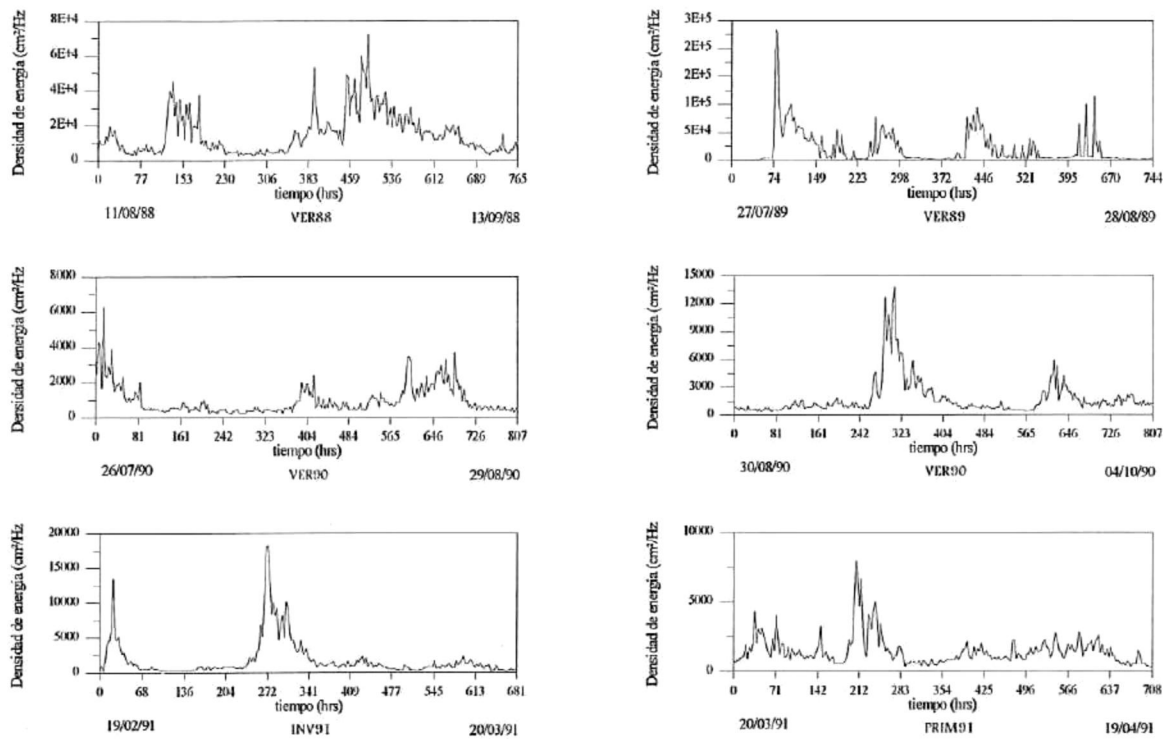


Figura 5.21 Valores pico de densidad de energía para verano de 1988, 1989 y 1990 en el sitio El Morro y para invierno y primavera de 1991 en El Morro III, en el estado de Colima.

Promediando los valores pico de densidad de energía calculados para todas las ráfagas que constituyen a cada una de las cintas pertenecientes a los dos sitios podemos discutir un poco sobre su comportamiento, figura 5.22.

En los valores pico de energía promedio se puede notar que, el valor máximo se dio en verano de 1989, en segundo lugar verano de 1988 para el sitio El Morro, por su parte el sitio El Morro III, presentó su valor máximo en invierno de 1991.

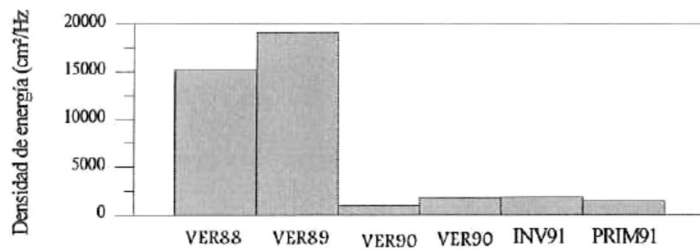


Figura 5.22 Valores promedio de picos de energía para verano de 1988, 1989 y 1990 en el sitio El Morro y para invierno y primavera de 1991 en el sitio El Morro III, en el estado de Colima.

A continuación en la figura 5.23 se muestra el espectro direccional del oleaje calculado para datos correspondientes a verano de 1988 en el sitio El Morro.

Este espectro se presenta como un ejemplo que ilustra la forma en que fue calculado para cada una de las cintas de los sitios El Morro y El Morro III con la intención de analizar la relación entre la energía contenida en el oleaje y las diferentes direcciones de propagación del mismo.

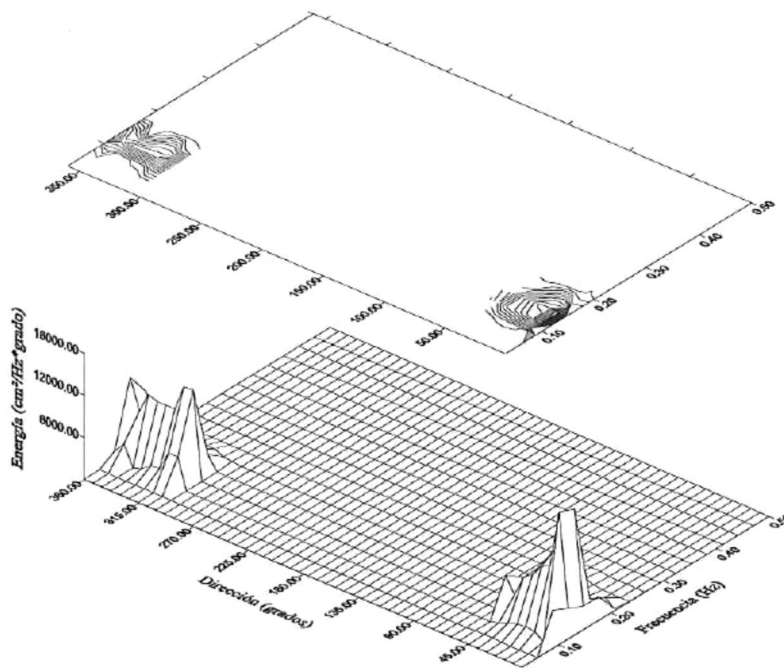


Figura 5.23 Espectro direccional del oleaje para la época de verano de 1988 en el sitio El Morro.

El espectro direccional del sitio El Morro, muestra que la energía se encuentra asociada a dos rangos de direcciones, entre 0 y 50 grados y entre 300 y 360 grados, en ambos casos las olas asociadas a estas direcciones están en un rango de frecuencias entre 0 y 0.23, pero los dos picos más altos se asocian a frecuencias de aproximadamente 0.15 Hz (6.6 s de período). El primer pico asociado a un ángulo de propagación de 7 grados con dirección noreste y el segundo asociado a un ángulo de propagación de 310 grados, con dirección sureste.

En la figura 5.24 se muestra el espectro direccional calculado para los datos de invierno de 1991 en el sitio El Morro III.

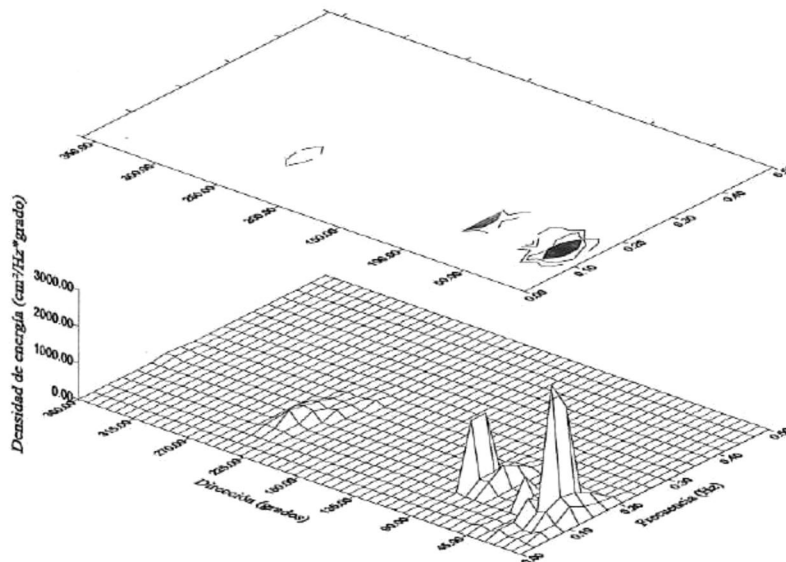


Figura 5.24 Espectro direccional del oleaje para la época de invierno de 1991 en el sitio El Morro III.

El espectro direccional del sitio El Morro III muestra que la mayor cantidad de energía se encuentra asociada a un rango de direcciones entre 0 y 90 grados pero el pico más alto coincide con un ángulo de propagación de 22.5 grados, que es una dirección noreste y está asociado a frecuencias de 0.128 Hz, que corresponde a períodos de 7.8 s.

5.2.3 Resultados del análisis de marea aplicado a las series de tiempo de los sitios El Morro y El Morro III, en el estado de Colima.

En la figura 5.25 se muestra un mareograma y su respectivo espectro de densidad de energía, correspondiente a la época de verano de 1988 en el sitio El Morro y en la figura 5.26 se muestra el mareograma y su respectivo espectro de densidad de energía correspondiente a la época de invierno de 1991 en el sitio El Morro III.

La frecuencia de corte utilizada para calcular ambos espectros fue de 0.16 ciclos/hr. Se escogieron 15 bandas de frecuencia, lo que permitió obtener una resolución espectral de 0.01 ciclos/hr.

En el primer caso se muestra una marea tipo mixta semidiurna que presenta sus dos componentes con aproximadamente la misma cantidad de energía, los picos se encuentran asociados a períodos de 23.8 hr (0.042 ciclos/hr) y de 12.04 hr (0.083 ciclos/hr) que son las componentes diurna y semidiurna respectivamente.

En el segundo caso se muestra también una marea de tipo mixta semidiurna pero en este caso la componente semidiurna con 12.04 hr de período (frecuencia de 0.083 ciclos/hr), es la más energética casi del doble que la componente diurna con 23.8 hr de período (frecuencia de 0.042 ciclos/hr)

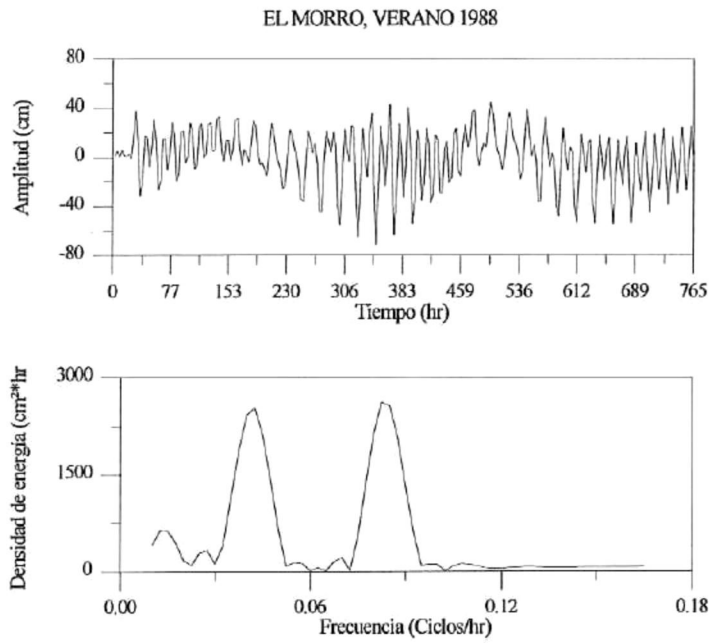


Figura 5.25 Mareograma y su respectivo espectro de densidad de energía correspondiente a la época de verano de 1988 en el sitio El Morro, en el estado de Colima.

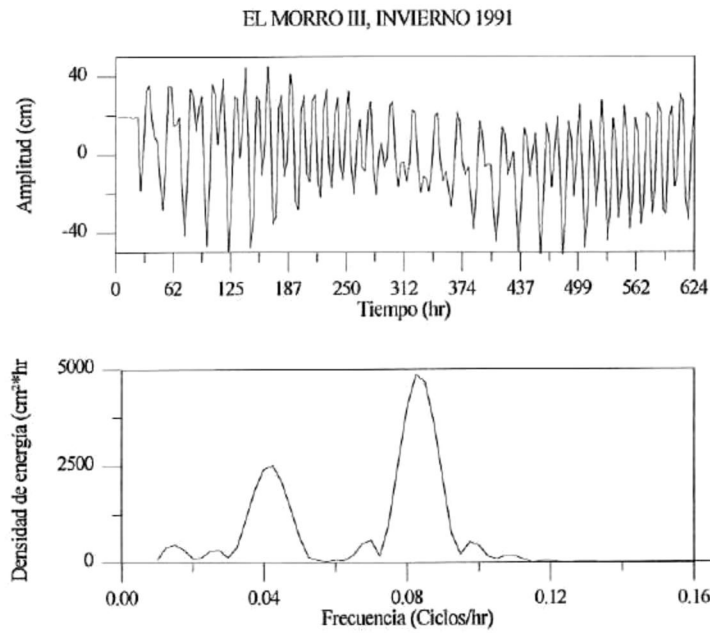


Figura 5.26 Mareograma y su respectivo espectro de densidad de energía correspondiente a la época de invierno de 1991 en el sitio El Morro III, en el estado de Colima

5.2.4 Resultados del cálculo de la densidad de probabilidad de amplitudes, períodos y conjunta, para las series de tiempo de los sitios El Morro y El Morro III, en el estado de Colima.

En la figura 5.27 se muestra la distribución de densidad de probabilidad de amplitudes y períodos correspondientes a la época de verano de 1988, en el sitio El Morro y en la figura 5.28 se muestra la densidad de probabilidad de amplitudes y períodos correspondiente a la época de invierno de 1991 para el sitio El Morro III.

En el primer caso la gráfica muestra que la densidad de probabilidad pico para las amplitudes corresponde a una amplitud de 20 cm, que es una altura de 40 cm, en cuanto a los períodos el pico se encuentra aproximadamente en 11 segundos.

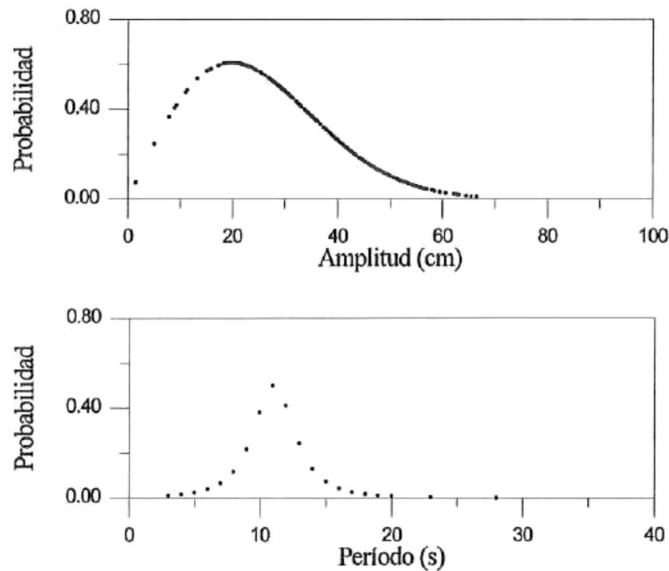


Figura 5.27 Distribución de densidad de probabilidad de amplitudes y períodos para datos de la época de verano de 1988 en el sitio El Morro, en el estado de Colima.

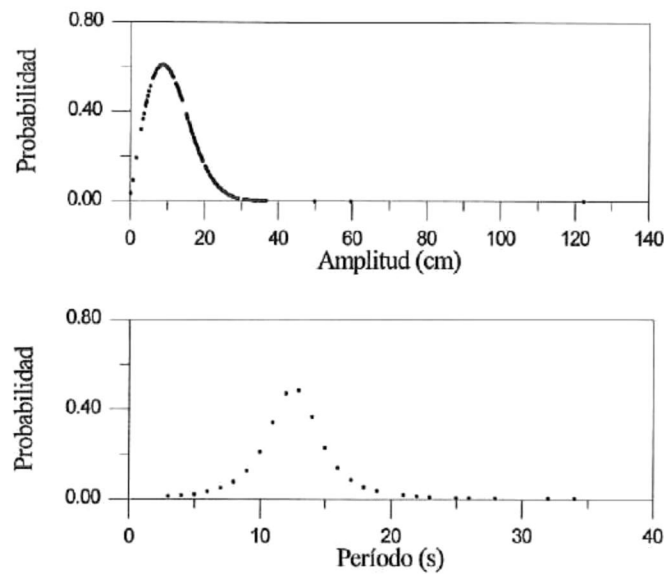


Figura 5.28 Distribución de densidad de probabilidad de amplitudes y periodos para datos de la época de invierno de 1991 en el sitio El Morro III, en el estado de Colima.

En el sitio El Morro III los picos se encuentran asociados a olas con amplitudes de 10 cm (alturas de 20 cm) y con periodos de 14 segundos.

En la figura 5.29 se muestra la densidad de probabilidad conjunta de amplitudes y periodos para la época de verano de 1988 en el sitio El Morro. En ésta se puede notar que la densidad de probabilidad se encuentra concentrada en periodos entre 0 y 3 segundos y en amplitudes entre 0 y 60 cm (0 y 120 cm de altura).

En la figura 5.30 se muestra la densidad de probabilidad conjunta de amplitudes y periodos para la época de invierno de 1991, en el sitio El Morro III. En ésta se puede notar que la densidad de probabilidad se encuentra concentrada en periodos entre 0 y 4 segundos y en amplitudes entre 0 y 20 cm (0 y 40 cm de altura).

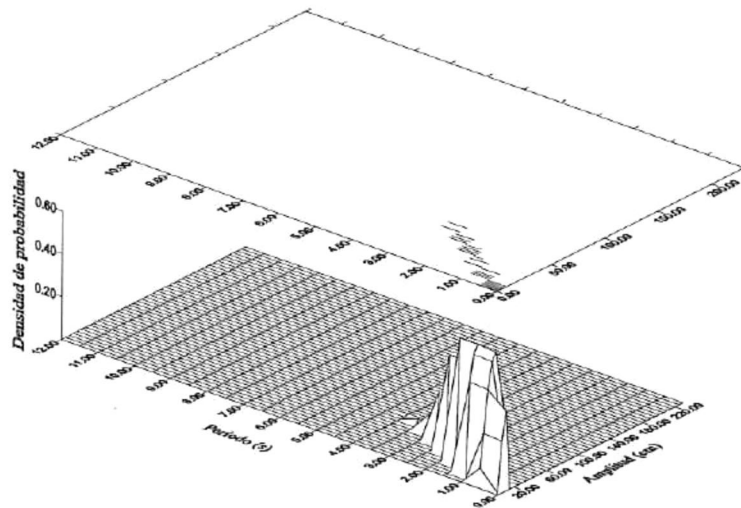


Figura 5.29 Densidad de probabilidad conjunta de amplitudes y períodos para datos de verano de 1988 en el sitio El Morro, en el estado de Colima.

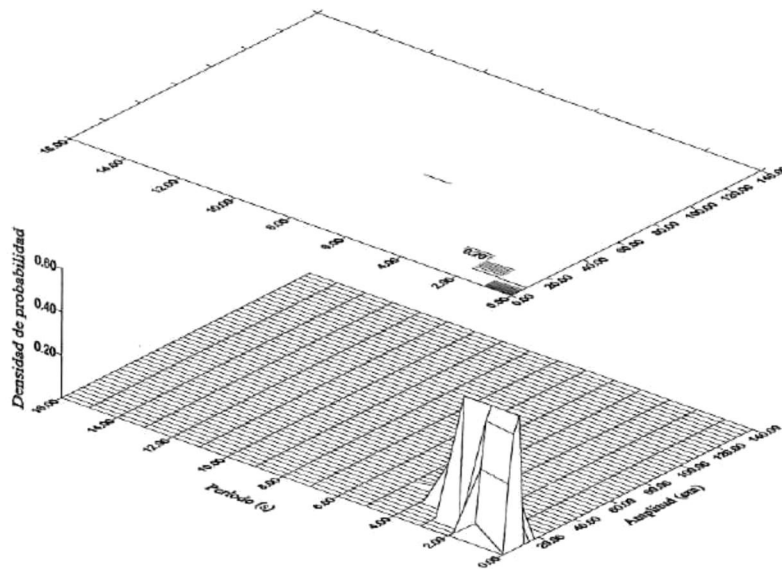


Figura 5.30 Densidad de probabilidad conjunta de amplitudes y períodos para datos de invierno de 1991 en el sitio El Morro III, en el estado de Colima.

5.3 Resultados encontrados para el sitio Colmi, en la frontera de los estados de Colima y Michoacán.

El siguiente sitio Colmi, se localiza en la frontera de los estados de Colima y Michoacán, para este sitio el número de cintas que sobrevivieron a las pruebas de control de calidad son 7 de 14 que originalmente se tenían. Estas cintas se encuentran distribuidas en el tiempo de la siguiente forma: existe una cinta para la época de otoño de 1988, otra para invierno de 1989, una más para la época de invierno de 1990, otra para la época de primavera de 1990, dos para la época de verano de 1990 y una para primavera de 1991.

5.3.1 Resultados de las mediciones de alturas, períodos y direcciones en el sitio Colmi.

En la tabla 5.8 se presentan los valores máximos y mínimos para las diferentes épocas de los años 1988 a 1991, para el sitio Colmi.

El rango en el que se encontraron todas las alturas del sitio Colmi para los diferentes años en que se tienen datos esta entre 0.1 y 452.43 cm.

El valor máximo de altura en el sitio Colmi se dio para la época de invierno de 1990 con 452.43 cm, en segundo lugar se encontró un valor de 430.41 cm en la época de verano de 1990 y en tercero una altura de 321.78 cm correspondiente a la época de primavera de 1990.

El rango en que se encontraron los valores de período se dio entre 2 y 86 segundos, presentándose las olas con período más grande en primavera de 1991 con 86

segundos, en segundo lugar la época de invierno de 1989 con 55.0 segundos y en tercero la época de verano de 1990 con 54.0 segundos.

VALORES MÁXIMOS Y MÍNIMOS EN EL SITIO COLMI						
ÉPOCA Y AÑO	ALTURA (cm)		PERÍODO (s)		DIRECCIÓN (grados)	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
OTO88	309.24	0.10	29.0	2.0	360.00	0.00
INV89	243.36	0.10	55.0	2.0	70.68	0.00
PRI89	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO
VER89	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO
OTO89	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO
INV90	452.43	0.20	42.0	2.0	360.00	0.00
PRI90	321.78	0.10	47.0	2.0	359.90	0.00
VER90	430.41	0.10	42.0	2.0	359.90	0.00
VER90	264.29	0.10	54.0	2.0	359.90	0.00
OTO90	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO
INV91	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO
PRI91	264.21	0.10	86.0	2.0	359.90	0.00

Tabla 5.8 Valores máximos y mínimos de alturas, períodos y direcciones para las diferentes épocas de los años 1988 a 1991, en el sitio Colmi.

En todos los casos los valores máximos de período encontrados exceden el límite superior del rango de períodos en el que se definen las olas de gravedad (entre 1 y 30 segundos, según Kinsman, 1965) y caen en el rango de ondas infragravitacionales.

Por otra parte el rango de direcciones medidas abarca los 360 grados, pero éstos se discutirán más adelante.

En la figura 5.31 se muestran gráficamente los valores máximos de alturas, períodos y direcciones en las diferentes épocas del año, durante los años de 1988 a 1991.

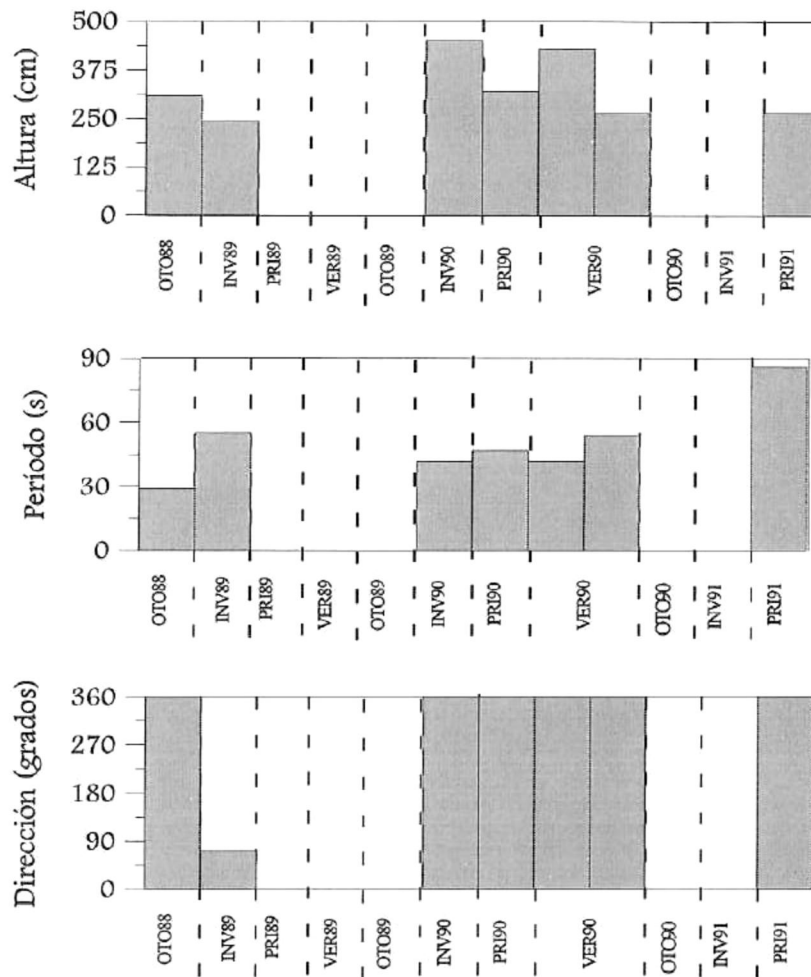


Figura 5.31 Variación de los valores máximos de alturas, períodos y direcciones para las diferentes épocas de los años 1988 a 1991 en el sitio Colmi.

En la tabla 5.9 se presentan los valores promedio de alturas, períodos y direcciones para la diferentes épocas, en los años de 1988 a 1991.

En los valores promedio de alturas, el valor máximo encontrado corresponde a la época de verano de 1990 con 34.08 cm, en segundo lugar la época de invierno de 1990 con 33.68 cm y en tercero primavera de 1990 con 31.24 cm.

VALORES PROMEDIO DEL SITIO COLMI			
ÉPOCA Y AÑO	ALTURA (cm)	PERÍODO (s)	DIRECCIÓN (grados)
OTO88	30.87	11.62	301.69
INV89	26.72	12.94	310.80
PRI89	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO
VER89	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO
OTO89	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO
INV90	33.68	12.36	351.12
PRI90	31.24	13.19	299.94
VER90	34.08	13.07	295.33
VER90	28.76	12.68	326.33
OTO90	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO
INV91	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO
PRI91	30.95	12.04	280.97

Tabla 5.9 Valores promedio de alturas, períodos y direcciones para las diferentes épocas durante los años de 1988 a 1991, en el sitio Colmi.

En cuanto a los valores promedio de período los valores se mantienen entre 11.62 y 13.19 segundos, valores que si corresponden a olas de gravedad y que podrían indicar que el promedio de las olas que llegan a estas costas son swell. La época que presenta el período promedio máximo es primavera de 1990 con 13.19 segundos, en segundo lugar verano de 1990 con 13.07 y en tercero invierno de 1989 con 12.94 segundos.

En la figura 5.32 se muestra gráficamente las variaciones de los valores promedio de alturas, períodos y direcciones en las diferentes épocas de los años 1988 a 1991.

En cuanto a las direcciones respecta los promedios del sitio Colmi muestran direcciones de propagación al sureste.

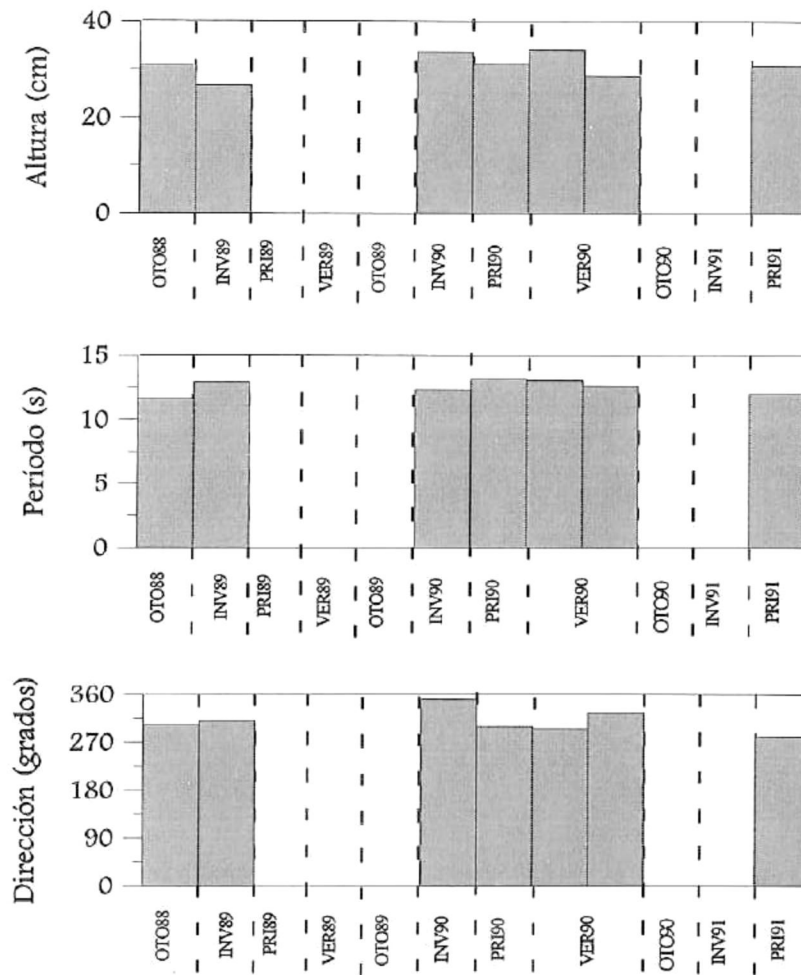


Figura 5.32 Variación de los valores promedio de alturas, periodos y direcciones para las diferentes épocas de los años de 1988 a 1991 en el sitio Colmi.

En la figura 5.33 se muestra la distribución temporal de los valores de altura significativa, para cada una de las cintas del sitio Colmi.

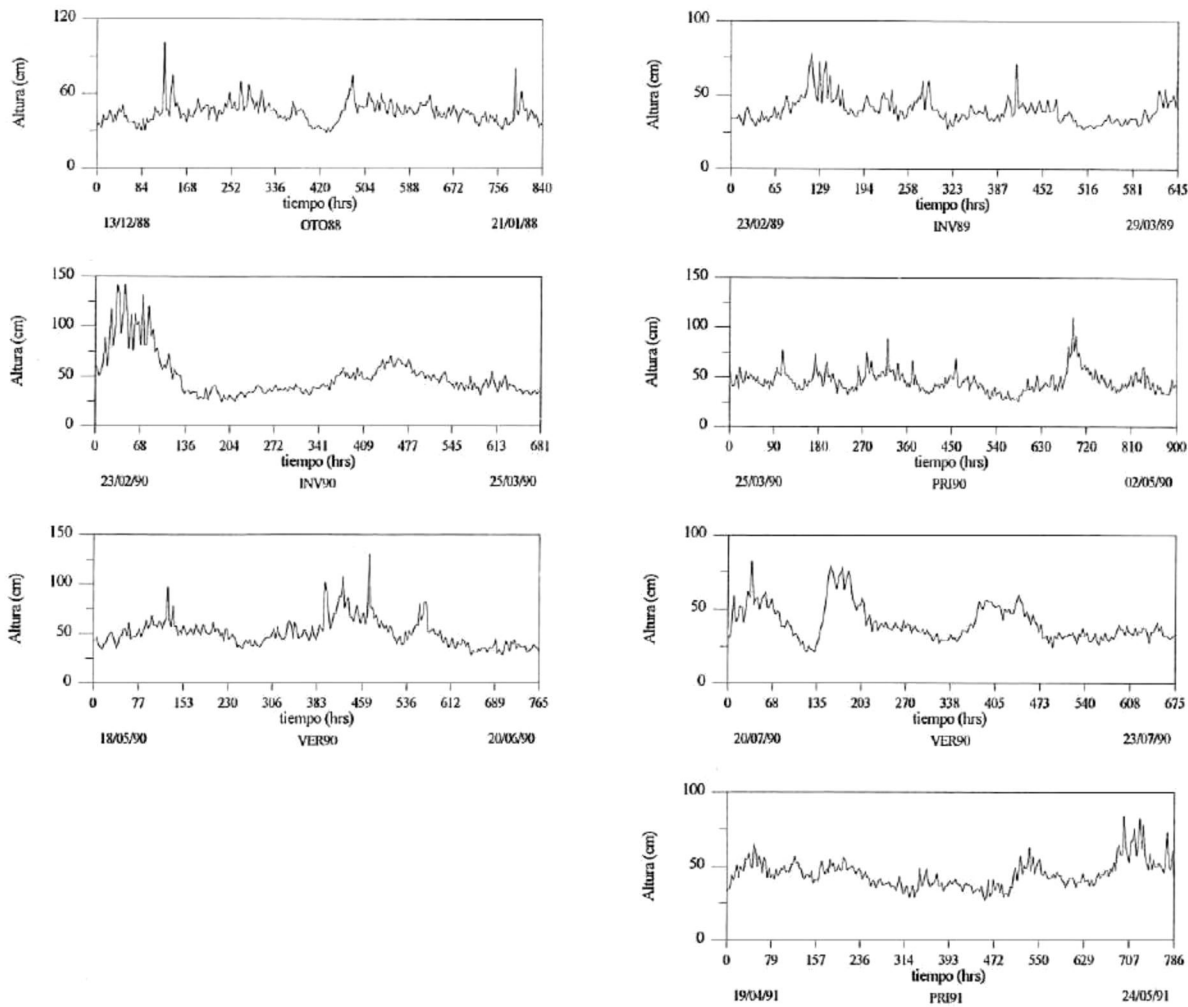


Figura 5.33 Variación temporal de los valores de altura significativa para las diferentes épocas de los años 1988 a 1991, en el sitio Colmi.

En la figura 5.34 se muestra una gráfica con los valores promedio de altura significativa calculados para cada una de las cintas del sitio Colmi.

En cuanto a los valores promedio de altura significativa, los valores más altos se dieron en la época de verano de 1990, con un promedio de 50.83 cm, después la época de invierno de 1990 con 50.42 cm y en tercer lugar la primavera del mismo año con 46.05 cm.

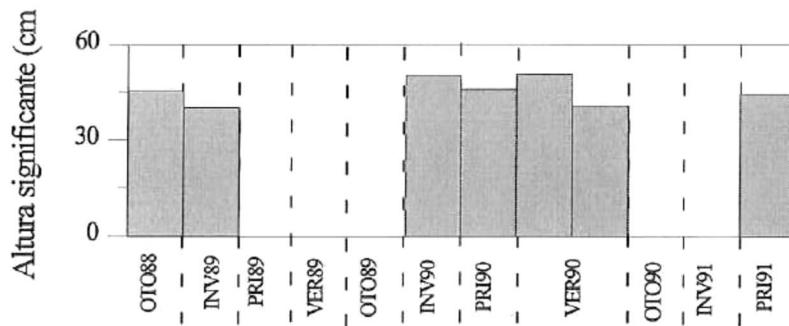


Figura 5.34 Variación temporal de los valores promedio de altura significativa para las diferentes épocas de los años 1988 a 1991, en el sitio Colmi.

En la figura 5.35 se muestra una rosa de olas con la distribución conjunta de alturas y direcciones, correspondiente a la época de invierno de 1989 en el sitio Colmi, como un ejemplo del cálculo realizado con los datos contenidos en cada una de las cintas del sitio. Este análisis muestra que aproximadamente un 95.9 % de las olas medidas en esta época están asociadas a alturas entre 0 y 50 cm y de éstas, un 45.5% presentan un ángulo de propagación de 0 grados con dirección este. El 32.1% de ellas están asociadas a un ángulo de propagación de 316 grados con dirección sureste y otro 18.3% con un ángulo de 270 grados con dirección sur. El 4.1% restante corresponde a olas con alturas entre 50 y 250 cm en las mismas tres direcciones.

En la figura 5.36 se muestra la rosa de olas correspondiente a la distribución conjunta de períodos y direcciones para la misma época y año del sitio Colmi. En ella se puede notar que existe un 21.10% de los datos, asociado a olas con períodos entre 0 y 10 s, de éstas el 9.4% presenta un ángulo de propagación de 0 grados con dirección este, otro 8.3% de ellas presenta un ángulo de 316 grados con dirección sureste y el otro 3.4% presenta un ángulo de 270 grados con dirección sur.

El 79.2% de las olas están asociadas a períodos entre 10 y 20 s, distribuidas en las tres diferentes direcciones de la siguiente forma: un 38.7% presenta un ángulo de propagación de 0 grados con dirección este, otro 24.4% de ellas esta asociado a un ángulo de 316 grados con dirección sureste y el 18.1% se encuentra asociado a un ángulo de 270 grados con dirección sur.

