
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA



FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

***CLIMATOLOGÍA DEL OLEAJE EN COSTAS MEXICANAS
DEL GOLFO DE MÉXICO Y MAR CARIBE***



T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

O C E A N Ó L O G O

PRESENTA

DIEGO EDGAR GARCÍA GÓMEZ

Ensenada, Baja California

Junio de 1998

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

***CLIMATOLOGÍA DEL OLEAJE EN COSTAS MEXICANAS
DEL GOLFO DE MÉXICO Y MAR CARIBE***

TESIS
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
OCEANÓLOGO
PRESENTA
DIEGO EDGAR GARCÍA GÓMEZ

Ensenada, Baja California, Junio de 1988

Resumen

En el presente trabajo se analizan las series de tiempo de un banco de datos de oleaje, recabados por la Comisión Federal de Electricidad (CFE), frente a los sitios de: Altamira y Barra del Tordo, Tamaulipas, Tuxpan y Barra de Cazonos, Veracruz y Xcaret, Quintana Roo, durante periodos que comprenden del 10 de agosto de 1982 al 5 de octubre de 1993.

Este trabajo representa un esfuerzo por caracterizar el oleaje de la costas mexicanas del Golfo de México y Mar Caribe, el cual forma parte de las investigaciones que realiza el Grupo de Estudios Oceanográficos (GEO) del Instituto Politécnico Nacional (IPN).

El análisis realizado involucra la validación de los datos, el cálculo de las propiedades estadísticas, espectrales direccionales y probabilísticas del banco de datos validado, y la interpretación y discusión de estos resultados en el contexto de la meteorología y oceanografía del Golfo de México y Mar Caribe.

De un total de 146 cintas iniciales, correspondientes a los cinco sitios del Golfo de México y Mar Caribe, donde se recabaron los datos, solo fue posible la lectura, transferencia y procesamiento de 73 cintas, correspondiendo al 50 % del total de cintas. Este 50 % de datos procesados presentaron buena calidad.

Los valores promedio de mayor magnitud en las series de tiempo de cada sitio, al igual que los máximos valores registrados de alturas, períodos, alturas significantes y energías, se reportan hacia los meses de invierno y principio de la primavera. Las alturas del oleaje están entre 1.03 cm y 549 cm.

El espectro de densidad de energía del oleaje es bimodal. La energía pico máxima está asociada a olas con períodos de 5 segundos, mientras que la energía pico mínima se asocia a olas con períodos de 20 segundos.

De las cinco estaciones de medición, fue en Xcaret, Quintana Roo, donde se presentaron los valores más bajos de alturas, períodos y densidades de energía.

Los resultados del análisis espectral de los datos de marea revelan un comportamiento mixto diurno para el caso de los sitios: Barra del Tordo, Altamira, Tuxpan y Barra de Cazonos, mientras que el comportamiento de la marea en Xcaret es mixto diurno. Siendo que existen datos de marea reportados en tablas de marea en algunas de las localidades analizadas en este trabajo, estos resultados se reportan con la intención de corroborar la confiabilidad de los datos de oleaje.

**CLIMATOLOGÍA DEL OLEAJE EN COSTAS MEXICANAS
DEL GOLFO DE MÉXICO Y MAR CARIBE**


TESIS QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

OCEANÓLOGO

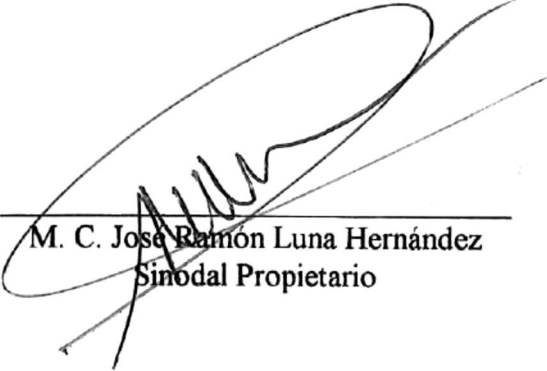
PRESENTA

DIEGO EDGAR GARCIA GOMEZ


APROBADO POR:



Dr. Francisco Vicente-Vidal Lorandi
Presidente del Jurado



M. C. José Ramón Luna Hernández
Sinodal Propietario



M. C. Sergio I. Larios Castillo
Sinodal Propietario

Dedicatoria

A Dios, por estar siempre a mi lado.

A la memoria de mi abuela, por el gran legado que ha dejado en mi familia.

A mis padres, por darme la vida y por su ejemplo constante de lucha por la vida. Con todo mi amor y respeto.

A mis hermanas, por tantos momentos que hemos compartido juntos y por su apoyo incondicional.

A la vida, por darme la libertad de ser.

A los océanos.

Agradecimientos

A los Doctores Francisco y Víctor Vicente-Vidal Lorandi, por la dirección de este trabajo y por el apoyo incondicional para la realización del mismo.

Al Instituto de Investigaciones Eléctricas, por las facilidades otorgadas para la realización de este trabajo.

A la Universidad Autónoma de Baja California y a la Facultad de Ciencias Marinas. A todos y cada uno de los profesores que en algún momento de mi vida contribuyeron en mi formación.

Un agradecimiento muy especial para: Cuauhtémoc Turrent Thompson, Daniel Ortiz Viveros y J. Jesús Morales de los Santos, por compartir conmigo tantos momentos inolvidables, por permitirme ser su amigo y por brindarme su amistad, por apoyarme siempre en momentos difíciles y nunca dejarme solo. Creo que la amistad que Dios nos ha permitido vivir no terminará nunca, porque amigos como ustedes son para toda la vida.

De igual forma quiero agradecer profundamente a mis compañeros: Luis Plata, Juan Carlos Leal, Gerardo García y José María Beltrán, por todo el apoyo otorgado durante los últimos años de la carrera.

A mis compañeros y compañeras: Berenice, Cecilia, Diego, Erika, Flor, Gerardo, Gilberto, Héctor, Katia, Liza, Oscar, Raquel, René, y a toda la generación de los "Snorkels"

A Fernando Oropeza y a su esposa Mónica, por la disposición y apoyo otorgados para este trabajo.

A los miembros del Grupo de Estudios Oceanográficos, del Instituto Politécnico Nacional, por sus valiosos comentarios y aportaciones, y por permitirme formar parte de su Grupo.

Quiero agradecer profundamente a Linda María Martínez, por tener siempre una palabra de aliento para mí, por estar siempre presente, por compartir conmigo mucho, por ser una persona muy especial y por poseer el corazón más maravilloso que he conocido. Con todo mi corazón, gracias.

Índice

Resumen.	1
Dedicatoria	I
Agradecimientos	II
Lista de Tablas	III
Lista de Figuras	IV
Lista de Gráficas	V
1. Introducción.	2
1.1 Antecedentes	3
1.2 Objetivos de estudio	4
1.3 Localización geográfica de las zonas de estudio	6
1.4 Características del oleaje	7
1.5 Importancia de conocer el oleaje	9
1.6 Oleaje y sus efectos	10
2. Características de la instrumentación y formato de grabación de los datos.	11
2.1 Características de la instrumentación y formato de grabación	
(1) Ológrafo Sea Data, modelo 635-12	11
(a) Sensor de presión	11
(b) Correntímetro electromagnético	11
(c) Brújula	12
(2) Lectora de cintas magnéticas	15
(3) Interfase de lectura asíncrona	16
(4) Terminal de Windows	17
3. Metodología	18
3.1 Lectura y transferencia de los datos a la memoria de la computadora y a los respaldos en cintas milimétricas	18
3.2 Identificación y corrección de errores de los registros de datos hexadecimales	18
3.2.1 Segmenta	21
3.2.2 Corrige	21
3.3 Análisis de garantía de calidad de los datos	22
3.4 Conversión de los datos hexadecimales a decimales	26
3.4.1 Conversión del número de cuentas del sensor de presión a frecuencias	27

3.4.2 Conversión de frecuencias del sensor de presión a milibares	27
3.4.3 Conversión de las cuentas del reloj a horas	29
3.4.4 Conversión de las cuentas del compás a grados	29
3.4.5 Conversión de los datos hexadecimales de las componentes horizontales de velocidad u y v a decimales en unidades de cm s^{-1}	30
3.5 Identificación y corrección de los valores disparados en los archivos de datos en los archivos de datos decimales	31
3.6 Análisis matemático estadístico	
3.6.1 Eliminación de tendencias lineales o alineales de las series de tiempo	32
3.6.2 Cálculo del nivel medio del mar de los registros de oleaje	34
3.6.3 Análisis de cruces por cero	36
3.6.4 Cálculo de las direcciones del oleaje	36
3.7 Análisis espectral	37
3.7.1 Espectro direccional	41
3.8 Análisis de densidad de probabilidad	43
4. Resultados	
4.1 Calidad de los datos	45
4.2 Barra del Tordo, Tamaulipas. Análisis matemático estadístico	
4.2.1 Alturas	51
4.2.2 Períodos	54
4.2.3 Direcciones	60
4.2.4 Distribuciones conjuntas	61
4.3 Barra del Tordo, Tamaulipas. Análisis espectral	
4.3.1 Alturas significantes y densidad de energía	64
4.3.2 Mareas	69
4.3.3 Análisis de densidad de probabilidad	69
4.4 Altamira, Tamaulipas. Análisis matemático estadístico	
4.4.1 Alturas	78
4.4.2 Períodos	81
4.4.3 Direcciones	84
4.4.4 Distribuciones conjuntas	86
4.5 Altamira, Tamaulipas. Análisis espectral	
4.5.1 Alturas significantes y densidad de energía	90
4.5.2 Mareas	92
4.5.3 Análisis de densidad de probabilidad	92

4.6 Tuxpan, Veracruz. Análisis matemático estadístico	
4.6.1 Alturas	99
4.6.2 Períodos	102
4.6.3 Direcciones	105
4.6.4 Distribuciones conjuntas	107
4.7 Tuxpan, Veracruz. Análisis espectral	
4.7.1 Alturas significantes y densidad de energía	110
4.7.2 Mareas	111
4.7.3 Análisis de densidad de probabilidad	112
4.8 Barra de Cazones. Análisis matemático estadístico	
4.8.1 Alturas	118
4.8.2 Períodos	121
4.8.3 Direcciones	126
4.8.4 Distribución conjunta	129
4.9 Barra de Cazones, Veracruz. Análisis espectral	
4.9.1 Alturas significantes y densidad de energía	132
4.9.2 Mareas	134
4.9.3 Análisis de densidad de probabilidad	134
4.10 Xcaret, Quintana Roo	
4.10.1 Alturas	139
4.10.2 Períodos	143
4.10.3 Direcciones	148
4.10.4 Distribución conjunta	150
4.11 Barra de Cazones, Veracruz. Análisis espectral	
4.11.1 Densidad de energía	154
4.11.2 Mareas	154
4.11.3 Análisis de densidad de probabilidad	155
5. Discusión	159
6. Conclusión	162
Bibliografía	

Lista de tablas

1. Introducción

Tabla 1.1	Períodos de medición de cada sitio	5
1.2	Localización geográfica de las zonas de estudio	6

2. Características de la instrumentación y formato de grabación de los datos.

Tabla 2.1	Formato de grabación de los datos en modo marea	13
-----------	---	----

4. Resultados

Tabla 4.1	Estadística de la calidad de los datos de oleaje después de la primera etapa	46
4.2	Estadística de la calidad de los datos del sitio, Barra del Tordo, Tamps	47
4.3	Estadística de la calidad de los datos del sitio, Altamira, Tamps	48
4.4a	Estadística de la calidad de los datos del sitio, Barra de Cazones, Ver	48
4.4b	Estadística de la calidad de los datos del sitio, Barra de Cazones, Ver	49
4.5	Estadística de la calidad de los datos del sitio, Tuxpan, Ver	49
4.6a	Estadística de la calidad de los datos del sitio, Xcaret, Quintana Roo	50
4.6b	Estadística de la calidad de los datos del sitio, Xcaret, Quintana Roo	50

Barra del Tordo, Tamaulipas.

Tabla 4.7	Estadística de los datos de altura, para las diferentes épocas del año 1991	52
4.8	Momentos estadísticos de alturas	52
4.9	Estadística de los datos de períodos, para las diferentes épocas del año 1991	55
4.10	Momentos estadísticos de períodos	56
4.11	Valores promedio de alturas, períodos y direcciones, para las diferentes épocas de los años 1990, 1991, 1992 y 1993	58
4.12	Valores Máximos registrados de alturas, períodos y direcciones, para las diferentes épocas de los años 1990, 1991, 1992 y 1993	59
4.13	Estadística de los datos de direcciones, para las diferentes épocas del año 1991	61
4.14	Momentos estadísticos de direcciones	62
4.15	Probabilidades de ocurrencia del 60, 40, 20 % y menores al 3 % de alturas y períodos	77

Altamira, Tamaulipas.

Tabla 4.16	Momentos estadísticos de alturas	79
4.17	Momentos estadísticos de períodos	82
4.18	Valores promedio de alturas, períodos y direcciones para las diferentes épocas de los años 1991 y 1992	84
4.19	Valores máximos registrados de alturas, períodos y direcciones para las diferentes épocas de los años 1991 y 1992	84
4.20	Momentos estadísticos de direcciones	87
4.21	Probabilidades de ocurrencia del 60, 40, 20 % y menores al 3 % de alturas y períodos	98

Tuxpan, Veracruz.

Tabla 4.22	Momentos estadísticos de alturas	100
4.23	Momentos estadísticos de períodos	103
4.24	Valores promedio de alturas, períodos y direcciones para las diferentes épocas de los años 1982 y 1983	104
4.25	Valores máximos registrados de alturas, períodos y direcciones para las diferentes épocas de los años 1982 y 1983	105
4.26	Momentos estadísticos de direcciones	107
4.27	Probabilidades de ocurrencia del 60, 40, 20 % y menores del 3 % de alturas y períodos	117

Barra de Cazonas, Veracruz.

Tabla 4.28	Momentos estadísticos de alturas	120
4.29	Momentos estadísticos de períodos	124
4.30	Valores promedio de: alturas, períodos y direcciones para las diferentes épocas de los años 1987, 1988 y 1989	125
4.31	Valores máximos registrados de: alturas, períodos y direcciones para las diferentes épocas de los años 1987, 1988 y 1989	126
4.32	Momentos estadísticos de direcciones	129
4.33	Probabilidades de ocurrencia del 60, 40, 20 % y menores al 3 % de alturas y períodos	138

Xcaret, Quintana Roo.

Tabla 4.34	Momentos estadísticos de alturas	141
4.35	Momentos estadísticos de períodos	145
4.36	Valores promedio de: alturas, períodos y direcciones para las diferentes épocas de los años 1982 y 1983	147
4.37	Valores máximos registrados de: alturas, períodos y direcciones para las diferentes épocas de los años 1982 y 1983	147
4.38	Momentos estadísticos de direcciones	151

4.39	Probabilidades de ocurrencia del 60, 40, 20 % y menores al 3 % de alturas y períodos	158
------	--	-----

Lista de figuras

1. Introducción

Figura 1.1	Localización geográfica de las zonas de estudio	6
1.2	Serie de tiempo de la superficie del océano, referida a cero	7
1.3	Onda senosoidal característica	8
1.4	Clasificación de las ondas oceánicas de acuerdo a su período (Munk, 1951)	8
Figura 2.1	Estación registradora de oleaje	12
2.2	Formato de grabación de datos, registrados con ológrafos Sea Data 635-12 operando en modo marea	13
2.3	Formato de grabación de datos, registrados con ológrafos Sea Data 635-12 operando en modo ráfaga	14
2.4	Formato en hexadecimal de los datos	15
2.5	Lectora de cintas magnéticas Sea Data, modelo 12B	16
2.6	Interfase de lectura asíncrona	17

3. Metodología

Figura 3.1	Diagrama de flujo de la transferencia de los datos	19
3.2	Diagrama de flujo del procesamiento y análisis de datos de oleaje	28
3.3	Series de tiempo no corregidas de presiones, velocidades u y v	32
3.4	Series de tiempo corregidas de presiones, velocidades u y v	33
3.5 a y b	Series de tiempo de elevaciones, no referidas al nivel medio del mar (a) y con los datos referidos al nivel medio del mar (b)	35

Lista de gráficas

4. Resultados

Barra del Tordo, Tamaulipas.

Gráfica 4.1	Histogramas de alturas, para las diferentes épocas del año 1991	51
4.2	Alturas promedio, para las diferentes épocas de los años 1990, 1991, 1992 y 1993	53
4.3	Alturas máximas registradas, para las diferentes épocas de los años 1990, 1991, 1992 y 1993	54
4.4	Histogramas de períodos, para las diferentes épocas del año 1991	55
4.5	Períodos promedio, para las diferentes épocas de los años 1990, 1991, 1992 y 1993	57
4.6	Períodos máximos registrados, para las diferente épocas de los años 1990, 1991, 1992 y 1993	57
4.7	Histogramas de direcciones, para las diferentes épocas del años 1991 ...	60
4.8	Direcciones promedio, para las diferentes épocas de los años 1990, 1991, 1992 y 1993	61
4.9	Distribución conjunta de alturas y direcciones de la serie de tiempo 2 ..	63
4.10	Distribución conjunta de períodos y direcciones de la serie de tiempo 2	65
4.11	Alturas significantes, para las diferentes épocas de los años 1990, 1991, 1992 y 1993	66
4.12	Valores pico de densidad de energía, para las diferentes épocas de los años 1990, 1991, 1992 y 1993	70
4.13	Espectros de densidad de energía, para las diferentes épocas de los años 1990 y 1991	72
4.14	Mareogramas y sus correspondientes espectros de densidad de energía, para las diferentes épocas del año 1991	73
4.15	Distribuciones de densidad de probabilidad de amplitudes y períodos de olas correspondientes a la serie 28 del sitio	76

Altamira, Tamaulipas.

Gráfica 4.16	Histogramas de alturas, para las diferentes épocas de los años 1991 y 1992	78
4.17	Alturas promedio, para las diferentes épocas de los años 1991 y 1992	80
4.18	Alturas máximas registradas, para las diferentes épocas de los años 1991 y 1992	80
4.19	Histogramas de períodos, para las diferentes épocas de los años 1991 y 1992	81

4.20	Períodos promedio, para las diferentes épocas de los años 1991 y 1992	83
4.21	Períodos máximos registrados, para las diferentes épocas de los años 1991 y 1992	83
4.22	Histogramas de direcciones, para las diferentes épocas de los años 1991 y 1992	85
4.23	Direcciones promedio, para las diferentes épocas de los años 1991 y 1992	86
4.24	Distribución conjunta de alturas y direcciones de la serie de tiempo 5 ..	88
4.25	Distribución conjunta de períodos y direcciones de la serie de tiempo 5	89
4.26	Alturas significantes, para las diferentes épocas de los años 1991 y 1992	90
4.27	Valores pico de densidad de energía, para las diferentes épocas de los años 1991 y 1992	93
4.28	Mareogramas y sus correspondientes espectros de densidad de energía para las diferentes épocas de los años 1991 y 1992	94

Tuxpan, Veracruz.

Gráfica 4.29	Histogramas de alturas, para las diferentes épocas de los años 1982 y 1983	99
4.30	Alturas promedio, para las diferentes épocas de los años 1982 y 1983 ...	101
4.31	Alturas máximas registradas, para las diferentes épocas de los años 1982 y 1983	101
4.32	Histogramas de períodos, para las diferentes épocas de los años 1982 y 1983	102
4.33	Períodos promedio, para las diferentes épocas de los años 1982 y 1983 .	104
4.34	Períodos máximos registrados, para las diferentes épocas de los años 1982 y 1983	104
4.35	Histogramas de direcciones, para las diferentes épocas de los años 1982 y 1983	105
4.36	Direcciones promedio, para las diferentes épocas de los años 1982 y 1983	106
4.37	Distribución conjunta de alturas y direcciones de la serie de tiempo 11 .	108
4.38	Distribución conjunta de períodos y direcciones de la serie de tiempo 11	109
4.39	Alturas significantes, para las diferentes épocas de los años 1982 y 1983	110
4.40	Valores pico de densidad de energía, para las diferentes épocas de los años 1982 y 1983	112
4.41	Mareogramas y sus correspondientes espectros de densidad de energía, para las diferentes épocas de los años 1982 y 1983	113

Barra de Cazones, Veracruz.

Gráfica 4.42	Histogramas de alturas, para las diferentes épocas de los años 1987, 1988 y 1989.....	118
4.43	Alturas promedio, para las diferentes épocas de los años 1987, 1988 y 1989	121
4.44	Alturas máximas registradas, para las diferentes épocas de los años 1987, 1988 y 1989	121
4.45	Histogramas de periodos, para las diferentes épocas de los años 1987, 1988 y 1989	122
4.46	Períodos promedio, para las diferentes épocas de los años 1987, 1988 y 1989	124
4.47	Períodos máximos registrados, para las diferentes épocas de los años 1987, 1988 y 1989	125
4.48	Histogramas de direcciones, para las diferentes épocas de los años 1987, 1988 y 1989	126
4.49	Direcciones promedio, para las diferentes épocas de los años 1987, 1988 y 1989	128
4.50	Distribución conjunta de alturas y direcciones de la serie de tiempo 13 ..	130
4.51	Distribución conjunta de periodos y direcciones de la serie de tiempo 13	131
4.52	Alturas significantes, para las diferentes épocas de los años 1987, 1988 y 1989	133
4.53	Valores pico de densidad de energía, para las diferentes épocas de los años 1987, 1988 y 1989	134
4.54	Mareogramas y sus correspondientes espectros de densidad de energía, para las diferentes épocas de los años 1987, 1988 y 1989	136

Xcaret, Quintana Roo.

Gráfica 4.55	Histogramas de alturas, para las diferentes épocas de los años 1982 y 1983	139
4.56	Alturas promedio, para las diferentes épocas de los años 1982 y 1983 ..	142
4.57	Alturas máximas registradas, para las diferentes épocas de los años 1982 y 1983	142
4.58	Histogramas de periodos, para las diferentes épocas de los años 1982 y 1983	143
4.59	Períodos promedio, para las diferentes épocas de los años 1982 y 1983 ..	146
4.60	Períodos máximos registrados, para las diferentes épocas de los años 1982 y 1983	146
4.61	Histogramas de direcciones, para las diferentes épocas de los años 1982 y 1983	148
4.62	Direcciones promedio, para las diferentes épocas de los años 1982 y 1983	150
4.63	Distribución conjunta de alturas y direcciones de la serie de tiempo 10a	152

4.64	Distribución conjunta de períodos y direcciones de la serie de tiempo 10a	153
4.65	Valores pico de densidad de energía, para las diferentes épocas de los años 1982 y 1983	155
4.66	Mareogramas y sus correspondientes espectros de densidad de energía, para las diferentes épocas de los años 1982 y 1983	157

I. Introducción

El oleaje, uno de los fenómenos hidrodinámicos que ocurre en el océano principalmente como consecuencia del forzamiento del viento sobre su superficie, ha sido en los últimos años, motivo de estudios tanto científicos como técnicos, ya que actúa directamente en los procesos costeros cambiando la morfología de la costa e interactuando con todo tipo de estructuras ingenieriles que en ella se emplazan.

Un gran número de los estudios realizados sobre oleaje se enfocan al análisis de como el oleaje disipa su energía en la costa, ya que en este momento se generan diferentes fenómenos asociados con el oleaje como: corrientes litorales, transporte de sedimento a lo largo y ancho de la costa, erosión o azolve sobre cualquier estructura ingenieril, etc. (Padilla, 1989).

Debido a estos fenómenos, al emplazar cualquier tipo de estructura ingenieril costera, tal como: espigones, rompeolas, escolleras, muelles, dársenas, centrales de potencia, entre otras, se debe contar con bases de datos confiables de las características principales del oleaje. La energía contenida en el oleaje es una de las características más importantes a determinar en este tipo de estudios, ya que en base a ella, se calculan los esfuerzos a los que estarán sujetas las estructuras.

La información obtenida en los estudios sobre las características del oleaje, es de fundamental importancia para el diseño y cálculo de las estructuras. Sin embargo, para que esta información pueda ser utilizada confiablemente, resulta indispensable llevar un control estricto de su calidad, así como de su procesamiento y análisis (F.Vidal, et.al, 1992).

Para el caso particular de este trabajo, los datos analizados fueron recabados por personal de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y en la Tabla 1.1 se reportan los sitios y periodos de medición. Las profundidades a las que se instalaron los ológrafos, fueron 11 metros en Altamira, 12 metros en Barra del Tordo, 11 metros en Tuxpan, 7.5 metros en Barra de Cazones y 15 metros en Xcaret.

En este trabajo se presenta el análisis de la calidad de los datos. Además, se reportan las máximas alturas del oleaje, alturas significantes, distribuciones conjuntas de alturas y direcciones, distribuciones conjuntas de períodos y direcciones, espectros de densidad de energía, valores pico de densidad de energía, mareogramas y sus correspondientes espectros de densidad de energía, distribución de densidad de probabilidad de alturas y períodos. Esto para cada sitio y para las diferentes épocas del año.

1.1 Antecedentes

A pesar de la importancia de conocer el oleaje que arriba a nuestras costas, en México se han realizado pocos estudios que describen la climatología del oleaje del litoral mexicano. Los estados de Baja California son de los pocos en donde se realizan este tipo de estudios, gracias a que ahí se localizan el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (**CICESE**) y el Instituto de Investigaciones Oceanológicas (**IIO**) de la Universidad Autónoma de Baja California (**UABC**).

En marzo de 1978, personal del **CICESE**, iniciaron un estudio piloto para recabar datos de oleaje en localidades clave a lo largo de la costa de Baja California. Las estaciones de medición fueron ubicadas en: Ensenada, San Quintín e Isla de Cedros, y el objetivo principal de este programa fue diseñar una red prototipo operable capaz de proveer datos que fueran de máxima utilidad para el desarrollo costero de Baja California (Plaisted O. R. y Ocampo T. F., 1979).

En agosto de 1986, personal del **IIO**, iniciaron un par de proyectos intitulados: “Sistema de adquisición, clasificación y análisis de registros del oleaje” y “Estadísticas del oleaje en las costas de Baja California” (Martínez y Nava, 1987 a y b). “El comportamiento del oleaje en las costas de Baja California y el Mar de Cortés” y “Climatología del oleaje y dinámica de las costas de Baja California” también forman parte de los proyectos realizados por personal del **IIO** para los mismos fines.

Los proyectos antes mencionados son reportados mensualmente en informes que resumen las principales características del oleaje. Esta información contiene: altura máxima, altura promedio, altura significativa, altura un décimo, raíz cuadrática media, variancia, período de cruces por cero, altura significativa espectral, período espectral,

período del pico espectral, período promedio espectral de los cruces por cero, período promedio de las crestas, ancho de banda espectral y amplitud del pico espectral (Martínez y Nava, 1987 a y b, Reportes Técnicos).

La CFE, desde 1982, cuenta con una red de estaciones de medición de oleaje en diferentes localidades del Golfo de México. El objetivo principal del estudio fue la selección de sitios y licenciamiento de centrales nucleares en el Golfo de México, extendiéndose el estudio hasta localidades en el Pacífico y Caribe mexicanos. Sin embargo, para el caso del Golfo de México, estos estudios han sido insuficientes, por lo que aun no contamos con un banco de datos confiable para esta importante región. De aquí la preocupación y urgencia por la realización del presente trabajo.

En 1995 Gutiérrez de Velasco y Winant, publican en su artículo intitulado: “Wind Stress and Wind Stress Curl Patterns over the Gulf of Mexico Based on Station Observations, 1990-1993” las variaciones estacionales de las intensidades y direcciones del viento sobre el Golfo de México, mencionan que el ciclo anual de la amplitud del viento decrece en magnitud de la región Oeste del Golfo, donde las velocidades están entre 1 y 1.2 ms^{-1} , hacia la región central del Golfo donde las velocidades presentan valores mínimos de 0.4 ms^{-1} .

1.2 Objetivos de estudio

GENERAL:

- (1) Caracterizar la climatología del oleaje en costas mexicanas del Golfo de México y Mar Caribe;

PARTICULARES:

- (1) Realizar análisis estadísticos, probabilísticos y espectrales del oleaje en los sitios de estudio y;
- (2) Realizar análisis comparativo de los datos de oleaje de los diferentes sitios estudiados.

Localidad

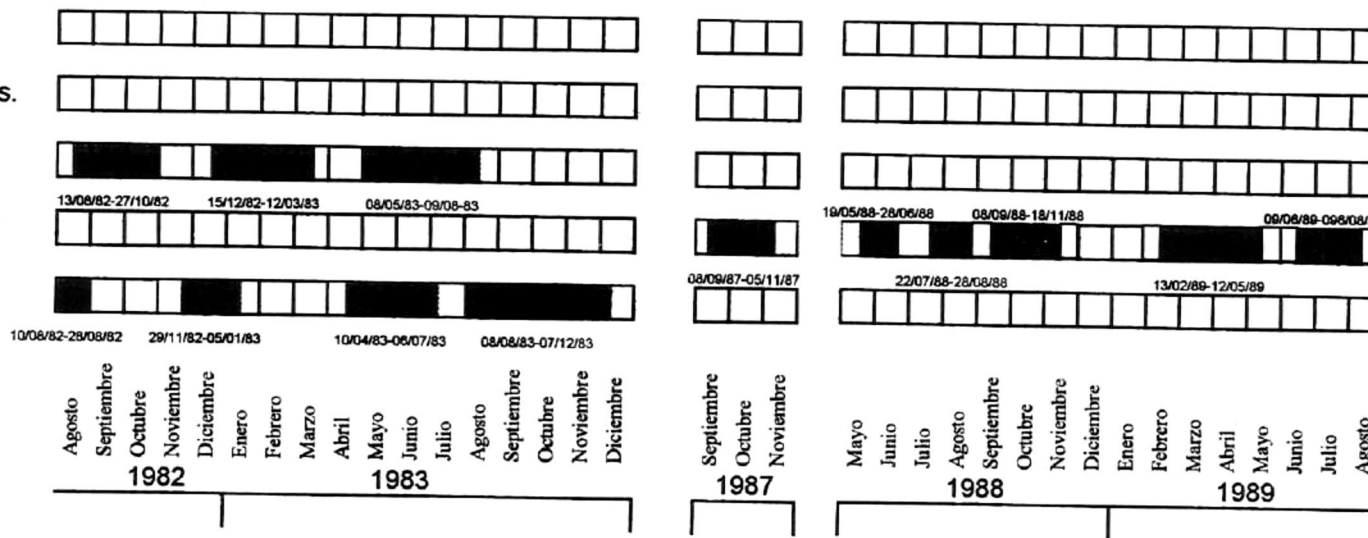
Altamira, Tamps.

Barra del Tordo, Tamps.

Tuxpan, Ver.

Barra de Cazones, Ver

Xcaret, Q, Roo.



Localidad

Altamira, Tamps.

Barra del Tordo, Tamps.

Tuxpan, Ver.

Barra de Cazones, Ver

Xcaret, Q, Roo.

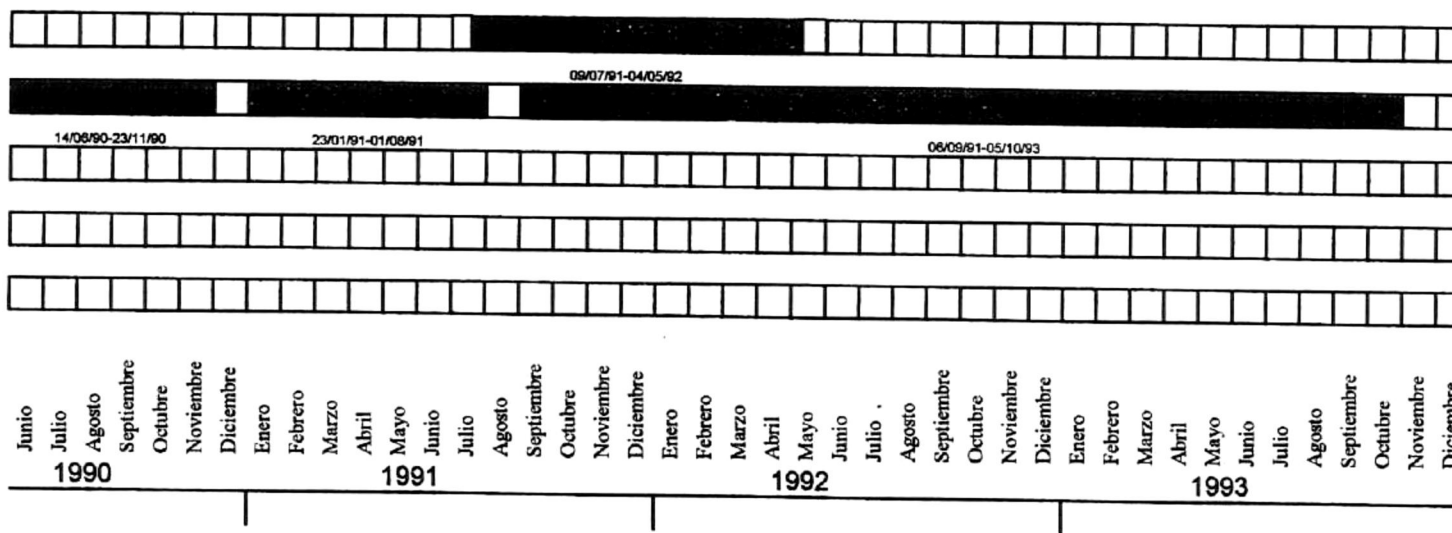


Tabla 1.1 Períodos de medición de cada sitio

1.3 Localización geográfica de las zonas de estudio

En la Figura 1.1 y Tabla 1.2 se presenta la ubicación geográfica de las cinco estaciones de medición de oleaje, donde se recabaron los datos analizados en este trabajo.

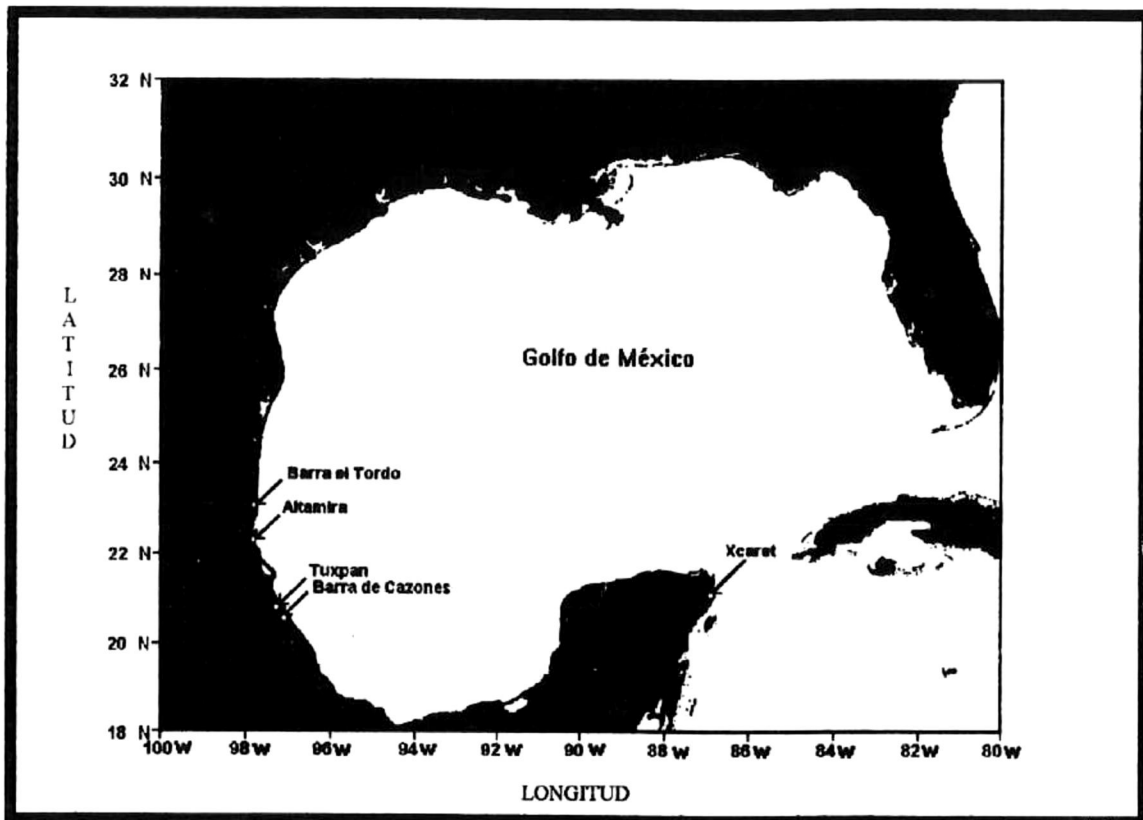


Figura 1.1 Localización geográfica de las zonas de estudio.

Tabla 1.2 Localización geográfica de las estaciones de medición.

ZONAS DE ESTUDIO	ESTADO	LATITUD	LONGITUD
Barra el Tordo	Tamaulipas	23.04 N	97.46 W
Altamira	Tamaulipas	22.24 N	97.55 W
Tuxpan	Veracruz	20.57 N	97.24 W
Barra de Cazonés	Veracruz	20.44 N	97.12 W
Xcaret	Quintana Roo	21.08 N	86.45 W

1.4 Características del oleaje

El oleaje en el océano puede representarse como una superposición de ondas senosoidales, de diferentes alturas y períodos, que se desplazan en diferentes direcciones. Una serie de tiempo de la superficie del océano medida en un mismo punto, se observaría como la que se presenta en la Figura 1.2. Sin embargo, al descomponer la señal en sus principales frecuencias, podemos separar cada una de las senosoides y así determinar las características principales del oleaje de una determinada zona.

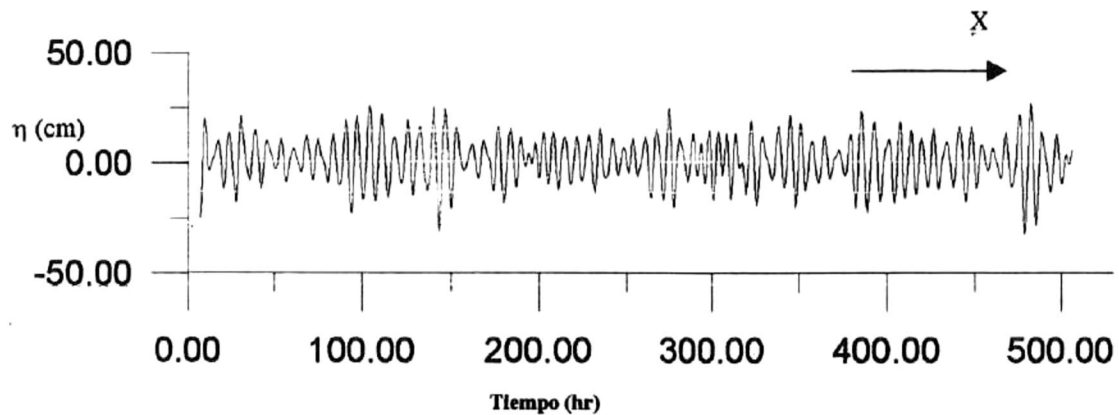


Figura 1.2 Serie de tiempo de la superficie del océano, referida a cero.

En la Figura 1.3 se presenta una onda senoidal propagándose en la dirección X , en él se representa claramente las características principales del oleaje:

La altura de onda (H), se define como la distancia vertical entre el punto más alto de la cresta y el punto más bajo del valle.

La longitud de onda (L), se define como la distancia horizontal que separa a dos crestas o a dos valles sucesivos.

Otra característica medible del oleaje, es el período (T), el cual se define como el tiempo requerido para que dos crestas o dos valles sucesivos pasen por el mismo punto de medición.

Celeridad (c), se define como la velocidad a la cual se desplaza la onda, por lo que conociendo L y T , podemos conocer la celeridad de la onda mediante la siguiente relación:

$$c=L/T$$

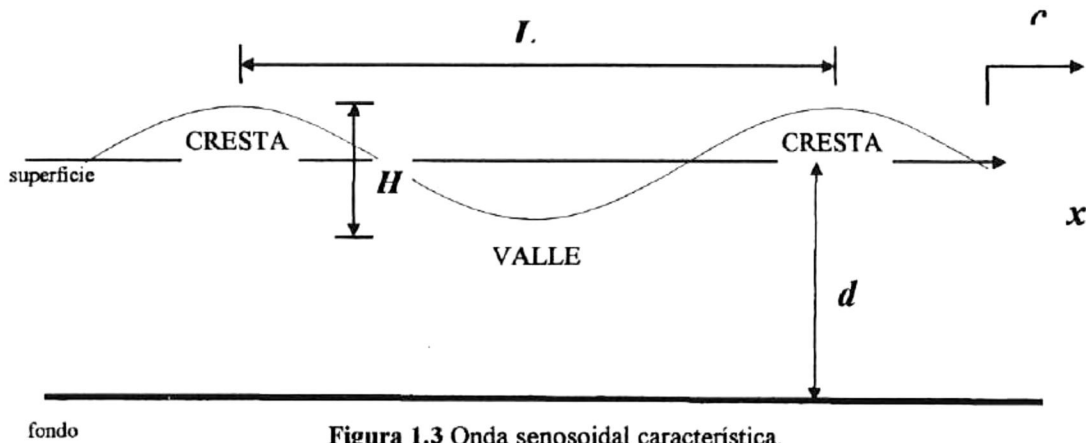


Figura 1.3 Onda senoidal característica.

En la Figura 1.4, diagrama originalmente propuesto por Munk en 1951, citado por Horikawa en 1978, se presentan los tipos de ondas predominantes en el océano, sus nombres de acuerdo a cada rango de frecuencia y su agente generador.

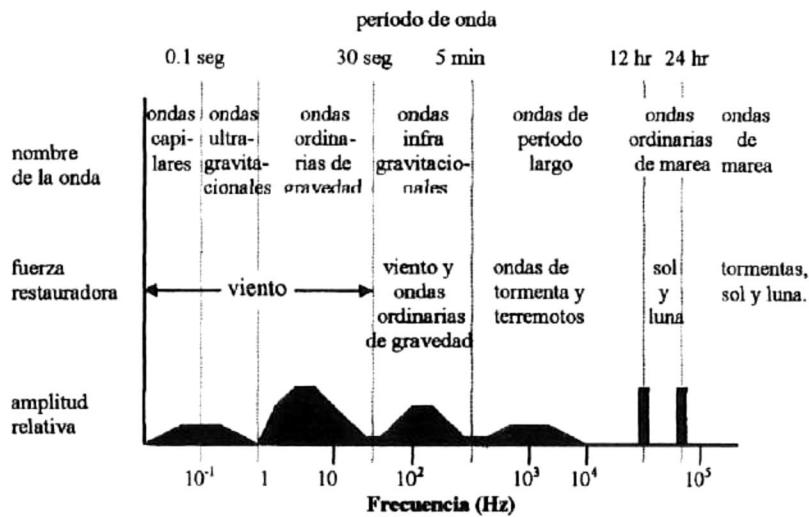


Figura 1.4 Clasificación de las ondas oceánicas de acuerdo a su período
(Munk, 1951, citado por Horikawa, 1978)

Las ondas capilares son las de menor período, menores a 0.07 segundos, presentan longitudes de onda menores a 1.7 cm y sus alturas están entre 1 a 2 mm. Estas ondas son llamadas capilares porque la fuerza restauradora es predominantemente la tensión superficial. Las ondas de gravedad presentan períodos mayores a las capilares (entre 1 y 30 segundos) y la fuerza restauradora para estas ondas es predominantemente la gravedad.

De acuerdo a la Figura 1.4, las ondas que presentan las mayores concentraciones de energía son las ondas generadas por el viento. Estas ondas presentan períodos menores a 10 y 15 segundos, mientras que sus alturas son muy variadas. Se han reportado ondas generadas por viento hasta de 34 metros, (Horikawa, 1973).

Al tipo de ondas denominadas Swell, pertenecen las ondas generadas por el viento y que se desplazan fuera de su área de generación, estas ondas se caracterizan por tener períodos muy similares entre una onda y otra, (Horikawa, 1973).

1.5 Importancia de conocer el oleaje

Los estudios de oleaje se realizan para conocer el régimen diario, semanal, mensual o anual de las olas que llegan a un sitio determinado, precisando su altura, su dirección de incidencia, su frecuencia de arribo, entre otras, incluyendo sus fluctuaciones para las diversas épocas del año.

Existen mediciones de oleaje que se encuentran disponibles después de un período de minutos a pocas horas a partir de su tiempo de ocurrencia. Entre las actividades costeras para las cuales es útil esta información se encuentran: navegación, pesca costera y actividades recreacionales, operaciones de barcas, operación y servicio de plataformas petroleras fuera de la costa y procedimientos de carga y descarga, entre otras (Plaisted y Ocampo, 1979).

Otro tipo de datos de oleaje, son aquellos que se ubican dentro de un marco de tiempo histórico, por lo que es conveniente separarlos en dos: climatología del oleaje y parámetros de diseño (Plaisted y Ocampo, 1979).

a) Climatología del oleaje.

Son promedios de datos diarios, mensuales, estacionales o anuales de las propiedades del oleaje de una localidad dada. Industrias petroleras o de pesca y el

transporte marítimo, entre otras, requieren de este tipo de información para una buena planeación de sus actividades. Estimaciones precisas del número de días disponibles para perforaciones, pesca o actividades similares podrían significar la diferencia entre instalar una plataforma de perforación, determinar áreas para pesca, programar actividades turísticas, etc.

b) Parámetros de diseño.

Estos parámetros son datos estadísticos de oleaje que sirven como referencia para el diseño y cálculo de obras ingenieriles costeras y lejanas a la costa, son tan variados como las aplicaciones para las cuales son necesarios. Se basa en el conocimiento preciso de las condiciones del oleaje bajo las cuales ciertas estructuras costeras deben operar para un buen diseño en ingeniería.

Resumiendo lo anterior, es necesario contar con bancos de datos de oleaje para analizar los posibles movimientos y esfuerzos a los que estaría sujeta cualquier estructura flotante o fija y fenómenos de transporte de sedimentos. Son de utilidad básica para realizar estudios sobre la generación, propagación y disipación del oleaje (Phillips, 1958). Además para estudios sobre procesos de transferencia de energía, tanto de la atmósfera al océano como entre las diferentes componentes de frecuencia existentes en el espectro del oleaje (Young et al., 1987) y para la calibración de modelos de predicción de oleaje (Barstow y Guddal, 1987).

1.6 Oleaje y sus efectos

La acción del oleaje sobre la costa comienza cuando la profundidad (d), sobre la que se desplaza la ola, es $\frac{1}{2}$ de la longitud total de la ola (L); esto es, para $d=\frac{1}{2}L$ existe una influencia del fondo sobre las partículas de agua, lo que modifica y retarda la circulación orbital de las mismas, ocasionando erosión y depositación de sedimentos, y como consecuencia, cambios en la morfología de la costa. Actualmente los conocimientos obtenidos sobre el oleaje, han permitido, hasta cierto punto, minimizar los efectos del oleaje sobre las costas, logrando un mejor aprovechamiento en todas las ramas de la industria (turística, industrial, pesquera, etc.).

2. Características de la instrumentación y formato de grabación de los datos.

2.1 Características de la instrumentación y formato de grabación

A continuación se describen brevemente las características de los instrumentos utilizados por la Gerencia de Ingeniería Civil (GIC) de la CFE para la recopilación de los datos de oleaje y marea, para sus estudios de clima de oleaje del Golfo de México y Mar Caribe. Una descripción completa y detallada de las características de la instrumentación y su modo de operación se puede encontrar en el manual del usuario: "Model 635-12 Directional Wave and Tide Recorder. Owner's User Handbook" (Sea Data Corporation, 1983).

(1) **Ológrafo Sea Data, Modelo 635-12.** Es un instrumento oceanográfico autónomo que mide en forma automática y continua las propiedades direccionales del oleaje por períodos de tiempo de hasta cuatro meses. Las señales que registra el instrumento son las siguientes: elevación, dirección y periodo del oleaje, intensidad y dirección de las corrientes, elevación de la marea y temperatura del agua. Los registros se graban en formato digital sobre cintas magnéticas a través de los siguientes dispositivos:

- (a) **sensor de presión (Digiquartz, 2100-AS-002)**, tienen una resolución de 0.1 cm, funciona hasta profundidades de 60 m, su principio de operación consiste en contar el número de oscilaciones que experimenta un cristal de cuarzo en una frecuencia limitada, entre los 36-40 Khz, que son función de los cambios de presión causados por los cambios del nivel del mar.
- (b) **correntímetro electromagnético (Marsh McBirney)**, mide la deformación del campo magnético del instrumento, generado por el flujo del agua en un plano normal al eje longitudinal del sensor y presenta este flujo como las dos componentes ortogonales x, y

expresadas como voltajes analógicos. La escala completa de operación es de ± 4 volts que corresponden a velocidades de $\pm 3 \text{ m s}^{-1}$ utilizando 12 bits para almacenar la información.

- (c) **brújula (Digiquartz, 225)**, es utilizada para dar orientación a los componentes de velocidad y tiene una resolución de 1.4° en cualquier orientación. En la Figura 2.1 se representa el arreglo de una estación de medición de oleaje, la cual cuenta con los instrumentos antes mencionados.

OLÓGRAFO (SEA DATA)

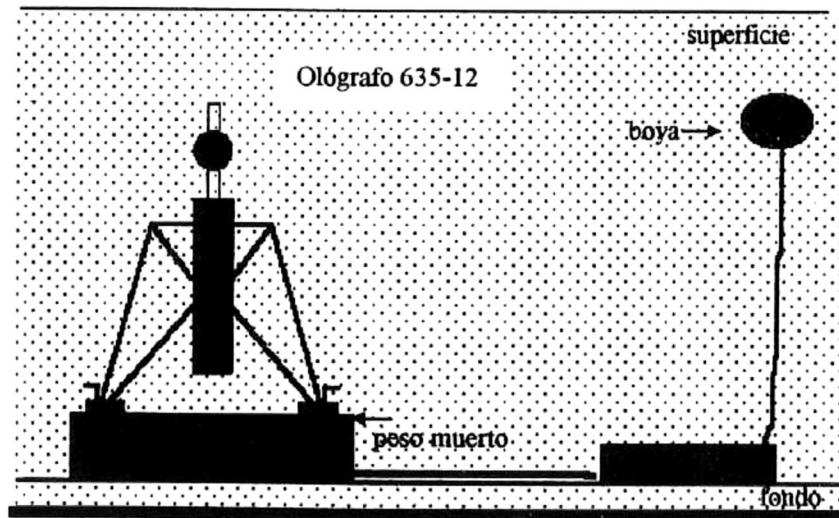


Figura 2.1 Estación de medición de oleaje

Los ológrafos Sea Data graban los datos de dos maneras diferentes: 1) modo promedio de marea y 2) modo ráfaga instantáneo de olas. Los dos primeros bits de cada registro (línea), identifica el modo en el que operó el instrumento. Para el caso del modo marea, los dos primeros bits son 01 y, para el caso del modo de olas, el instrumento registra los dos primeros bits como 10. En el modo promedio de marea, el instrumento registra un dato cada 15 minutos. La Figura 2.2 y Tabla 2.1, resumen el formato de grabación de cada registro en el modo promedio de marea.

Tabla 2.1 Formato de grabación de los datos en modo marea

Bits	Palabra
8	Etiqueta: Modo de operación y banderas
20	Tiempo (1/128 marcas hora)
4	Selector de la tasa de muestreo olas
20	P1*, donde BMS = Bit Más Significativo. Es un dato registrado para cada valor de presiones, pero que por razones de espacio, solo es guardado en la presión 1.
16	P1
16	P2
16	P3
16	P4
16	P5
16	P6
16	P7
16	P8
16	Temperatura
12	Componente de velocidad x (Vx)
12	Componente de velocidad y (Vy)
8	Dirección respecto al norte magnético, 00 a FF

bit	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
dígito	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
byte	1	2	3	4	5	6	7	8	9									
dato	Encabezado		Tiempo				TM	BMS	Presión 1				Presión 2					

bit	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
dígito	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
byte	10	11	12	13	14	15	16	17	18									
dato	Presión 3			Presión 4			Presión 5			Presión 6			Presión 7					

bit	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
dígito	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
byte	19	20	21	22	23	24	25	26	27									
dato	Presión 8			Presión 9			Temperatura			VPMx			VPMy					

bit	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
dígito	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
byte	28	29	30	31	32	33	34	35	36									
dato	Compás															Flag		

Figura 2.2 Formato de grabación de datos registrados con Ológrafos Sea Data 635-12 operando en modo marea.

El formato de grabación, cuando el ológrafo opera en el modo ráfaga, se resume claramente en la Figura 2.3.

bit	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
digito	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
byte	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
dato	Encabezado	Presión 1				Vel X1		Vel Y1		Presión 2				Vel X2		Vel Y2		

bit	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
digito	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
byte	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
dato	Presión 3			Vel X3		Vel Y3		Presión 4				Vel X4		Vel Y4		Presión 5		

bit	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
digito	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
byte	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
dato	Presión 5	Vel X5		Vel Y5		Presión 6				Vel X6		Vel Y6		Presión 7				

bit	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
digito	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
byte	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
dato	Vel X7	Vel Y7	Presión 8				Vel X8	Vel Y8	Repuesto	Paridad	Flag							

Figura 2.3 Formato de grabación de datos registrados con Ológrafos Sea Data 635-12 operando en modo ráfaga.

Los registros de olas operados en modo ráfaga constan de un encabezado de 8 bits, un caracter de dos bits para identificar el modo ráfaga y seis bits para identificar cada registro. Cada registro ráfaga toma la forma de 8 pasos consistentes en una medición de altura de ola de 16 bits, mediciones de velocidades x, y de 8 bits, mas 8 bits extras. Los ológrafos Sea Data 635-12 registran las velocidades u y v al mismo tiempo que las presiones, lo que permite calcular un espectro direccional por ráfaga. Una serie-registro ráfaga típica de un ológrafo Sea Data 635-12 consiste de 1032 datos, los cuales se registran en formato hexadecimal. Esto es, 141 líneas por cada serie-registro ráfaga separadas en 12 líneas de marea y 129 líneas de oleaje. En el modo ráfaga, los datos fueron registrados con una frecuencia de 0.5 seg. durante aproximadamente 15 minutos, cada serie-ráfaga inicia su registro cada tres 3 hr y el intervalo entre cada ráfaga se denomina: intervalo de

A continuación se presenta la configuración de la lectora con la que fueron transferidos los datos de oleaje. Esta configuración esta basada en pruebas realizadas por personal del Grupo de Estudios Oceanográficos (GEO) del Instituto Politécnico Nacional (IPN).

Characters per Cassette Record.....	68
Control.....	Remoto
Mode.....	Counter
Output.....	Computer
Threshold %.....	20 %
Density.....	800
Track Gain Adjust.....	100 %
Cassette Records per 1/2" Tape IRG.....	11

En la Figura 2.5 se muestra una lectora de cintas magnéticas marca Sea Data, modelo 12B.

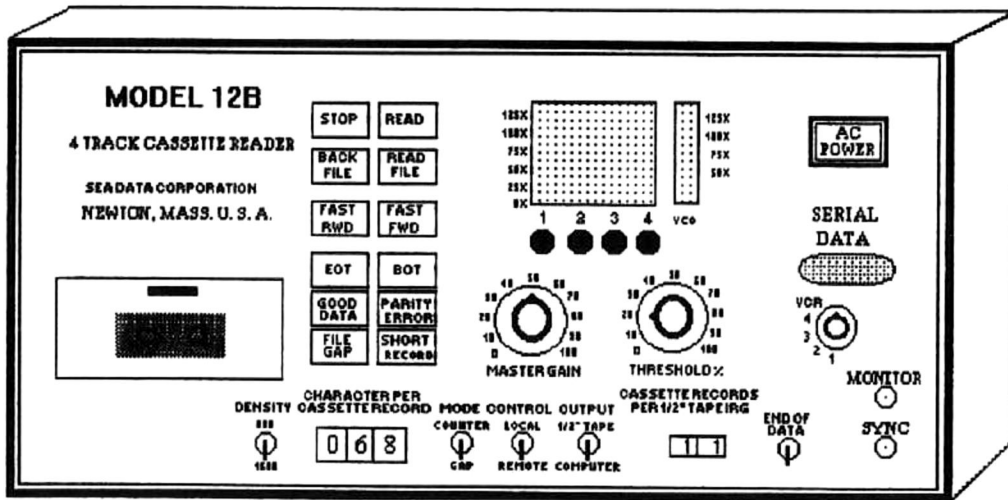


Figura 2.5 Lectora de cintas magnéticas Sea Data, Modelo 12B

(3) Interfase de Lectura Asincrona. Es una pequeña computadora que funciona como regulador y controlador para la lectura. Esta computadora regula la cantidad de datos que envía la lectora hacia la PC y que están en función de la cantidad de datos que puede recibir la PC en un tiempo determinado. Al igual que la lectora, también el regulador de transferencia de datos debe ser configurado adecuadamente para asegurar que la cantidad

de datos que recibirá de la lectora sea igual a la que puede recibir la PC en un tiempo definido.

Para asegurar una buena transferencia de los datos, es necesario que las opciones Terminal y all estén activadas. El número de baudios elegidos debe coincidir con los activados en la herramienta de trabajo **Terminal de Windows**; se deben evitar los baudios 600, 300 y 1800, los cuales se activan desde la parte posterior del regulador.

En la Figura 2.6 se muestra un regulador de transferencia de datos marca Sea Data.

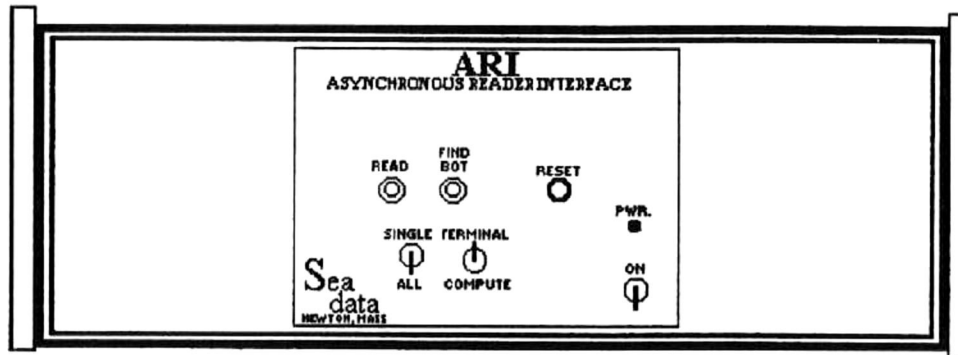


Figura 2.6 Interfase de Lectura Asincrona

(4) **Terminal de Windows.** A diferencia de las dos herramientas anteriores, la herramienta TERMINAL, es una interface que trabaja bajo ambiente Windows y se localiza en el grupo de programas denominado ACCESORIOS. Esta herramienta cumple con la función de comunicar directamente al regulador de transferencia de datos con la memoria de la PC. Esta herramienta también debe ser configurada adecuadamente, para que el regulador, que es externo a la computadora, sea reconocido por esta.

3. Metodología

3.1 Lectura y transferencia de los datos a la memoria de la computadora y a los respaldos en cintas milimétricas.

Los datos de oleaje contenidos en las cintas magnéticas fueron leídos y transferidos, para su análisis, a la memoria de una PC utilizando una lectora de casetes marca Sea Data, modelo 12B. La lectora se conectó a una interfase de lectura asíncrona (ARI), y ésta a su vez al disco duro de la PC. Cada registro de datos de un ológrafo 635-12 consiste de 276 bits, por lo que la lectora de casetes se ajustó para leer 69 caracteres por registro. Un Los datos hexadecimales correspondientes a cada ráfaga se ordenaron utilizando los programas computacionales de Garantía de Calidad de Datos de Oleaje del GEO-IPN, Segmenta y Corrige, (F. Vidal, et.al, 1992), mismos que se describen en los puntos 3.2.1 y 3.2.2.

Por razones de espacio y de seguridad, una vez que los datos se encontraban alojados en la memoria de la computadora, fueron respaldados en cintas milimétricas. La Figura 3.1 muestra el diagrama de flujo de los datos hasta llegar a los respaldos.