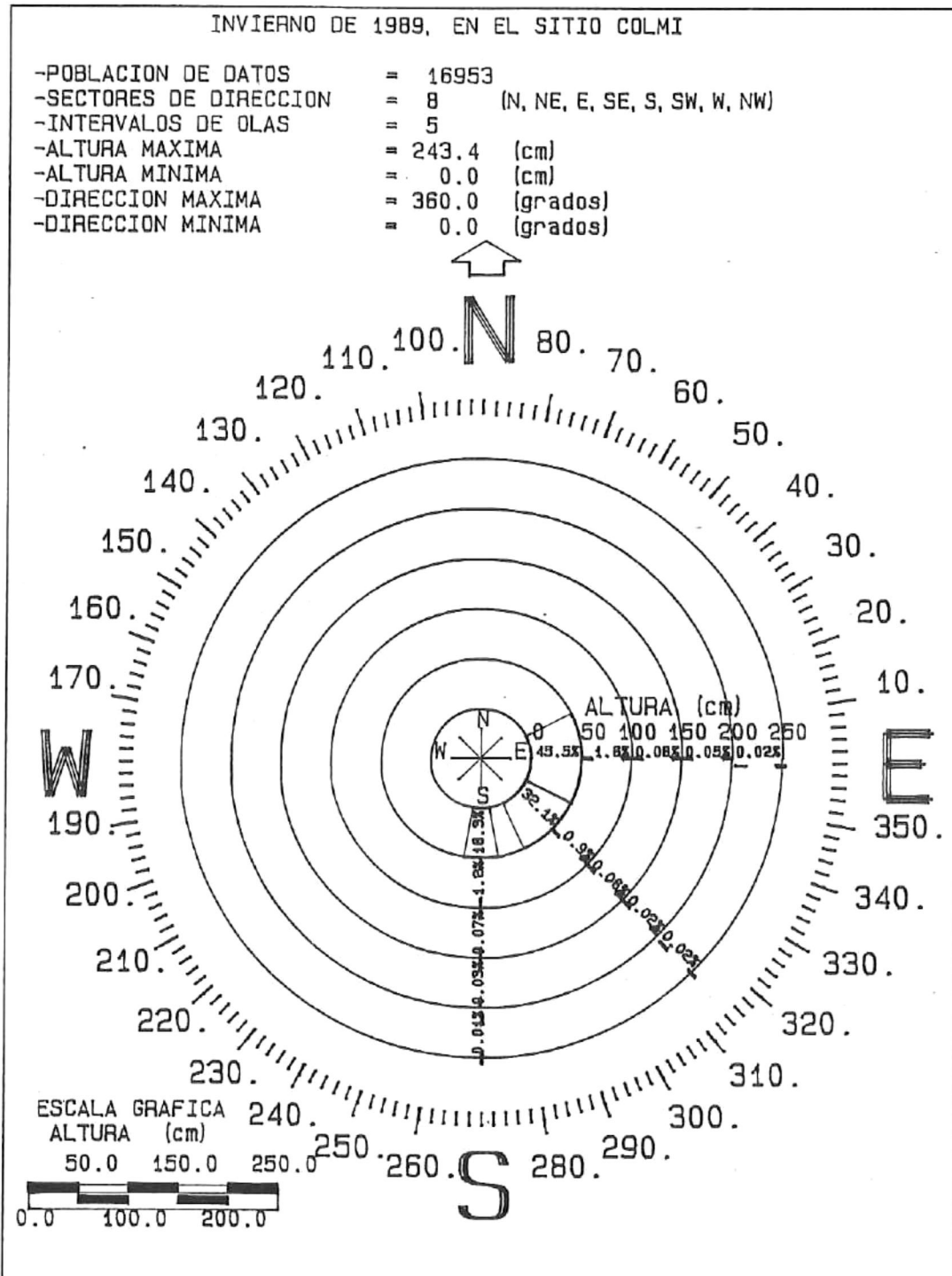


Figura 5.35 Distribución conjunta de alturas y direcciones para la época de invierno de 1989, en el sitio Colmi.

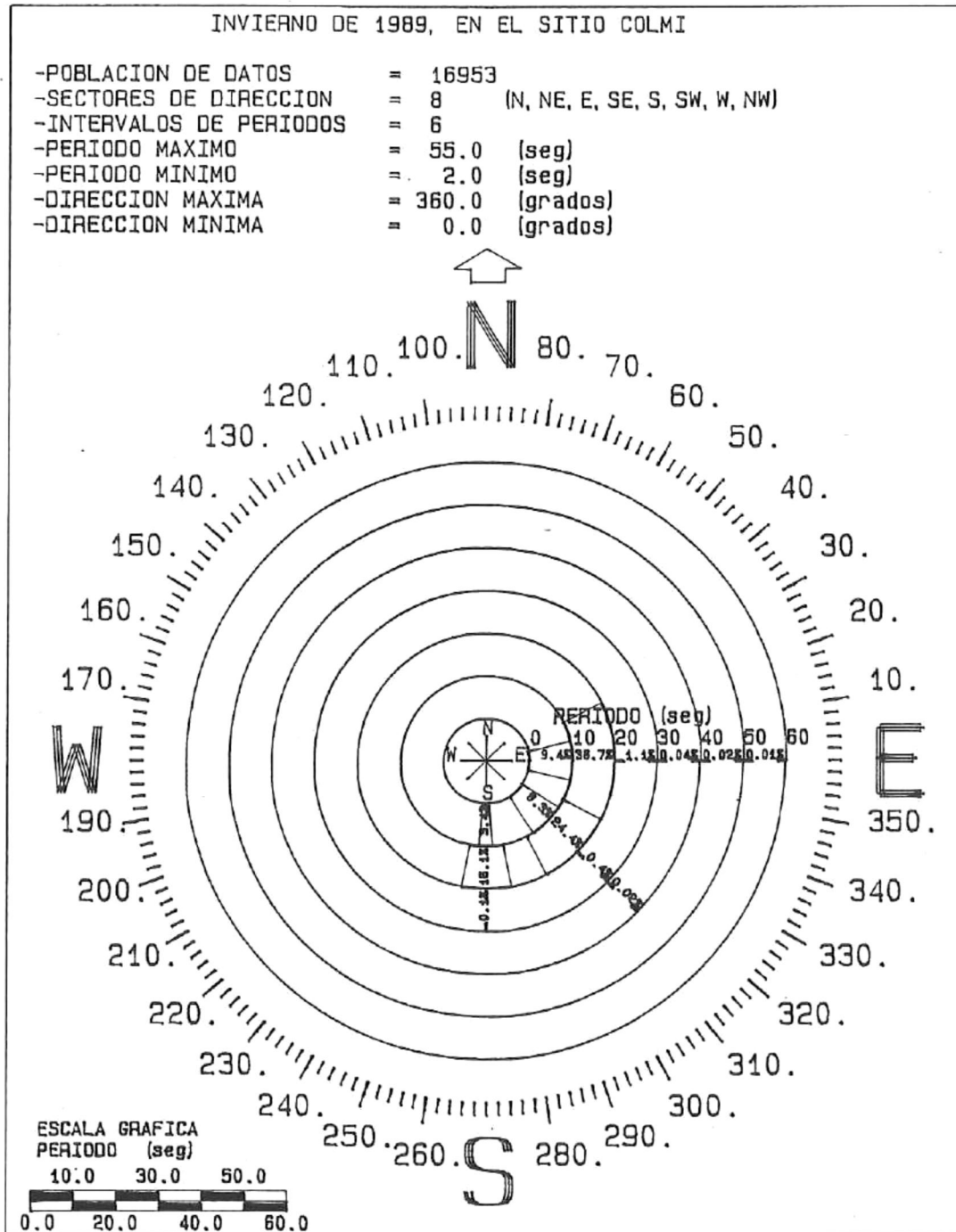


Figura 5.36 Distribución conjunta de períodos y direcciones para la época de invierno de 1989, en el sitio Colmi.

5.3.2 Resultados del análisis espectral aplicado a las series de tiempo del sitio Colmi.

En la figura 5.37 se presentan los espectros promedio de densidad de energía para las diferentes épocas de los años 1988 a 1991 del sitio Colmi

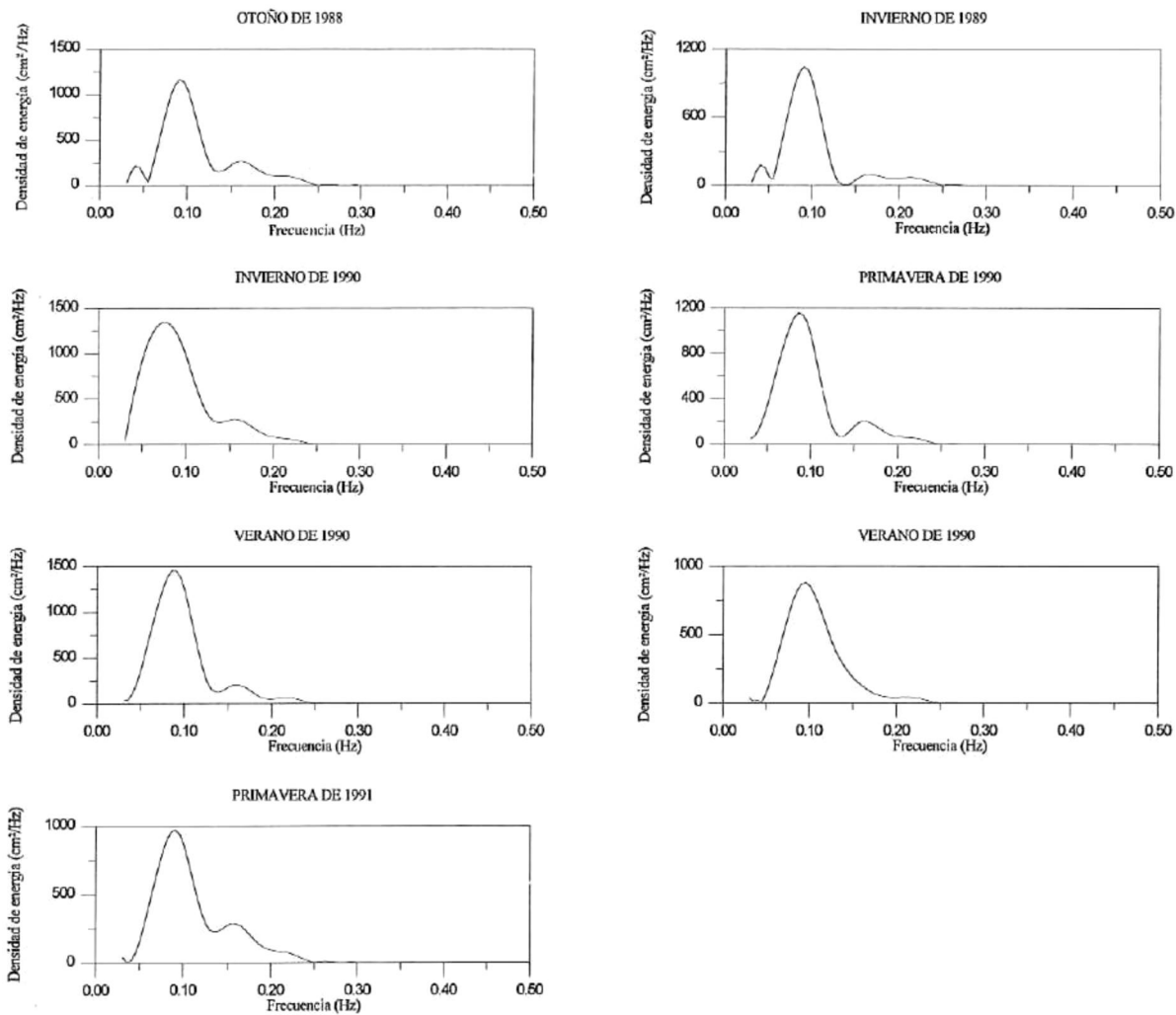


Figura 5.37 Espectros promedio de densidad de energía para las diferentes épocas de los años 1988 a 1991, en el sitio Colmi.

Los espectros de densidad de energía se obtuvieron promediando por bandas de frecuencia los espectros calculados para cada ráfaga en cada una de las cintas del sitio. En la mayoría de estos espectros se observa un comportamiento bimodal, pero uno de los picos es aproximadamente cuatro ordenes de magnitud mayor que el otro y en particular para el segundo espectro de verano de 1990 el pico mayor es 19 veces más grande que el pico menor.

En la tabla 5.10 se muestran los valores de frecuencia, período y densidad de energía para cada uno de los picos presentes en los espectros.

VALORES DE FRECUENCIA, PERÍODO Y DENSIDAD DE ENERGÍA PARA CADA PICO						
Época del año	Pico mayor			Pico menor		
	Frecuencia (Hz)	Período (s)	Energía (cm ² /Hz)	Frecuencia (Hz)	Período (s)	Energía (cm ² /Hz)
OTO88	0.091	10.98	1157.38	0.161	6.21	266.21
INV89	0.091	10.98	1041.57	0.166	6.02	96.21
PRI89	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO
VER89	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO
OTO89	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO
INV90	0.076	13.15	1349.39	0.156	6.40	279.68
PRI90	0.086	11.62	1157.93	0.161	6.21	205.71
VER90	0.091	10.98	1453.95	0.161	6.21	209.59
VER90	0.096	10.41	882.26	0.211	4.70	45.44
OTO90	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO
INV91	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO
PRI91	0.091	10.98	972.34	0.156	6.40	288.53

Tabla 5.10 Valores de frecuencia, período y densidad de energía de cada pico que aparece en los espectros de la figura 5.37.

Como se puede ver en la tabla 5.10 el pico mayor de energía en el espectro promedio se encuentra asociado a olas con períodos entre 10.41 y 13.15 s (0.096 y 0.076 Hz de frecuencia) y el pico menor está asociado a olas con períodos entre 4.70 y 6.40 s (0.211 y 0.156 Hz de frecuencia).

En la figura 5.38 se presenta la distribución temporal de los valores pico de densidad de energía, obtenidos para cada ráfaga de cada cinta en el sitio Colmi.

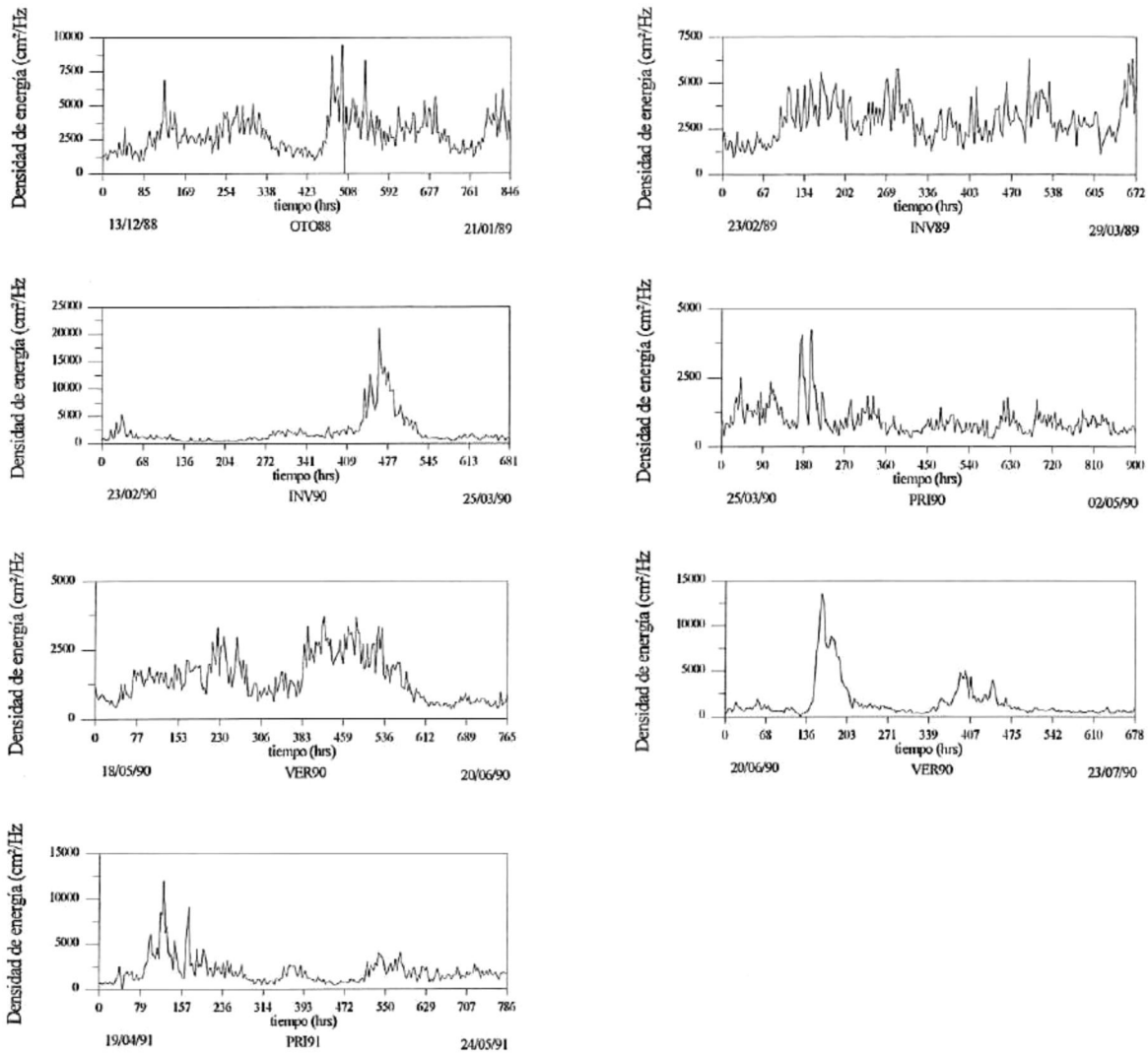


Figura 5.38 Valores pico de densidad de energía para diferentes épocas de los años 1988 a 1991, en el sitio Colmi.

En la figura 5.39 se presentan los valores promedio de los picos de energía calculados para todas las ráfagas que constituyen a cada una de las cintas pertenecientes al sitio.

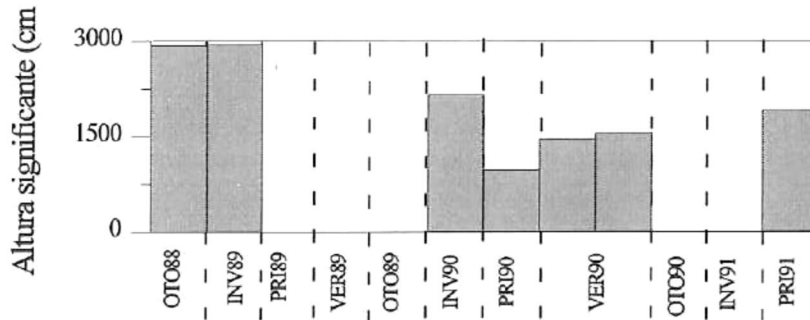


Figura 5.39 Valores promedio de picos de energía para las diferentes épocas de los años 1988 a 1991, en el sitio Colmi.

En los valores pico de energía promedio se puede notar que, el valor máximo se dio en la época de invierno de 1989, en segundo lugar otoño de 1988 y en tercero la época de invierno de 1990.

En la figura 5.40 se muestra el espectro direccional del oleaje calculado para datos correspondientes a la época de invierno de 1989 en el sitio Colmi.

Este espectro se presenta como un ejemplo que ilustra la forma en que fue calculado para cada una de las cintas del sitio, con la intención de analizar la relación entre la energía contenida en el oleaje y las diferentes direcciones de propagación del mismo.

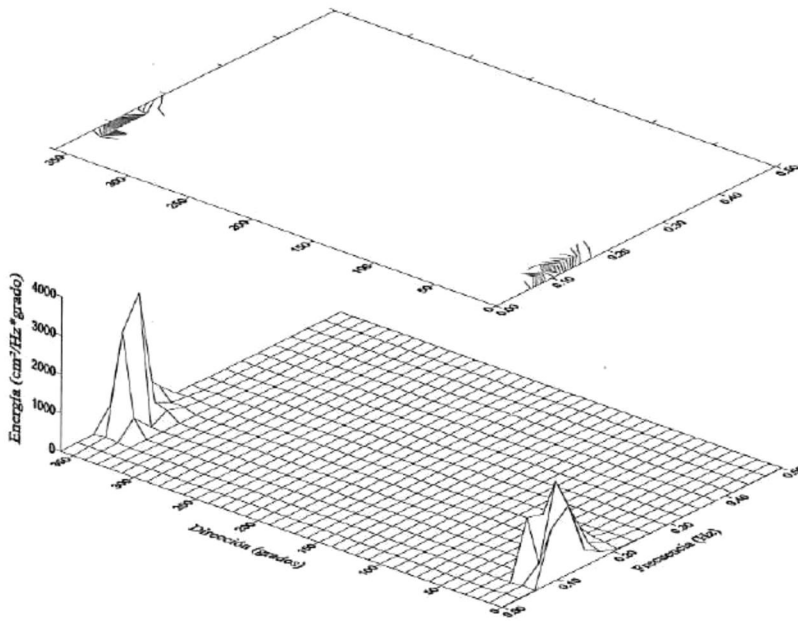


Figura 5.40 Espectro direccional del oleaje para la época de invierno de 1989 en el sitio Colmi.

El espectro direccional muestra que la energía se encuentra asociada a dos rangos de direcciones, entre 0 y 20 grados y entre 320 y 360 grados, en ambos casos las olas asociadas a estas direcciones están en un rango de frecuencias entre 0.06 y 0.23 Hz, pero los dos picos más altos se asocian a frecuencias de aproximadamente 0.15 Hz (6.6 s de período). El primer pico asociado a un ángulo de propagación de 5 grados con dirección noreste y el segundo asociado a un ángulo de propagación de 350 grados, con dirección sureste.

5.3.3 Resultados del análisis de marea aplicado a las series de tiempo del sitio Colmi.

En la figura 5.41 se muestra un mareograma y su respectivo espectro de densidad de energía, correspondiente a la época de verano de 1990 en el sitio Colmi.

La frecuencia de corte utilizada para calcular el espectro fue de 0.16 ciclos/hr. Se escogieron 15 bandas de frecuencia, lo que permitió obtener una resolución espectral de 0.01 ciclos/hr.

En la gráfica 5.41 se muestra una marea tipo mixta semidiurna que presenta su componente más energética asociada a un período de 23.8 hrs (frecuencia de 0.042 ciclos/hora), que es la componente diurna y la componente semidiurna con un período de 12.04 hrs (frecuencia de 0.083 ciclos/hr) presenta una energía de aproximadamente la mitad de la componente diurna.

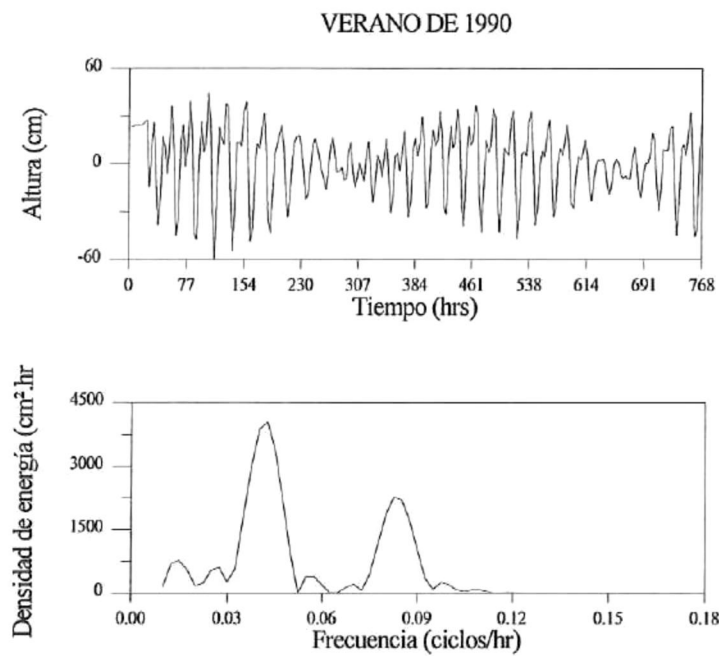


Figura 5.41 Mareograma y su respectivo espectro de densidad de energía correspondiente a la época de verano de 1990 en el sitio Colmi.

5.3.4 Resultados del cálculo de la densidad de probabilidad de amplitudes, periodos y conjunta, para las series de tiempo del sitio Colmi.

En la figura 5.42 se muestra la distribución de densidad de probabilidad de amplitudes y periodos correspondientes a la época de verano de 1990, en el sitio Colmi. En ésta se muestra que la densidad de probabilidad pico en amplitudes corresponde a una amplitud de 10 cm, que es una altura de 20 cm, en cuanto a los periodos el pico se encuentra aproximadamente en 13 segundos.

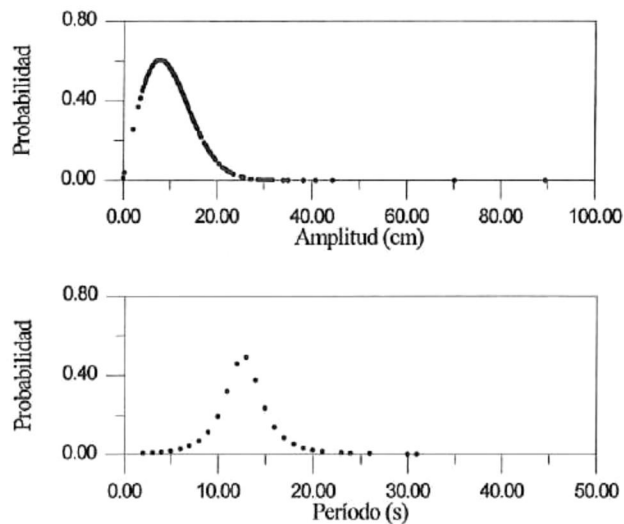


Figura 5.42 Distribución de densidad de probabilidad de amplitudes y periodos para datos de la época de verano de 1990 en el sitio Colmi.

En la figura 5.43 se muestra la densidad de probabilidad conjunta de amplitudes y periodos para la época de verano de 1990 en el sitio Colmi. En ésta se puede notar que

la densidad de probabilidad se encuentra concentrada en períodos entre 0 y 30 segundos y en amplitudes entre 0 y 30 cm (0 y 60 cm de altura); mostrándose el pico máximo en un período de 12 segundos y una amplitud de 12 cm (altura de 24 cm).

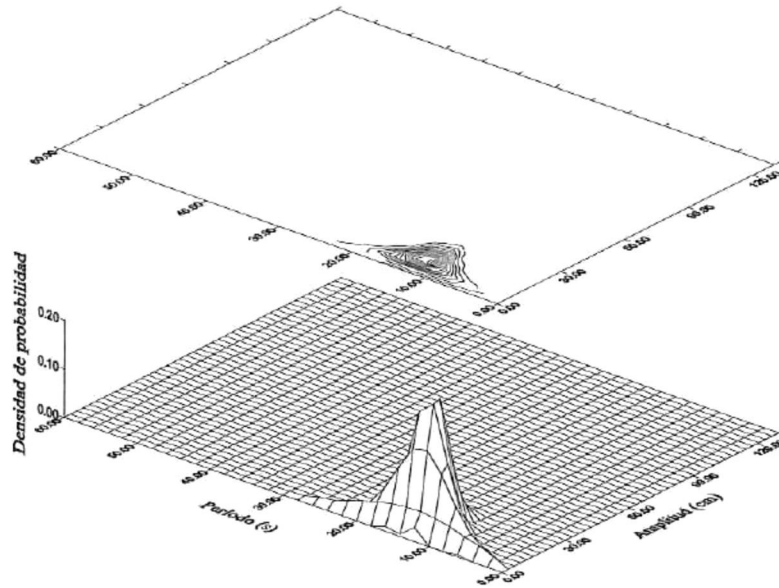


Figura 5.43 Densidad de probabilidad conjunta de amplitudes y períodos para datos de verano de 1990 en el sitio Colmi.

5.4 Resultados encontrados para el sitio Puerto, en el estado de Michoacán.

El sitio Puerto, se localiza en el estado de Michoacán, en la región D según la clasificación de Lankford (1977), para este sitio el número de cintas que sobrevivieron a las pruebas de control de calidad es 2 de 9 que originalmente se tenían. Estas cintas pertenecen a las épocas de invierno y primavera del año 1989.

5.4.1 Resultados de las mediciones de alturas, períodos y direcciones en el sitio Puerto.

En la tabla 5.11 se presentan los valores máximos y mínimos para las dos épocas del año 1989, para el sitio Puerto.

El rango en el que se encontraron las alturas del sitio Puerto para las dos épocas del año 1989 está entre 0.1 y 379.03 cm.

El valor máximo de altura en el sitio Puerto se dio para la época de invierno de 1989 con 379.03 cm.

VALORES MÁXIMOS Y MÍNIMOS EN EL SITIO PUERTO						
ÉPOCA Y AÑO	ALTURA (cm)		PERÍODO (s)		DIRECCIÓN (grados)	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
INV89	379.03	0.10	190.0	2.0	298.60	215.60
PRI89	92.74	0.10	37.0	2.0	301.10	191.00

Tabla 5.11 Valores máximos y mínimos de alturas, períodos y direcciones para las épocas de invierno y primavera de 1989, en el sitio Puerto.

El rango en que se encontraron los valores de período se dio entre 2 y 190.0 segundos, presentándose las olas con período más grande en invierno de 1989 con 190.0 segundos.

En ambos casos los valores máximos de período encontrados exceden el límite superior del rango de períodos en el que se definen las olas de gravedad (entre 1 y 30 segundos, según Kinsman, 1965) y caen en el rango de ondas infragravitacionales.

Por otra parte el rango de direcciones medidas abarca 110 grados, pero esto se discutirá más adelante.

En la figura 5.44 se muestran gráficamente los valores máximos de alturas, períodos y direcciones en las dos épocas del año 1989.

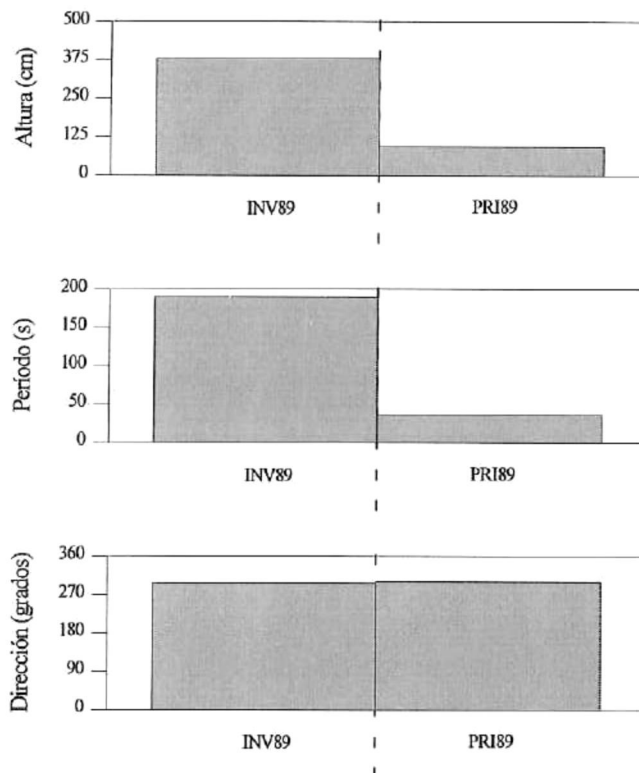


Figura 5.44 Variación de los valores máximos de alturas, períodos y direcciones para invierno y primavera de 1989 en el sitio Puerto.

En la tabla 5.12 se presentan los valores promedio de alturas, períodos y direcciones para las dos épocas del año de 1989.

En los valores promedio de alturas, el valor máximo encontrado corresponde a la época de primavera de 1989 con 39.94 cm.

VALORES PROMEDIO DEL SITIO PUERTO			
ÉPOCA Y AÑO	ALTURA (cm)	PERÍODO (s)	DIRECCIÓN (grados)
INV89	37.54	11.29	216.55
PRI89	39.94	13.95	217.35

Tabla 5.12 Valores promedio de alturas, períodos y direcciones para invierno y primavera del año 1989, en el sitio Puerto.

En cuanto a los valores promedio de período los valores se mantienen entre 11.29 y 13.95 segundos, valores que si corresponden a olas de gravedad. La época que presenta el período promedio máximo es primavera.

En la figura 5.45 se muestra gráficamente las variaciones de los valores promedio de alturas, períodos y direcciones en las dos épocas del año 1989.

En cuanto a las direcciones respecta los promedios del sitio Puerto muestran direcciones de propagación al sur y suroeste.

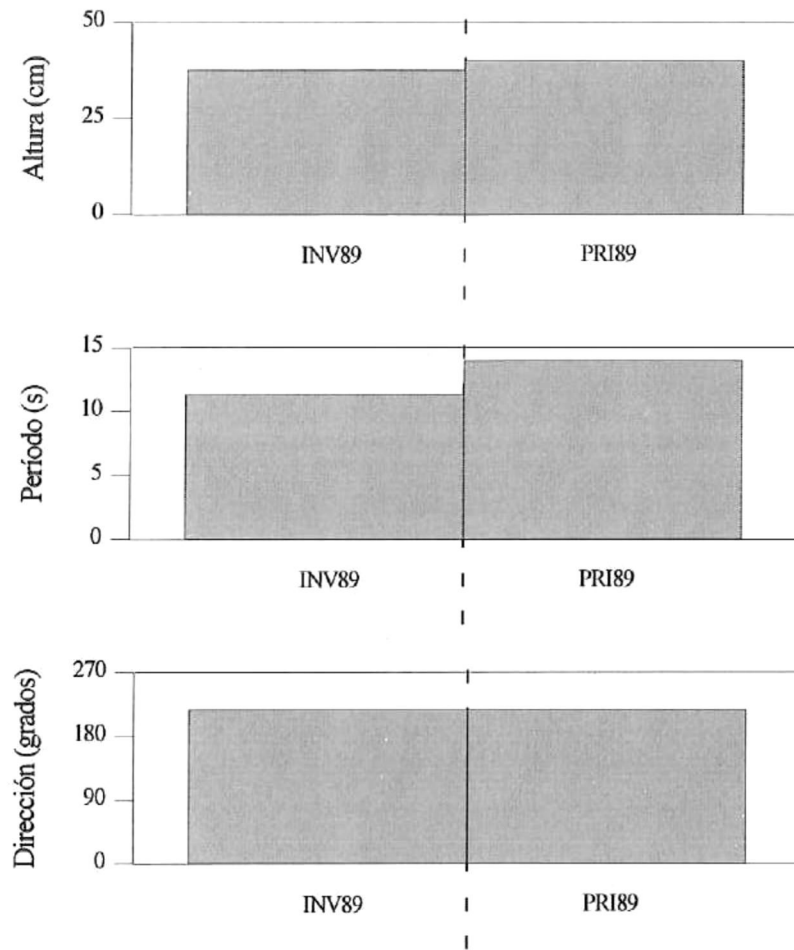


Figura 5.45 Variación de los valores promedio de alturas, períodos y direcciones para invierno y primavera de 1989, en el sitio Puerto.

En la figura 5.46 se muestra la distribución temporal de los valores de altura significativa, para cada una de las cintas del sitio Puerto.

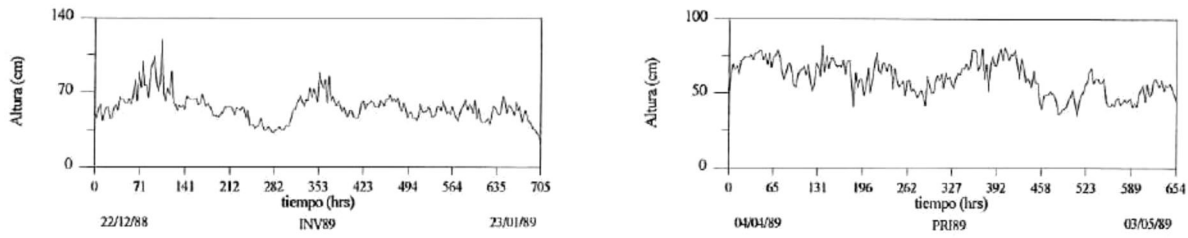


Figura 5.46 Variación temporal de los valores de altura significativa para invierno y primavera de 1989, en el sitio Puerto.

En la figura 5.47 se muestra una gráfica con los valores promedio de altura significativa calculados para cada una de las cintas del sitio Puerto.

En cuanto a los valores promedio de altura significativa, los valores más altos se dieron en la época de primavera de 1989, con un promedio de 60.13 cm.

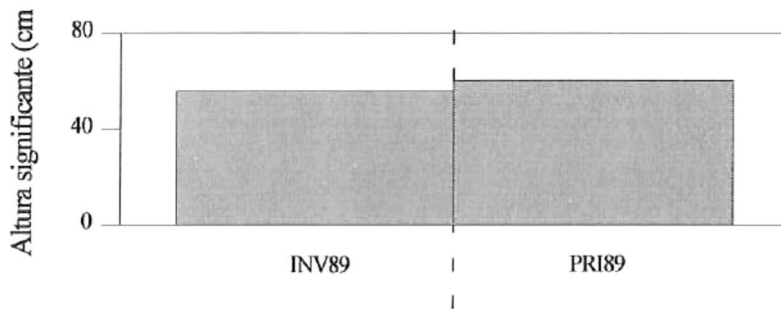


Figura 5.47 Variación temporal de los valores promedio de altura significativa para invierno y primavera de 1989, en el sitio Puerto.

En la figura 5.48 se muestra una rosa de olas con la distribución conjunta de alturas y direcciones, correspondiente a la época de primavera de 1989 en el sitio Puerto, como un ejemplo del cálculo realizado con los datos contenidos en cada una de las cintas del sitio. Este análisis muestra que aproximadamente un 99.7 % de las olas medidas en esta época están asociadas a alturas entre 0 y 100 cm y a un ángulo de propagación de 225 grados con dirección suroeste y de éstas, un 11.1 % presentan alturas entre 0 y 20

cm, un 46.1 % entre 20 y 40 cm, un 27.1 % entre 40 y 60 cm, un 11.6 % entre 60 y 80 cm y un 3.8 % presentan alturas entre 80 y 100 cm.

En la figura 5.49 se muestra la rosa de olas correspondiente a la distribución conjunta de periodos y direcciones para la misma época y año del sitio Puerto. En ella se puede notar que el 99.47 % de los datos están asociado a olas con periodos entre 0 y 42 s y presentan un ángulo de propagación de 225 grados con dirección suroeste, de éstas el 11.2 % se encuentra en un rango de periodos entre 0 y 7 segundos, un 38.0 % entre 7 y 14 segundos, un 47.0 % entre 14 y 21 segundos y el 3.7 % restante está entre 21 y 42 segundos.

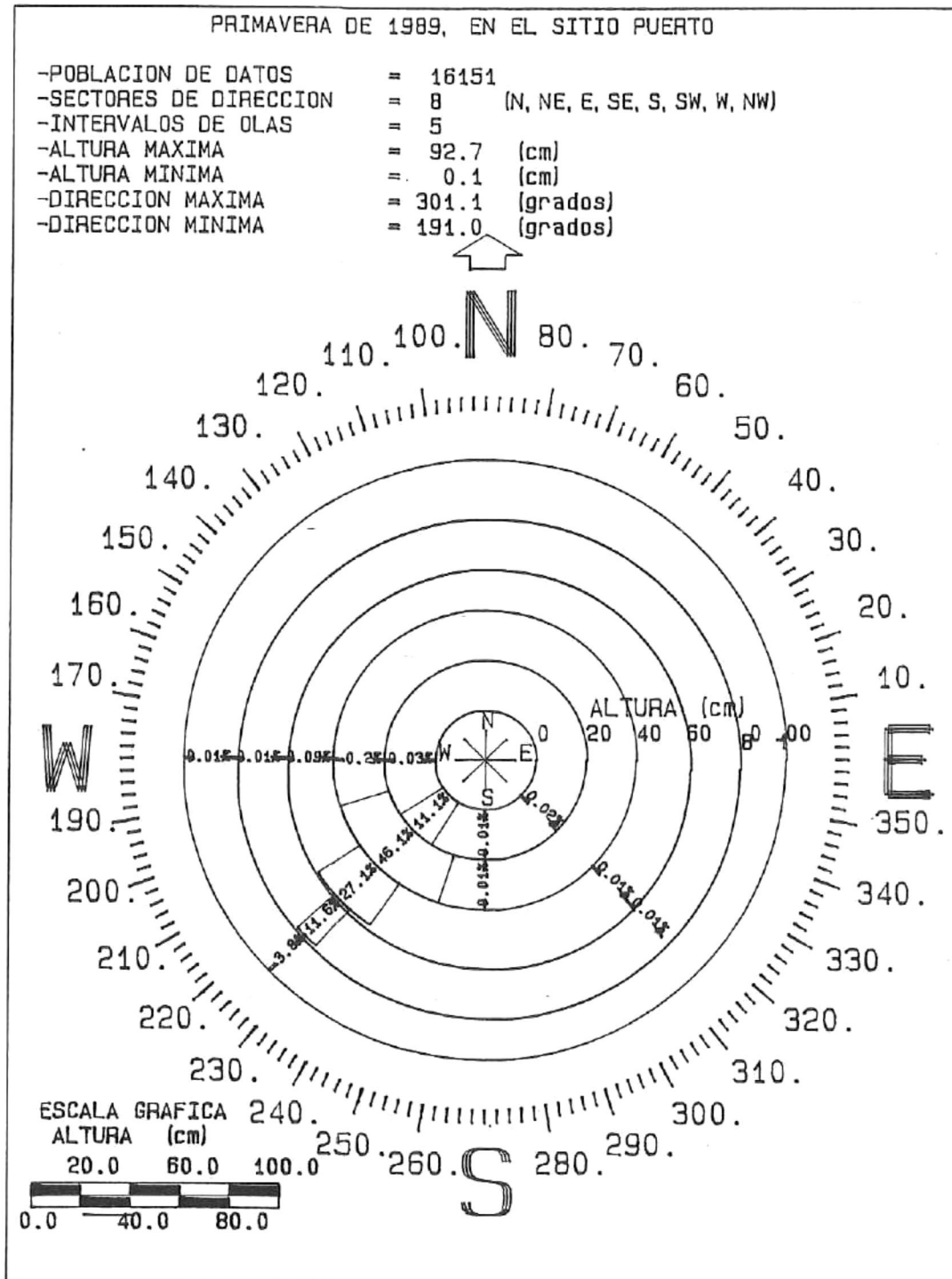


Figura 5.48 Distribución conjunta de alturas y direcciones para la época de primavera de 1989, en el sitio Puerto.

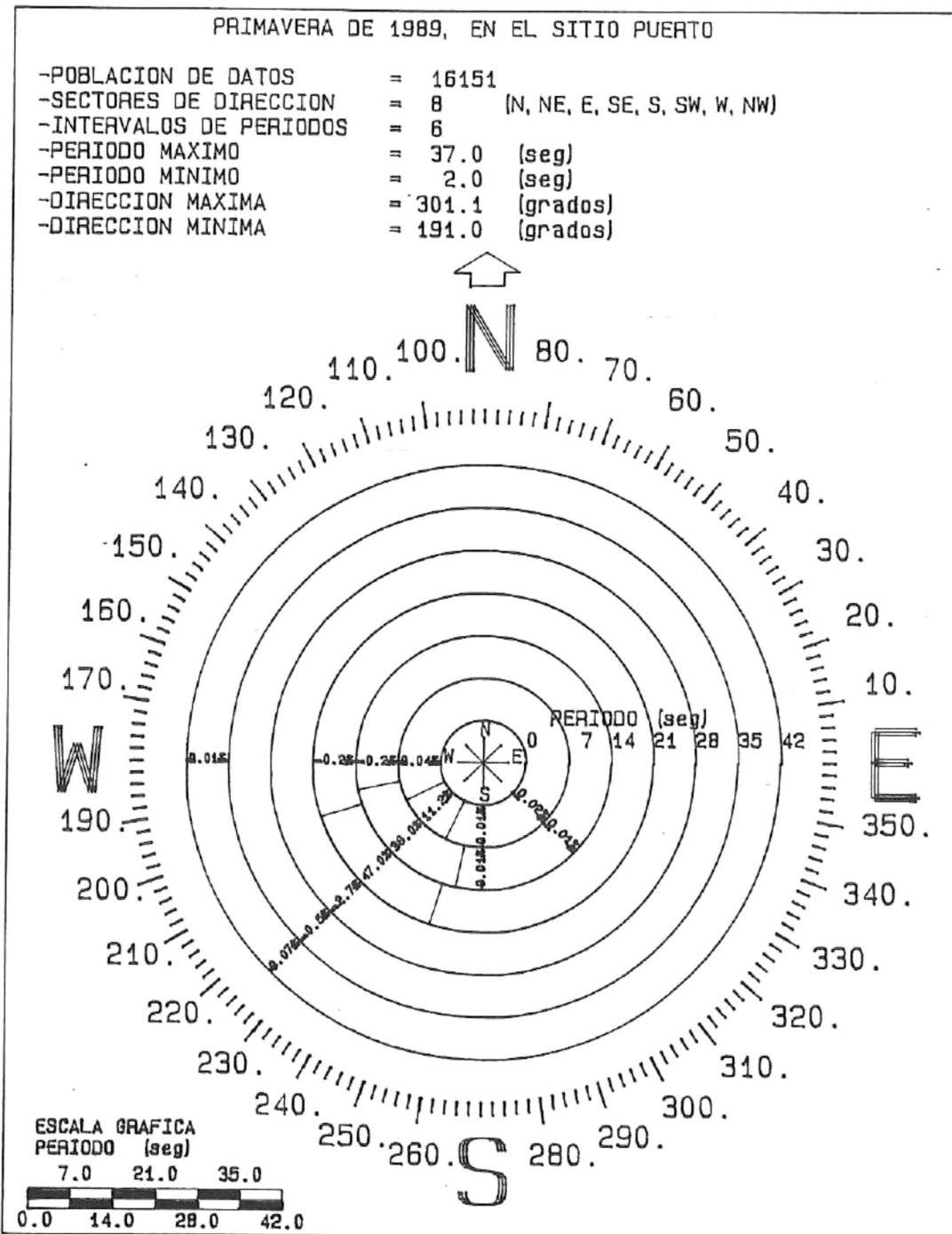


Figura 5.49 Distribución conjunta de períodos y direcciones para la época de primavera de 1989, en el sitio Puerto.

5.4.2 Resultados del análisis espectral aplicado a las series de tiempo del sitio Puerto.

En la figura 5.50 se presentan los espectros promedio de densidad de energía para invierno y primavera de 1989 del sitio Puerto

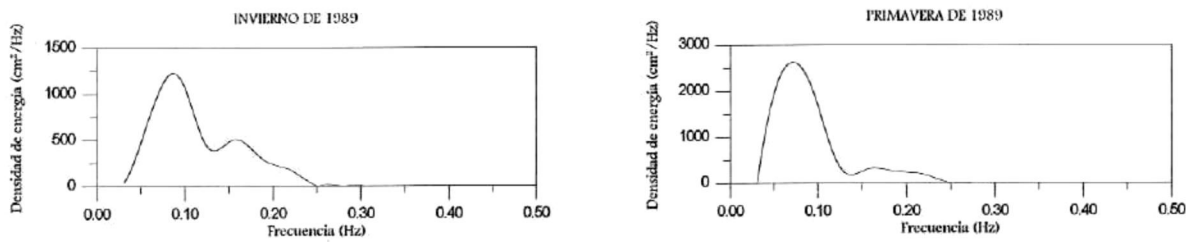


Figura 5.50 Espectros promedio de densidad de energía para las épocas de invierno y primavera de 1989, en el sitio Puerto.

Los espectros de densidad de energía se obtuvieron promediando por bandas de frecuencia los espectros calculados para cada ráfaga en cada una de las cintas del sitio. En ambos espectros se observa un comportamiento bimodal, pero uno de los picos es aproximadamente dos ordenes de magnitud mayor que el otro y en particular para el segundo espectro en primavera de 1989 el pico mayor es 8 veces más grande que el pico menor.

En la tabla 5.13 se muestran los valores de frecuencia, período y densidad de energía para cada uno de los picos presentes en los espectros.

VALORES DE FRECUENCIA, PERÍODO Y DENSIDAD DE ENERGÍA PARA CADA PICO						
Época del año	Pico mayor			Pico menor		
	Frecuencia (Hz)	Período (s)	Energía (cm ² /Hz)	Frecuencia (Hz)	Período (s)	Energía (cm ² /Hz)
INV89	0.086	11.62	1230.12	0.156	6.40	510.38
PRI89	0.071	14.08	2639.24	0.166	6.02	329.19

Tabla 5.13 Valores de frecuencia, período y densidad de energía de cada pico que aparece en los espectros de la figura 5.50.

Como se puede ver en la tabla 5.13 el pico mayor de energía en los espectros promedio se encuentra asociado a olas con períodos entre 11.62 y 14.08 s (0.086 y 0.071 Hz de frecuencia) y el pico menor está asociado a olas con períodos entre 6.02 y 6.40 s (0.166 y 0.156 Hz de frecuencia).

En la figura 5.51 se presenta la distribución temporal de los valores pico de densidad de energía, obtenidos para cada ráfaga de cada cinta en el sitio Puerto.

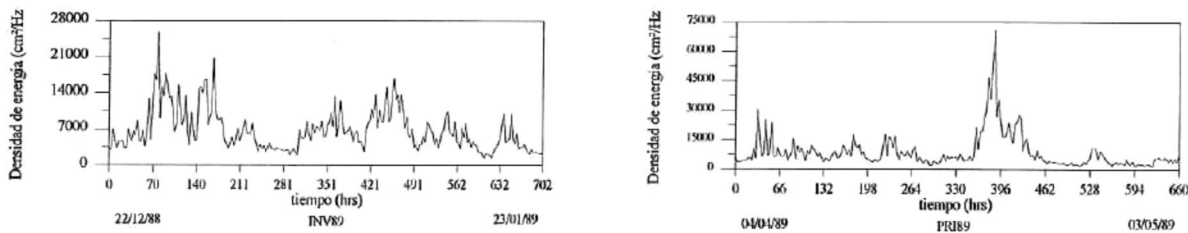


Figura 5.51 Valores pico de densidad de energía para las épocas de invierno y primavera de 1989, en el sitio Puerto.

En la figura 5.52 se presentan los valores promedio de los picos de densidad de energía calculados para todas las ráfagas que constituyen a cada una de las cintas pertenecientes al sitio Puerto.

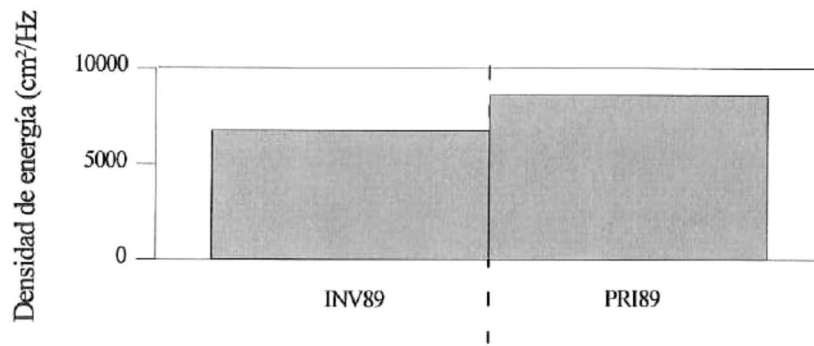


Figura 5.52 Valores promedio de picos de energía para las épocas de invierno y primavera de 1989, en el sitio Puerto.

En los valores promedio de picos de energía se puede notar que, el valor máximo se dio en la época de primavera de 1989.

En la figura 5.53 se muestra el espectro direccional del oleaje calculado para datos correspondientes a la época primavera de 1989 en el sitio Puerto.

Este espectro se presenta como un ejemplo que ilustra la forma en que fue calculado para cada una de las cintas del sitio, con la intención de analizar la relación entre la energía contenida en el oleaje y las diferentes direcciones de propagación del mismo.

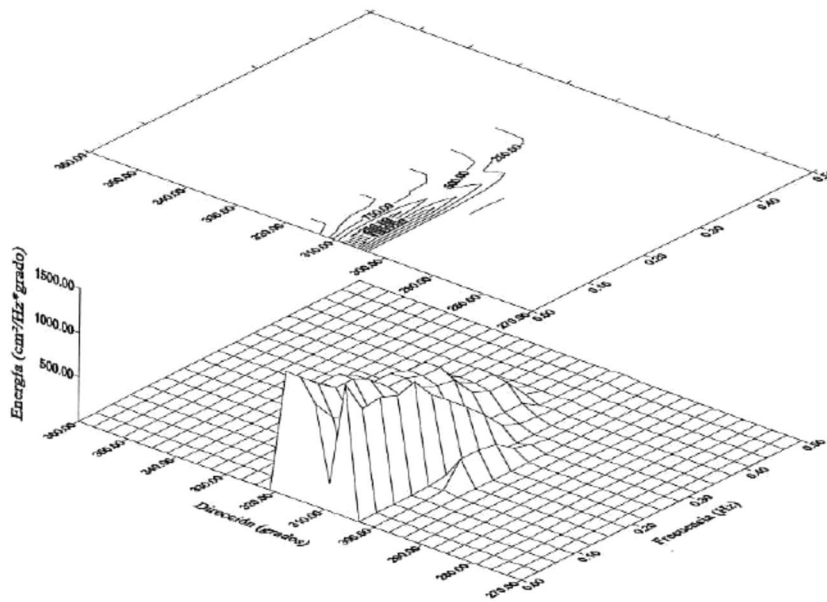


Figura 5.53 Espectro direccional del oleaje para la época primavera de 1989, en el sitio Puerto.

El espectro direccional muestra que la energía se encuentra asociada a un rango de direcciones, entre 290 y 325, las olas asociadas a estas direcciones están en un rango de frecuencias entre 0 y 0.40 Hz, pero los picos más altos se asocian a frecuencias entre 0 y .10 Hz. con dirección sureste.

5.4.3 Resultados del análisis de marea aplicado a las series de tiempo del sitio Puerto.

En la figura 5.54 se muestra un mareograma y su respectivo espectro de densidad de energía, correspondiente a la época de primavera de 1989, en el sitio Puerto.

La frecuencia de corte utilizada para calcular el espectro fue de 0.16 ciclos/hr. Se escogieron 15 bandas de frecuencia, lo que permitió obtener una resolución espectral de 0.01 ciclos/hr.

En la gráfica 5.54 se muestra una marea tipo mixta semidiurna que presenta sus dos componentes igual de energéticas, asociadas a un período de 23.8 hrs (frecuencia de 0.042 ciclos/hora), que es la componente diurna y la componente semidiurna con un período de 12.04 hrs (frecuencia de 0.083 ciclos/hr).

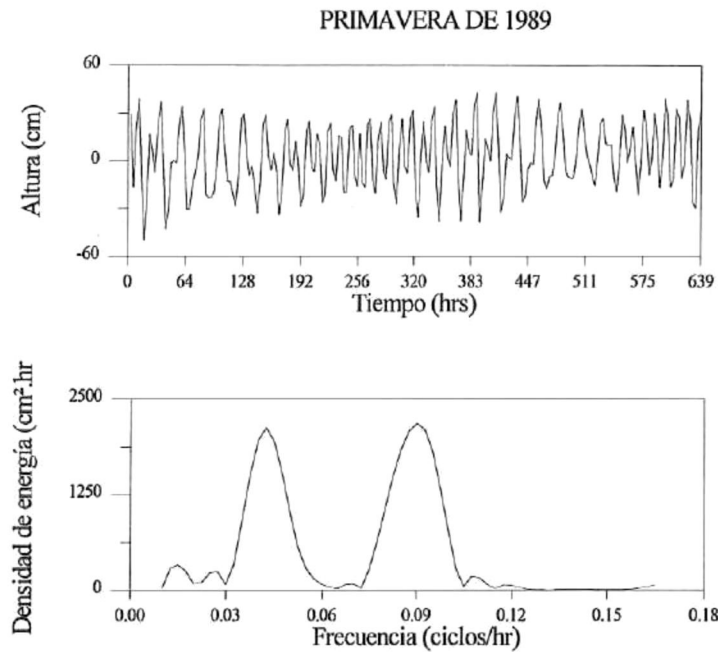


Figura 5.54 Mareograma y su respectivo espectro de densidad de energía correspondiente a la época de primavera de 1989, en el sitio Puerto.

5.4.4 Resultados del cálculo de la densidad de probabilidad de amplitudes, períodos y conjunta, para las series de tiempo del sitio Puerto.

En la figura 5.55 se muestra la distribución de densidad de probabilidad de amplitudes y períodos correspondientes a la época de primavera de 1989, en el sitio Puerto. En ésta se muestra que la densidad de probabilidad pico en amplitudes

corresponde a una amplitud de 17 cm, que es una altura de 34 cm, en cuanto a los períodos el pico se encuentra aproximadamente en 13 segundos.

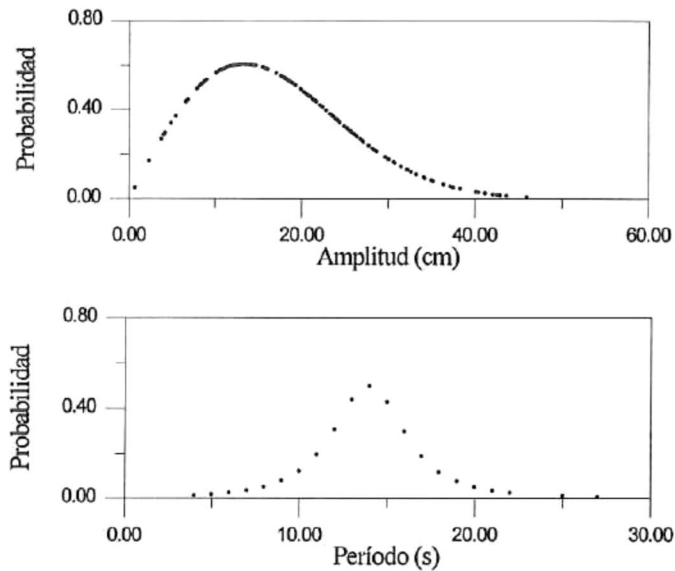


Figura 5.55 Distribución de densidad de probabilidad de amplitudes y períodos para datos de la época de primavera de 1989, en el sitio Puerto.

En la figura 5.56 se muestra la densidad de probabilidad conjunta de amplitudes y períodos para la época de primavera de 1989, en el sitio Puerto. En ésta se puede notar que la densidad de probabilidad se encuentra concentrada en períodos entre 0 y 20 segundos y en amplitudes entre 0 y 40 cm (0 y 80 cm de altura). El pico más alto se encuentra asociado a olas con períodos de 15 s y a amplitudes de 15 cm, alturas de 30 cm.

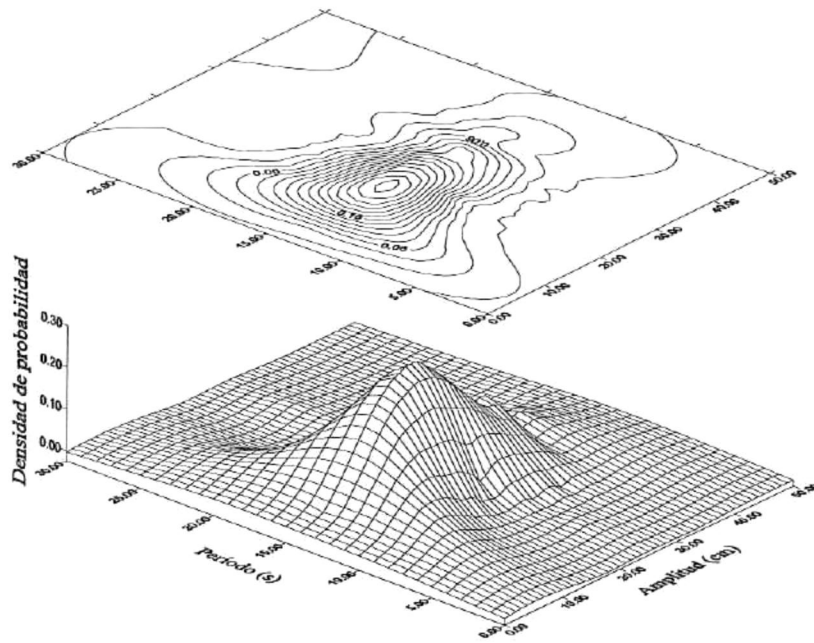


Figura 5.56 Densidad de probabilidad conjunta de amplitudes y períodos para datos de primavera de 1989, en el sitio Puerto.

5.5 Resultados encontrados para el sitio Puerto San Juan de Alima, en el estado de Michoacán.

El sitio Puerto San Juan de Alima se localiza en el estado de Michoacán, en la región D según la clasificación de Lankford (1977), para este sitio el número de cintas que sobrevivieron a las pruebas de control de calidad es 15 de 21 que originalmente se tenían. En estas cintas se recopilaron datos para las épocas de verano y otoño de 1991, para las 4 estaciones del año 1992 y para las épocas de invierno, verano y otoño de 1993; éste es uno de los sitios que mayor información presenta en el banco de datos.

5.5.1 Resultados de las mediciones de alturas, períodos y direcciones en el sitio Puerto San Juan de Alima.

En la tabla 5.14 se presentan los valores máximos y mínimos para las diferentes épocas de los años 1991 a 1993, en el sitio Puerto San Juan de Alima.

El rango en el que se encontraron las alturas del sitio está entre 0.1 y 280.88 cm, encontrándose el valor máximo para la época de primavera de 1992 con 280.88 cm, en segundo lugar la época de otoño de 1992 con 256.31 cm y en tercer lugar la época de invierno de 1992 con 213.91 cm.

En cuanto a los valores de períodos se encontraron entre 2.0 y 94.0 segundos, presentándose el máximo de 94.0 segundos en la época de verano de 1993, en segundo lugar la época de primavera de 1992 con 79.0 segundos y en tercero la época de verano de 1991 con 74.0 segundos.

En todos los casos los valores máximos de período exceden el límite superior del rango de períodos en el que se definen las olas de gravedad (entre 1 y 30 segundos, según Kinsman, 1965) y caen en el rango de ondas infragravitacionales.

Por otra parte el rango de direcciones medidas abarca aproximadamente 150.4 grados, incluyendo direcciones noreste, este y sureste, pero éstos se discutirán más adelante.

VALORES MÁXIMOS Y MÍNIMOS EN EL SITIO PUERTO SAN JUAN DE ALIMA						
ÉPOCA Y AÑO	ALTURA (cm)		PERÍODO (s)		DIRECCIÓN (grados)	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
VER91	190.14	0.10	74.0	2.0	297.40	30.00
OTO91	211.83	0.10	60.0	2.0	73.70	2.00
OTO91	202.19	0.14	72.0	2.0	284.70	30.10
OTO91	206.37	0.10	52.0	2.0	298.70	28.70
INV92	208.51	0.10	62.0	2.0	359.60	0.30
INV92	213.91	0.10	73.0	2.0	296.00	25.90
INV92	206.17	0.10	46.0	2.0	298.80	28.80
PRI92	280.88	0.10	52.0	2.0	295.90	25.90
PRI92	187.46	0.10	79.0	2.0	298.80	28.70
VER92	199.91	0.10	60.0	2.0	360.00	0.00
VER92	204.57	0.10	70.0	2.0	298.80	28.80
OTO92	256.31	0.10	56.0	2.0	359.90	0.00
INV93	195.30	0.10	70.0	2.0	56.50	27.10
PRI93	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO
VER93	194.13	0.10	94.0	2.0	325.30	0.10
OTO93	186.74	0.10	72.0	2.0	63.00	26.30

Tabla 5.14 Valores máximos y mínimos de alturas, períodos y direcciones para las diferentes épocas de los años 1991 a 1993, en el sitio Puerto San Juan de Alima.

En la figura 5.57 se muestran gráficamente los valores máximos de alturas, períodos y direcciones en las diferentes épocas de los años 1991 a 1993.

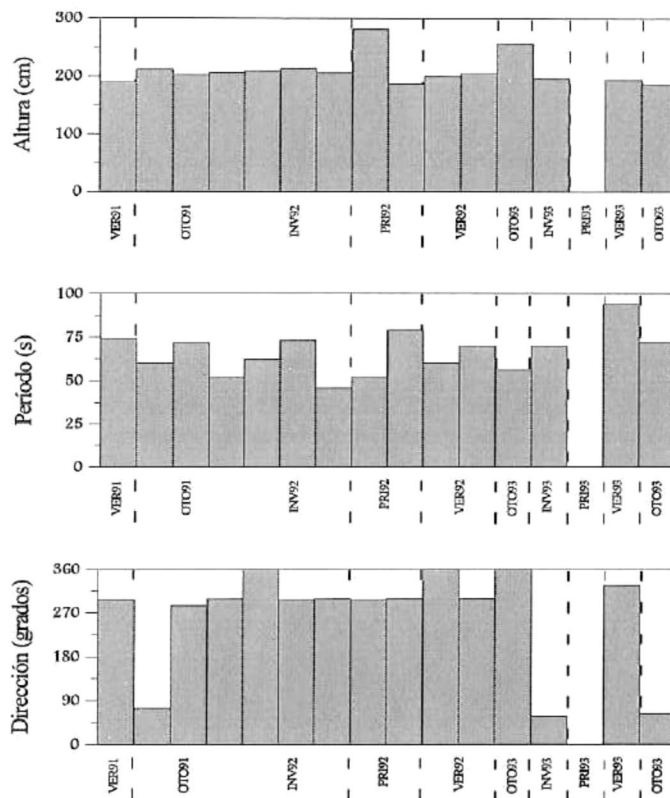


Figura 5.57 Variación de los valores máximos de alturas, periodos y direcciones para las diferentes épocas de los años 1991 a 1993, en el sitio Puerto San Juan de Alima.

En la tabla 5.15 se presentan los valores promedio de alturas, periodos y direcciones para las diferentes épocas de los años 1991 a 1993.

En los valores promedio de alturas, el valor máximo encontrado corresponde a la época de verano de 1992 con 63.34 cm, en segundo lugar la época de invierno de 1993 con 44.66 cm y en tercer lugar la época de verano del mismo año con 38.25 cm.

En cuanto a los valores promedio de periodos, el valor máximo se encontró para la época de verano de 1993 con 13.72 s, en segundo lugar la época de otoño del mismo año con 13.23 s y en tercer lugar la época de verano de 1992 con 13.03 s. En todos los casos,

los valores promedio de períodos se encuentran dentro del rango de períodos en el que se definen las olas de gravedad (entre 1 y 30 segundos, según Kinsman, 1965).

En cuanto a las direcciones el rango que marca los promedios de éstas es de 77.29 grados, prevaleciendo los ángulos entre 0 y 50 grados que corresponden a una dirección de incidencia del noreste.

VALORES PROMEDIO DEL SITIO PUERTO SAN JUAN DE ALIMA			
ÉPOCA Y AÑO	ALTURA (cm)	PERÍODO (s)	DIRECCIÓN (grados)
VER91	26.12	12.13	16.91
OTO91	27.49	11.40	14.23
OTO91	28.31	12.15	20.00
OTO91	28.43	11.31	23.00
INV92	28.68	12.33	22.00
INV92	31.89	11.89	25.00
INV92	32.55	11.22	19.84
PRI92	36.91	12.80	19.32
PRI92	30.24	11.72	18.70
VER92	63.34	13.03	336.20
VER92	27.82	12.23	15.40
OTO92	27.93	11.88	53.49
INV93	44.66	11.63	41.24
PRI93	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO
VER93	38.25	13.72	43.02
OTO93	31.99	13.23	40.84

Tabla 5.15 Valores promedio de alturas, períodos y direcciones para las diferentes épocas de los años 1991 a 1993, en el sitio Puerto San Juan de Alima.

En la figura 5.58 se muestra gráficamente la variación de los valores promedio de alturas, períodos y direcciones.

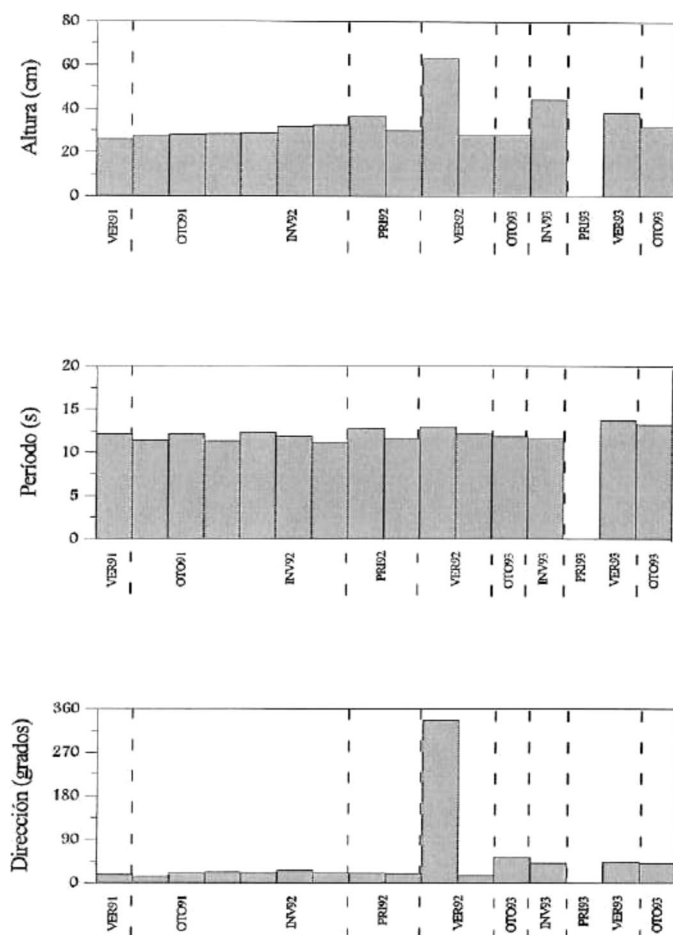


Figura 5.58 Variación de los valores promedio de alturas, períodos y direcciones para las diferentes épocas de los años 1991 a 1993, en el sitio Puerto San Juan de Alima.

En las figuras 5.59a y 5.59b se muestra la distribución temporal de los valores de altura significativa, para cada una de las cintas del sitio Puerto San Juan de Alima.

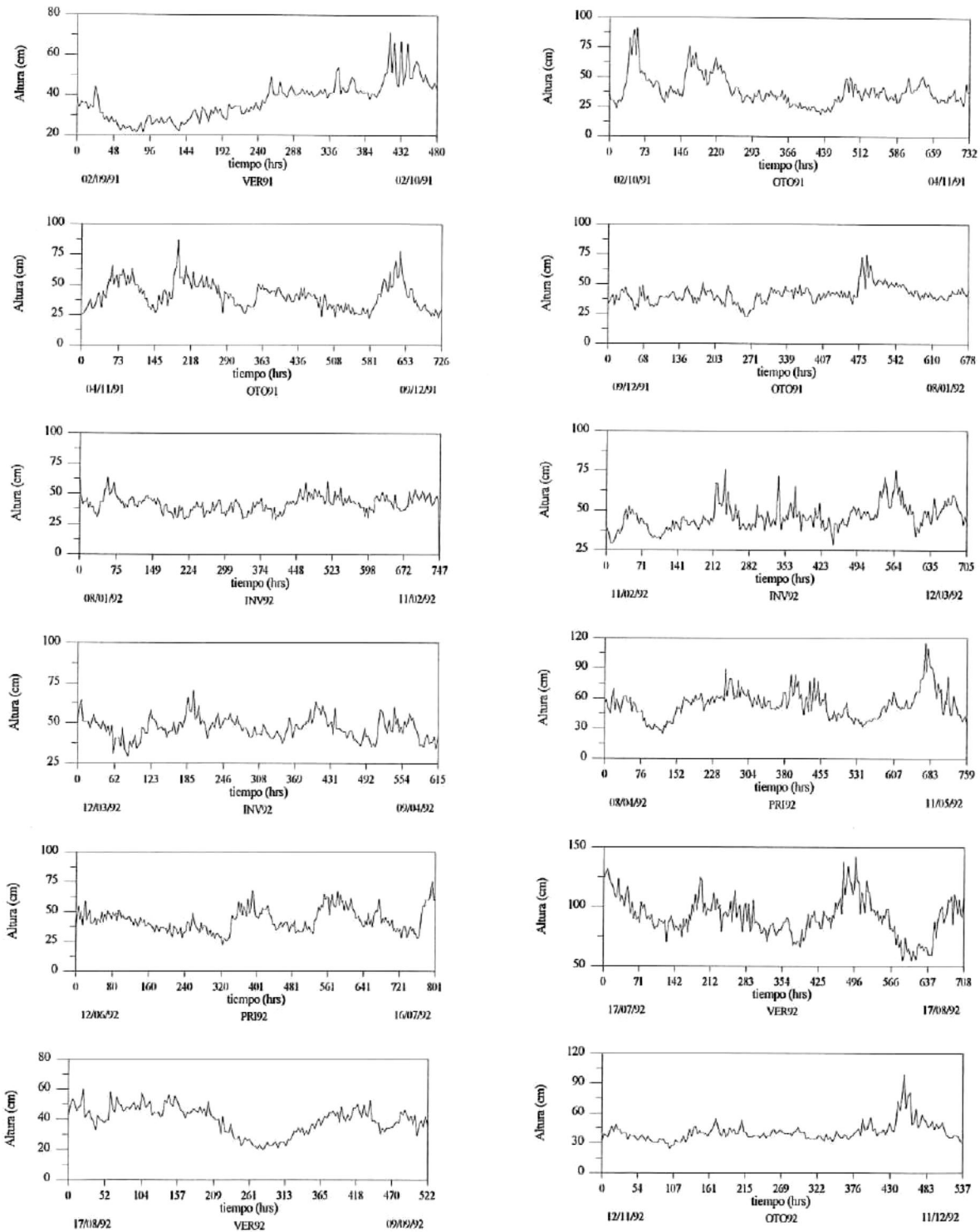


Figura 5.59a Variación temporal de los valores de altura significativa para las diferentes épocas de los años 1991 a 1993, en el sitio Puerto San Juan de Alima.

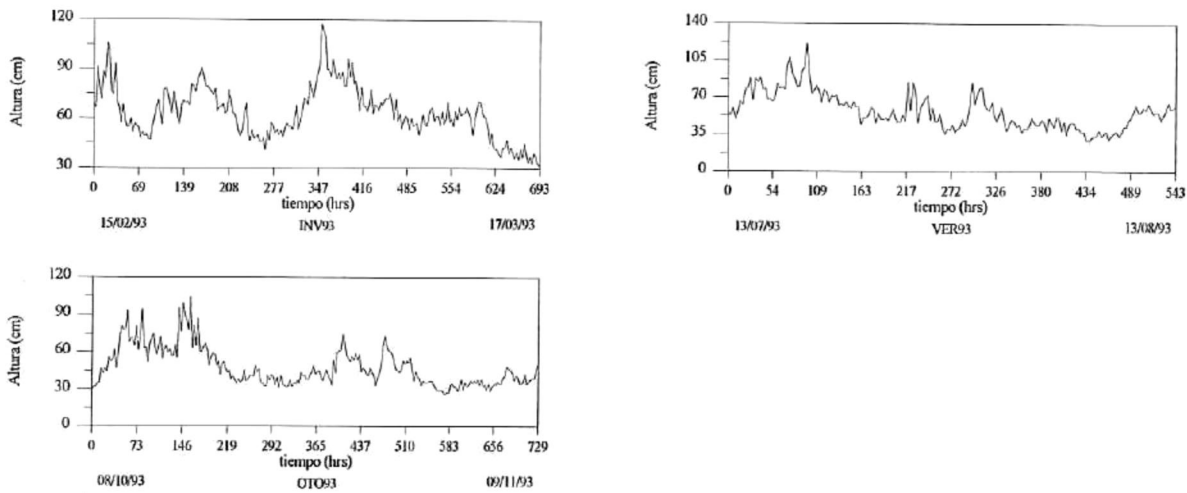


Figura 5.59b Variación temporal de los valores de altura significativa para las diferentes épocas de los años 1991 a 1993, en el sitio Puerto San Juan de Alima.

En la figura 5.60 se muestra una gráfica con los valores promedio de altura significativa calculados para cada una de las cintas del sitio Puerto San Juan de Alima.

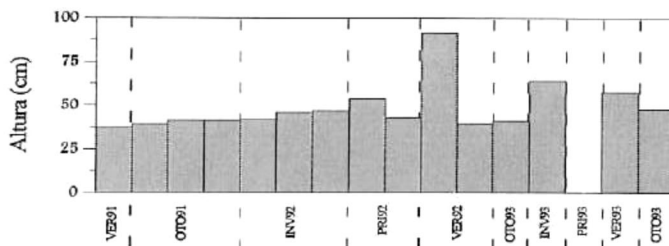


Figura 5.60 Variación temporal de los valores promedio de altura significativa para las diferentes épocas de los años 1991 a 1993, en el sitio Puerto San Juan de Alima.

El rango en el que se encontraron los valores promedio de altura significativa está entre 37.28 y 91.55 cm, encontrándose el valor más alto para la época de verano de 1992, en segundo lugar la época de invierno de 1993 con 63.83 cm y en tercero la época de verano del mismo año con 57.21 cm.

En la figura 5.61 se muestra una rosa de olas con la distribución conjunta de alturas y direcciones, correspondiente a la época de verano de 1992, como un ejemplo del cálculo realizado con los datos contenidos en cada una de las cintas del sitio. Este análisis muestra que aproximadamente un 62.0% de las olas medidas en esta época están asociadas a alturas entre 0 y 160 cm y a un ángulo de propagación de 0 grados con dirección este y de éstas, un 10.1 % presentan alturas entre 0 y 40 cm, un 35.5 % entre 40 y 80 cm, un 18.8 % entre 80 y 120 cm y un 2.5 % entre 120 y 160 cm; otro 31.1 % de las olas se encuentra asociado a un ángulo de propagación de 315 grados con dirección sureste y de éste un 10.5 % se asocia a olas con alturas entre 0 y 40 cm, el 16.6 % a alturas entre 40 y 80 cm y el 4.1 % a alturas entre 80 y 120cm.