3.2 Identificación y corrección de errores de los registros de datos hexadecimales.

El primer paso en la detección y corrección de errores en los datos de oleaje en forma visual, consiste en una revisión por ráfaga de los datos en hexadecimal. Esto se realiza editando cada una de las ráfagas e identificando los problemas que existen en ellas. Uno de los errores más comunes que se presentó en este análisis, fue que en algunas líneas faltaba el contador de datos. Este tipo de problema, es muy fácil de detectar y de corregir, y manualmente es la única forma de repararlo. En el ejemplo siguientes se muestran cuatro líneas de marea de una ráfaga, en la segunda línea, el contador no se registro; sin embargo es muy fácil darse cuenta, siguiendo la secuencia del contador de tiempo, cuales

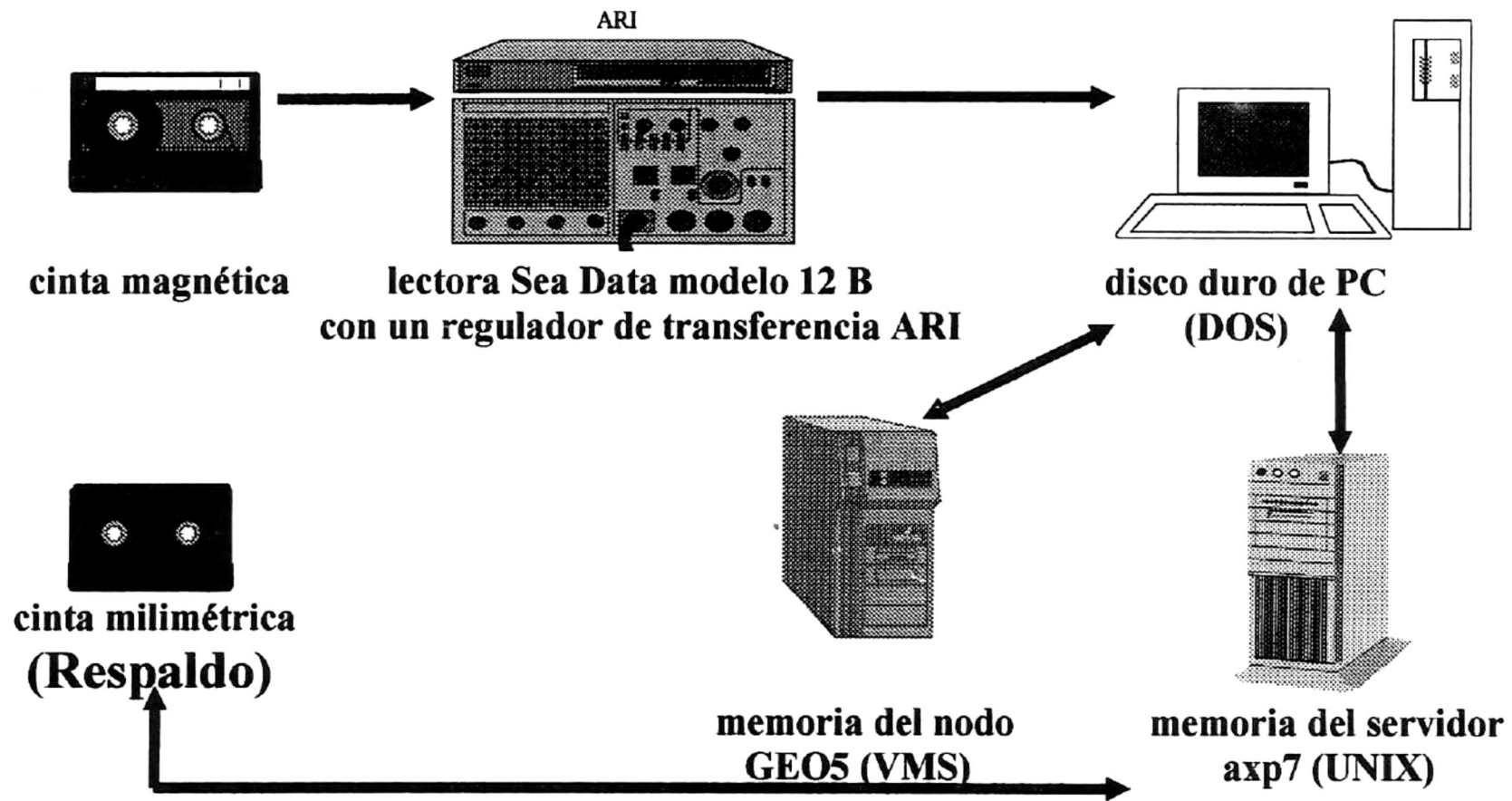


Figura 3.1 Diagrama de flujo de la transferencia de los datos

son los números que faltan. Basándonos en la Figura 2.2, el contador de la primera línea es 001A0. La segunda línea debería de tener el contador 001C0, la tercera el contador 001E0 y la última 00200. Recordando que el registro está en hexadecimal, el último caracter es F, y como el contador, según el tiempo entre dato y dato, avanza como: 10, 12, 14, 16, 18, 1A, 1C, 1E, 20, etc.

```
4 1 0 0 1 A 0 0 8 4 6 5 4 4 6 5 3 4 6 5 3 4 6 5 3 4 6 5 3 4 6 5 3 4 6 5 3 4 6 5 2 4 6 5 2 C 2 4 A 6 C 6 7 B 7 4 E 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 7 0
4 0 0 0 8 4 6 5 3 4 6 5 3 4 6 5 2 4 6 5 2 4 6 5 2 4 6 5 2 4 6 5 2 4 6 5 2 4 6 5 2 C 2 2 9 6 C 5 7 B B 4 E 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 C 0
4 0 0 0 1 E 0 0 8 4 6 5 2 4 6 5 2 4 6 5 2 4 6 5 3 4 6 5 2 4 6 5 3 4 6 5 2 4 6 5 2 4 6 5 2 C 2 1 5 6 C A 7 C C 4 E 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 E 0
4 0 0 0 2 0 0 0 8 4 6 5 2 4 6 5 2 4 6 5 2 4 6 4 D 4 6 4 E 4 6 4 A 4 6 4 A 4 6 4 B 4 6 4 A C 1 F 6 6 C A 7 D 3 4 E 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0
```

Otro de los errores frecuentes detectado en los registros, es la falta del primer caracter de la línea, en algunas ocasiones faltaban los dos primeros caracteres, que corresponden al identificador de línea. Utilizando el mismo segmento del registro anterior para ejemplificar este error, en las siguientes líneas se observa la falta de los dos primeros caracteres de la línea 4.

```
4 1 0 0 1 A 0 0 8 4 6 5 4 4 6 5 3 4 6 5 3 4 6 5 3 4 6 5 3 4 6 5 3 4 6 5 3 4 6 5 2 4 6 5 2 C 2 4 A 6 C 6 7 B 7 4 E 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 7 0
4 0 0 0 1 C 0 0 8 4 6 5 3 4 6 5 3 4 6 5 2 4 6 5 2 4 6 5 2 4 6 5 2 4 6 5 2 4 6 5 2 4 6 5 2 C 2 2 9 6 C 5 7 B B 4 E 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 C 0
4 0 0 0 1 E 0 0 8 4 6 5 2 4 6 5 2 4 6 5 2 4 6 5 3 4 6 5 2 4 6 5 3 4 6 5 2 4 6 5 2 4 6 5 2 C 2 1 5 6 C A 7 C C 4 E 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 E 0
0 0 2 0 0 0 8 4 6 5 2 4 6 5 2 4 6 5 2 4 6 4 D 4 6 4 E 4 6 4 A 4 6 4 A 4 6 4 B 4 6 4 A C 1 F 6 6 C A 7 D 3 4 E 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0
```

Finalmente, el registro corregido, para ambos casos, será de la siguiente forma:

```
4 1 0 0 1 A 0 0 8 4 6 5 4 4 6 5 3 4 6 5 3 4 6 5 3 4 6 5 3 4 6 5 3 4 6 5 3 4 6 5 2 4 6 5 2 C 2 4 A 6 C 6 7 B 7 4 E 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 7 0
4 0 0 0 1 C 0 0 8 4 6 5 3 4 6 5 3 4 6 5 2 4 6 5 2 4 6 5 2 4 6 5 2 4 6 5 2 4 6 5 2 4 6 5 2 C 2 2 9 6 C 5 7 B B 4 E 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 C 0
4 0 0 0 1 E 0 0 8 4 6 5 2 4 6 5 2 4 6 5 2 4 6 5 3 4 6 5 2 4 6 5 3 4 6 5 2 4 6 5 2 4 6 5 2 C 2 1 5 6 C A 7 C C 4 E 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 E 0
4 0 0 0 2 0 0 0 8 4 6 5 2 4 6 5 2 4 6 5 2 4 6 4 D 4 6 4 E 4 6 4 A 4 6 4 A 4 6 4 B 4 6 4 A C 1 F 6 6 C A 7 D 3 4 E 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0
```

Sin embargo, no todos los errores registrados en los archivos ráfaga de cada cinta fueron tan sencillos de corregir. En muchas ocasiones los errores consistían en datos faltantes en el centro de las líneas, por lo que para la corrección de estos fue necesario invertir mucho más tiempo, revisando meticulosamente la secuencia de las líneas anteriores y posteriores, para, de esa forma, corregir el error.

En otros casos faltaban muchos datos de algunas líneas. En estos casos la línea o líneas dañadas fueron eliminadas y reemplazadas por la línea anterior a cada una de ellas,

modificando únicamente el contador y adecuándolo al que le correspondería en caso de haber sido correcta.

3.2.1 Segmenta.

Con este programa se separan, en ráfagas de datos, todos los datos contenidos en una misma cinta. Por la forma en que fue programado el ológrafo cada ráfaga cuenta con 12 líneas de marea, las cuales son identificadas por el programa por el número 4 al inicio de cada línea. El resto de los datos son considerados como datos de oleaje, por lo que el programa crea una ráfaga nueva después de localizar 12 líneas de marea (tiempo en que se crea la siguiente ráfaga de datos) y pega los datos restantes hasta localizar la siguiente línea de marea. Cada ráfaga de datos cuenta con 141 líneas totales entre líneas de marea y líneas de oleaje.

3.2.2 Corrige.

Es un programa que corrige algunos errores comunes que se presentan en los archivos de ráfagas. Este programa supone que los archivos de ráfagas ya fueron depurados de caracteres raros que no pertenecen al sistema hexadecimal y de líneas en blanco, así como de los errores que se mencionaron en el punto 3.2.

El objetivo principal de este programa es recuperar líneas cortas, completándolas con asteriscos para que puedan ser procesadas y recuperar la información contenida en ellas. En las líneas de oleaje, los tres penúltimos caracteres no proporcionan ninguna información para el análisis del oleaje, sin embargo, en algunas ocasiones alguno de estos tres caracteres, o los tres, no se registran, por lo que la línea es reconocida por el programa como línea corta y reparada copiándole los tres caracteres de la línea anterior o los de la línea siguiente.

Una de las limitaciones de este programa, es que no corrige los errores de paridad, así que las líneas que los presenten, serán cuantificadas por el programa como líneas malas y si en alguna ráfaga se presenta un porcentaje mayor al 30% de líneas malas, esa ráfaga es considerada como irreparable y es desechada. Es importante hacer mención que todos los archivos de ráfagas que se procesaron en este trabajo, presentaron porcentajes menores al 30% de datos malos.

Una vez realizadas las correcciones anteriores, el programa cuantifica cada una de las líneas de cada ráfaga y las clasifica como buenas, cortas o con errores de paridad y genera una bitácora por ráfaga que contiene lo siguiente:

- nombre del archivo
- número total de líneas
- número de líneas de marea
- número de líneas buenas
- número de líneas cortas
- número de líneas con errores de paridad
- número total de correcciones realizadas por el programa

Con lo anterior se tiene un pleno control sobre los datos que pasarán a la siguiente etapa que es el procesamiento de los mismos.

3.3 Análisis de garantía de calidad de los datos.

Es muy importante poner énfasis en la revisión de la calidad de los datos, ya que en ello radica la obtención de resultados correctos o incorrectos. Durante la recopilación de datos de esta naturaleza pueden presentarse diferentes errores, los cuales se mencionan a continuación:

El error más grave es el debido a la falla del instrumento, puesto que los registros de datos se pueden perder por completo, o bien pueden estar tan dañados que no sea posible recuperarlos. Estos errores se pueden separar a su vez en dos tipos: 1) errores de medición, y 2) errores de grabación. Un ológrafo que funciona correctamente no sólo debe medir bien los datos de presión, velocidad y dirección, sino que también tiene que grabarlos bien en cintas magnéticas en los formatos adecuados sin introducir ningún tipo de ruido o error. Pudiera ser que el ológrafo grabe durante todo un período de muestreo registros cuyo tamaño, longitud y formato sean correctos, pero que sin embargo no tienen ningún significado físico debido a fallas de los sensores o de los circuitos electrónicos.

Para minimizar las fallas de los instrumentos durante los experimentos se requiere darles un mantenimiento preventivo y correctivo meticuloso, y probarlos cuidadosamente antes de meterlos al mar. Además se requiere llevar una bitácora de campo detallada puesto

que las fechas de instalación y recuperación de los instrumentos se utiliza para verificar si los registros grabados son de la longitud correcta.

Morang (1990) realizó estudios detallados sobre las fallas de los ológrafos Sea Data, en el se mencionan las siguientes fallas:

1. Fallas de los ológrafos Sea Data 635-12.

- 1.1. Fallas abruptas de los ológrafos.
- 1.2. El contador de olas no se registra en la cinta magnética.
- 1.3. El reloj no registra el tiempo en cinta
- 1.4. La información no se registra en la cinta.
- 1.5. Fallas del sensor electromagnético de velocidades u y v .

2. Problemas ambientales.

2.1. El orificio del tubo del sensor de presión se tapa. En ocasiones se recaban registros en los que las variaciones de baja frecuencia de presión se graban adecuadamente, pero no así las de alta frecuencia. Esto frecuentemente es el resultado de taponamiento con arena, lodo o material orgánico del orificio del tubo del sensor de presión. Estos errores son muy difíciles de detectar por si solos, especialmente en sitios como el Golfo de México, en donde se presentan olas de pequeña amplitud por períodos largos de tiempo, por lo que siempre es recomendable trabajar con dos ológrafos simultáneos en la misma zona para tener un punto de comparación por si uno de los ológrafos falla o se tapa, sin embargo esto no siempre es posible.

2.2. Crecimiento de organismos en el tubo del sensor de presión. En ocasiones resulta que los instrumentos funcionan bien al inicio de la recopilación, pero conforme pasa el tiempo la señal se degrada y atenúa. Cuando esto sucede el analista debe decidir que porcentaje de los datos son recuperables y cuales hay que descartar antes de proceder al análisis espectral.

2.3. Crecimiento de organismos en el correntímetro electromagnético. Es común observar que los registros se deterioran con el tiempo atenuándose las altas frecuencias de

estos, por lo que es recomendable para todos los casos dar mantenimiento preventivo a los sensores, y en la medida de lo posible no dejar los ológrafos instalados por períodos de tiempo mayores a un mes.

3. Fallas poco usuales de los ológrafos Sea Data.

3.1 Cambios de nivel cada seis datos en los registros de marea. En estos casos el ológrafo registra seis datos de marea y los graba en cintas magnéticas, pero el reloj se comporta como si se hubieran registrado ocho valores por línea en vez de seis. Cuando esto ocurre se debe preguntar si el ológrafo dejó de registrar los últimos datos, causando que exista un hueco en la serie cada seis datos, o bien, si los seis datos registrados deberían estar espaciados uniformemente en el tiempo en el que se debieron registrar ocho datos.

3.2. La ráfaga no se registra continuamente. En ocasiones se observa que en el modo ráfaga los registros se truncan, ocasionando cambios abruptos en los niveles de la señal. Este tipo de errores sólo se pueden detectar mediante una revisión visual minuciosa de los datos.

3.3. Una ráfaga completa de datos no se registró. Este tipo de errores recaen básicamente en la capacidad de memoria buffer de los ológrafos, si no se es cuidadoso al programar el aparato, se puede exceder la memoria y esto se reflejara en una perdida de datos, ya que el aparato no capturar, vaciar y grabar toda la información con suficiente rapidez en las cintas.

4. Errores durante la lectura de los casets.

4.1. La cinta magnética del caset está doblada o arrugada. Es muy común que esto suceda si se instala mal la cinta en el ológrafo, y lo más probable es que se pierda toda la información.

4.2. Errores de lectura de los datos sin causa aparente. En ocasiones, cuando se leen los casets, aparecen señales anómalas sin ninguna razón aparente. Este problema se puede deber a que las cabezas de la lectora están sucias y dando un mantenimiento sencillo a las cabezas y volviendo a leer la cinta se puede corregir el error.

4.3. Errores en la lectura de los datos con cabezas de lectora limpias. Aun cuando las cabezas de la lectora no muestren señas de daños, puede que esté gastada, lo que ocasionará que la cinta magnética pase demasiado lejos de ella y no pueda leer correctamente la información grabada.

4.4. Los registros contienen errores de paridad que aparecen regularmente espaciados en la cinta. Esto se puede deber a que uno de los rodillos de la grabadora del ológrafo que prensa a la cinta magnética esté demasiado gastado o aplanado. Si se presenta este problema lo más probable es que los datos no se puedan reparar y se tengan que descartar.

5. Errores de procesamiento causado por condiciones extremas.

5.1. Datos disparados. En ocasiones es frecuente observar que los registros de oleaje contienen señales pico correspondientes a datos disparados, es decir datos que exceden con mucho el valor promedio del registro. Estos errores pueden detectarse leyendo la cinta en una segunda ocasión y observando si el error persiste o solo fue una falla de software. Si persiste, se puede corregir mediante procedimientos estadísticos, de interpolación y extrapolación. En otras ocasiones los datos disparados no se deben a ningún error del aparato o del software, sino que en verdad son datos buenos correspondientes a señales de fenómenos físicos naturales. Por esto el analista debe tener un conocimiento amplio y profundo de la naturaleza física de los fenómenos observados y de la naturaleza del sitio de medición. De esta forma se puede saber si la señal que recibe el aparato puede estar influenciada por fenómenos de refracción, difracción, etc.

Desafortunadamente en éste trabajo no fue posible conocer la ubicación precisa de los ológrafos y mucho menos las condiciones naturales de las zonas donde fueron colocados, por lo que, los resultados obtenidos podrían estar influenciados por alguno o algunos de estos fenómenos.

5.2. Datos con magnitudes demasiado grandes. Cuando se presentan este tipo de datos se debe revisar si los valores de los coeficientes de calibración son correctos. Los sensores de presión son calibrados por el fabricante, y cada sensor tiene constantes de calibración específicas. Lo ideal es que los sensores se calibren antes y después de cada experimento para verificar su funcionamiento.

El análisis de garantía de calidad de los datos de oleaje, para el presente trabajo, consistió de diez pasos, mismos que se mencionan a continuación:

1) Leer la información grabada en las cintas magnéticas utilizando una lectora marca Sea Data, 12 B.

2) Revisar los registros hexadecimales, identificar los registros buenos y malos, diagnosticar los errores de los registros malos, identificar los registros malos que pueden repararse y reparar todos los registros que sea posible.

3) Reagrupar y reordenar los registros buenos y los reparados, ordenar los datos de presión, velocidad-u y velocidad-v.

4) Ordenar y separar los datos de cada registro en datos de marea y de presiones y de velocidades orbitales instantáneas.

5) Convertir los datos hexadecimales a decimales en unidades ingenieriles y calibrar los datos de presión, velocidad y temperatura.

6) Revisar los datos decimales en unidades ingenieriles, identificar valores anómalos y filtrarlos mediante técnicas de interpolación y extrapolación.

7) Ordenar y separar los datos decimales corregidos y calibrados de cada registro.

8) Determinar las propiedades estadísticas, espectrales, direccionales y probabilísticas de los datos decimales buenos, corregidos y calibrados en unidades ingenieriles.

9) Resumir los resultados de los análisis matemáticos estadísticos aplicados a los datos en forma tabular y gráfica.

10) Diagnosticar la calidad de los datos procesados, interpretar los resultados de los análisis matemáticos y describir el clima del oleaje de los sitios de estudio. En la Figura 3.2 se muestra un diagrama de flujo del procesamiento y análisis de los datos de oleaje.

3.4 Conversión de los datos hexadecimales a decimales.

Los datos analizados en este trabajo catalogados como buenos, fueron convertidos a datos decimales en unidades ingenieriles para su procesamiento y análisis. A continuación se presenta una descripción de los procedimientos para convertir los valores hexadecimales, registrados por los ológrafos, a valores decimales en unidades ingenieriles. Una descripción más completa y detallada puede encontrarse en el manual de usuario, publicado por el fabricante (Sea Data Corp., 1983).

3.4.1 Conversión del número de cuentas del sensor de presión a frecuencias.

La conversión del número de cuentas del sensor de presión a frecuencias para el cálculo de las presiones inducidas por el paso de la onda de marea, se realiza de manera diferente a los cambios de presiones inducidas por el paso de las ondas de oleaje. Para el cálculo de las presiones inducidas por el paso de la onda de marea, el número de cuentas del sensor de presión se transformaron a frecuencias utilizando la siguiente expresión:

$$F = \frac{\text{cuentas}}{14.0625} \quad (3.1)$$

donde, F es la frecuencia del sensor de presión. La constante 14.0625 se obtiene de dividir 3600 segundos correspondientes a cada hora entre 256.

Para el caso de las presiones inducidas por el paso de las ondas de oleaje, las cuentas del sensor de presión se convierten a frecuencias empleando la siguiente expresión:

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

donde F es la frecuencia del sensor de presión. La constante 16 se obtiene de dividir 3600 segundos correspondientes a cada hora entre 225. Las constantes 256, para mareas y, 225 para oleaje, corresponden a los incrementos de los contadores por cada hora.

3.4.2 Conversión de frecuencias del sensor de presión a milibares.

Es importante mencionar que antes de hacer la conversión a milibares, se debe tener cuidado de corregir las frecuencias por cualquier deriva del reloj de cuarzo inducida por cambios de temperatura. Las frecuencias corregidas se denotan por F_p . Por lo general $F_p = F$.

Las frecuencias registradas por el sensor de presión de los datos de marea y oleaje, se convierten a unidades de presión en libras por pulgada cuadrada, mediante la expresión:

$$P = A\left(1 - \frac{T_0}{T_p}\right) - B\left(1 - \frac{T_0}{T_p}\right)^2 \quad (3.3)$$

donde: A , B , T_0 (período del transductor a presión cero) son las constantes del sensor de presión y, T_p es el período correspondiente a la presión F_p .

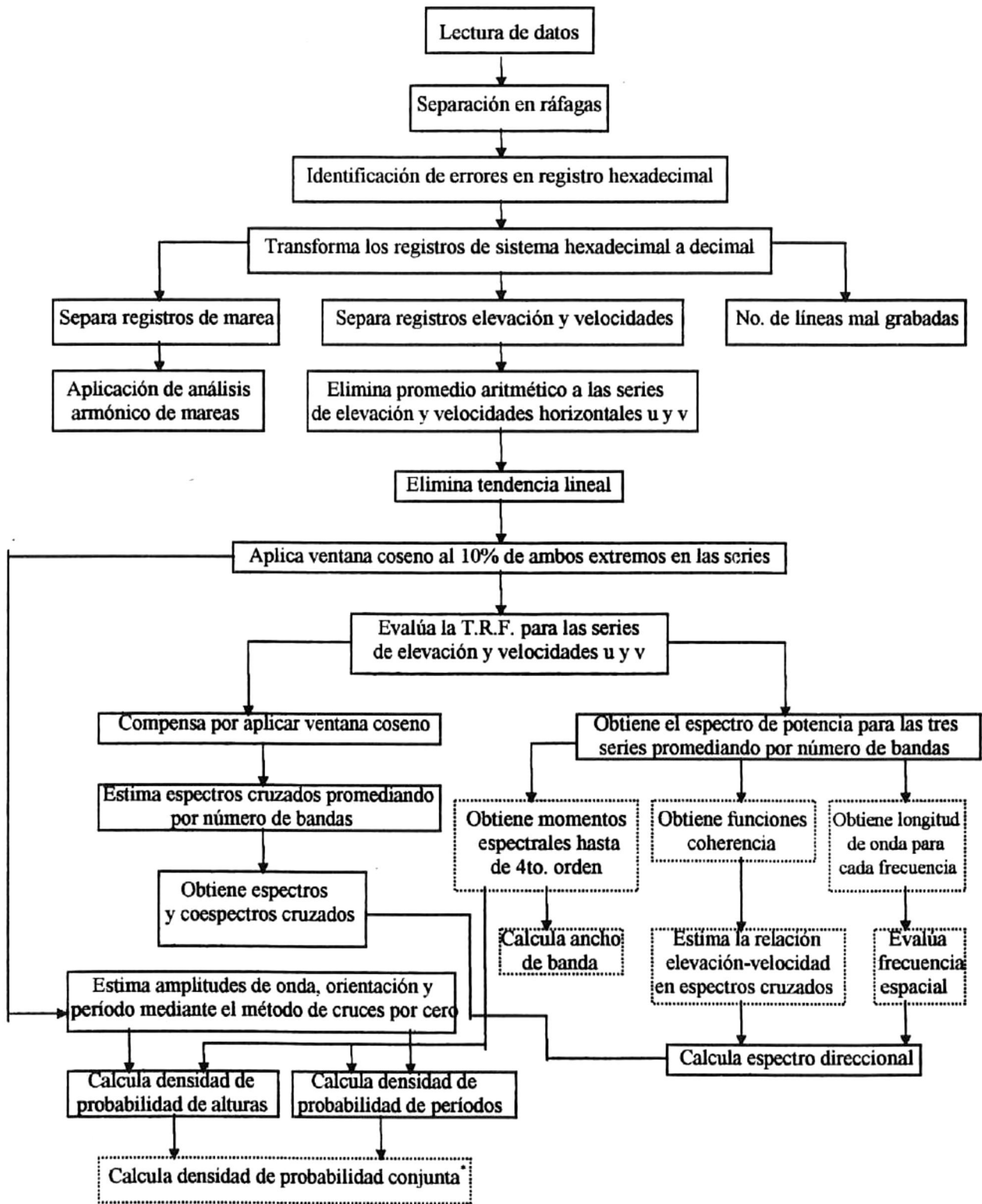


Figura 3.2 Diagrama de flujo del procesamiento y análisis de datos de oleaje (F. Vidal, et al, 1992)

* Lo que aparece en recuadros con líneas punteadas no se reportó como resultados de este trabajo.

La presión en milibares se calcula mediante la expresión:

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

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

$$\Lambda = P(\text{mbar}) - \frac{1013.3}{123.5279} \quad (3.5)$$

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.

3.4.3 Conversión de las cuentas del reloj a horas.

El contador del reloj se incrementa 128 veces cada hora, por consiguiente, el tiempo que transcurre desde que se reinicializa el conteo del reloj se calcula multiplicando el número de cuentas por la tasa a la cual se incrementa la palabra del tiempo. Esto es mediante la expresión:

$$\text{Tiempo} = (\text{cuentas} * 28.125) \text{seg} = \left(\frac{\text{cuentas}}{128}\right) \text{hrs} \quad (3.6)$$

3.4.4 Conversión de las cuentas del compás a grados.

Para convertir los datos hexadecimales del compás a grados, primero se convierten a decimales y posteriormente a unidades de grados mediante la expresión:

$$\Theta = [K * \left(\frac{360}{255}\right)] \quad (3.7)$$

donde: K representa la palabra del compás en base diez. La palabra del compás ocupa las posiciones (dígitos) 56 y 57 de cada línea de marea (ver Figura 2.2), por lo que su rango de operación en hexadecimal está entre 00 y FF. Por lo tanto, FF es el número mayor que se puede registrar y convertido a decimal es 255. Esto quiere decir que cada cuenta del compás equivale a 1.41 grados reales, ya que $360/255 = 1.41$.

3.4.5 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 cm s^{-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 de oleaje en unidades de pies s^{-1} se calculan cuatro velocidades v mediante las expresiones:

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

y cuatro coeficientes:

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

donde:

$$XX = [(u - 1608)] * \frac{10}{1608}\tag{3.10}$$

El coeficiente D con menor valor absoluto determina la velocidad V que representa el valor de la componente horizontal de 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 velocidades instantáneas 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, ya que los ológrafos no se instalan en el mar perfectamente orientados hacia el norte magnético, el sistema coordenado formado por las componentes horizontales

de velocidades instantáneas u y v , aparece desfasado respecto al norte magnético, por lo que resulta conveniente rotarlo de manera que coincida. Para esto, resulta necesario realizar las siguientes conversiones:

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

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

donde: U y V representan las componentes horizontales de velocidades instantáneas referidas al norte magnético, u y v representan las componentes horizontales de velocidad instantáneas registradas por los ológrafos y θ es el ángulo registrado por el compás de los ológrafos. Mediante esta transformación, las componentes horizontales U y V positivas de la velocidad, quedan orientadas hacia el norte magnético y hacia el este, respectivamente.

3.5 Identificación y corrección de los valores disparados en los archivos de datos decimales.

Una vez que los datos de elevaciones de la superficie del nivel del mar fueron transformados a decimales en unidades ingenieriles y referidos al nivel medio del mar, la serie paso por un filtro hecho en MatLab que corrigió los datos disparados. Se consideran datos disparados aquellos cuyo valor excede tres veces la desviación estándar de la serie (*std3*) y son corregidos sustituyéndolos por el promedio de los datos inmediato anterior e inmediato posterior de la serie. Esta se calcula con la siguiente expresión:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}} \quad (3.13)$$

donde:

X_i es cada uno de los datos de la serie,

\bar{X} es el promedio de la serie y,

n es el número de datos de la serie.

En la Figura 3.3 se presenta un ejemplo de las series de tiempo no corregidas de presiones, velocidades u y velocidades v del sitio de Altamira, donde se observan datos disparados en las tres series. El valor *std3* para cada serie esta representado con una línea punteada. En las serie de presiones y de velocidades u , se observan cinco datos mayores al valor *std3* y en la serie de velocidades v se observan seis datos de datos disparados. En la Figura 3.4 se presentan las mismas series de tiempo ya corregidas sin los datos disparados.

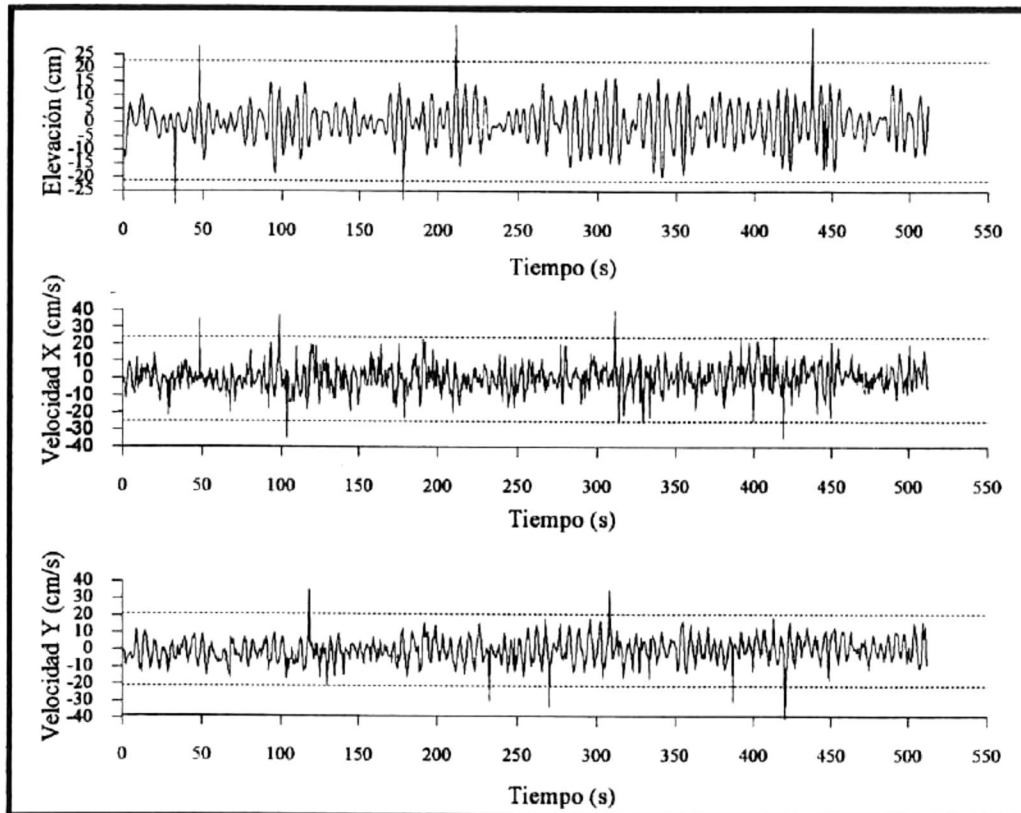


Figura 3.3 Series de tiempo no corregidas de presiones, velocidades u y v .

3.6 Análisis matemático estadístico.

3.6.1 Eliminación de tendencias lineales o alineales de las series de tiempo.

La eliminación de tendencias lineales o alineales de las series de tiempo de oleaje constituyó el primer paso del análisis matemático estadístico. Estas tendencias se deben principalmente al intervalo de muestreo de los datos (0.5 seg.), el cual es relativamente corto en comparación con periodos de ondas de baja frecuencia como por ejemplo la

marea, de manera que las señales de alta frecuencia (como el oleaje), se encuentran sobrepuestas a las de marea. De esta forma, es preciso eliminar estas tendencias en virtud de que pueden causar errores grandes al calcular los espectros de energía y otras funciones estadísticas. Estas tendencias lineales y alineales, se eliminan mediante técnicas de mínimos cuadrados. El algoritmo consiste en ajustar un polinomio a los datos de elevaciones y velocidades u y v .

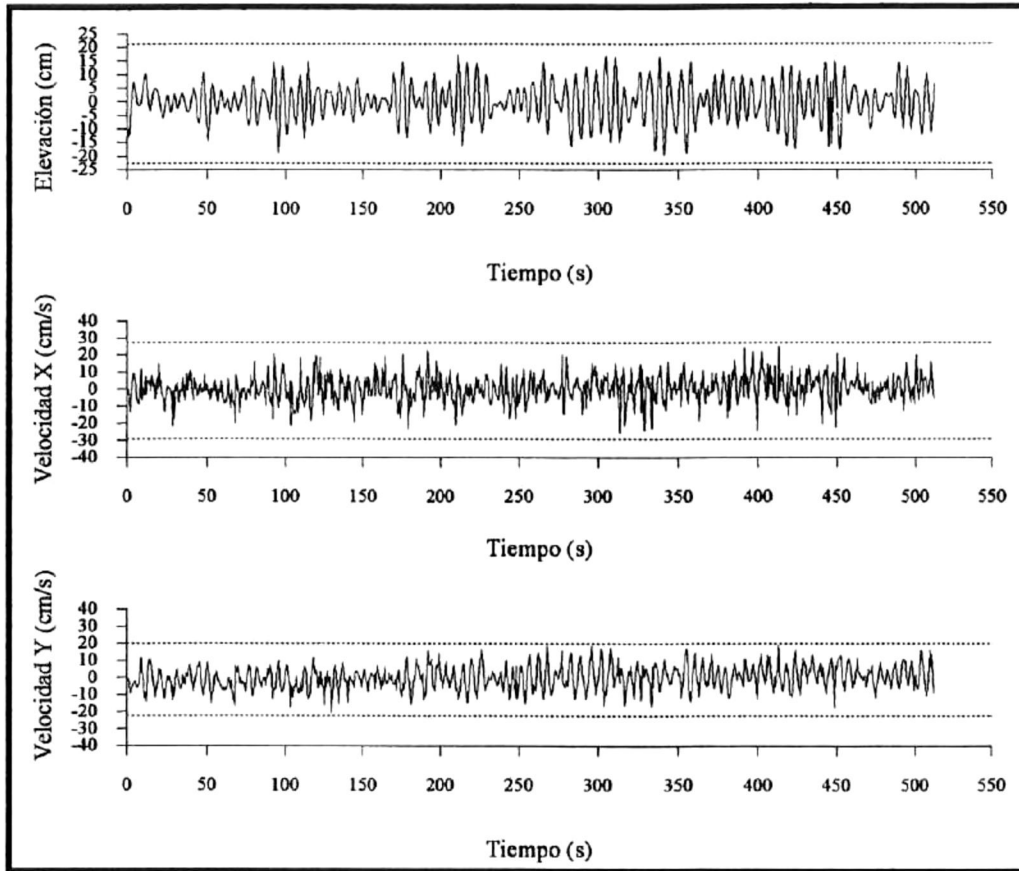


Figura 3.4 Series de tiempo corregidas de presiones, velocidades u y v .

Se define una función $x(i)$, en donde x representa a las variables η , u o v , muestreada con un intervalo constante T para $y = 0, 1, \dots, N-1$ y a la que se desea ajustar un polinomio de la forma:

$$\tilde{x}(i) = \sum_{k=0}^k (iT)^k C_k \tag{3.14}$$

en donde $\tilde{x}(i)$ representa el conjunto de datos estimados de η , u o v ; T es el intervalo constante de muestreo; e i es el número de datos η , u o v . Así mismo, se define una función $E(c)$ de los coeficientes del polinomios de la siguiente forma:

$$E(c) = \sum_{i=0}^{N-1} \left(x(i) - \sum_{k=0}^K (iT)^k c_k \right)^2 \quad (3.15)$$

en donde $E(c)$ es el error que se debe minimizar mediante la expresión:

$$\frac{\partial E}{\partial c_j} = \sum_{i=0}^{N-1} \left[x(i) - \sum_{k=0}^K (iT)^k c_k \right] \left[-(iT)^j \right] = 0 \quad j = 0, 1, \dots, K \quad (3.16)$$

En la mayoría de los casos basta con encontrar soluciones a esta ecuación para valores de $K=0$ o menores a 3 o 4. Por ejemplo, la solución para cuando $K=0$ es:

$$c_0 = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} x(i) \quad (3.17)$$

Así mismo, las soluciones para cuando $K=1$ son:

$$c_0 = \frac{2(2N-1) \sum_{i=0}^{N-1} x(i) - 6 \sum_{i=0}^{N-1} ix(i)}{N(N+1)} \quad (3.18)$$

$$c_1 = \frac{12 \sum_{i=0}^{N-1} ix(i) - \frac{N-1}{2} \sum_{i=0}^{N-1} x(i)}{TN(N^2+1)} \quad (3.19)$$

3.6.2 Cálculo del nivel medio del mar de los registros de oleaje.

El siguiente paso del análisis lo constituye el cálculo del nivel medio del mar de los registros. Cuando un registro es muy largo en el tiempo (mayor de una hora), este registros contienen la influencia de las variaciones del nivel de la marea, por lo que resulta conveniente incorporar la siguiente corrección lineal de mínimos cuadrados en el análisis (Goda, 1985):

$$\bar{\eta} = A_0 + A_1 n \quad n = 1, 2, \dots, N \quad (3.20)$$

donde:

$$A_0 = \frac{N_2 Y_0 - N_1 Y_1}{N_0 N_1 - N_1^2} \quad A_1 = \frac{N_0 Y_1 - N_1 Y_0}{N_0 N_2 - N_1^2} \quad (3.21)$$

y:

$$N_r = \sum_{n=1}^N n^r \quad Y_r = \sum_{n=1}^N n^r \eta_n \quad (3.22)$$

en donde N denota el número total de puntos de la serie.

En el caso particular de este trabajo, el nivel medio del mar se determinó utilizando simplemente el promedio aritmético de los datos. Este promedio se restó a cada uno de los datos y de esta forma la serie de datos fue referida a cero. Esto es posible realizarlo ya que las ráfagas, al ser series de tiempo de muy corta duración (15 minutos), no presentan tendencias importantes por lo que resulta completamente válido usar el promedio aritmético para determinar el nivel medio del mar. En la Figura 3.5a se presenta una serie de tiempo de las elevaciones de la superficie con el nivel medio del mar incluido en cada dato. En la Figura 3.5b, se presenta la misma serie de datos pero con el promedio aritmético restado a cada valor. Con esto los datos son referidos al cero. En este caso la columna de agua sobre el sensor de presión era de 11 m.

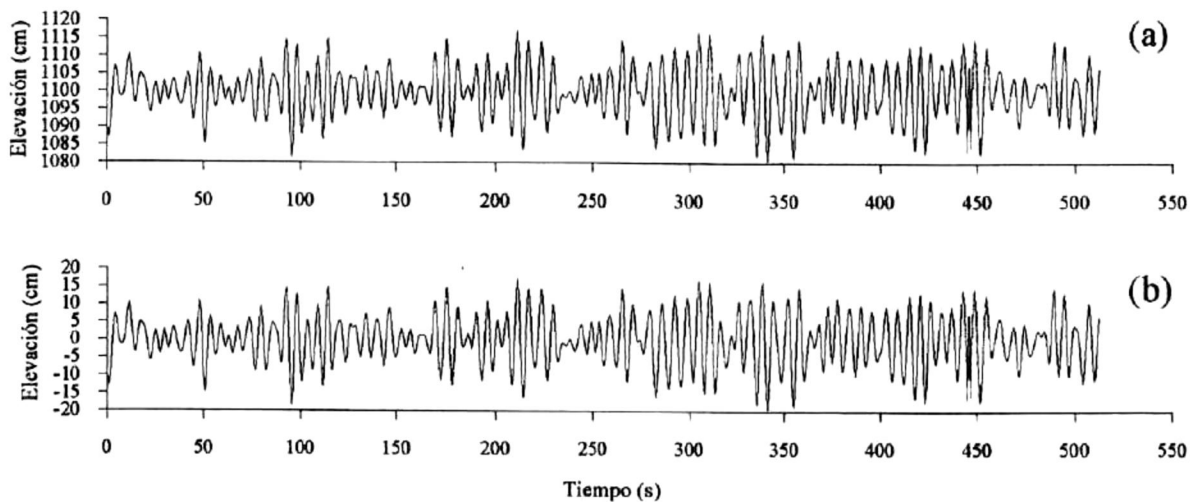


Figura 3.5a y b Series de tiempo de elevaciones con el nivel medio del mar en la figura (a) y con los datos referidos a cero en la figura (b).

3.6.3 Análisis de cruces por cero.

Este 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 primer paso de este método es definir el punto donde inicia la ola mediante la identificación del primer punto en el registro donde la señal cruza hacia arriba la línea del nivel medio del mar y, segundo, definir el punto donde termina la primera ola y principia la segunda rastreando el registro hasta encontrar el siguiente punto en donde la señal cruza nuevamente la lineal del nivel medio del mar hacia arriba. En un gráfico en donde el eje de las abscisas representa el tiempo y el eje de las ordenadas las variaciones del nivel del mar, la distancia horizontal entre los dos puntos contiguos de cruce por cero de la señal, es definida como el período de la ola. La altura de la ola se define como la distancia vertical entre el punto más alto y el más bajo entre los dos puntos contiguos de cruce por cero (Horikawa, 1978). Con este método es posible también cuantificar el número total de olas que hay en un registro de datos.

3.6.4 Cálculo de las direcciones del oleaje.

Las direcciones de las olas registradas por lo ológrafos, se calculan a partir de los valores de las componentes horizontales de velocidades instantáneas u y v mediante las siguientes expresiones (Nagata, 1964):

$$\theta_0 = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{2\bar{uv}}{\bar{u}^2 - \bar{v}^2} \right) \quad (3.23)$$

en donde:

θ_0 = Dirección principal,

$$\bar{u}^2 = \frac{1}{ND} \sum_{i=1}^{ND} u^2 \quad (3.24)$$

$$\bar{v}^2 = \frac{1}{ND} \sum_{i=1}^{ND} v^2 \quad (3.25)$$

$$\bar{uv} = \frac{1}{ND} \sum_{i=1}^{ND} uv \quad (3.26)$$

y:

ND = Número de datos de la ola.

Para ser consistentes con la nomenclatura trigonométrica, los ángulos correspondientes a estas direcciones se miden en contra de las manecillas del reloj a partir del eje de las abscisas, mismo que está orientado hacia el este en virtud de que el sistema coordenado formado por las componentes horizontales u y v de velocidades instantáneas del correntímetro del ológrafo está orientado al norte magnético.

Todas las direcciones se dan como direcciones de propagación del oleaje, es decir, las direcciones hacia donde se dirigen las olas. Esto es, las olas con dirección de 0° o 360° , se propagan hacia el este, olas con dirección de 90° se propagan hacia el norte, olas con dirección de 180° se propagan hacia el oeste y olas con dirección de 270° se propagan hacia el sur.

3.7 Análisis espectral.

La naturaleza aleatoria del oleaje, imposibilita su caracterización y análisis desde un punto de vista estrictamente determinístico. Esto nos obliga a estudiarla desde un punto de vista estadístico (Vidal y Vidal, *et al*, 1992). Para esto resulta indispensable caracterizar la cantidad de energía contenida en las olas, en virtud de que esta constituye el único parámetro disponible que nos permite caracterizar y comparar diferentes condiciones de oleaje. El cálculo de esta energía se realiza mediante el análisis espectral de las series de tiempo de oleaje. En dichos análisis, las series de tiempo de oleaje se representan como series finitas de Fourier y los coeficientes de estas series se calculan mediante el algoritmo de la Transformada Rápida de Fourier (FFT) (Brigham, 1974). Puesto que la energía de cada senoide de las series de Fourier es igual a la suma del cuadrado de sus coeficientes y, la suma de las senoides 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 para funciones continuas se define como:

$$X(f) = \sum_{-\infty}^{+\infty} x(t)e^{(-j2\pi ft)dt} \quad (3.27)$$

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 de velocidad instantáneas u y v , $j = \sqrt{-1}$, f es la frecuencia y t es el tiempo.

Como las series de tiempo analizadas en este trabajo no son funciones continuas sino discretas, entonces la transformada de Fourier discreta de longitud N se define como:

$$X(k) = T \sum_{t=0}^{N-1} x(t) e^{\left(\frac{-j2\pi kt}{N}\right)} \quad (3.28)$$

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

Una limitante del algoritmo estándar FFT es que para poder utilizarlo, la longitud de la serie de tiempo del oleaje debe ser una potencia de dos, esto es, $N = 2^m$. Para el caso de los datos analizados en este trabajo, la condición no se cumple, ya que las series contienen 1032 datos, por lo que fue necesario recortarlas dejándolas con 1024 datos cada una.

Por otra parte, para evitar el derrame (leakage) de energía de las frecuencias más energéticas a las menos energéticas, las series de tiempo se filtraron haciéndolas pasar por una ventana coseno mediante las siguientes operaciones:

$$\begin{aligned} \eta(t_*) &\rightarrow b(t_*)\eta(t_*) \\ u(t_*) &\rightarrow b(t_*)u(t_*) \\ v(t_*) &\rightarrow b(t_*)v(t_*) \end{aligned} \quad (3.29)$$

para:

$$\{t_* = 1, 2, \dots, N\}$$

donde:

$$b(t_*) = \begin{cases} \frac{1}{2} \left[\frac{1 - \cos \pi t_*}{l} \right] \dots \dots \dots : 0 < t_* < l, \\ 1 \dots \dots \dots : l \leq t_* \leq N - l, \\ \frac{1}{2} \left[1 - \cos \pi \frac{(N - t_*)}{l} \right] \dots \dots \dots : N - l < t_* \leq N \end{cases} \quad (3.30)$$

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:

$$\frac{N}{\sum b^2(t_*)} \quad (3.31)$$

Las series de tiempo tienen que ser lo más largas posibles porque la resolución del cálculo espectral depende de su longitud. Entendiéndose por resolución a 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 nuestros sitios de estudio, se escogieron 32 bandas de frecuencia, equivalentes a 64 grados de libertad, lo que permitió obtener una resolución espectral de 0.03125 Hz para todos los casos.

En virtud de que el intervalo de muestreo (Δt) de los datos de oleaje de nuestros sitios fue de 0.5 segundos, la frecuencia más alta a la que se le pudo calcular la densidad de energía fue de 1.0 Hz. Esta frecuencia se denomina frecuencia de Nyquist, o frecuencia de corte y se calcula mediante la fórmula:

$$F = \frac{1}{2\Delta t} \quad (3.32)$$

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 velocidades instantáneas u y v . Así obtenemos dos estimaciones independientes de la variancia de las elevaciones del nivel del mar y, de esta forma podemos calificar el funcionamiento de los ológrafos.

Siempre resulta conveniente evaluar la correlación entre las series de tiempo de elevaciones η del nivel del mar y de las componentes horizontales de velocidades instantáneas u y v , para verificar su dependencia estadística, ya que las mediciones de alturas y direcciones de oleaje se realizan por sensores independientes pero suponiendo que físicamente existe una relación causa-efecto entre las dos variables. Para esto se calcula la

función coherencia a partir de los espectros cruzados entre las series de tiempo de elevaciones y velocidades mediante la siguiente expresión:

$$r = \frac{\sigma_{ijk}}{(\sigma_{ij}\sigma_{ik})^{\frac{1}{2}}} \quad (3.33)$$

donde:

r = coherencia entre las series j y k

σ_{ijk} = Densidad espectral cruzada entre las series j y k para la frecuencia y

σ_{ij} = Densidad espectral de la serie j para la frecuencia y .

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

$$\mu_n = \int_0^{F_c} f^n E(f) df \quad (3.34)$$

en donde: μ_n es el momento espectral de orden n , f es la frecuencia y E es la densidad de energía. Las alturas significantes se calcularon con el promedio de la tercera parte de olas de mayor tamaño por cada ráfaga, esto, estando en el dominio del tiempo.

También es posible calcular las alturas significantes en el dominio de las frecuencias. Esto se realiza a partir de los momentos espectrales mediante las siguientes expresiones (Longuet-Higgins, 1952):

$$H_s = 4\sqrt{\mu_0} \quad (3.35)$$

$$T_s = \frac{\mu_0}{\mu_1} \quad (3.36)$$

y el ancho espectral (Cartwright y Longuet-Higgins, 1956) mediante la expresión:

$$\gamma^2 = 1 - \left(\frac{\mu^2}{\mu_0\mu_4} \right) \quad (3.37)$$

3.7.1 Espectro direccional.

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 componentes horizontales de velocidades instantáneas u y v . Los espectros direccionales de densidad de energía se calcularon utilizando un ancho de banda de 0.03125 Hz y una frecuencia de corte de 1 Hz, utilizando los modelos de Longuet-Higgins (1963) y Nagata (1964). La solución de estos modelos implica, primeramente, calcular las funciones de covarianza entre las series de tiempo de elevaciones η y entre las componentes horizontales de velocidades instantáneas u y v mediante las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned}\psi_{uu}(f) &= \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{2} k_n a_n^2 \cos(\theta_n) \text{sen}(\omega_n \tau) \\ \psi_{vv}(f) &= \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{2} k_n a_n^2 \text{sen}(\theta_n) \text{sen}(\omega_n \tau) \\ \psi_{uv}(f) &= \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{2} k_n a_n^2 \cos(\theta_n) \text{sen}(\theta_n) \cos(\omega_n \tau)\end{aligned}\quad (3.38)$$

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 $2\pi f$, τ 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 expresiones:

$$\begin{aligned}C_{uv}(f) &= \int_{-\infty}^{\infty} \psi_{uv}(\tau) \cos(2\pi f \tau) d\tau = \frac{1}{2} \int_0^{2\pi} S(f, \theta) k^2 \cos \theta \text{sen} \theta d\theta \\ Q_{\eta u}(f) &= \int_{-\infty}^{\infty} \psi_{\eta u}(\tau) \text{sen}(2\pi f \tau) d\tau = \frac{1}{2} \int_0^{2\pi} S(f, \theta) k \cos \theta d\theta \\ Q_{\eta v}(f) &= \int_{-\infty}^{\infty} \psi_{\eta v}(\tau) \text{sen}(2\pi f \tau) d\tau = \frac{1}{2} \int_0^{2\pi} S(f, \theta) k \text{sen} \theta d\theta\end{aligned}\quad (3.39)$$

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

$$\begin{aligned}
 C_{\eta\eta}(f) &= \int_{-\infty}^{\infty} \psi_{\eta\eta}(\tau) \cos(2\pi f\tau) d\tau = \frac{1}{2} \int_0^{2\pi} S(f, \theta) d\theta \\
 C_{uu}(f) &= \int_{-\infty}^{\infty} \psi_{uu}(\tau) \cos(2\pi f\tau) d\tau = \frac{1}{2} \int_0^{2\pi} S(f, \theta) k^2 \cos^2 \theta d\theta \\
 C_{vv}(f) &= \int_{-\infty}^{\infty} \psi_{vv}(\tau) \cos(2\pi f\tau) d\tau = \frac{1}{2} \int_0^{2\pi} S(f, \theta) k^2 \sin^2 \theta d\theta
 \end{aligned} \tag{3.40}$$

De esta manera obtenemos 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. Para calcular el espectro direccional de densidad de energía $S(f, \theta)$ lo representamos por una serie de Fourier:

$$S(f, \theta) = \frac{1}{2} A_0(f) + \sum_{n=1}^{\infty} [A_n(f) \cos(n\theta) + B_n(f) \sin(n\theta)] \tag{3.41}$$

misma que sustituimos en la ecuación 4.39 y 4.40, e integrándolas determinamos los valores de los coeficientes de Fourier para $n = 0, 1$ y 2 mediante las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned}
 A_0(f) &= \frac{2}{\pi} C_{uu}(f) \\
 A_1(f) &= \frac{2}{\pi k} Q_{\eta u}(f) \\
 A_2(f) &= \frac{2}{\pi k^2} [C_{uu}(f) - C_{vv}(f)] \\
 B_1(f) &= \frac{2}{\pi k} Q_{\eta v}(f) \\
 B_2(f) &= \frac{4}{\pi k^2} C_{uv}(f)
 \end{aligned} \tag{3.42}$$

Esta estimación de $S(f, \theta)$ representa a la serie infinita de Fourier de la ecuación 3.41 solo 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 valor verdadero del espectro direccional, basta con multiplicarlo por un factor de corrección, que es:

$$S'_1(f, \theta) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} S(f, \theta) W_1(\phi - \theta) d\theta \quad (3.43)$$

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:

$$S'_2(f, \theta) = \frac{1}{2} A_0 + \frac{2}{3} (A_1 \cos \theta + B_1 \text{sen } \theta) + \frac{1}{6} (A_2 \cos 2\theta + B_2 \text{sen } 2\theta) \quad (3.44)$$

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

$$W_2(\phi) = \frac{8}{3} \cos^4 \frac{1}{2} \phi = 1 + \frac{4}{3} \cos \phi + \frac{1}{3} \cos 2\phi \quad (3.45)$$

3.8 Análisis de densidad de probabilidad.

Todo diseño y cálculo confiable de estructuras a emplazar en zonas costeras requiere de la descripción probabilística de la respuesta pico de las estructuras a las fuerzas aleatorias del oleaje. Para esto resulta indispensable calcular las densidades 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:

$$P(\xi) = \xi \exp\left(-\frac{\xi^2}{2}\right) \quad (3.46)$$

en donde:

$$\xi = \alpha / \mu_0^{1/2}$$

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

Por otra parte, la densidad de probabilidad del periodo de una ola esta dada por:

$$P(\beta) = \frac{1}{2(1 - \beta^2)^{3/2}} \quad (3.47)$$

en donde:

$$\beta = \frac{r - \bar{r}}{V\bar{r}}$$

\bar{r} es el periodo promedio de las olas y,

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

siendo μ_2 el momento espectral de segundo orden. Por consiguiente, la densidad de probabilidad conjunta de alturas y periodos está dada teóricamente por la siguiente expresión:

$$P(\xi, \beta) = \frac{\xi^2}{(2\pi)^{1/2}} \exp\left[-\xi^2(1 + \beta^2)/2\right] \quad (3.48)$$

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

4. Resultados

4.1 Calidad de los datos

De un total de 146 cintas, solo fue posible procesar el 50 % del total. Esto se debió a los siguientes motivos:

1. Las cintas se encontraban dañadas físicamente.
2. El número de líneas malas en cada cinta, excedía el 30 % del total de líneas.

La Tabla 4.1, resume la cantidad inicial de cintas con las que se contaba, el número total de cintas que pudieron ser leídas y transferidas al disco duro de la PC, así como los porcentajes correspondientes según el número de cintas transferidas. La transferencia de los datos constituye la primera parte del análisis de la calidad de los datos y es descrito en el siguiente capítulo.

Las Tablas 4.2, 4.3, 4.4a, 4.4b, 4.5, 4.6a y 4.6b, resumen el número de líneas por cinta, el número de líneas malas (tanto líneas con paridad como líneas cortas) y sus porcentajes, el número de líneas buenas y su porcentaje y, el número total de datos disparados de elevaciones, velocidades u y velocidades v . Todos los datos que se resumen en estas tablas, contienen las correcciones mencionadas en los capítulos anteriores.

En la Tabla 4.2, se presenta el resultado de la calidad de los datos de las cintas que pudieron ser leídas y que se consideraron como buenas del sitio Barra del Tordo, Tamaulipas. De la misma forma, las Tablas 4.3, 4.4a, 4.4b, 4.5, 4.6a y 4.6b, resumen la calidad de los datos de los sitios de Altamira, Barra de Cazones-1 y Barra de Cazones-2, Tuxpan, Xcaret-1 y Xcaret-2, respectivamente. Es importante mencionar que de un total de 146 cintas, distribuidas en las cinco estaciones registradoras de oleaje a lo largo del Golfo de México y Mar Caribe, solo fue posible la lectura y transferencia de 73 cintas, correspondiendo al 50 % de las cintas que originalmente se procesarían.

Tabla 4.1 Estadística de la calidad de los datos de oleaje después de la primera etapa.

Nombre del sitio	No. total de cintas	No. de cintas buenas y transferidas	% de cintas buenas y transferidas
Altamira	16	9	56.25
Barra el Tordo	32	31	96.87
Tuxpan	29	8	27.58
Barra de Cazones	43	12	27.9
Xcaret	26	13	50

Como se aprecia en las Tablas 4.2, 4.3, 4.4a, 4.4b, 4.5, 4.6a y 4.6b, los porcentajes de líneas buenas son muy altos, lo que permitió que estos datos pasaran a la siguiente etapa del análisis que es el procesamiento.

Tabla 4.2 Estadística de la calidad de los datos del sitio, Barra del Tordo, Tamps.
(31 cintas cuyo periodo de medición es del 14/06/90 al 05/10/93).

Número de cinta	Número de Líneas por Cinta	Líneas con error de paridad	% de líneas con error de Paridad	Líneas Cortas	% de líneas cortas	Líneas buenas	% de líneas buenas	Número de datos disparados		
								Elevación	Vel. U	Vel. V
1	38064	700	1.83	2	0.005	37362	98.15	606	821	808
2	23403	194	0.82	4	0.017	23205	99.15	395	1039	796
3	39339	678	1.72	0	0	38661	98.27	682	1142	1098
4	39480	972	2.46	6	0.015	38502	97.52	1381	883	913
5	34545	600	1.73	2	0.005	33943	98.25	658	990	943
8	39057	1845	4.72	2	0.005	37210	95.27	815	1436	1422
9	38070	1038	2.72	3	0.007	36921	96.98	810	2269	2263
10	40890	5723	13.99	4	0.009	35163	85.99	1751	2517	2454
11	30879	615	1.99	18	0.058	30246	97.95	583	2016	2026
12	36942	522	1.41	1	0.002	36419	98.58	659	1084	1082
13	23829	253	1.06	16	0.067	23560	98.87	460	715	716
15	39198	1527	3.89	5	0.012	37666	96.09	663	1262	1207
16	37647	1818	4.82	5	0.013	35824	95.15	521	1291	1285
17	30033	547	1.82	3	0.009	29483	98.16	513	1197	1118
18	35532	377	1.06	0	0	35155	98.93	467	1654	1660
19	42441	426	1.003	7	0.016	42008	98.97	721	2575	2600
20	34545	683	1.97	0	0	33862	98.02	581	714	705
21	40467	1188	2.93	12	0.029	39267	97.03	720	1870	1873
22	25380	230	0.9	11	0.043	25139	99.05	520	864	866
25	32148	1279	3.97	2	0.006	30862	95.99	595	532	531
26	35532	1551	4.36	39	0.109	33942	95.52	989	694	684
27	40608	3765	9.27	14	0.344	36829	90.69	765	639	577
28	50566	11196	22.14	13	0.025	39357	77.83	1748	1019	1128
29	34428	0	0	2	0.005	34426	99.99	571	542	517
30	34748	1	0.002	4	0.011	34743	99.98	494	443	439
32	41595	4	9.61	12	0.02	41579	99.96	713	581	589
33	28905	2	0.006	1	0.003	28902	99.98	506	533	521
34	16753	4	0.023	0	0	16749	99.97	299	185	189
35	36853	8	0.021	1	0.002	36844	99.97	767	448	451
36	38676	16	0.041	5	0.012	38655	99.94	653	558	555
37	40890	5723	13.99	4	0.009	35163	85.99	1751	2517	2424

Tabla 4.3 Estadística de la calidad de los datos del sitio, Altamira, Tamps.

(9 cintas cuyo periodo de medición es del 09 /07 /91 al 04 /05/92)

Número de cinta	Número de Líneas por Cinta	Líneas con error de paridad	% de líneas con error de paridad	Líneas cortas	% de líneas cortas	Líneas buenas	% de líneas buenas	Número de datos disparados		
								Elevación	Vel. U	Vel. V
5	15933	87	0.546	6	0.037	15840	99.41	251	1090	526
6	20022	76	0.379	11	0.054	19779	98.78	439	862	533
7	37506	166	0.442	3	0.007	37196	99.17	687	551	543
8	37788	78	0.206	84	0.222	37485	99.19	2919	545	579
9	30456	3	0.009	2	0.006	30451	99.98	408	311	311
10	28059	9	0.032	3	0.01	28047	99.95	402	265	278
11	42300	32	0.075	0	0	42268	99.92	722	1193	1118
12	30315	15	0.049	1	0.003	30289	99.91	616	503	630
13	42582	128	0.3	1	0.002	42452	99.69	845	902	821

Tabla 4.4a Estadística de la calidad de los datos del sitio, B. de Cazonés, Ver.

(6 cintas cuyo periodo de medición comprende del 08/09/87 al 09/07/89)

Número de cinta	Número de Líneas por Cinta	Líneas con error de paridad	% de líneas con error de paridad	Líneas cortas	% de líneas cortas	Líneas buenas	% de líneas buenas	Número de datos disparados		
								Elevación	Vel. U	Vel. V
1	33415	15	0.04	9	0.02	33391	99.92	544	756	694
2	31425	9	0.02	12	0.03	31404	99.93	685	427	468
12	26081	1	0.003	111	0.42	25969	99.57	1243	1238	751
13	32852	2	0.006	0	0	32850	99.99	478	1124	703
18	27917	0	0	3	0.01	27914	99.98	453	1135	510
22	29033	20	0.06	21	0.072	28992	99.85	582	375	420

Tabla 4.4b Estadística de la calidad de los datos del sitio, B. de Cazonos, Ver.
(6 cintas cuyo periodo de medición comprende entre el 18/05/88 al 12/05/89)

Número de cinta	Número de líneas por cinta	Líneas con error de paridad	% de líneas con error de paridad	Líneas cortas	% de líneas cortas	Líneas buenas	% de líneas buenas	Número de datos disparados		
								Elevación	Vel. U	Vel. V
13	32289	12	0.03	10	0.03	32267	99.93	591	424	473
14	13395	4	0.02	0	0	13391	99.97	281	225	229
16	29184	24	0.08	18	0.06	29142	99.85	604	360	360
19	33840	1	0.002	3	0.008	33836	99.98	562	475	470
24	33840	0	0	0	0	33840	100	514	507	501
25	32429	3	0.009	1	0.003	32425	99.98	661	444	472

Tabla 4.5 Estadística de la calidad de los datos del sitio, Tuxpan, Ver.
(8 cintas cuyo periodo de medición es del 13/08/82 al 09/08/83)

Número de cinta	Número de líneas por cinta	Líneas con error de paridad	% de líneas con error de paridad	Líneas cortas	% de líneas cortas	Líneas buenas	% de líneas buenas	Número de datos disparados		
								Elevación	Vel. U	Vel. V
1	26148	4	0.015	6	0.022	26138	99.96	638	448	430
2	33483	9	0.026	0	0	33474	99.97	644	610	648
4	19717	316	1.602	341	1.729	19060	99.66	1822	404	549
5	21449	199	0.927	21	0.097	21229	98.97	1947	327	255
6	27321	31	0.113	17	0.062	27273	99.82	766	639	649
9	13379	74	0.553	51	0.381	13154	98.31	441	289	243
10	23088	9	0.038	23	0.099	23056	99.86	422	395	430
11	22956	46	0.2	45	0.196	22865	99.61	422	463	369

Tabla 4.6a Estadística de la calidad de los datos del sitio, Xcaret, Q.Roo.
(5 cintas cuyo periodo de medición es del 10/08/82 al 08/09/83)

Número de cinta	Número de líneas por cinta	Líneas con error de paridad	% de líneas con error de paridad	Líneas cortas	% de líneas cortas	Líneas buenas	% de líneas buenas	Número de datos disparados		
								Elevación	Vel. U	Vel. V
1	49877	0	0	0	0	49877	100	1250	1034	1139
2	12312	0	0	0	0	12312	100	171	220	388
8	32853	2	0.006	38	0.115	32813	99.87	1060	609	598
10	29607	16	0.054	90	0.303	29501	99.64	939	939	889
11	31725	2	0.006	31	0.097	31692	99.89	818	606	610

Tabla 4.6b Estadística de la calidad de los datos del sitio, Xcaret, Q.Roo.
(8 cintas cuyo periodo de medición es del 10/08/82 al 7/12/83)

Número de cinta	Número de líneas por cinta	Líneas con error de paridad	% de líneas con error de paridad	Líneas cortas	% de líneas cortas	Líneas buenas	% de líneas buenas	Número de datos disparados		
								Elevación	Vel. U	Vel. V
1	49878	6	0.012	0	0	49872	99.98	768	832	1186
6	30291	17	0.056	105	0.346	30169	99.59	486	728	713
7	10434	14	0.134	28	0.268	10392	99.59	392	369	369
8	30597	2	0.006	6	0.019	30589	99.97	2790	577	730
10	29046	11	0.378	6	0.02	29029	99.94	7658	779	163
11	32571	26	0.079	40	0.122	32505	99.79	1958	543	688
12	29749	1	0.003	4	0.013	29744	99.98	4096	986	960
13	27918	0	0	0	0	27918	100	1201	1122	1015

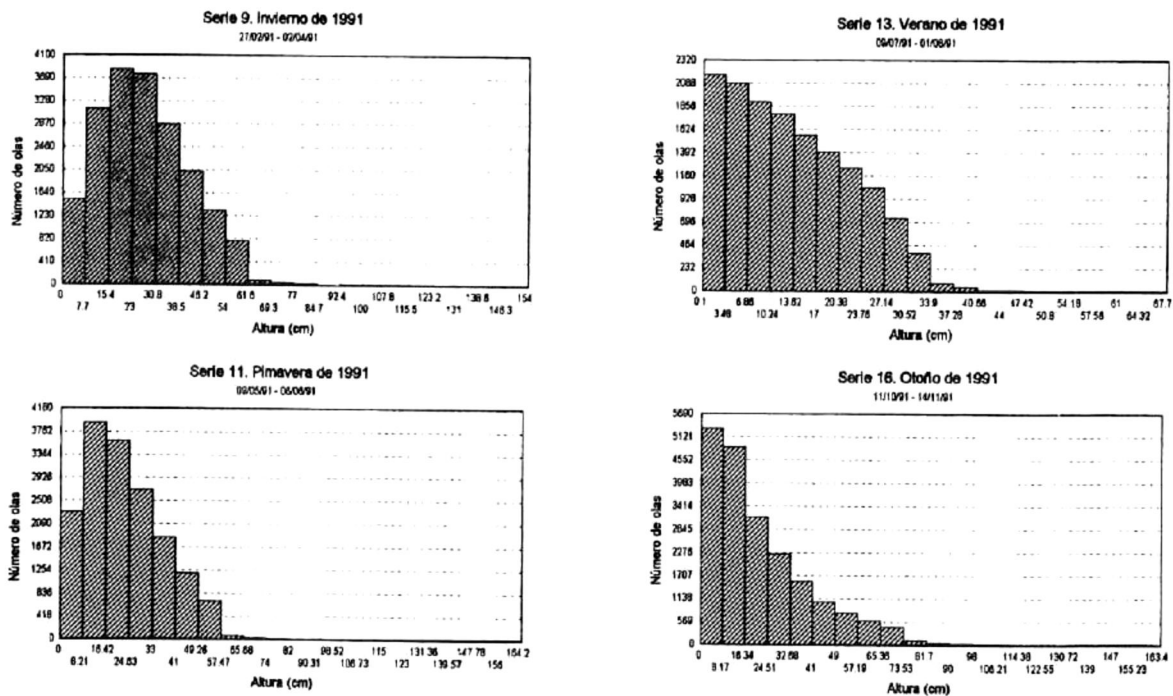
4.2 Barra del Tordo, Tamaulipas, Análisis Matemático Estadístico.