En la figura 5.62 se muestra la rosa de olas correspondiente a la distribución conjunta de períodos y direcciones para la misma época y año del sitio Puerto San Juan de Alima. En ella se puede notar que el 66.6 % de los datos están asociado a olas con períodos entre 0 y 24 s y presentan un ángulo de propagación de 0 grados con dirección este, de éstas el 21.4 % se encuentra en un rango de períodos entre 0 y 12 segundos y un 45.2 % entre 12 y 24 segundos. Por otra parte un 30.4 % presenta períodos entre 0 y 24 segundos asociados a un ángulo de propagación de 315 grados con dirección sureste, de los cuales el 18.6 % está entre 0 y 12 segundos y el 12.8 % restante está entre 12 y 24 segundos.

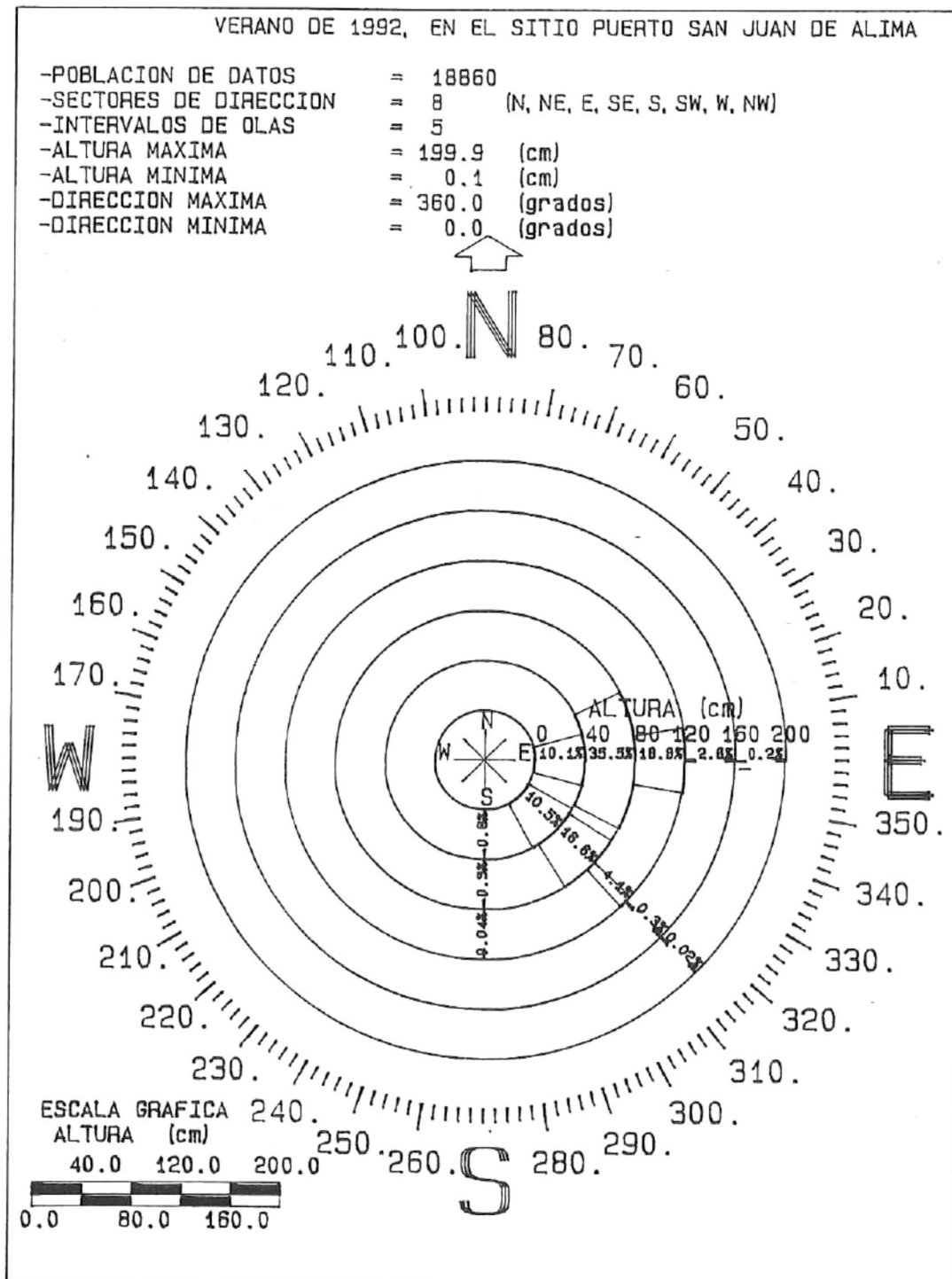


Figura 5.61 Distribución conjunta de alturas y direcciones para la época de verano de 1992, en el sitio Puerto San Juan de Alima.

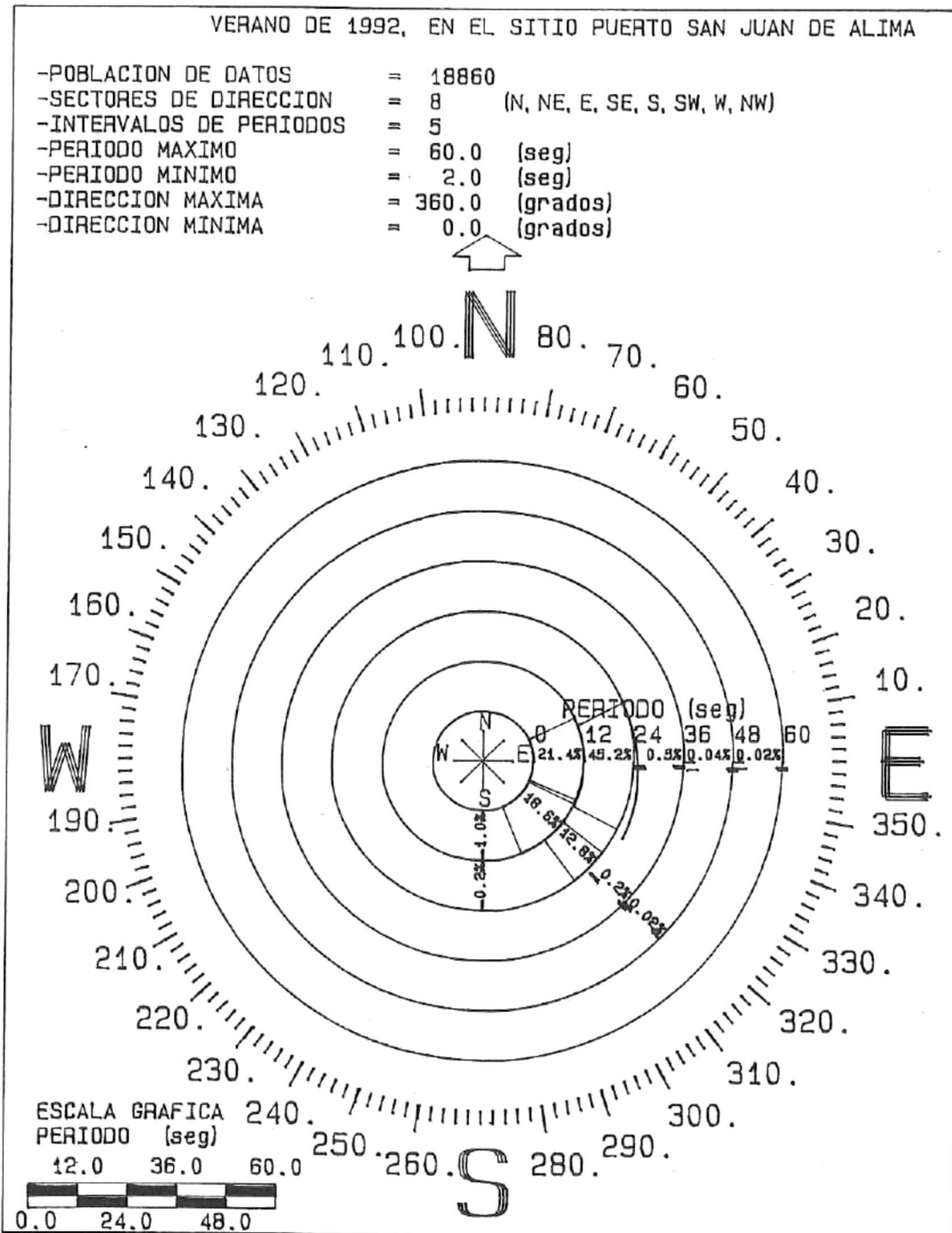


Figura 5.62 Distribución conjunta de períodos y direcciones para la época de verano de 1992, en el sitio Puerto San Juan de Alima.

5.5.2 Resultados del análisis espectral aplicado a las series de tiempo del sitio Puerto San Juan de Alima .

En las figuras 5.63a y 5.63b se presentan los espectros promedio de densidad de energía para las diferentes épocas de los años 1991 a 1993 en el sitio Puerto San Juan de Alima.

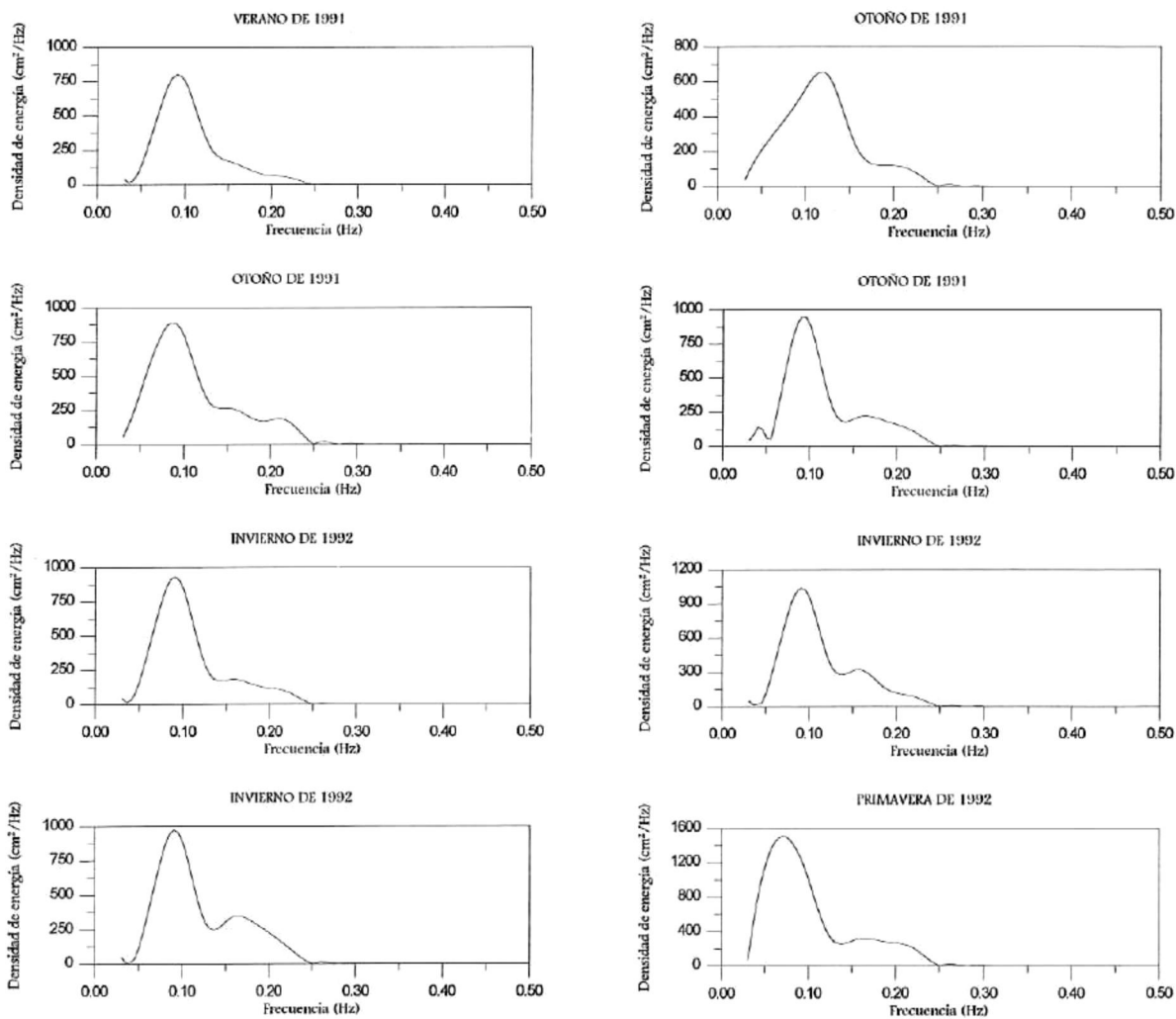


Figura 5.63a Espectros promedio de densidad de energía para las diferentes épocas de los años 1991 a 1993, en el sitio Puerto San Juan de Alima.

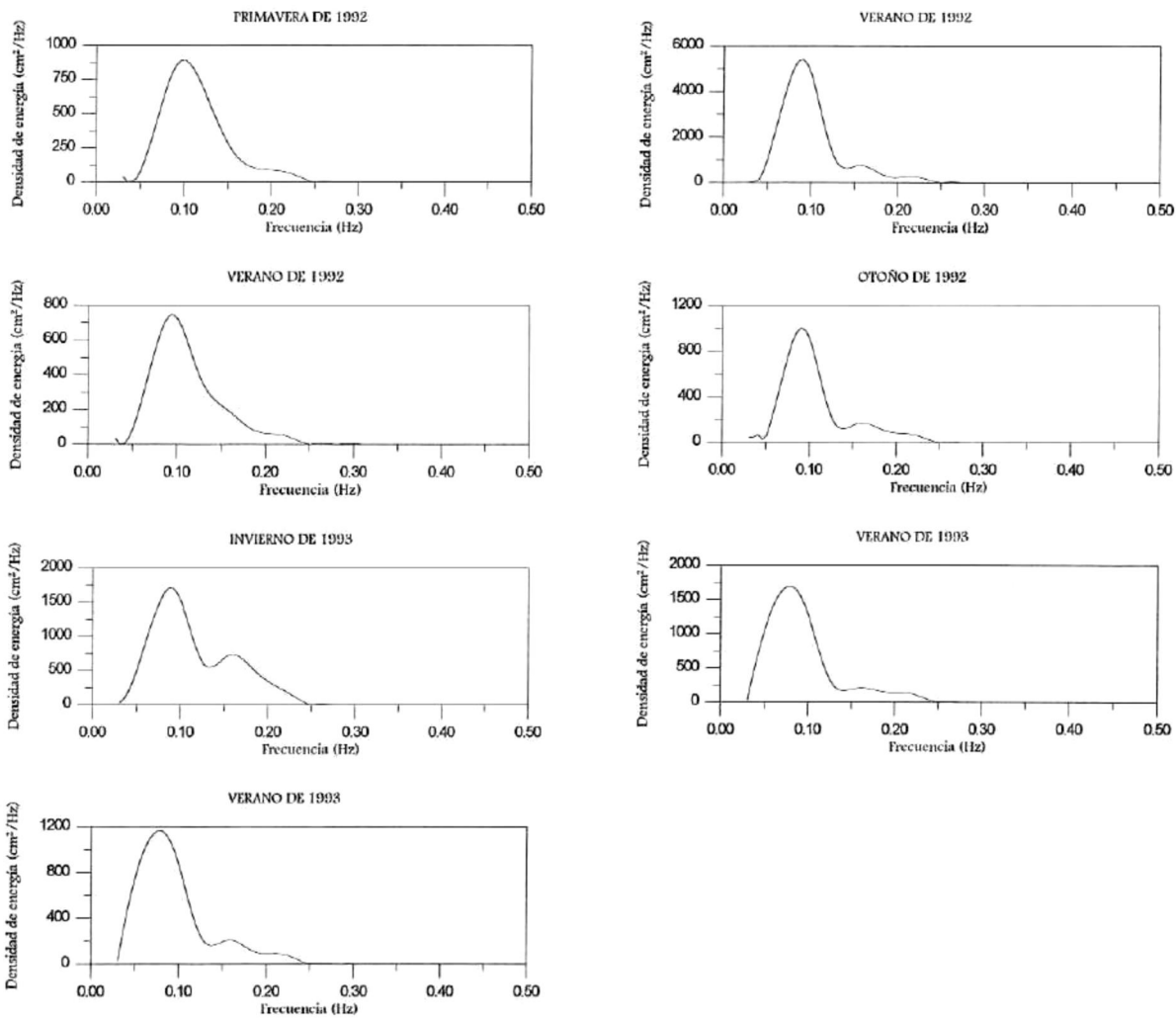


Figura 5.63b Espectros promedio de densidad de energía para las diferentes épocas de los años 1991 a 1993, en el sitio Puerto San Juan de Alima.

Los espectros de densidad de energía se obtuvieron promediando por bandas de frecuencia los espectros calculados para cada ráfaga en cada una de las cintas del sitio.

En la mayoría de los casos se observa un comportamiento bimodal, en el que uno de los picos es aproximadamente dos ordenes de magnitud mayor que el otro.

En la tabla 5.16 se muestran los valores de frecuencia, período y densidad de energía para cada uno de los picos presentes en los espectros.

VALORES DE FRECUENCIA, PERÍODO Y DENSIDAD DE ENERGÍA PARA CADA PICO						
Época del año	Pico mayor			Pico menor		
	Frecuencia (Hz)	Período (s)	Energía (cm ² /Hz)	Frecuencia (Hz)	Período (s)	Energía (cm ² /Hz)
VER91	0.091	10.98	802.68	0.261	3.83	5.25
OTO91	0.121	8.26	657.34	0.261	3.83	9.00
OTO91	0.086	11.62	892.17	0.211	4.73	185.65
OTO91	0.091	10.98	950.02	0.166	6.02	222.74
INV92	0.091	10.98	933.19	0.156	6.41	183.89
INV92	0.091	10.98	1040.82	0.156	6.41	323.11
INV92	0.101	9.90	880.58	0.166	6.02	349.27
PRI92	0.071	14.08	1510.53	0.166	6.02	322.44
PRI92	0.101	9.95	893.14	0.271	3.60	4.20
VER92	0.091	10.98	5409.81	0.156	6.41	745.62
VER92	0.096	10.41	747.35	0.261	3.83	5.53
OTO92	0.091	10.98	1003.90	0.261	3.83	5.53
INV93	0.091	10.98	1710.41	0.161	6.21	734.50
PRI93	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO
VER93	0.081	12.34	1693.91	0.161	6.21	211.75
OTO93	0.076	13.15	1168.13	0.156	6.41	209.06

Tabla 5.16 Valores de frecuencia, período y densidad de energía de cada pico que aparece en los espectros de las figuras 5.63a y 5.63b.

Como se puede ver en la tabla 5.16 el pico mayor de energía en los espectros promedio se encuentra asociado a olas con períodos entre 8.26 y 14.08 s (0.121 y 0.071 Hz de frecuencia) y el pico menor está asociado a olas con períodos entre 3.83 y 6.41 s (0.261 y 0.156 Hz de frecuencia).

En las figuras 5.64a y 5.64b se presenta la distribución temporal de los valores pico de densidad de energía, obtenidos para cada ráfaga de cada cinta en el sitio Puerto San Juan de Alima.

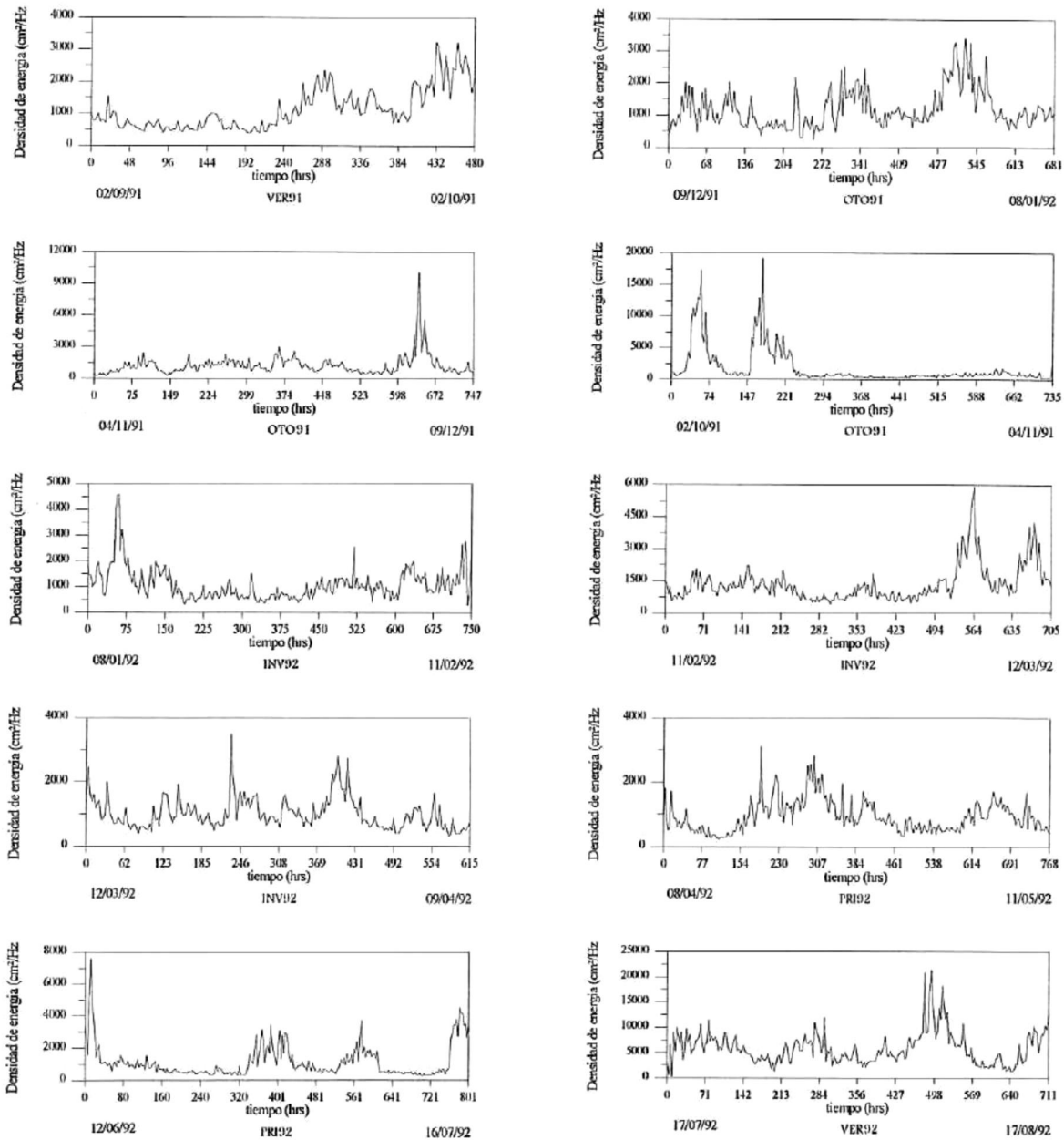


Figura 5.64a Valores pico de densidad de energía para las diferentes épocas de los años 1991 a 1993, en el sitio Puerto San Juan de Alima.

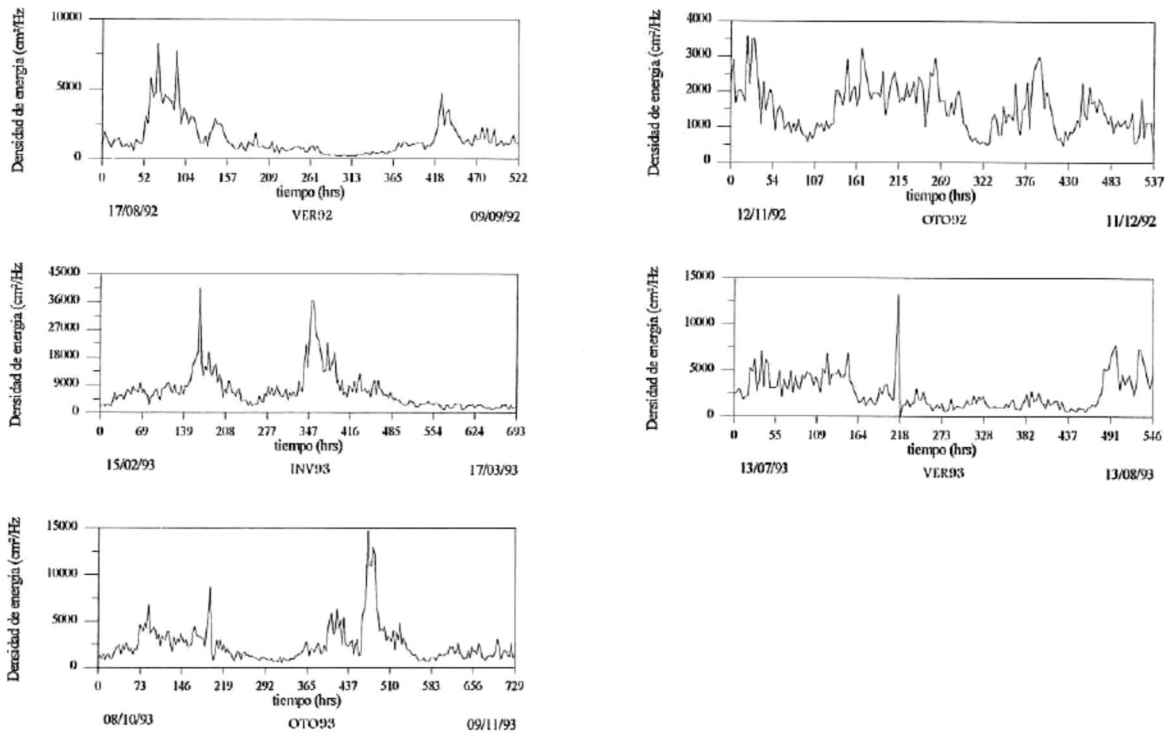


Figura 5.64b Valores pico de densidad de energía para las diferentes épocas de los años 1991 a 1993, en el sitio Puerto San Juan de Alima

En la figura 5.65 se presentan los promedios de los valores pico de densidad de energía calculados para todas las ráfagas que constituyen a cada una de las cintas pertenecientes al sitio Puerto San Juan de Alima. En ésta se puede notar que el valor máximo se dio para la época de invierno de 1993, con 7079.22 cm²/Hz, en segundo lugar la época de verano de 1992 con 5847.36 cm²/Hz y en tercero la época de verano de 1993 con 2691.77 cm²/Hz.

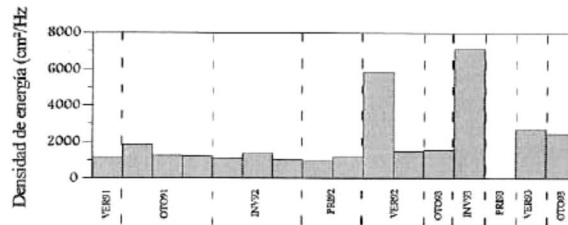


Figura 5.65 Promedios de los valores pico de energía para las diferentes épocas de los años 1991 a 1993, en el sitio Puerto San Juan de Alima

En la figura 5.66 se muestra el espectro direccional del oleaje calculado para datos correspondientes a la época de verano de 1992, en el sitio Puerto San Juan de Alima. Este espectro se presenta como un ejemplo que ilustra la forma en que fue calculado para cada una de las cintas del sitio, con la intención de analizar la relación entre la energía contenida en el oleaje y las diferentes direcciones de propagación del mismo.

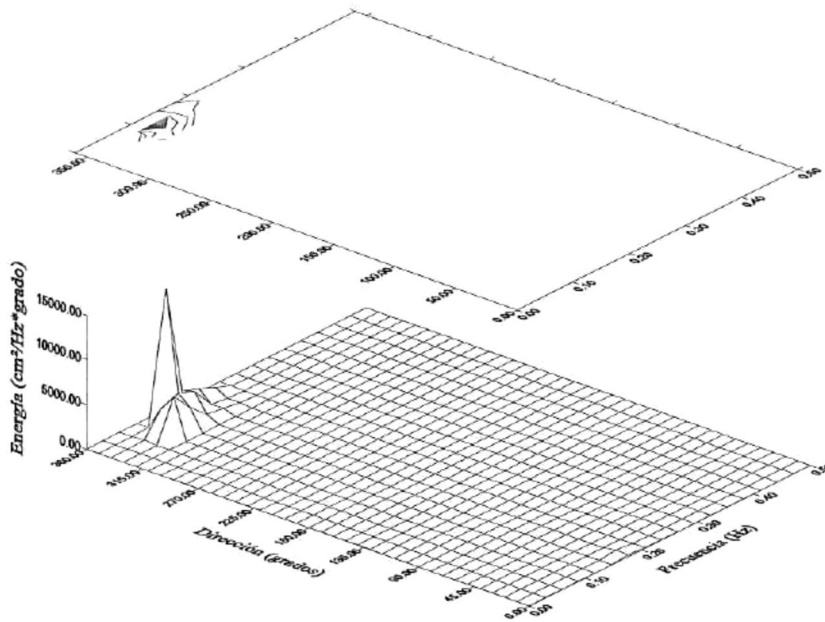


Figura 5.66 Espectro direccional del oleaje para la época de verano de 1992, en el sitio Puerto San Juan de Alima .

El espectro direccional muestra que la energía se encuentra asociada a un rango de direcciones, entre 315 y 360 grados y a un rango de frecuencias entre 0.09 y 0.24 Hz, pero el pico más alto se asocia a una frecuencia de 0.115 Hz (8.7 s de período) y a un ángulo de 350 grados con dirección sureste.

5.5.3 Resultados del análisis de marea aplicado a las series de tiempo del sitio Puerto San Juan de Alima .

En la figura 5.67 se muestra un mareograma y su respectivo espectro de densidad de energía, correspondiente a la época de otoño de 1991, en el sitio Puerto San Juan de Alima.

La frecuencia de corte utilizada para calcular el espectro fue de 0.16 ciclos/hr. Se escogieron 15 bandas de frecuencia, lo que permitió obtener una resolución espectral de 0.01 ciclos/hr.

En la gráfica se muestra una marea tipo mixta diurna que presenta su componente más energética asociada con el período de 23.8 hr (frecuencia de 0.042 ciclos/hr) que es la componente diurna ésta es ligeramente mayor a la componente semidiurna con un período de 12.048 hrs (frecuencia de 0.083 ciclos/hora).

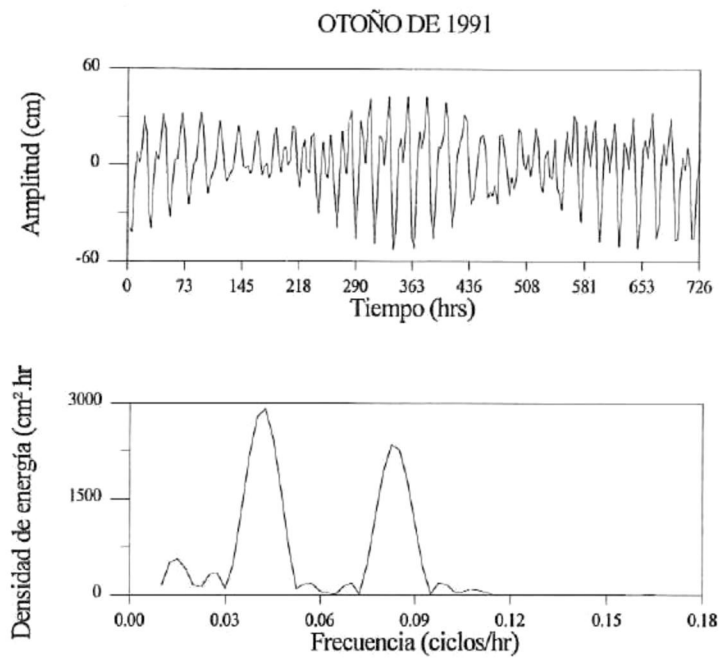


Figura 5.67 Mareograma y su respectivo espectro de densidad de energía correspondiente a la época de otoño de 1991, en el sitio Puerto San Juan de Alima.

5.5.4 Resultados del cálculo de la densidad de probabilidad de amplitudes, períodos y conjunta, para las series de tiempo del sitio Puerto San Juan de Alima.

En la figura 5.68 se muestra la distribución de densidad de probabilidad de amplitudes y períodos correspondientes a la época de verano de 1991, en el sitio Puerto San Juan de Alima. En ésta se puede ver que la densidad de probabilidad pico en amplitudes corresponde a una amplitud de 7.5 cm, que es una altura de 15 cm, en cuanto a los períodos el pico se encuentra aproximadamente en 13 segundos.

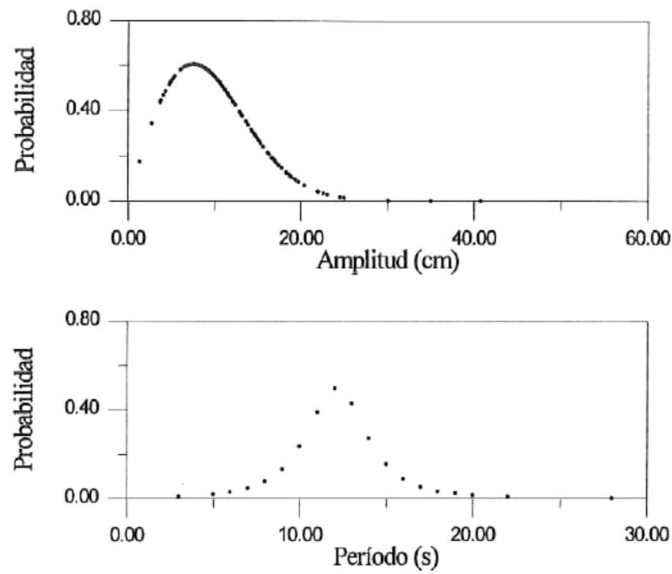


Figura 5.68 Distribución de densidad de probabilidad de amplitudes y períodos para la época de verano de 1991, en el sitio Puerto San Juan de Alima.

En la figura 5.69 se muestra la densidad de probabilidad conjunta de amplitudes y períodos para la época de verano de 1991, en el sitio Puerto San Juan de Alima.

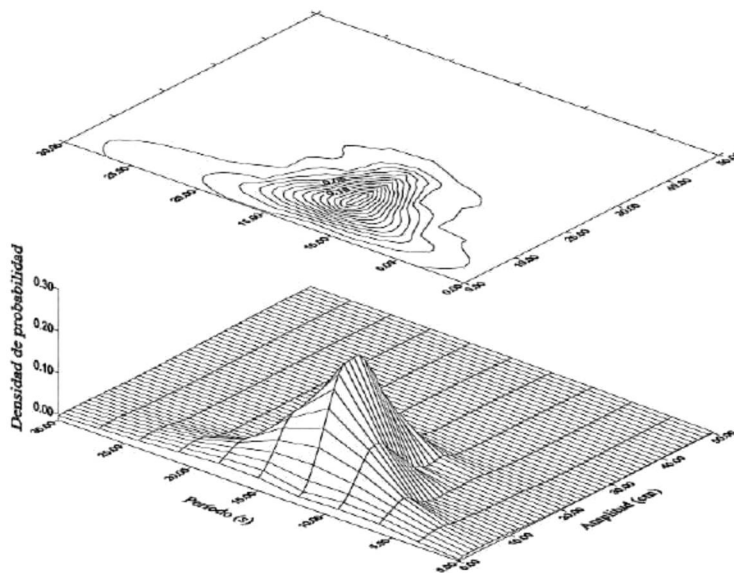


Figura 5.69 Densidad de probabilidad conjunta de amplitudes y períodos para la época de verano de 1991, en el sitio Puerto San Juan de Alima .

En ésta se puede notar que la densidad de probabilidad se encuentra concentrada en períodos entre 0 y 20 segundos y en amplitudes entre 0 y 30 cm (0 y 60 cm de altura). El pico más alto se encuentra asociado a olas con períodos de 13 s y a amplitudes de 10 cm, alturas de 20 cm.

5.6 Resultados encontrados para el sitio La Brisa, en el estado de Michoacán.

El sitio La Brisa es el último sitio localizado en el estado de Michoacán, en la región D según la clasificación de Lankford (1977), para este sitio el número de cintas que sobrevivieron a las pruebas de control de calidad es 19 de 26 que originalmente se tenían. En estas cintas se recopilaron datos para las épocas de verano y otoño de 1991, para las cuatro épocas de 1992 y para invierno, primavera y verano de 1993. Éste es el sitio con la mayor concentración de datos.

5.6.1 Resultados de las mediciones de alturas, períodos y direcciones en el sitio La Brisa.

En la tabla 5.17 se presentan los valores máximos y mínimos para las diferentes épocas de los años 1991 a 1993, en el sitio La Brisa.

El rango en el que se encontraron las alturas del sitio está entre 0.1 y 321.30 cm, encontrándose el valor máximo para la época de verano de 1993, en segundo lugar la época de verano de 1992 con 294.39 cm y en tercer lugar la época de verano de 1991 con 290.29 cm.

En cuanto a los valores de períodos se encontraron entre 2.0 y 176.0 s, presentándose el máximo en la época de verano de 1993, en segundo lugar la época de primavera de 1992 con 135.0 s y en tercero la época de otoño de 1992 con 134.0 s.

En todos los casos los valores máximos de periodo exceden el límite superior del rango de períodos en el que se definen las olas de gravedad (entre 1 y 30 segundos, según Kinsman, 1965) y caen en el rango de ondas infragravitacionales.

Por otra parte el rango de direcciones medidas abarca aproximadamente 143.80 grados, incluyendo direcciones noreste, este y sureste, pero éstos se discutirán más adelante.

VALORES MÁXIMOS Y MÍNIMOS EN EL SITIO LA BRISA						
ÉPOCA Y AÑO	ALTURA (cm)		PERÍODO (s)		DIRECCIÓN (grados)	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
VER91	290.29	0.30	72.0	2.0	359.80	53.80
VER91	204.78	0.10	77.0	2.0	360.00	00.00
VER91	215.76	0.10	40.0	2.0	359.80	270.00
OTO91	243.00	0.10	44.0	2.0	360.00	00.00
INV92	199.00	0.10	50.0	2.0	360.00	00.00
INV92	148.50	0.10	87.0	2.0	357.00	40.80
PRI92	139.70	0.10	82.0	2.0	359.70	00.00
PRI92	163.90	0.10	135.0	2.0	360.00	00.00
VER92	294.39	0.10	39.0	2.0	360.00	00.00
VER92	285.00	0.10	56.0	2.0	360.00	00.00
OTO92	134.70	0.10	52.0	2.0	360.00	00.00
OTO92	165.70	0.40	134.0	2.0	360.00	00.00
INV93	157.40	0.10	103.0	2.0	360.00	00.00
PRI93	222.20	0.10	48.0	2.0	360.00	00.00
PRI93	199.60	0.10	68.0	2.0	360.00	00.00
PRI93	203.90	0.10	74.0	2.0	360.00	00.00
VER93	321.30	0.10	52.0	2.0	360.00	00.00
VER93	263.40	0.20	176.0	2.0	270.00	17.20
VER93	128.50	0.10	43.0	2.0	295.00	26.40

Tabla 5.17 Valores máximos y mínimos de alturas, períodos y direcciones para las diferentes épocas de los años 1991 a 1993, en el sitio La Brisa.

En la figura 5.70 se muestran gráficamente los valores máximos de alturas, períodos y direcciones en las diferentes épocas de los años 1991 a 1993.

En la tabla 5.18 se presentan los valores promedio de alturas, períodos y direcciones para las diferentes épocas de los años 1991 a 1993.

Los valores promedio de alturas, se encuentran en un rango entre 32.12 y 69.10 cm, correspondiendo el máximo a la época de verano de 1991, en segundo y tercer lugar la época de verano de 1993 con 56.44 y 55.85 cm, respectivamente.

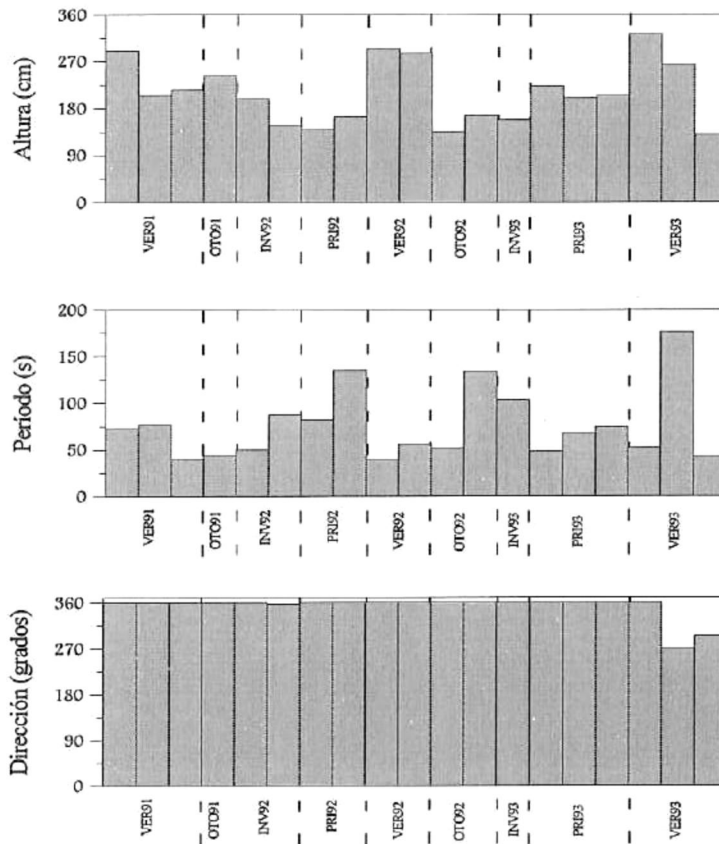


Figura 5.70 Variación de los valores máximos de alturas, períodos y direcciones para las diferentes épocas de los años 1991 a 1993, en el sitio La Brisa.

En cuanto a los valores promedio de períodos, están en un rango entre 10.14 y 13.67 s, el valor máximo corresponde a la época de primavera de 1992, el segundo lugar a la época de primavera del año 1993 con 13.47 s y en tercero la época de verano del mismo año con 13.28 s. En todos los casos, los valores promedio de períodos se encuentran dentro del rango de períodos en el que se definen las olas de gravedad (entre 1 y 30 segundos, según Kinsman, 1965).

En cuanto a las direcciones el rango que marcan los promedios de éstas es de 115.87 grados, prevaleciendo los ángulos entre 317 y 360 grados que corresponden a una dirección de incidencia del sureste.

VALORES PROMEDIO DEL SITIO LA BRISA			
ÉPOCA Y AÑO	ALTURA (cm)	PERÍODO (s)	DIRECCIÓN (grados)
VER91	48.89	12.52	337.87
VER91	55.19	11.53	336.74
VER91	69.10	11.26	335.92
OTO91	43.48	10.14	322.48
INV92	45.84	13.30	317.62
INV92	42.87	13.11	323.30
PRI92	40.92	12.85	329.98
PRI92	40.30	13.67	337.69
VER92	49.72	11.39	333.16
VER92	53.56	10.78	320.65
OTO92	40.94	12.46	325.57
OTO92	38.68	12.44	328.01
INV93	35.81	12.53	309.12
PRI93	49.95	13.12	319.14
PRI93	47.59	13.20	327.76
PRI93	50.83	13.47	333.12
VER93	55.85	12.37	336.76
VER93	56.44	13.28	73.49
VER93	32.12	12.01	40.38

Tabla 5.18 Valores promedio de alturas, períodos y direcciones para las diferentes épocas de los años 1991 a 1993, en el sitio La Brisa.

En la figura 5.71 se muestra gráficamente la variación de los valores promedio de alturas, períodos y direcciones.

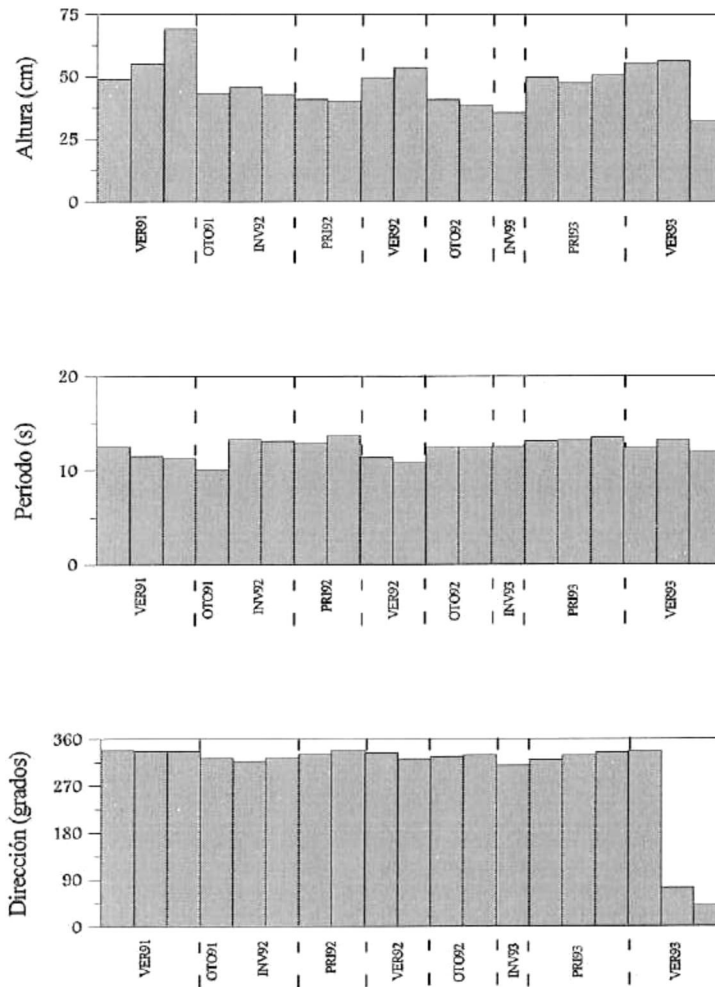


Figura 5.71 Variación de los valores promedio de alturas, periodos y direcciones para las diferentes épocas de los años 1991 a 1993, en el sitio La Brisa.

En las figuras 5.72a y 5.72b se muestra la distribución temporal de los valores de altura significativa, para cada una de las cintas del sitio La Brisa.

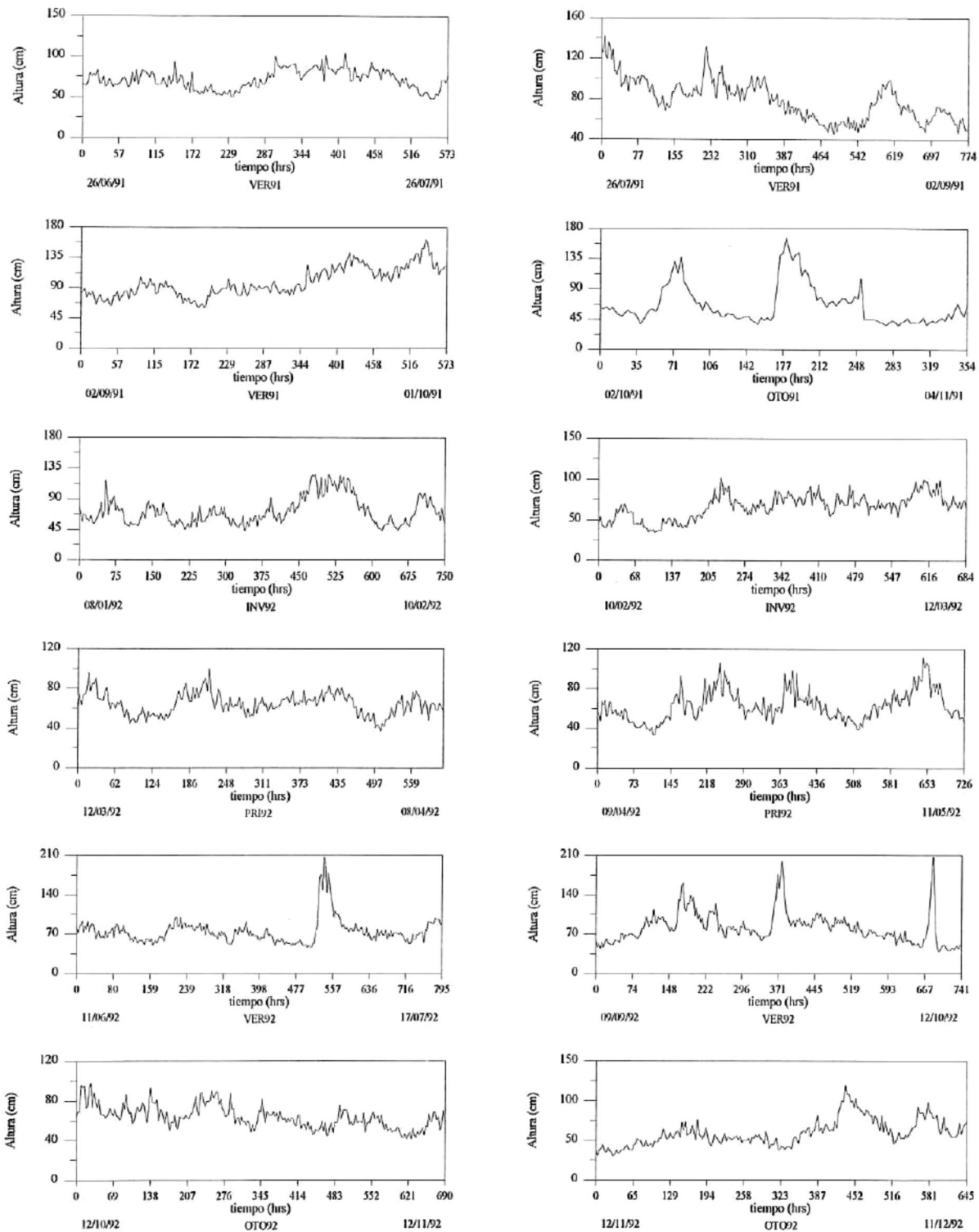


Figura 5.72a Variación temporal de los valores de altura significativa para las diferentes épocas de los años 1991 a 1993, en el sitio La Brisa.

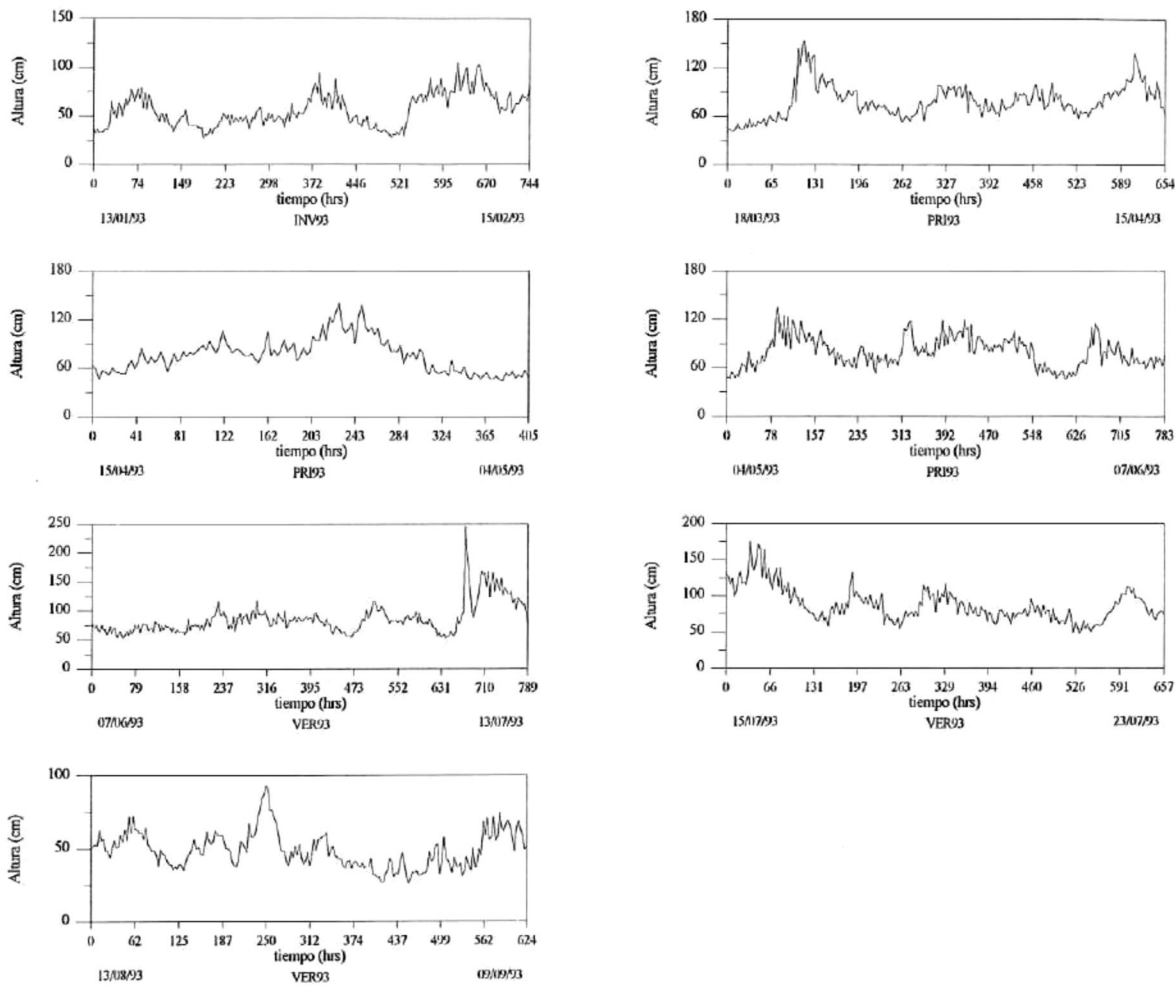


Figura 5.72b Variación temporal de los valores de altura significativa para las diferentes épocas de los años 1991 a 1993, en el sitio La Brisa.

En la figura 5.73 se muestra una gráfica con los valores promedio de altura significativa calculados para cada una de las cintas del sitio La Brisa.

El rango en el que se encontraron los valores promedio de altura significativa está entre 49.08 y 98.34 cm, encontrándose el valor más alto para la época de verano de 1991 y en segundo y tercer lugar la época de verano de 1993 con 87.37 cm y 86.42 cm respectivamente.

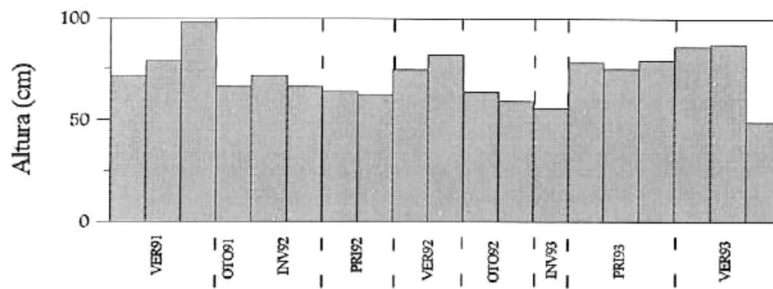


Figura 5.73 Variación temporal de los valores promedio de altura significativa para las diferentes épocas de los años 1991 a 1993, en el sitio La Brisa.

En la figura 5.74 se muestra una rosa de olas con la distribución conjunta de alturas y direcciones, correspondiente a la época de primavera de 1993, como un ejemplo del cálculo realizado con los datos contenidos en cada una de las cintas del sitio.

Este análisis muestra que aproximadamente un 75.3 % de las olas medidas en esta época están asociadas a alturas entre 0 y 160 cm y a un ángulo de propagación de 0 grados con dirección este y de éstas, un 22.2 % presentan alturas entre 0 y 40 cm, un 39.7 % entre 40 y 80 cm, un 11.8 % entre 80 y 120 cm y un 1.6 % entre 120 y 160 cm; otro 20.7 % de las olas se encuentra asociado a un ángulo de propagación de 315 grados con dirección sureste y de éste un 14.0 % se asocia a olas con alturas entre 0 y 40 cm, el 5.8 % a alturas entre 40 y 80 cm y el 0.9 % a alturas entre 80 y 120 cm.

En la figura 5.75 se muestra la rosa de olas correspondiente a la distribución conjunta de períodos y direcciones para la misma época y año del sitio La Brisa. En ella se puede notar que el 75.4 % de los datos están asociados a olas con períodos entre 0 y 39 s y presentan un ángulo de propagación de 0 grados con dirección este, de éstas el 31.4 % se encuentra en un rango de períodos entre 0 y 13 s, un 43.5 % entre 13 y 26 s y un 0.5 % entre 26 y 39 s. Por otra parte un 20.6 % presenta períodos entre 0 y 26 s asociados a un ángulo de propagación de 315 grados con dirección sureste, de los cuales el 12.5 % está entre 0 y 13 s y el 8.1 % restante está entre 13 y 26 s.

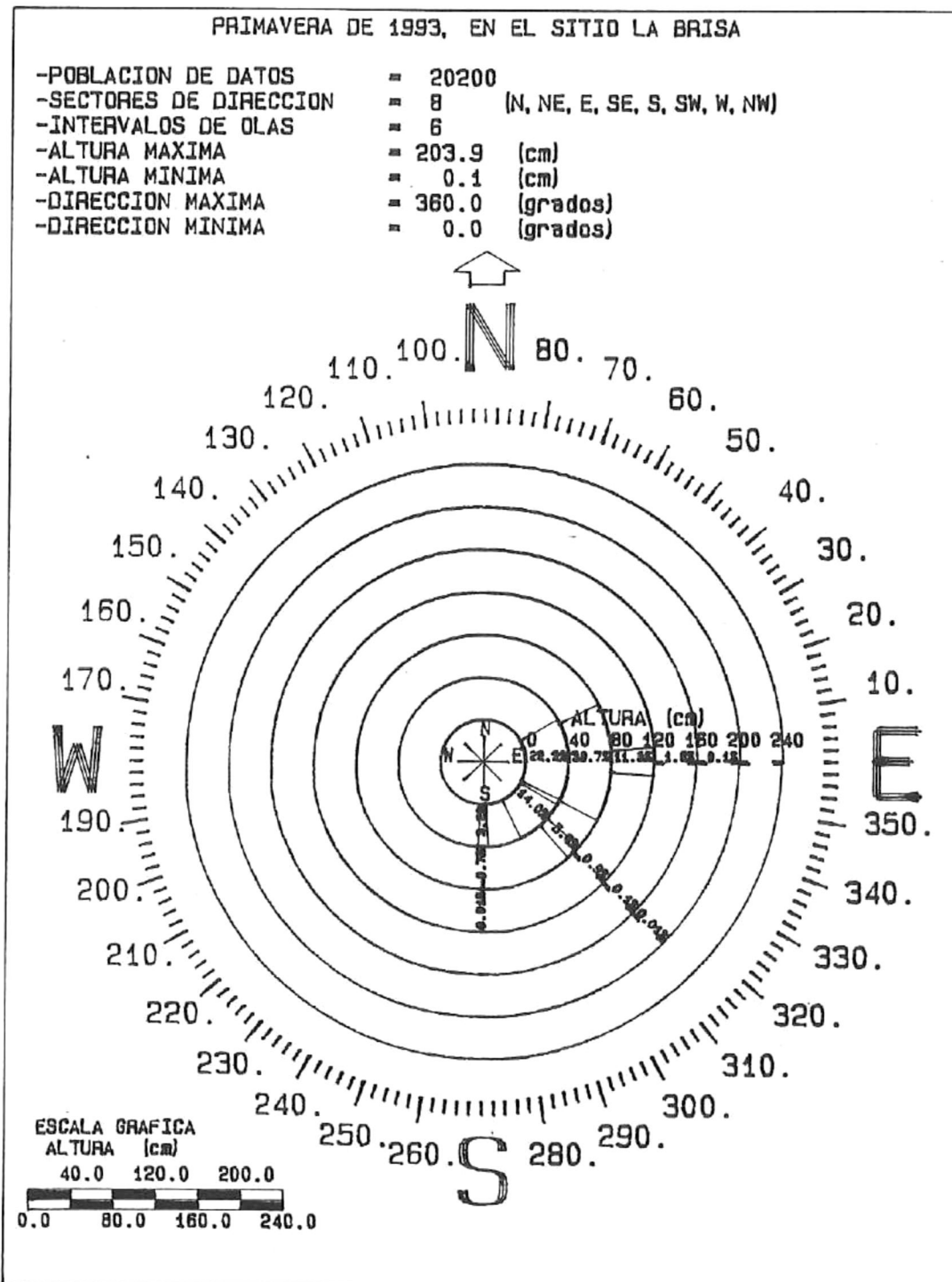


Figura 5.74 Distribución conjunta de alturas y direcciones para la época de primavera de 1993, en el sitio La Brisa.

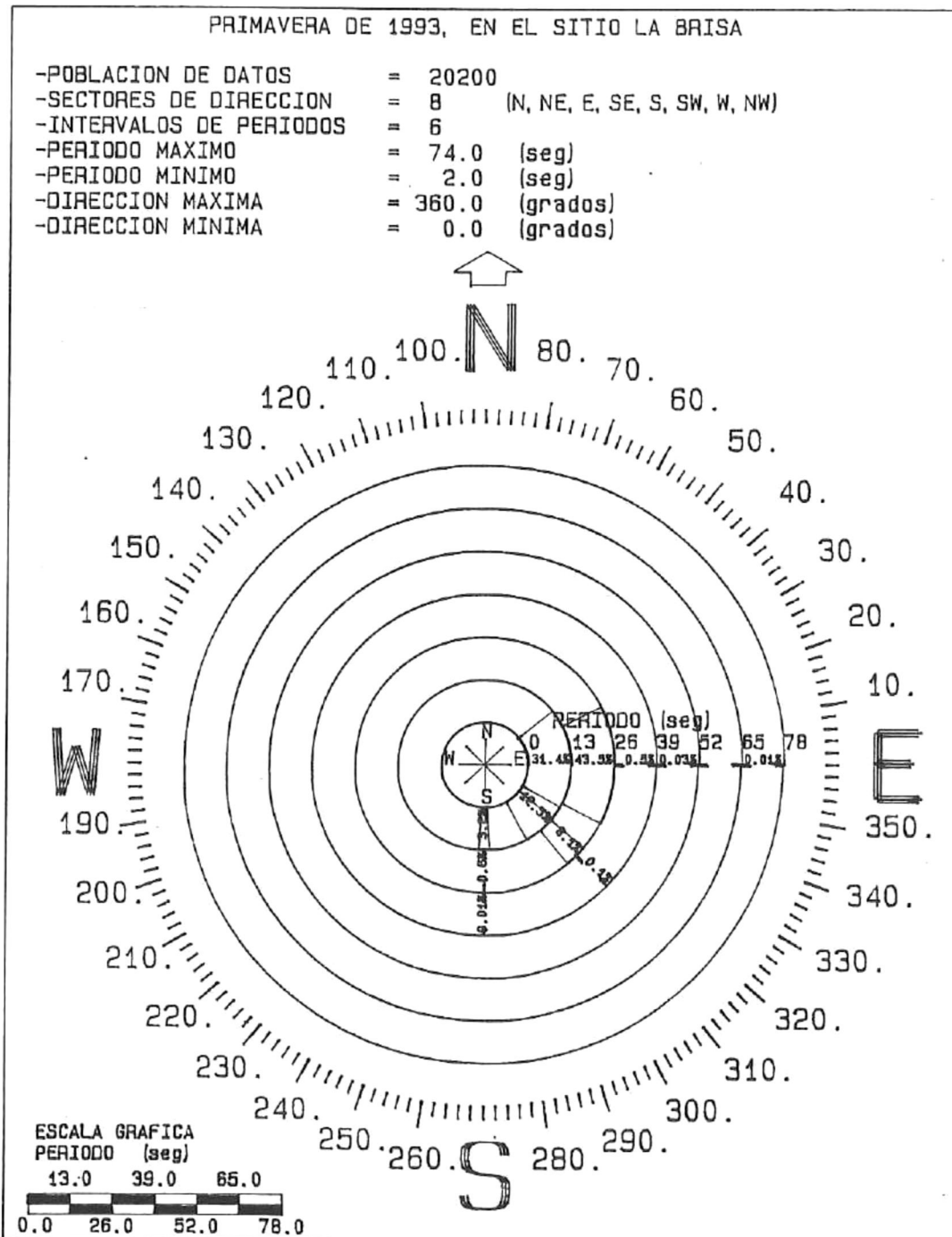


Figura 5.75 Distribución conjunta de períodos y direcciones para la época de primavera de 1993, en el sitio La Brisa.

5.6.2 Resultados del análisis espectral aplicado a las series de tiempo del sitio La Brisa .

En las figuras 5.76a y 5.76b se presentan los espectros promedio de densidad de energía para las diferentes épocas de los años 1991 a 1993 en el sitio La Brisa.

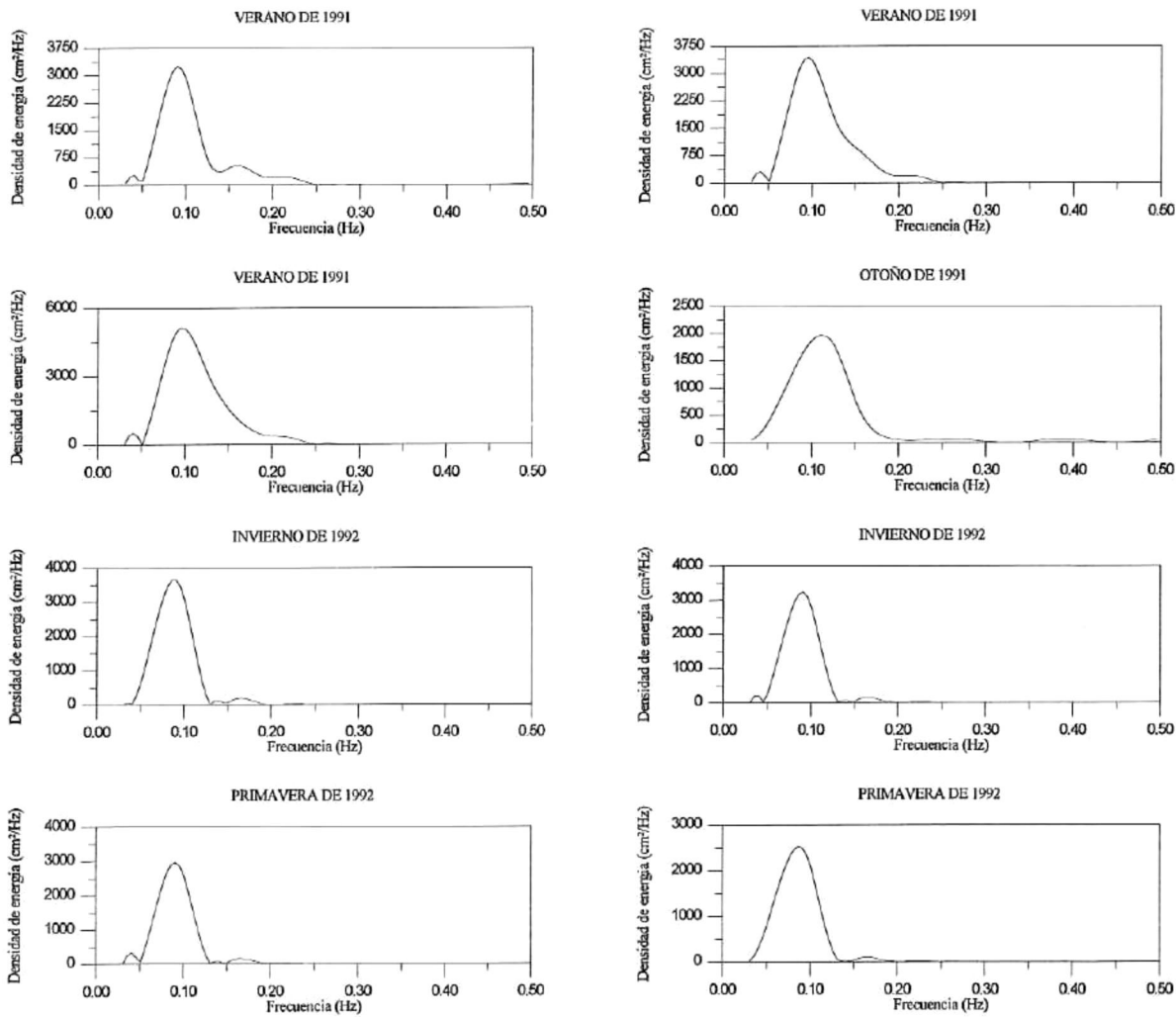


Figura 5.76a Espectros promedio de densidad de energía para las diferentes épocas de los años 1991 a 1993, en el sitio La Brisa.

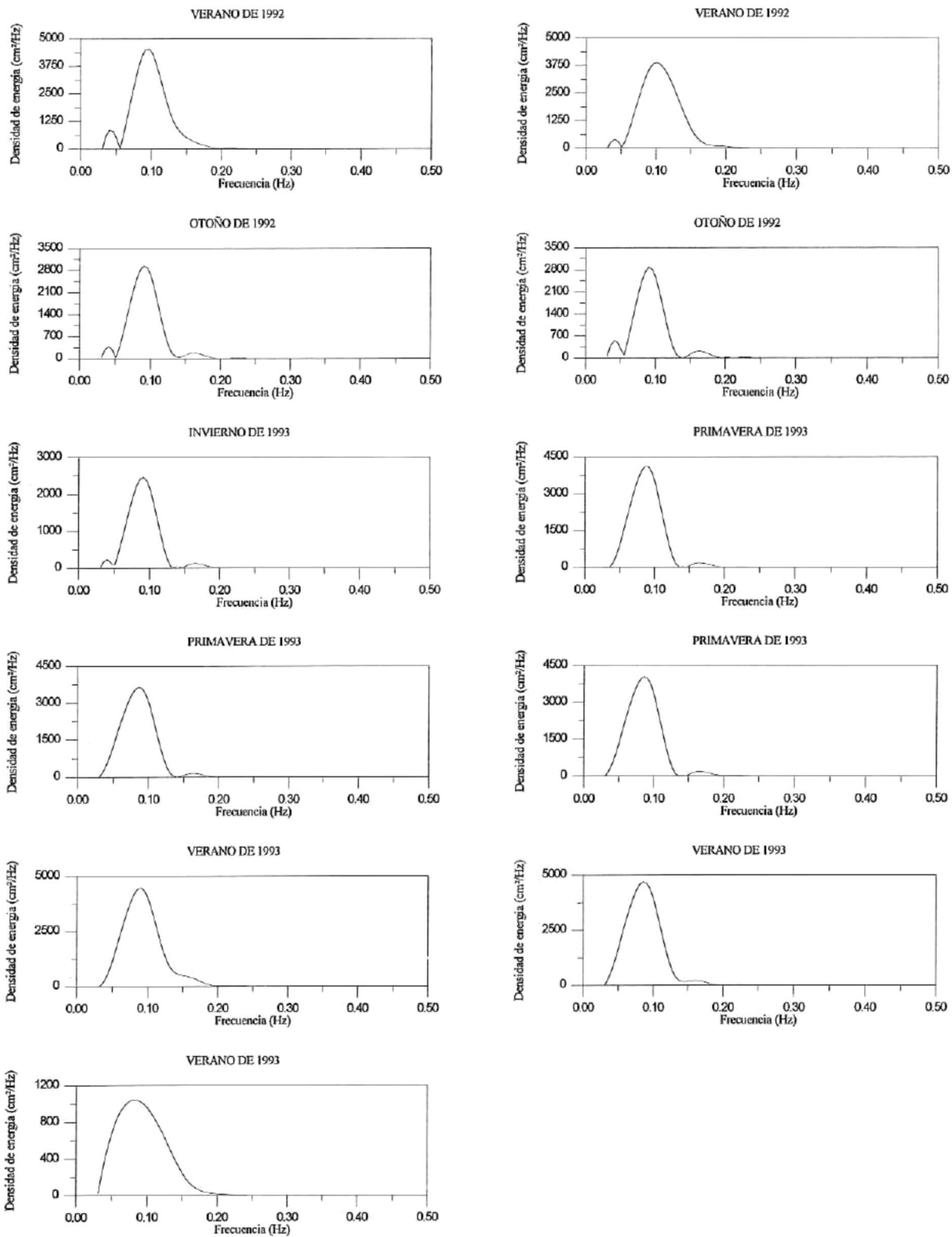


Figura 5.76b Espectros promedio de densidad de energía para las diferentes épocas de los años 1991 a 1993, en el sitio La Brisa.

Los espectros de densidad de energía se obtuvieron promediando por bandas de frecuencia los espectros calculados para cada ráfaga en cada una de las cintas del sitio.

En la mayoría de los casos se observa un comportamiento unimodal.

En la tabla 5.19 se muestran los valores de frecuencia, período y densidad de energía para cada pico presente en los espectros.

VALORES DE FRECUENCIA, PERÍODO Y DENSIDAD DE ENERGÍA PARA CADA PICO			
Época del año	Frecuencia (Hz)	Período (s)	Energía (cm ² /Hz)
VER91	0.091	10.98	3246.84
VER91	0.096	10.41	3437.59
VER91	0.096	10.41	5141.22
OTO91	0.111	9.00	1970.18
INV92	0.091	10.98	3649.49
INV92	0.091	10.98	3233.83
PRI92	0.091	10.98	2969.18
PRI92	0.086	11.62	2532.67
VER92	0.096	10.41	4554.20
VER92	0.101	9.90	3881.40
OTO92	0.091	10.98	2955.12
OTO92	0.091	10.98	2880.26
INV93	0.091	10.98	2469.50
PRI93	0.086	11.62	4103.04
PRI93	0.086	11.62	3651.35
PRI93	0.086	11.62	4040.50
VER93	0.091	10.98	4467.06
VER93	0.086	11.62	4700.02
VER93	0.081	12.34	1045.75

Tabla 5.19 Valores de frecuencia, período y densidad de energía de cada pico que aparece en los espectros de las figuras 5.76a y 5.76b.

Como se puede ver en la tabla 5.19 el pico máximo de energía en los espectros promedio se encuentra asociado a olas con períodos entre 9.0 y 12.34 s (0.111 y 0.081 Hz de frecuencia). El valor máximo de energía encontrado corresponde a la época de verano de 1991, en segundo lugar la misma época, pero del año 1993 y en tercero la misma época del año 1992.

En las figuras 5.77a y 5.77b se presenta la distribución temporal de los valores pico de densidad de energía, obtenidos para cada ráfaga de cada cinta en el sitio La Brisa.

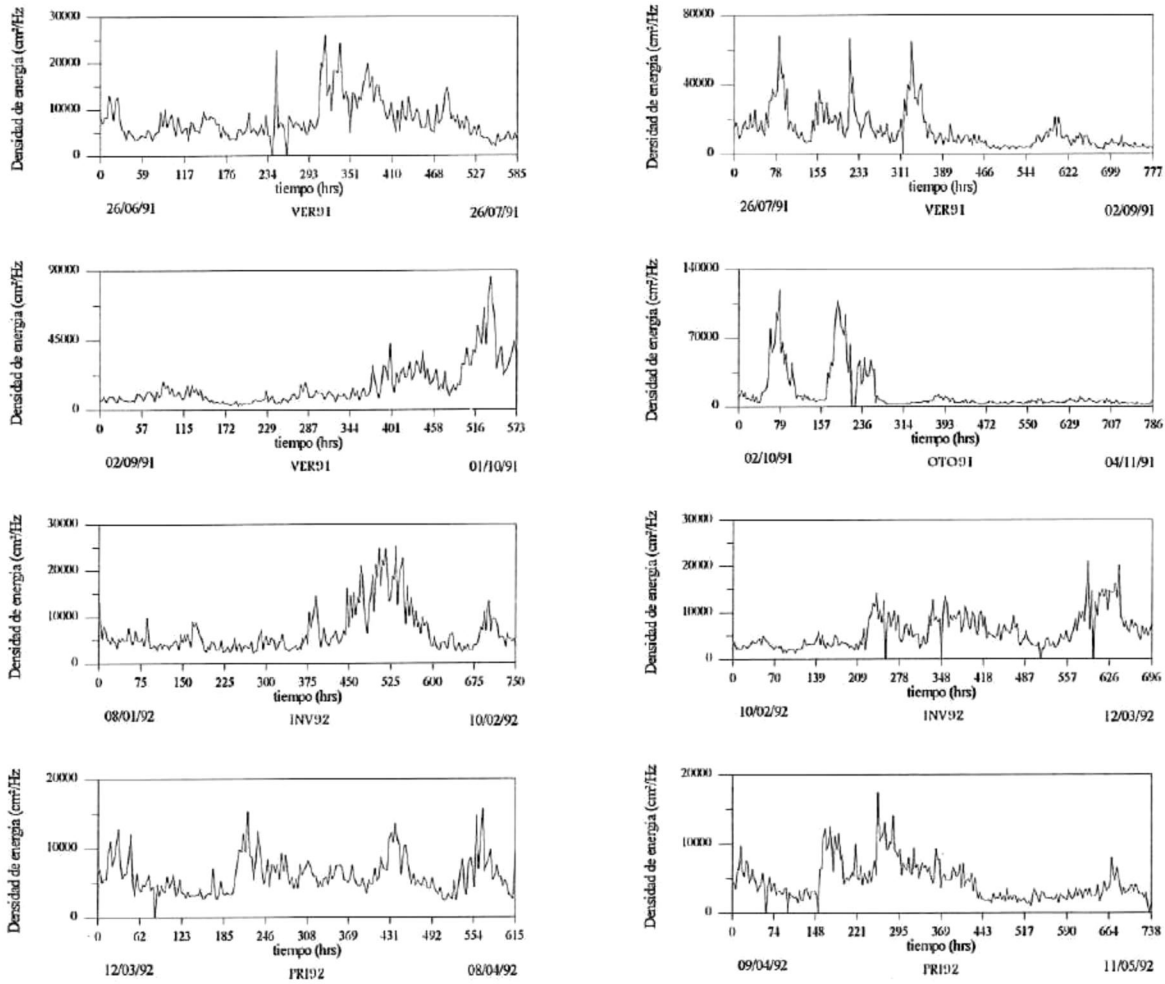


Figura 5.77a Valores pico de densidad de energía para las diferentes épocas de los años 1991 a 1993, en el sitio La Brisa.