4.2.1 Alturas

En la Gráfica 4.1 se presentan cuatro histogramas de la población de datos de alturas de olas correspondientes a diferentes segmentos de las épocas del año 1991. Así mismo, la Tabla 4.7 resume los momentos estadísticos de cada una de estas series de tiempo (cintas). Estas mismas gráficas y tablas se realizaron para el resto de las series de tiempo de alturas de este sitio y sus momentos estadísticos se resumen en la Tabla 4.8.

Se debe notar que las escalas son diferentes para cada gráfica, esto sucede en la mayoría de las gráficas presentadas en este trabajo.

Los promedios de alturas, de cada serie de tiempo se resumen en la Tabla 4.11 y sus fluctuaciones a través del tiempo se aprecian en la Gráfica 4.2. Tanto en la tabla como en las gráficas, se utilizan las abreviaciones V-90, O-90, I-90, etc. las cuales indican la época del año de cada serie de tiempo, por ejemplo, la abreviación V-90 indica la época de verano del año 1990. Estas mismas abreviaciones serán empleadas a lo largo de este capítulo.



Gráfica 4.1 Histogramas de alturas del sitio Barra del Tordo, para las diferentes épocas del año 1991.

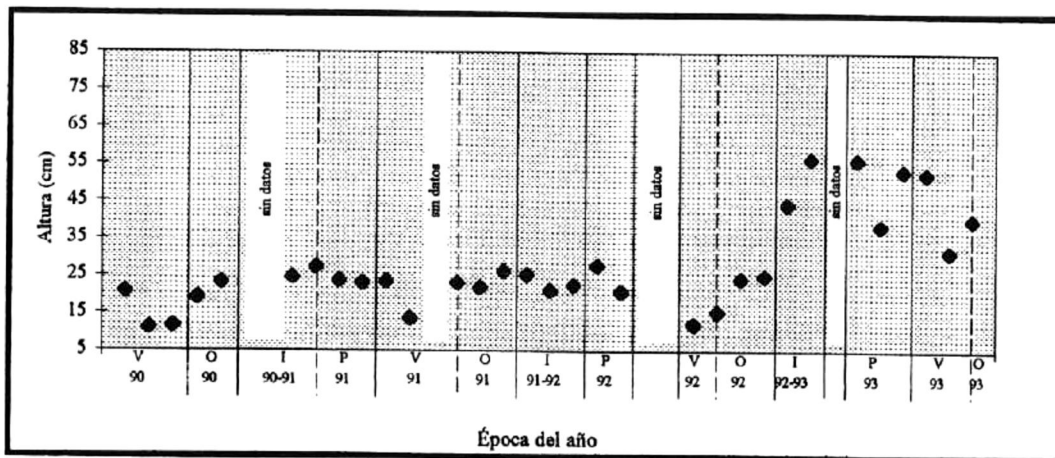
Tabla 4.7 Estadística para los datos de altura del sitio Barra del Tordo, para las diferentes épocas del año 1991.

No. de serie	Época del año	Número de datos	Promedio (cm)	Mediana (cm)	Mínimo (cm)	Máximo (cm)	Desviación Estándar
9	I-91	19419	27.20	25.60	0.10	154.35	14.63
11	P-91	16366	23.03	20.90	0.10	164.35	13.83
13	V-91	14460	13.51	12.2	0.10	67.75	9.06
16	O-91	20274	21.77	16.20	0.00	163.57	18.50

Tabla 4.8 Momentos estadísticos de alturas para las series de tiempo del sitio Barra del Tordo, Tamps.

No. de serie	Época del año	No. de datos	Mediana (cm)	Intervalo (cm)	Desviación Estándar
1	V-90	22498	17.90	187.66	14.82
2	V-90	14102	6.70	70.12	12.11
3	V-90	25704	10.30	59.95	8.41
4	O-90	21506	14.60	223.14	19.18
5	O-90	18019	21.00	164.30	14.00
sin datos	-	-	-	-	-
8	I-91	18954	21.10	160.37	16.80
9	I-P-91	19419	25.60	154.25	14.63
10	P-91	17962	21.70	225.45	14.60
11	P-91	16366	20.90	164.25	13.83
12	V-91	20854	20.40	231.37	16.08
13	V-91	14460	12.20	67.65	9.06
sin datos	-	-	-	-	-
15	V-O-91	20007	19.40	216.10	16.46
16	O-91	20274	16.20	163.57	18.50
17	O-91	16036	24.10	214.20	15.47
18	I-91-92	17183	22.60	173.25	16.04
19	I-92	22036	19.00	127.80	12.78
20	I-92	18522	20.80	165.91	13.72
21	P-92	22655	18.90	107.30	12.66
22	P-92	14001	19.90	82.65	11.74
sin datos	-	-	-	-	-
25	V-92	19977	10.90	61.72	8.25
26	V-O-92	21281	13.60	160.08	10.98
27	O-92	21998	20.20	209.40	17.44
28	O-92	23560	20.10	431.11	21.14
29	I-92-93	17938	40.50	246.42	25.69
30	I-93	18380	52.60	300.65	30.78
sin datos	-	-	-	-	-
32	P-93	22029	53.20	439.05	29.41
33	P-93	16614	32.60	322.60	27.81
34	P-93	8623	50.00	264.30	28.87
35	V-93	18751	49.00	302.23	29.54
36	V-93	23310	29.40	167.65	19.50
37	V-O-93	25997	32.00	355.70	32.17

En la Gráfica 4.2, de alturas promedio, es posible observar que los mínimos valores registrados se presentan durante los meses de junio, julio, agosto y principios de septiembre, que corresponden a las épocas de verano de cada año, mientras que los máximos valores promedio se reportan al final de los meses de invierno o principios de los meses de primavera. De esta forma es posible determinar dos épocas de vientos bien definidas durante cada año, que se refleja en las condiciones del oleaje. Esto concuerda con lo reportado por Gutiérrez de Velasco y Winant en 1995.



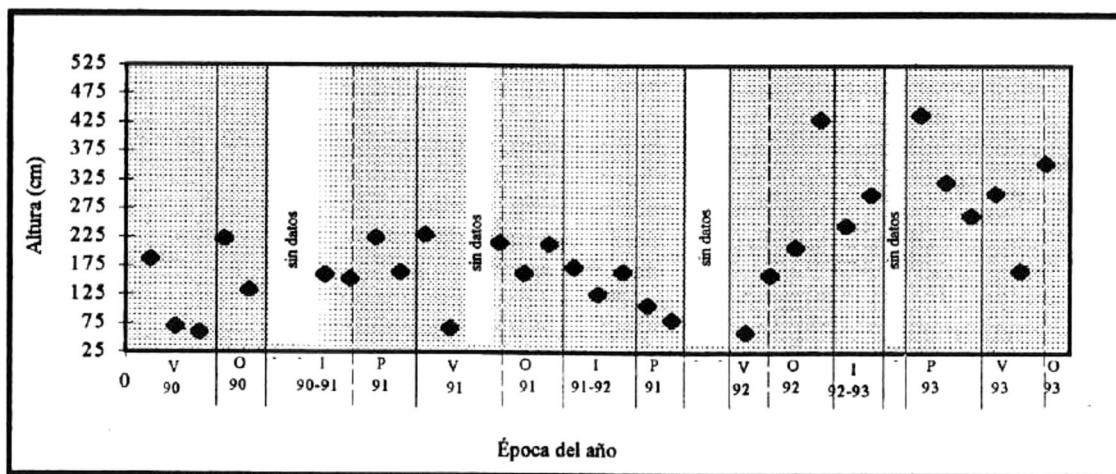
Gráfica 4.2 Alturas promedio del sitio Barra del Tordo, Tamps. para las diferentes épocas de los años 1990, 1991, 1993 y 1993

El menor valor promedio para el año 1990, se registró durante los meses de julio y agosto (verano), con un valor de 11.3 cm. Para el año 1991, el menor valor promedio se registro durante el mes de julio (verano), con un valor de 13.51 cm. En agosto de 1992 (verano), se presentó el menor valor promedio para este año, con una magnitud de 12.3 cm y finalmente para 1993, el menor valor promedio fue registrado durante los meses de julio y agosto (verano), con un valor de 31.38 cm.

En la Gráfica 4.3 y Tabla 4.12, es posible observar los máximos valores de alturas, registrados para cada serie de tiempo, encontrando los valores de menor magnitud durante los meses de verano. Sin embargo, en esta gráfica es más difícil notar las dos épocas de vientos, ya que durante las épocas de verano y otoño existe la influencia de tormentas y huracanes sobre el oleaje, lo que se refleja en olas de mayores magnitudes. Es importante mencionar que dichas influencias sobre el oleaje, pueden **no notarse** claramente en los

promedios, ya que en el caso de los huracanes, existe una baja ocurrencia durante el año (aproximadamente 9 huracanes por año, con una duración de alrededor de 1 semana por huracán), Información proporcionada por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).

En 1990, la mayor altura se registró durante la época de otoño con una magnitud de 223.245 cm, mientras que en 1991, el mayor valor registrado fue de 231.475 cm y se registró durante la época de verano. En 1992, el mayor valor fue de 431.116 cm y se reportó durante la época de verano y finalmente en 1993, la mayor ola se presentó durante la época de primavera y su magnitud fue de 439.15 cm. Por las épocas en que se presentaron las máximas alturas y por sus magnitudes, es muy probable que estos datos estén relacionados con la presencia de huracanes en el Golfo de México.

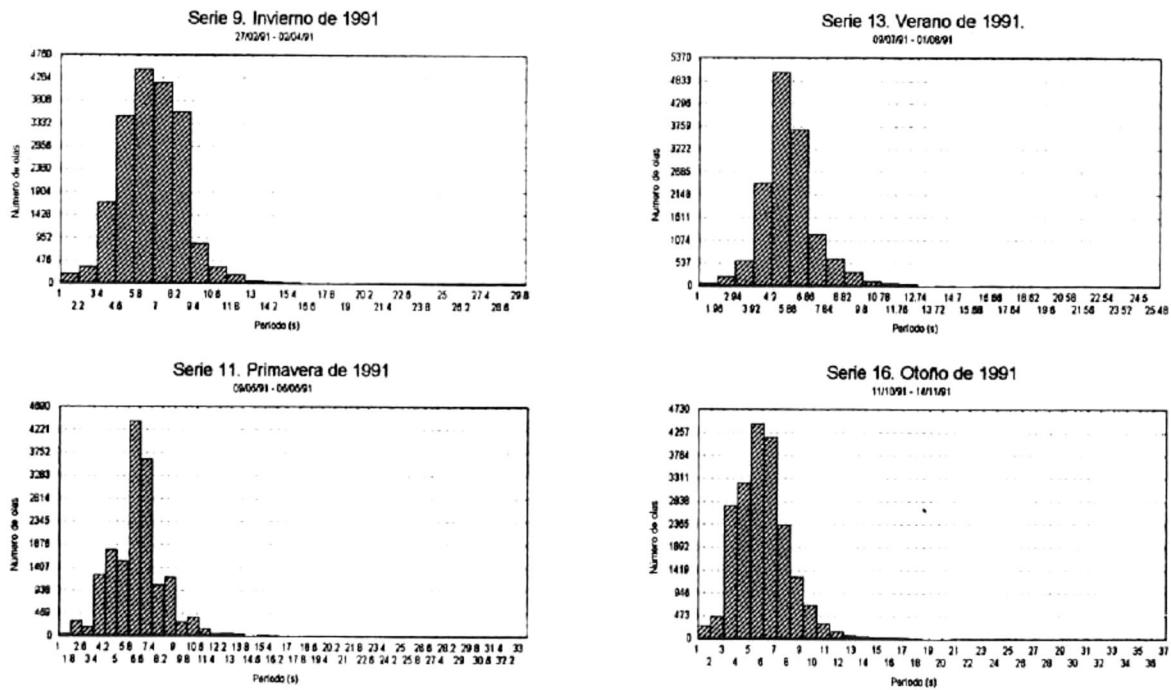


Gráfica 4.3 Alturas máximas registradas en el sitio Barra del Tordo, Tamps. para las diferentes épocas de los años 1990, 1991, 1992 y 1993.

4.2.2 Períodos

En la Gráfica 4.4 se presentan cuatro histogramas de la población de datos de períodos de olas correspondientes a diferentes segmentos de las épocas del año 1991. Así mismo, la Tabla 4.9 resume la estadística realizada a cada una de estas series de tiempo. Estas mismas gráficas y tablas se realizaron para el resto de las series de tiempo de períodos de este sitio y sus momentos estadísticos se resumen en la Tabla 4.10.

La distribución de períodos promedios correspondientes a las olas identificadas por el método de cruces por cero se presentan en la Gráfica 4.5 y Tabla 4.11. Para el año de 1990, el menor valor promedio fue de 5.8 segundos y se presentó durante la época de verano, mientras que el máximo valor promedio fue de 6.62 segundos y se presentó durante los meses de octubre y noviembre (otoño).



Gráfica 4.4 Histogramas de períodos del sitio Barra del Tordo, para las diferentes épocas del año 1991.

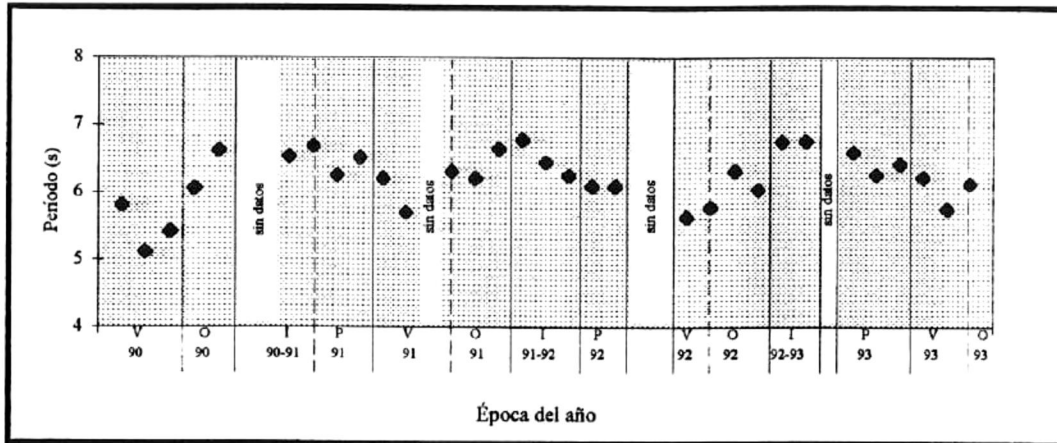
Tabla 4.9 Estadística para los datos de períodos del sitio Barra del Tordo, para las diferentes épocas del año 1991.

No. de serie	Época del año	Número de datos	Promedio (s)	Mediana (s)	Mínimo (s)	Máximo (s)	Desviación Estándar
9	I-91	19419	6.69	6.50	1.00	30.00	1.98
11	P-91	16366	6.51	6.50	1.00	33.50	1.92
13	V-91	14460	5.70	5.50	1.00	25.50	1.63
16	O-91	20274	6.21	6.00	1.00	37.00	2.11

En 1991 y 1992, el máximo valor fue de 6.78 segundos y se reportó durante el mes de diciembre de 1991 y principios del mes de enero de 1992 (invierno), mientras que los mínimos para estos años fueron de 5.7 en verano de 1991 y de 5.64, también en verano de 1992. Para 1993 el valor promedio máximo fue de 6.76 segundos y se presentó durante el mes de febrero (invierno), mientras que el mínimo fue de 5.75 (verano).

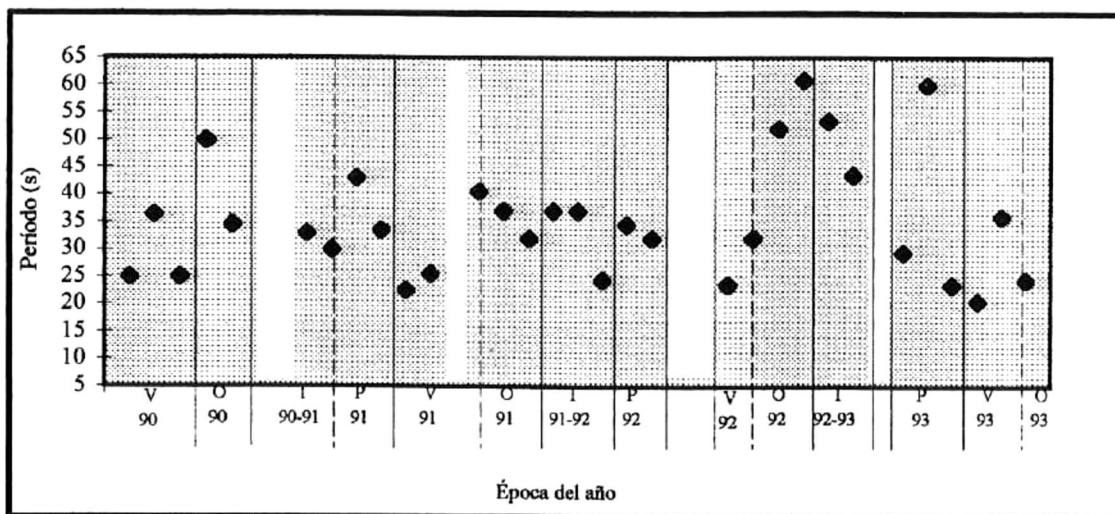
Tabla 4.10 Momentos estadísticos de períodos para las series de tiempo del sitio Barra del Tordo, Tamps.

No. de serie	Época del año	Número De datos	Mediana (s)	Intervalo (s)	Desviación Estándar
1	V-90	22498	5.50	24.00	1.60
2	V-90	14102	5.00	35.35	2.72
3	V-90	25704	5.00	24.00	1.73
4	O-90	21506	6.00	49.00	2.00
5	O-90	18019	6.50	33.50	2.02
sin datos	-	-	-	-	-
8	I-91	18954	6.50	32.00	1.95
9	I-P-91	19419	6.50	29.00	1.98
10	P-91	17962	6.00	42.00	2.19
11	P-91	16366	6.50	32.50	1.92
12	V-91	20854	6.00	21.50	1.68
13	V-91	14460	5.50	24.50	1.63
sin datos	-	-	-	-	-
15	V-O-91	20007	6.00	39.50	2.07
16	O-91	20274	6.00	36.00	2.11
17	O-91	16036	6.50	31.00	1.90
18	I-91-92	17183	6.50	36.00	1.94
19	I-92	22036	6.50	36.00	1.80
20	I-92	18522	6.00	23.50	1.77
21	P-92	22655	6.00	33.50	1.89
22	P-92	14001	6.00	31.00	1.71
sin datos	-	-	-	-	-
25	V-92	19977	5.50	22.50	1.98
26	V-O-92	21281	5.50	31.00	1.97
27	O-92	21998	6.00	51.00	2.63
28	O-92	23560	6.00	60.00	2.94
29	I-92-93	17938	6.50	52.50	1.91
30	I-93	18380	6.50	42.50	1.80
sin datos	-	-	-	-	-
32	P-93	22029	6.50	28.41	1.67
33	P-93	16614	6.50	59.00	1.81
34	P-93	8623	6.50	22.50	1.54
35	V-93	18751	6.00	19.50	1.49
36	V-93	23310	5.50	35.00	1.61
37	V-O-93	25997	6.00	23.50	1.75



Gráfica 4.5 Períodos promedio del sitio Barra del Tordo, Tamps. durante los años 1990, 1991, 1992 y 1993

La Gráfica 4.6 y Tabla 4.12 muestran los máximos períodos registrados. En 1990, el mayor período se registró en los meses de julio y agosto (verano), con un valor de 36.35 segundos, 43 segundos en el mes de marzo (primavera), 61 segundos en los meses de noviembre y diciembre (otoño) y 60 segundos en el mes de mayo (primavera), fueron los máximos valores registrados para los años 1991, 1992 y 1993, respectivamente.



Gráfica 4.6 Períodos máximos registrados en el sitio Barra del Tordo, Tamps. durante los años 1990, 1991, 1992 y 1993.

Tabla 4.11 Valores promedio de: alturas, períodos y direcciones para las diferentes épocas de los años 1990, 1991, 1992 y 1993, del sitio Barra del Tordo, Tamps.

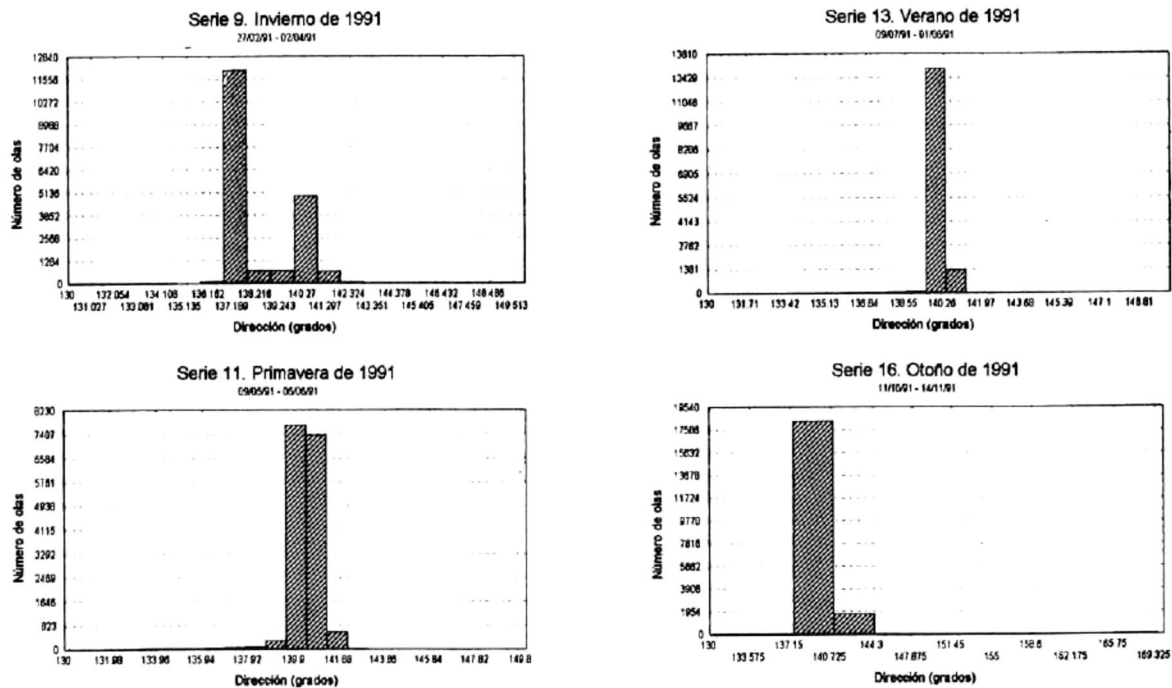
ÉPOCA DEL AÑO	VALORES PROMEDIO DE:		
	ALTURAS (cm)	PERÍODOS (s)	DIRECCIONES (grados)
V-90	20.59	5.8	137.46
V-90	11.03	5.11	155.12
V-90	11.61	5.42	135.24
O-90	19.07	6.06	137.47
O-90	23.21	6.62	137.92
sin datos	-	-	-
sin datos	-	-	-
I-91	24.53	6.53	131.99
I-P-91	27.2	6.69	138.22
P-91	23.75	6.25	139.88
P-91	23.03	6.51	140.05
V-91	23.62	6.21	140.06
V-91	13.51	5.7	139.98
sin datos	-	-	-
V-O-91	22.99	6.31	140.56
O-91	21.77	6.21	140.26
O-91	26.26	6.64	140.19
I-91-92	25.34	6.78	139.29
I-92	21.07	6.45	139.78
I-92	22.55	6.25	139.05
P-92	27.74	6.09	138.99
P-92	20.77	6.09	139.05
sin datos	-	-	-
sin datos	-	-	-
V-92	12.13	5.64	138.98
V-O-92	15.39	5.78	138.95
O-92	24.15	6.32	139.59
O-92	24.96	6.04	138.1
I-92-93	44.24	6.75	139.67
I-93	56.51	6.76	140.57
sin datos	-	-	-
P-93	56.15	6.59	140.57
P-93	38.33	6.26	140.57
P-93	53.19	6.42	141.64
V-93	52.4	6.22	141.66
V-93	31.38	5.75	141.67
V-O-93	40.14	6.13	191.92

Tabla 4.12 Valores máximos registrados de: alturas, periodos y direcciones para las diferentes épocas de los años 1990, 1991, 1992 y 1993, del sitio Barra del Tordo, Tamps.

Época del año	Alturas (cm)		Períodos (s)		Direcciones (grados)	
	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima
V-90	0.1	187.16	1	25	51.3	138.8
V-90	0	70.125	1	36.356	0.8	359.8
V-90	0	59.95	1	25	0.3	355.2
O-90	0.1	223.245	1	50	49.9	139.4
O-90	0	134.3	1	34.5	49.6	210
sin datos	-	-	-	-	-	-
sin datos	-	-	-	-	-	-
I-91	0.1	160.475	1	33	49.6	221.9
I-P-91	0.1	154.35	1	30	51.5	154.2
P-91	0.1	225.55	1	43	53.9	143.6
P-91	0.1	164.35	1	33.5	54.4	144
V-91	0.1	231.475	1	22.5	59.2	143.2
V-91	0.1	67.75	1	25.5	54.5	143
sin datos	-	-	-	-	-	-
V-O-91	0.1	216.2	1	40.5	0	359.9
O-91	0	163.575	1	37	1.5	359
O-91	0.1	214.3	1	32	53.9	146.6
I-91-92	0.1	173.35	1	37	1.8	359.5
I-92	0.1	127.9	1	37	54	141.7
I-92	0	165.919	1	24.5	52.4	186.9
P-92	0	107.3	1	34.5	54.1	141.8
P-92	0	82.65	1	32	58.9	140.3
sin datos	-	-	-	-	-	-
sin datos	-	-	-	-	-	-
V-92	0	61.725	1	23.5	52.7	141.3
V-O-92	0.1	160.188	1	32	52.5	142.1
O-92	0	209.4	1	52	52.4	224.1
O-92	0	431.116	1	61	51.5	140.7
I-92-93	0.1	246.525	1	53.5	53.9	144.6
I-93	0.1	300.75	1	43.5	54.3	155.5
sin datos	-	-	-	-	-	-
P-93	0.1	439.15	1	29.414	53.9	213.9
P-93	0.1	322.7	1	60	4.2	359.1
P-93	0.1	264.4	1	23.5	57	151.1
V-93	0.1	302.337	1	20.5	57	146.5
V-93	0.1	167.75	1	36	56.7	147.8
V-O-93	0	355.7	1	24.5	0	360

4.2.3 Direcciones

Es importante recordar que todas las direcciones reportadas se presentan como la dirección de propagación del oleaje, es decir, dirección hacia donde se desplaza la ola, además, 0° y 360° están orientados hacia el este y se incrementa en contra de las manecillas del reloj. En la Gráfica 4.7 se presentan cuatro histogramas de la población de datos de direcciones de olas correspondientes a diferentes segmentos de las épocas del año 1991. Así mismo, la Tabla 4.13 resume los momentos estadísticos de cada serie de tiempo. Estas mismas gráficas y tablas se realizaron para el resto de las series de tiempo de este sitio y sus momentos estadísticos se resumen en la Tabla 4.14.

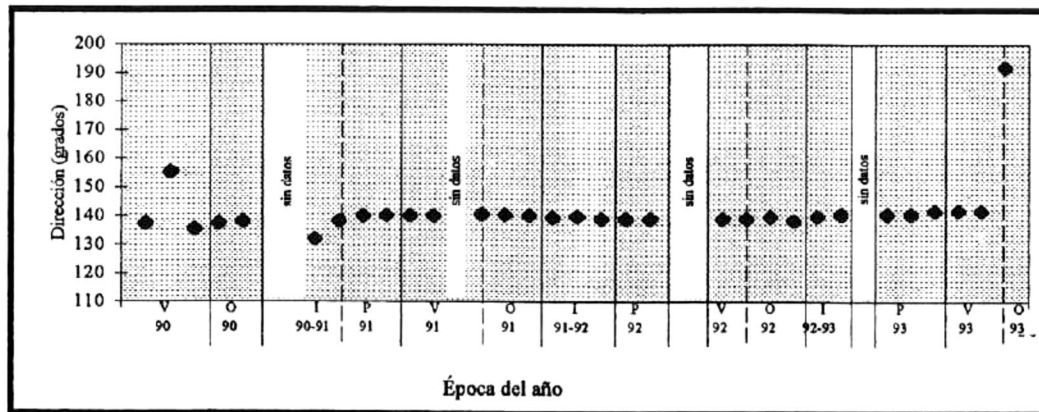


Gráfica 4.7 Histogramas de direcciones del sitio Barra del Tordo, para las diferentes épocas del año 1991.

En la Gráfica 4.8 se presentan las direcciones promedio de cada una de las series de tiempo de todo el sitio, es importante notar que estas direcciones oscilan entre los 120° y 140° para todas las épocas de cada año de medición. La Tabla 4.12 muestra las máximas direcciones encontradas para cada época.

Tabla 4.13 Estadística para los datos de direcciones del sitio Barra del Tordo, para diferentes segmentos de las épocas del año 1991.

No. de serie	Época del año	Número de datos	Promedio (grados)	Mediana (grados)	Mínimo (grados)	Máximo (grados)	Desviación Estándar
9	I-91	19419	138.22	137.6	51.50	154.20	4.46
11	P-91	16366	140.05	140.40	54.40	144.00	5.13
13	V-91	14460	139.98	140.10	54.50	143.00	2.67
16	O-91	20274	140.26	140.20	1.50	359.00	11.16



Gráfica 4.8 Direcciones promedio del sitio Barra del Tordo, Tamps. durante los años 1990, 1991, 1992 y 1993

4.2.4 Distribuciones conjuntas

Además de los histogramas, también se realizaron rosas de oleaje para determinar las distribuciones conjuntas de alturas y períodos. En la Gráfica 4.9 se presenta como ejemplo, una rosa de olas que muestra la distribución conjunta de alturas y direcciones de la segunda serie de tiempo del sitio Barra del Tordo. En ésta gráfica se observa que más del 90 % de la población de datos de la serie de tiempo 2 está entre los 0 y 40 cm de altura y presenta una dirección de propagación promedio de 135° , dirección noroeste. El resto de los datos presentan direcciones de propagación en todos los sentidos, encontrando un máximo valor para esta serie de 70.1 cm de altura.

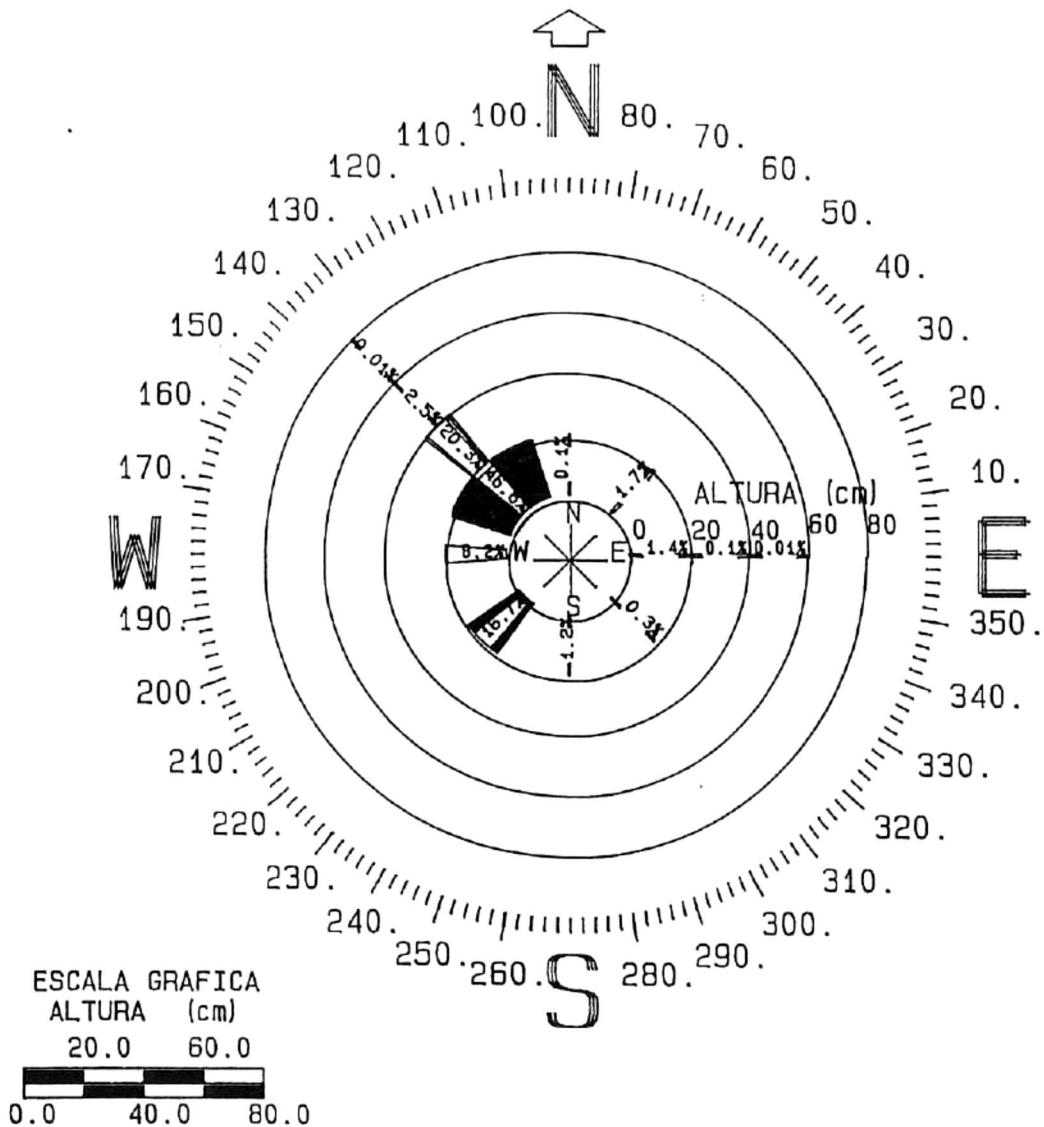
Tabla 4.14 Momentos estadísticos de direcciones para las series de tiempo del sitio Barra del Tordo, Tamps.

No. de serie	Época del año	No. de datos	Mediana (grados)	Intervalo (grados)	Desviación Estándar
1	V-90	22498	137.47	87.50	0.88
2	V-90	14102	136.70	359.00	45.99
3	V-90	25704	137.50	354.90	19.51
4	O-90	21506	137.50	89.50	0.85
5	O-90	18019	137.60	160.40	5.35
	-				
8	I-91	18954	138.30	172.30	24.56
9	1-P-91	19419	137.60	102.70	4.46
10	P-91	17962	140.20	89.70	4.48
11	P-91	16366	140.40	89.60	5.13
12	V-91	20854	140.10	84.00	1.35
13	V-91	14460	140.10	88.50	2.67
	-				
15	V-O-91	20007	140.10	359.90	20.27
16	O-91	20274	140.20	357.50	11.16
17	O-91	16036	141.20	92.70	9.80
18	I-91-92	17183	140.10	357370	13.08
19	I-92	22036	140.00	87.70	2.86
20	I-92	18522	139.10	134.50	6.81
21	P-92	22655	139.10	87.70	2.59
22	P-92	14001	139.10	81.40	1.14
	-				
25	V-92	19977	139.10	88.60	1.80
26	V-O-92	21281	139.00	89.60	1.98
27	O-92	21998	139.00	171.70	6.84
28	O-92	23560	138.20	89.20	3.11
29	I-92-93	17938	139.70	90.70	1.72
30	I-93	18380	140.60	101.20	2.02
	-				
32	P-93	22029	140.60	160.00	3.03
33	P-93	16614	140.50	354.90	11.57
34	P-93	8623	141.60	94.10	1.72
35	V-93	18751	141.70	89.50	1.70
36	V-93	23310	141.80	91.10	3.38
37	V-O-93	25997	141.80	360.00	96.29

ROSA DE OLAS DEL SITIO BARRA DEL TORDO, TAMPAS

19/07/90 - 12/08/90

-POBLACION DE DATOS	=	14102
-SECTORES DE DIRECCION	=	8 (N, NE, E, SE, S, SW, W, NW)
-INTERVALOS DE OLAS	=	4
-ALTURA MAXIMA	=	70.1 (cm)
-ALTURA MINIMA	=	0.0 (cm)
-DIRECCION MAXIMA	=	359.8 (grados)
-DIRECCION MINIMA	=	0.8 (grados)



Gráfica 4.9 Distribución conjunta de alturas y direcciones de serie de tiempo 2, del sitio Barra del Tordo, Tamps.

De la misma forma, la Gráfica 4.10, presenta la distribución conjunta de períodos y direcciones de la misma serie de tiempo. Como es de esperarse, esta distribución se asemeja mucho a la distribución conjunta de alturas y direcciones de olas. Al igual que los histogramas, estas gráficas fueron realizadas para cada una de las series de tiempo de este sitio. Durante todos los años de medición, más del 90 % del oleaje presenta una dirección de propagación que está dentro del rango: 108° y 162° dirección noroeste. El resto del oleaje presenta direcciones de propagación en todas direcciones. Esto concuerda perfectamente con la física del oleaje frente al sitio de Barra del Tordo, es decir, el oleaje se propaga de mar abierto hacia la costa.

4.3 Barra del Tordo, Tamaulipas, Análisis Espectral.

4.3.1 Alturas significantes y Densidad de Energía

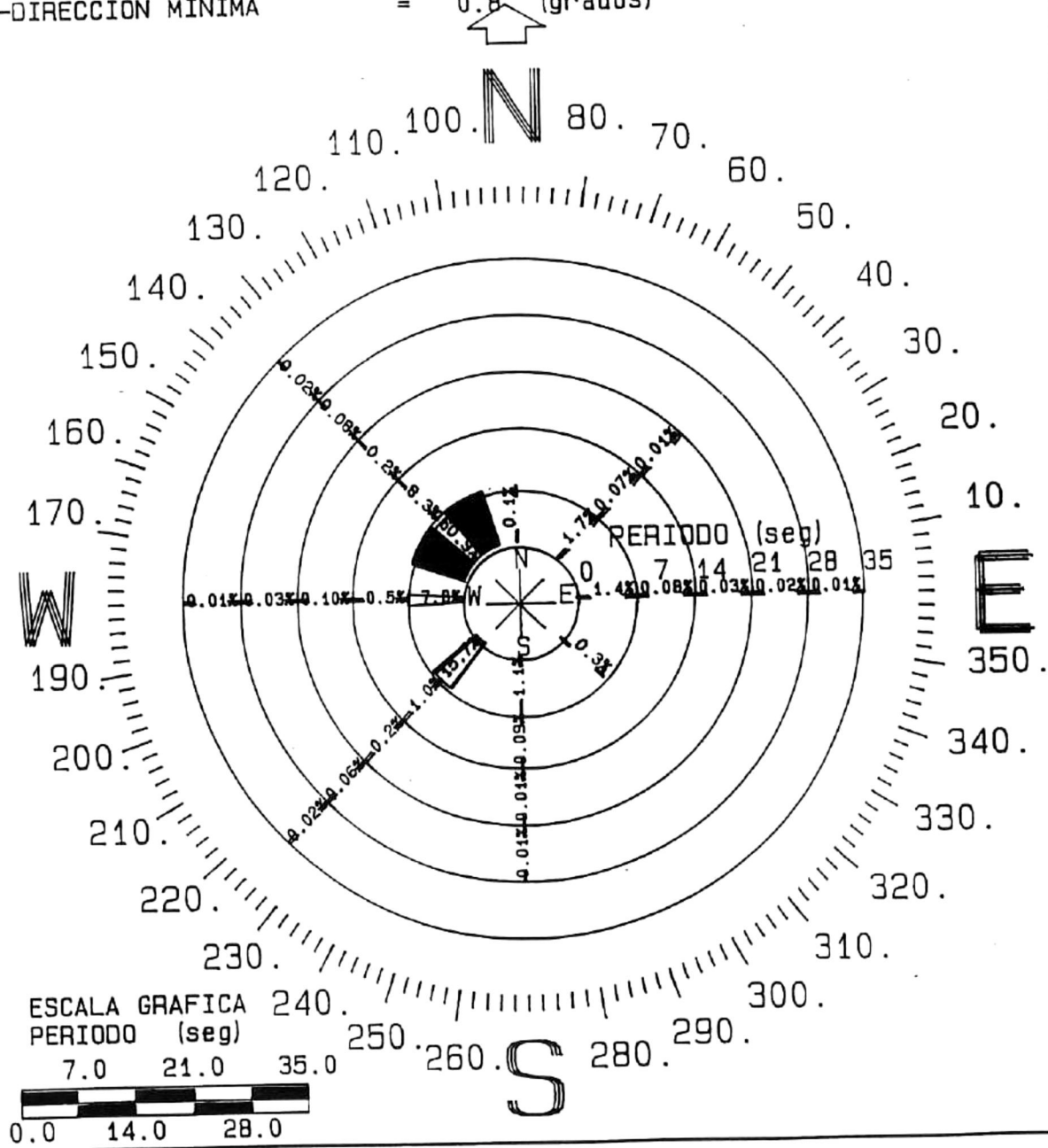
La Gráfica 4.11 muestra las series de tiempo de alturas significantes de este sitio. Como es de esperarse, las alturas significantes de menor magnitud se presentan al final de las épocas de verano de cada año. Es importante notar que en todos los registros se observan variaciones en las magnitudes de alturas, en donde aparecen intercalados valores pequeños y grandes. Estas variaciones obviamente corresponden a los períodos de relativa calma y de mar más agitado y, por ende, deben estar en fase con las variaciones observada en las series de tiempo de densidad de energía. Cada una de las series presentadas, tanto en la gráfica 4.11, como en la 4.12, representa una serie distinta (cinta) y aparecen en orden cronológico de ocurrencia. Es importante notar que las escalas de cada gráfica son distintas entre si.

En la Gráfica 4.12 se presentan las series de tiempo de las variaciones de los valores pico de la densidad de energía contenida en las olas de la Barra del Tordo, calculados a partir de los datos de elevaciones del nivel del mar y de las componentes horizontales de velocidades instantáneas. Si llevamos a cabo la comparación de las series de tiempo de las variaciones de los valores pico de la densidad de energía contenida en las olas de la Barra del Tordo con las series de alturas significantes, podemos confirmar que existe una coherencia muy alta entre estas y además que están en fase. En otras palabras, los valores pico de altura significativa corresponden a los valores pico de densidad de energía.

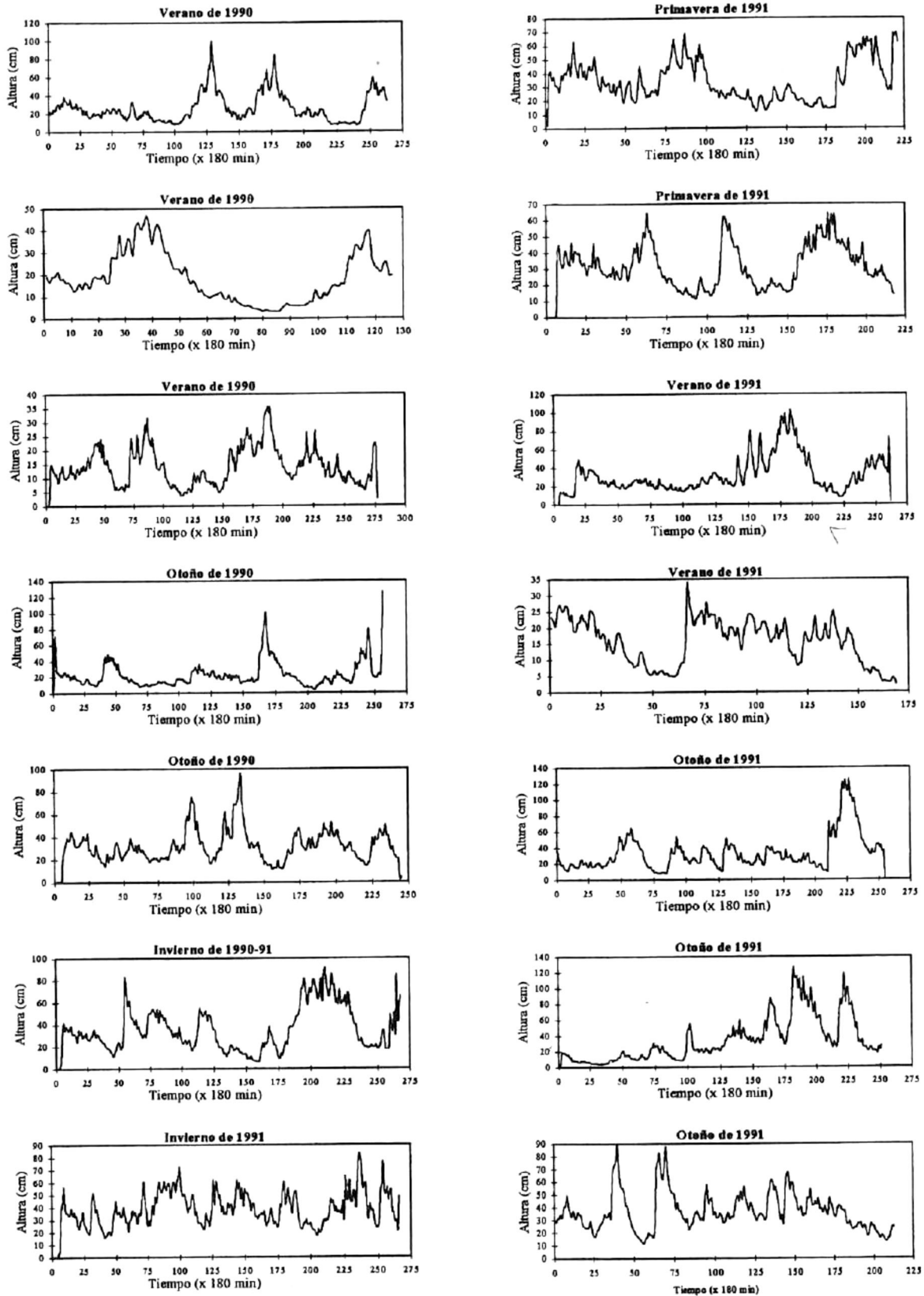
ROSA DE OLAS DEL SITIO BARRA DEL TORDO, TAMPAS

19/07/90 - 12/08/90

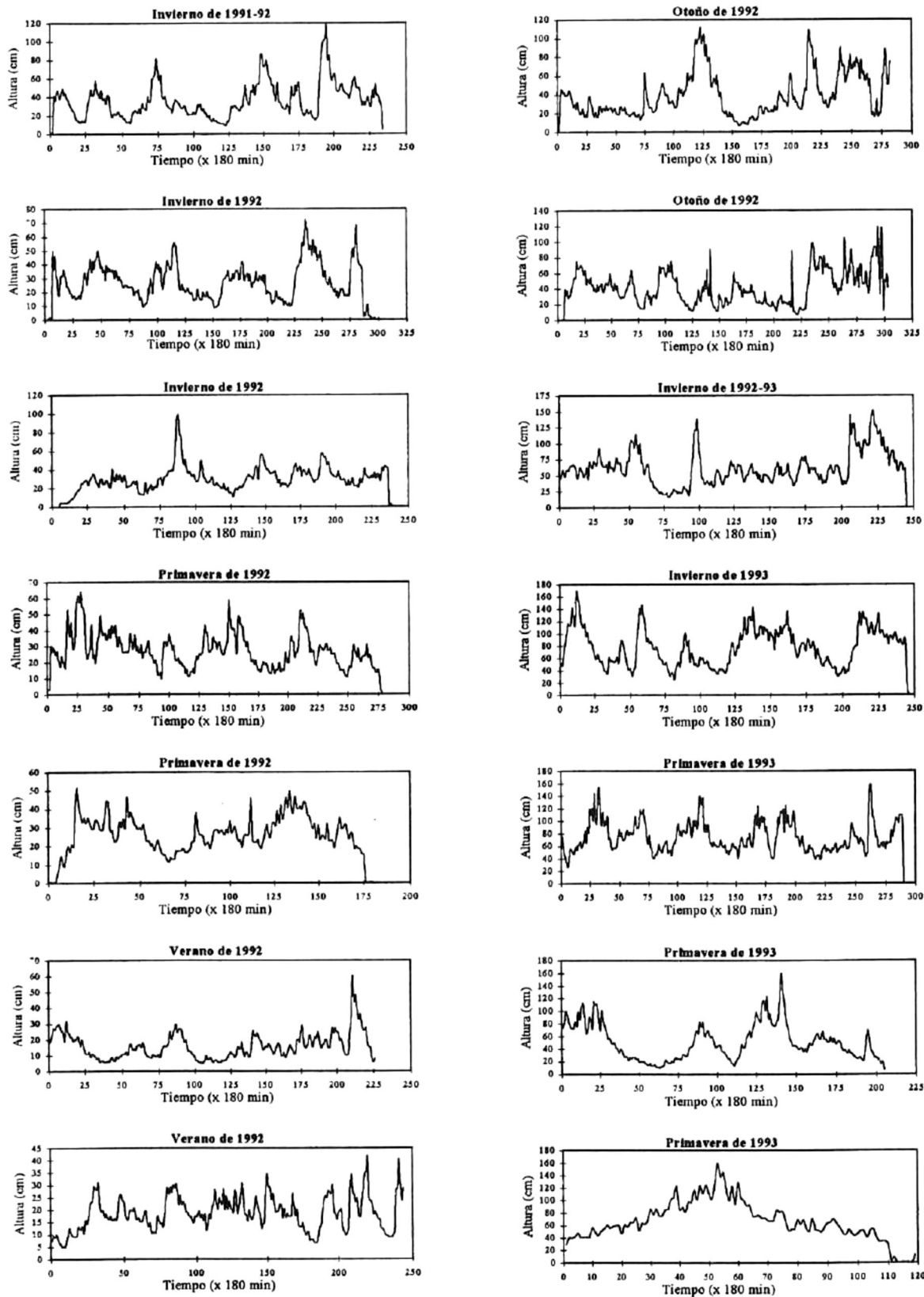
- POBLACION DE DATOS = 14102
- SECTORES DE DIRECCION = 8 (N, NE, E, SE, S, SW, W, NW)
- INTERVALOS DE PERIODOS = 5
- PERIODO MAXIMO = 36.4 (seg)
- PERIODO MINIMO = 1.0 (seg)
- DIRECCION MAXIMA = 359.8 (grados)
- DIRECCION MINIMA = 0.8 (grados)



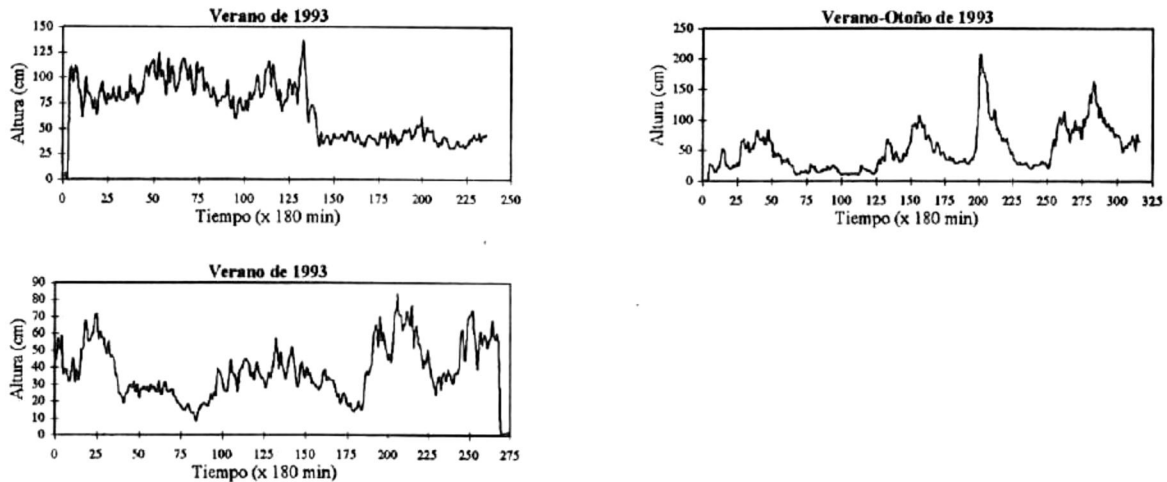
Gráfica 4.10 Distribución conjunta de periodos y direcciones de serie de tiempo 2, del sitio Barra del Tordo, Tamps.



Gráfica 4.11 Alturas significantes del sitio Barra del Tordo, Tamps. para las diferentes épocas de los años 1990, 1991, 1992 y 1993



Gráfica 4.11 (continuación) Alturas significantes del sitio Barra del Tordo, Tamps. para las diferentes épocas de los años 1990, 1991, 1992 y 1993



Gráfica 4.11 (continuación) Alturas significantes del sitio Barra del Tordo, Tamps. para las diferentes épocas de los años 1990, 1991, 1992 y 1993

En la Gráfica 4.13 se presentan los espectros de densidad de energía correspondientes a las series de tiempo 1, 2, 3, 4, 5, 8, 9 y 10, los cuales comprenden un ciclo anual. En cada uno de ellos se observa un comportamiento bimodal con un pico menor entre los 0.041-0.061 Hz y uno mayor a los 0.2 Hz. La energía pico máxima esta asociada a olas con periodos de 5 segundo (0.2 Hz), mientras que el pico menor corresponde a olas con periodos entre 16.6 y 24 segundos (0.041-0.06 Hz).

Durante el año 1990, el mayor valor registrado, asociado a una frecuencia de 0.201 Hz, fue de $686.25 \text{ cm}^2/\text{Hz}$ y se reportó durante el mes de diciembre (época de invierno).

Para 1991, el máximo valor, asociado con la frecuencia de 0.2 Hz, se presentó, también durante la época de invierno y fue de $661.86 \text{ cm}^2/\text{Hz}$.

En 1992, el máximo valor fue de $543.87 \text{ cm}^2/\text{Hz}$ y estuvo asociado con una frecuencia de 0.21 Hz. Este valor se registró a finales de la época de otoño y principios de invierno.

Es importante mencionar que el intervalo de medición de éste sitio **no es continuo**. Por ejemplo, en 1990 faltan datos que corresponden a los meses de invierno de este año, por lo que los valores que se reportan aquí, pueden no ser los mayores reales presentes en este año.

4.3.2 Mareas

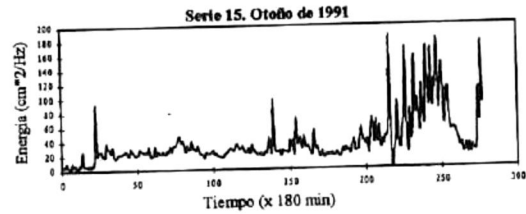
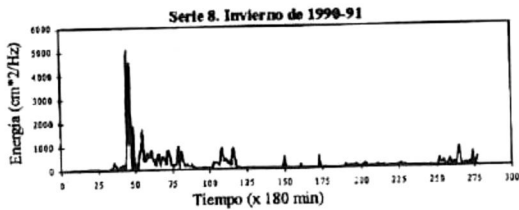
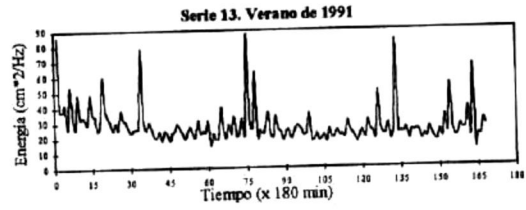
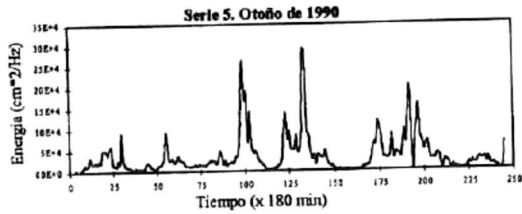
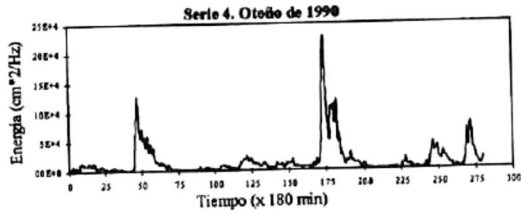
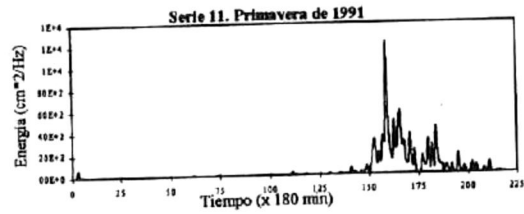
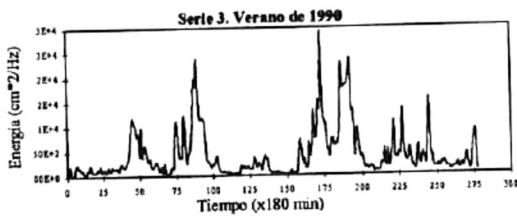
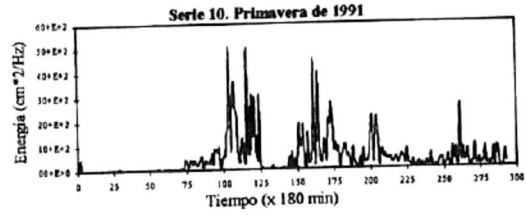
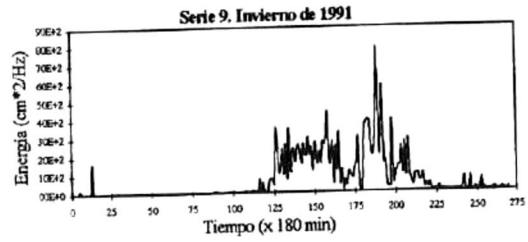
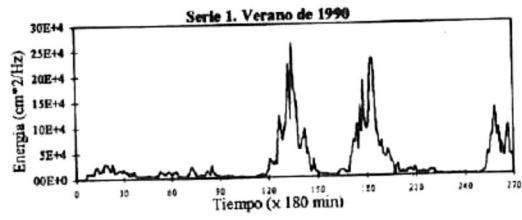
Los mareogramas y los resultados de los análisis de Fourier y espectrales de los datos de marea de este sitio se presentan en la Gráfica 4.14. En cada uno de los espectros de cada serie de marea es posible observar que la marea en todas las épocas del año para este sitio es mixta diurna, con la componente más energética asociada con el período de 24.39 hrs (0.041 Hz), mientras que el pico menos energético, correspondiente a la componente semidiurna, está asociada con el período de 12.48 hrs (0.083 Hz). En todos los casos, la componente diurna es aproximadamente 5 veces más energética que la componente semidiurna.

El pico más energético de marea para el año 1990 se presentó durante los meses de junio y julio (época de verano), con un valor de $1485.59 \text{ cm}^2/\text{Hz}$ y asociado a una frecuencia de 0.041 Hz (24.39 hrs).

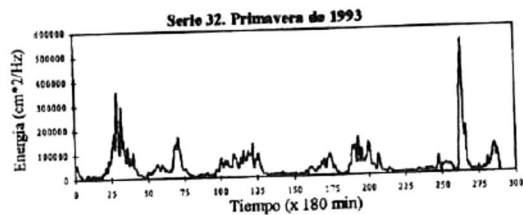
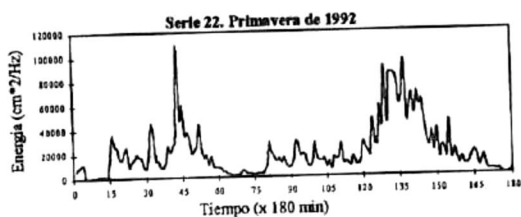
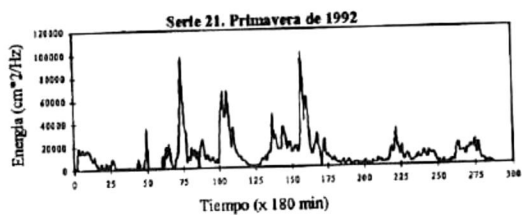
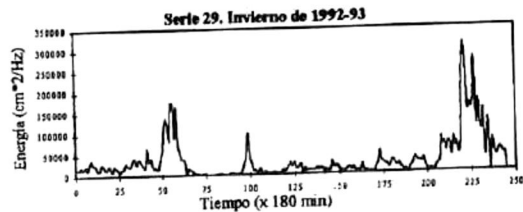
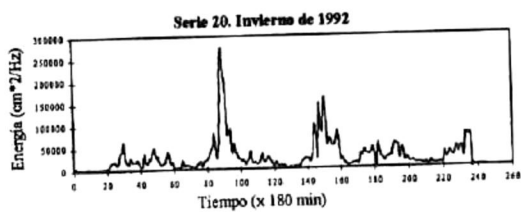
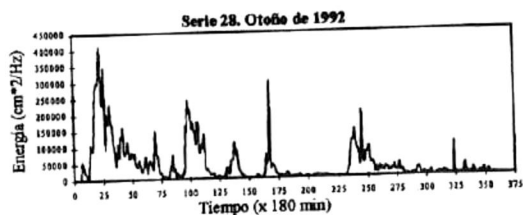
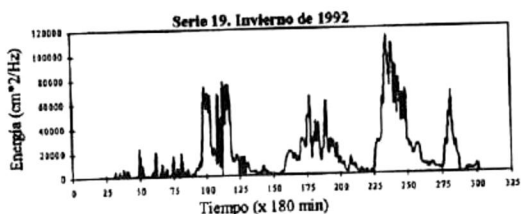
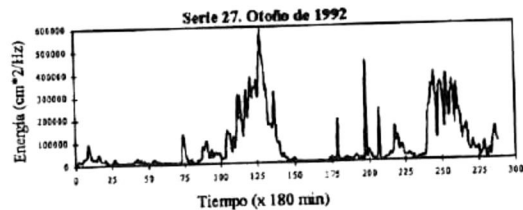
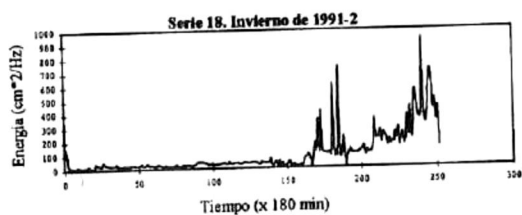
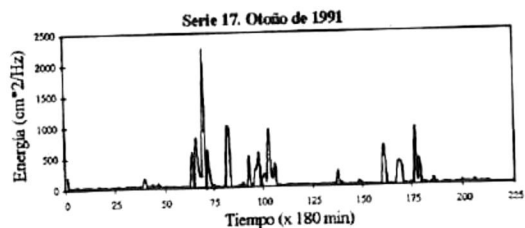
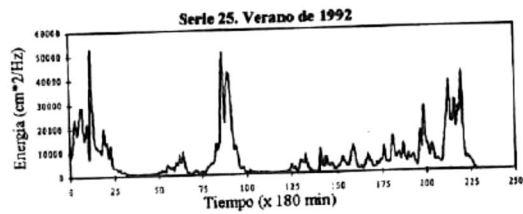
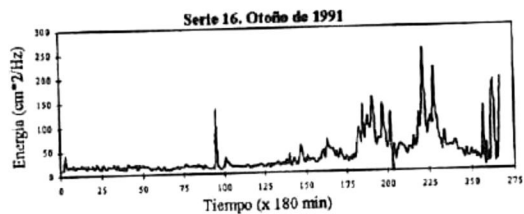
En todos los registros el máximo espectral corresponde a un período de 24.4 hrs y sus valores fueron de: $1667 \text{ cm}^2/\text{Hz}$ (primavera de 1991), $4567 \text{ cm}^2/\text{Hz}$ (invierno de 1992 y 93) y $5287 \text{ cm}^2/\text{Hz}$ (primavera de 1993).

4.3.3 Análisis de Densidad de Probabilidad

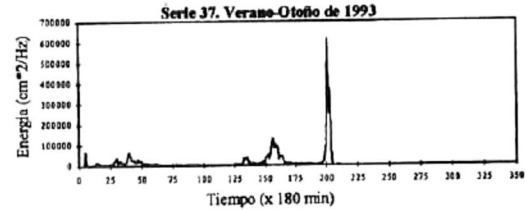
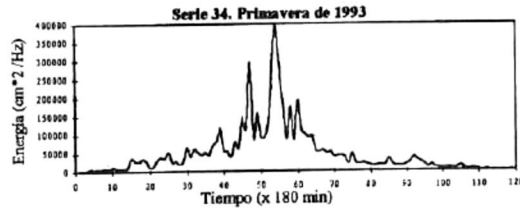
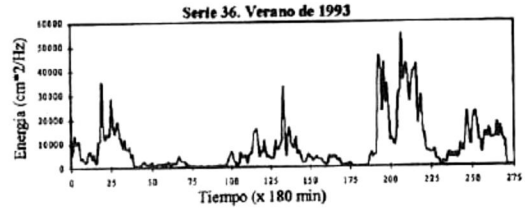
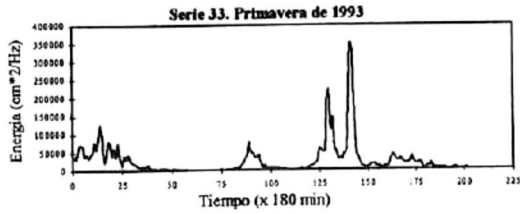
En la Gráfica 4.15 se presentan, a manera de ejemplo, las distribuciones independientes de densidad de probabilidad de amplitudes y periodos de olas correspondiente a la serie de tiempo 28. La densidad de probabilidad pico corresponde a alturas de aproximadamente 35 cm, con una probabilidad de ocurrencia de 60 % y períodos de aproximadamente 6 segundos, con una probabilidad de ocurrencia de 50 %. La mayor amplitud que se registra en esta serie es de 216 cm y presenta una probabilidad de ocurrencia menor al 3 %. El mayor período es de 61 segundos y presenta una probabilidad de ocurrencia, también menor al 3 %. En la Tabla 4.15 se resumen las probabilidades de ocurrencia, tanto de alturas como de periodos, de 60%, 40% y 20 %, así como las probabilidades menores al 3 % para cada una de las series de tiempo de este sitio.



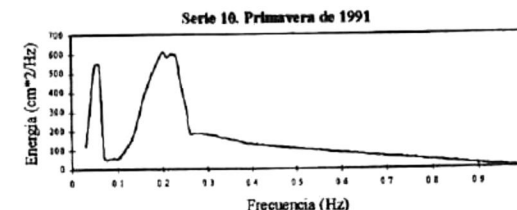
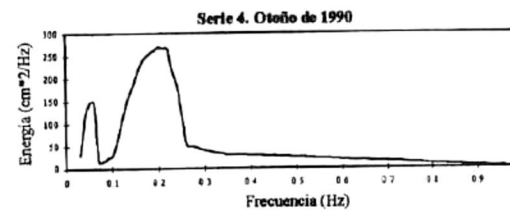
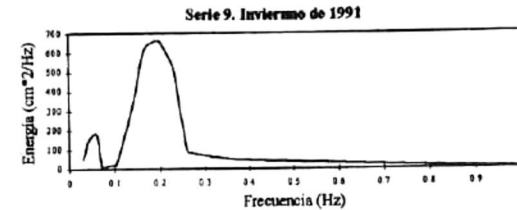
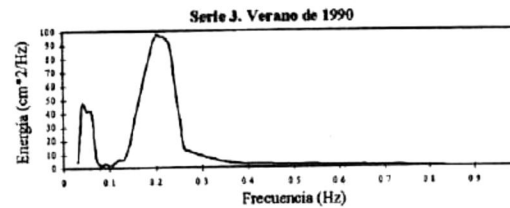
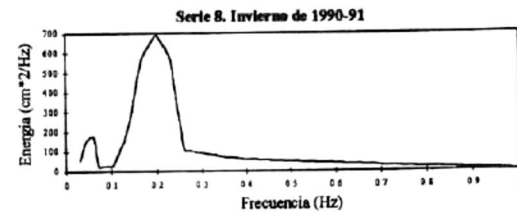
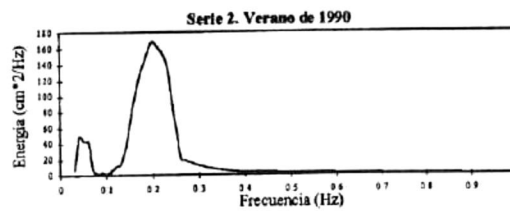
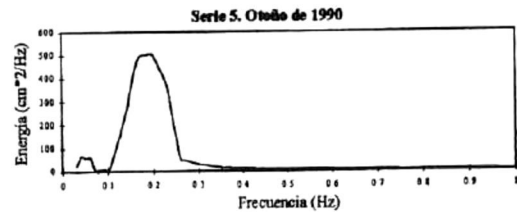
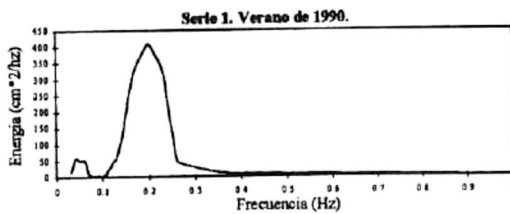
Gráfica 4.12 Valores pico de densidad de energías del sitio Barra del Tordo, Tamps. para las diferentes épocas de los años 1990, 1991, 1992 y 1993



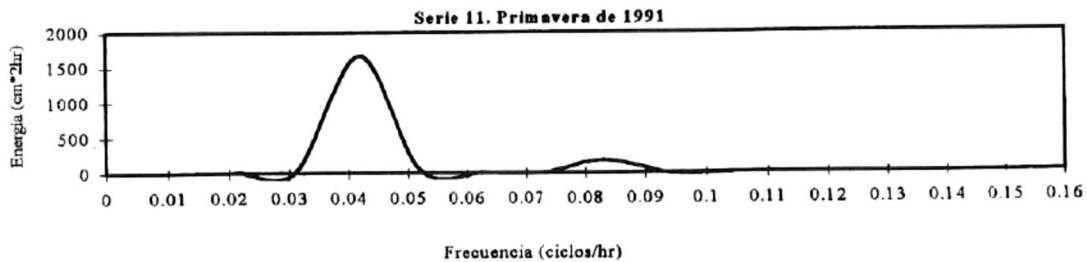
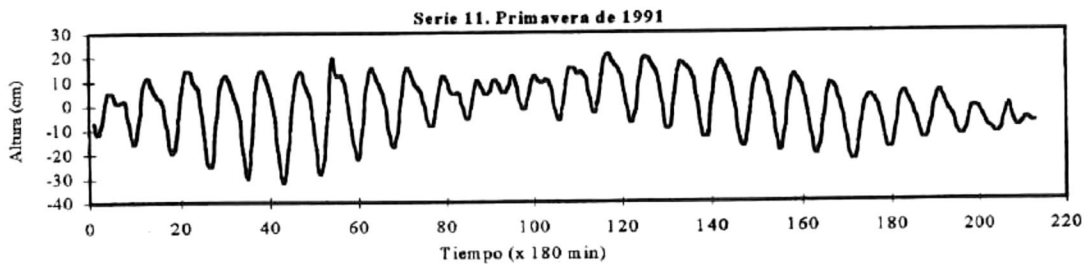
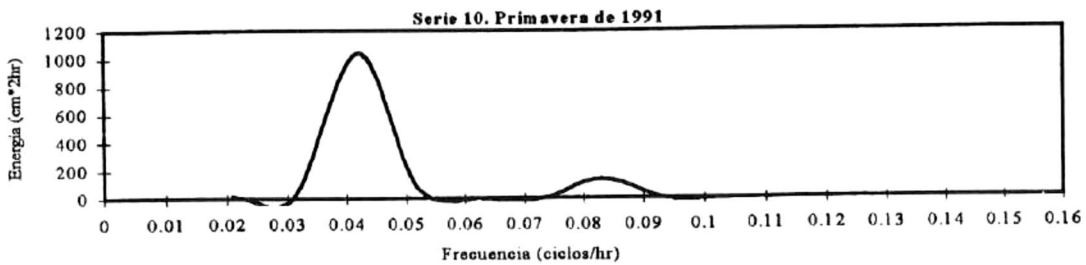
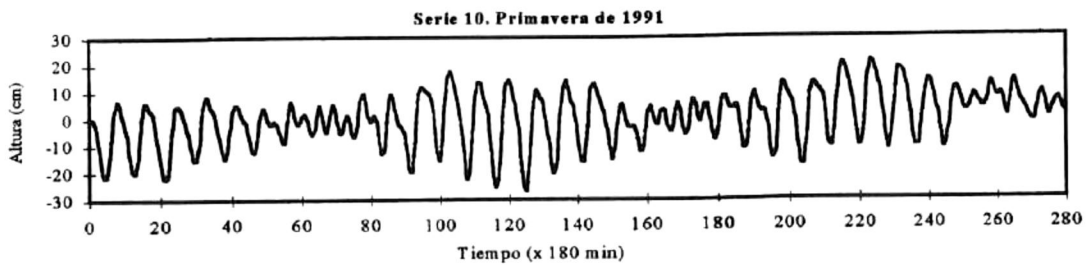
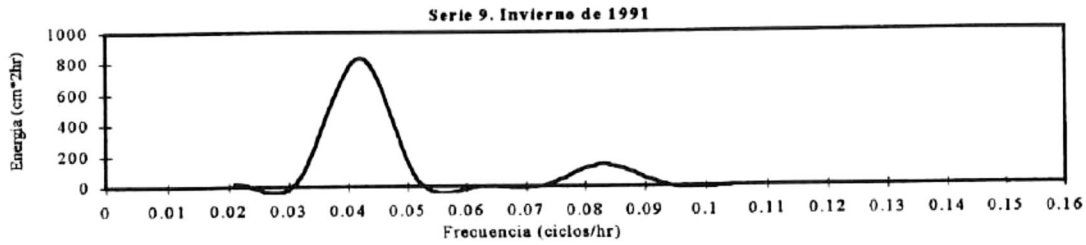
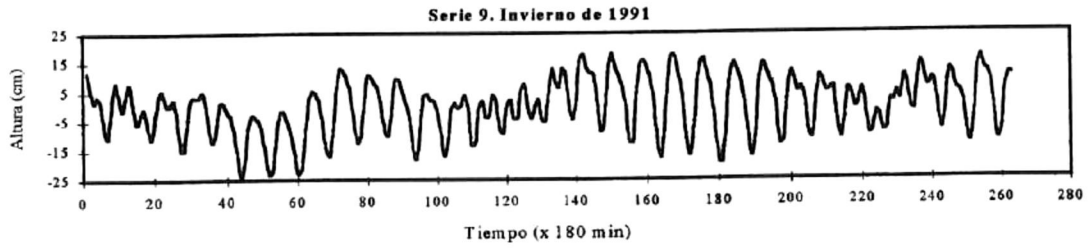
Gráfica 4.12 (continuación) Valores pico de densidad de energías del sitio Barra del Tordo, Tamps. para las diferentes épocas de los años 1990, 1991, 1992 y 1993



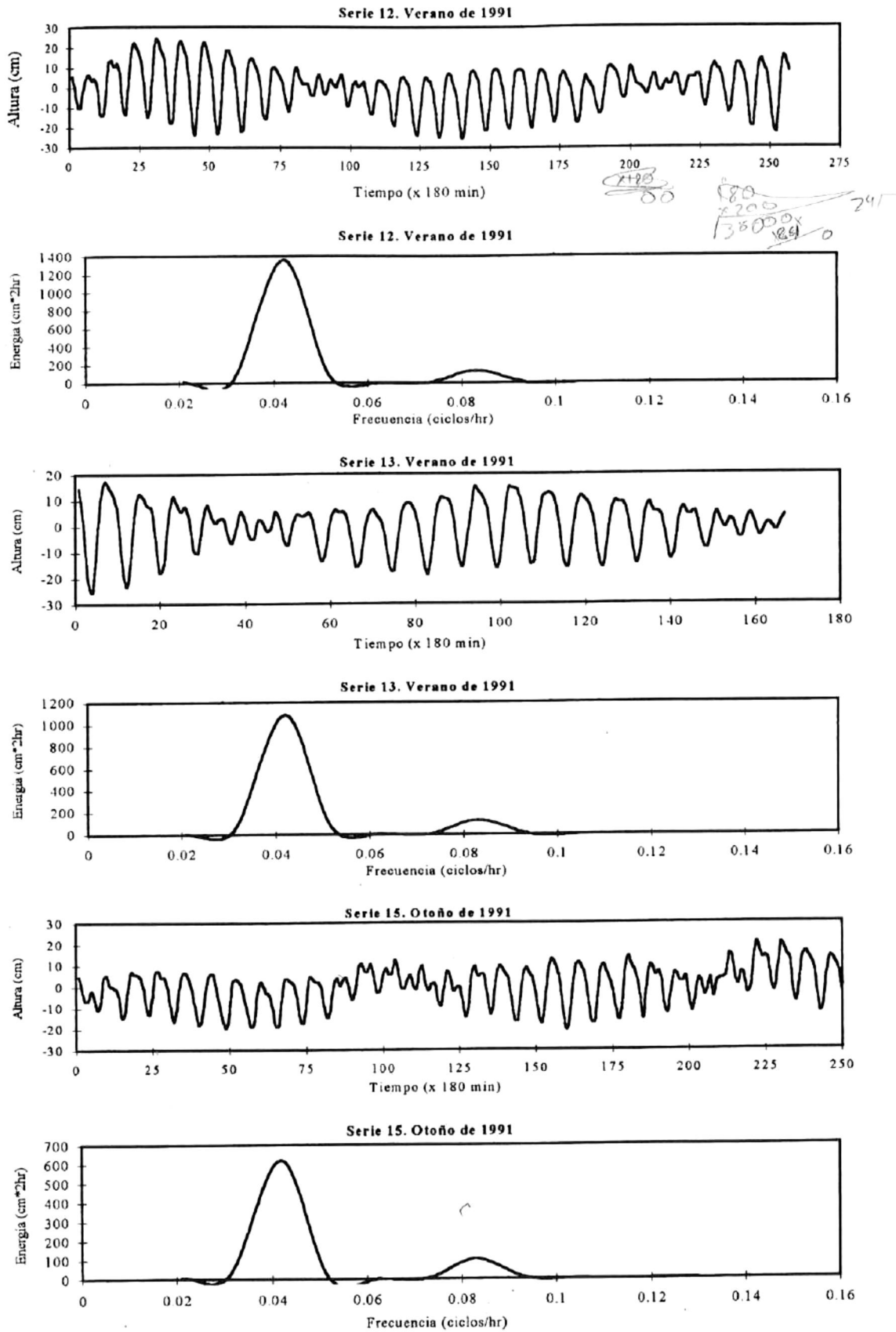
Gráfica 4.12 (continuación) Valores pico de densidad de energías del sitio Barra del Tordo, Tamps. para las diferentes épocas de los años 1990, 1991, 1992 y 1993



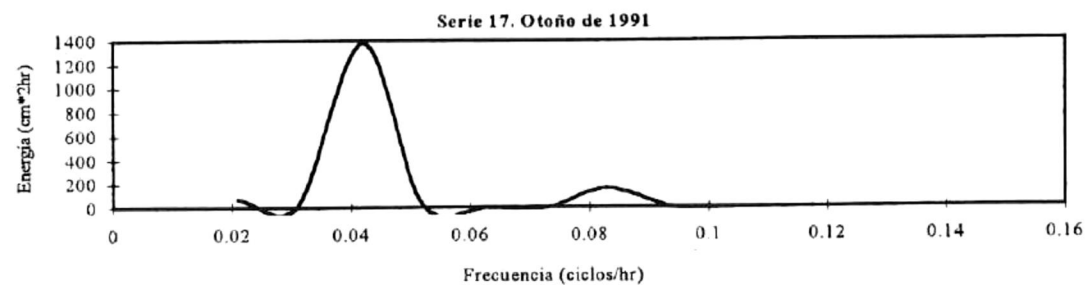
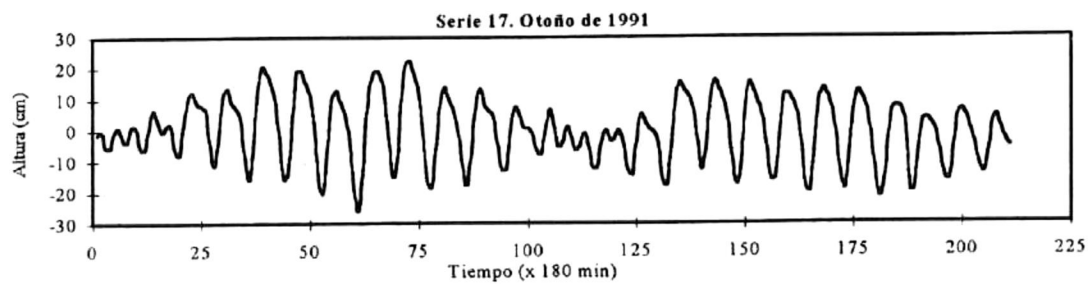
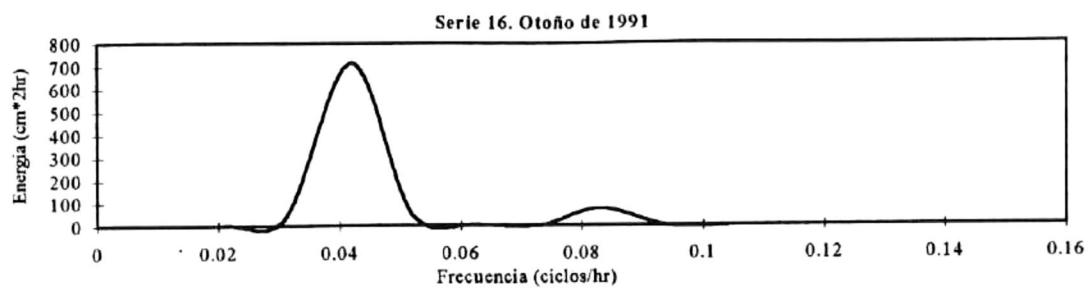
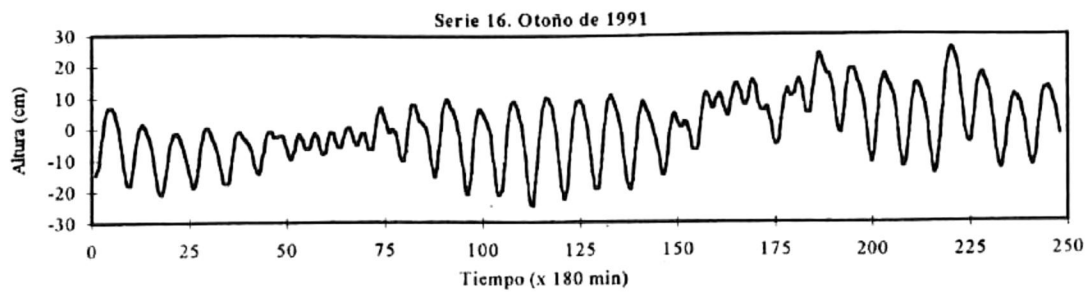
Gráfica 4.13 Espectros de densidad de energía del sitio Barra del Tordo, Tamps. durante las diferentes épocas de los años 1990 y 1991



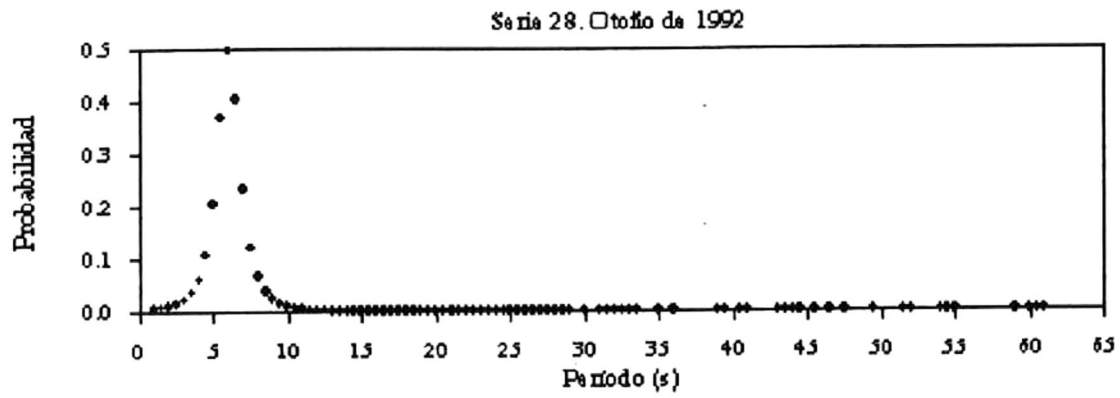
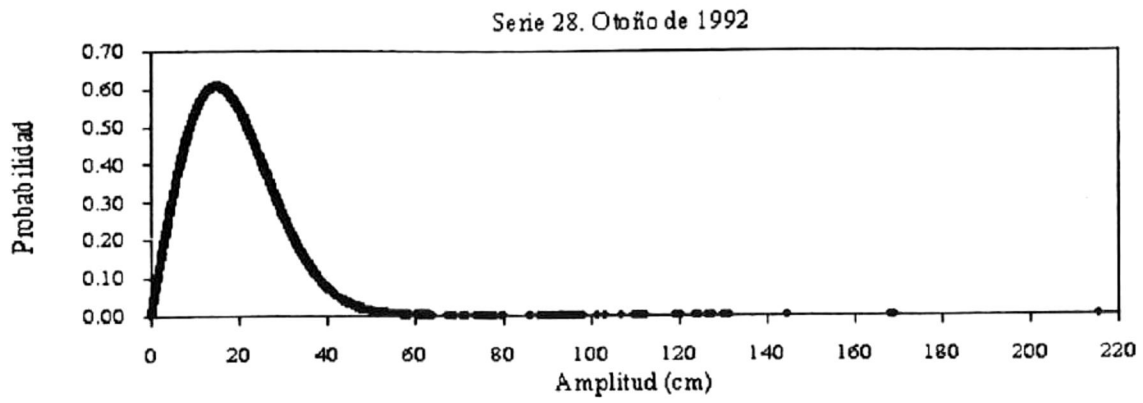
Gráfica 4.14 Mareogramas y sus correspondientes espectros de densidad de energía de la Barra del Tordo, Tamps. durante el año 1991.



Gráfica 4.14 (continuación) Mareogramas y sus correspondientes espectros de densidad de energía de la Barra del Tordo, Tamps. durante el año 1991.



Gráfica 4.14 (continuación) Mareogramas y sus correspondientes espectros de densidad de energía de la Barra del Tordo, Tamps. durante el año 1991.



Gráfica 4.15 Distribuciones de densidad de probabilidad de amplitudes y periodos de olas correspondientes a la serie 28 del sitio Barra del Tordo, Tamps.

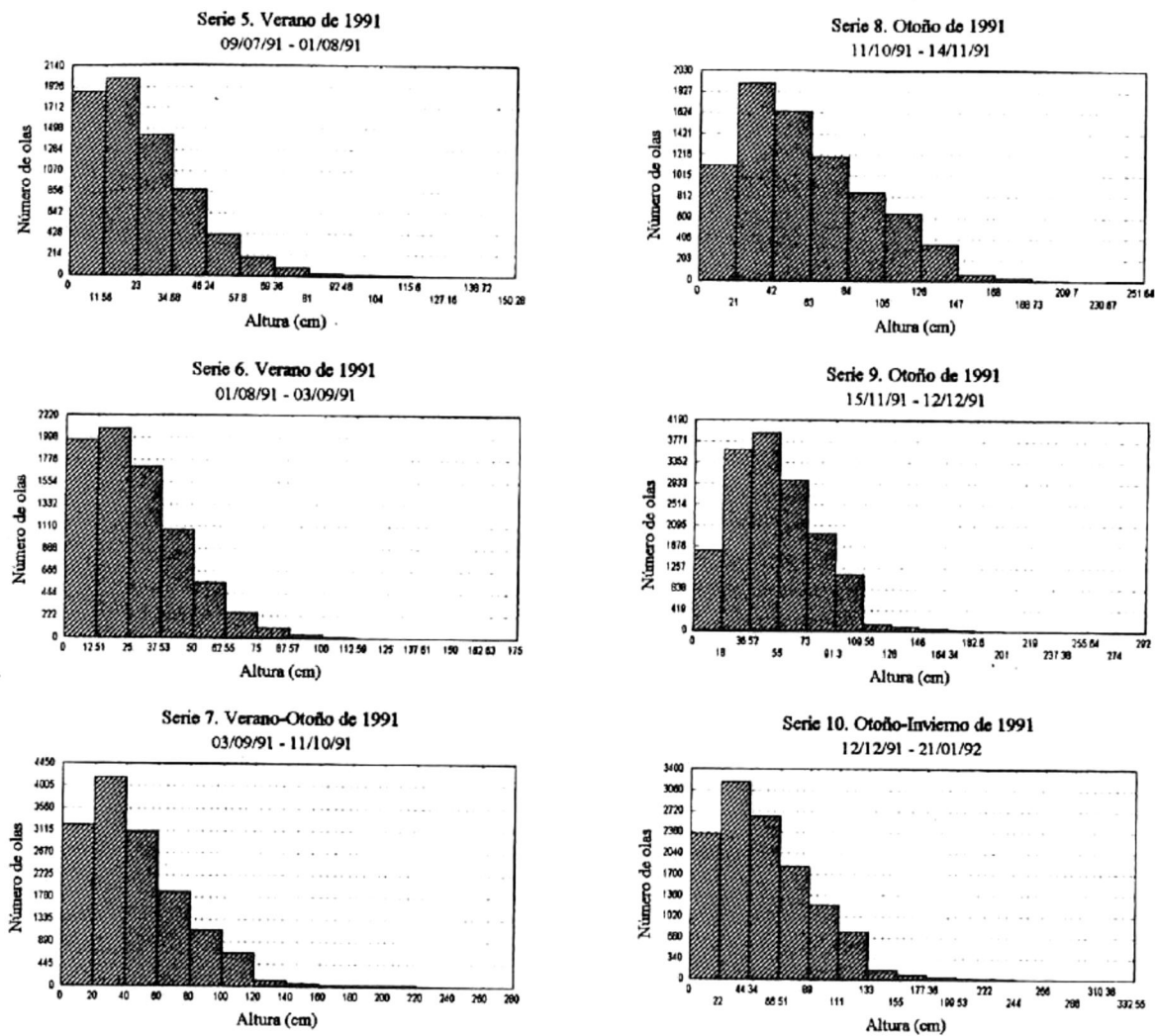
Tabla 4.15 Probabilidades de ocurrencia del 60%, 40%, 20% y menores del 3% de alturas y períodos del sitio Barra del Tordo, Tamps.

No. de serie	Alturas (cm)				Períodos (s)			
	60%	40%	20%	menos del 3%	50%	40%	20%	menos del 3%
1	26	40	50	187	6	6.5	7	25
2	15	25	34	70	5	5.5	6	36
3	12	20	25	60	5.5	6	6.5	25
4	24	40	50	223	5.5	6	6.5	50
5	30	44	57	160	6	6.5	7	34
sin datos	-	-	-	-	-	-	-	-
8	32	54	70	160	6	6.5	7	33
9	33	54	68	154	7	7.5	8	30
10	36	60	72	225	6	6.5	7.5	43
11	15	28	34	164	6	6.5	7	33
12	20	25	36	231	6.5	7	7.5	22
13	15	25	32	67	5.5	6	6.5	25
sin datos	-	-	-	-	-	-	-	-
15	18	25	34	216	5.5	6	6.5	40
16	18	24	36	163	6	6.5	7	37
17	18	25	35	163	6.5	7	7.5	32
18	18	24	35	173	6.5	7	7.5	37
19	17	24	35	127	6.5	7	7.5	37
20	20	25	36	165	6	6.5	7	24
21	18	28	32	107	5	5.5	6	34
22	15	25	38	82	5	5.5	6	32
sin datos	-	-	-	-	-	-	-	-
25	18	30	34	61	5.5	6	6.5	23
26	20	26	36	160	5	5.5	6	32
27	22	33	3346	209	6.5	7	7.5	52
28	35	50	75	431	6.5	7	7.5	61
29	20	30	37	246	6.5	7	7.5	53
30	19	26	36	300	7.5	8	8.5	19
sin datos	-	-	-	-	-	-	-	-
32	20	32	40	439	6.5	7	7.5	29
33	20	30	38	322	7.5	8	8.5	60
34	20	29	37	264	6	6.5	7	23
35	19	30	38	302	6	6.5	7	20
36	20	28	36	167	5.5	6	6.5	36
37	20	30	37	355	6	6.5	7	24

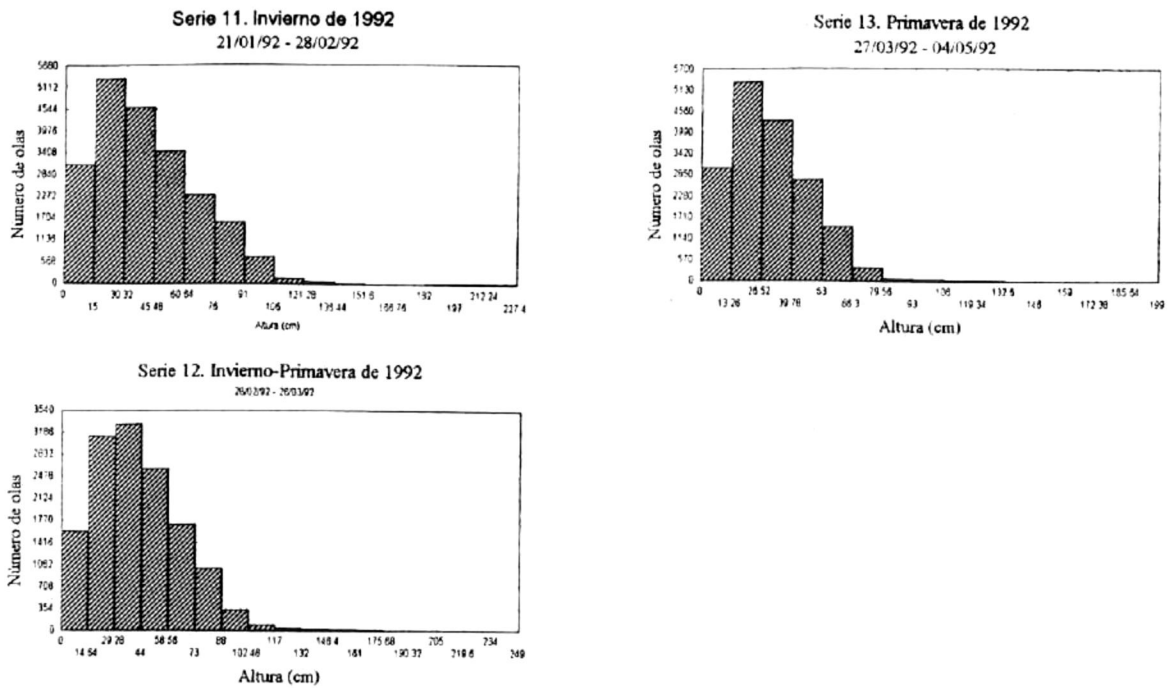
4.4 Altamira, Tamaulipas. Análisis Matemático Estadístico.

4.4.1 Alturas

En la Gráfica 4.16 se presentan los histogramas de la población de datos de alturas de olas correspondientes a cada una de las series de tiempo de Altamira. La Tabla 4.16 resume los momentos estadísticos de cada una de éstas series de tiempo. Los valores promedio de alturas de cada una de las series de tiempo se resumen en la Tabla 4.18 y sus fluctuaciones a través del tiempo se aprecian en la Gráfica 4.17.



Gráfica 4.16 Histogramas de alturas del sitio Altamira, Tamps. para los años 1991 y 1992.

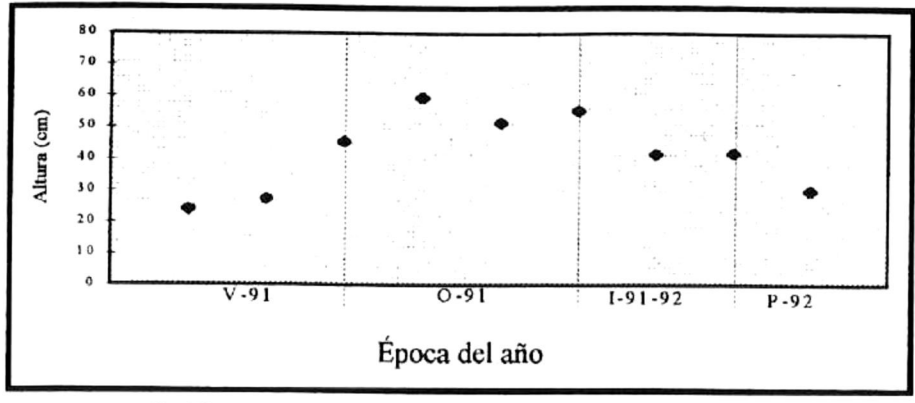


Gráfica 4.16 (continuación) Histogramas de alturas del sitio Altamira, Tamps. para los años 1991 y 1992.

Tabla 4.16 Momentos estadísticos de alturas para las series de tiempo del sitio Altamira, Tamps.

No. de serie	Época del año	No. de datos	Mediana (cm)	Intervalo (cm)	Desviación Estándar
5	V-91	6950	20.55	150.40	17.33
6	V-91	7803	24.10	175.20	19.01
7	V-O-91	14416	39.00	242.93	31.46
8	O-91	7808	52.50	251.75	36.88
9	O-91	15507	48.00	292.2	28.37
10	O-I-91	12260	48.80	332.55	36.38
11	I-92	21309	37.30	227.45	25.74
12	I-P-92	13867	38.80	248.95	24.32
13	P-92	17409	27.40	198.90	18.19

En la Gráfica 4.17, de alturas promedio, es posible observar que los mínimos valores registrados se presentan durante los meses de agosto y septiembre (verano) para 1991, mientras que en 1992 el mínimo valor se presentó en marzo (primavera). Los máximos valores promedio se reportan durante las épocas de otoño e invierno.

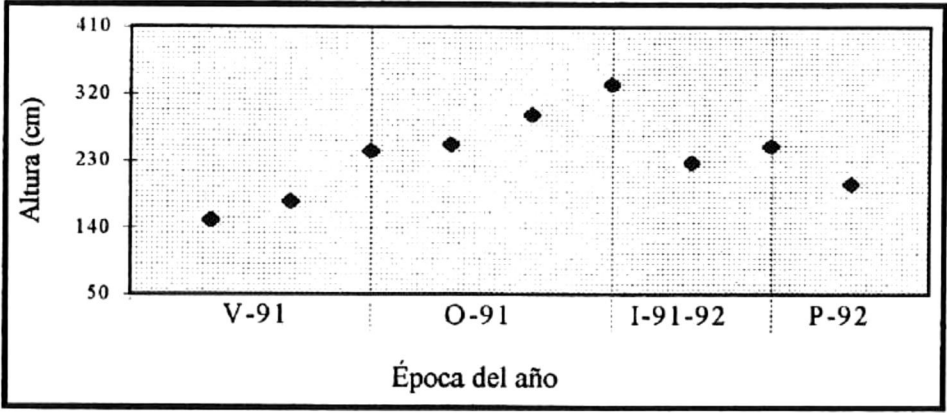


Gráfica 4.17 Alturas promedio del sitio Altamira, Tamps. para los años 1991 y 1992

El menor valor promedio para el año 1991, se registró durante el mes de julio (Verano), con un valor de 23.99 cm. Para el año 1992, el menor valor promedio se registro durante el mes de marzo (Primavera), con un valor de 30.16 cm.

En la Gráfica 4.18 y Tabla 4.19, es posible observar los máximos valores de alturas, registrados para cada serie de tiempo, encontrando los valores de menor magnitud durante los meses de verano en 1991 y primavera en 1992.

En 1991, la mayor altura se registró entre el otoño y el invierno con una magnitud de 332.6 cm, mientras que en 1992, el mayor valor registrado fue de 249.0 cm y se registró a finales de invierno y principios de primavera. Por las épocas en que se presentaron las máximas alturas y por sus magnitudes, en estos años no hubo huracanes ni tormentas de dimensiones considerables que pudieran afectar las características del oleaje.

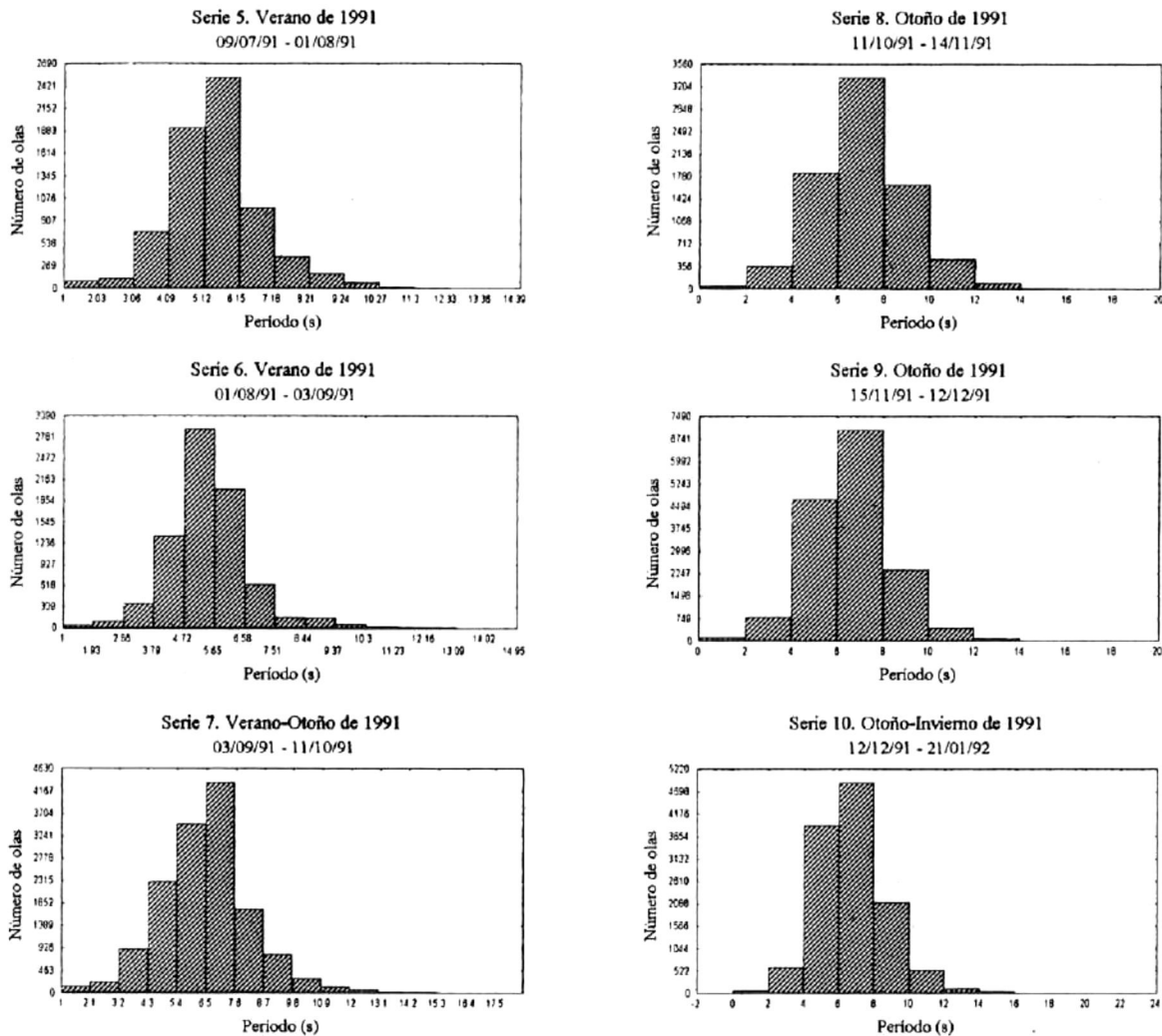


Gráfica 4.18 Alturas máximas registradas en el sitio Altamira, Tamps. para los años 1991 y 1992

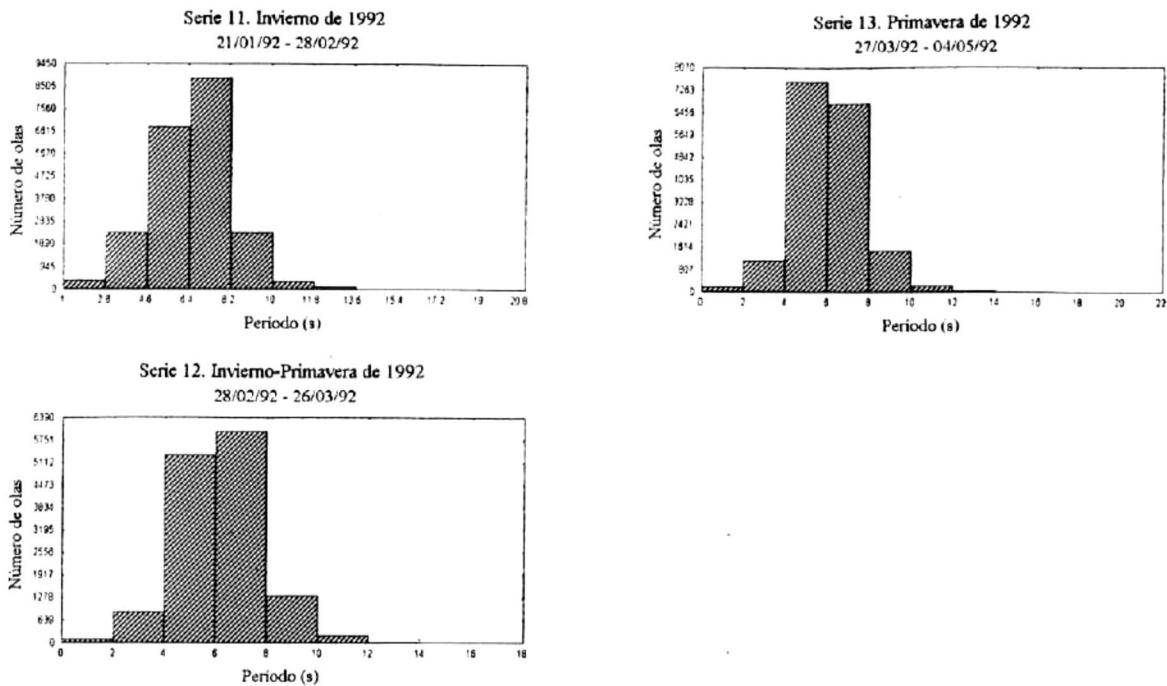
4.4.2 Períodos

En la Gráfica 4.19 se presentan los histogramas de la población de datos de períodos de olas correspondientes a cada una de las series de tiempo del sitio. Así mismo, la Tabla 4.17 resume la estadística realizada a cada una de estas series de tiempo.

La distribución de períodos promedio correspondientes a las olas identificadas por el método de cruces por cero se presentan en la Gráfica 4.20 y Tabla 4.18. Para el año de 1991, el menor valor promedio fue de 5.53 segundos y se presentó durante la época de verano. El máximo valor promedio para este mismo año fue de 7.31 segundos y se presentó durante los meses de octubre y noviembre (Invierno).



Gráfica 4.19 Histogramas de períodos del sitio Altamira, Tamps., para los años 1991 y 1992.

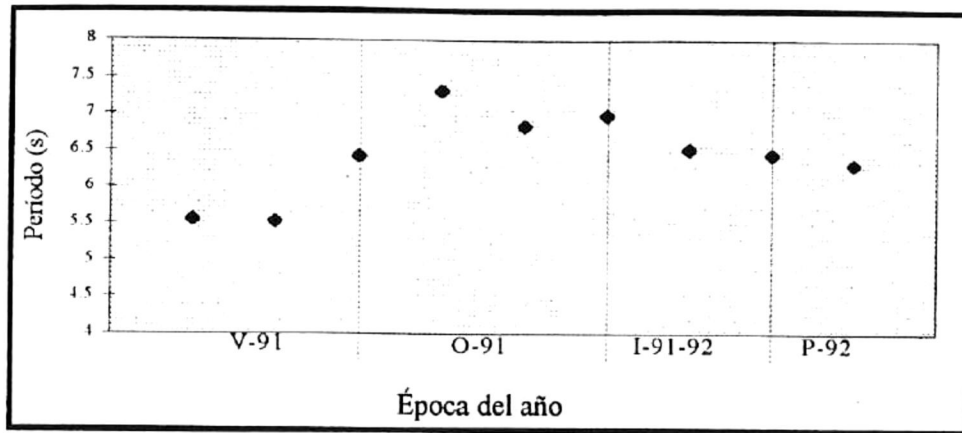


Gráfica 4.19 (continuación) Histogramas de períodos del sitio Altamira, Tamps., para los años 1991 y 1992.

En 1992 y 1988, el máximo valor promedio fue de 6.51 segundos y se reportó durante el mes de invierno, mientras que el mínimo para este año fue de 6.31 segundos en primavera.

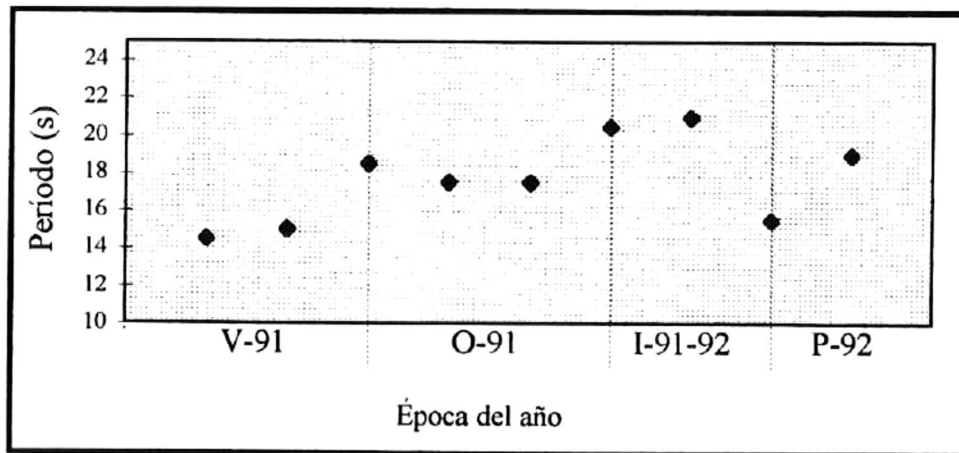
Tabla 4.17 Momentos estadísticos de períodos para las series de tiempo del sitio Altamira, Tamps.

No. de serie	Época del año	No. de datos	Mediana (s)	Intervalo (s)	Desviación Estándar
5	V-91	6950	5.50	13.50	1.35
6	V-91	7803	5.50	14.00	1.34
7	V-O-91	14416	6.50	17.50	1.76
8	O-91	7808	7.00	16.50	2.00
9	O-91	15507	6.50	16.00	1.73
10	O-I-91	12260	7.00	19.50	1.94
11	I-92	21309	6.50	20.00	1.73
12	I-P-92	13867	6.50	14.50	1.58
13	P-92	17409	6.00	18.00	1.58



Gráfica 4.20 Períodos promedio del sitio Altamira, Tamps. para los años 1991 y 1992.

La Gráfica 4.21 y Tabla 4.19 muestran los máximos períodos registrados. En 1991, el mayor período se registró a finales del invierno, con un valor de 20.5 segundos. 21 segundos fue el máximo período registrado en 1992 y se presentó a principios del año durante los meses de enero y febrero.



Gráfica 4.21 Períodos máximos registrados en el sitio Altamira, Tamps. para los años 1991 y 1992

Tabla 4.18 Valores promedio de: alturas, períodos y direcciones del sitio Altamira, Tamps. para los años 1991 y 1992.

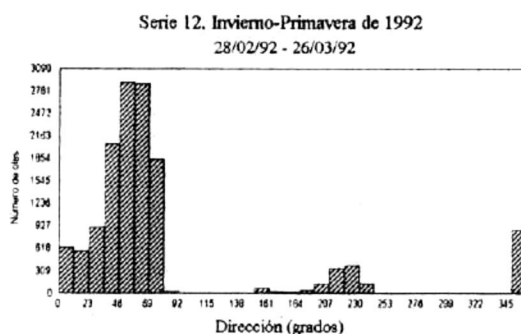
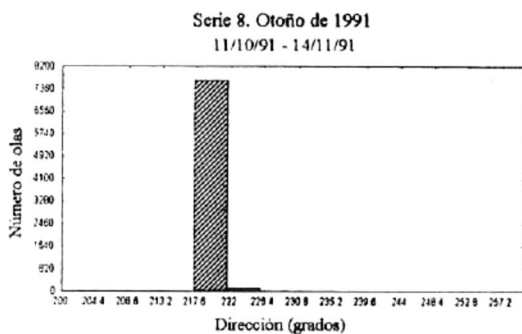
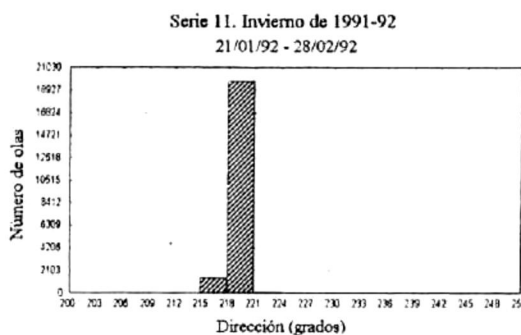
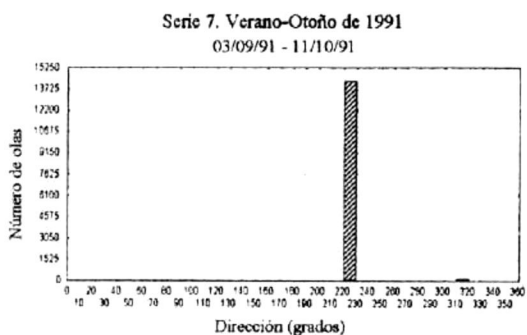
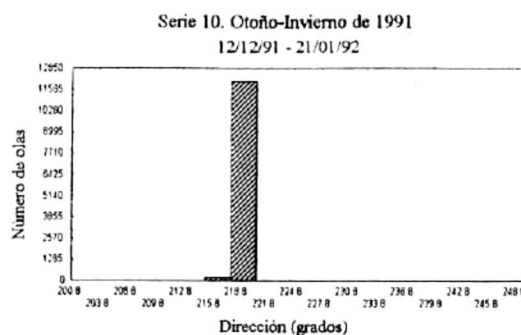
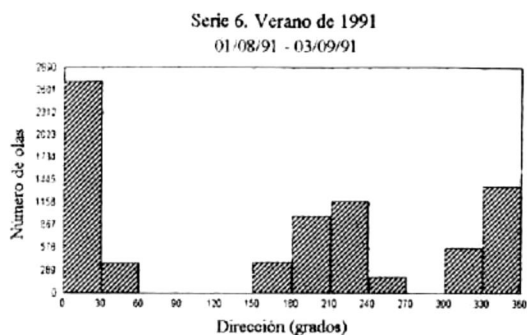
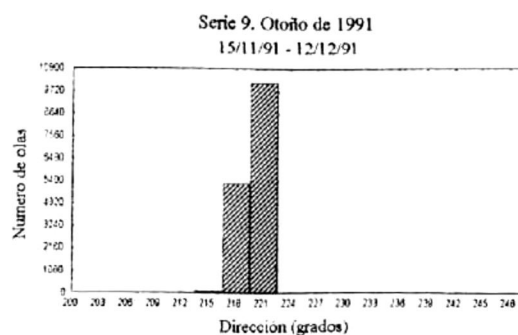
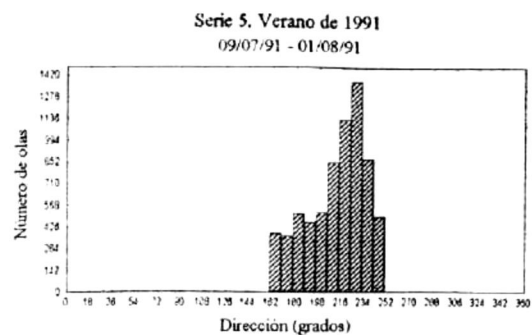
ÉPOCA DEL AÑO	VALORES PROMEDIO DE:		
	ALTURAS (cm)	PERÍODOS (s)	DIRECCIONES (grados)
V-91	23.99	5.56	211.97
V-91	27.31	5.53	164.81
V-O-91	45.42	6.43	223.72
O-91	59.44	7.31	220.80
O-91	51.68	6.83	219.62
O-I-91	55.55	6.98	218.98
I-92	41.81	6.51	219.75
I-P-92	42.12	6.45	83.59
P-92	30.16	6.31	52.48

Tabla 4.19 Valores máximos registrados de: alturas, períodos y direcciones del sitio Altamira, Tamps. para los años 1991 y 1992.

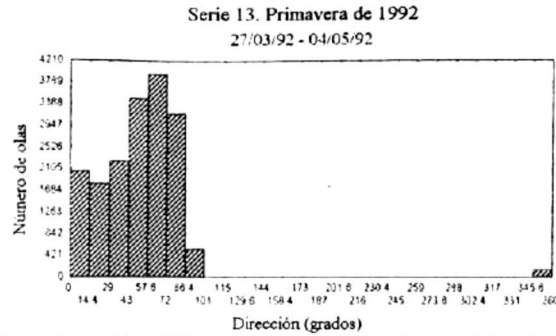
Época del año	Alturas (cm)		Períodos (s)		Direcciones (grados)	
	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima
V-91	0.1	150.4	1.0	14.5	159.7	249.7
V-91	0.1	175.3	1.0	15.0	0.0	359.9
V-O-91	0.1	243.0	1.0	18.5	221.2	319.5
O-91	0.1	251.7	1.0	17.5	217.3	304.4
O-91	0.2	292.4	1.5	17.5	213.5	305.0
O-I-91	0.1	332.6	1.0	20.5	215.2	305.6
I-92	0.1	227.5	1.0	21.0	214.8	306.2
I-P-92	0.1	249.0	1.0	15.5	0.0	359.9
P-92	0.1	198.9	1.0	19.0	0.0	359.9

4.4.3 Direcciones

En la Gráfica 4.22 se presentan los histogramas de la población de los datos de direcciones de olas correspondientes a las diferentes épocas del año 1991 y 1992. Así mismo, la Tabla 4.20 resume los momentos estadísticos de cada serie de tiempo.

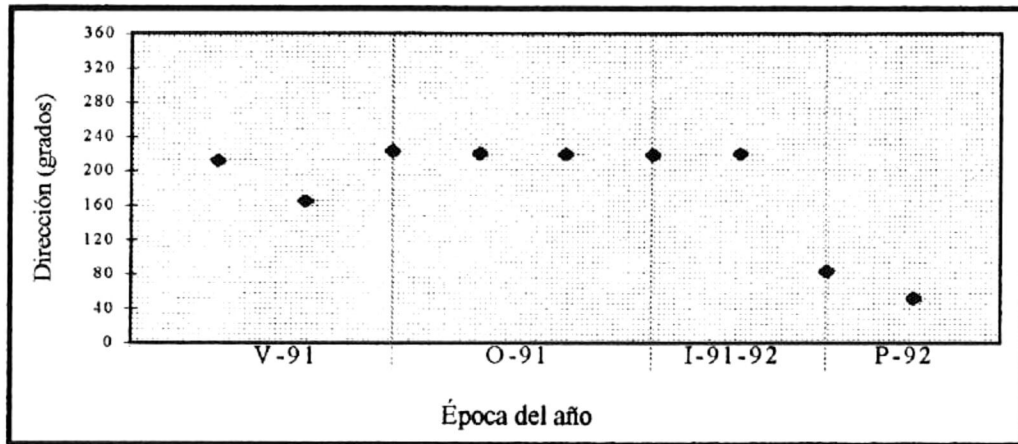


Gráfica 4.22 Histogramas de direcciones del sitio Altamira, Tamps. para los años 1991 y 1992.



Gráfica 4.22 (continuación) Histogramas de direcciones del sitio Altamira, Tamps. para los años 1991 y 1992.

En la Gráfica 4.23 se presentan las direcciones promedio de cada una de las series de tiempo de todo el sitio, es importante notar que estas direcciones oscilan entre los 52.48° y 223.72° para todas las épocas de cada año de medición. La Tabla 4.19 muestra las máximas direcciones encontradas para cada época.



Gráfica 4.23 Direcciones promedio del sitio Altamira, Tamps. para los años 1991 y 1992

4.4.4 Distribuciones conjuntas

Además de los histogramas, también se realizaron rosas de oleaje para determinar las distribuciones conjuntas de alturas y períodos. En la Gráfica 4.24 se presenta como ejemplo, una rosa de olas que muestra la distribución conjunta de alturas y direcciones de la serie de tiempo 5 de Altamira. En ésta gráfica se observa que más del 83 % de la población

de datos está entre los 0 y 40 cm de altura y presenta una dirección de propagación promedio de 225°, dirección suroeste. Aproximadamente el 15 % de los datos tienen una alturas entre 40 y 80 cm y presentan la misma dirección de propagación. El máximo valor registrado en esta serie es de 150.4 cm y tiene una dirección de propagación hacia el oeste.

Tabla 4.20 Momentos estadísticos de direcciones para las series de tiempo del sitio Altamira, Tamps.

No. de serie	Época del año	No. de datos	Mediana (grados)	Intervalo (grados)	Desviación Estándar
5	V-91	6950	217.40	90.00	22.61
6	V-91	7803	195.20	359.00	131.67
7	V-O-91	14416	223.30	98.30	8.18
8	O-91	7808	220.80	87.10	1.03
9	O-91	15507	219.90	91.50	2.07
10	O-I-91	12260	218.90	90.40	1.55
11	I-92	21309	219.60	91.40	5.76
12	I-P-92	13867	57.50	359.90	85.64
13	P-92	17409	54.40	359.90	36.37

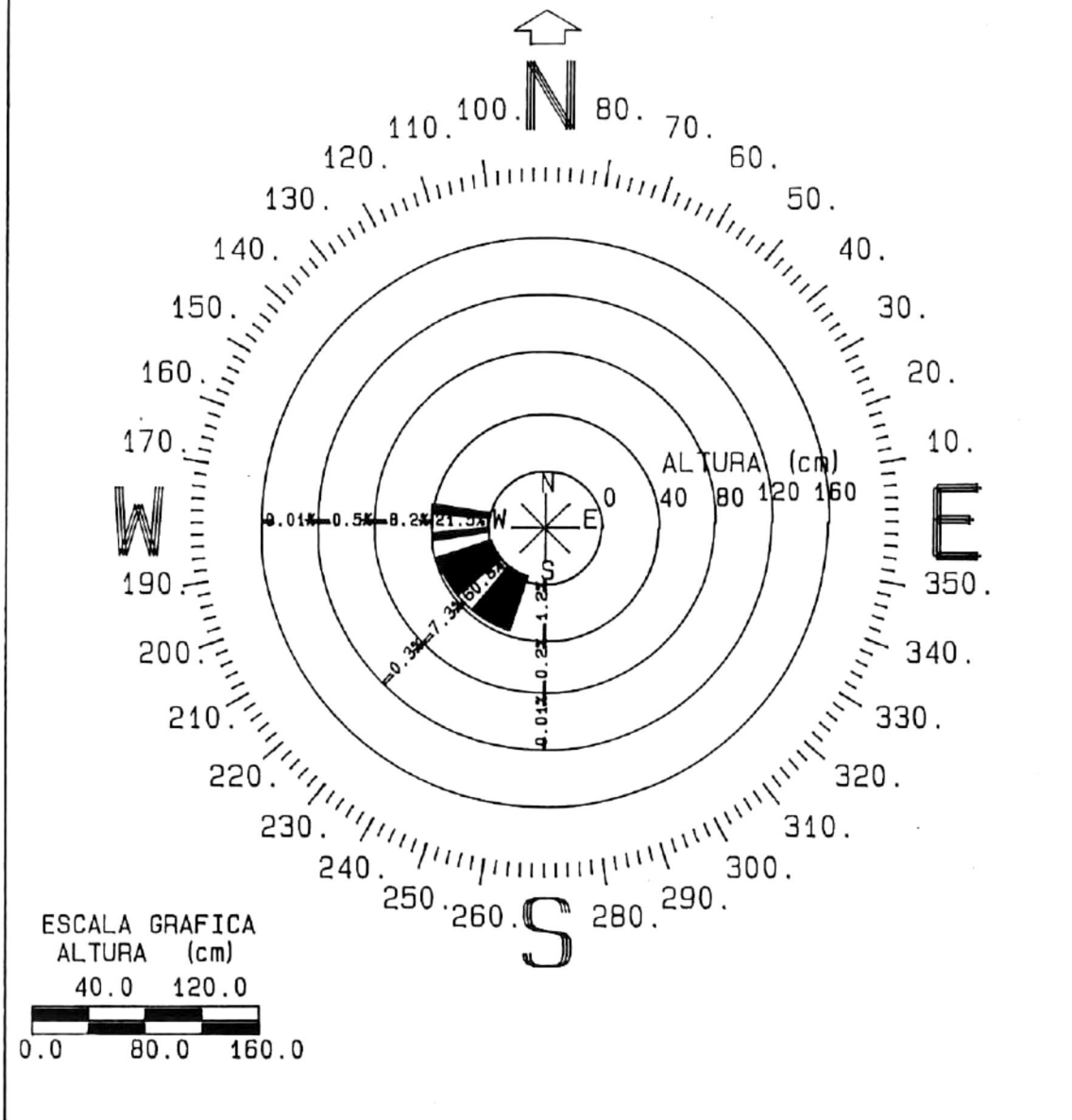
De la misma forma, la Gráfica 4.25, presenta la distribución conjunta de períodos y direcciones de la misma serie de tiempo. Como es de esperarse, esta distribución se asemeja mucho a la distribución conjunta de alturas y direcciones de olas.

En las series 5, 7, 8, 9, 10 y 11, más del 90 % de los datos presentan direcciones de propagación suroeste, con un promedio de 225 °. Más del 90 % de los datos presentan alturas entre 0 y 100 cm. En la serie 6, el 43 % de los datos tienen un rango de propagación entre los 28 ° noreste y 348 ° sureste, con un promedio a los 0 ° que corresponden al este. El 20 % de los datos presentan direcciones entre el rango 213 y 236 ° suroeste. El resto de los datos están en direcciones oeste, sur, sureste y noroeste. Aproximadamente el 60 % de los datos de la serie 12 presentan dirección una dirección promedio de 46 ° noreste y el rango completo de estos datos está entre 17 y 72 ° noreste.

ROSA DE OLAS DEL SITIO ALTAMIRA, TAMPS.