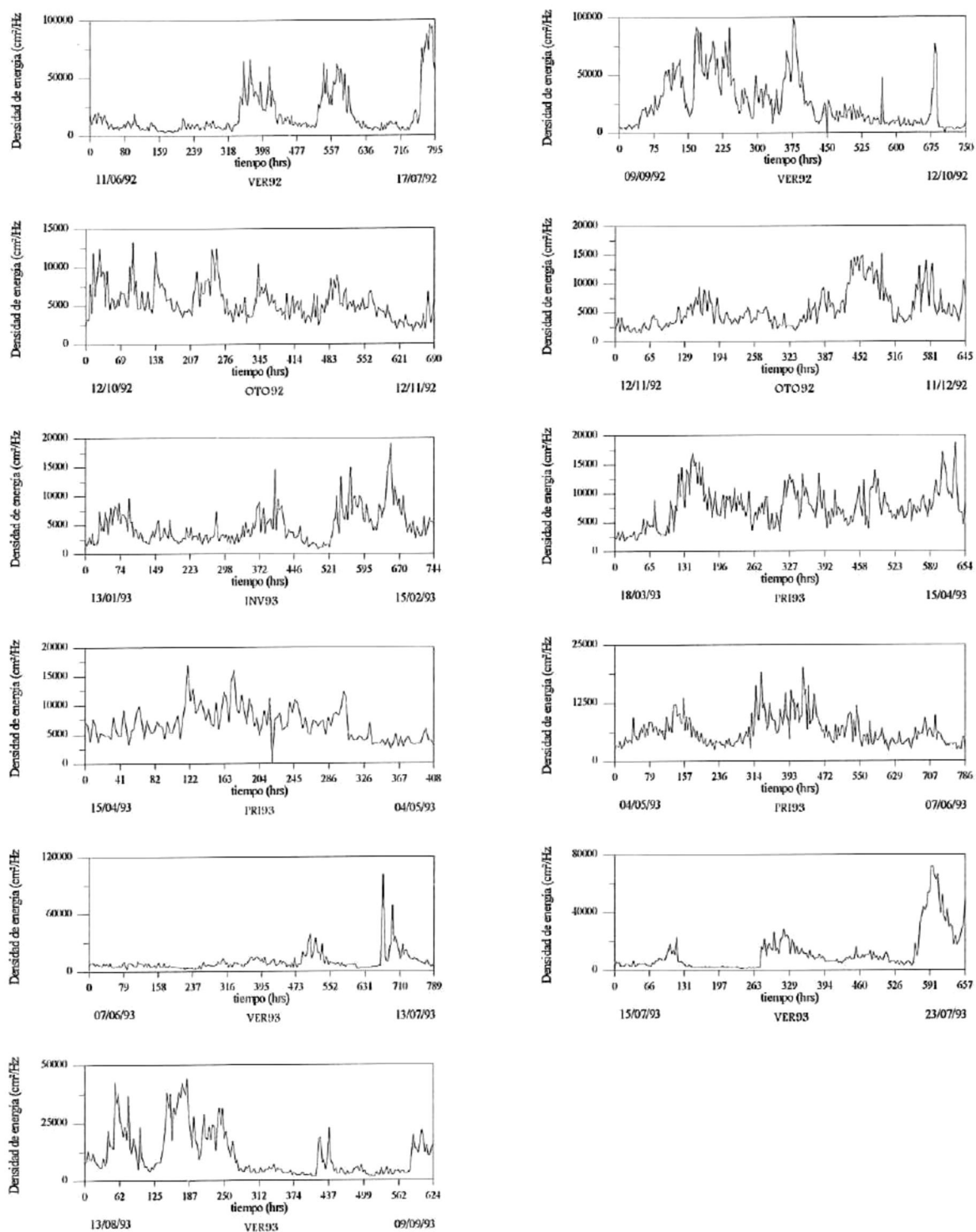


Figura 5.77b Valores pico de densidad de energía para las diferentes épocas de los años 1991 a 1993, en el sitio La Brisa

En la figura 5.78 se presentan los promedios de los valores pico de densidad de energía calculados para todas las ráfagas que constituyen a cada una de las cintas pertenecientes al sitio La Brisa. En ésta se puede notar que el rango en el que se encuentran los picos de energía es entre 4524.50 y 25795.72 cm^2/Hz , el valor máximo se dio para la época de verano de 1992, en segundo lugar la misma época y año con 17633.89 cm^2/Hz y en tercero la época de verano de 1991 con 15605.21 cm^2/Hz .

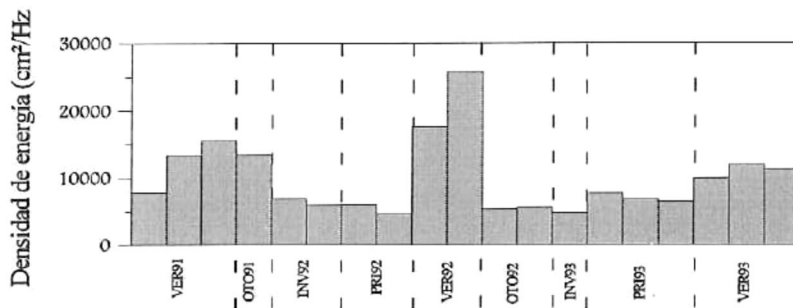


Figura 5.78 Promedios de los valores pico de energía para las diferentes épocas de los años 1991 a 1993, en el sitio La Brisa

En la figura 5.79 se muestra el espectro direccional del oleaje calculado para datos correspondientes a la época de primavera de 1993, en el sitio La Brisa .

Este espectro se presenta como un ejemplo que ilustra la forma en que fue calculado para cada una de las cintas del sitio, con la intención de analizar la relación entre la energía contenida en el oleaje y las diferentes direcciones de propagación del mismo.

El espectro direccional muestra que la energía se encuentra asociada a dos rangos de direcciones, entre 0 y 40 grados, dirección este-noreste y entre 320 y 360 grados, dirección sureste-este, ambos asociados a un rango de frecuencias entre 0.06 y 0.21 Hz (períodos entre 16.6 y 4.76 segundos). El pico máximo se encuentra asociado a un ángulo de 340 grados dirección sureste y a una frecuencia de 0.12 Hz (8.3 s de período).

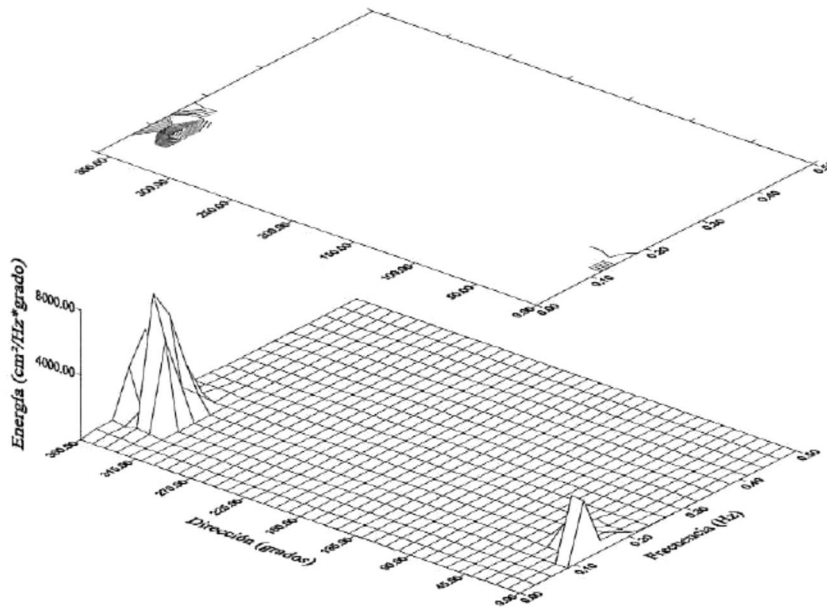


Figura 5.79 Espectro direccional del oleaje para la época de primavera de 1993, en el sitio La Brisa .

5.6.3 Resultados del análisis de marea aplicado a las series de tiempo del sitio La Brisa .

En la figura 5.80 se muestra un mareograma y su respectivo espectro de densidad de energía, correspondiente a la época de otoño de 1992, en el sitio La Brisa.

La frecuencia de corte utilizada para calcular el espectro fue de 0.16 ciclos/hr. Se escogieron 15 bandas de frecuencia, lo que permitió obtener una resolución espectral de 0.01 ciclos/hr.

En la gráfica se muestra una marea tipo mixta semidiurna que presenta su componente más energética asociada con el período de 12.04 hr (frecuencia de 0.083 ciclos/hr) que es la componente semidiurna, ésta es ligeramente mayor a la componente diurna con un período de 23.8 hrs (frecuencia de 0.042 ciclos/hora).

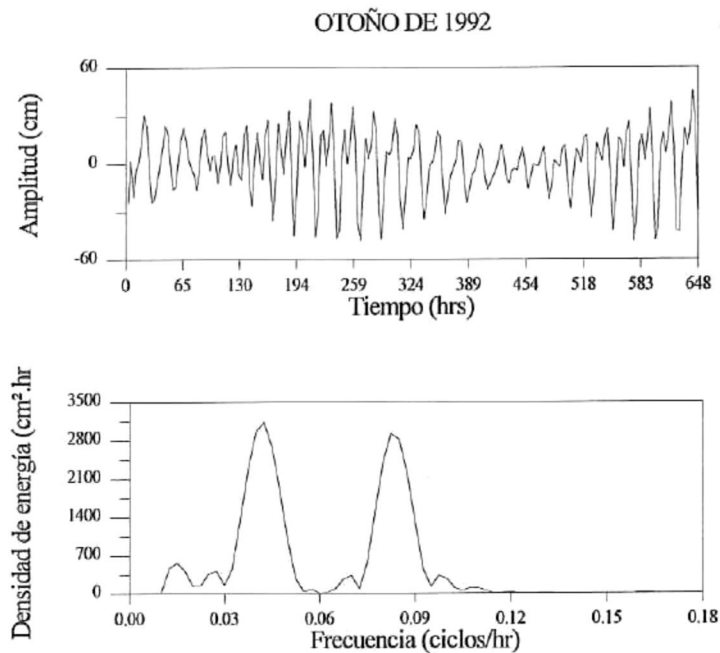


Figura 5.80 Mareograma y su respectivo espectro de densidad de energía correspondiente a la época de otoño de 1992, en el sitio La Brisa.

5.6.4 Resultados del cálculo de la densidad de probabilidad de amplitudes, períodos y conjunta, para las series de tiempo del sitios La Brisa.

En la figura 5.81 se muestra la distribución de densidad de probabilidad de amplitudes y períodos correspondientes a la época de primavera de 1993, en el sitio La Brisa. En ésta se muestra que la densidad de probabilidad pico en amplitudes corresponde a una amplitud de 17 cm, que es una altura de 34 cm, en cuanto a los períodos el pico se encuentra aproximadamente en 13 segundos.

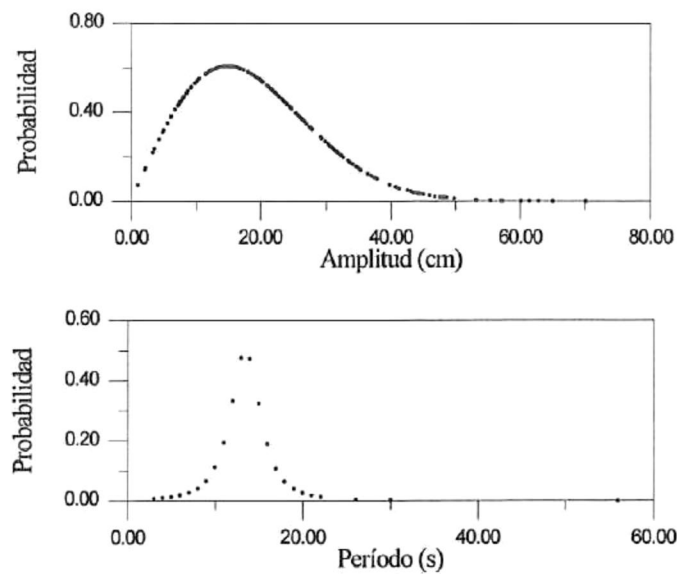


Figura 5.81 Distribución de densidad de probabilidad de amplitudes y períodos para la época de primavera de 1993, en el sitio La Brisa.

En la figura 5.82 se muestra la densidad de probabilidad conjunta de amplitudes y períodos para la época de primavera de 1993, en el sitio La Brisa.

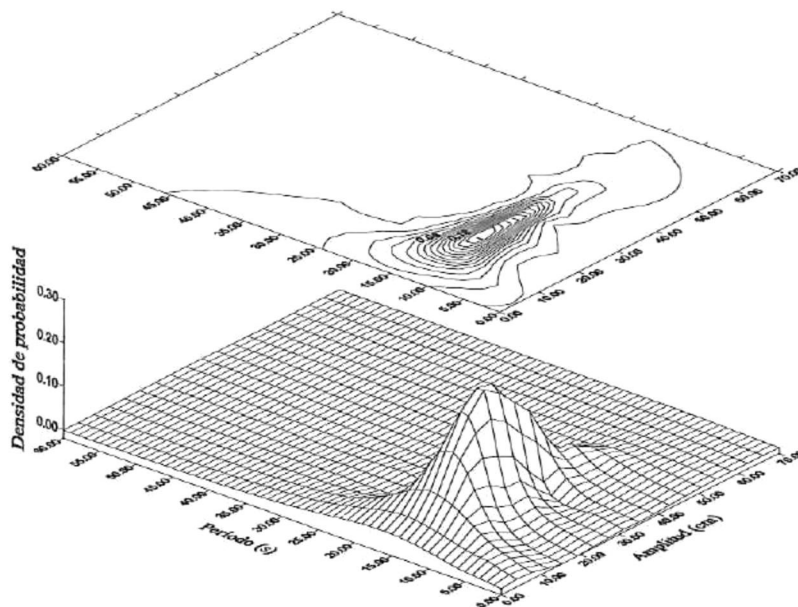


Figura 5.82 Densidad de probabilidad conjunta de amplitudes y períodos para datos de primavera de 1989, en el sitio La Brisa .

En ésta se puede notar que la densidad de probabilidad se encuentra concentrada en períodos entre 0 y 30 segundos y en amplitudes entre 0 y 50 cm (0 y 100 cm de altura). El pico más alto se encuentra asociado a olas con períodos de 15 s y a amplitudes de 20 cm, alturas de 40 cm.

5.7 Resultados encontrados para el sitio Petacalco, en el estado de Guerrero.

El sitio Petacalco, se encuentra en el estado de Guerrero y es el último de los sitios dentro de la región D, según la clasificación de Lankford (1977), en el que se tienen datos de oleaje. Para este sitio el número de cintas que sobrevivieron a las pruebas de control de calidad es 2 de 12 que originalmente se tenían. En estas cintas se recopilaban datos solo para la época de otoño de 1984.

Como se mostró en el capítulo 3, en la tabla 3.1, este sitio presentó las cintas de mayor antigüedad, eso explica el hecho de que sea uno de los dos sitios que perdieron más cintas en el proceso de control de calidad (10 cintas).

5.7.1 Resultados de las mediciones de alturas, periodos y direcciones en el sitio Petacalco.

En la tabla 5.20 se presentan los valores máximos y mínimos encontrados en la época de otoño de 1984, en el sitio Petacalco.

El rango en el que se encontraron las alturas del sitio está entre 0.10 y 245.0 cm, los valores de periodos se encontraron entre 2.0 y 58.0 s y las direcciones están en un rango de 91 grados presentando direcciones noreste, este y sureste. En ambos casos los valores máximos de periodo exceden el límite superior del rango de periodos en el que se definen las olas de gravedad (entre 1 y 30 segundos, según Kinsman, 1965) y caen en el rango de ondas infragravitacionales.

VALORES MÁXIMOS Y MÍNIMOS EN EL SITIO PETACALCO						
ÉPOCA Y AÑO	ALTURA (cm)		PERÍODO (s)		DIRECCIÓN (grados)	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
OTO84	245.74	0.10	58.0	2.0	359.9	0.00
OTO84	122.18	0.10	36.0	2.0	307.0	38.0

Tabla 5.20 Valores máximos y mínimos de alturas, períodos y direcciones para otoño de 1984, en el sitio Petacalco.

En la figura 5.83 se muestran gráficamente los valores máximos de alturas, períodos y direcciones para las dos cintas del sitio.

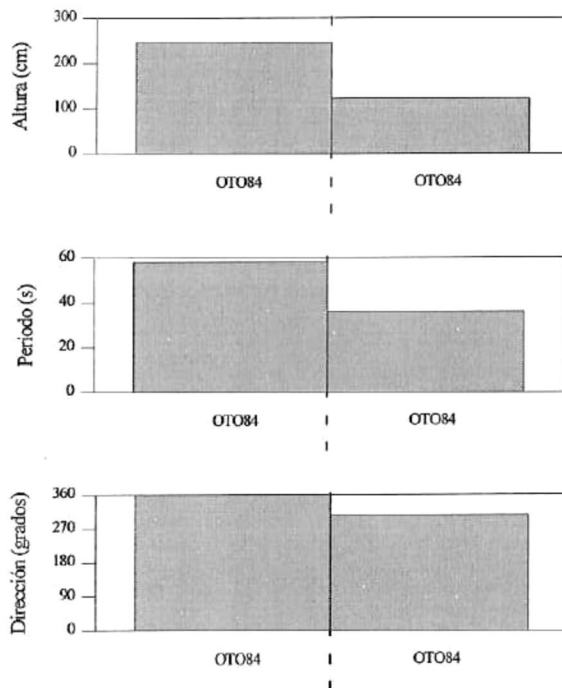


Figura 5.83 Variación de los valores máximos de alturas, períodos y direcciones para otoño de 1984, en el sitio Petacalco.

En la tabla 5.21 se presentan los valores promedio de alturas, períodos y direcciones para otoño de 1984 en el sitio Petacalco.

VALORES PROMEDIO DEL SITIO PETACALCO			
ÉPOCA Y AÑO	ALTURA (cm)	PERÍODO (s)	DIRECCIÓN (grados)
OTO84	44.15	10.99	355.58
OTO84	33.59	11.54	360.00

Tabla 5.21 Valores promedio de alturas, períodos y direcciones para otoño de 1984, en el sitio Petacalco.

Los valores promedio de alturas, se encuentran en un rango entre 33.59 y 44.10 cm, los de períodos entre 10.99 y 11.54 s y las direcciones promedio presentan ángulos de 360 grados con dirección este. En ambos casos, los valores promedio de períodos se encuentran dentro del rango de períodos en el que se definen las olas de gravedad (entre 1 y 30 segundos, según Kinsman, 1965).

En la figura 5.84 se muestra gráficamente la variación de los valores promedio de alturas, períodos y direcciones.

En la figura 5.85 se muestra la distribución temporal de los valores de altura significativa, para cada una de las cintas del sitio Petacalco.

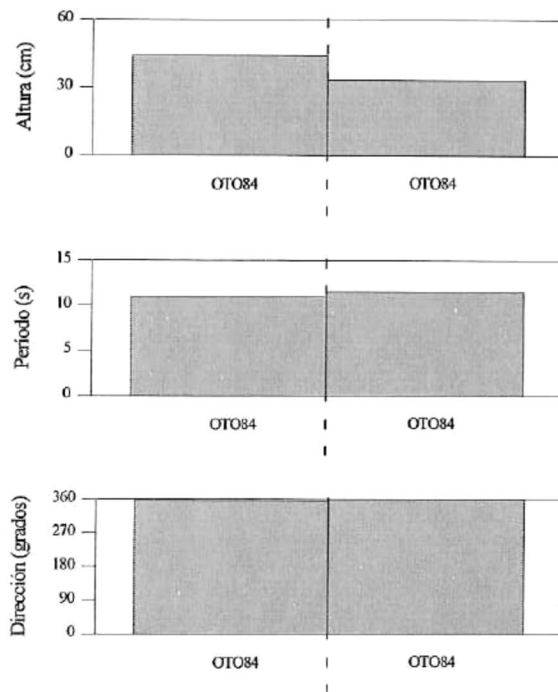


Figura 5.84 Variación de los valores promedio de alturas, períodos y direcciones para otoño de 1984, en el sitio Petacalco.

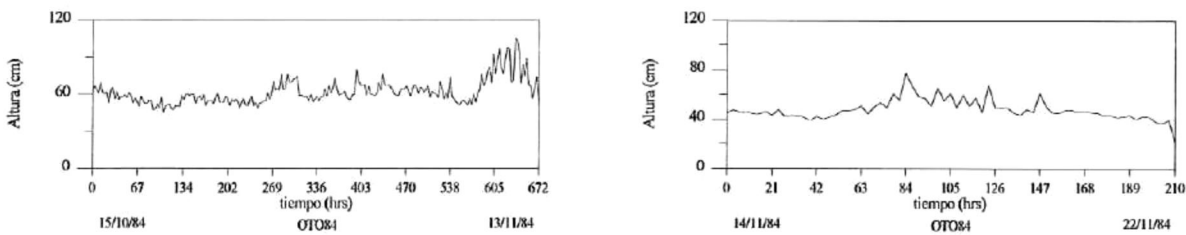


Figura 5.85 Variación temporal de los valores de altura significativa para otoño de 1984, en el sitio Petacalco.

En la figura 5.86 se muestra una gráfica con los valores promedio de altura significativa calculados para cada una de las cintas del sitio Petacalco.

Los valores promedio de altura significativa son de 47.55 y de 61.67 cm.

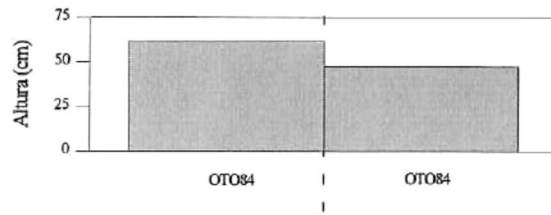


Figura 5.86 Variación temporal de los valores promedio de altura significativa para otoño de 1984, en el sitio Petacalco.

En la figura 5.87 se muestra una rosa de olas con la distribución conjunta de alturas y direcciones, correspondiente a la época de otoño de 1984, como un ejemplo del cálculo realizado con los datos contenidos en cada una de las cintas del sitio.

Este análisis muestra que aproximadamente un 86.4 % de las olas medidas en esta época están asociadas a alturas entre 0 y 120 cm y a un ángulo de propagación de 0 grados con dirección este y de éstas, el 30.8 % presentan alturas entre 0 y 30 cm, el 52.6 % entre 30 y 60 cm, el 2.7 % entre 60 y 90 cm y el 0.3 % entre 90 y 120 cm; otro 7.0 % de las olas se encuentra asociado a un ángulo de propagación de 315 grados con dirección sureste con alturas entre 0 y 60 cm. por último hay un 6.4 % de las olas asociadas a un ángulo de propagación de 45 grados, con dirección noreste, asociado a alturas entre 0 y 60 cm.

En la figura 5.88 se muestra la rosa de olas correspondiente a la distribución conjunta de períodos y direcciones. En ella se puede notar que el 86.0 % de los datos están asociado a olas con períodos entre 0 y 24 s y presentan un ángulo de propagación de 0 grados con dirección este, de éstas el 7.8 % se encuentra en un rango de períodos entre 0 y 6 s, un 37.5 % entre 6 y 12 s, un 39.3 % entre 12 y 18 s y un 1.4 % entre 18 y 24 s. Por otra parte un 7.1 % presenta períodos entre 0 y 24 s asociados a un ángulo de propagación de 315 grados con dirección sureste y por último un 6.4 % presenta períodos entre 0 y 24 s asociados a un ángulo de 45 grados, con dirección noreste.

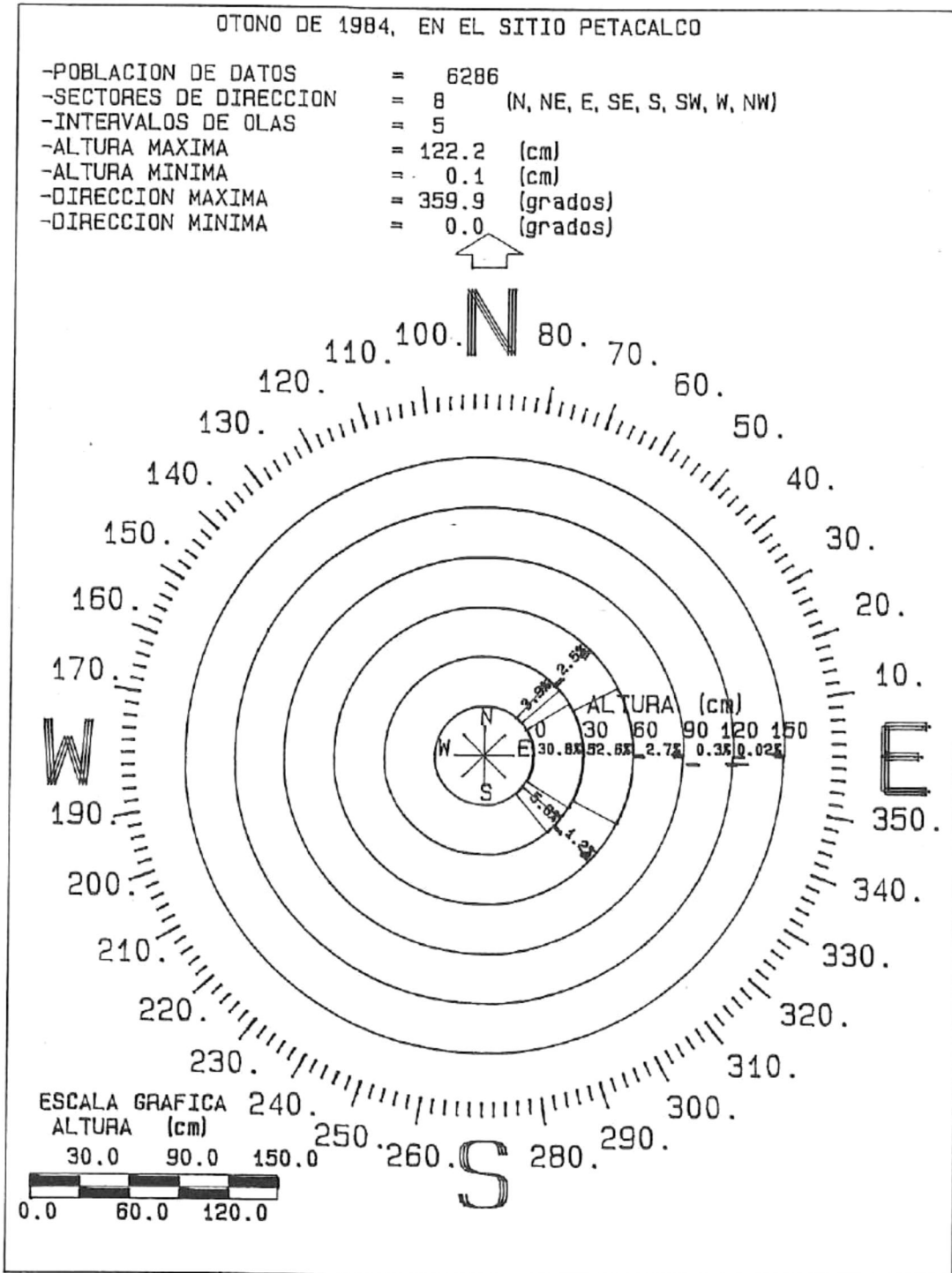


Figura 5.87 Distribución conjunta de alturas y direcciones para otoño de 1984, en el sitio Petacalco.

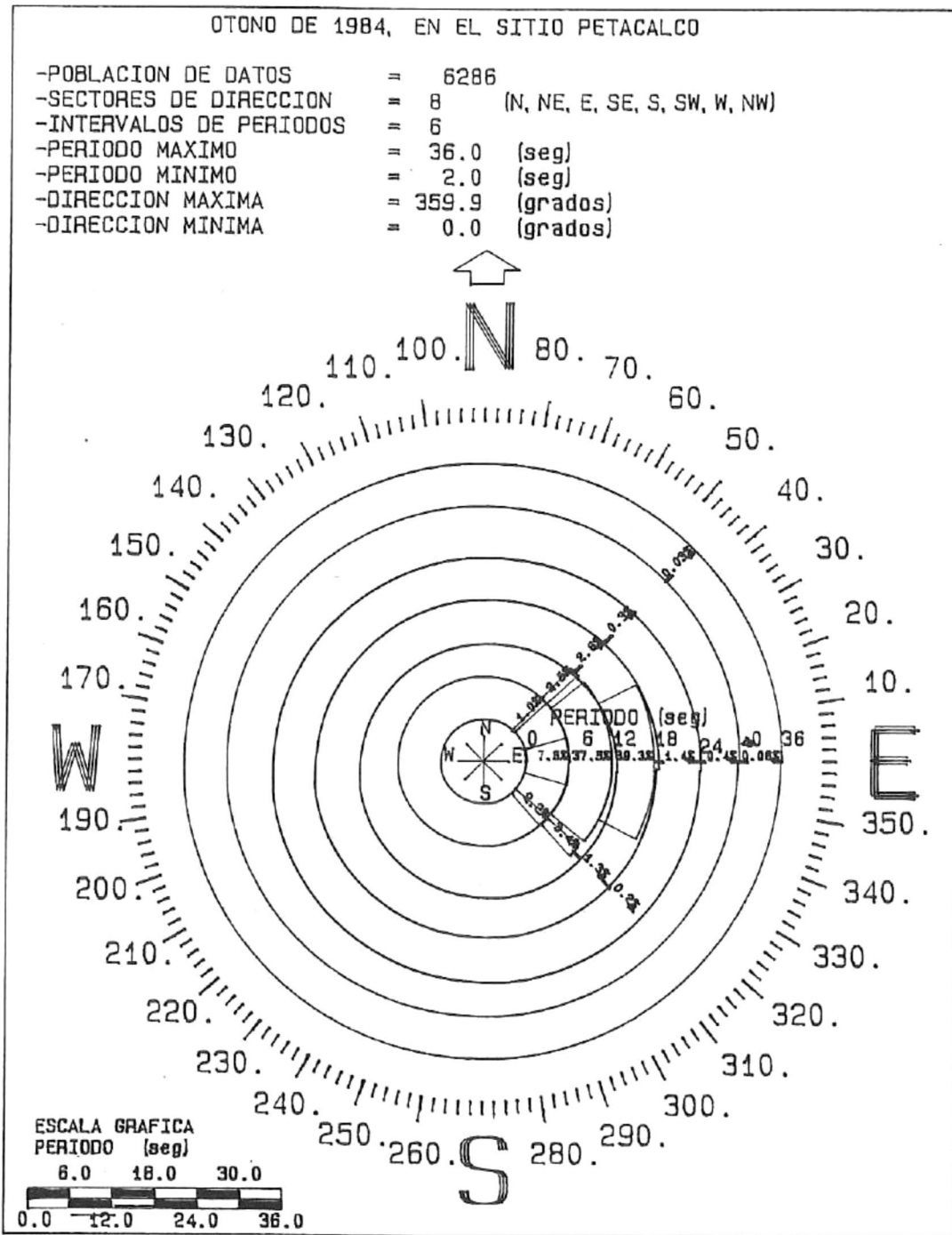


Figura 5.88 Distribución conjunta de períodos y direcciones para otoño de 1984, en el sitio Petacalco.

5.7.2 Resultados del análisis espectral aplicado a las series de tiempo del sitio Petacalco .

En la figura 5.89 se presentan los espectros promedio de densidad de energía para las dos cintas del sitio Petacalco.

Los espectros de densidad de energía se obtuvieron promediando por bandas de frecuencia cada uno de los espectros calculados para cada ráfaga en cada una de las cintas del sitio.

En ambos casos se observa un comportamiento bimodal, en el primer caso el pico mayor es 2.5 veces más grande que el menor y en el segundo caso el pico mayor es 3.4 veces más grande que el menor.

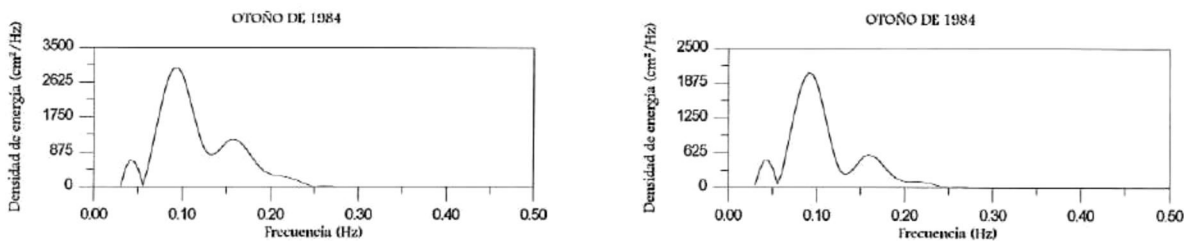


Figura 5.89 Espectros promedio de densidad de energía para la época de otoño de 1984, en el sitio Petacalco.

En la tabla 5.22 se muestran los valores de frecuencia, período y densidad de energía para cada pico presente en los espectros.

VALORES DE FRECUENCIA, PERÍODO Y DENSIDAD DE ENERGÍA PARA CADA PICO						
Época del año	Pico mayor			Pico menor		
	Frecuencia (Hz)	Período (s)	Energía (cm ² /Hz)	Frecuencia (Hz)	Período (s)	Energía (cm ² /Hz)
OTO84	0.091	10.98	3001.71	0.156	6.41	1196.55
OTO84	0.091	10.98	2071.37	0.161	6.21	596.95

Tabla 5.22 Valores de frecuencia, período y densidad de energía de cada pico que aparece en los espectros de la figura 5.89.

Como se puede ver en la tabla 5.22 el pico máximo de energía en los espectros promedio se encuentra asociado a olas con períodos de 10.98 s (0.091 Hz, de frecuencia) y el pico menor está asociado a olas con períodos de 6.41 y 6.21 s (frecuencias de 0.156 y 0.161 Hz, respectivamente).

En la figura 5.90 se presenta la distribución temporal de los valores pico de densidad de energía, obtenidos para cada ráfaga de cada cinta en el sitio Petacalco.

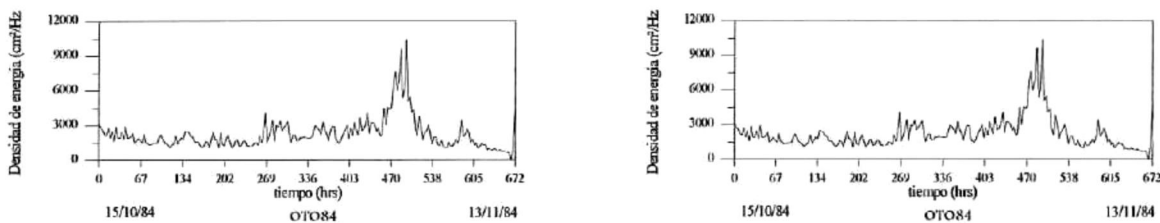


Figura 5.90 Valores pico de densidad de energía para la época de otoño de 1984, en el sitio Petacalco.

En la figura 5.91 se presentan los promedios de los valores pico de densidad de energía calculados para todas las ráfagas que constituyen a cada una de las cintas pertenecientes al sitio Petacalco.

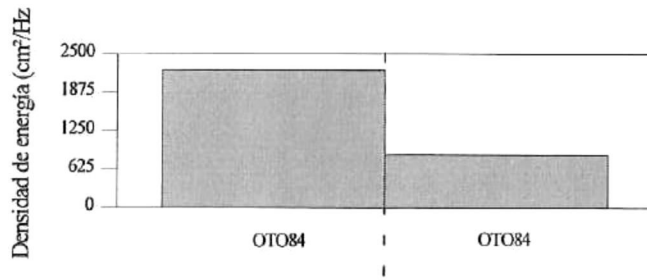


Figura 5.91 Promedios de los valores pico de energía para la época de otoño de 1984, en el sitio Petacalco.

En la figura 5.92 se muestra el espectro direccional del oleaje calculado para los datos del sitio Petacalco.

Este espectro se presenta con la intención de analizar la relación entre la energía contenida en el oleaje y las diferentes direcciones de propagación del mismo.

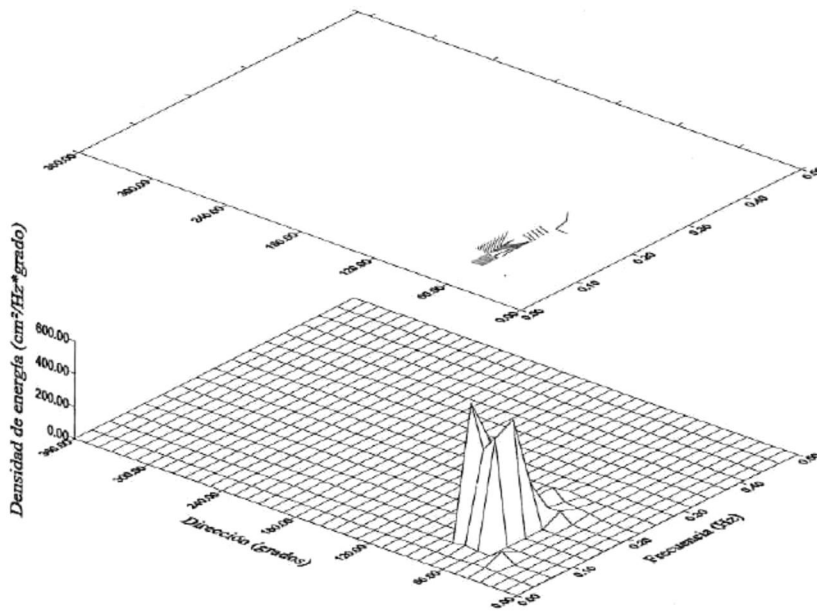


Figura 5.92 Espectro direccional del oleaje para la época de otoño de 1984, en el sitio Petacalco.

El espectro direccional muestra que la energía se encuentra asociada a un rango de direcciones entre 30 y 80 grados, con dirección noreste asociados a un rango de frecuencias entre 0.03 y 0.24 Hz (períodos entre 33.3 y 4.16 segundos). El pico máximo se encuentra asociado a un ángulo de 80 grados dirección noreste y a una frecuencia de 0.12 Hz (8.3 s de período).