09/07/91 - 01/08/91

- POBLACION DE DATOS = 6950
- SECTORES DE DIRECCION = 8 (N, NE, E, SE, S, SW, W, NW)
- INTERVALOS DE OLAS = 4
- ALTURA MAXIMA = 150.4 (cm)
- ALTURA MINIMA = 0.0 (cm)
- DIRECCION MAXIMA = 249.7 (grados)
- DIRECCION MINIMA = 159.7 (grados)

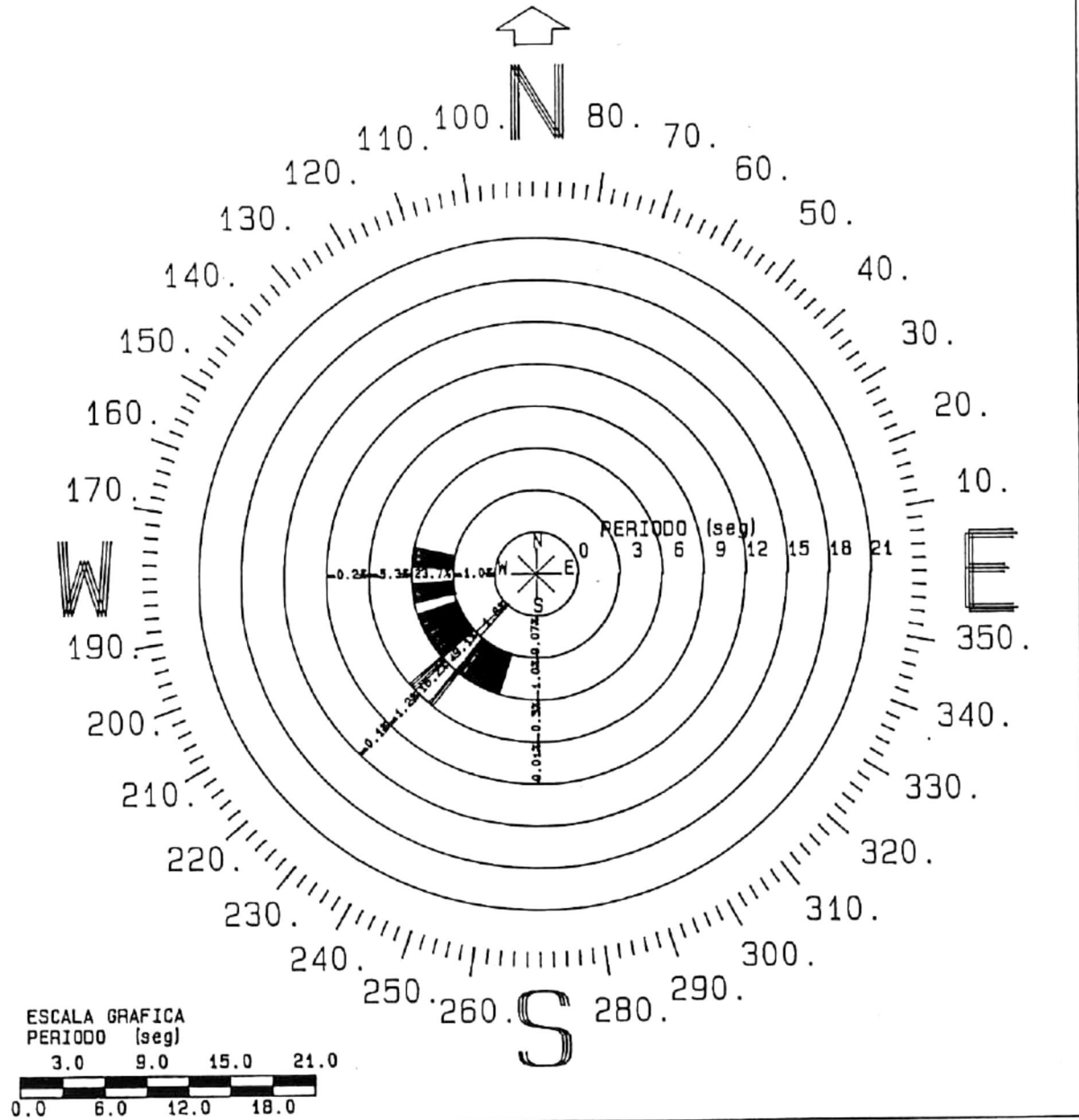


Gráfica 4.24 Distribución conjunta de alturas y direcciones de serie de tiempo 5, del sitio Altamira, Tamps.

ROSA DE OLAS DEL SITIO ALTAMIRA, TAMPS.

09/07/91 - 01/08/91

-POBLACION DE DATOS = 6950
 -SECTORES DE DIRECCION = 8 (N, NE, E, SE, S, SW, W, NW)
 -INTERVALOS DE PERIODOS = 7
 -PERIODO MAXIMO = 14.5 (seg)
 -PERIODO MINIMO = 1.0 (seg)
 -DIRECCION MAXIMA = 249.7 (grados)
 -DIRECCION MINIMA = 159.7 (grados)



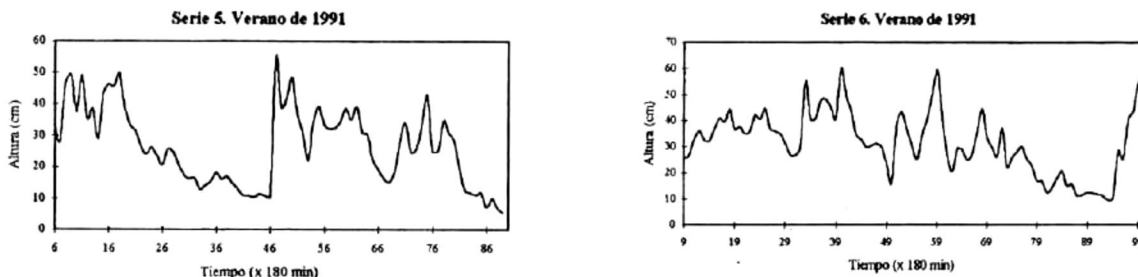
Gráfica 4.25 Distribución conjunta de períodos y direcciones de serie de tiempo 5, del sitio Altamira, Tamps.

En la serie 13 los rangos de propagación están entre 16 y 72 ° noreste para el 54 % de los datos, entre 78 ° noreste y 103 ° noroeste para el 28 % de los datos y entre 8 ° noreste y 351 ° sureste para el 18 % de los datos.

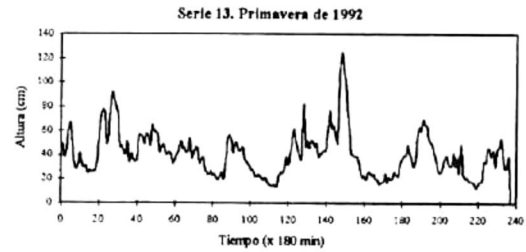
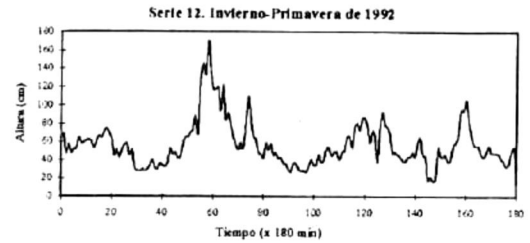
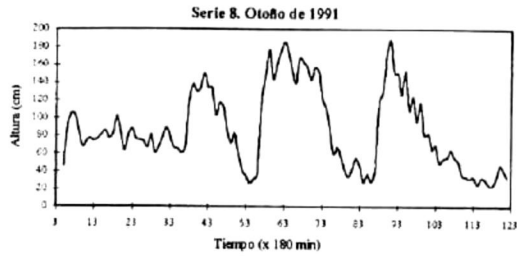
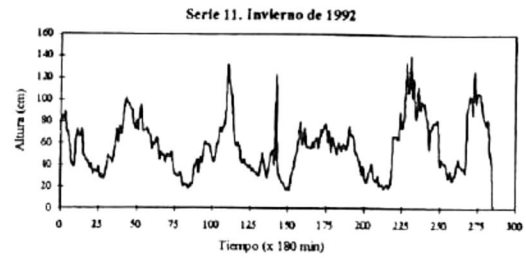
4.5 Altamira, Tamaulipas, Análisis Espectral.

4.5.1 Alturas significantes y Densidad de Energía

La Gráfica 4.26, muestra las series de tiempo de alturas significantes de cada una de las series de tiempo de éste sitio. Como es de esperarse, las alturas significantes de menor magnitud se presentan al final de las épocas de verano de cada año. Es importante notar que en todos los registros se observan variaciones en las magnitudes de alturas, en donde aparecen intercalados valores pequeños y grandes. Estas variaciones obviamente corresponden a los períodos de relativa calma y de mar más agitado y, por ende, deben estar en fase con las variaciones observada en las series de tiempo de densidad de energía. En la Gráfica 4.27 se presentan las series de tiempo de las variaciones de los valores pico de la densidad de energía contenida en las olas de Altamira calculados a partir de los datos de elevaciones del nivel del mar y de las componentes horizontales de velocidades instantáneas. Si llevamos a cabo la comparación de las series de tiempo de las variaciones de los valores pico de la densidad de energía contenida en las olas de Altamira con las series de alturas significantes, podemos confirmar que existe una coherencia muy alta entre estas y además que están en fase. En otras palabras, los valores pico de altura significativa corresponden a los valores pico de densidad de energía.



Gráfica 4.26 Alturas significantes del sitio Altamira, Tamps., durante los años 1991 1992



Gráfica 4.26 (continuación) Alturas significantes del sitio Altamira, Tamps., durante los años 1991-1992

4.5.2 Mareas

Los mareogramas y los resultados de los análisis de Fourier y espectrales de los datos de marea de este sitio se presentan en la Gráfica 4.28.

En cada uno de los espectros de cada serie de marea es posible observar que la marea en todas las épocas del año para este sitio es mixta diurna, con la componente más energética asociada con el período de 25 hrs aproximadamente (0.039 Hz), mientras que el pico menos energético, correspondiente a la componente semidiurna, está asociada con el período de 12.5 hrs (0.08 Hz). En todos los casos, la componente diurna es aproximadamente 6 veces más energética que la componente semidiurna.

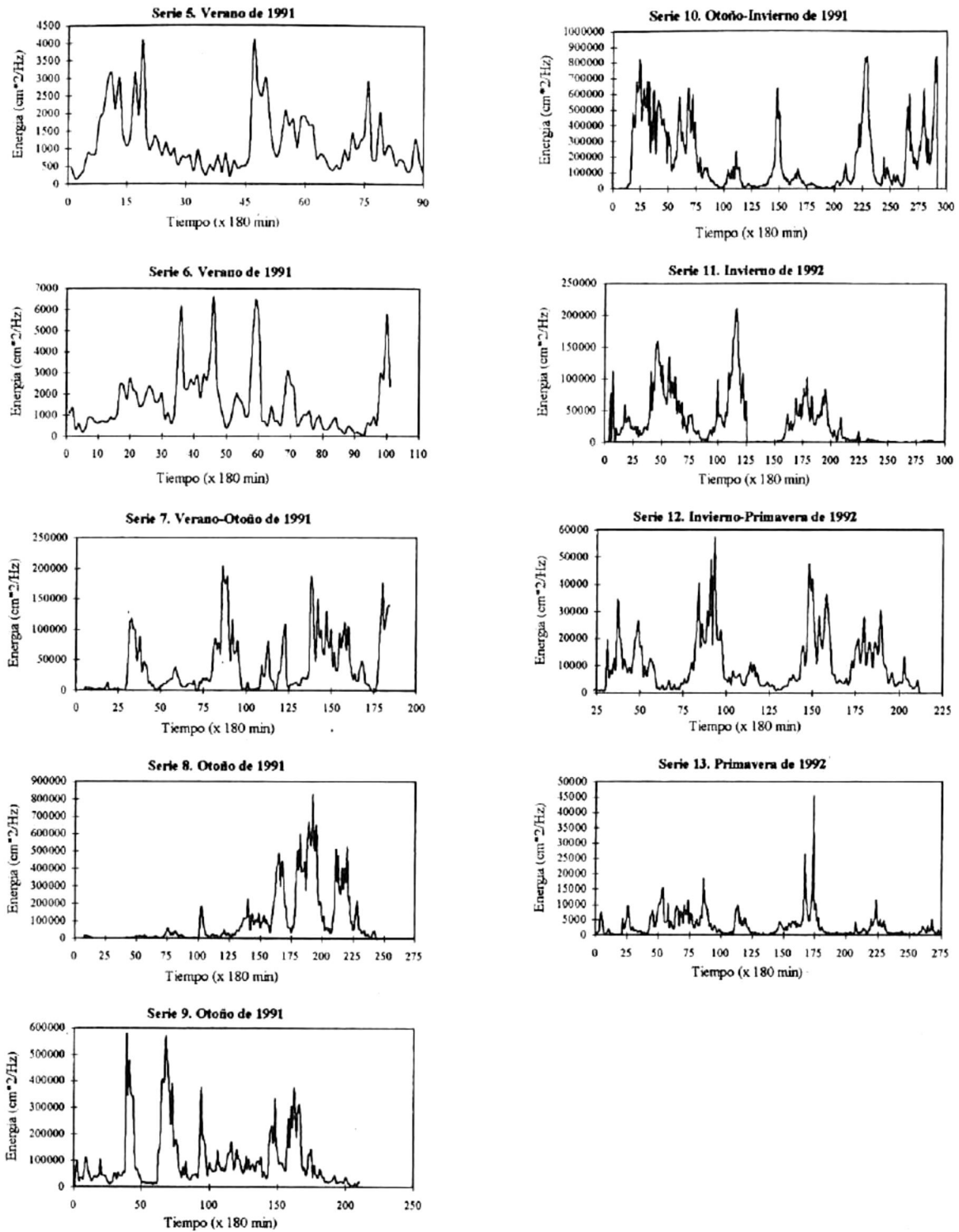
El pico más energético de marea para el año 1991 se presentó durante los meses de noviembre y diciembre (Invierno), con un valor de $5100 \text{ cm}^2/\text{Hz}$ y asociado a una frecuencia de 0.039 Hz (25 hrs).

En 1992 el pico más energético fue de $4550 \text{ cm}^2/\text{Hz}$, también durante la época de invierno, y estuvo asociado con un período de 245 hrs.

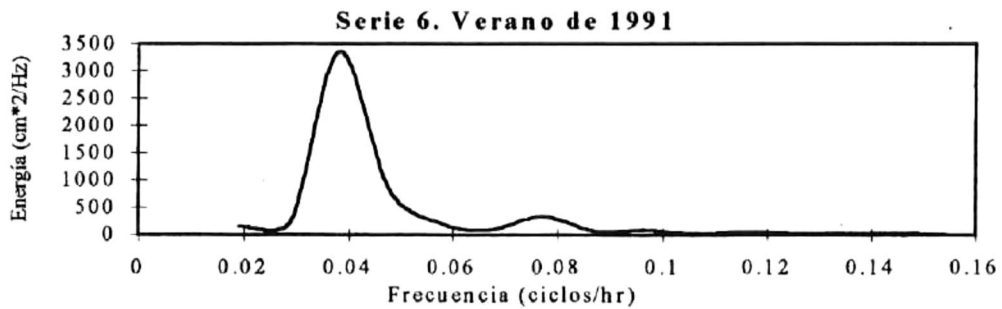
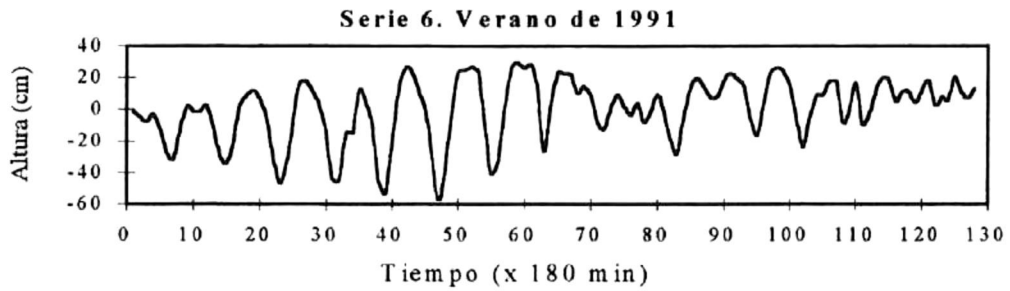
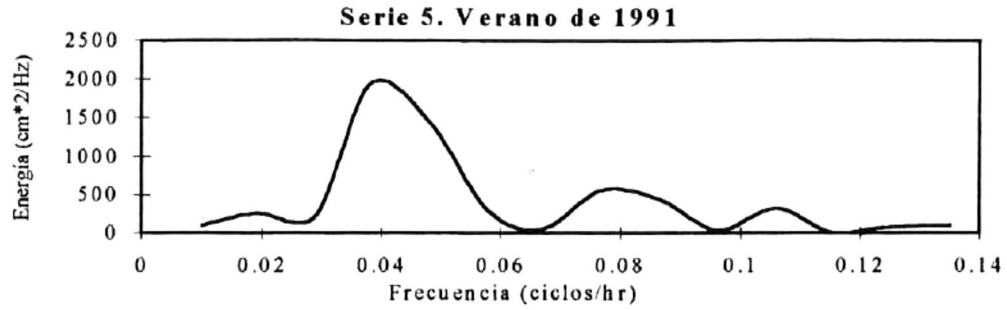
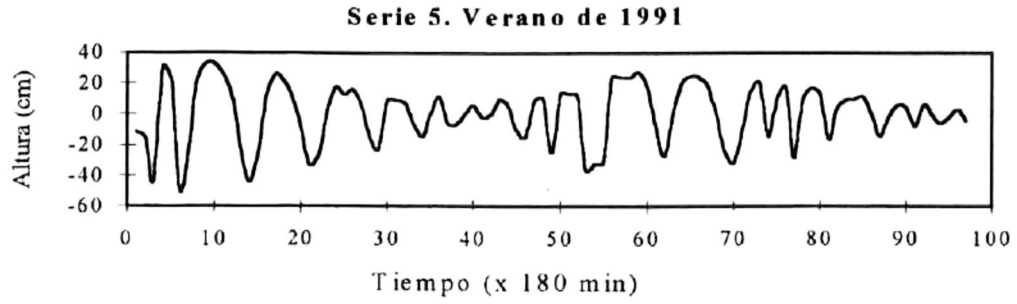
Nuevamente es importante notar que la serie de tiempo con la que se inicia este año corresponde al mes de julio, por lo que no es posible asegurar si las concentraciones de energías reportadas en los meses anteriores de este año fueron mayores o menores.

4.5.3 Análisis de Densidad de Probabilidad

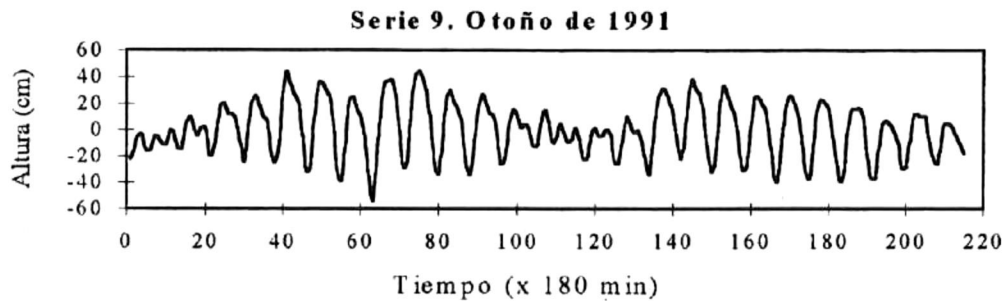
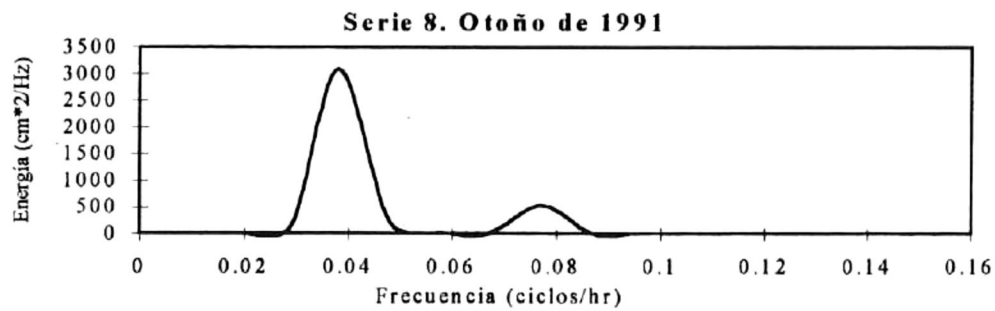
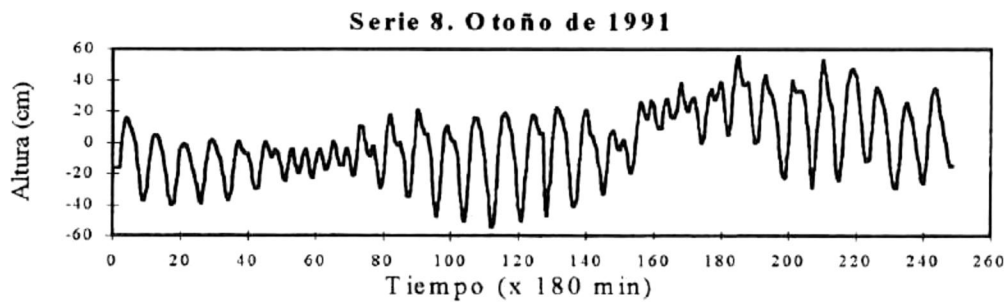
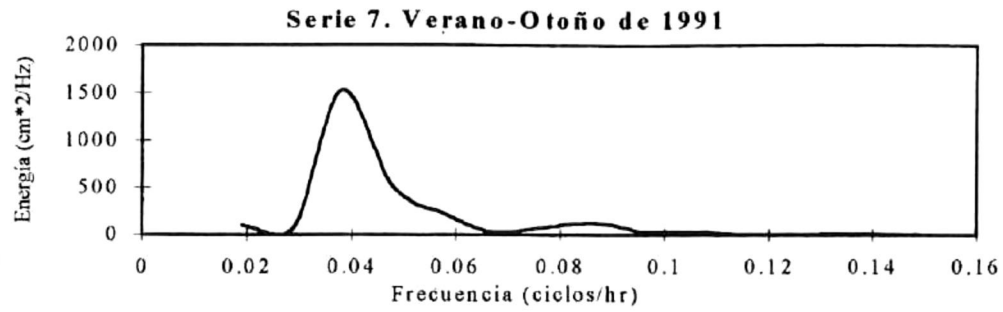
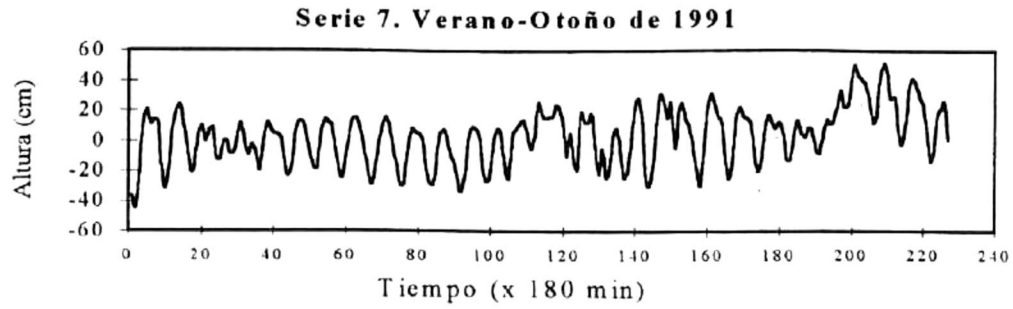
En la Tabla 4.21 se resumen las probabilidades de ocurrencia, tanto de alturas como de períodos, de 60%, 40% y 20 %, así como las probabilidades menores al 3 % para cada una de las series de tiempo de este sitio.



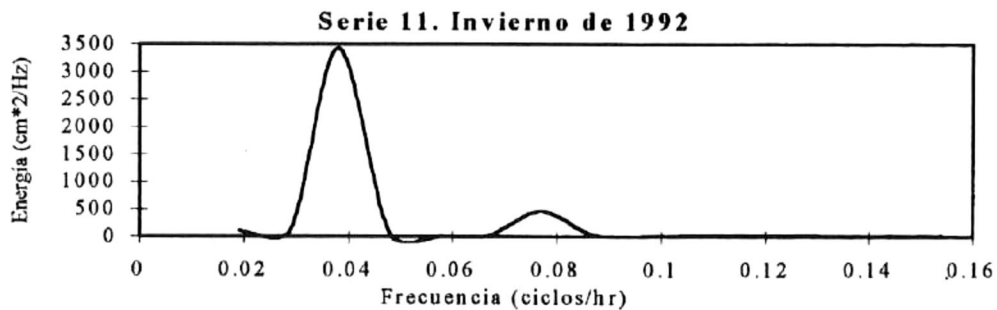
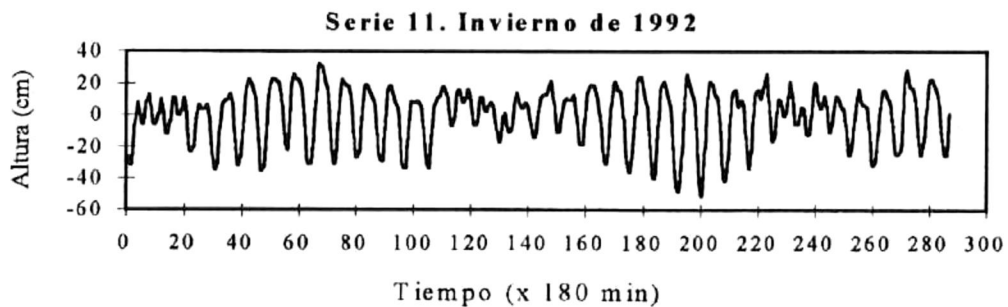
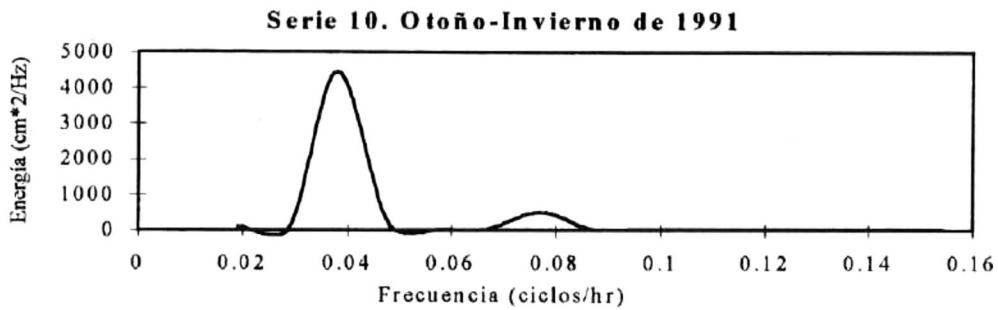
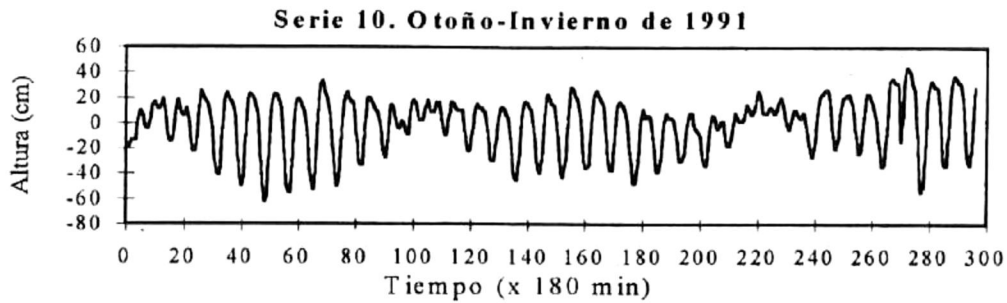
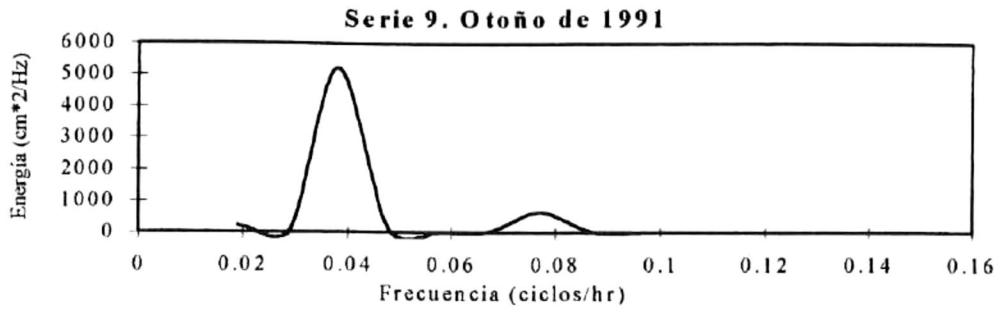
Gráfica 4.27 Valores pico de densidad de energías del sitio Altamira, Tamps. durante las diferentes épocas de los años 1991 y 1992



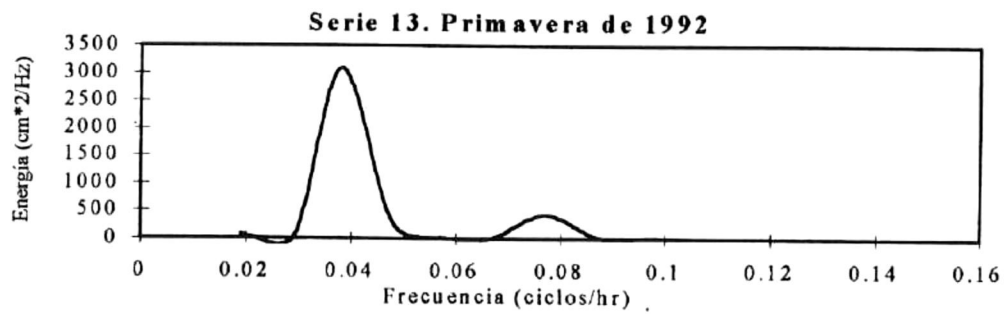
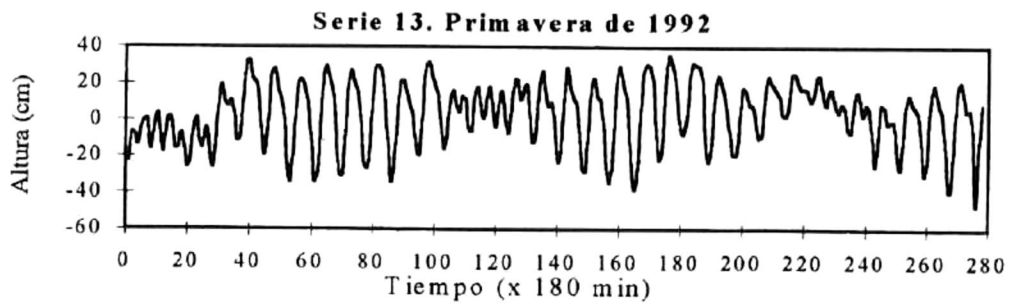
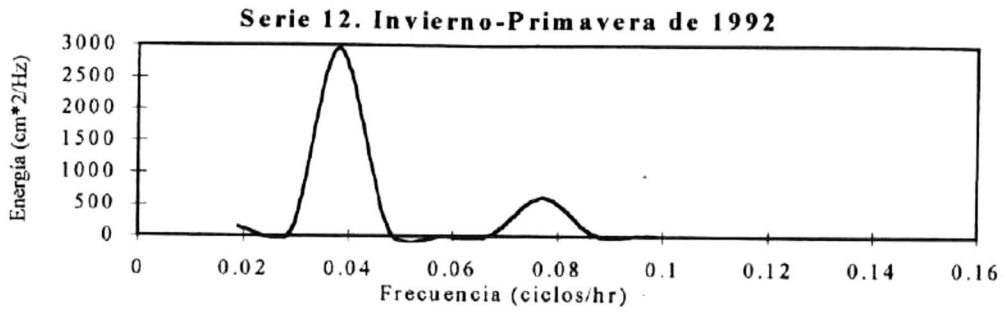
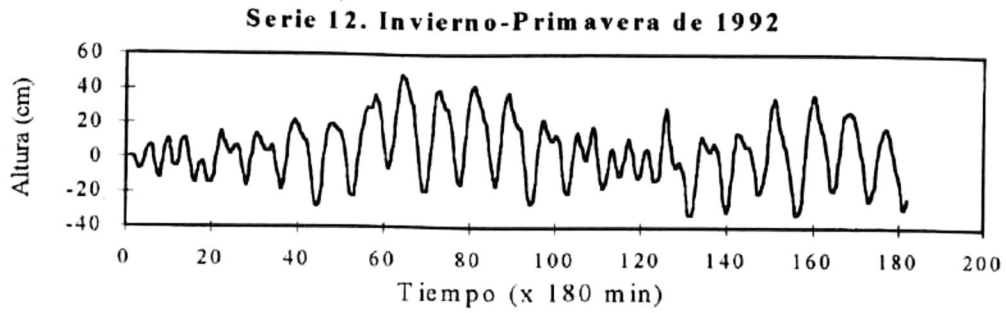
Gráfica 4.28 Mareogramas y sus correspondientes espectros de densidad de energía de Altamira, Tamps. durante los años 1991 y 1992.



Gráfica 4.28 (continuación) Mareogramas y sus correspondientes espectros de densidad de energía de Altamira, Tamps. durante los años 1991 y 1992.



Gráfica 4.28 (continuación) Mareogramas y sus correspondientes espectros de densidad de energía de Altamira, Tamps. durante los años 1991 y 1992.



Gráfica 4.28 (continuación) Mareogramas y sus correspondientes espectros de densidad de energía de Altamira, Tamps. durante los años 1991 y 1992.

Tabla 4.21 Probabilidades de ocurrencia del 60%, 40%, 20% y menores del 3% de alturas y periodos del sitio Altamira, Tamps.

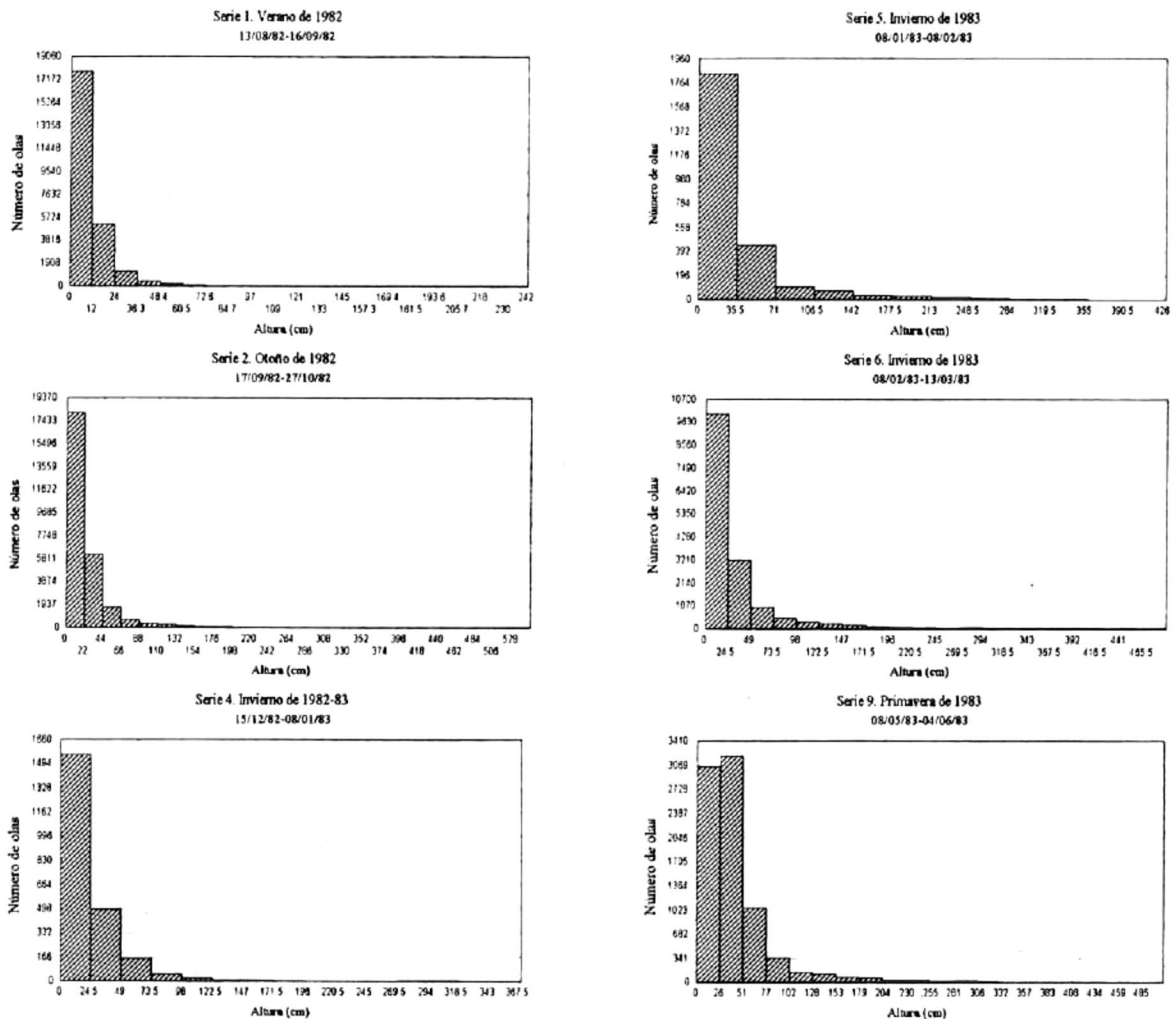
No. de serie	Alturas (cm)				Periodos (s)			
	60%	40%	20%	menos del 3%	50%	40%	20%	menos del 3%
5	18	30	34	150.4	5.5	5.8	6.0	14.5
6	20	32	37	175.3	5.5	5.7	6.0	15.0
7	24	40	50	243.0	6.5	6.7	6.9	18.5
8	18	32	36	257.1	7.5	7.8	8.0	17.5
9	12	23	26	292.4	7.0	7.3	7.7	17.5
10	22	36	44	332.6	7.0	7.3	7.5	20.5
11	20	33	40	227.5	6.2	6.5	7.2	21.0
12	18	25	32	249.0	6.5	6.6	7.0	15.5
13	18	28	37	198.9	6.2	6.4	6.7	19.0

4.6 Tuxpan, Veracruz. Análisis Matemático Estadístico.

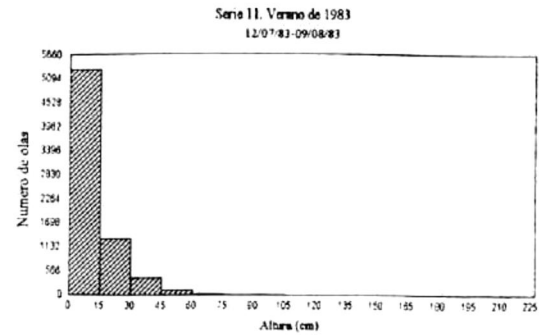
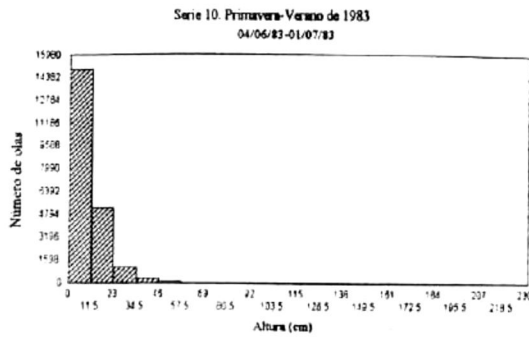
4.6.1 Alturas

En la Gráfica 4.29 se presentan los histogramas de la población de datos de alturas de olas correspondientes a cada una de las series de tiempo de Tuxpan.

La Tabla 4.22 resume los momentos estadísticos de cada una de éstas series de tiempo. Los valores promedio de alturas de cada una de las series de tiempo se resumen en la Tabla 4.24 y sus fluctuaciones a través del tiempo se aprecian en la Gráfica 4.30.



Gráfica 4.29 Histogramas de alturas del sitio Tuxpan, Veracruz, para las diferentes épocas de los años 1982 y 1983.

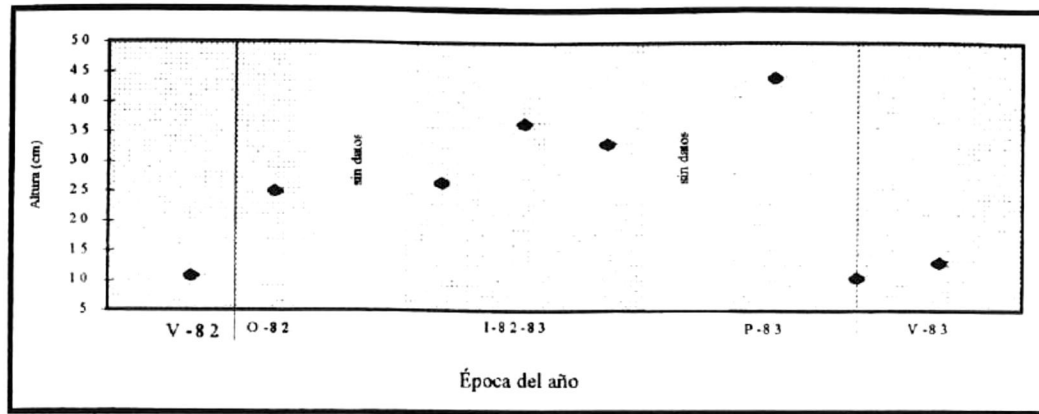


Gráfica 4.29 (continuación) Histogramas de alturas del sitio Tuxpan, Veracruz para las diferentes épocas de los años 1982 y 1983.

Tabla 4.22 Momentos estadísticos de alturas para las series de tiempo del sitio Tuxpan, Veracruz.

No. de serie	Época del año	No. de datos	Mediana (cm)	Intervalo (cm)	Desviación Estándar
1	V-82	25147	7.20	242.30	12.57
2	O-82	27906	15.20	549.40	33.62
sin datos	-	-	-	-	-
4	I-82-83	2324	16.85	368.70	33.99
5	I-83	2593	18.60	428.40	50.23
6	I-83	15879	18.30	488.50	44.88
sin datos	-	-	-	-	-
9	P-83	8215	31.90	506.1	46.02
10	P-V-83	23055	7.90	230.90	10.19
11	V-83	7267	8.90	226.20	13.98

En la Gráfica 4.30 de alturas promedio, es posible observar que los mínimos valores registrados se presentan durante los meses de junio, julio, agosto y principios de septiembre, que corresponden a las épocas de verano de cada año, mientras que los máximos valores promedio se reportan al final de los meses de invierno o principios de los meses de primavera.

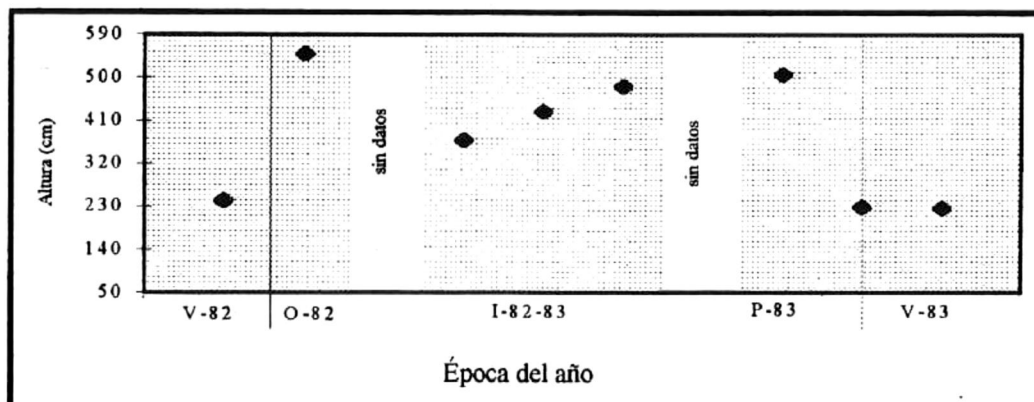


Gráfica 4.30 Alturas promedio del sitio Tuxpan, Veracruz para las diferentes épocas de los años 1982 y 1983

El menor valor promedio para el año 1982, se registró durante los meses de agosto y septiembre (verano), con un valor de 10.84 cm. Para el año 1983, el menor valor promedio se registro durante el mes de junio (primavera-verano), con un valor de 10.42 cm.

En la Gráfica 4.31 y Tabla 4.25, es posible observar los máximos valores de alturas, registrados para cada serie de tiempo, encontrando los valores de menor magnitud durante los meses de agosto y septiembre para 1982 con un valor de 242.30 cm y julio y agosto para 1983 con un valor de 226.20 cm.

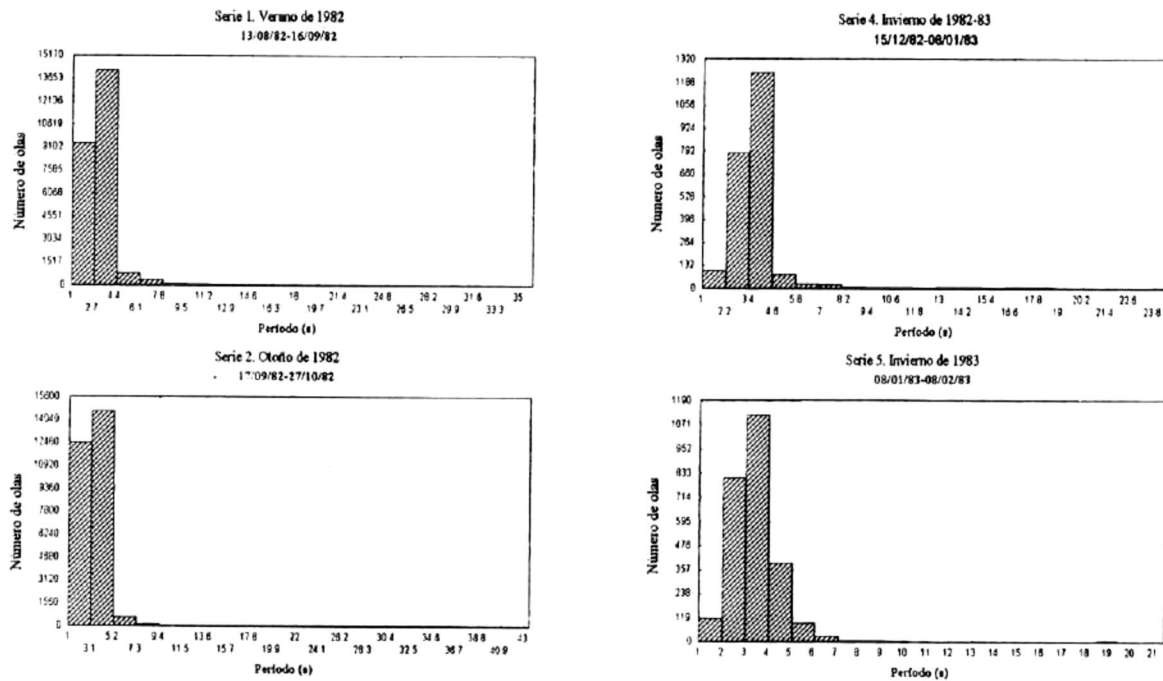
En 1982, la mayor altura se registró durante la época de septiembre y octubre (otoño) con una magnitud de 549.40 cm, mientras que en 1983, el mayor valor registrado fue de 506.20 cm y se registró durante la época de mayo y junio (Primavera). Por las épocas en que se presentaron las máximas alturas y por sus magnitudes, es muy probable que estos datos estén relacionados con la presencia de huracanes en el Golfo de México.



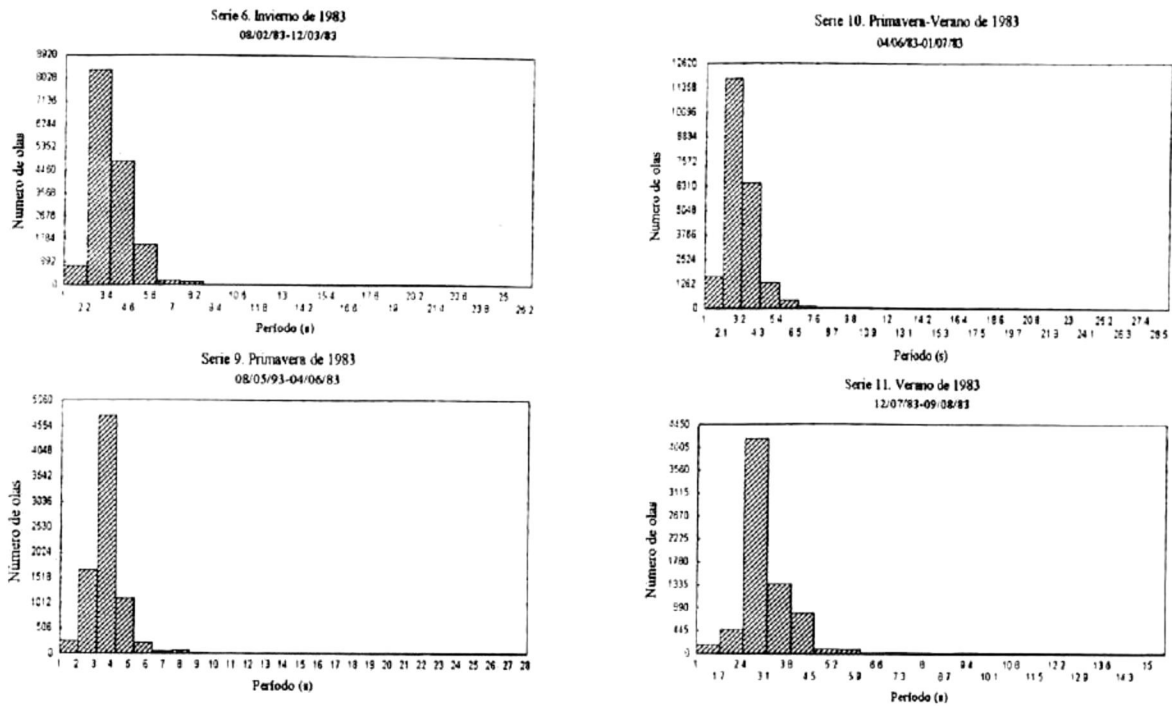
Gráfica 4.31 Alturas máximas registradas en el sitio Tuxpan, Veracruz para las diferentes épocas de los años 1982 y 1983

4.6.2 Períodos

En la Gráfica 4.32 se presentan los histogramas de la población de datos de períodos de olas correspondientes a cada una de las series de tiempo del sitio. Así mismo, la Tabla 4.23 resume la estadística realizada a cada una de estas series de tiempo. La distribución de períodos promedio correspondientes a las olas identificadas por el método de cruces por cero se presentan en la Gráfica 4.33 y Tabla 4.24. Para el año de 1982, el menor valor promedio fue de 3.23 segundos y se presentó durante los meses de agosto y septiembre (verano), mientras que el máximo valor promedio fue de 3.75 segundos y se presentó durante el mes de diciembre (invierno). En 1983, el menor valor promedio fue de 3.13 segundos y se presentó durante los meses de julio y agosto (verano), mientras que el máximo valor promedio fue de 3.83 segundos y se presentó durante el mes de mayo (primavera).



Gráfica 4.32 Histogramas de períodos del sitio Tuxpan, Veracruz, para las diferentes épocas de los años 1982 y 1983.



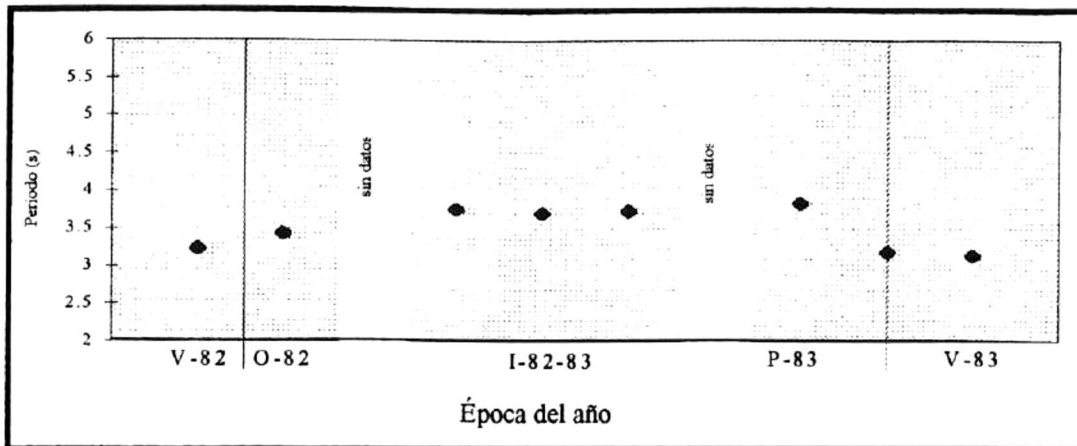
Gráfica 4.32 (continuación) Histogramas de periodos del sitio Tuxpan, Veracruz, para las diferentes épocas de los años 1982 y 1983.

Tabla 4.23 Momentos estadísticos de periodos para las series de tiempo del sitio Tuxpan, Veracruz.

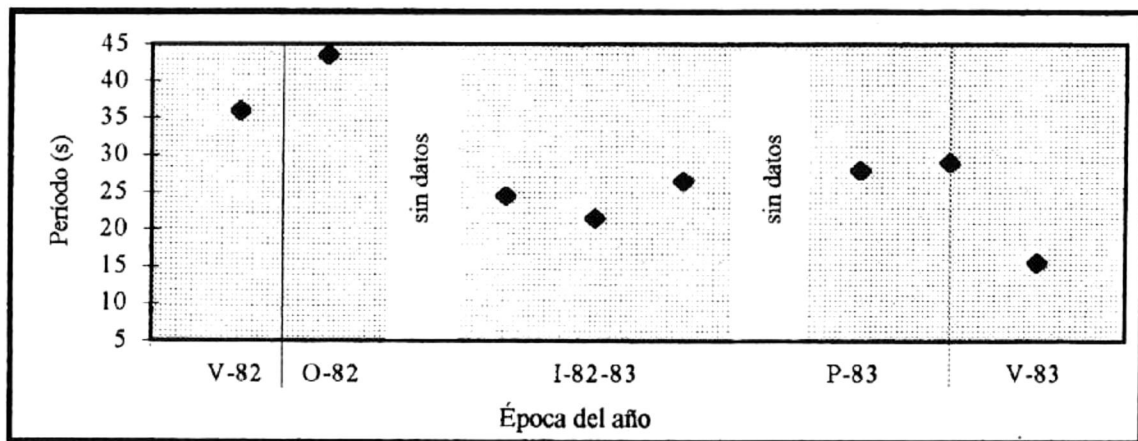
No. de serie	Época del año	No. de datos	Mediana (s)	Intervalo (s)	Desviación Estándar
1	V-82	25147	3.00	35.00	1.65
2	O-82	27906	3.50	42.50	1.05
sin datos	-	-	-	-	-
4	I-82-83	2324	3.50	23.50	1.99
5	I-83	2529	2.50	20.50	1.38
6	I-83	15879	3.50	25.50	1.25
sin datos	-	-	-	-	-
9	P-83	8215	3.50	27.00	1.46
10	P-V-83	23055	3.00	28.00	1.24
11	V-83	7267	3.00	14.50	0.99

En 1982 y 1983, los máximos valores fueron de 43.5 y 29.0 segundos respectivamente y se reportaron durante los meses de septiembre y octubre (otoño) en 1982 y junio y julio (primavera-verano) en 1983.

En la Gráfica 4.34 y Tabla 4.25 es posible observar los máximos periodos registrados.



Gráfica 4.33 Períodos promedio del sitio Tuxpan, Veracruz para las diferentes épocas de los años 1982 y 1983.



Gráfica 4.34 Períodos máximos registrados en el sitio Tuxpan, Veracruz para las diferentes épocas de los años 1982 y 1983

Tabla 4.24 Valores promedio de: alturas, períodos y direcciones del sitio Tuxpan, Veracruz. para diferentes épocas de los años 1982 y 1983.

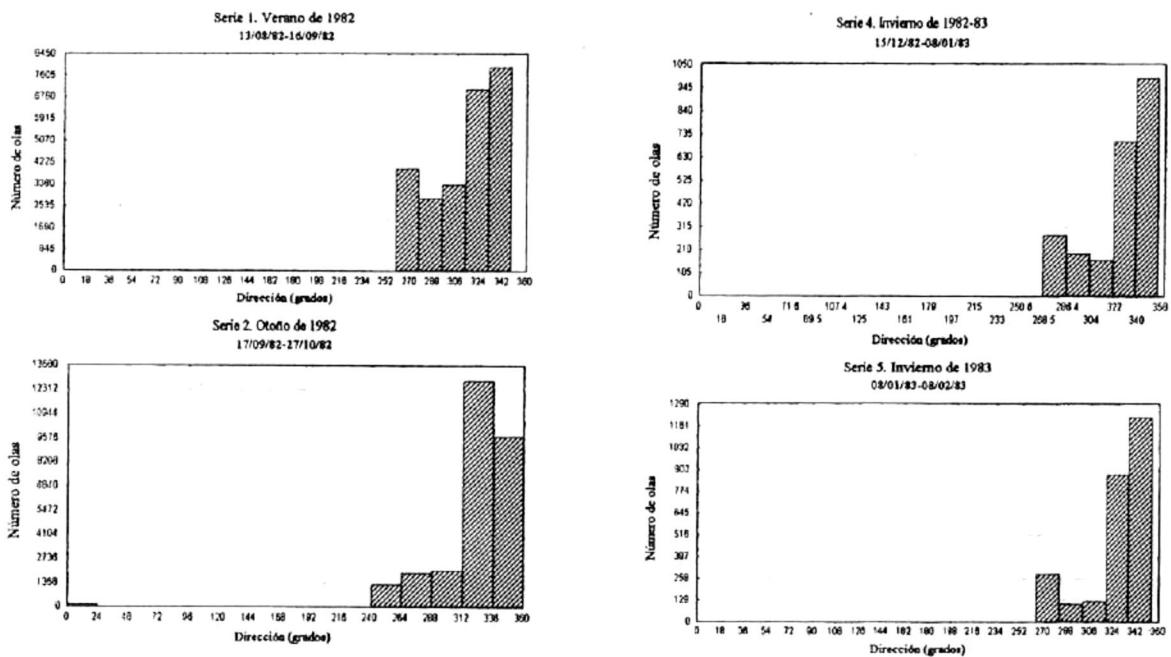
ÉPOCA DEL AÑO	VALORES PROMEDIO DE:		
	ALTURAS (cm)	PERÍODOS (s)	DIRECCIONES (grados)
V-82	10.84	3.23	312.16
O-82	25.03	3.43	322.58
sin datos	-	-	-
I-82-83	26.52	3.75	325.63
I-83	36.50	3.70	327.75
I-83	33.10	3.73	324.23
sin datos	-	-	-
P-83	44.14	3.83	127.13
P-V-83	10.42	3.19	318.17
V-83	13.09	3.13	205.25

Tabla 4.25 Valores máximos registrados de: alturas, períodos y direcciones del sitio Tuxpan, Veracruz, para diferentes épocas de los años 1982 y 1983.

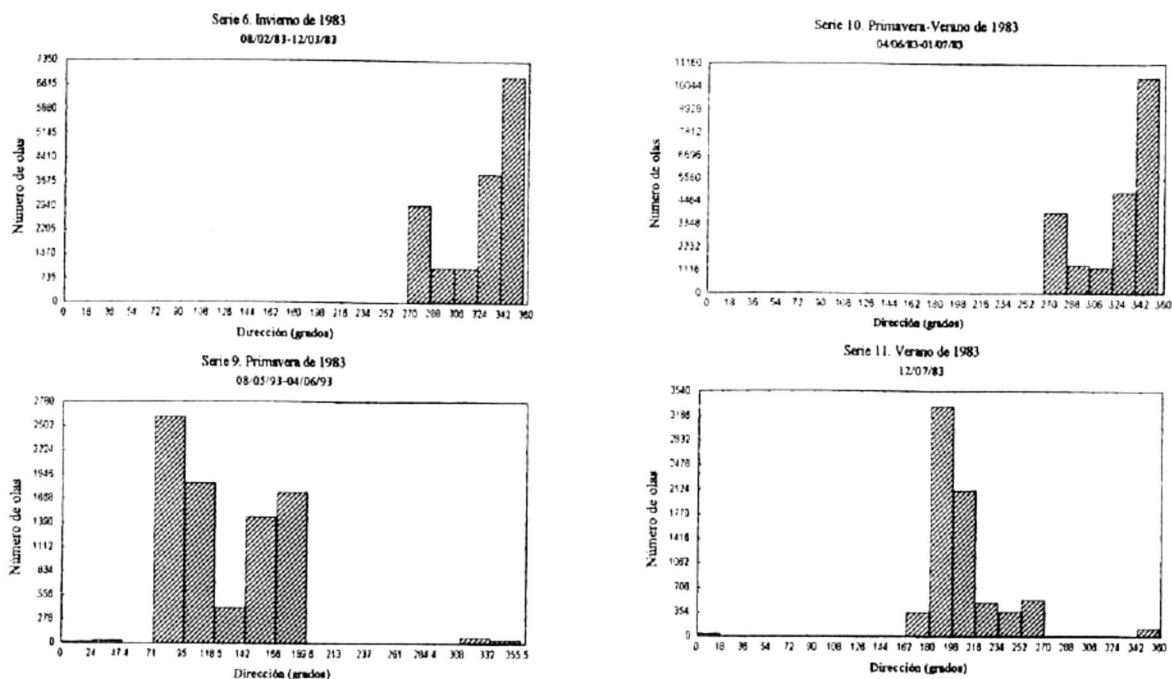
Época del año	Alturas (cm)		Períodos (s)		Direcciones (grados)	
	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima
V-82	0.10	242.30	1.00	36.00	258.50	348.50
O-82	0.10	549.40	1.00	43.50	0.10	359.90
sin datos	-	-	-	-	-	-
I-82-83	0.10	368.80	1.00	24.50	265.60	355.50
I-83	0.10	428.50	1.00	21.50	264.20	354.20
I-83	0.10	488.60	1.00	26.50	267.00	357.00
sin datos	-	-	-	-	-	-
P-83	0.10	506.20	1.00	28.00	0.40	356.80
P-V-83	0.10	230.90	1.00	29.00	83.50	355.60
V-83	0.10	226.20	1.00	15.50	0.00	359.90

4.6.3 Direcciones

En la Gráfica 4.35 se presentan los histogramas de la población de los datos de direcciones de olas correspondientes a las diferentes épocas de los años 1982 y 1983. Así mismo, la Tabla 4.26 resume los momentos estadísticos de cada serie de tiempo.

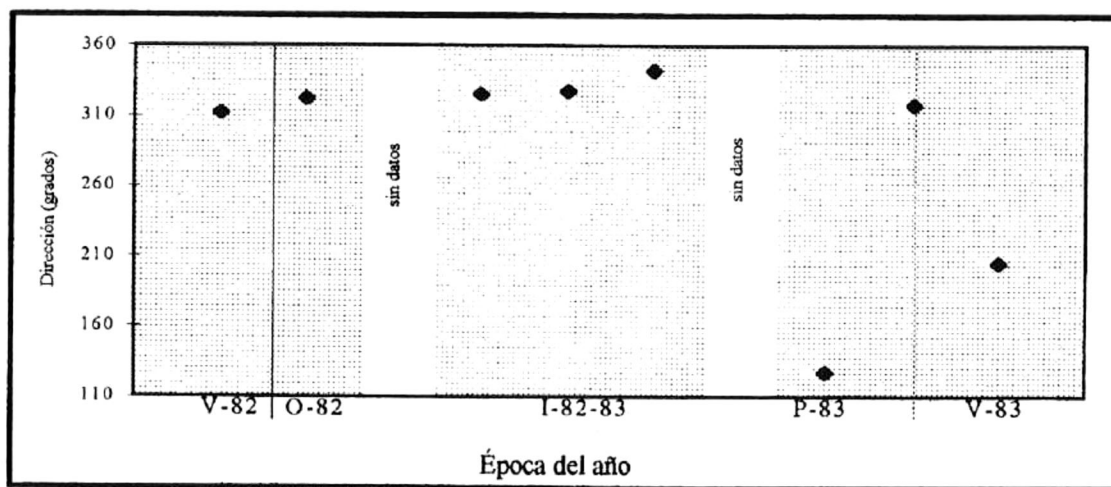


Gráfica 4.35 Histogramas de direcciones del sitio Tuxpan, Veracruz, para las diferentes épocas de los años 1982 y 1983.



Gráfica 4.35 (continuación) Histogramas de direcciones del sitio Tuxpan, Veracruz, para las diferentes épocas de los años 1982 y 1983.

En la Gráfica 4.36 se presentan las direcciones promedio de cada una de las series de tiempo de todo el sitio. El rango promedio de direcciones oscilan entre los 127.13° que se presentó en los meses de mayo y junio (primavera) de 1983 y 327.75° que se presento en enero (invierno) del mismo año. La Tabla 4.25 muestra las máximas direcciones encontradas para cada época.



Gráfica 4.36 Direcciones promedio del sitio Tuxpan, Veracruz para las diferentes épocas de los años 1982 y 1983

4.6.4 Distribuciones conjuntas

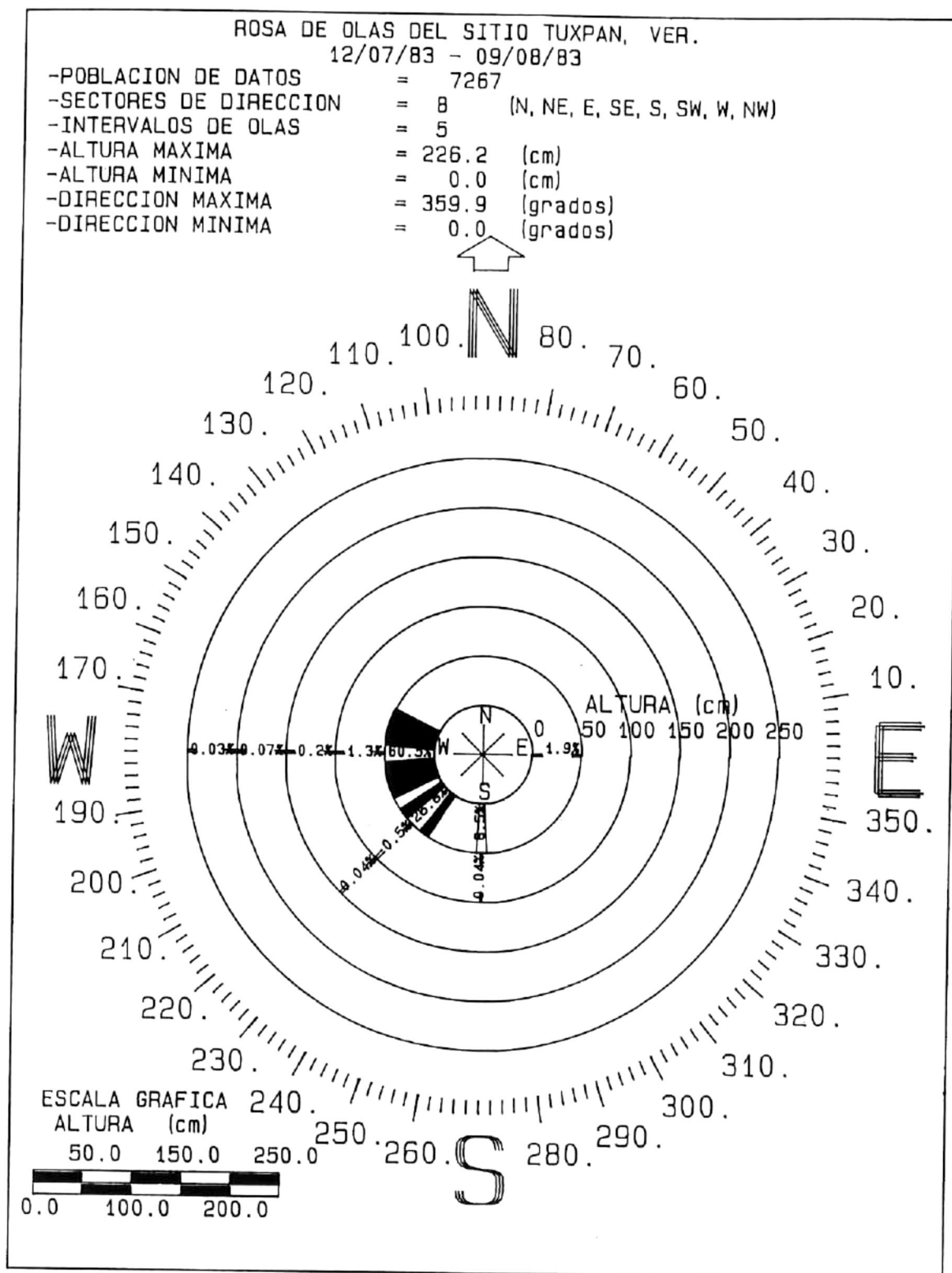
En la Gráfica 4.37 se presenta como ejemplo, una rosa de olas que muestra la distribución conjunta de alturas y direcciones de la serie de tiempo 11 de Tuxpan. En ésta gráfica se observa que más del 62 % de la población de datos presentan un rango de direcciones de propagación entre los 152° noroeste y 207° suroeste y la mayoría de estos datos están entre 0 y 50 cm de altura. Aproximadamente el 27 % de los datos de esta serie presentan un rango de direcciones de propagación entre los 214° suroeste y 236° sureste, también entre 0 y 50 cm de altura. El máximo valor para esta serie es de 226.2 cm de altura y tiene una dirección hacia el oeste.

Tabla 4.26 Momentos estadísticos de direcciones para las series de tiempo del sitio Tuxpan, Veracruz.

No. de serie	Época del año	No. de datos	Mediana (grados)	Intervalo (grados)	Desviación Estándar
1	V-82	25147	320.40	90.00	26.29
2	O-82	27906	322.30	359.80	30.55
sin datos	-	-	-	-	-
4	I-82-83	2324	335.30	89.90	25.02
5	I-83	2593	335.60	90.00	23.46
6	I-83	15879	336.20	90.00	28.42
sin datos	-	-	-	-	-
9	P-83	8215	108.30	356.40	41.73
10	P-V-83	23055	335.30	272.10	41.68
11	V-83	7267	197.60	359.90	31.72

De la misma forma, la Gráfica 4.38, presenta la distribución conjunta de períodos y direcciones de la misma serie de tiempo. Como es de esperarse, esta distribución se asemeja mucho a la distribución conjunta de alturas y direcciones de olas.

Las series 1, 2, 4, 5, 6 y 10, presentan distribuciones de propagación entre los 0 y 90° (este-oeste) y en todas las series, más del 80 % de los datos presentan alturas entre 0 y 80 cm de altura. La serie 9 presenta direcciones de propagación entre lo 90 y 180 ° (norte-oeste) y más del 90 % de los datos están entre los 0 y 80 cm de altura.

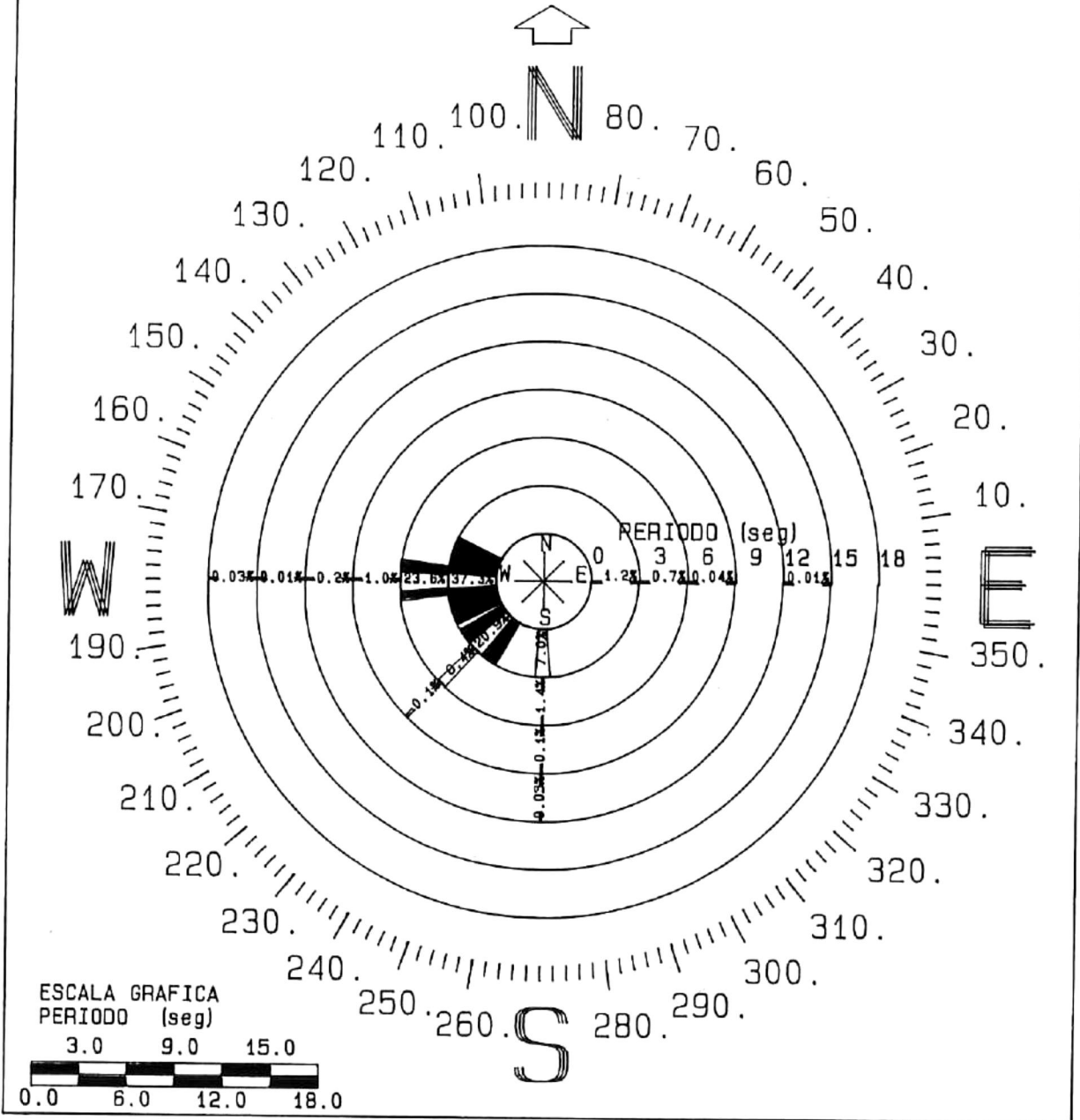


Gráfica 4.37 Distribución conjunta de alturas y direcciones de serie de tiempo 11, del sitio Tuxpan, Ver.

ROSA DE OLAS DEL SITIO TUXPAN, VER.

12/07/83 - 09/08/83

- POBLACION DE DATOS = 7267
- SECTORES DE DIRECCION = 8 (N, NE, E, SE, S, SW, W, NW)
- INTERVALOS DE PERIODOS = 6
- PERIODO MAXIMO = 15.5 (seg)
- PERIODO MINIMO = 1.0 (seg)
- DIRECCION MAXIMA = 359.9 (grados)
- DIRECCION MINIMA = 0.0 (grados)

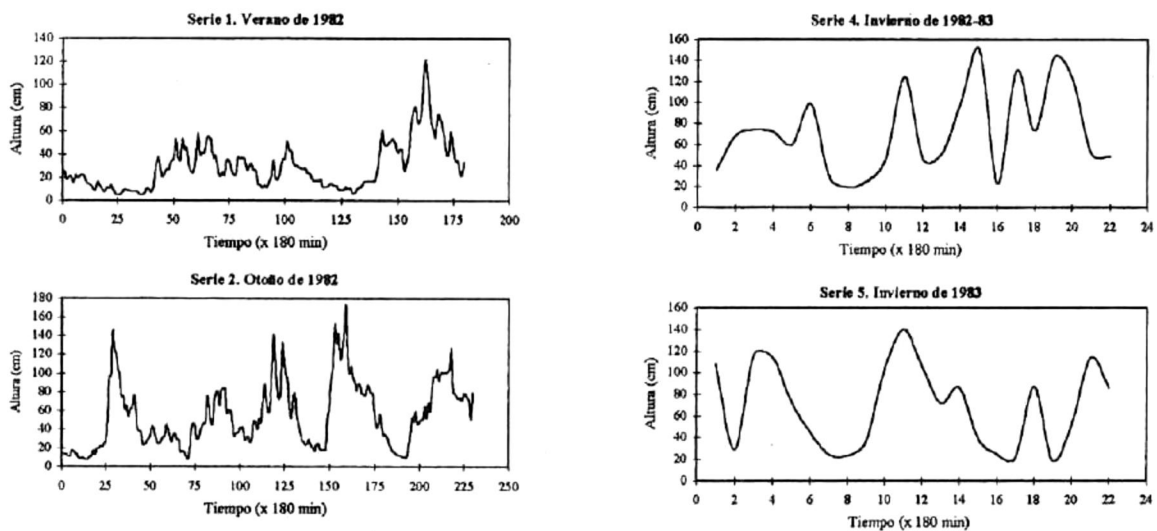


Gráfica 4.38 Distribución conjunta de períodos y direcciones de serie de tiempo 11, del sitio Tuxpan, Ver.

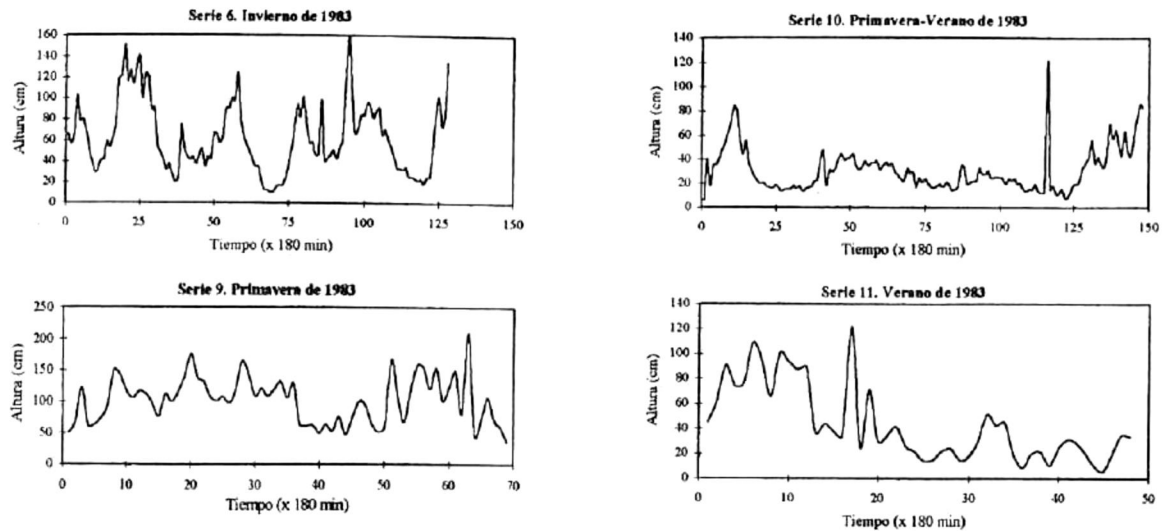
4.7 Tuxpan, Veracruz, Análisis Espectral.

4.7.1 Alturas significantes y Densidad de Energía

La Gráfica 4.39, muestra las series de tiempo de alturas significantes de éste sitio. En 1982 las menores magnitudes de alturas se presentan en verano, mientras que en 1983 las alturas significantes de menor magnitud se presentan entre la primavera y el verano. Es importante notar que en todos los registros se observan variaciones en las magnitudes de alturas, en donde aparecen intercalados valores pequeños y grandes. Estas variaciones obviamente corresponden a los períodos de relativa calma y de mar más agitado y, por ende, deben estar en fase con las variaciones observada en las series de tiempo de densidad de energía. En la Gráfica 4.40 se presentan las series de tiempo de las variaciones de los valores pico de la densidad de energía contenida en las olas de Tuxpan calculados a partir de los datos de elevaciones del nivel del mar y de las componentes horizontales de velocidades instantáneas. Si llevamos a cabo la comparación de las series de tiempo de las variaciones de los valores pico de la densidad de energía contenida en las olas de Tuxpan con las series de alturas significantes, podemos confirmar que existe una coherencia muy alta entre estas y además que están en fase. En otras palabras, los valores pico de altura significativa corresponden a los valores pico de densidad de energía.



Gráfica 4.39 Alturas significantes del sitio Tuxpan, Veracruz, durante las diferentes épocas de los años 1982 y 1983.



Gráfica 4.39 (continuación) Alturas significantes del sitio Tuxpan, Veracruz, durante las diferentes épocas de los años 1982 y 1983.

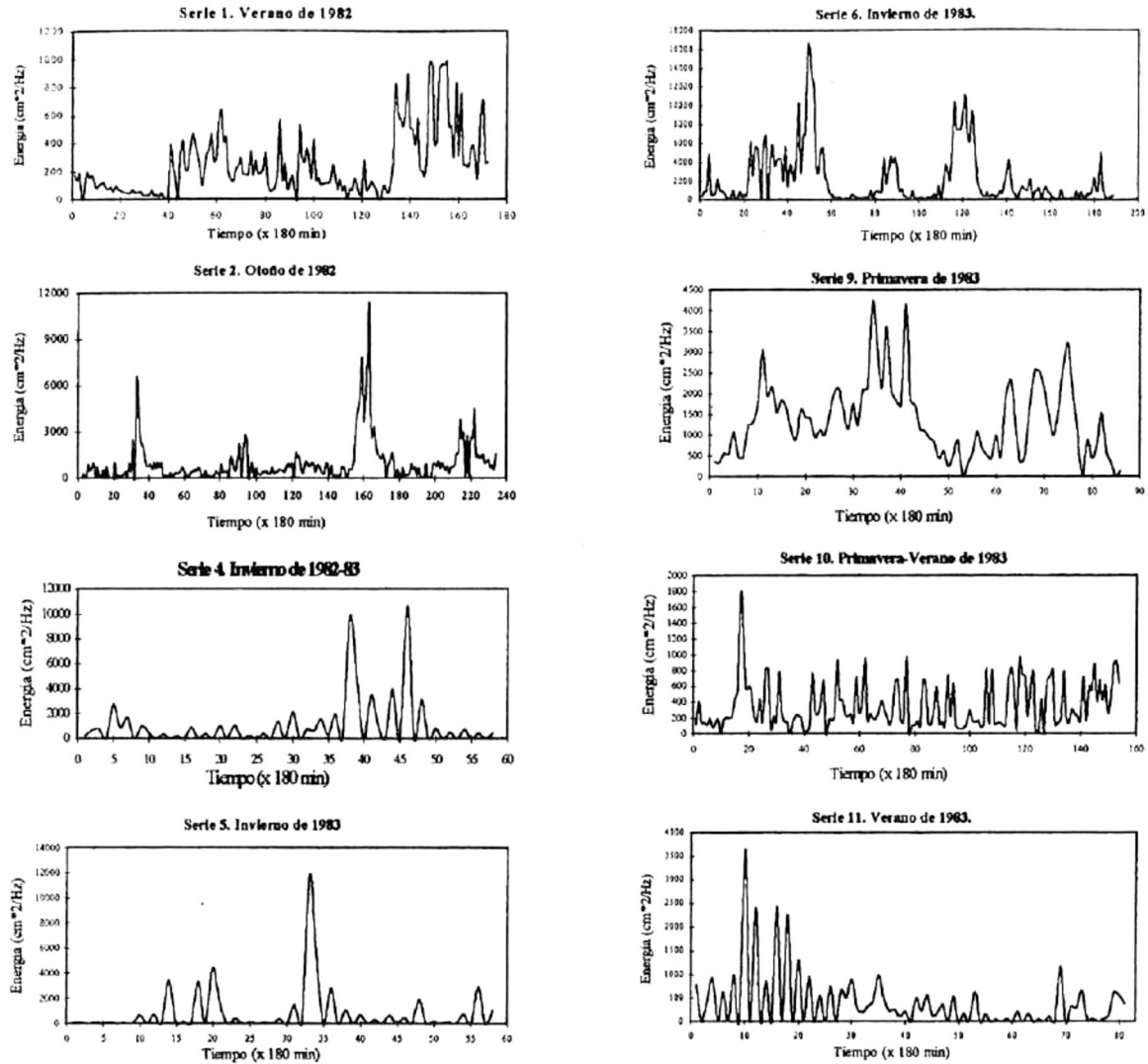
4.7.2 Mareas

Los mareogramas y los resultados de los análisis de Fourier y espectrales de los datos de marea de este sitio se presentan en la Gráfica 4.41. En cada uno de los espectros de cada serie de marea es posible observar que la marea en todas las épocas del año para este sitio es mixta diurna, con la componente más energética asociada a un período aproximado de 20 hrs (0.05 Hz), mientras que el pico menos energético, correspondiente a la componente semidiurna, está asociada a un período de 9 hrs (.11 Hz). En las épocas de invierno las componentes diurnas son del orden de 7 a 9 veces más energéticas que la componente semidiurna, mientras que en los meses de calma (primavera verano), la componente diurnas es del orden de 4 a 6 veces más energética que la componente semidiurna.

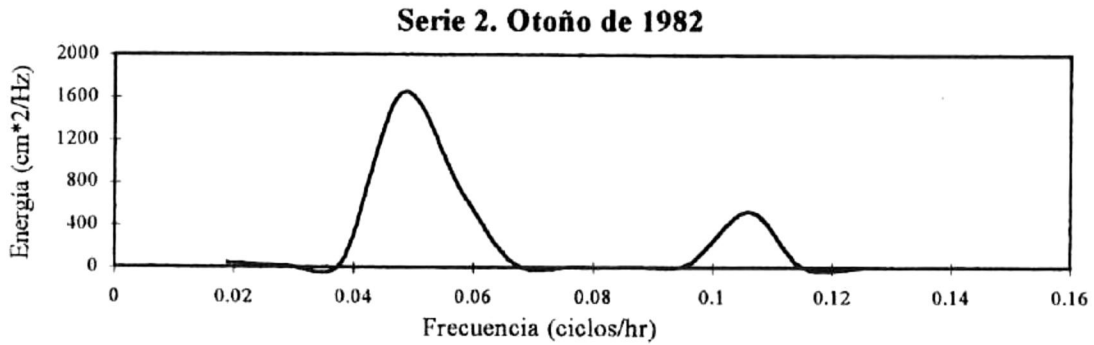
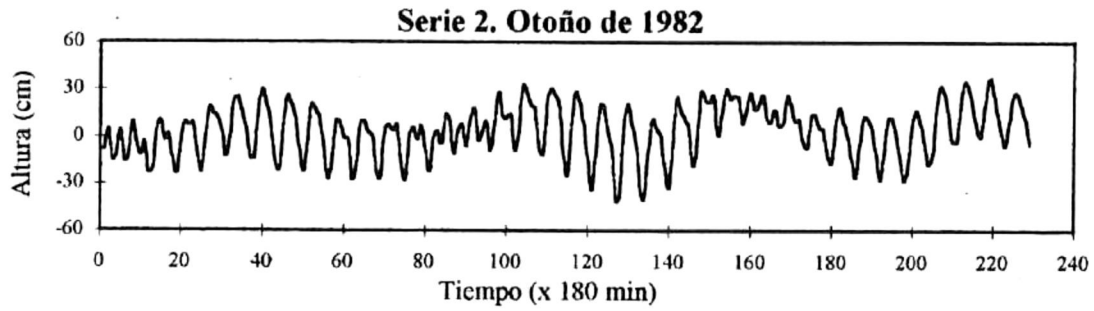
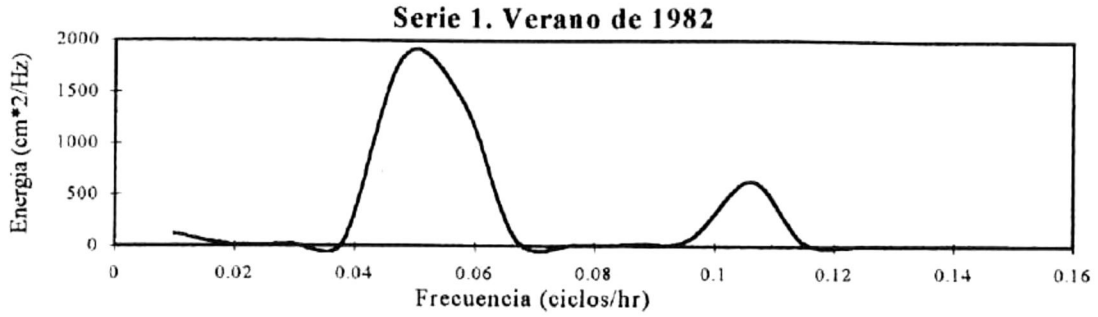
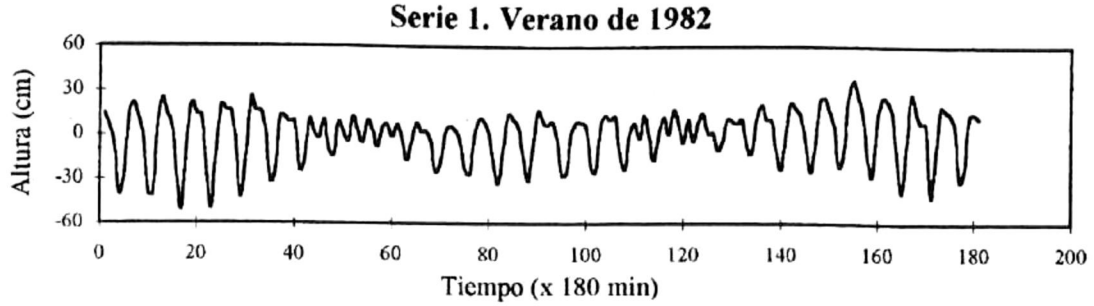
El pico más energético de marea para el año 1982 se presentó durante los meses de agosto y septiembre (verano), con un valor de $1900 \text{ cm}^2/\text{Hz}$. En 1983, el pico más energético fue de $4800 \text{ cm}^2/\text{Hz}$ aproximadamente y se presentó durante el mes de mayo (primavera). Las variaciones de energía que presenta la marea a lo largo de todas las épocas de medición son mínimas, lo que significa que la marea no está influenciada por la época del año.

4.7.3 Análisis de Densidad de Probabilidad

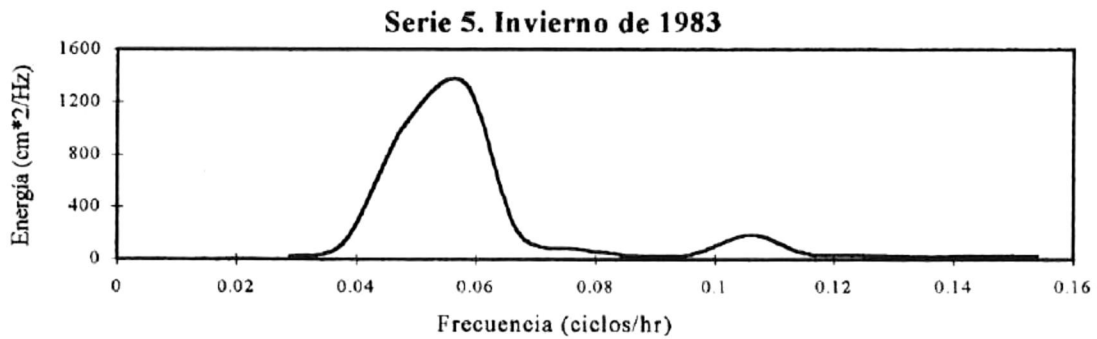
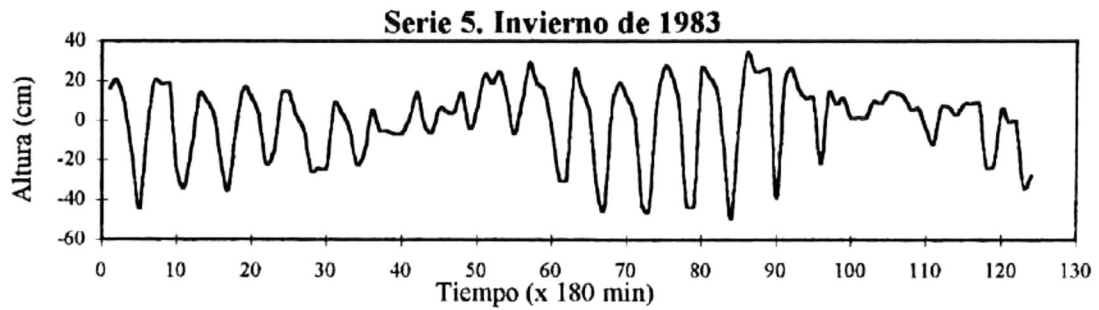
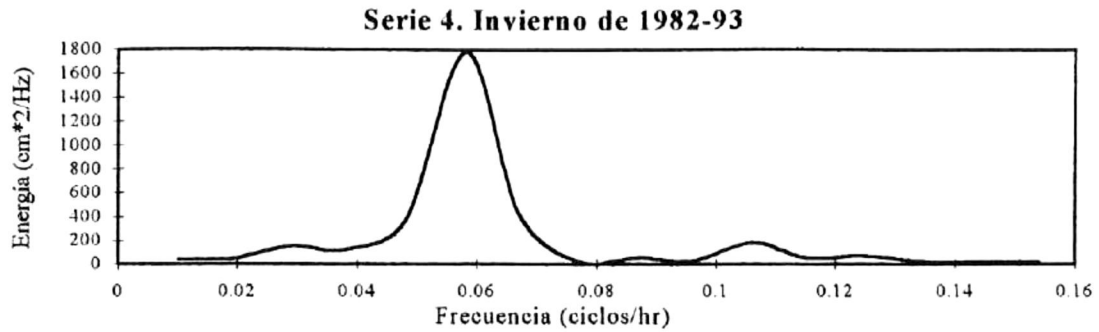
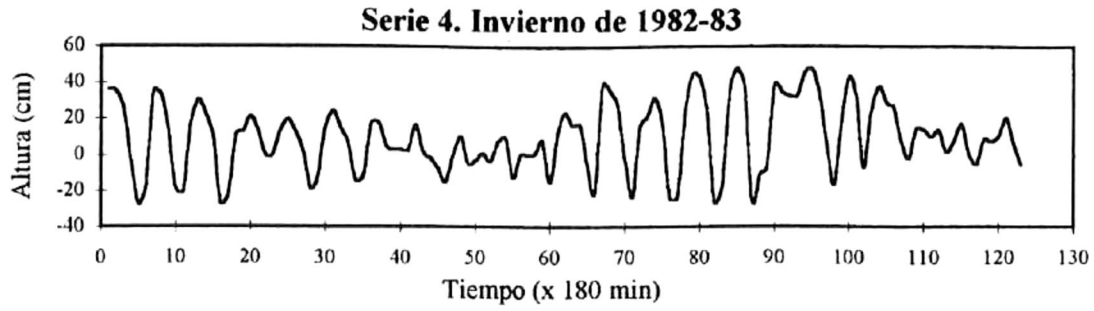
En la Tabla 4.27 se resumen las probabilidades de ocurrencia, tanto de alturas como de períodos de 60%, 40% y 20 %, así como las probabilidades menores al 3 % para cada una de las series de tiempo del sitio.



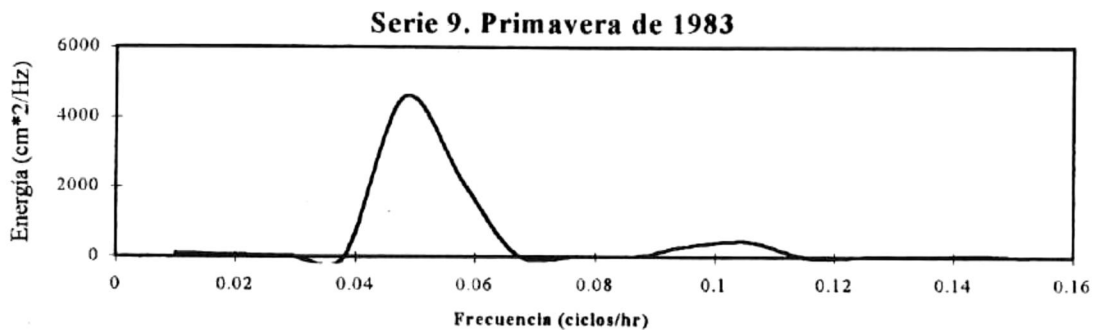
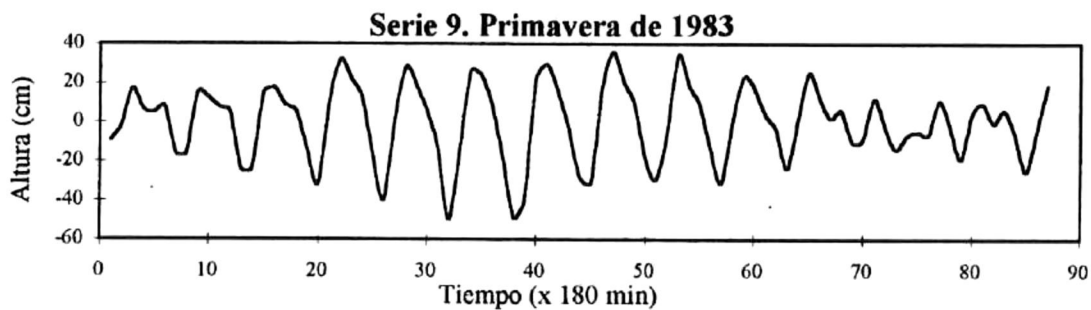
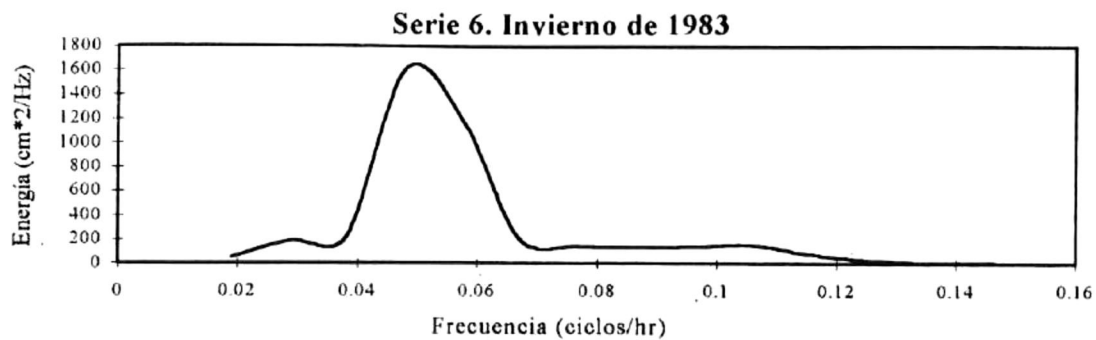
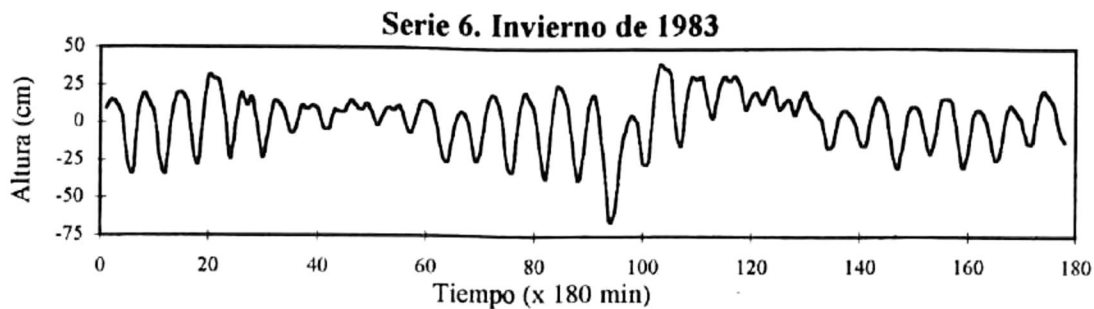
Gráfica 4.40 Valores pico de densidad de energías del sitio Tuxpan, Veracruz, durante las diferentes épocas de los años 1982 y 1983



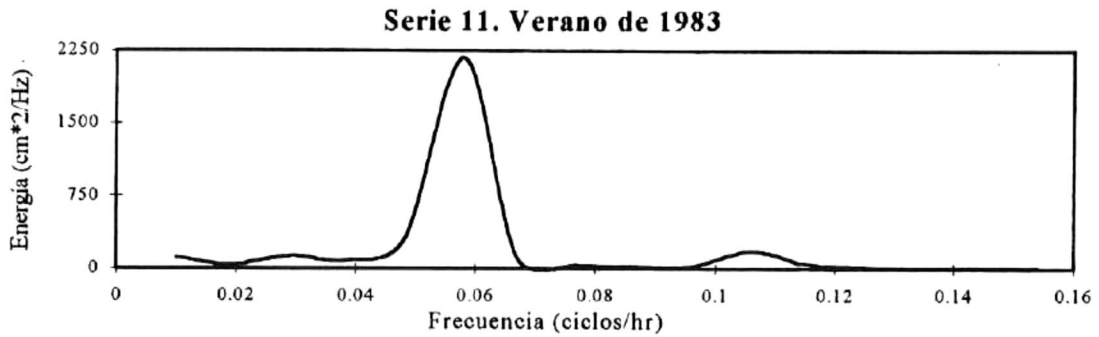
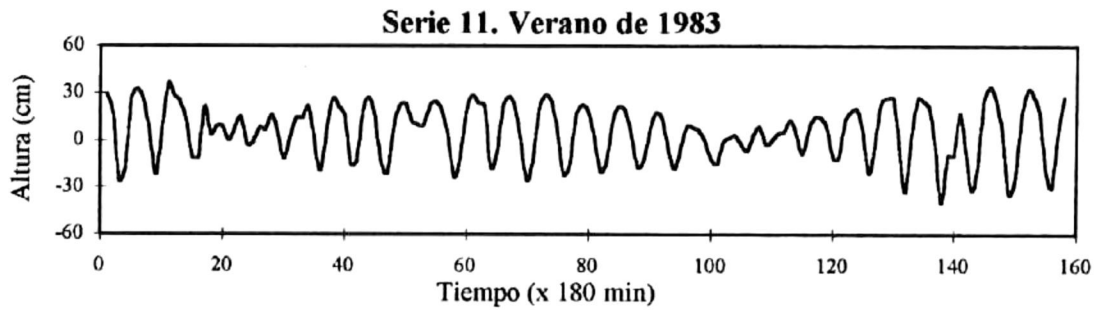
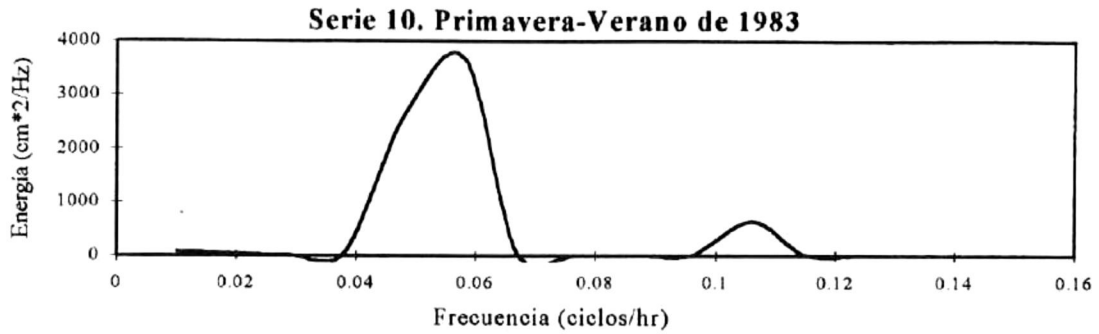
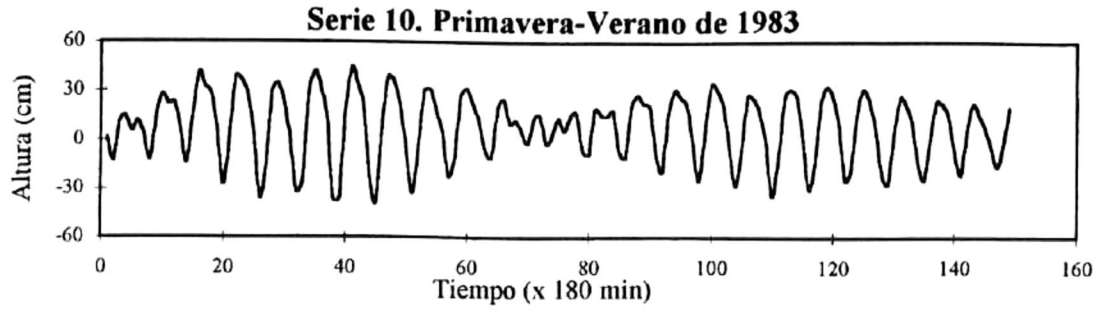
Gráfica 4.41 Mareogramas y sus correspondientes espectros de densidad de energía de Tuxpan, Veracruz.



Gráfica 4.41 (continuación) Mareogramas y sus correspondientes espectros de densidad de energía de Tuxpan, Veracruz.



Gráfica 4.41 (continuación) Mareogramas y sus correspondientes espectros de densidad de energía de Tuxpan, Veracruz.



Gráfica 4.41 (continuación) Mareogramas y sus correspondientes espectros de densidad de energía de Tuxpan, Veracruz.

Tabla 4.27 Probabilidades de ocurrencia del 60%, 40%, 20% y menores del 3% de alturas y períodos del sitio Tuxpan, Veracruz.

No. de serie	Alturas (cm)				Períodos (s)			
	60%	40%	20%	menos del 3%	50%	40%	20%	menos del 3%
1	15	24	32	242.3	3.0	3.2	3.5	36
2	12	23	25	549.4	3.5	3.6	3.8	43.5
sin datos	-	-	-	-	-	-	-	-
4	38	56	70	368.8	4.2	4.4	4.5	24.5
5	23	27	37	428.5	4.0	4.1	4.3	21.5
6	14	24	26	488.6	4.0	4.3	4.4	26.5
sin datos	-	-	-	-	-	-	-	-
9	24	28	38	506.2	4.5	4.7	4.9	28.0
10	16	24	32	230.9	4.0	4.1	4.2	29.0
11	18	28	34	226.2	3.2	3.3	3.5	15.5

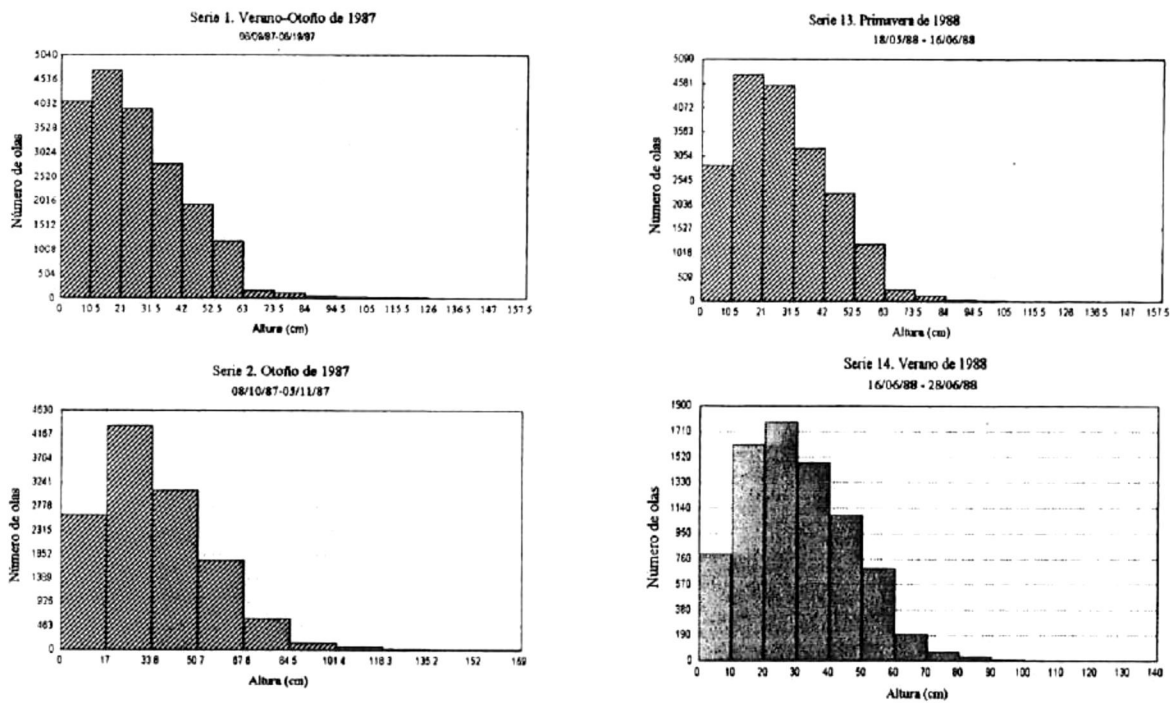
4.8 Barra de Cazones, Veracruz. Análisis Matemático Estadístico.

4.8.1 Alturas

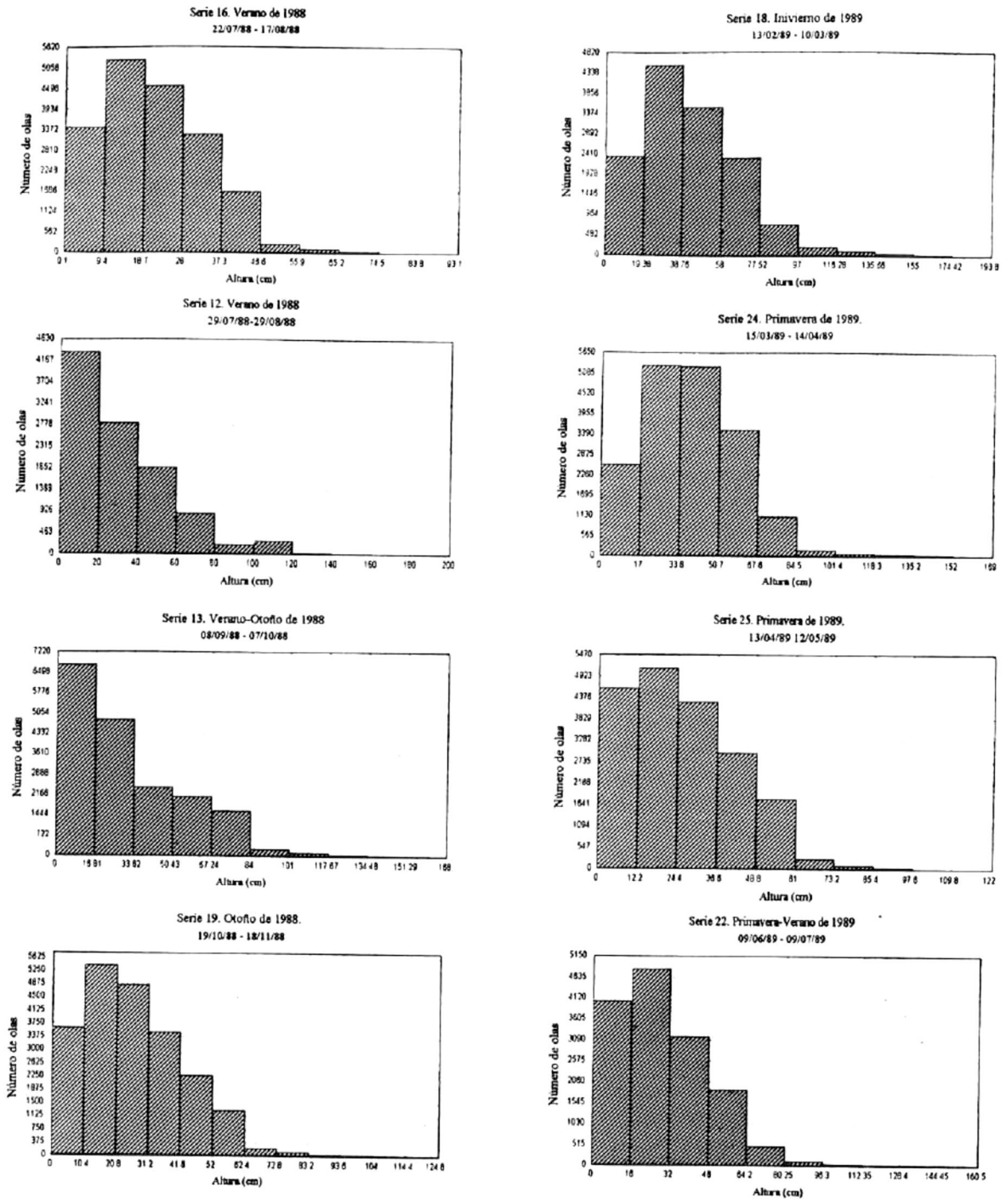
En la Gráfica 4.42 se presentan los histogramas de la población de datos de alturas de olas correspondientes a cada una de las series de tiempo de Barra de Cazones. Como puede apreciarse, los números de serie aparecen intercalados, ya que incluyen los datos tomados con ambos ológrafos. El orden con el que se presentan estos datos es en forma cronológica.

La Tabla 4.28 resume los momentos estadísticos de cada una de éstas series de tiempo. En ella se aprecia nuevamente el orden cronológico de las series de tiempo tomadas con ambos ológrafos (a y b).

Los valores promedio de alturas de cada una de las series de tiempo se resumen en la Tabla 4.30 y sus fluctuaciones a través del tiempo se aprecian en la Gráfica 4.43.



Gráfica 4.42 Histogramas de alturas del sitio Barra de Cazones, para las diferentes épocas de los años 1987, 1988 y 1989.



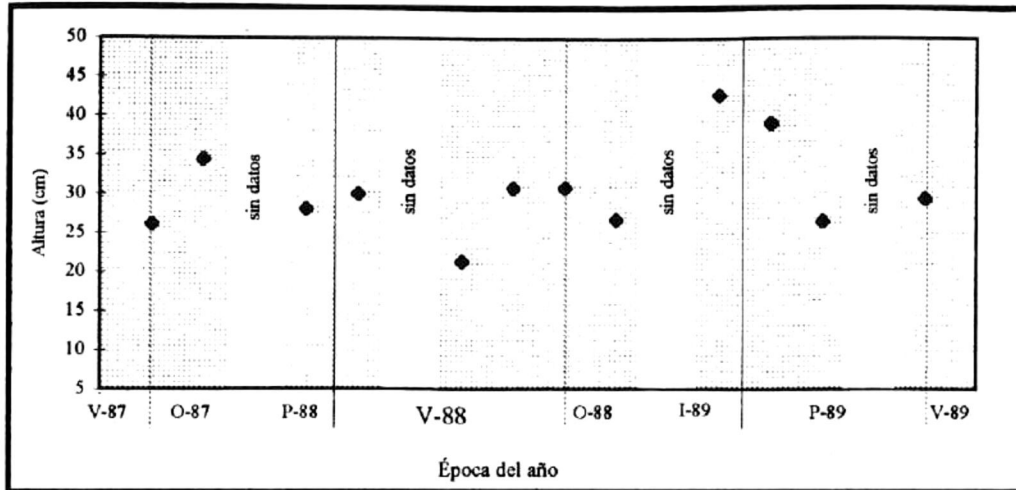
Gráfica 4.42 (continuación) Histogramas de alturas del sitio Barra de Czones, para las diferentes épocas de los años 1987, 1988 y 1989.

Tabla 4.28 Momentos estadísticos de alturas para las series de tiempo del sitio Barra de Cazonés, Veracruz.

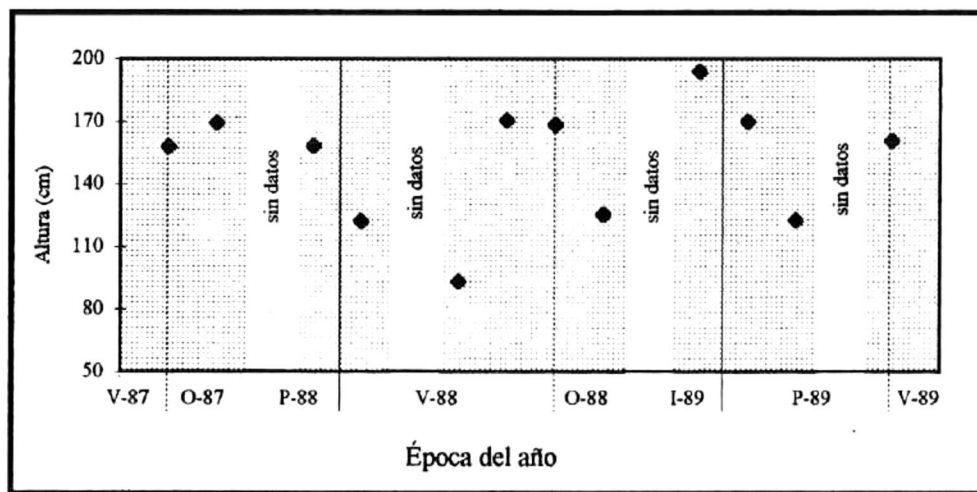
No. de serie	Época del año	Número de datos	Mediana (cm)	Intervalo (cm)	Desviación Estándar
1-ca	V-O-87	19057	22.90	157.86	17.61
2-ca	O-87	12584	31.30	169.15	20.36
Sin datos	-	-	-	-	-
13-cb	P-88	19331	25.60	158.04	16.73
14-cb	V-88	7739	28.15	121.88	16.43
Sin datos	-	-	-	-	-
16-cb	V-88	18569	19.80	93.37	12.17
12-ca	V-88	10408	24.20	170.28	22.69
13-ca	V-O-88	17988	23.30	168.15	24.08
19-cb	O-88	21273	24.20	125.20	16.20
Sin datos	-	-	-	-	-
18-ca	I-89	13792	38.90	193.86	24.67
24-cb	P-89	18024	37.50	169.64	20.33
25-cb	P-89	19151	24.10	122.60	16.74
Sin datos	-	-	-	-	-
22-ca	P-V-89	14525	26.30	160.51	18.74

En la Gráfica 4.43 de alturas promedio, es posible observar que los mínimos valores registrados se presentan durante las épocas de verano y primavera de cada año. Tanto en 1987 y 1988 los máximos valores promedio se reportan al final del otoño, aunque es importante notar que en ninguno de estos dos años se cuenta con datos de invierno. En 1989 el máximo valor se registro en el mes de febrero principalmente que corresponde a la época de invierno.

En la Gráfica 4.44 y Tabla 4.31, es posible observar los máximos valores de alturas, registrados para cada serie de tiempo, encontrando los valores de menor magnitud durante las épocas de primavera y verano de cada año. En 1987, la mayor altura se registró durante la época de otoño con una magnitud de 34.38 cm, mientras que en 1988, el mayor valor registrado fue de 30.75 cm y se registró a finales del verano y principios de otoño. Finalmente en 1989, el mayor valore fue de 42.75 cm y se reportó durante la época de Invierno.



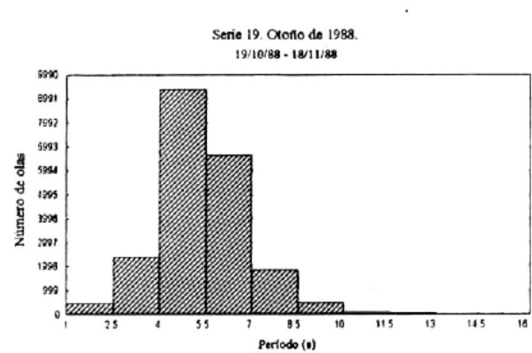
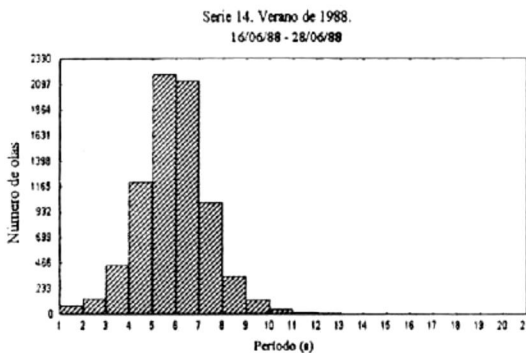
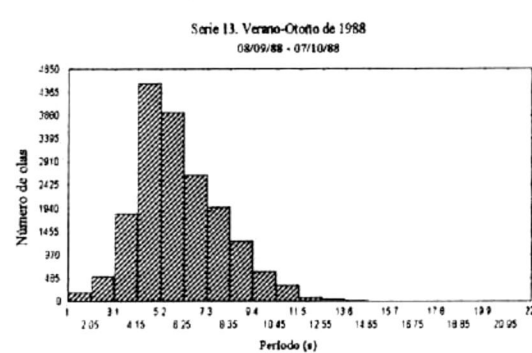
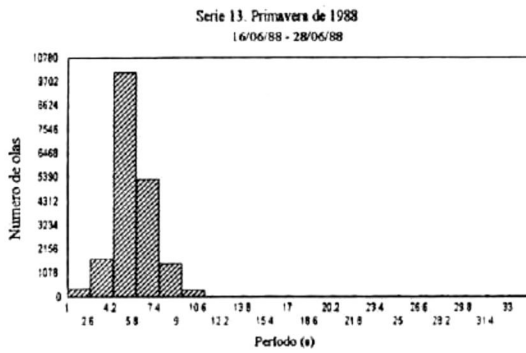
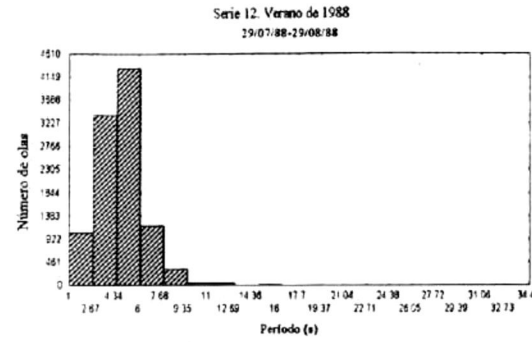
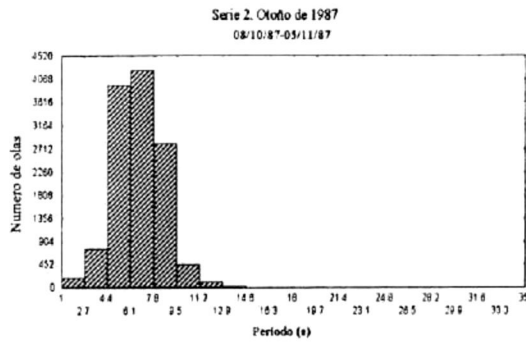
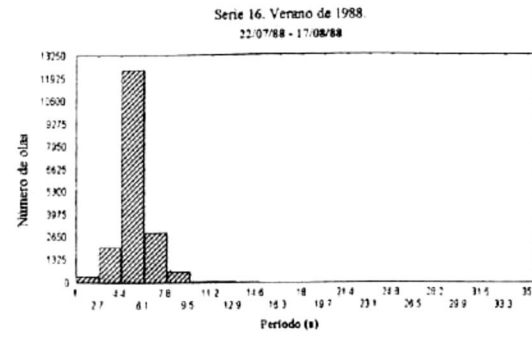
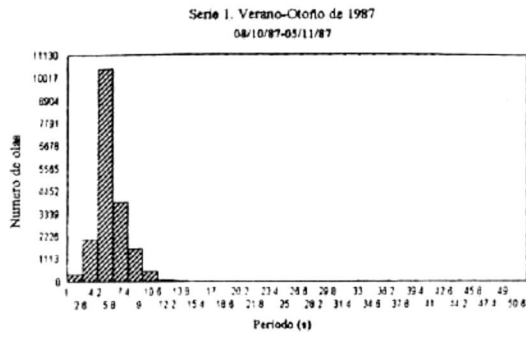
Gráfica 4.43 Alturas promedio del sitio Barra de Cazones, Veracruz durante las diferentes épocas de los años 1987, 1988 y 1989



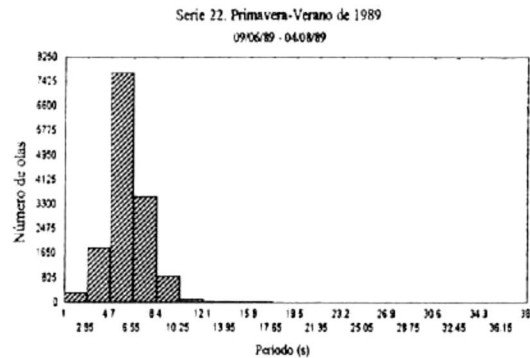
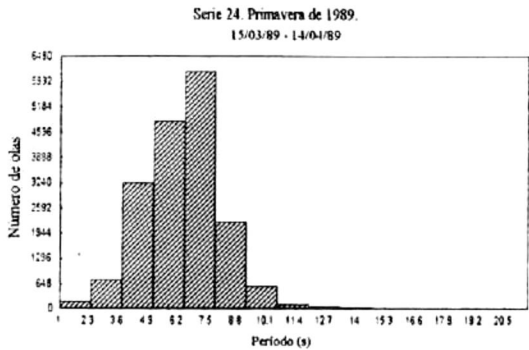
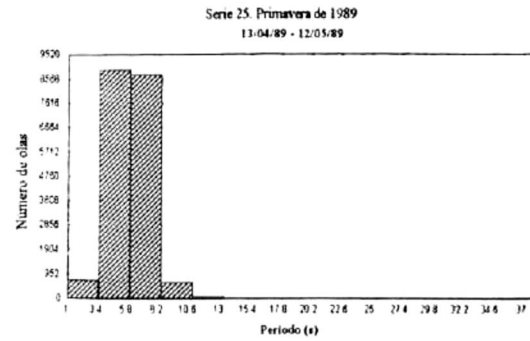
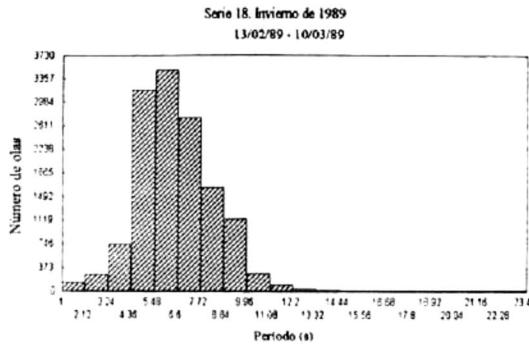
Gráfica 4.44 Alturas máximas registradas en el sitio Barra de Cazones, Veracruz durante las diferentes épocas de los años 1987, 1988 y 1989

4.8.2 Períodos

En la Gráfica 4.45 se presentan los histogramas de la población de datos de períodos de olas correspondientes a cada una de las series de tiempo del sitio. Así mismo, la Tabla 4.29 resume la estadística realizada a cada una de estas series de tiempo. La distribución de períodos promedios correspondientes a las olas identificadas por el método de cruces por cero se presentan en la Gráfica 4.46 y Tabla 4.30.



Gráfica 4.45 Histogramas de períodos del sitio Barra de Cazonos, para las diferentes épocas de los años 1987, 1988 y 1989.