5.7.3 Resultados del análisis de marea aplicado a las series de tiempo del sitio Petacalco .

En la figura 5.93 se muestra un mareograma y su respectivo espectro de densidad de energía, correspondiente a la época de otoño de 1984, en el sitio Petacalco.

La frecuencia de corte utilizada para calcular el espectro fue de 0.16 ciclos/hr. Se escogieron 15 bandas de frecuencia, lo que permitió obtener una resolución espectral de 0.01 ciclos/hr.

En la gráfica se muestra una marea tipo mixta semidiurna que presenta su componente más energética asociada con el período de 12.04 hr (frecuencia de 0.083 ciclos/hr) que es la componente semidiurna, y es ligeramente mayor a la componente diurna con un período de 24.8 hrs (frecuencia de 0.041 ciclos/hora).

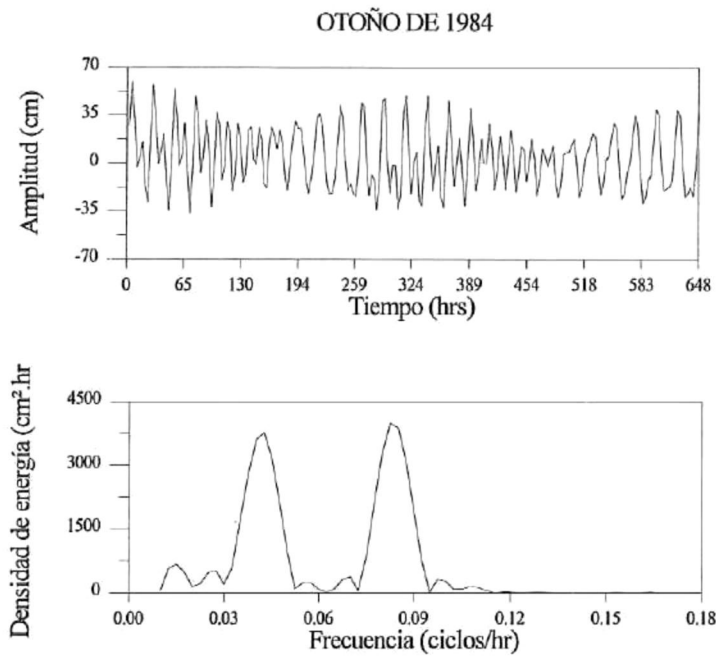


Figura 5.93 Mareograma y su respectivo espectro de densidad de energía correspondiente a la época de otoño de 1984, en el sitio Petacalco.

5.7.4 Resultados del cálculo de la densidad de probabilidad de amplitudes, períodos y conjunta, para las series de tiempo del sitios Petacalco.

En la figura 5.94 se muestra la distribución de densidad de probabilidad de amplitudes y períodos correspondientes a la época de otoño de 1984, en el sitio Petacalco. En ésta se muestra que la densidad de probabilidad pico en amplitudes corresponde a una amplitud de 13 cm, que corresponde a una altura de 26 cm, en cuanto a los períodos el pico se encuentra aproximadamente en 12 segundos.

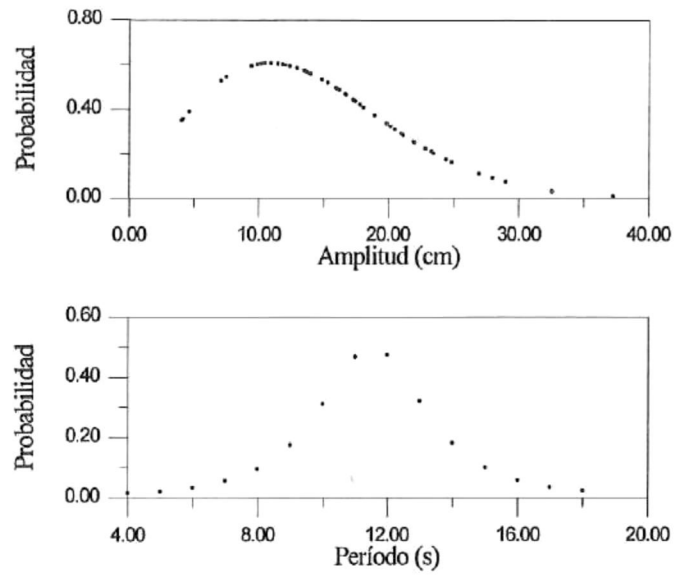


Figura 5.94 Distribución de densidad de probabilidad de amplitudes y periodos para la época de otoño de 1984, en el sitio Petacalco.

En la figura 5.95 se muestra la densidad de probabilidad conjunta de amplitudes y periodos para la misma época y año.

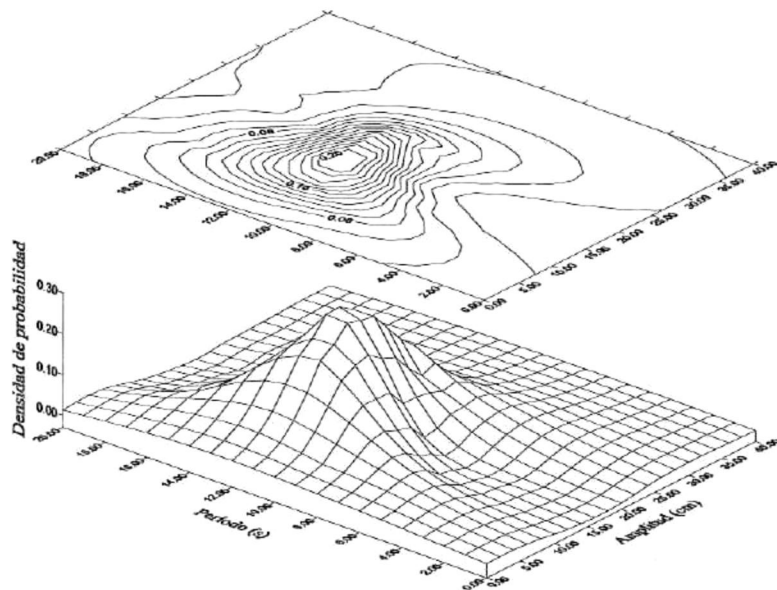


Figura 5.95 Densidad de probabilidad conjunta de amplitudes y periodos para la época de otoño de 1984, en el sitio Petacalco .

En ésta se puede notar que la densidad de probabilidad se encuentra concentrada en períodos entre 4 y 18 segundos y en amplitudes entre 0 y 30 cm (0 y 60 cm de altura). El pico más alto se encuentra asociado a olas con períodos de 12 s y a amplitudes de 17 cm, alturas de 34 cm.

5.8 Resultados encontrados para los sitios Punta Cabras y Eréndira, en el estado de Baja California.

Estos dos sitios se encuentran localizados en la región A, según la clasificación de Lankford (1977). Para éstos el número de cintas que sobrevivieron a las pruebas de control de calidad es 12 de 22 para el sitio Punta Cabras y 1 de 1 para el sitio Eréndira. En el primer caso se recopilieron datos para las épocas de primavera, verano y otoño de 1990, verano de 1991 y para las cuatro épocas de 1992. En el caso de Eréndira la única cinta pertenece a la época de otoño de 1993.

Como se mostró en el capítulo 3, en la tabla 3.1, el sitio Punta Cabras es uno de los sitios con el mayor número de cintas, pero también uno de los sitio que mayor perdida de datos presentó (10 cintas).

5.8.1 Resultados de las mediciones de alturas, períodos y direcciones en los sitios Punta Cabras y Eréndira.

En la tabla 5.23 se presentan los valores máximos y mínimos encontrados en las diferentes épocas de los años 1990 a 1993, en los sitios Punta Cabras y Eréndira.

El rango en el que se encontraron las alturas de estos sitios está entre 0.10 y 311.0 cm, el máximo se encontró en la época de otoño de 1993 para el sitio Eréndira, el siguiente valor corresponde a invierno de 1992, para Punta Cabras con 252.40 y en tercer lugar la época de otoño de 1990 con 213.00 cm.

Los valores de períodos se encontraron entre 1.8 y 91.8 s, presentándose el valor máximo en la época de primavera de 1992, en segundo lugar la época de otoño del mismo año y en tercero la época de otoño de 1993, en el sitio Eréndira.

Respecto a los valores de dirección los ángulos son, en su mayoría, de 0.00 ó 360.0 grados que corresponden a direcciones este.

En todos los casos los valores máximos de período exceden el límite superior del rango de períodos en el que se definen las olas de gravedad (entre 1 y 30 segundos, según Kinsman, 1965) y caen en el rango de ondas infragravitacionales.

VALORES MÁXIMOS Y MÍNIMOS						
ÉPOCA Y AÑO	ALTURA (cm)		PERÍODO (s)		DIRECCIÓN (grados)	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
PRI90	172.50	0.10	34.0	2.0	359.90	0.00
VER90	183.80	0.10	32.0	2.0	352.60	351.20
VER90	145.30	0.10	37.0	2.0	359.90	0.00
OTO90	213.00	0.10	40.0	2.0	360.00	0.00
INV91	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO
PRI91	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO
VER91	137.00	0.10	40.0	2.0	360.00	0.00
OTO91	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO
INV92	252.40	0.40	76.0	2.0	360.00	0.00
INV92	210.50	0.10	40.0	2.0	360.00	0.00
PRI92	152.00	0.20	59.0	2.0	360.00	0.00
PRI92	119.10	0.10	91.8	1.8	360.00	0.00
VER92	88.50	0.10	37.0	2.0	360.00	0.00
VER92	132.30	0.60	58.0	2.0	360.00	0.00
OTO92	156.30	0.30	91.0	2.0	360.00	0.00
EDOTO93	311.00	0.20	84.0	2.0	360.00	0.00

Tabla 5.23 Valores máximos y mínimos de alturas, períodos y direcciones para las diferentes épocas de los años 1990 a 1993, en los sitios Punta Cabras y Eréndira.

En la figura 5.96 se muestran gráficamente los valores máximos de alturas, períodos y direcciones para ambos sitios.

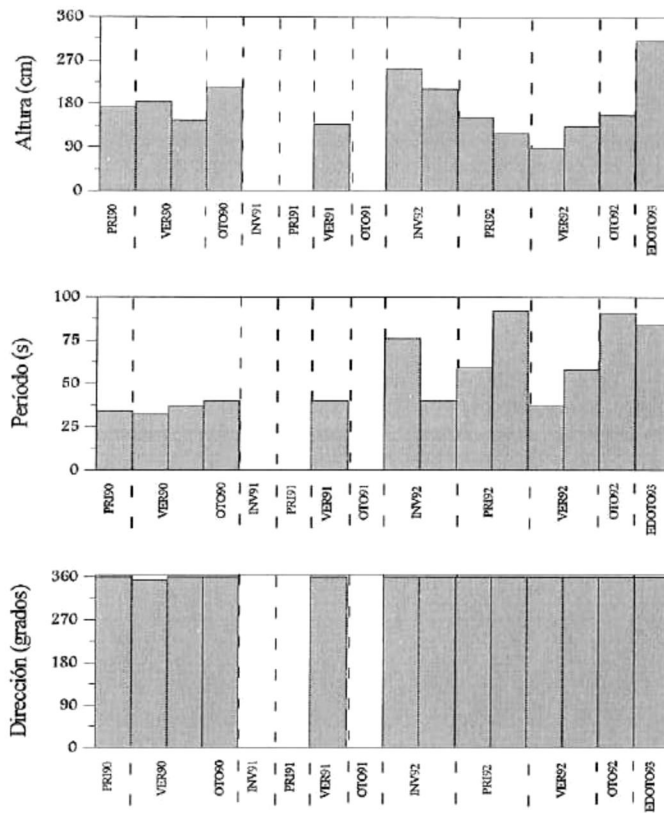


Figura 5.96 Variación de los valores máximos de alturas, períodos y direcciones para las diferentes épocas de los años 1990 a 1993, en los sitios Punta Cabras y Eréndira.

En la tabla 5.24 se presentan los valores promedio de alturas, períodos y direcciones para los dos sitios.

Los valores promedio de alturas, se encuentran en un rango entre 33.59 y 44.10 cm, los de períodos entre 10.99 y 11.54 s y las direcciones promedio presentan ángulos de 360 grados con dirección este. En ambos casos, los valores promedio de períodos se encuentran dentro del rango de períodos en el que se definen las olas de gravedad (entre 1 y 30 segundos, según Kinsman, 1965).

VALORES PROMEDIO			
ÉPOCA Y AÑO	ALTURA (cm)	PERÍODO (s)	DIRECCIÓN (grados)
PRI90	40.36	11.07	290.68
VER90	39.16	11.53	352.03
VER90	34.37	10.29	270.69
OTO90	40.18	9.39	289.16
INV91	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO
PRI91	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO
VER91	33.58	11.14	84.45
OTO91	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO
INV92	57.12	11.26	326.39
INV92	54.32	11.14	334.05
PRI92	27.58	12.46	56.45
PRI92	24.05	11.27	18.67
VER92	23.45	11.12	30.93
VER92	27.75	11.03	337.14
OTO92	32.68	11.11	329.46
EDOTO93	65.24	11.53	44.90

Tabla 5.24 Valores promedio de alturas, períodos y direcciones para las diferentes épocas de los años 1990 a 1993, en los sitios Punta Cabras y Eréndira.

En la figura 5.97 se muestra gráficamente la variación de los valores promedio de alturas, períodos y direcciones.

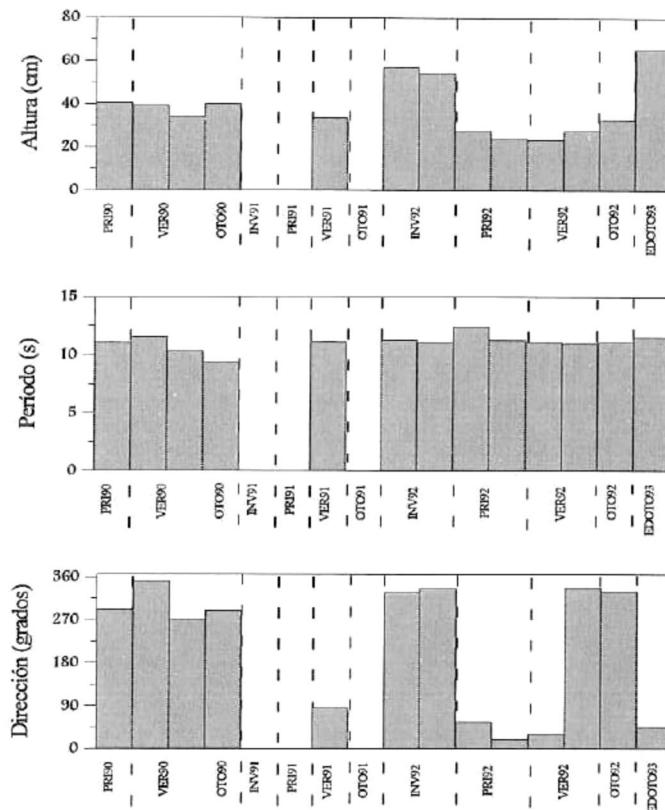
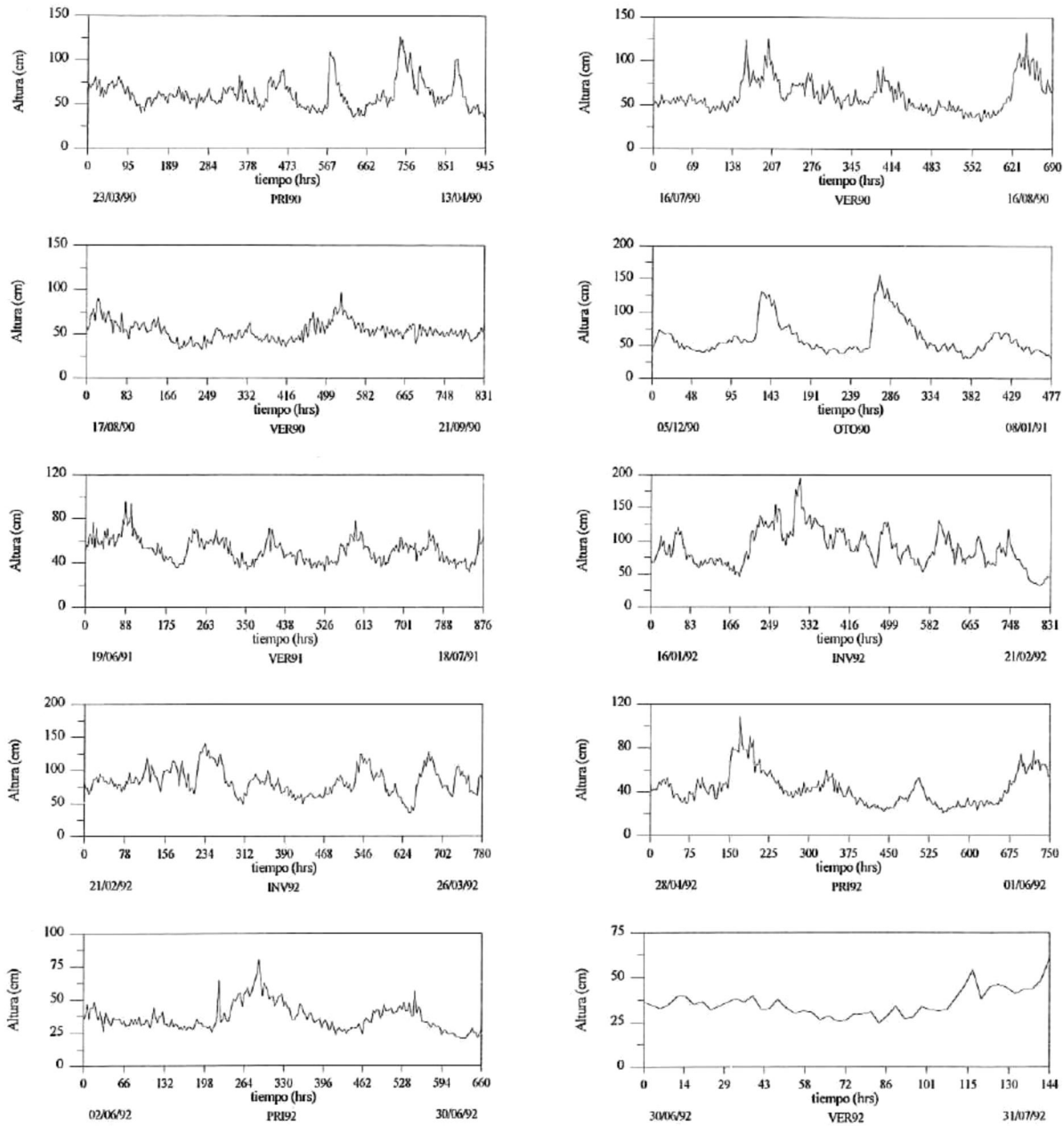


Figura 5.97 Variación de los valores promedio de alturas, períodos y direcciones para las diferentes épocas de los años 1990 a 1993, en los sitios Punta Cabras y Eréndira.

En las figuras 5.98a y 5.98b se muestra la distribución temporal de los valores de altura significativa, para cada una de las cintas del sitio Punta Cabras y para la cinta del sitio Eréndira.



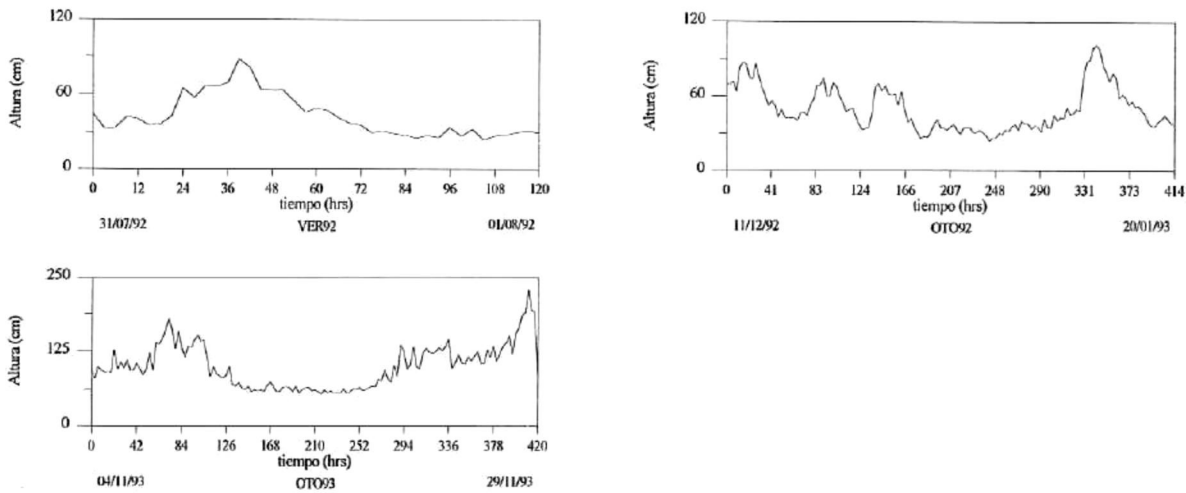


Figura 5.98b Variación temporal de los valores de altura significativa para las diferentes épocas de los años 1990 a 1993, en los sitios Punta Cabras y Eréndira.

En la figura 5.99 se muestra una gráfica con los valores promedio de altura significativa calculados para cada una de las cintas.

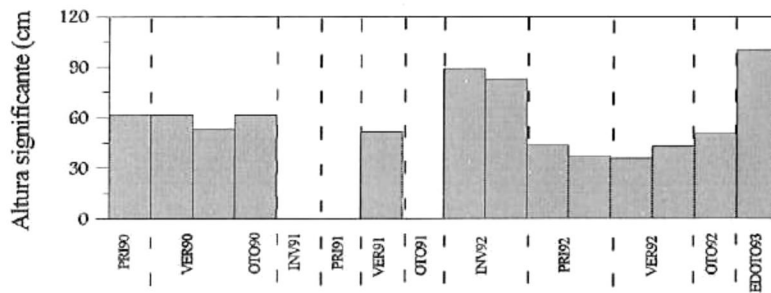


Figura 5.99 Variación temporal de los valores promedio de altura significativa para las diferentes épocas de los años 1990 a 1993, en los sitios Punta Cabras y Eréndira.

Los valores promedio de altura significativa se encontraron entre 36.0 y 100.12 cm, presentándose el valor máximo en la época de otoño de 1993, para el sitio Eréndira, en segundo y tercer lugar la época de invierno de 1992 con 88.80 y 82.90 cm.

En la figura 5.100 se muestra una rosa de olas con la distribución conjunta de alturas y direcciones, correspondiente a la época de invierno de 1992, como un ejemplo del cálculo realizado con los datos contenidos en cada una de las cintas de ambos sitios.

Este análisis muestra que aproximadamente un 56.2 % de las olas medidas en esta época están asociadas a alturas entre 0 y 200 cm y a un ángulo de propagación de 0 grados con dirección este y de éstas, el 26.1 % presentan alturas entre 0 y 50 cm, el 25.6 % entre 50 y 100 cm, el 4.2 % entre 100 y 150 cm y el 0.3 % entre 150 y 200 cm; otro 40.7 % de las olas se encuentra asociado a un ángulo de propagación de 315 grados con dirección sureste con alturas entre 0 y 150 cm, de éstas el 21.2 % entre 0 y 50 cm, el 16.6 % entre 50 y 100 cm y un 2.9 % entre 100 y 150 cm. Por último hay un 2.4 % de las olas asociadas a un ángulo de propagación de 270 grados, con dirección sur, asociado a alturas entre 0 y 50 cm.

En la figura 5.101 se muestra la rosa de olas correspondiente a la distribución conjunta de períodos y direcciones, para la misma época y año en el sitio Punta Cabras. En ella se puede notar que el 56.2 % de los datos están asociado a olas con períodos entre 0 y 24 s y presentan un ángulo de propagación de 0 grados con dirección este, de éstas el 14.7 % se encuentra en un rango de períodos entre 0 y 8 segundos, un 38.6 % entre 8 y 16 segundos y el 2.9 % entre 16 y 24 segundos. Por otra parte el 40.8 % presenta períodos entre 0 y 24 segundos asociados a un ángulo de propagación de 315 grados con dirección sureste, de éstas el 9.0 % están entre 0 y 8 segundos, el 27.7 % entre 8 y 16 segundos y el 4.1 % entre 16 y 24 segundos. Por último existe un 1.8 % asociado a períodos entre 0 y 8 segundos con un ángulo de propagación de 270 grados, que es dirección sur.

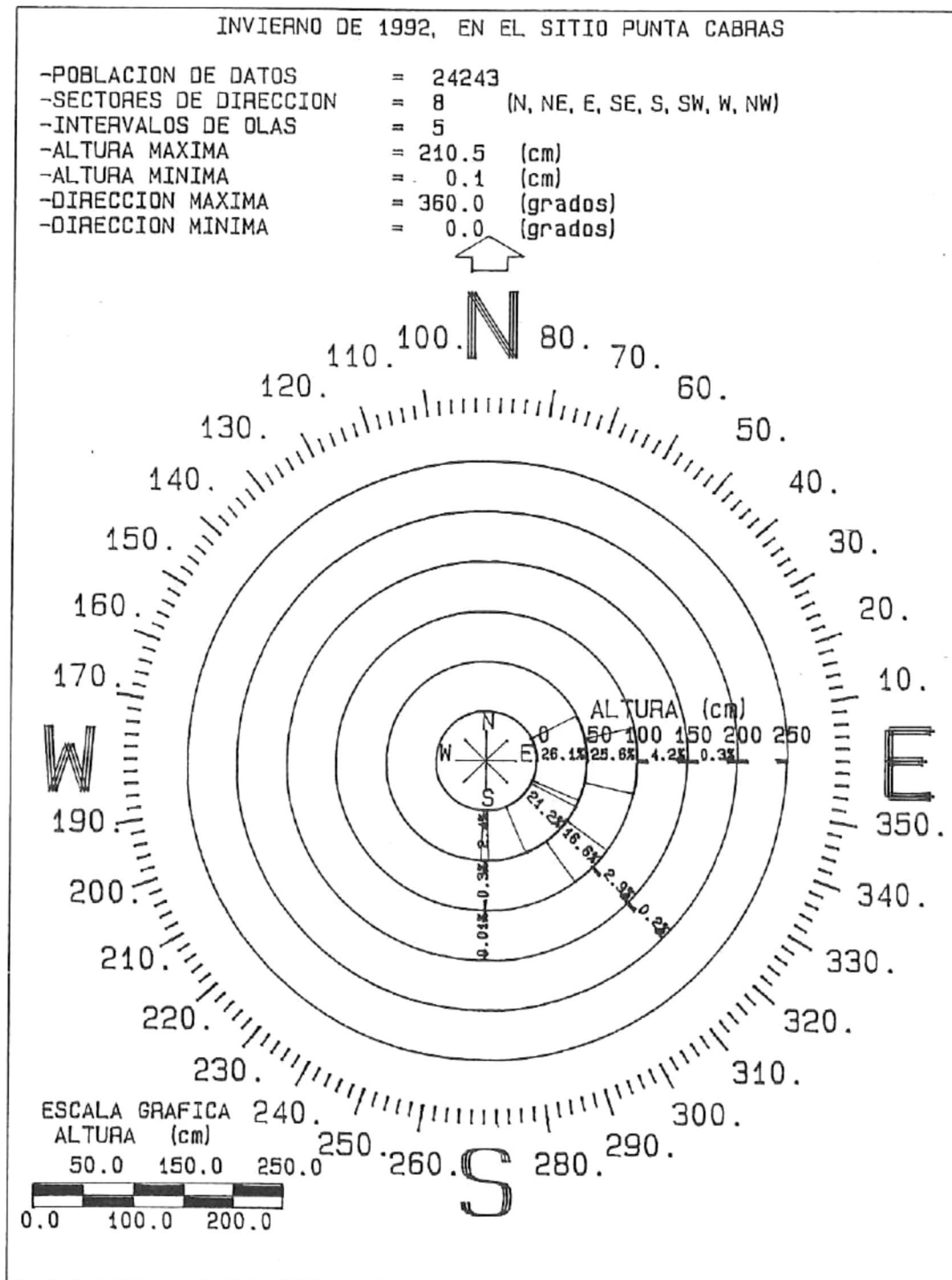


Figura 5.100 Distribución conjunta de alturas y direcciones para la época de invierno de 1992.

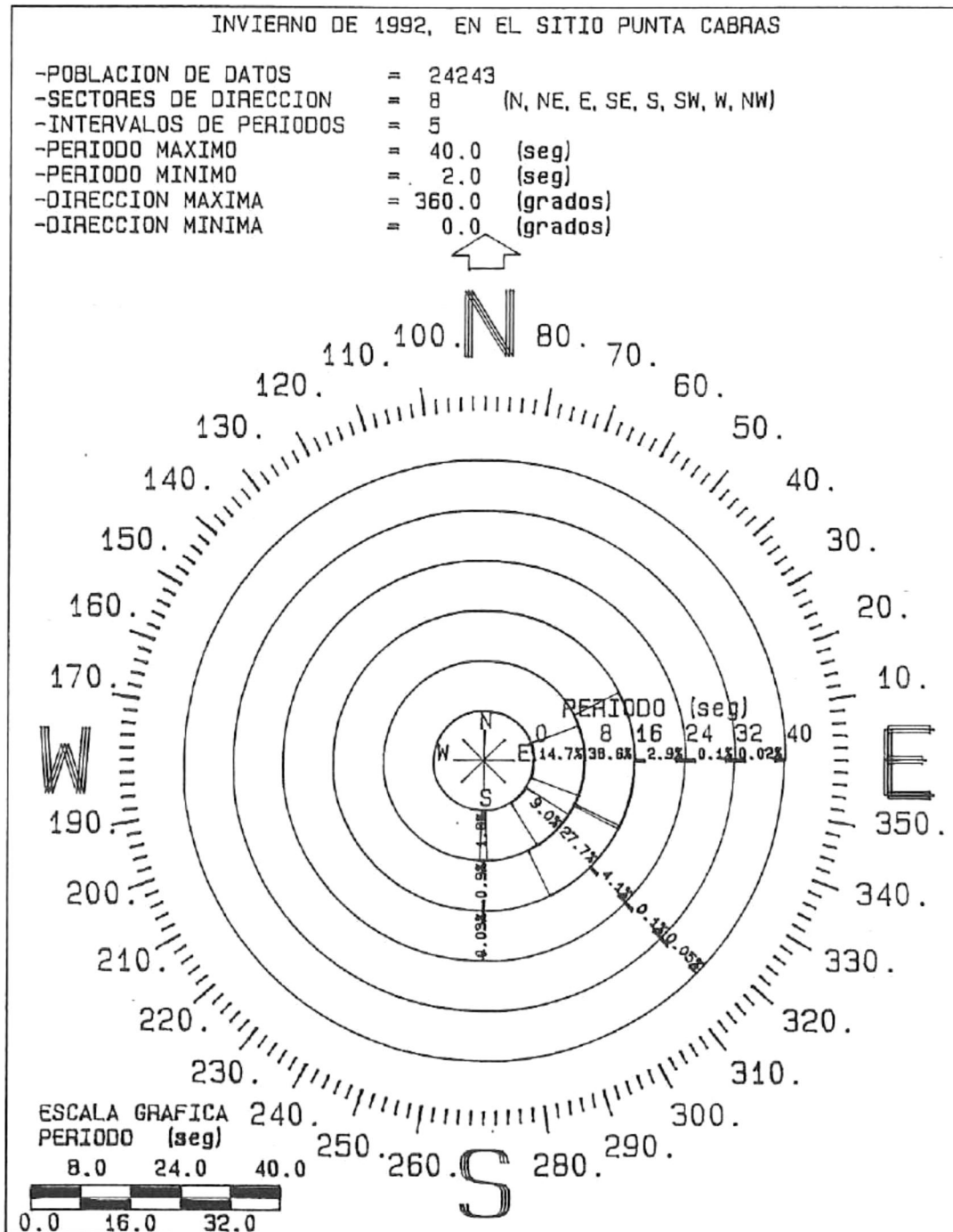


Figura 5.101 Distribución conjunta de periodos y direcciones para la época de invierno de 1992.

5.8.2 Resultados del análisis espectral aplicado a las series de tiempo de los sitios Punta Cabras y Eréndira.

En las figuras 5.102a y 5.102b se presentan los espectros promedio de densidad de energía para las cintas de ambos sitios.

Los espectros de densidad de energía se obtuvieron promediando por bandas de frecuencia cada uno de los espectros calculados para cada ráfaga en cada una de las cintas de los sitios.

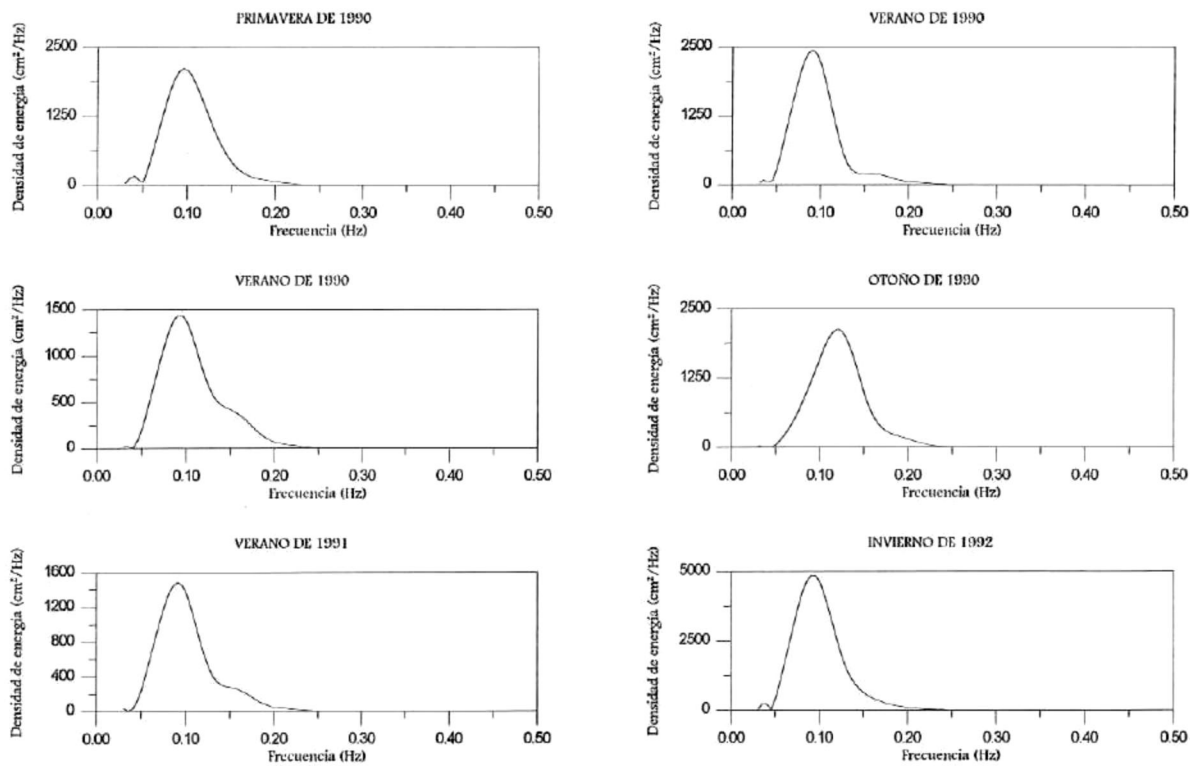


Figura 5.102a Espectros promedio de densidad de energía para las diferentes épocas de los años 1990 a 1993, en los sitios Punta Cabras y Eréndira.

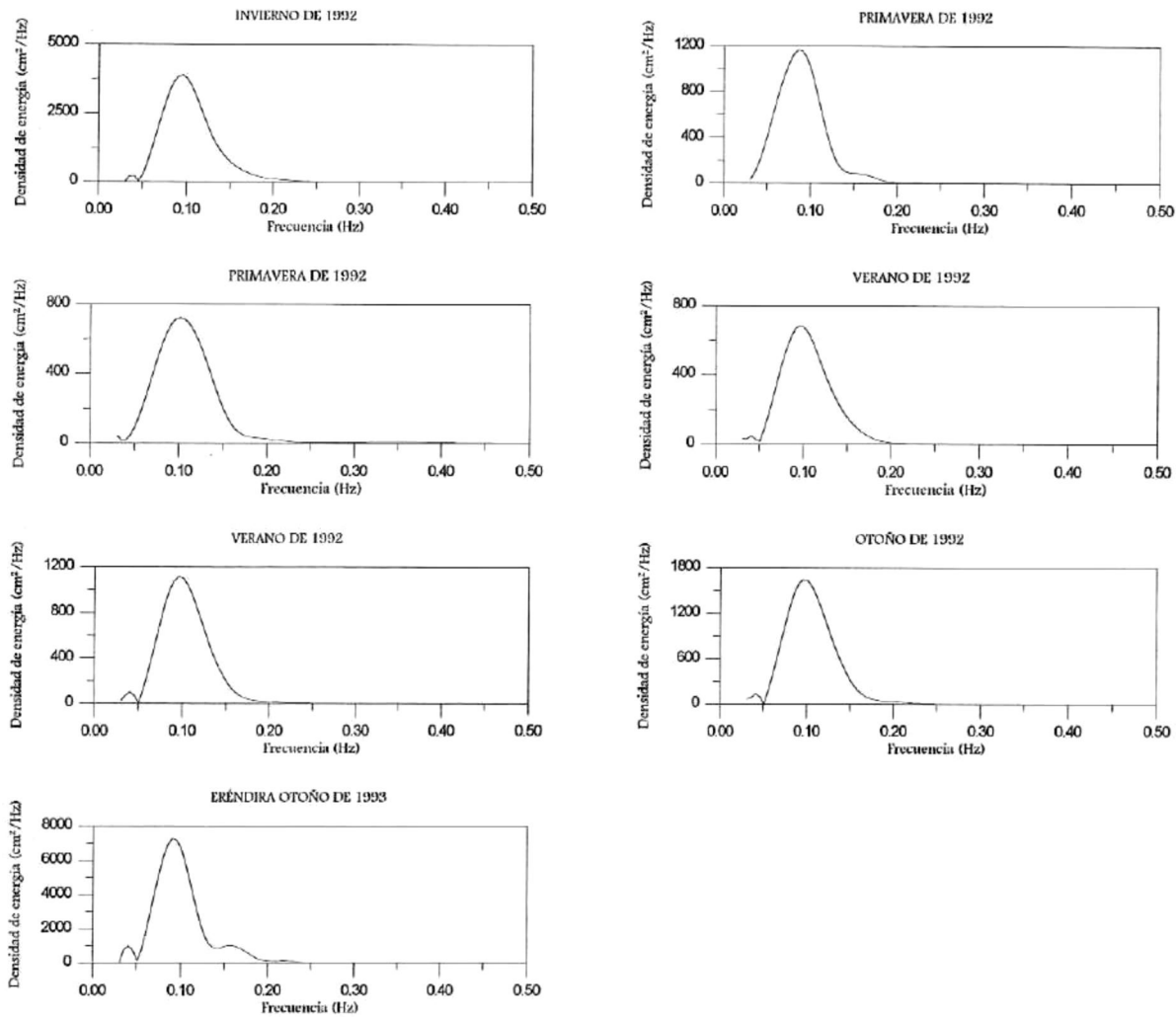


Figura 5.102b Espectros promedio de densidad de energía para las diferentes épocas de los años 1990 a 1993, en los sitios Punta Cabras y Eréndira.