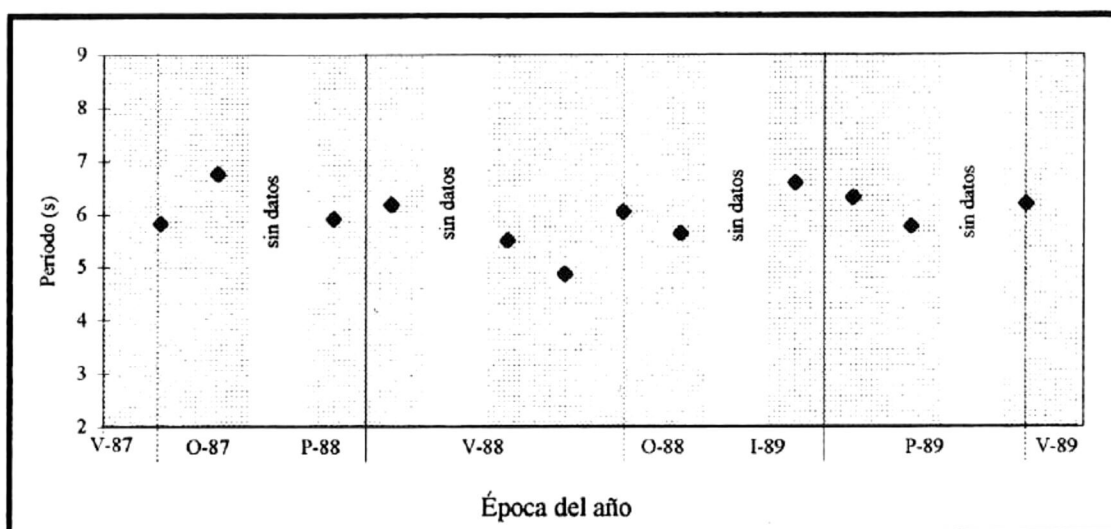
Gráfica 4.45 (continuación) Histogramas de periodos del sitio Barra de Cazones, para las diferentes épocas de los años 1987, 1988 y 1989.

En 1987 el máximo valor promedio fue de 6.75 segundos y se reportó durante el mes de octubre (otoño), mientras que los mínimos promedios fueron de 5.83 a finales del verano y principios de primavera. Para 1989 el valor promedio máximo fue de 6.17 segundos y se presentó durante el mes de junio (primavera), mientras que el mínimo fue de 4.87 segundos y se reportó en agosto (verano).

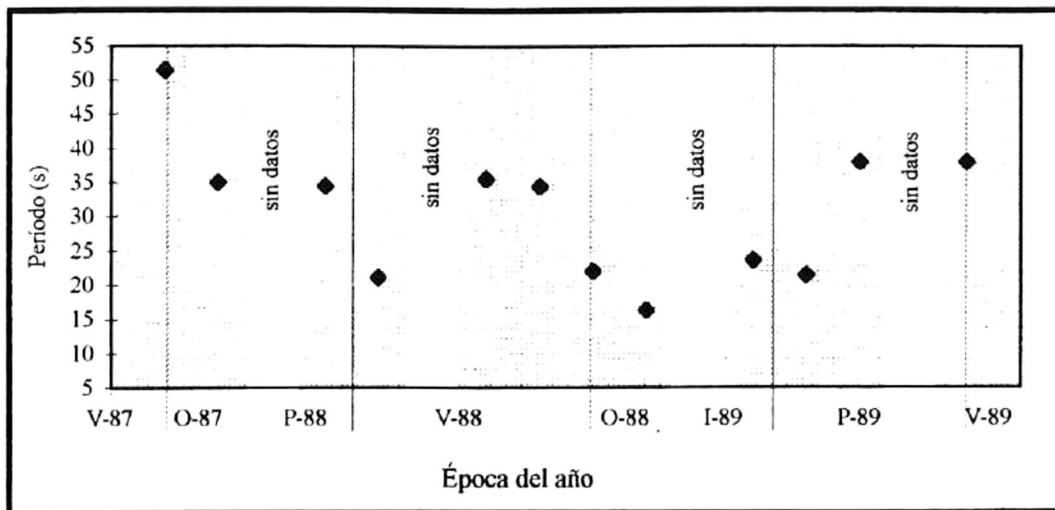
La Gráfica 4.47 y Tabla 4.31 muestran los máximos periodos registrados. En 1987, el mayor período se registró en los meses de septiembre y octubre (verano y otoño), con un valor de 51.50 segundos, 35.5 segundos en los meses de julio y agosto (verano) y 38 segundos en los meses de abril, mayo y junio, julio (verano), fueron los máximos valores registrados para los años 1988, y 1989, respectivamente.

Tabla 4.29 Momentos estadísticos de períodos para las series de tiempo del sitio Barra de Cazones, Ver.

No. De serie	Época del año	No. de datos	Mediana (s)	Intervalo (s)	Desviación Estándar
1-ca	V-O-87	19057	5.50	50.50	1.81
2-ca	O-87	12584	6.50	34.00	1.86
sin datos	-	-	-	-	-
13-cb	P-88	19331	6.00	33.50	1.54
14-cb	V-88	7739	6.00	20.00	1.50
sin datos	-	-	-	-	-
16-cb	V-88	18569	5.50	34.50	1.61
12-ca	V-88	10408	4.50	33.50	1.94
13-ca	V-O-88	17988	5.50	21.00	1.93
19-cb	O-88	21273	5.50	15.20	1.43
sin datos	-	-	-	-	-
18-ca	I-89	13792	6.50	22.50	1.81
24-cb	P-89	18024	6.50	20.50	1.64
25-cb	P-89	19151	5.50	37.00	1.64
sin datos	-	-	-	-	-
22-ca	P-V-89	14.525	6.00	37.00	1.71



Gráfica 4.46 Períodos promedio del sitio Barra de Cazones, Veracruz durante las diferentes épocas de los años 1987, 1988 y 1989



Gráfica 4.47 Períodos máximos registrados en el sitio Barra de Cazones, Veracruz durante las diferentes épocas de los años 1987, 1988 y 1989

Tabla 4.30 Valores promedio de: alturas, períodos y direcciones del sitio Barra de Cazones, Veracruz para las diferentes épocas de los años 1987, 1988 y 1989.

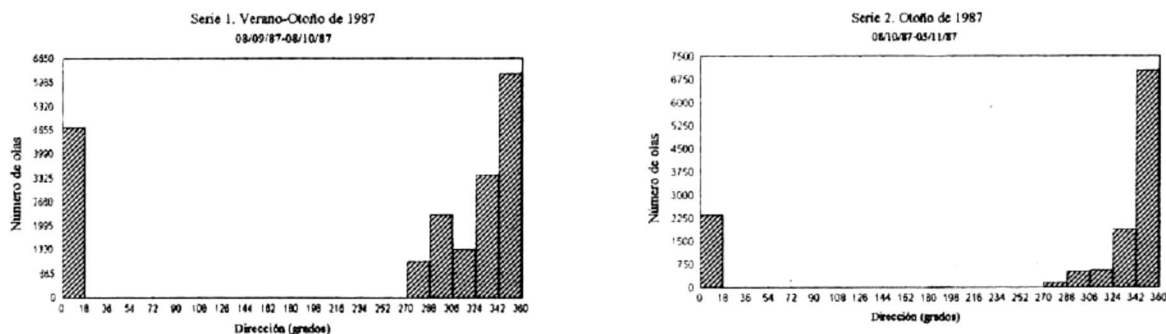
ÉPOCA DEL AÑO	VALORES PROMEDIO DE:		
	ALTURAS (cm)	PERÍODOS (s)	DIRECCIONES (grados)
V-O-87	26.03	5.83	249.77
O-87	34.38	6.75	279.45
P-88	28.05	5.91	265.06
V-88	30.02	6.17	279.63
V-88	21.29	5.50	220.81
V-88	30.74	4.87	180.16
V-O-88	30.75	6.04	196.07
O-88	26.65	5.63	315.49
I-89	42.75	6.59	198.15
P-89	39.07	6.31	242.40
P-89	26.43	5.76	244.30
V-89	29.43	6.19	198.27

Tabla 4.31 Valores máximos registrados de: alturas, períodos y direcciones del sitio Barra de Cazones, Tamps. para las diferentes épocas de los años, 1987, 1988 y 1989.

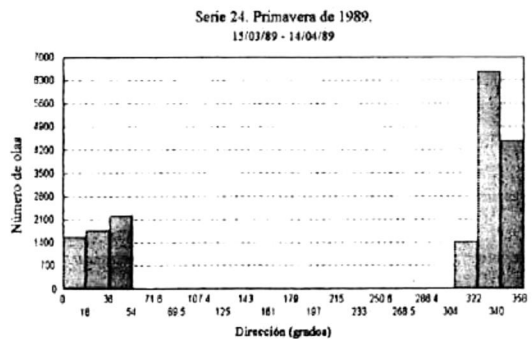
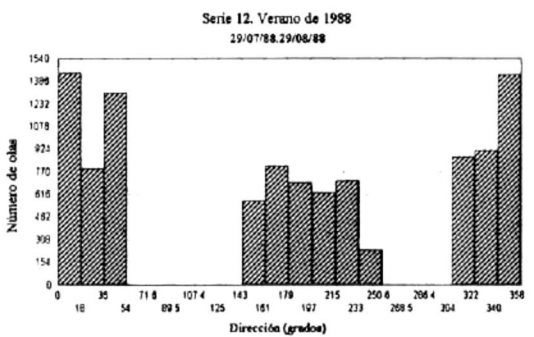
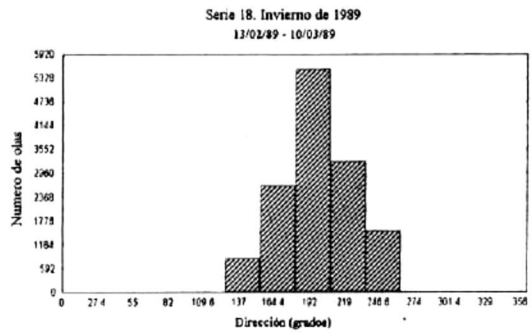
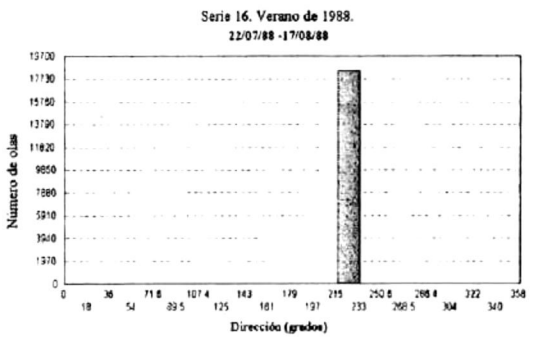
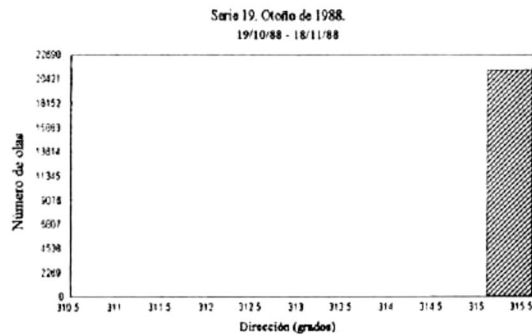
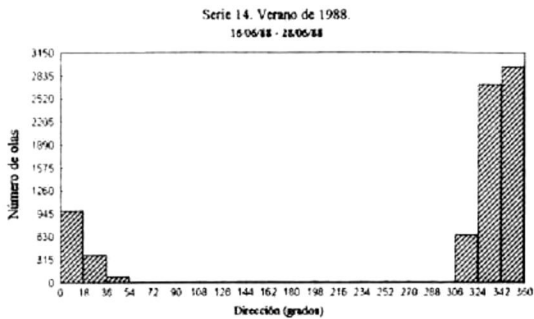
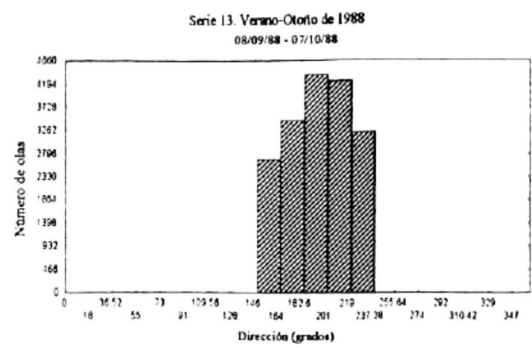
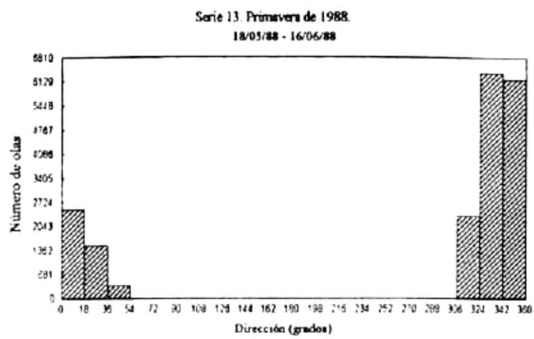
Época del año	Alturas (cm)		Períodos (s)		Direcciones (grados)	
	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima
V-O-87	0.10	157.96	1.00	51.50	0.00	360.00
O-87	0.10	169.25	1.00	35.00	0.00	360.00
P-88	0.10	158.14	1.00	34.50	0.00	360.00
V-88	0.40	122.28	1.00	21.00	0.00	360.00
V-88	0.10	93.47	1.00	35.50	0.10	358.70
V-88	0.10	170.38	1.00	34.50	0.00	359.90
V-O-88	0.10	168.25	1.00	22.00	148.50	239.80
O-88	0.10	125.30	1.00	16.20	310.50	315.60
I-89	0.10	193.96	1.00	23.50	125.50	262.40
P-89	0.10	169.74	1.00	21.50	0.00	359.90
P-89	0.10	122.60	1.00	38.00	0.00	359.90
V-89	0.10	160.51	1.00	38.00	149.90	359.10

4.8.3 Direcciones

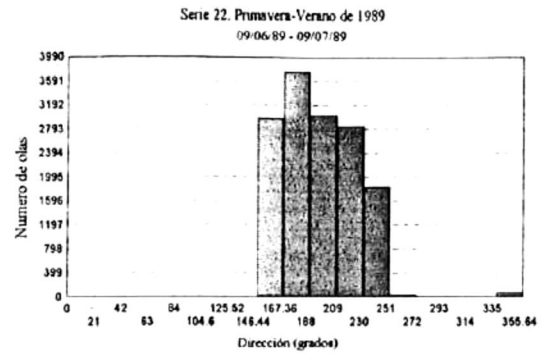
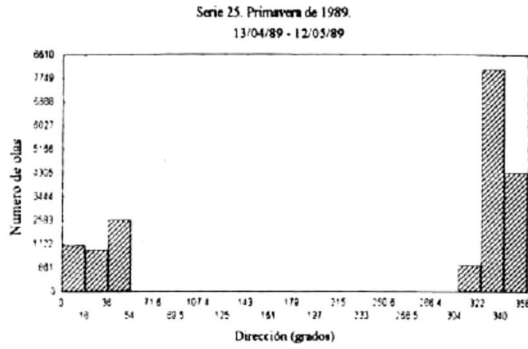
En la Gráfica 4.48 se presentan los histogramas de la población de datos de direcciones de olas correspondientes a las diferentes épocas del año 1987, 1988 y 1989. Así mismo, la Tabla 4.32 resume los momentos estadísticos de cada serie de tiempo.



Gráfica 4.48 Histogramas de direcciones del sitio Barra de Cazones, para las diferentes épocas de los años 1987, 1988 y 1989.

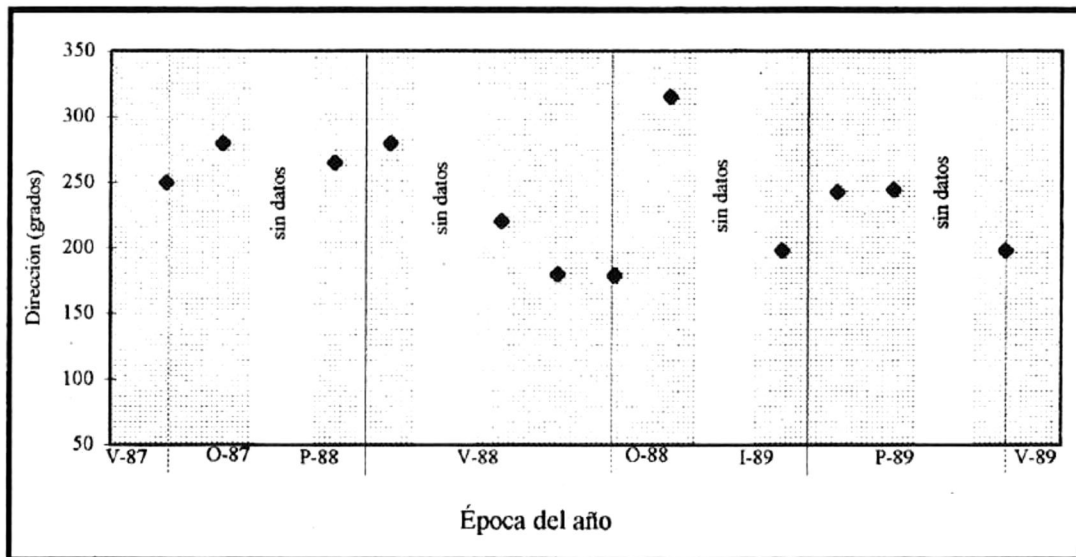


Gráfica 4.48 (continuación) Histogramas de direcciones del sitio Barra de Cazones, para las diferentes épocas de los años 1987, 1988 y 1989.



Gráfica 4.48 (continuación) Histogramas de direcciones del sitio Barra de Cazones, para las diferentes épocas de los años 1987, 1988 y 1989.

En la Gráfica 4.49 se presentan las direcciones promedio de cada una de las series de tiempo de todo el sitio. La Tabla 4.31 muestra las máximas direcciones encontradas para cada época.



Gráfica 4.49 Direcciones promedio del sitio Barra de Cazones, durante las diferentes épocas de los años 1987, 1988 y 1989

4.8.4 Distribuciones conjuntas

En la Gráfica 4.50 se presenta como ejemplo, una rosa de olas que muestra la distribución conjunta de alturas y direcciones de la serie de tiempo 13 de Barra de Cazones. Más del 70 % de la población de datos de esta serie de tiempo están entre los 0 y 30 cm de altura y presenta una dirección de propagación promedio de 200 ° suroeste. Aproximadamente 24 % de los datos presentan alturas entre 30 y 60 cm dos direcciones importantes de propagación, hacia el oeste con 180 ° de acuerdo a la convención adoptada en este trabajo y hacia los 225 ° suroeste y un menor grupo de olas que se propaga hacia el noroeste con 135° de dirección promedio. El rango completo de propagación de todos los datos de esta serie está entre los 154 ° noroeste y los 246 ° suroeste.

La Gráfica 4.51, presenta la distribución conjunta de períodos y direcciones de la misma serie de tiempo. Como es de esperarse, esta distribución también se asemeja mucho a la distribución conjunta de alturas y direcciones de olas.

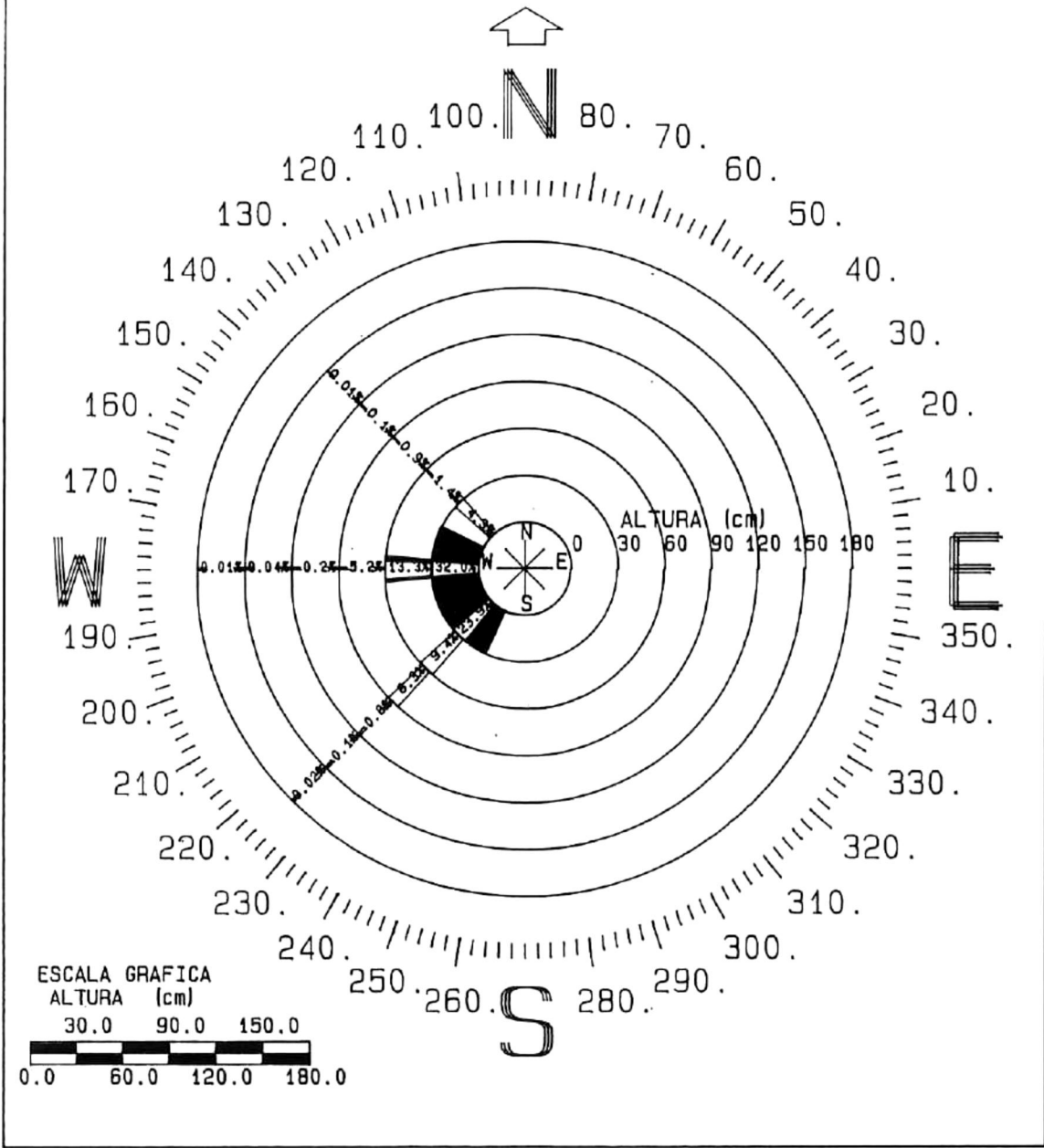
Tabla 4.32 Momentos estadísticos de direcciones para las series de tiempo de Barra de Cazones, Veracruz.

No. de serie	Época del año	Número de datos	Mediana (grados)	Intervalo (grados)	Desviación Estándar
1-ca	V-O-87	190.57	325.10	360.00	141.48
2-ca	O-87	12584	345.30	360.00	132.56
sin datos	-	-	-	-	-
13-cb	P-88	19331	334.20	360.00	135.28
14-cb	V-88	7739	337.50	360.00	127.19
sin datos	-	-	-	-	-
16-cb	V-88	18569	221.70	358.60	12.78
12-ca	V-88	10408	186.60	359.90	128.19
13-ca	V-O-88	17988	197.20	91.30	24.11
19-cb	O-88	21273	315.50	5.10	.034
sin datos	-	-	-	-	-
18-ca	I-89	13792	197.10	136.90	28.03
24-cb	P-89	18024	330.80	359.90	143.53
25-cb	P-89	19151	330.90	359.90	142.17
sin datos	-	-	-	-	-
22-ca	P-V-89	14525	195.30	209.20	29.60

ROSA DE OLAS DEL SITIO BARRA DE CAZONES, VER.

08/09/88 - 07/10/88

- POBLACION DE DATOS = 17988
- SECTORES DE DIRECCION = 8 (N, NE, E, SE, S, SW, W, NW)
- INTERVALOS DE OLAS = 6
- ALTURA MAXIMA = 168.3 (cm)
- ALTURA MINIMA = 0.1 (cm)
- DIRECCION MAXIMA = 239.8 (grados)
- DIRECCION MINIMA = 148.5 (grados)

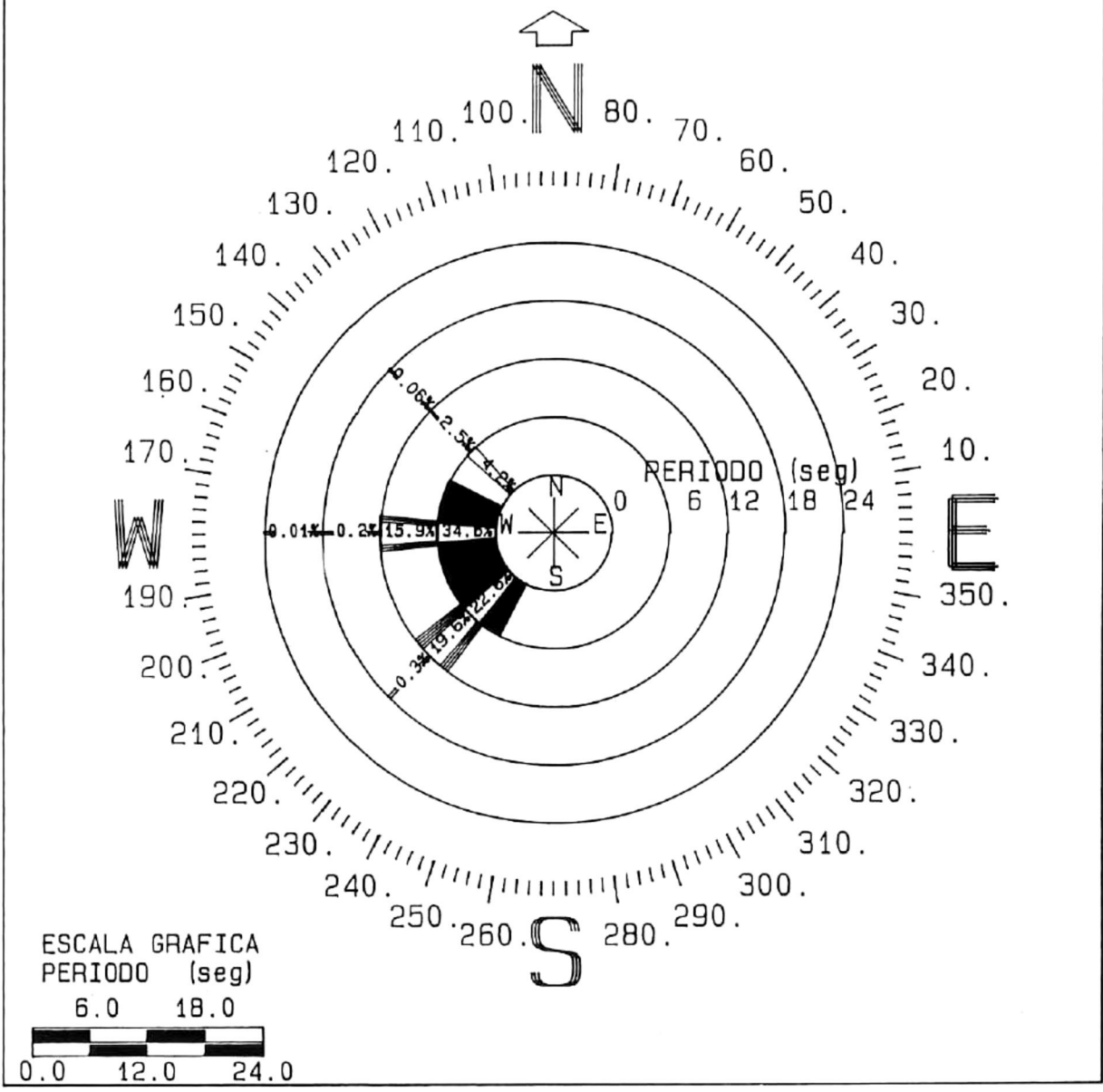


Gráfica 4.50 Distribución conjunta de alturas y direcciones de serie de tiempo 13, del sitio Barra de Cazones, Ver.

ROSA DE OLAS DEL SITIO BARRA DE CAZONES, VER

08/09/88 - 29/08/88

- POBLACION DE DATOS = 17988
- SECTORES DE DIRECCION = 8 (N, NE, E, SE, S, SW, W, NW)
- INTERVALOS DE PERIODOS = 4
- PERIODO MAXIMO = 22.0 (seg)
- PERIODO MINIMO = 1.0 (seg)
- DIRECCION MAXIMA = 239.8 (grados)
- DIRECCION MINIMA = 148.5 (grados)



Gráfica 4.51 Distribución conjunta de períodos y direcciones de serie de tiempo 13, del sitio Barra de Cazones, Ver.

Las direcciones promedio de todos los datos de este sitio oscilan entre los 180 y los 315 °, aunque en las series 1a, 2a, 13b, 14b, 12a, 19b, 24b y 25b se presentan también direcciones de propagación entre el rango 38 y 302 °, todas estas series están dentro de un período de tiempo que corresponde a las épocas de primavera, verano y otoño. Es muy probable que haya existido la influencia de vientos que modificaron los promedios de dirección de propagación del oleaje en la zona. Las olas que se propagan dentro del rango de 180 y 315 ° son olas con magnitudes no mayores a los 50 cm de altura y representan más del 75 % de los datos de cada serie.

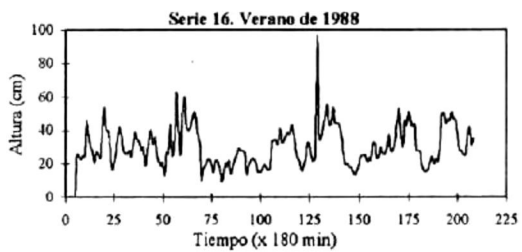
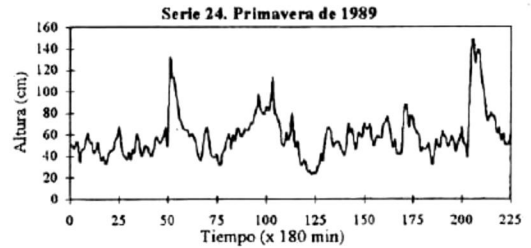
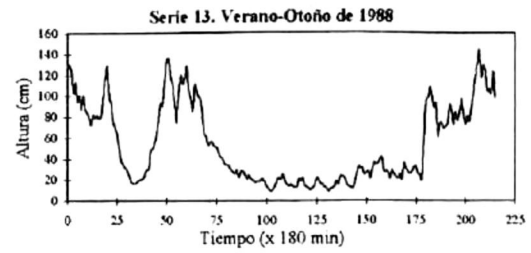
4.9 Barra de Cazonos, Veracruz, Análisis Espectral.

4.9.1 Alturas significantes y Densidad de Energía

La Gráfica 4.52, muestra las series de tiempo de alturas significantes de cada una de las series de tiempo de éste sitio. Como es de esperarse, las alturas significantes de menor magnitud se presentan durante la época de verano de cada año.

Es muy difícil determinar con precisión las diferencias entre años e incluso entre las diferentes épocas de un mismo año, ya que las fechas de medición no son las mismas para todos los años y además, no existen datos que cubran el año en su totalidad.

En la Gráfica 4.53 se presentan las series de tiempo de las variaciones de los valores pico de la densidad de energía contenida en las olas de la Barra de Cazonos calculados a partir de los datos de elevaciones del nivel del mar y de las componentes horizontales de velocidades instantáneas. También en los valores pico de la densidad de energía contenida en las olas de la Barra de Cazonos existe una coherencia alta con las series de alturas significantes y además que están en fase.



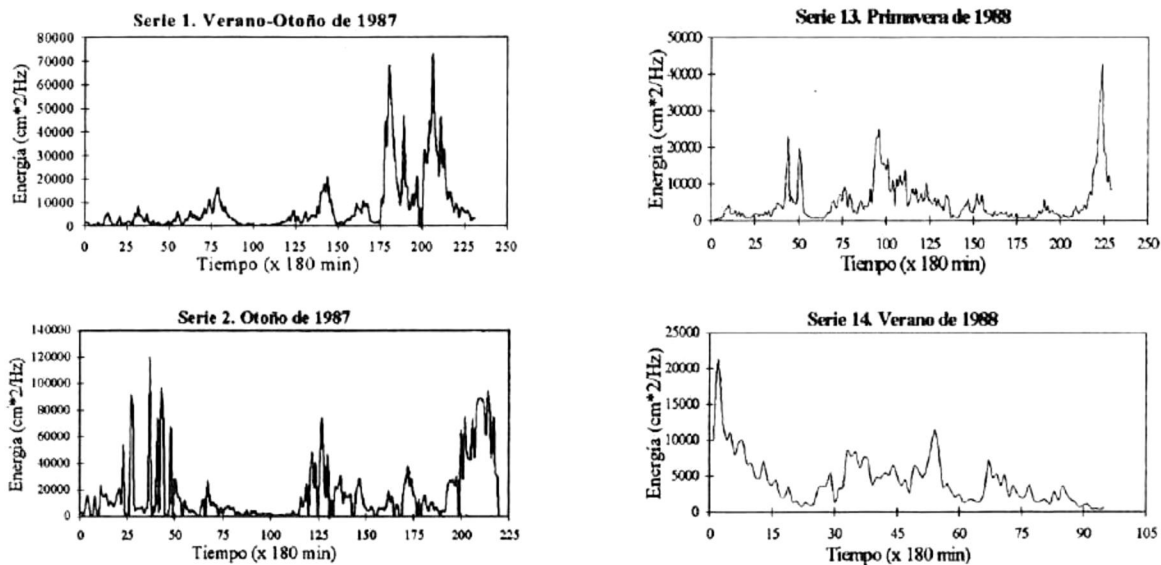
Gráfica 4.52 Alturas significantes del sitio Barra de Cazonés, Veracruz, durante las diferentes épocas de los años 1987, 1988 y 1989

4.9.2 Mareas

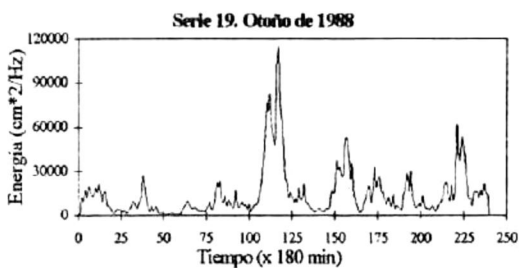
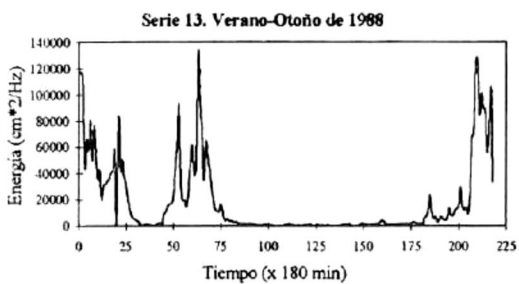
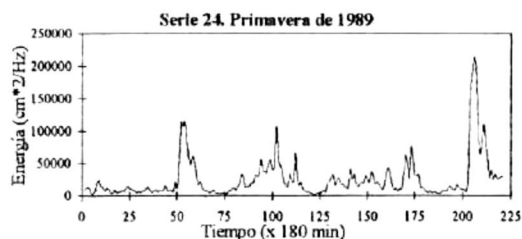
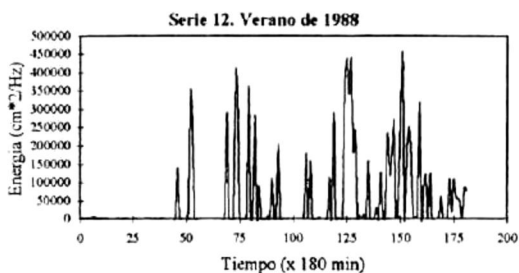
Los mareogramas y los resultados de los análisis de Fourier y espectrales de los datos de marea de este sitio se presentan en la Gráfica 4.54. En cada uno de los espectros de cada serie de marea es posible observar que la marea en todas las épocas del año para este sitio es mixta diurna, con la componente más energética asociada con el período de 24 hrs (0.041 hr) aproximadamente, mientras que el pico menos energético, correspondiente a la componente semidiurna, está asociada con el período de 12 hrs (0.08 Hz).

4.9.3 Análisis de Densidad de Probabilidad

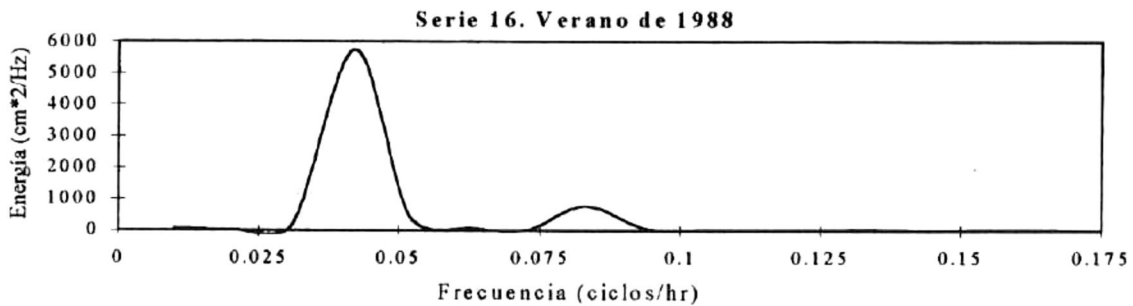
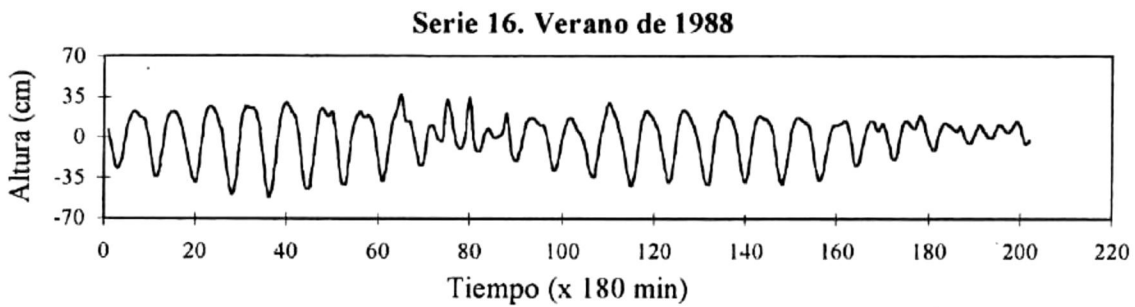
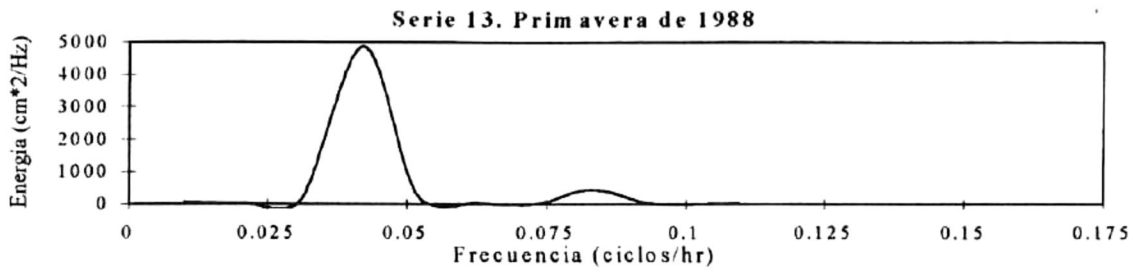
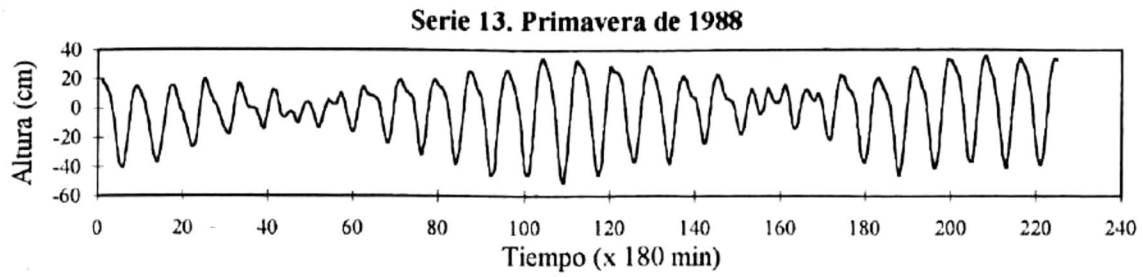
En la Tabla 4.33 se resumen las probabilidades de ocurrencia, tanto de alturas como de períodos, de 60%, 40% y 20 %, así como las probabilidades menores al 3 % para cada una de las series de tiempo de este sitio.



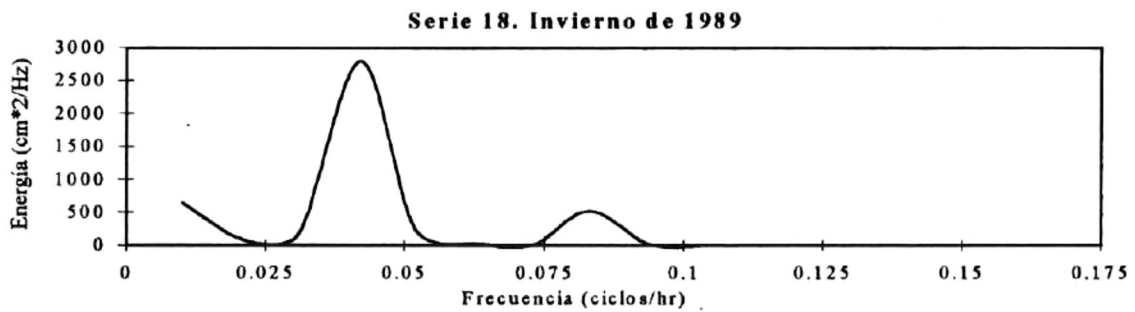
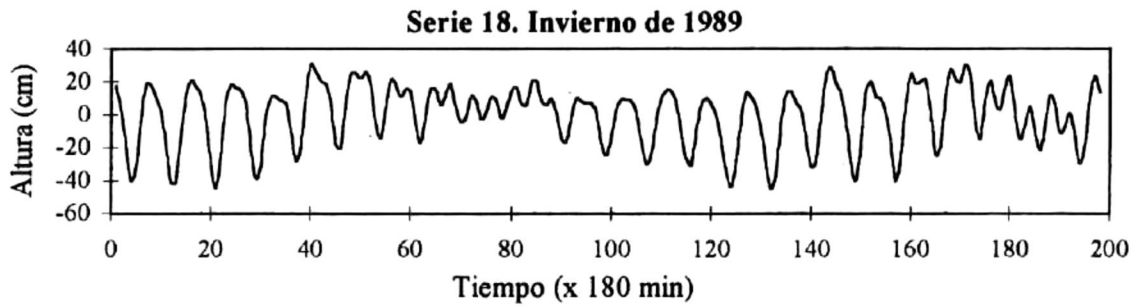
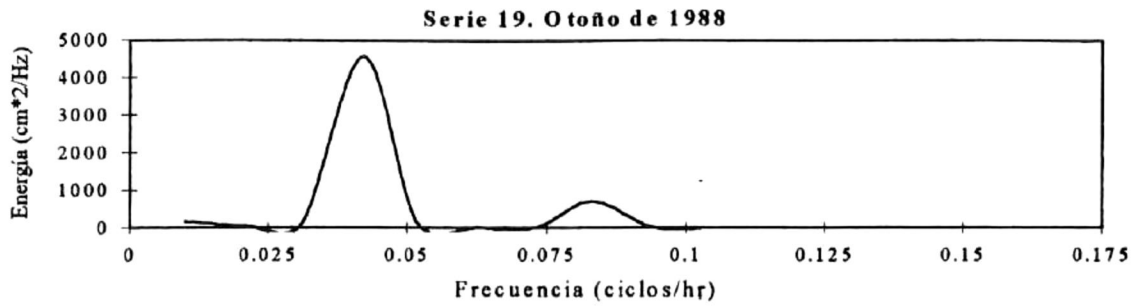
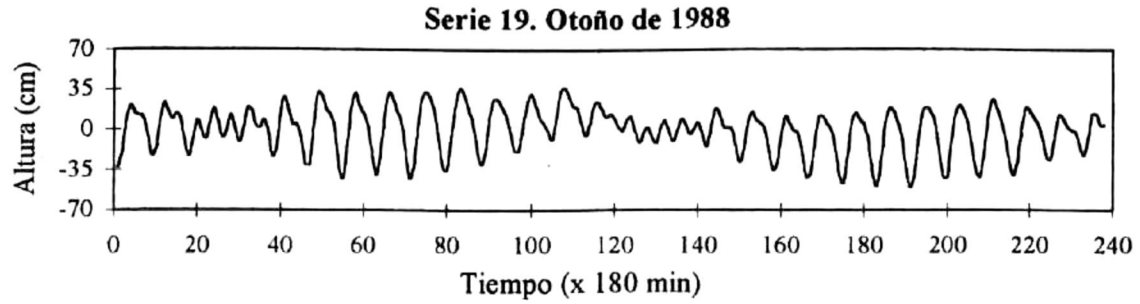
Gráfica 4.53 Valores pico de densidad de energías del sitio Barra de Cazonés, Veracruz. durante las diferentes épocas de los años 1987, 1988 y 1989



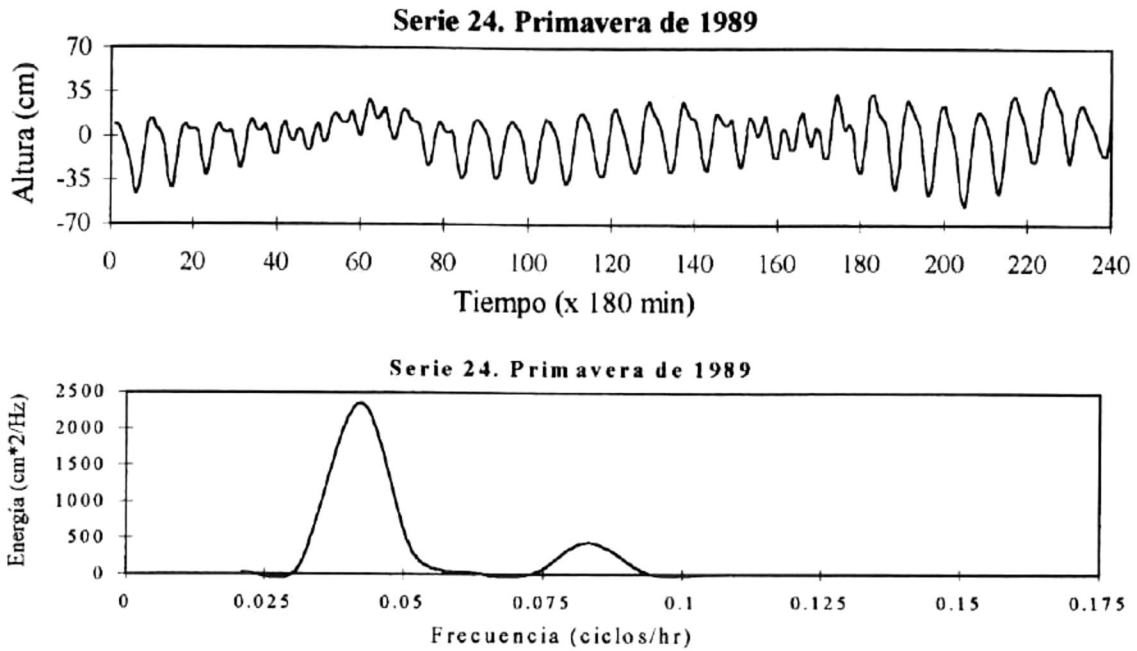
Gráfica 4.53 (continuación) Valores pico de densidad de energías del sitio Barra de Cazones, Veracruz, durante las diferentes épocas de los años 1987, 1988 y 1989



Gráfica 4.54 Mareogramas y sus correspondientes espectros de densidad de energía de Barra de Cazones, Veracruz. durante las diferentes épocas de los años 1987, 1988 y 1989.



Gráfica 4.54 (continuación) Mareogramas y sus correspondientes espectros de densidad de energía de Barra de Cazonos, Veracruz, durante las diferentes épocas de los años 1987, 1988 y 1989.



Gráfica 4.54 (continuación) Mareogramas y sus correspondientes espectros de densidad de energía de Barra de Cazones, Veracruz. durante las diferentes épocas de los años 1987, 1988 y 1989.

Tabla 4.33 Probabilidades de ocurrencia del 60%, 40%, 20% y menores del 3% de alturas y períodos del sitio Barra de Cazones, Veracruz.

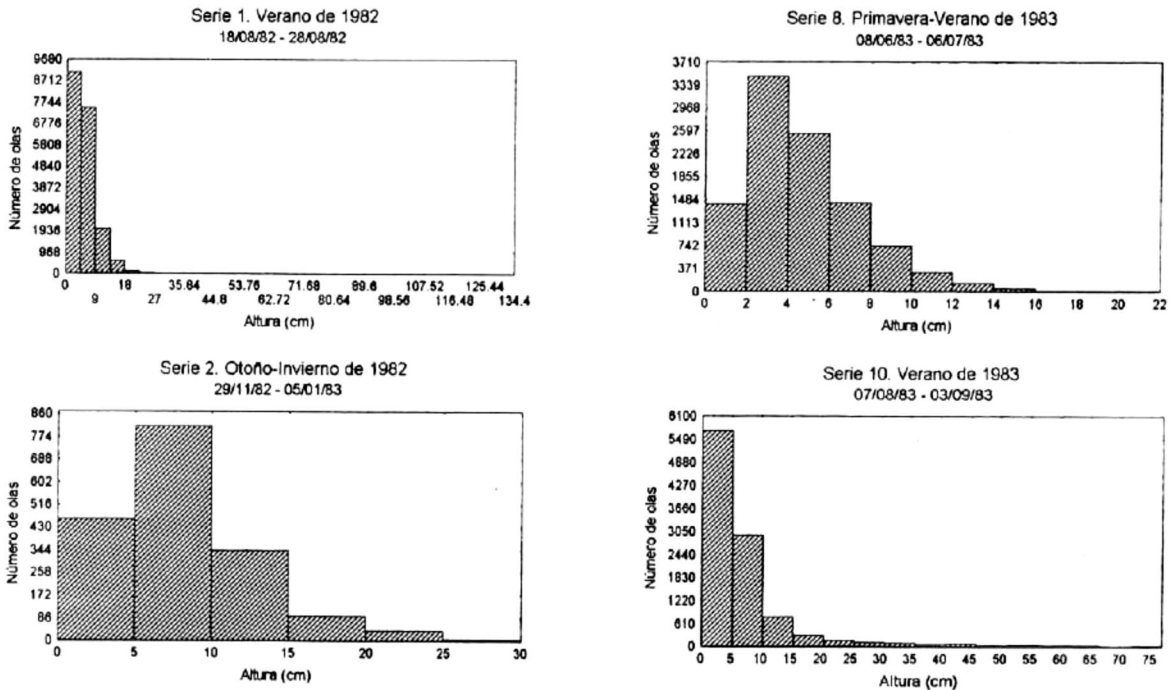
No. de serie	Alturas (cm)				Períodos (s)			
	60%	40%	20%	menos del 3%	50%	40%	20%	menos del 3%
1-ca	15	26	36	157	6	7	7.5	51
2-ca	14	24	32	169	7	7.5	8	35
13-cb	15	23	30	158	5.5	5	6.5	34.5
14-cb	15	21	32	122	6	6.3	6.5	21
16-cb	15	26	32	93	5.1	5.5	5.8	35.5
12-ca	18	28	36	170	4.5	5	5.3	34.5
13-ca	16	23	30	168	6	6.5	7	22
19-cb	14	25	32	125	5.8	6.1	6.5	16.2
18-ca	18	24	29	193	6	6.5	7	23.5
24-cb	15	26	32	169	6	6.2	6.8	21.5
25-cb	14	21	31	122	5.5	5.8	6.2	38
22-ca	14	24	29	160	5.5	6	6.5	38

4.10 Xcaret, Quintana Roo. Análisis Matemático Estadístico.

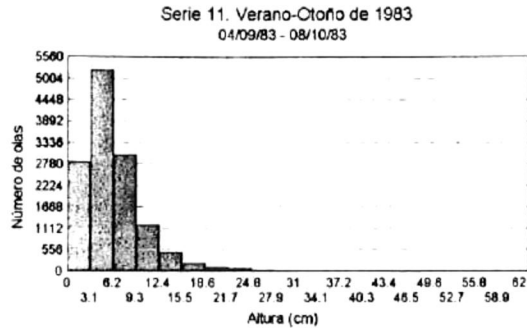
4.10.1 Alturas

En la Gráfica 4.55 se presentan los histogramas de la población de datos de alturas de olas correspondientes a cada una de las series de tiempo de Xcaret. Como puede apreciarse, los números de serie aparecen intercalados, ya que incluyen los datos tomados con ambos ológrafos (a y b). El orden con el que se presentan estos datos es en forma cronológica.

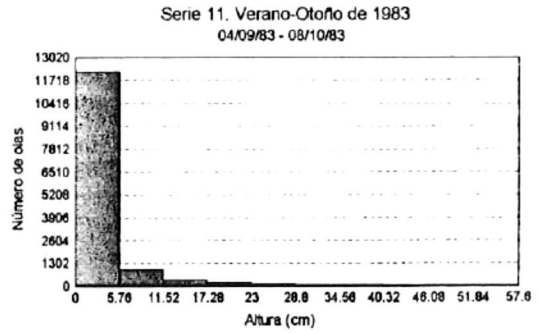
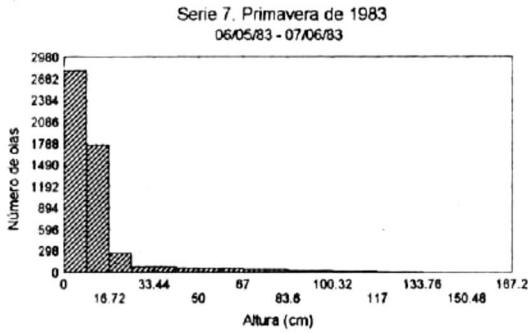
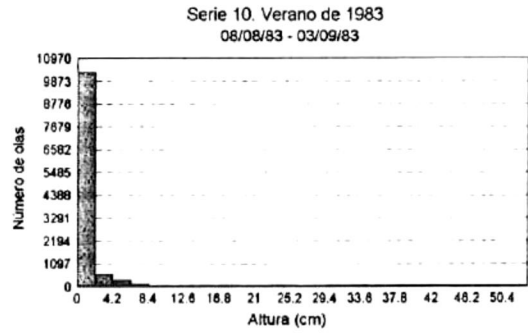
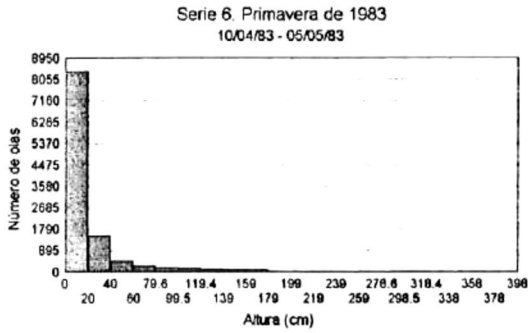
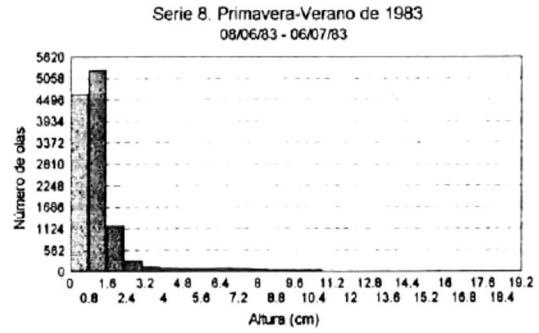
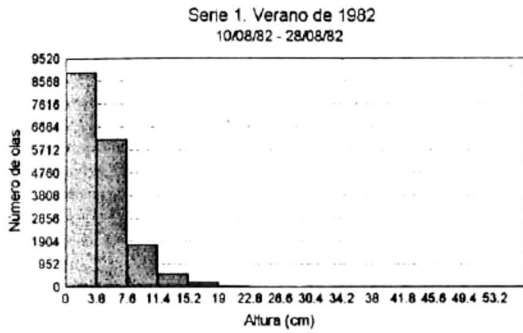
La Tabla 4.34 resume los momentos estadísticos de cada una de éstas series de tiempo. Los valores promedio de alturas de cada una de las series de tiempo se resumen en la Tabla 4.36 y sus fluctuaciones a través del tiempo se aprecian en la Gráfica 4.56.



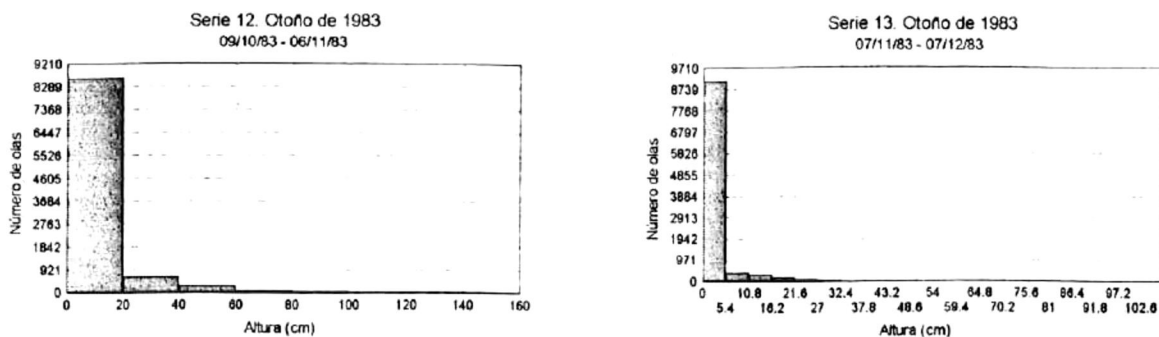
Gráfica 4.55 Histogramas de alturas del sitio Xcaret (a), para las diferentes épocas de los años 1982, 1983.



Gráfica 4.55 (continuación) Histogramas de alturas del sitio Xcaret (a), para las diferentes épocas de los años 1982, 1983.



Gráfica 4.55 (continuación) Histogramas de alturas del sitio Xcaret (b), para las diferentes épocas de los años 1982 y 1983.

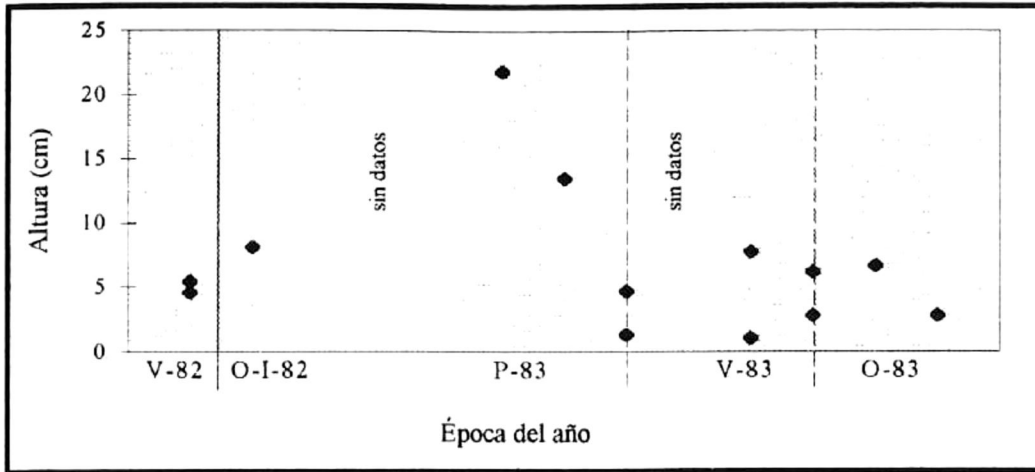


Gráfica 4.55 (continuación) Histogramas de alturas del sitio Xcaret (b), para las diferentes épocas de los años 1982 y 1983.

Tabla 4.34 Momentos estadísticos de alturas para las series de tiempo del sitio Xcaret, Quintana Roo.

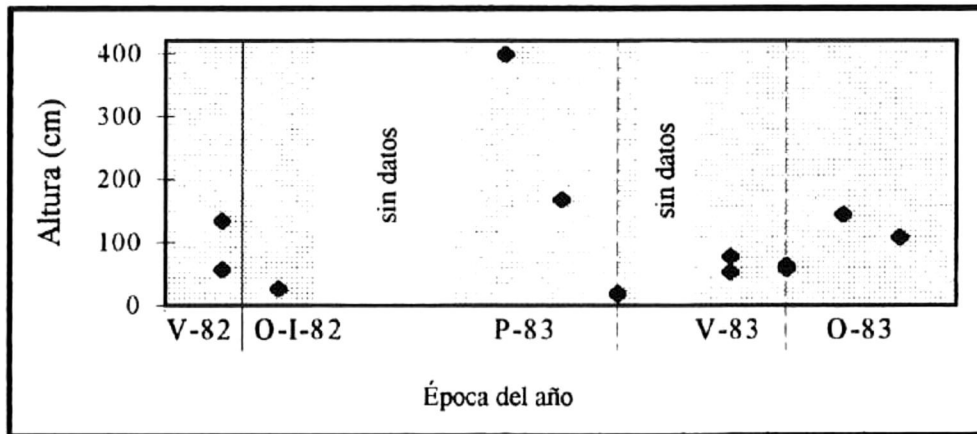
No. de serie	Época del año	Número de datos	Mediana (cm)	Intervalo (cm)	Desviación Estándar
1a	V-82	19273	4.70	134.4	3.83
1b	V-82	17666	3.70	56.90	3.20
2a	O-L82	1752	7.40	26.50	4.53
sin datos	-	-	-	-	-
6b	P-83	11271	11.00	398.35	32.94
7b	P-83	5371	8.20	167.20	18.58
8a	P-V-83	10138	4.20	18.30	2.74
8b	P-V-83	12112	0.90	19.20	1.67
sin datos	-	-	-	-	-
10a	V-83	10466	4.80	76.90	9.73
10b	V-83	11337	0.60	53.30	1.44
11a	V-O-83	13140	5.30	63.10	4.14
11b	V-O-83	13930	1.00	57.60	5.42
12b	O-83	9682	1.50	144.10	13.03
13b	O-83	10118	1.5	107.70	4.78

En la Gráfica 4.56 de alturas promedio, es posible observar que los mínimos valores registrados se presentan durante las épocas de verano y primavera de cada año. El máximo valor promedio se reporta al principio de la primavera.



Gráfica 4.56 Alturas promedio del sitio Xcaret, Quintana Roo para las diferentes épocas de los años 1982 y 1983

En la Gráfica 4.57 y Tabla 4.37, es posible observar los máximos valores de alturas registrados para cada serie de tiempo, encontrando los valores de menor magnitud durante las épocas de verano y otoño de cada año. Tanto en los promedios como en los valores máximos, la mayor altura se presentó al principio de la primavera de 1983, con valores de 21.79 cm y 398.35 cm respectivamente.

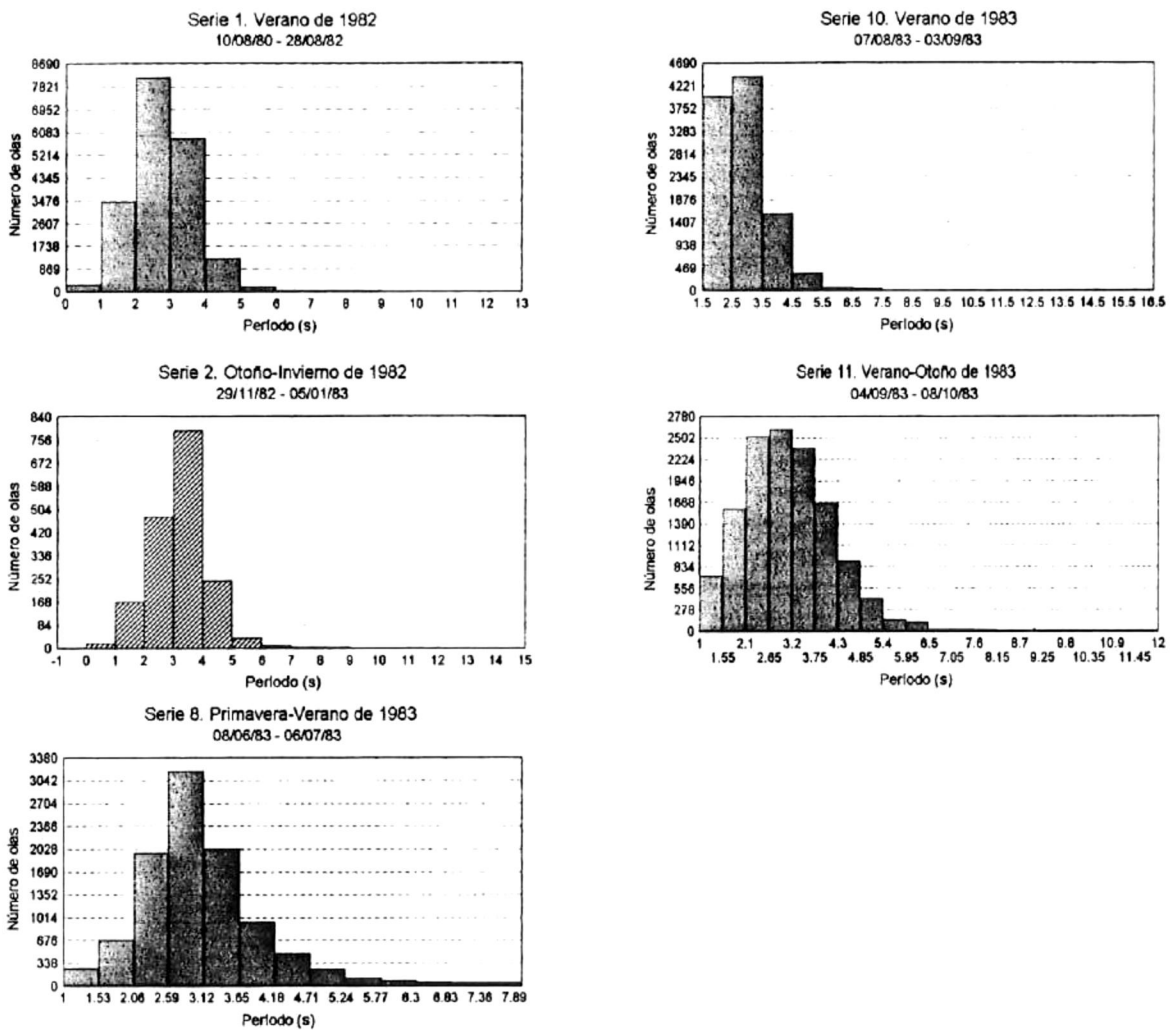


Gráfica 4.57 Alturas máximas registradas en el sitio Xcaret, Quintana Roo para las diferentes épocas de los años 1982 y 1983

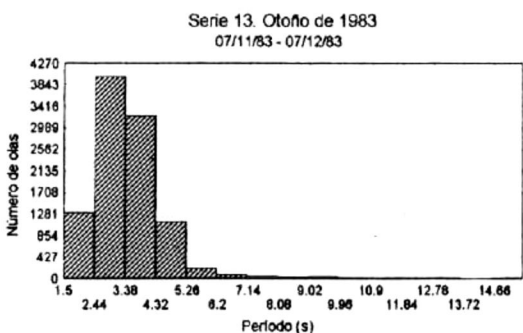
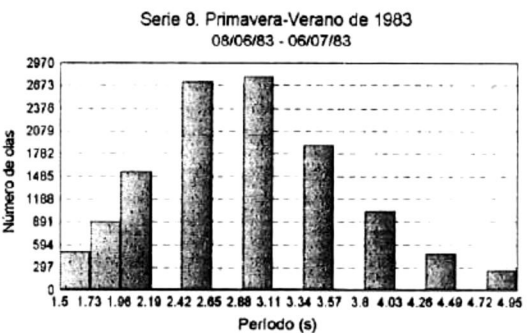
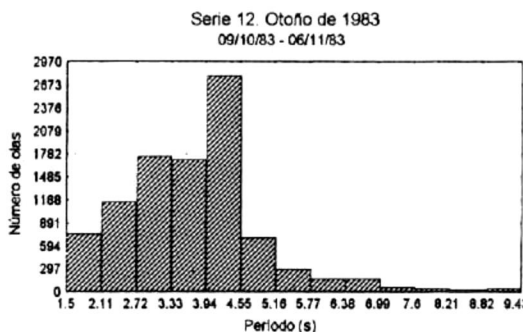
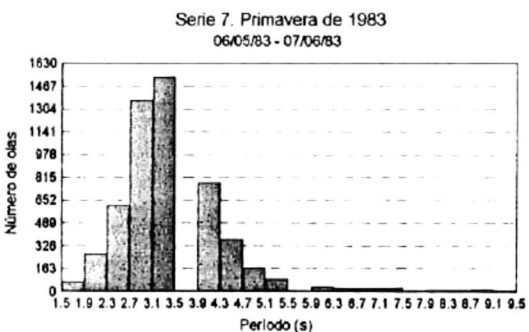
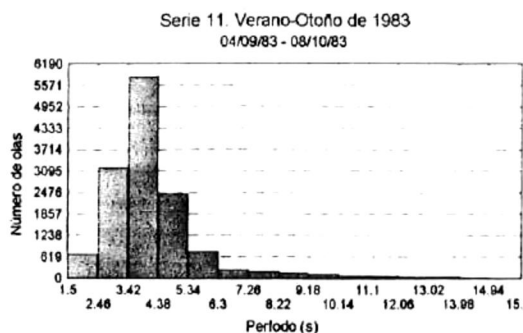
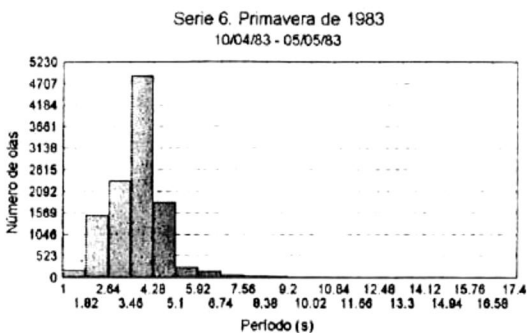
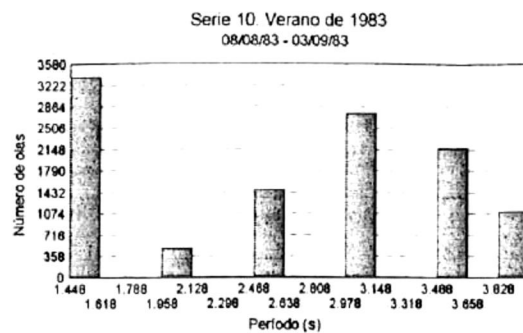
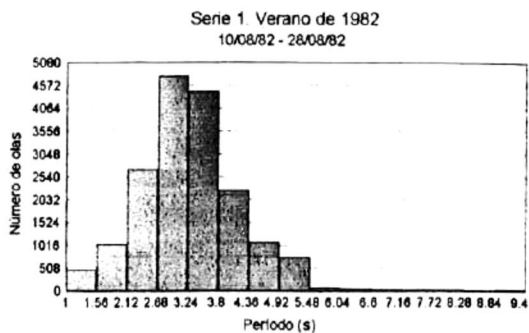
4.10.2 Períodos

En la Gráfica 4.58 se presentan los histogramas de la población de datos de períodos de olas correspondientes a cada una de las series de tiempo del sitio. Así mismo, la Tabla 4.35 resume la estadística realizada a cada una de estas series de tiempo.

La distribución de períodos promedios correspondientes a las olas identificadas por el método de cruces por cero se presentan en la Gráfica 4.59 y Tabla 4.36.



Gráfica 4.58 Histogramas de períodos del sitio Xcaret (a), para las diferentes épocas de los años 1982 y 1983.

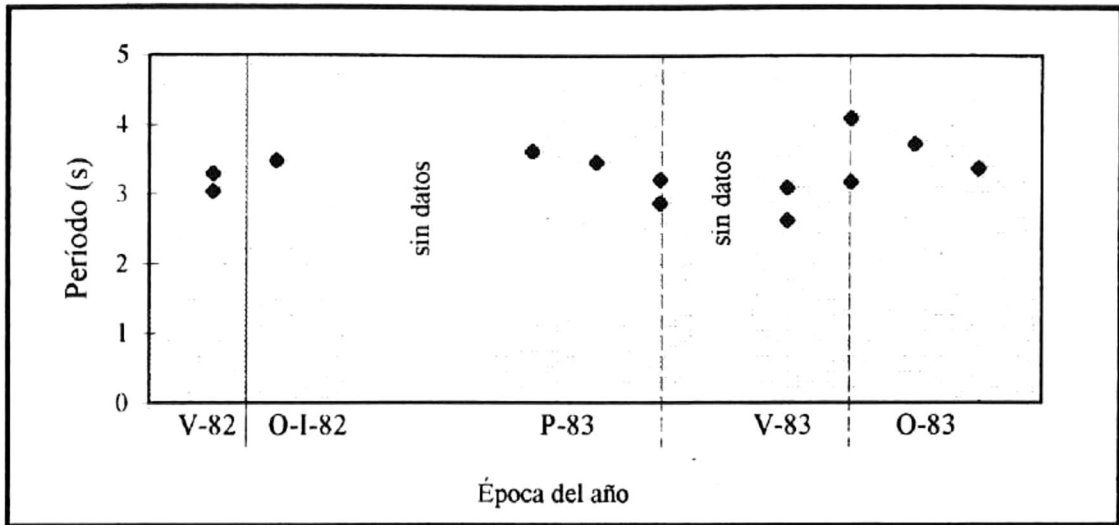


Gráfica 4.58 (continuación) Histogramas de periodos del sitio Xcaret (b), para las diferentes épocas de los años 1982 y 1983.

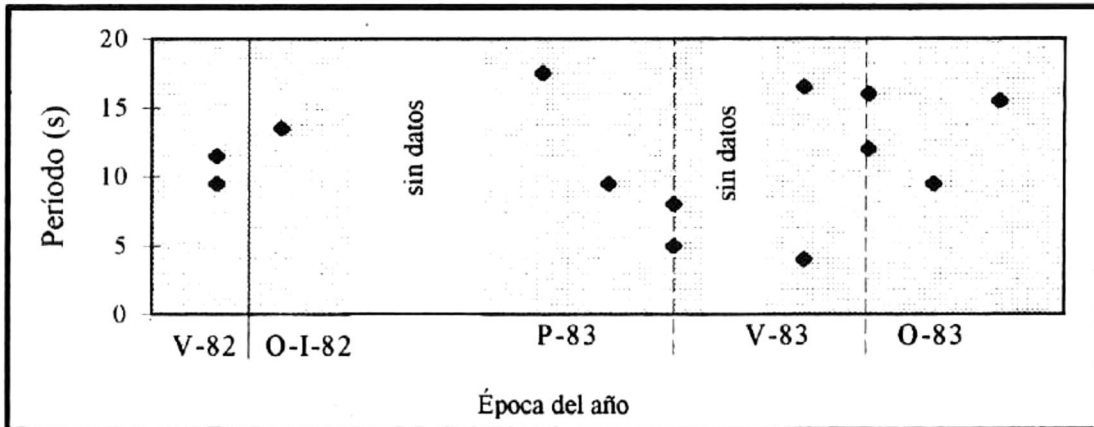
En 1982 el máximo valor promedio fue de 3.48 segundos y se reportó a finales del otoño y principios de primavera, mientras que el mínimos valor promedio fue de 3.04 en verano. Para 1983 el valor promedio máximo fue de 4.10 segundos y se presentó a finales del verano y principios de primavera, mientras que el mínimo fue de 2.62 segundos y se reportó en verano. La Gráfica 4.60 y Tabla 4.37 muestran los máximos períodos registrados para cada año, encontrando que en 1982 el mayor período se registró en invierno con un valor de 13.50 segundos. 17.5 segundos fue el máximo valor registrado en 1983.

Tabla 4.35 Momentos estadísticos de períodos para las series de tiempo del sitio Xcaret, Quintana Roo.

No. De serie	Época del año	Número de datos	Mediana (s)	Intervalo (s)	Desv. Est.
1 ^a	V-82	19273	3.0	10.5	0.96
1b	V-82	17666	3.0	8.5	0.91
2 ^a	O-L82	1752	3.5	12.5	1.05
sin datos	-	-	-	-	-
6b	P-83	11271	3.5	16.5	1.02
7b	P-83	5371	3.5	8.0	0.96
8 ^a	P-V-83	10138	3.0	7.0	0.94
8b	P-V-83	12112	3.0	3.5	0.81
sin datos	-	-	-	-	-
10 ^a	V-83	10466	3.0	15.0	0.96
10b	V-83	11337	3.0	2.5	0.88
11 ^a	V-O-83	13140	3.0	11.0	1.07
11b	V-O-83	13930	3.5	14.5	1.83
12b	O-83	9682	3.5	8.0	1.23
13b	O-83	10118	3.0	14.0	1.31



Gráfica 4.59 Períodos promedio del sitio Xcaret, Quintana Roo para las diferentes épocas de los años 1982 y 1983



Gráfica 4.60 Períodos máximos registrados en el sitio Xcaret, Quintana Roo para las diferentes épocas de los años 1982 y 1983

Tabla 4.36 Valores promedio de: alturas, períodos y direcciones del sitio Xcaret, Quintana Roo para las diferentes épocas de los años 1982 y 1983.

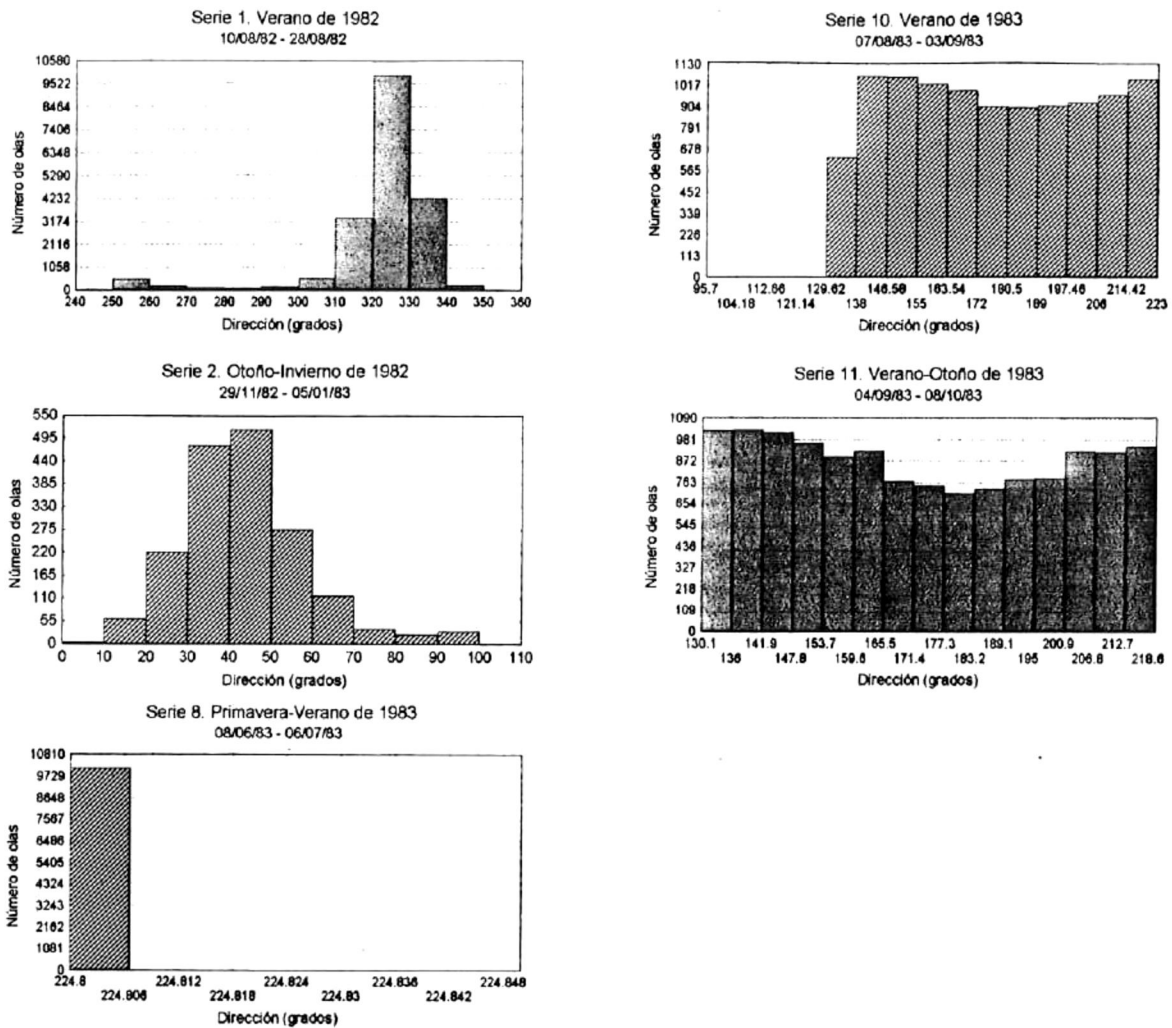
ÉPOCA DEL AÑO	VALORES PROMEDIO DE:		
	ALTURAS (cm)	PERÍODOS (s)	DIRECCIONES (grados)
V-82	5.46	3.04	322.11
V-82	4.59	3.30	44.11
O-I.82	8.14	3.48	43.76
-	-	-	-
P-83	21.79	3.62	222.05
P-83	13.51	3.46	224.80
P-V-83	4.74	3.21	224.80
P-V-83	1.31	2.87	174.87
-	-	-	-
V-83	7.76	3.09	177.14
V-83	1.03	2.62	27.11
V-O-83	6.19	3.18	173.59
V-O-83	2.82	4.10	142.08
O-83	6.68	3.72	25.77
O-83	2.82	3.37	321.00

Tabla 4.37 Valores máximos registrados de: alturas, períodos y direcciones del sitio Xcaret, para las diferentes épocas de los años, 1982 y 1983.

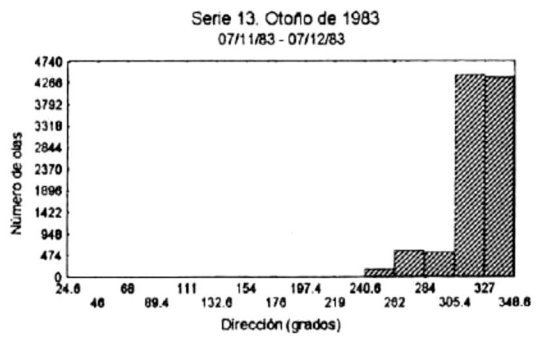
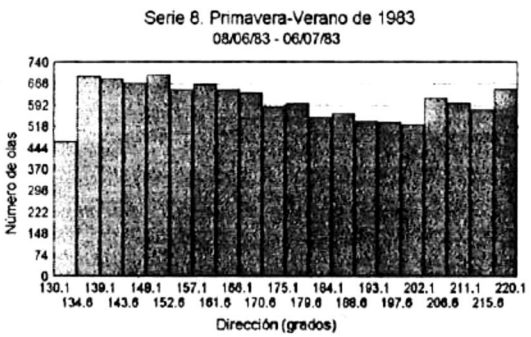
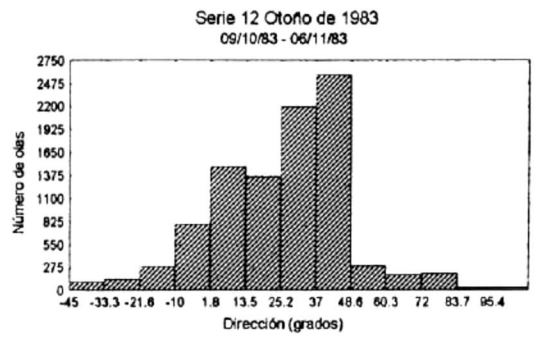
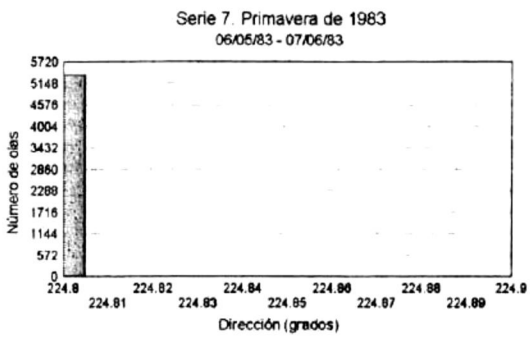
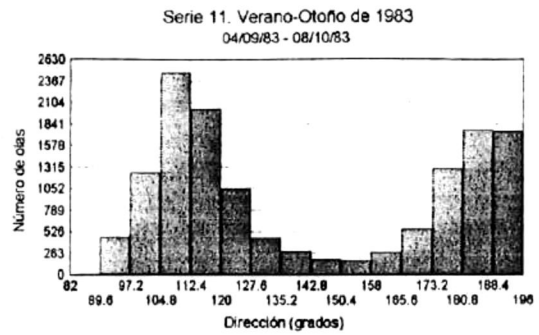
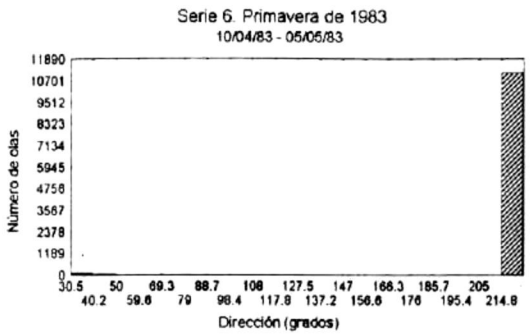
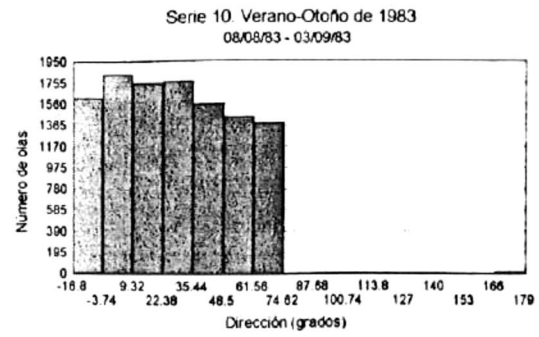
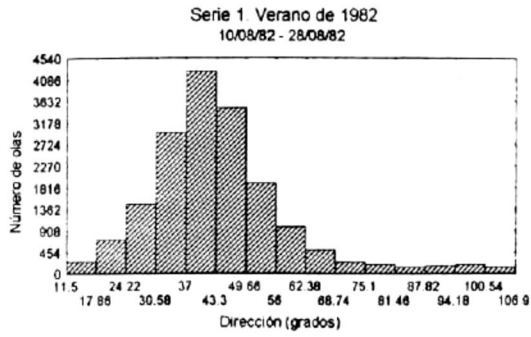
Época del año	Alturas (cm)		Períodos (s)		Direcciones (grados)	
	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima
V-82	0.10	134.40	1.00	11.50	249.80	344.00
V-82	0.10	56.90	1.00	9.50	11.50	107.00
O-I.82	0.10	26.60	1.00	13.50	9.30	99.10
-	-	-	-	-	-	-
P-83	0.10	398.35	1.00	17.50	30.50	224.30
P-83	0.10	167.30	1.50	9.50	224.80	224.90
P-V-83	0.10	18.30	1.00	8.00	224.80	224.90
P-V-83	0.10	19.20	1.50	5.00	130.10	221.40
-	-	-	-	-	-	-
V-83	0.10	77.00	1.50	16.50	95.70	222.90
V-83	0.10	53.30	1.44	4.00	-16.80	179.1
V-O-83	0.10	63.10	1.00	12.00	130.10	220.00
V-O-83	0.10	57.60	1.50	16.00	82.00	196.10
O-83	0.10	144.10	1.50	9.50	-45.00	106.50
O-83	0.10	10.70	1.50	15.50	24.40	348.50

4.10.3 Direcciones

En la Gráfica 4.61 se presentan los histogramas de la población de datos de direcciones de olas correspondientes a las diferentes épocas del año 1987, 1988 y 1989. Así mismo, la Tabla 4.38 resume los momentos estadísticos de cada serie de tiempo.

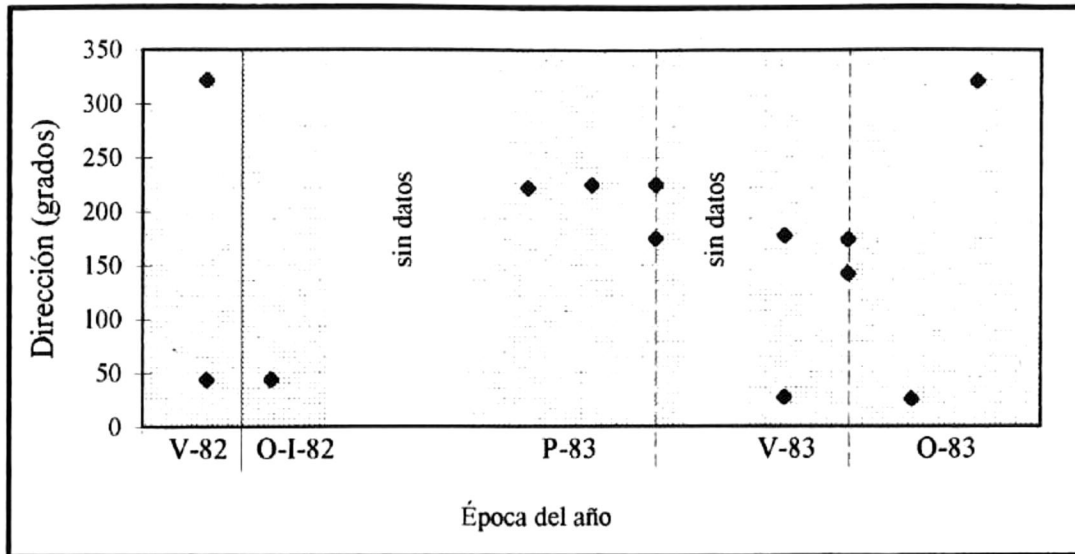


Gráfica 4.61 Histogramas de direcciones del sitio Xcaret (a), para las diferentes épocas de los años 1982 y 1983.



Gráfica 4.61 (continuación) Histogramas de direcciones del sitio Xcaret (b), para las diferentes épocas de los años 1982 y 1983.

En la Gráfica 4.62 se presentan las direcciones promedio de cada una de las series de tiempo de todo el sitio. La Tabla 4.37 muestra las máximas direcciones encontradas para cada época.



Gráfica 4.62 Direcciones promedio del sitio Xcaret, para las diferentes épocas de los años 1982 y 1983

Como se observa en la gráfica 4.62, existen diferencias que oscilan entre 30 y 80 grados, en las series de tiempo que coinciden en fechas y que fueron registradas tanto por el ológrafo a como por en b. Es probable que esto se deba a la influencia de algún fenómeno de difracción por la presencia de alguna punta rocosa.

Las direcciones promedio en verano de 1982 oscilan entre 44.11° noreste y 322.11° sureste. En la primavera y el verano de 1983 la cantidad más importante de datos oscilan entre 142° noroeste y 224° suroeste. Finalmente durante el otoño de 1983 los promedios oscilaron entre 106° noroeste y 348° sureste.

4.10.4 Distribuciones conjuntas

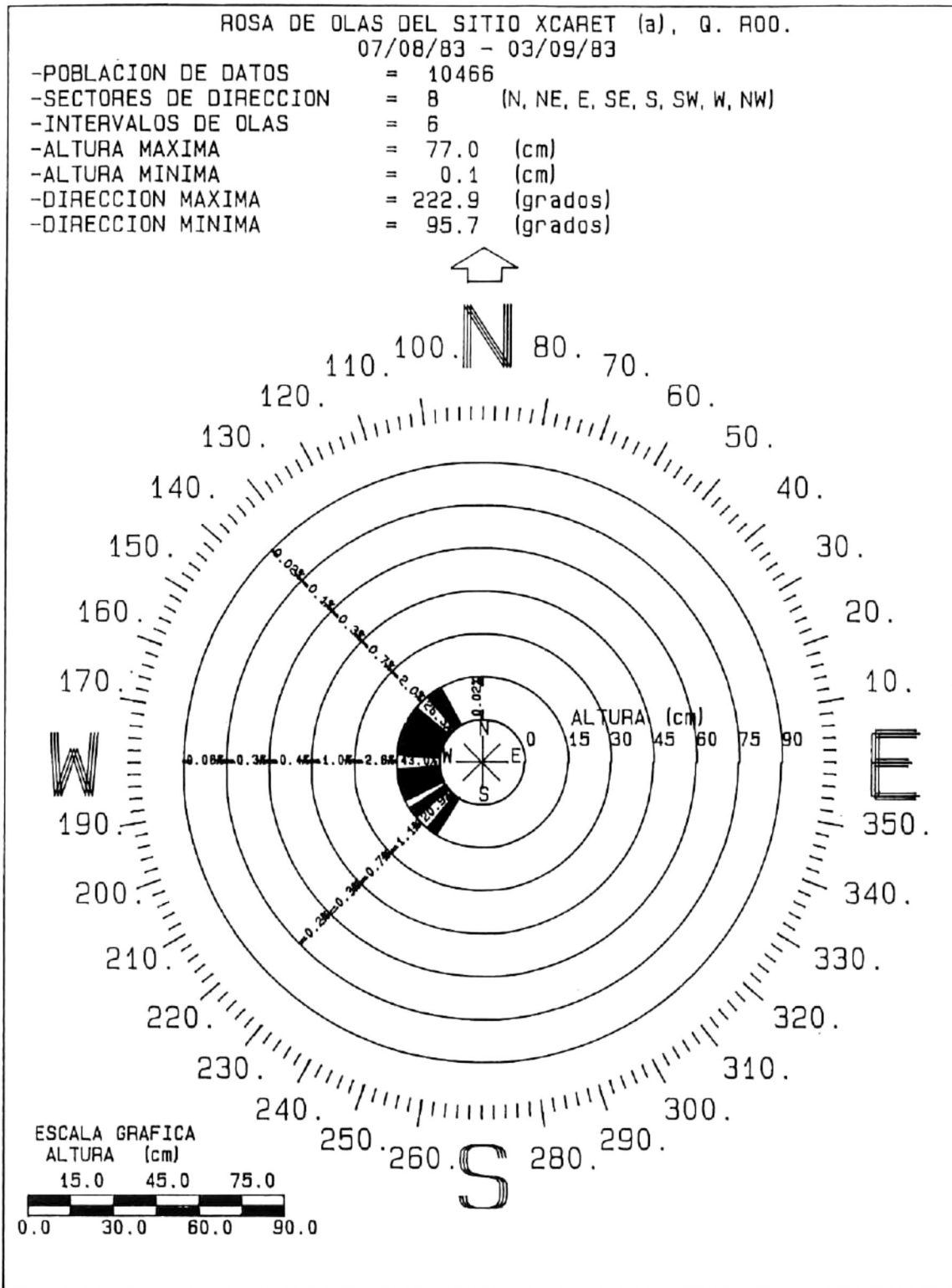
En la Gráfica 4.63 se presenta como ejemplo, una rosa de olas que muestra la distribución conjunta de alturas y direcciones de la serie de tiempo 10a de Xcaret. Más del 80 % de la población de datos de esta serie de tiempo están entre los 0 y 15 cm de altura y presenta una dirección de propagación promedio de 177.14° noroeste. El rango completo

de propagación de todos los datos de esta serie está entre los 118 ° noroeste y los 237 ° suroeste.

La Gráfica 4.64, presenta la distribución conjunta de períodos y direcciones de la misma serie de tiempo. Como es de esperarse, esta distribución también se asemeja mucho a la distribución conjunta de alturas y direcciones de olas. Más del 80 % de la población de datos esta entre 0 y 3 segundos.

Tabla 4.38 Momentos estadísticos de direcciones del sitio Xcaret, Quintana Roo para las diferentes épocas de los años 1982 y 1983.

No. De serie	Época del año	Número de datos	Mediana (grados)	Intervalo (grados)	Desviación Estándar
1a	V-82	19273	325.00	94.20	15.26
1b	V-82	17666	42.10	95.50	15.11
2a	O-I.82	1752	42.40	89.80	15.04
sin datos	-	-	-	-	-
6b	P-83	11271	224.10	193.80	19.39
7b	P-83	5371	224.80	0.10	0.000013
8a	P-V-83	10138	224.80	0.10	0.000014
8b	P-V-83	12112	173.30	91.30	26.35
sin datos	-	-	-	-	-
10a	V-83	10466	176.40	127.20	26.52
10b	V-83	11337	25.80	195.90	26.06
11a	V-O-83	13140	171.70	89.90	27.03
11b	V-O-83	13930	125.20	114.10	35.39
12b	O-83	9682	30.70	151.90	22.02
13b	O-83	10118	325.20	324.10	18.73

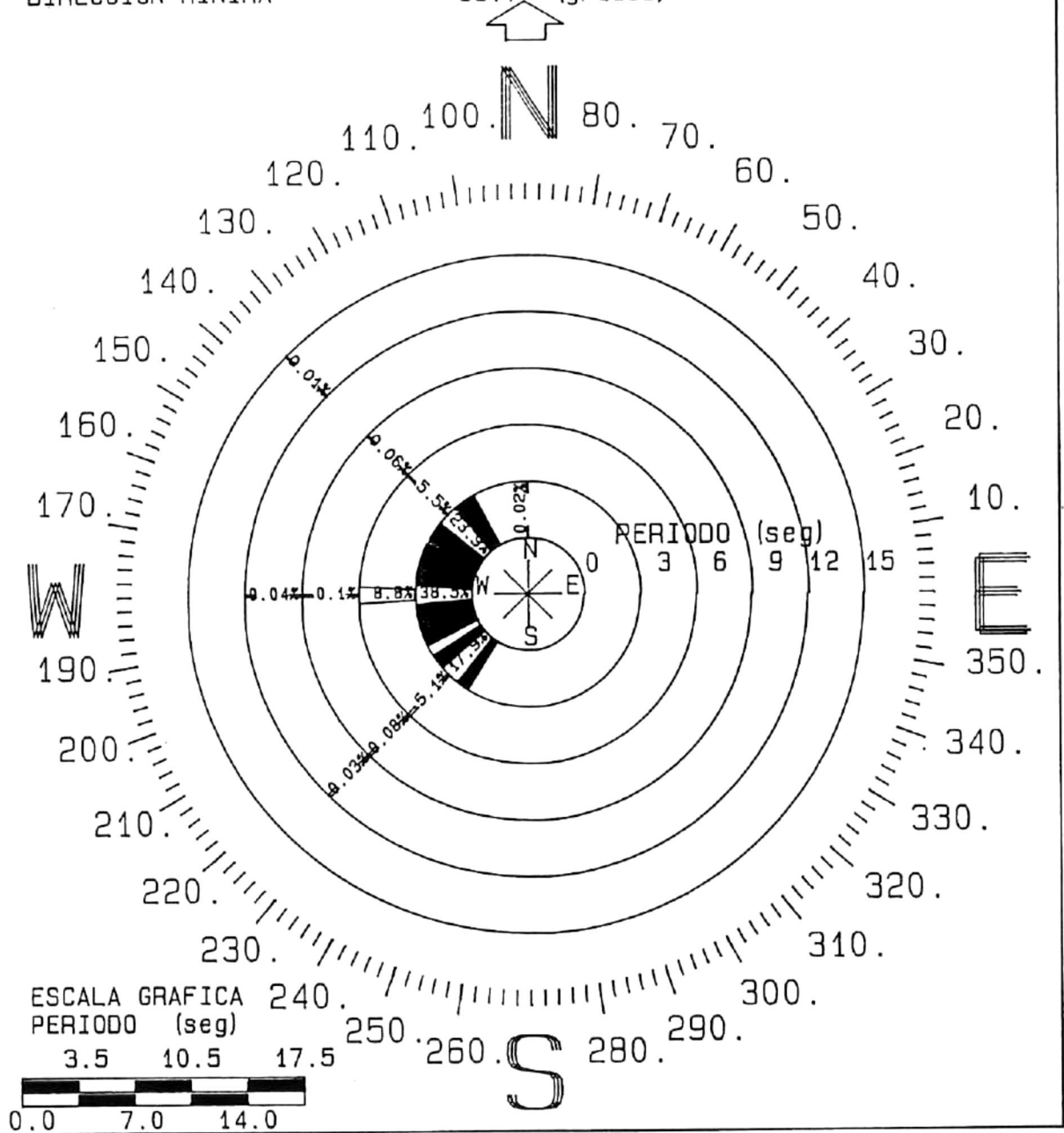


Gráfica 4.63 Distribución conjunta de alturas y direcciones de la serie de tiempo 10a, del sitio Xcaret, Q. Roo.

ROSA DE OLAS DEL SITIO XCARET (a), Q. ROO.

07/08/83 - 03/09/83

-POBLACION DE DATOS = 10466
 -SECTORES DE DIRECCION = 8 (N, NE, E, SE, S, SW, W, NW)
 -INTERVALOS DE PERIODOS = 5
 -PERIODO MAXIMO = 16.5 (seg)
 -PERIODO MINIMO = 1.5 (seg)
 -DIRECCION MAXIMA = 222.9 (grados)
 -DIRECCION MINIMA = 95.7 (grados)



Gráfica 4.64 Distribución conjunta de períodos y direcciones de la serie de tiempo 10a, del sitio Xcaret, Q. Roo.

4.11 Xcaret, Quintana Roo, Análisis Espectral.

4.11.1 Densidad de Energía

En la Gráfica 4.65 se presentan las series de tiempo de las variaciones de los valores pico de la densidad de energía contenida en las olas de Xcaret calculados a partir de los datos de elevaciones del nivel del mar y de las componentes horizontales de velocidades instantáneas.

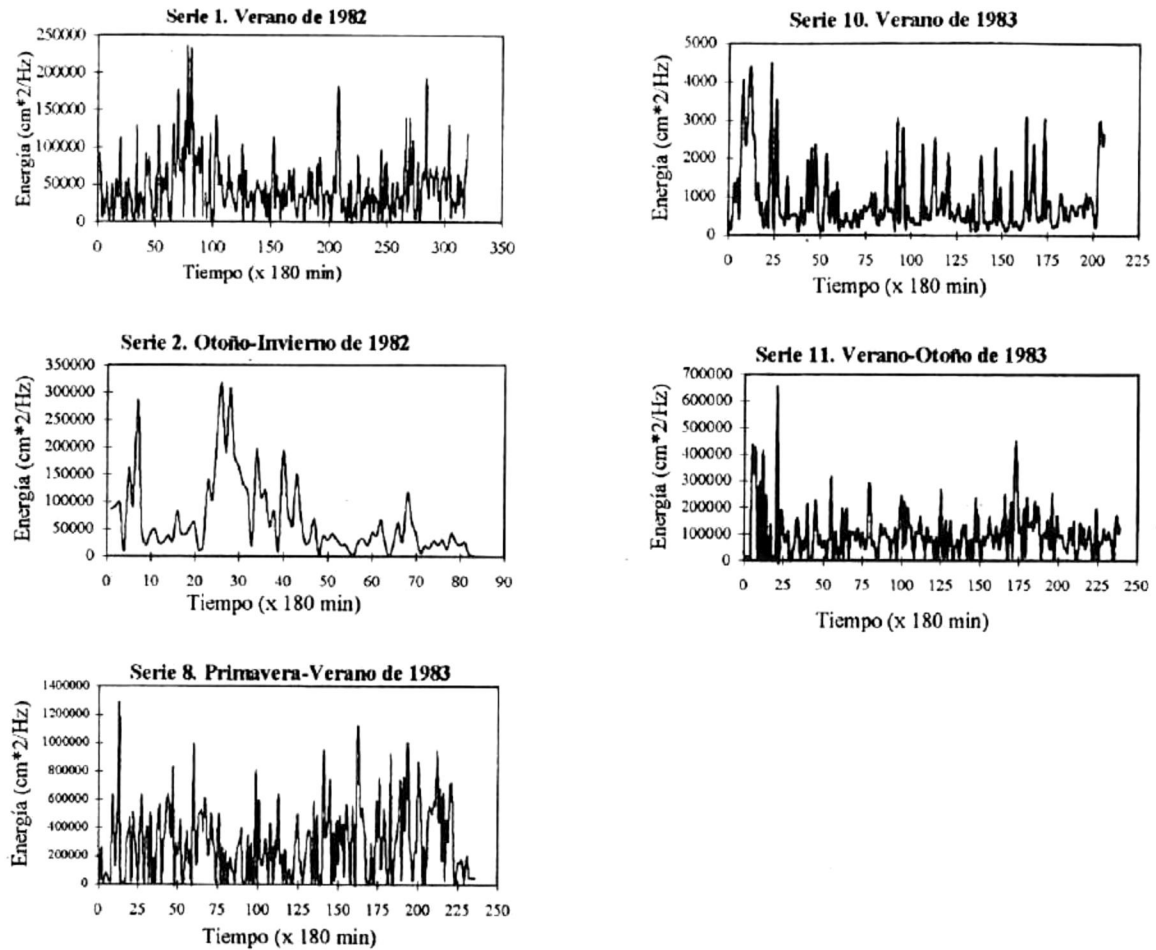
En 1982 las máximas concentraciones de energía se presentaron a finales de los meses de otoño y principios del invierno. En 1983 las energías máximas se presentaron en las series 6b y 8a que corresponden a las épocas de primavera (6b) y primavera-verano (8a).

4.11.2 Mareas

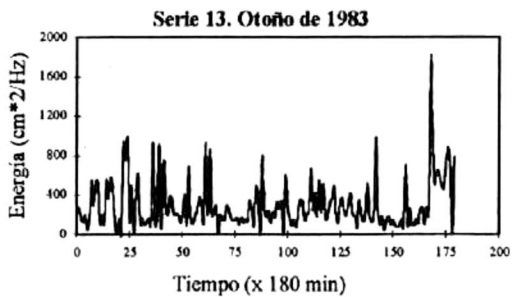
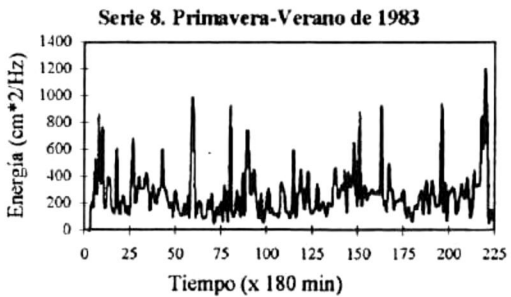
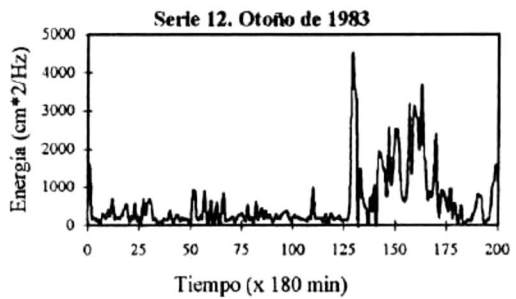
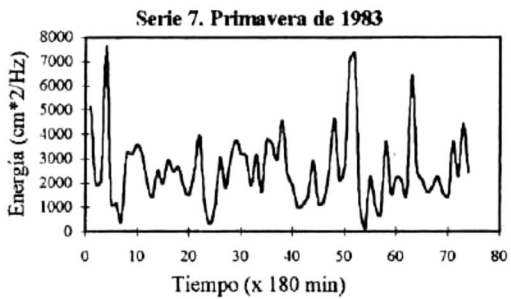
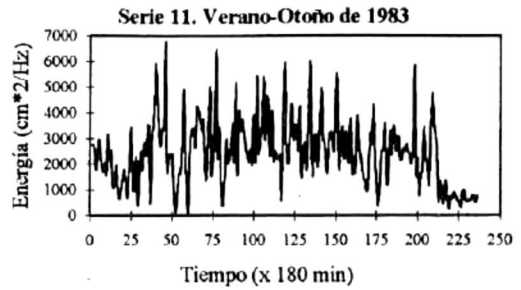
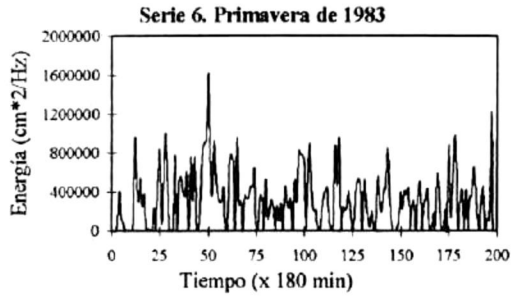
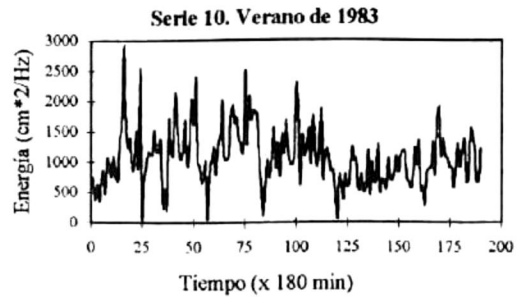
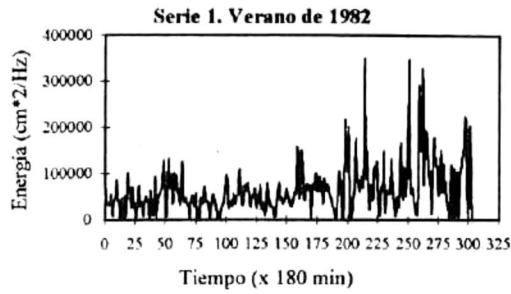
Los mareogramas y los resultados de los análisis de Fourier y espectrales de los datos de marea de este sitio se presentan en la Gráfica 4.66. En cada uno de los espectros que se presentan como ejemplos de este sitio la marea es mixta semidiurna con la componente más energética asociada con el período de 12.19 hrs (0.082 Hz) aproximadamente, la cual es aproximadamente 4 veces más energética que la componente diurna. El pico menos energético, correspondiente a la componente diurna, está asociada con el período de 24.93 hrs (0.041 Hz). El resto de los resultados de marea para este sitio, los cuales no se reportaron en gráficas presentaron las misma amplitudes y energías similares.

4.11.3 Análisis de Densidad de Probabilidad

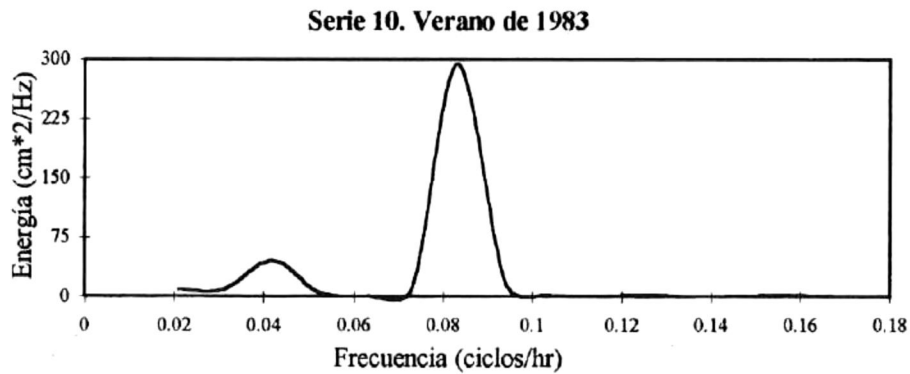
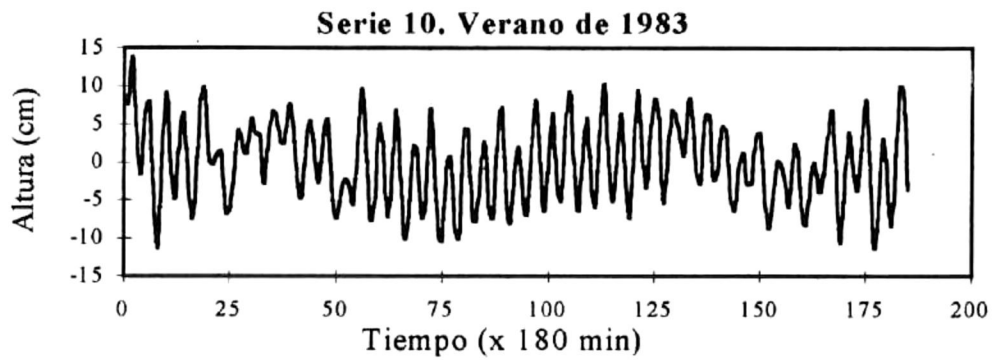
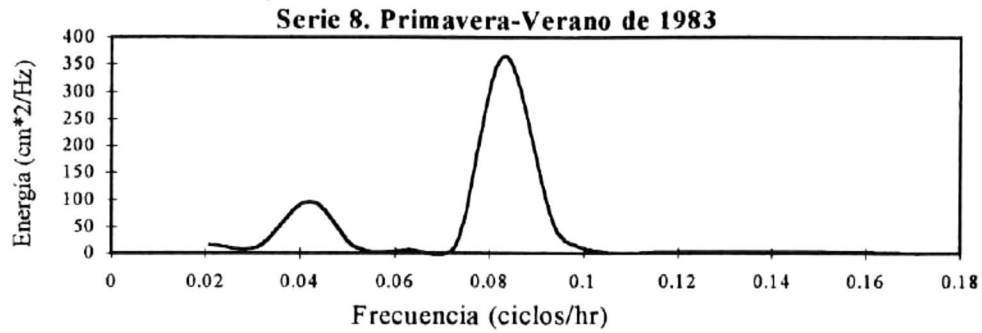
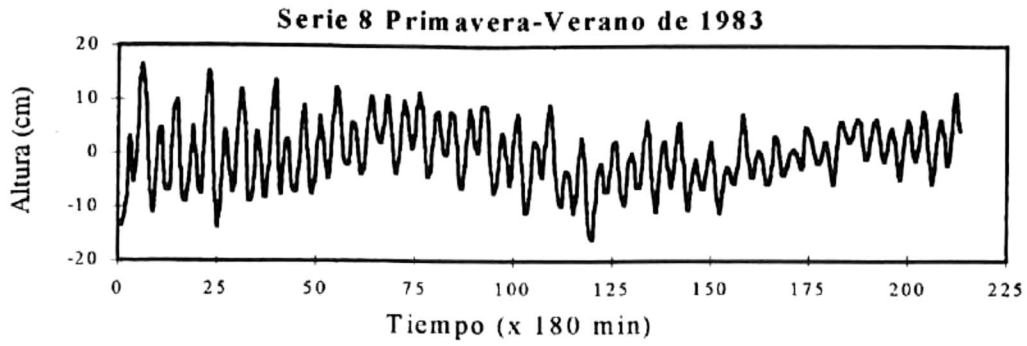
En la Tabla 4.39 se resumen las probabilidades de ocurrencia, tanto de alturas como de periodos, de 60%, 40% y 20 %, así como las probabilidades menores al 3 % para cada una de las series de tiempo de este sitio.



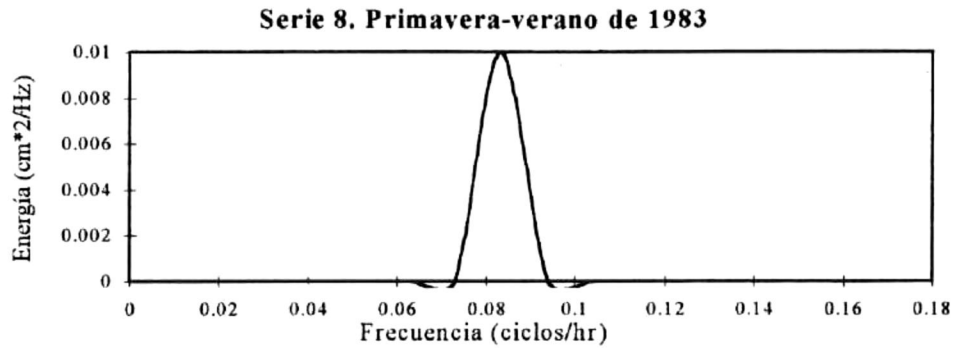
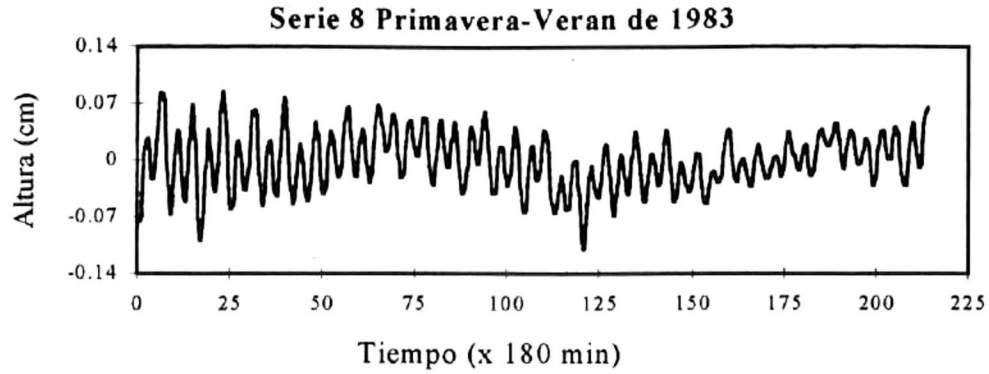
Gráfica 4.65 Valores pico de densidad de energías del sitio Xcaret (a), Q. Roo para las diferentes épocas de los años 1982 y 1983



Gráfica 4.65 (continuación) Valores pico de densidad de energías del sitio Xcaret (b), Q. Roo para las diferentes épocas de los años 1982 y 1983



Gráfica 4.66 Mareogramas y sus correspondientes espectros de densidad de energía de Xcaret, Q. Roo (a), durante diferentes épocas de 1983.



Gráfica 4.66 (continuación) Mareogramas y sus correspondientes espectros de densidad de energía de Xcaret, Q. Roo (b), en primavera de 1983.

Tabla 4.39 Probabilidades de ocurrencia del 60%, 40%, 20% y menores del 3% de alturas y periodos del sitio Xcaret, Q. Roo.

No. de serie	Alturas (cm)				Períodos (s)			
	60%	40%	20%	menos del 3%	50%	40%	20%	menos del 3%
1a	11	18	23	134	3.0	3.1	3.3	11.5
1b	10	15	22	56.9	3.3	3.4	3.5	9.5
2a	13	17	21	26.6	3.3	3.4	3.5	13.5
6b	16	24	32	398.35	3.2	3.3	3.4	17.5
7b	10	18	20	167.3	3.5	3.7	3.8	9.5
8a	9	14	19	18.3	3.2	3.3	3.5	8.0
8b	8	15	18	19.2	3.2	3.1	3.2	5.0
10a	18	32	40	77	3.1	3.3	3.4	16.5
10b	7	12	15	53.3	2.6	2.7	2.9	4.0
11a	12	20	25	63.1	3.1	3.3	3.4	12.0
11b	7	12	15	57.6	4.0	4.1	4.3	16.0
12b	9	12	17	144.1	3.6	3.7	3.9	9.5
13b	9	13	19	107.7	3.6	3.7	3.8	15.7

Discusión.

Dado que el ciclo anual de la amplitud del viento se incrementa durante el invierno (Gutiérrez de Velasco y Winant, 1955), es lógico encontrar mayores amplitudes y energías del oleaje durante las épocas de invierno y principios de primavera, época cuando predominan los Nortes. Aunque en verano y otoño, por la presencia de huracanes, también es común encontrar oleaje intenso. Esto se corrobora en las series de tiempo de oleaje analizadas en este trabajo.

Es importante notar que algunas de las series de tiempo de los sitios no son continuas, pero es un hecho innegable que las máximas alturas se presentan durante el invierno. Pueden presentarse también olas de mayores dimensiones durante el verano y otoño, debido a la influencia de tormentas y huracanes, pero esto no se refleja notoriamente en los promedios de las alturas, ya que la influencia de estos eventos sobre la superficie del océano puede ser solo de unas cuantas horas, o días, mientras que en invierno las condiciones meteorológicas afectan continuamente la superficie del océano y esto se refleja en un incremento de los valores promedios.

Al igual que las alturas, los períodos presentan el mismo comportamiento. Durante el verano se presentan los períodos promedio de menor magnitud, los cuales oscilan en el intervalo de 3 a 7 segundos en el Golfo de México y de 2 a 5 segundos en Xcaret. Los períodos máximos tienen valores de hasta 60 segundos.

Las máximas alturas registradas en cada sitio son de 439 cm en Barra del Tordo (en primavera), 332 cm en Altamira (en invierno), 549 cm en Tuxpan (en otoño), 193 cm en Barra de Cazones (en invierno), y 398 cm en Xcaret (en primavera). Los espectros de densidad de probabilidad revelan que estos datos presentan probabilidades de ocurrencia menores al 3 % en cada uno de los sitios, por lo que es muy probable que estos valores fueron ocasionados por la ocurrencia de algún evento meteorológico extremo.

Los máximos períodos registrados en cada sitio son de 61 segundos en Barra del Tordo, 21 segundos en Altamira, 43 segundos en Tuxpan, 51 segundos en Barra de Cazones, y 17.5 segundos en Xcaret. Los espectros de densidad de probabilidad muestran que estos datos presentan probabilidades de ocurrencia menores al 3 % en cada uno de los sitios. Estos períodos exceden por mucho los valores esperados para el oleaje del tipo Sea y Swell del Golfo de México, por lo que es muy probable que se trate de sobre elevaciones del nivel del mar inducidas por huracanes o tormentas.

Como es de esperarse, las alturas significantes de menor magnitud se presentan al final de las épocas de verano de cada año. Como las variaciones en las magnitudes de alturas de cada serie de tiempo obviamente corresponden a los períodos de relativa calma y mar más agitado, están en fase con las variaciones observadas en las series de tiempo de densidad de energía. En otras palabras, las máximas alturas significantes corresponden a los valores pico de densidad de energía.

El intervalo de direcciones de propagación del oleaje en cada uno de los sitios es: 131 y 191 grados en Barra del Tordo, 52 y 223 grados en Altamira, 127 y 327 grados en Tuxpan, 180 y 315 grados en Barra de Cazones, y 25 y 322 grados en Xcaret. Estos resultados concuerdan perfectamente con la física conocida frente a cada uno de ellos ya que la dirección predominante es de mar abierto hacia la costa. En el invierno el oleaje se propaga primordialmente del Norte, debido a la influencia de los frentes polares, y en el verano del sureste.

El espectro de densidad de energía del oleaje es bimodal. La presencia de este tipo de espectros es, a menudo, indicativo del arribo de trenes de onda con diferentes períodos, alturas y direcciones (Padilla, 1989). Las energías pico máximas de los espectros de oleaje en el Golfo de México están asociadas a olas con períodos de 5 segundos, mientras que los picos menores se asocian a olas con períodos de 20 segundos. De acuerdo al diagrama propuesto por Munk en 1951, de la clasificación de las ondas oceánicas de acuerdo a su

período, el oleaje que domina los picos máximos de energía en el Golfo de México son olas generadas por el viento.

Las condiciones del oleaje en el Golfo de México son muy similares a lo largo de los sitios estudiados y las alturas promedio están dentro del intervalo de 10 y 70 cm. Comparativamente, en Xcaret el oleaje predominante es de menor altura y energía que en los sitios estudiados del Golfo de México, las alturas promedio de este sitio están en el intervalo de 3 y 25 cm. Es muy difícil hacer una comparación entre cada uno de los sitios estudiados ya que las fechas de registro de datos no coinciden para todos los casos. Entre Barra del Tordo y Altamira solo coinciden las cintas 13 y 5, 15 y 7, 16 y 8, 17 y 9, 18 y 10, 19 y 11, 20 y 12 y 21 y 13, respectivamente. Comparando estos datos, en Altamira hay oleaje de mayor magnitud tanto en altura como en energía, aunque la diferencia no es muy grande y los períodos promedios son muy similares en ambos sitios.

Cada paso durante la instalación, recopilación, transferencia y procesamiento de los datos de oleaje debe realizarse con mucho cuidado, ya que pueden presentarse cualquiera de los errores mencionados en los capítulos anteriores y con esto la obtención de resultados incorrectos. En general la calidad de los datos, de las cintas que fueron procesadas de cada sitio, fue superior al 99 % de datos buenos, excepto los de Barra del Tordo, Tamaulipas donde se presentaron algunas cintas con porcentajes menores. La cinta de menor porcentaje es de 77.83 % de confiabilidad, sin embargo es aceptable.

Conclusión.

Las mayores alturas promedio se presentan hacia los meses de invierno. En Barra de Cazonas las alturas promedio del oleaje están entre 11 cm y 57 cm. En Altamira las alturas promedio están entre 24 cm y 60 cm. En Tuxpan estos valores están entre 10 cm y 44 cm. En Barra de Cazonas los valores promedio oscilan entre 21 cm y 43 cm. En el Mar Caribe, en Xcaret los promedios están entre 1 cm y 22 cm.

El intervalo promedio de periodos para Barra del Tordo está entre 5 y 7 segundos, en Altamira éste rango está entre 5 y 8 segundos, en Tuxpan y Barra de Cazonas los rangos están entre 3 y 4 segundos y entre 4 y 7 segundos, respectivamente. Finalmente en Xcaret los rangos promedios están entre 2 y 5 segundos.

El intervalo, de las direcciones promedios, de propagación del oleaje en cada uno de los sitios son: 131 y 191 grados en Barra del Tordo, 52 y 223 grados en Altamira, 127 y 327 grados en Tuxpan, 180 y 315 grados en Barra de Cazonas, y 25 y 322 grados en Xcaret.

Los espectros de densidad de energía del oleaje de cada sitio son bimodales. Las energías pico máximas de los espectros están asociadas a olas con periodos de 5 segundos, mientras que los picos menores se asocian a olas con periodos de 20 segundos.

Las alturas significantes y los valores máximos de densidad de energía de cada sitio se presentan hacia los meses de invierno. Como es de esperarse, existe una coherencia muy alta entre ambas series de datos y además están en fase, esto se debe a que los valores pico de alturas significantes corresponden a los valores pico de densidad de energía.

Las condiciones del oleaje en el Golfo de México son muy similares en todos los sitios estudiados. Comparativamente con el oleaje del Golfo de México el del Mar Caribe es de mucho menor altura y energía. Sin embargo, esto se concluye únicamente con los datos con los que se trabajó. Es importante recordar que las fechas de grabación de los datos pocas veces coinciden entre un sitio y otro, por lo que no se realizó un análisis comparativo completo entre cada sitio.

Bibliografía

- 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. 1974. The Fast Fourier Transform. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, E.U.A.
- Cartwright, D. E., y M. S. Longuet-Higgins, 1956. The statical distribution of the maxima of a random function, Proc. R. Soc. A. 237, 212-232.
- Goda, Y, 1985. Random Seas and Design of Maritime Structures, Univ. Tokyo. Pres, Tokyo, Japan.
- Gutiérrez, G. y D. Winant, 1995. Wind Stress and Stress Curl Patterns over the Gulf of Mexico Based on Station Observations, 1990-1993. Center for Coastal Studies, University of California, San Diego, E.U.A.
- Horikawa, K., 1978. Coastal Engineering: An introduction to ocean engineering. New York, John Wiley. 402 p.
- Longuet-Higgins, M. S. 1952. On the statistical distribution of the heights of sea waves, Jour. Mar. Res. 11(3), 245-266.
- Longuet-Higgins, M. S., D. E. Cartwright, y N. D. Smith, 1963. Observations of the Directional Spectrum of Sea Waves Using the Motion of a Floating Buoy, Ocean Wave Spectra. Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, E.U.A. 111-136.
- Longuet-Higgins, M. S. 1975. On the join distribution of the periods and amplitudes of sea waves, J. Geophys. Res. 80(18), 2688-2694.
- 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. 1990. 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 Engineering.
- Nagata, Y. 1964. 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.
- Padilla, R. 1989. Potencia y dirección del oleaje en la costa noroeste de la península de Baja California y su aprovechamiento. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias Marinas, UABC.
- Phillips O. 1958. The equilibrium range in the spectrum of wind-generated ocean waves. J. Fluid Mech. 107, 465.
- Plaisted, R. O. y F. Ocampo-Torres, 1979. Estudio Piloto para el Registro de Oleaje en las Costas del Pacífico de Baja California. Rep. Técnico No. 0179. CICESE. Ensenada, Baja California. México. 79p.
- Sea Data Corporation, 1983. Model 635-12 Directional Wave and Tide Recorder. Owner's User Handbook, Boston, E.U.A.
- Vidal, F.V., V.M. 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/10/13/5009/101/F.
- Young, *et. al.* 1987. Computation of the response of a wave spectrum to a sudden change in wind direction. J. of Phys. Ocean., 17:1317-1338.