En todos los casos se observa un comportamiento unimodal, ya que predomina la presencia de un solo pico.

En la tabla 5.25 se muestran los valores de frecuencia, período y densidad de energía para cada pico presente en los espectros.

VALORES DE FRECUENCIA, PERÍODO Y DENSIDAD DE ENERGÍA PARA CADA PICO			
Época del año	Frecuencia (Hz)	Período (s)	Energía (cm ² /Hz)
PRI90	0.096	10.41	2113.05
VER90	0.091	10.98	2443.34
VER90	0.091	10.98	1441.23
OTO90	0.121	8.26	2135.02
INV91	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO
PRI91	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO
VER91	0.091	10.98	1486.28
OTO91	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO
INV92	0.091	10.98	4862.44
INV92	0.096	10.41	3878.58
PRI92	0.086	11.62	1165.63
PRI92	0.101	9.90	724.54
VER92	0.096	10.41	687.28
VER92	0.096	10.41	116.64
OTO92	0.096	10.41	1650.26
EDOTO93	0.091	10.98	7284.43

Tabla 5.25 Valores de frecuencia, período y densidad de energía de cada pico que aparece en los espectros de la figura 5.102a Y 5.102b.

En los espectros promedio, los picos máximos de energía están asociados a períodos entre 8.26 y 11.62 segundos (frecuencias de 0.121 y 0.086 Hz), el valor máximo se encontró en el sitio Eréndira para la época de otoño de 1993 con 7284.43 cm²/Hz, con un período de 10.98 segundos, en segundo y tercer lugar la época de invierno de 1992 con 4862.44 y 3878.58 cm²/Hz, con períodos de 10.98 y 10.41 segundos respectivamente.

En las figuras 5.103a y 5.103b se presenta la distribución temporal de los valores pico de densidad de energía, obtenidos para cada ráfaga de cada cinta en los dos sitios.

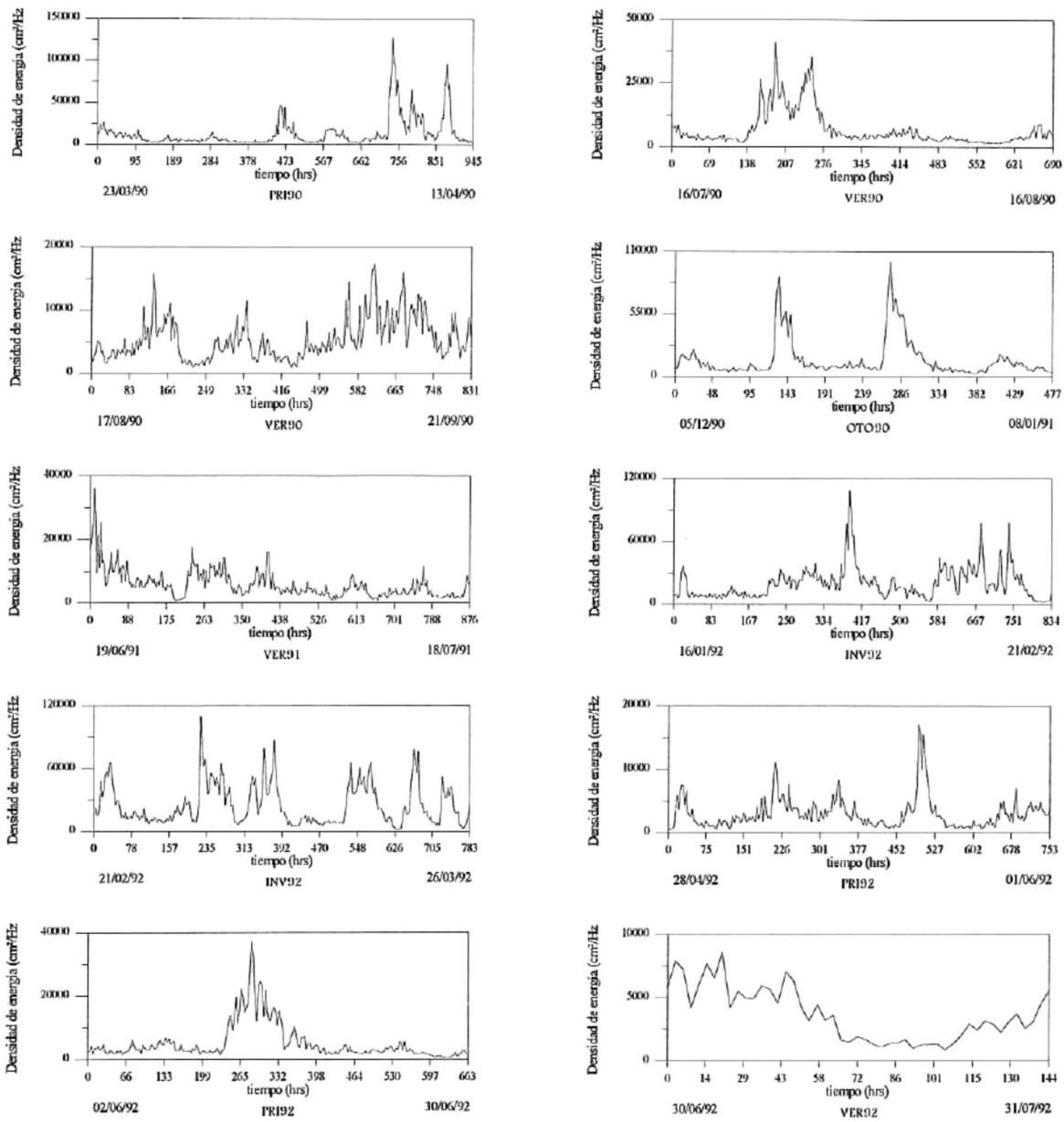


Figura 5.103a Valores pico de densidad de energía para las diferentes épocas de los años 1990 a 1993, en los sitios Punta Cabras y Eréndira.

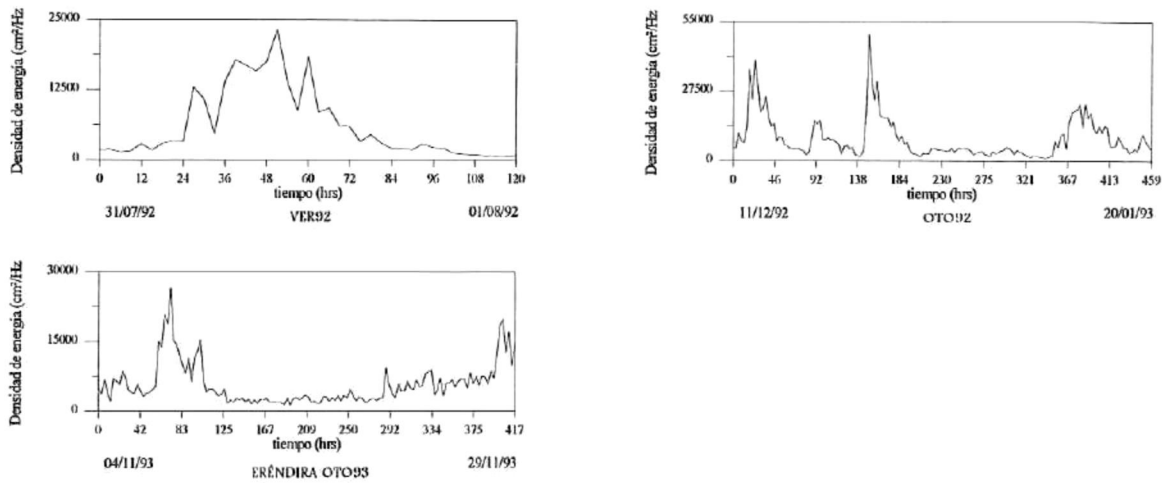


Figura 5.103b Valores pico de densidad de energía para las diferentes épocas de los años 1990 a 1993, en los sitios Punta Cabras y Eréndira.

En la figura 5.104 se presentan los promedios de los valores pico de densidad de energía calculados para todas las ráfagas que constituyen a cada una de las cintas pertenecientes a los dos sitios.

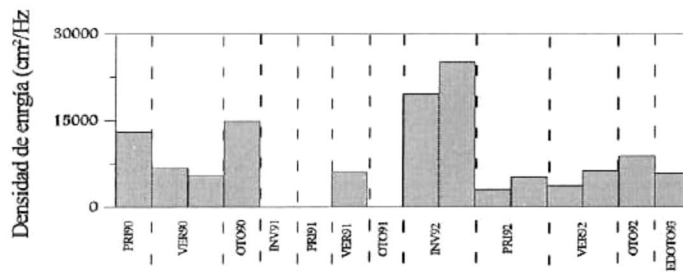


Figura 5.104 Promedios de los valores pico de energía para las diferentes épocas de los años 1990 a 1993, en los sitios Punta Cabras y Eréndira.

En la figura 5.105 se muestra el espectro direccional del oleaje calculado para la época de invierno de 1992, en el sitio Punta Cabras.

Este espectro se presenta como un ejemplo del espectro calculado para cada una de las cintas de los sitios Punta Cabras y Eréndira, con la intención de analizar la relación entre la energía contenida en el oleaje y las diferentes direcciones de propagación del mismo.

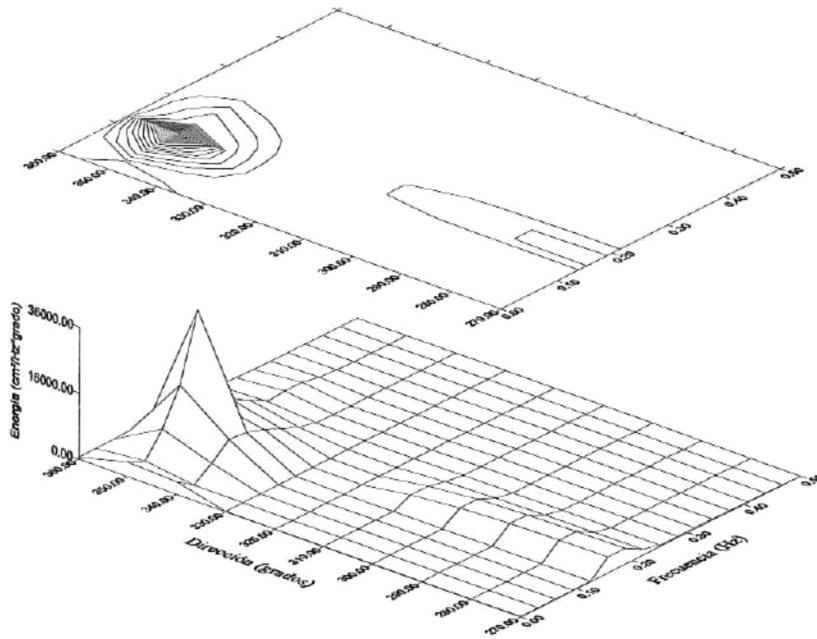


Figura 5.105 Espectro direccional del oleaje para la época de invierno de 1992, en el sitio Punta Cabras.

El espectro direccional muestra que la energía se encuentra asociada a un rango de direcciones entre 270 y 360 grados, abarcando las direcciones sur, sureste y este, asociada también a un rango de frecuencias entre 0.031 y 0.341 Hz (períodos entre 32.25 y 2.9 segundos). El pico máximo de energía se encuentra asociado a un ángulo de propagación de 350 grados, con dirección sureste y a una frecuencia de 0.124 Hz, que corresponde a olas con períodos de 8 segundos.

5.8.3 Resultados del análisis de marea aplicado a las series de tiempo de los sitios Punta Cabras y Eréndira.

En las figuras 5.106 y 5.107 se muestran los mareogramas y sus respectivos espectros de densidad de energía, correspondientes a la época de verano de 1991, en el sitio Punta Cabras y a la época de otoño de 1993, en el sitio Eréndira.

La frecuencia de corte utilizada para calcular ambos espectros fue de 0.16 ciclos/hr. Se escogieron 15 bandas de frecuencia, lo que permitió obtener una resolución espectral de 0.01 ciclos/hr.

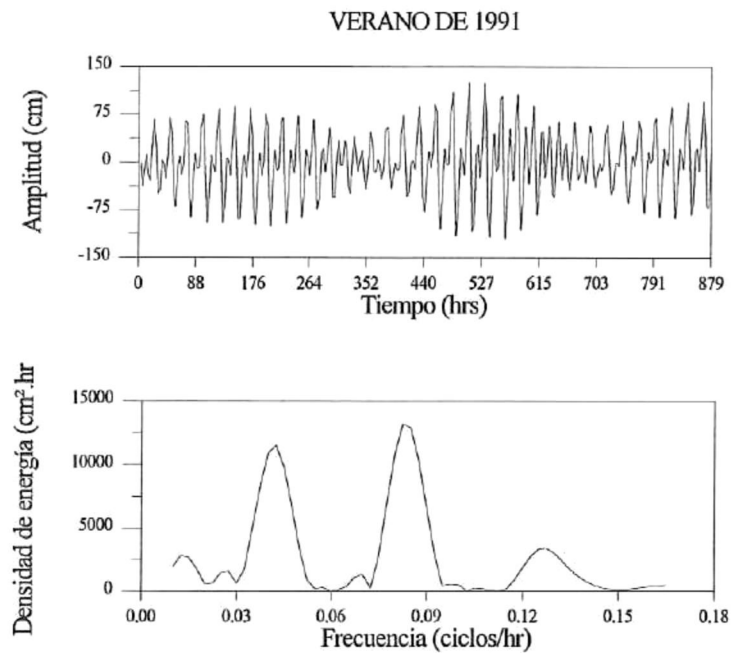


Figura 5.106 Mareograma y su respectivo espectro de densidad de energía correspondiente a la época de verano de 1992, en el sitio Punta Cabras.

En la gráfica se muestra una marea tipo mixta semidiurna que presenta su componente más energética asociada con el período de 12.04 hr (frecuencia de 0.083 ciclos/hr) que es la componente semidiurna, y es ligeramente mayor a la componente diurna con un período de 23.8 hrs (frecuencia de 0.042 ciclos/hora). También se puede apreciar la presencia de un tercer pico mucho más pequeño que los otros, asociado a la frecuencia de 0.1275 ciclos/hora y corresponde a un período de 7.84 horas.

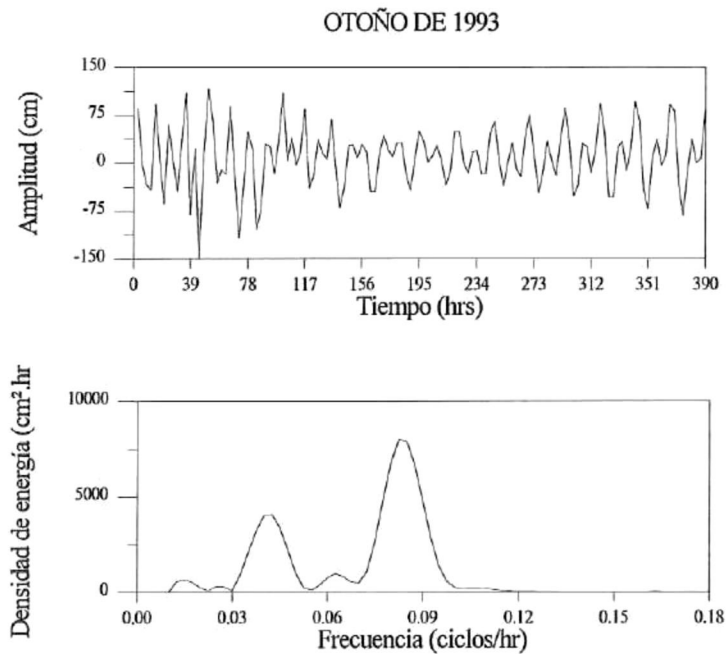


Figura 5.107 Mareograma y su respectivo espectro de densidad de energía correspondiente a la época de otoño de 1993, en el sitio Eréndira.

En esta gráfica se muestra también una marea tipo mixta semidiurna que presenta su componente más energética asociada con el período de 12.04 hr (frecuencia de 0.083 ciclos/hr) que es la componente semidiurna, y es dos veces más grande que la componente diurna con un período de 23.8 hrs (frecuencia de 0.042 ciclos/hora).

5.8.4 Resultados del cálculo de la densidad de probabilidad de amplitudes, períodos y conjunta, para las series de tiempo de los sitios Punta Cabras y Eréndira.

En la figura 5.108 se muestra la distribución de densidad de probabilidad de amplitudes y períodos correspondientes a la época de invierno de 1992, en el sitio Punta Cabras. En ésta se muestra que la densidad de probabilidad pico en amplitudes corresponde a una amplitud de 17 cm, que es una altura de 34 cm, en cuanto a los períodos el pico se encuentra aproximadamente en 12 segundos.

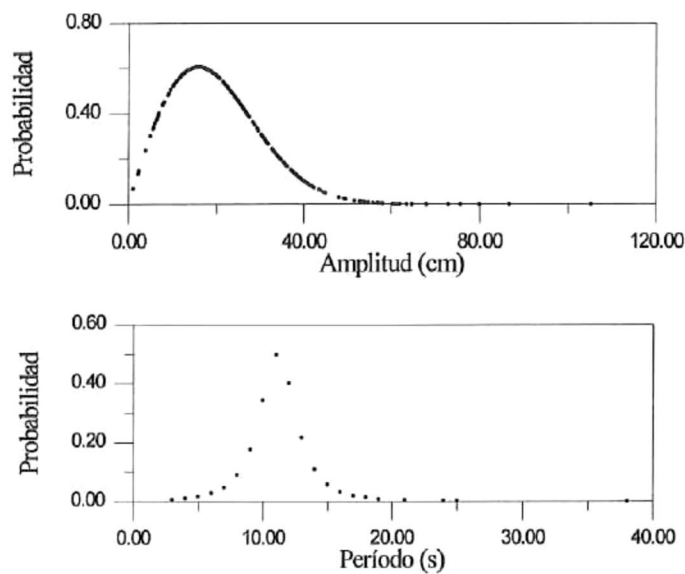


Figura 5.108 Distribución de densidad de probabilidad de amplitudes y períodos para la época de invierno de 1992, en el sitio Punta Cabras.

En la figura 5.109 se muestra la densidad de probabilidad conjunta de amplitudes y períodos para la misma época y año en el sitio Punta Cabras. En ésta se puede notar que la densidad de probabilidad se encuentra concentrada en períodos entre 0 y 25 segundos

y en amplitudes entre 0 y 55 cm (0 y 110 cm de altura). El pico más alto se encuentra asociado a olas con periodos de 10 s y con amplitudes de 20 cm, alturas de 40 cm.

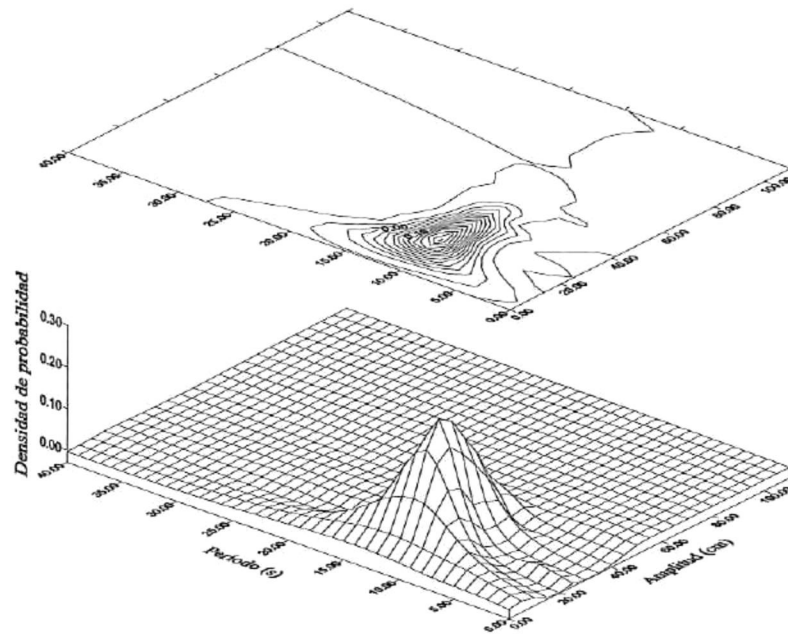


Figura 5.109 Densidad de probabilidad conjunta de amplitudes y periodos para la época de invierno de 1992, en el sitio Punta Cabras.

Capítulo 6

Discusiones.

En forma general el Pacífico Mexicano se encuentra constituido por dos regiones oceanográficas, el Pacífico Nor Oriental y el Pacífico Tropical Oriental, de hecho se puede decir que en México se cuenta además con la zona de transición entre una y otra región. Esta clasificación está basada en las diferencias climáticas que se dan a diferentes latitudes.

Por otra parte los fenómenos que afectan al Océano Pacífico Mexicano pueden diferenciarse por la escala espacio-temporal en la que ocurren, algunos se consideran fenómenos interanuales, con períodos de 3 a 7 años, como lo es el fenómeno El Niño, pero para los fines de este trabajo nos ocuparemos principalmente de los fenómenos de escala estacional, que constituyen por mucho la escala más energética en el Pacífico. Esta escala debe su existencia a la variación anual de la radiación solar que llega a la Tierra. Esta influencia llega al océano en forma de una variación anual de los vientos locales forzantes.

El Pacífico en sus escalas más grandes está controlado principalmente por la posición e intensidad de cuatro centros de presión atmosférica: los centros de alta presión del Pacífico Norte y Sur y los centros de baja presión de Aleutiano y de Indonesia (Baumgartner y Christensen, 1985, citados por Parés et al, 1997). Reacomodos y cambios

de intensidad de estos centros definen las características promedio del viento en el Pacífico.

El comportamiento en el Pacífico Mexicano está considerado como bimodal estacional, presentando dos regímenes: primavera-verano, con vientos predominantes del noroeste y otoño-invierno, con predominancia del sureste.

La magnitud del ciclo anual tiene su máximo a los 48° N decreciendo al norte y sur. La sucesión de estos dos regímenes en el tiempo no es simétrica. Mientras la transición del patrón de primavera-verano al de otoño-invierno es un proceso suave, la transición contraria ocurre de manera abrupta.

Por otra parte Roden (1961) y Stumpf (1975), citados por Trasviña (1997), describen las características climáticas de la parte tropical oriental del Pacífico Mexicano que están dadas por la variabilidad de los vientos a lo largo del año. Durante verano el movimiento hacia el norte de huracanes y tormentas tropicales, genera pulsos de viento que se propagan a lo largo de la costa, mientras que durante el invierno intensos vientos perpendiculares a la costa soplan a través de pasos de montaña del sur de México y América Central. De estos últimos, los ejemplos mejor documentados son los nortes ó Tehuanos que soplan sobre el Golfo de Tehuantepec, éstos son eventos con duración de 3 a 4 días y con una gran penetración al mar.

En los datos procesados para este trabajo se ha detectado el reflejo del comportamiento bimodal estacional de los patrones de viento, discutiremos los resultados encontrados dividiendo los sitios de estudio básicamente en dos zonas, la primera y más importante debido a la gran concentración de datos, está representada por las costas de los estados de Colima, Michoacán y Guerrero; la otra está representada por la costa del estado de Baja California.

En la primera zona se encontró que el comportamiento en general de la dirección de propagación del oleaje coincide en alto grado con el comportamiento del viento ya que en la mayoría de los sitios, el oleaje se propaga en dirección sureste para las épocas de primavera-verano y en dirección noreste para las épocas de otoño-invierno, y esto corresponde adecuadamente a la respuesta del oleaje ante el forzamiento producido por viento proveniente del noroeste y sureste respectivamente.

En cuanto al comportamiento promedio de las alturas, alturas significantes y periodos, los máximos aparecen en las épocas de invierno y primavera. En cuanto al espectro de densidad de energía el comportamiento es igual, presentándose los picos máximos asociados a las épocas de invierno y primavera. En su mayoría presentan un comportamiento bimodal, en el cual el pico más pequeño es varios ordenes de magnitud menor que el pico mayor. Es importante señalar que en el Pacífico Nor Oriental la época de tormentas es en diciembre, por lo que parece lógico encontrar altas energías concentradas en estas épocas y asociadas a bajas frecuencias.

En el caso de los sitios Colmi y La Brisa, los espectros de densidad de energía muestran altas concentraciones de energía para las épocas de verano, es posible que esto esté asociado a eventos meteorológicos como tormentas tropicales o huracanes, pues es importante mencionar que en esta época la incidencia de huracanes en las costas mexicanas es común, basta con mencionar que según las estadísticas de incidencia de huracanes en México del Servicio Meteorológico Nacional, el punto de mayor incidencia de huracanes tropicales en el planeta es Isla Socorro, en el Pacífico Mexicano (información tomada de periódico mural, en el SMN).

Es importante hacer notar que a pesar de que los valores máximos de energía coinciden con la época de huracanes y que éstos se desplazan generalmente con alguna componente hacia el norte, las direcciones de propagación del oleaje en estos sitios

persisten, lo que puede ser un indicador de que debido a la corta duración de estos meteoros, con respecto al comportamiento estacional de los vientos predominantes, solo son aportadores de energía al oleaje, pero no modificadores de la dirección de propagación.

El espectro direccional en la mayoría de los casos revela el comportamiento bimodal, relacionando a las olas que aportan mayor energía durante el período primavera- verano con direcciones de propagación sureste, y durante otoño-invierno con direcciones noreste.

Por su parte el cálculo de la densidad de probabilidad conjunta muestra que el oleaje más común en estas costas es aquel que presenta períodos entre 12 y 15 segundos y es caracterizado como Swell, producto de tormentas distantes (Emery, 1958, citado por Pawka en 1982).

La segunda zona, representada por la costa del estado de Baja California, presenta los valores máximos tanto de alturas como de alturas significantes, asociadas a la época de otoño-invierno, por su parte los períodos presentan comportamientos muy parecidos durante las diferentes épocas del año.

El comportamiento de las direcciones de propagación no concuerda con lo esperado, direcciones noreste durante el invierno y sureste durante el verano, dada la climatología que rige en la zona para estas épocas. Si se observa el comportamiento de los espectros de densidad de energía, se puede notar que éstos son unimodales, y que los picos de energía se encuentran asociados a bajas frecuencias (entre 0.086 y 0.121 Hz.), éstas corresponden a Swell, lo que nos lleva a pensar que el oleaje dominante en esta zona es producto de tormentas en el Pacífico Norte, en donde para la época de invierno, el patrón de vientos predominante es del noroeste, el cual refleja su forzamiento sobre el océano produciendo direcciones sureste de propagación del oleaje.

El análisis espectral refleja que la energía del oleaje es máxima en el período otoño-invierno y es marcada la escasa ocurrencia de eventos meteorológicos extremos en el período primavera-verano, ya que la energía del oleaje de un período a otro es notablemente menor.

La energía del oleaje en esta zona es ligeramente menor que la energía del oleaje en la primera zona descrita, esto probablemente se deba a fenómenos de difracción derivados de la configuración de la línea de costa, que para la primera zona es una saliente donde la energía del oleaje se concentra. Sin embargo, la segunda zona es parte de una larga línea de costa que se extiende desde California, hasta la Baja California Sur y en ésta la energía del oleaje se distribuye en forma más homogénea. También es importante para el aporte de energía la presencia de huracanes en la primera zona, que como se mencionó anteriormente no son tan comunes en la segunda zona.

El espectro direccional del oleaje confirma que para la época de invierno el aporte de mayor energía está dado por olas que se propagan en dirección sureste, y que están asociadas a bajas frecuencias.

El análisis de densidad de probabilidad arroja que las olas más comunes en estas costas están relacionadas también a bajas frecuencias, considerado también como Swell (oleaje distante).

En cuanto al comportamiento de la marea, la primera zona presenta una amplitud de marea mucho menor que la segunda zona, en ambos casos el espectro de densidad de energía muestra comportamiento bimodal, con dos componentes de energía relativamente iguales, pero la energía de la marea en la zona uno es mucho menor que en la zona dos.

Capítulo 7

Conclusiones.

Con base en los estudios de control de calidad, procesamiento y análisis matemáticos descritos en los capítulos anteriores de este documento se concluye que:

1. La calidad del banco de datos de oleaje de las costas del Océano Pacífico mexicano se puede calificar desde dos puntos de vista diferentes; desde el punto de vista de porcentaje de cintas de las que no fue posible recuperar los datos, la calidad es mala ya que solo se pudo recuperar el 55.17 % de las cintas. Pero desde el punto de vista de que éste es un banco de datos único en su tipo, el hecho de haber podido recuperar más del 50 % de los datos a pesar de la edad de las cintas es un resultado bueno.

2. La mejor resolución tanto espacial como temporal se presentó en datos pertenecientes a los sitios La Brisa, Michoacán; Peña Blanca, Colima; Puerto San Juan de Alima, Michoacán y Punta Cabras, Baja California. De éstos, el sitio La Brisa, es el único que presenta una distribución temporal continua en las diferentes épocas del año durante el período de medición.

3. Los valores máximos de altura medidos están entre 245.74 y 585.88 cm. La distribución temporal de dichos valores se dio en la época de invierno para los sitios Peña Blanca en el estado de Colima, Colmi y Puerto en el estado de Michoacán. En la época de

primavera para el sitio Puerto San Juan de Alima en el estado de Michoacán. En la época de verano para los sitios El Morro y El Morro III en el estado de Colima y para el sitio La Brisa en el estado de Michoacán. En la época de otoño para Punta Cabras y Eréndira en el estado de Baja California y para Petacalco en el estado de Guerrero.

4. Los valores promedio de altura calculados se encuentran entre 21.67 y 74.27 cm. La distribución temporal de los valores promedio máximos se dio en la época de invierno para Punta Cabras, Eréndira y Peña Blanca. En la época de primavera para el sitio Puerto. En la época de verano para los sitios El Morro, El Morro III, Colmi, Puerto San Juan de Alima y La Brisa. En la época de otoño para el sitio Petacalco.

5. Los valores máximos medidos de período se encontraron entre 58.0 y 190.0 s y la distribución temporal de éstos fue: para la época de invierno en el sitio Puerto. Para la época de primavera en el sitio Colmi. Para la época de verano en los sitios El Morro, El Morro III, Puerto San Juan de Alima y La brisa. Para la época de otoño para Punta Cabras, Eréndira, Peña Blanca y Petacalco. Estos períodos muy probablemente están asociados con sobreelevaciones del nivel del mar inducidas por Huracanes o Tsunamis.

6. Los valores promedio de período calculados están entre 10.13 y 13.95 s, la distribución temporal de los máximos es: para la época de primavera en los sitios Colmi, puerto y La Brisa; para la época de verano en los sitios Punta Cabras, Eréndira, Peña Blanca, El Morro, El Morro III y Puerto San Juan de Alima; para la época de otoño en el sitio Petacalco.

7. Las direcciones de propagación medidas se encontraron siempre en los rangos comprendidos entre los 270 y 360 grados y entre 0 y 90 grados, recordando que los ángulos se reportaron como ángulos matemáticos en donde 0 ó 360 grados coinciden con el este, 270 grados coincide con el sur y 90 grados coincide con el norte, las olas medidas presentan direcciones norte, noreste, sureste y sur. Estos resultados concuerdan

perfectamente con la física del fenómeno ya que las direcciones indican siempre propagación del oleaje de mar a tierra.

8. El espectro de densidad de energía del oleaje fue bimodal para los sitios Peña Blanca, Colmi, Puerto, Puerto San Juan de Alima y Petacalco, presentándose el pico máximo de energía asociado a períodos pico entre 8.26 y 14.08 s, el pico menor se encuentra asociado a períodos comprendidos entre 3.60 y 6.41 s. Por otra parte el espectro de densidad de energía fue unimodal para los sitios El Morro, El Morro III, La Brisa Punta Cabras y Eréndira, presentando el pico máximo de energía en un rango de períodos entre 8.26 y 12.34 s.

9. El espectro direccional de densidad de energía del oleaje para todos los sitios presenta los máximos de energía asociados a dos rangos de direcciones, con ángulos de incidencia entre 270 y 360 y entre 0 y 90 grados, éstas direcciones a su vez se encuentran asociadas a períodos entre 3.3 y 33.3 s. Los sitios que presentan ángulos entre 270 y 360 grados, con direcciones sur, sureste y este son: Puerto, Puerto San Juan de Alima, Punta Cabras y Eréndira. Para el rango comprendido entre 0 y 90 grados, con direcciones norte, noreste y este los sitios son: Peña Blanca, El Morro III y Petacalco. Por último se encontraron algunos sitios cuyos ángulos medidos se encuentran en los dos rangos, presentando direcciones sureste, este y noreste, los sitios son: El Morro, Colmi y La Brisa.

10. Los resultados del análisis espectral de los datos de marea revelan que para todos los sitios la onda de marea es mixta, en algunos casos semidiurna y en otros diurna. La marea es mixta semidiurna para los sitios: Peña Blanca, El Morro, El Morro III, Petacalco, Puerto, Punta Cabras y Eréndira. La marea es mixta diurna para los sitios: Colmi, Puerto San Juan de Alima y La Brisa.

11. El valor pico de densidad de probabilidad de alturas está en un rango entre 15 y 40 cm. El valor pico de densidad de probabilidad de períodos está entre 11 y 14 s. Por último los picos máximos de densidad de probabilidad conjunta de alturas y períodos están asociados con un rango de períodos entre 0 y 30 s y una altura entre 0 y 110 cm.

Referencias Bibliográficas.

- Barstow, S. and Guddal, J. (1987). A global survey on the need for an application of directional wave information. World Meteorological Organization. WMO/TD-No 209.
- Briham, E. O., The Fast Fourier Transform, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, E.U.A., 1974.
- Cartwright, D. E., y M. S. Longuet-Higgins, The statistical distribution of the maxima of a random function, Proc. R. Soc., A. 237, 212-232, 1956.
- Dean, R. G. and Dalrymple, R. A. (1984). Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists, Prentice - Hall, Inc. Engewood Cliffs, New Jersey 07632.
- Delgado Gonzales, O.E. (1988). Aspectos direccionales del oleaje en San Felipe B. C. Tesis de Maestría, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, 64 pp.
- Donelan, M., Hamilton, J. and Hui, W.H. (1985). Directional spectra of wind-generated waves. Phil. Trans. R. Soc. Lond. A 315:509-562.
- Fuentes Mariles, O.A., Domínguez Mora, R. (1988). Análisis espectral del oleaje. Departamento de Oceanografía, Unidad de Ingeniería Civil, Comisión Federal de Electricidad, 271 pp.
- Goda, Y., Random Seas and Design of Maritime Structures, Univ. Tokyo. Press, Tokyo, Japan, 1985.
- Kisman, B., Wind Waves, their generation and propagation on the ocean surface, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, E.U.A., 1965.
- Lankford, R. (1977). Coastal Lagoons of Mexico, Their Origin and Classification. Estuarine Processes, Vol 2, pp. 182-215.
- Longuet-Higgins, M. S., On the statistical distribution of the heights of sea waves, Jour. Mar. Res., 11(3), 245-266, 1952.
- Longuet-Higgins, M.S., D.E. Cartwright, y N.D. Smith, Observations of the directional spectrum of sea waves using the motions of a floating buoy, Ocean Wave Spectra. Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, E.U.A., 111-136, 1963.
- Longuet-Higgins, M. S., On the joint distribution of the periods and amplitudes of sea waves, J. Geophys. Res., 80(18), 2688-2694, 1975.

- Martínez, D. A. y B. Nava. 1987 a. Sistemas de adquisición, clasificación y análisis de registros del oleaje. UABC, Instituto de Investigaciones Oceanológicas. Rep. Tec. # 83-03. 22 p.
- Martínez, D. A. y B. Nava. 1987 b. Estadística del oleaje en las costas de Baja California. UABC, Instituto de Investigaciones Oceanológicas. Rep. Tec. # 83-04. 51 p.
- Morang, A., Quality Control and Management of Oceanographic Wave-Gage Data, Instruction Report CERC-90-1. Coastal Engineering Research Center. Department of the Army. Waterways Experiment Station. Corp of Engineers. March, 1990.
- Nagata, Y., The statistical properties of orbital wave motions and their application for the measurement of directional spectra, Jour. Oceanogr. Soc. Japan, vol. 19, No. 4, 161-191, 1964.
- Parés, A., López, M., Pavía, E.G., 1997. Oceanografía Física del Océano Pacífico Nororiental, en: M.F. Lavín, Editor, Contribuciones a la Oceanografía Física en México, Monografía No. 3, Unión Geofísica Mexicana, p. 1-24.
- Pawka, S.S., 1982. Wave Directional Characteristics on a Partially Sheltered Coast, Ph. D. Thesis., University of California, San Diego. pp 246.
- Phillips O. 1958. The equilibrium range in the spectrum of wind-generated ocean waves. J. Fluid Mech. 107, 465.
- Sea Data Corporation, Model 635-12 Directional Wave and Tide Recorder. Owner's User Handbook, Boston, U.S.A., 1983.
- Tamayo, J . (1974). Geografía Moderna de México, Editorial Trillas, México, pp 398.
- Trasviña, A., y Barston, E.D., 1997. Los "Nortes" del Golfo de Tehuantepec: la circulación costera inducida por el viento, en: M.F. Lavín, editor, Contribuciones a la Oceanografía Física en México, Monografía No. 3, Unión Geofísica Mexicana, p. 25-46.
- Vidal, F.V., V. M. V.Vidal, J.A. Salinas, L. Zambrano, E. Meza, J. Portilla, A.F. Hernández. (1992). Estudio de Garantía de Calidad de Datos de Olas, Informe IIE/10/13/5009/IO1/F.

El autor de esta tesis, a la fecha de presentación, trabaja para el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), en la Subcoordinación de Tecnología Hidrológica, en la ciudad de Cuernavaca, Morelos.

Paseo Cuauhnahuac No. 8534

col progreso, Jiutepec, Morelos

Tel: (73) 19-40-00 Ext. 525

Fax: (73) 19-43-41

E-mail: foropeza@tajin.imta.mx

dirección particular: Calle Pedregal, conjunto Lirio casa No. 5, Pedregal de las Fuentes, Jiutepec, Morelos.