

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS



**EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE EXTRACCIÓN DE ENERGÍA
ELÉCTRICA A PARTIR DEL OLEAJE, COMO POSIBLE FUENTE ALTERNA
EN ROSARITO, B. C.**

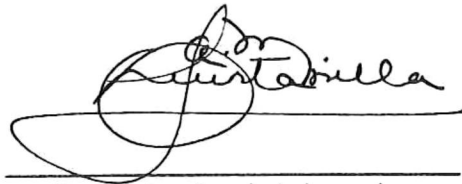
**T E S I S
QUE PARA OBTENER
EL TITULO DE OCEANÓLOGO
PRESENTA
LUIS MARIANO CERCA MARTINEZ**

ENSENADA, B. C., JUNIO DE 1995

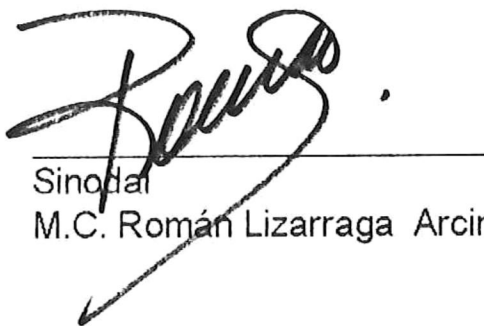
**EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE EXTRACCIÓN DE ENERGÍA
ELÉCTRICA A PARTIR DEL OLEAJE, COMO POSIBLE FUENTE ALTERNA
EN ROSARITO, B. C.**

**T E S I S
QUE PRESENTA
LUIS MARIANO CERCA MARTINEZ**

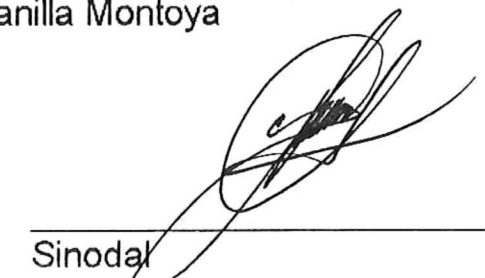
Aprobada por



Presidente del Jurado
M.C. Ana Luz Quintanilla Montoya



Sinodal
M.C. Román Lizarraga Arciniega



Sinodal
M.C. Roberto Padilla Hernandez

RESUMEN

Los recursos energéticos provenientes de fuentes no renovables son finitos y generan productos secundarios que impactan al medio ambiente de diversas formas, por lo que es necesario cambiar la política hacia el uso de los recursos renovables como fuentes de energía. Este documento provee un acercamiento al uso de la energía del oleaje como una posible fuente alterna en Rosarito, la energía extraída del oleaje no pretende sustituir completamente y en corto plazo a la fuente convencional de energía, pero puede hacer un aporte significativo. El recurso en la zona de Rosarito es abundante, y presenta una gran variabilidad temporal. Se determinaron dos períodos de máxima energía, 7 y 14 segundos a los que les corresponden alturas significantes promedio de 1.38 metros y 1.1 metros. Se propone el uso de un convertidor de la energía del oleaje del tipo *Salter's Duck* el cual se colocaría en la isóbata de los 25 metros, con una orientación al oeste y tiene una potencia de 70 kW. Las ventajas ambientales y socioeconómicas hacen que la extracción de energía del oleaje se presente como una oportunidad real y prometedora.

AGRADECIMIENTOS

A la M.C. Ana Luz Quintanilla Montoya por su asesoría, apoyo y confianza en la realización de este trabajo.

Al M.C. Román Lizarraga Arciniega por su ayuda en la obtención de los datos y al M.C. Roberto Padilla Hernández, ambos que dedicaron tiempo para las revisiones y discusiones de esta Tesis.

Al Arq. Luis Eduardo Carrillo por su ayuda en el material gráfico y a la Profa. Sara C. Ducoing Cordoba por sus aportaciones y su apoyo cuando es indispensable.

A los Oceanólogos Christian Apendini y Jose Manuel Puig por su ayuda en la determinación de algunos de los parámetros.

A la familia Salcedo Arce, especialmente a Dinorah, por su amistad, paciencia y apoyo.

A Erika C., Miguel Angel, Roberto, José Antonio y Bruno por su ayuda, compañerismo y discusión.

A mis compañeros de grupo Toto, Rulls, Héctor y Eriko por hacerme la vida más difícil y por haber aprendido juntos teórica y prácticamente.

A todos mis compañeros y amigos que conocí durante los últimos 6 años.

DEDICATORIA

A mis papás

Dr. SAMUEL CERCA GARCÍA

Profa. OLGA OBDULIA MARTÍNEZ MANDUJANO

y a su nieta

A mis abuelos

Sr. MARIANO MARTÍNEZ

Sra. ENGRACIA MANDUJANO

A mis hermanos

FERNANDO, SAMUEL E ILLER

A mis amigos.

CONTENIDO

	pags.
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	4
3. OBJETIVO	10
4. ÁREA DE ESTUDIO	11
5. METODOLOGÍA	13
5.1. Evaluación de la energía	13
5.2. Cálculo de las dimensiones del <i>Salter's Duck</i>	17
5.3. Ventajas ambientales y socioeconómicas del convertidor de energía del oleaje	20
6. RESULTADOS Y DISCUSIONES	22
6.1. Energía del oleaje en aguas profundas	22
6.2. Cálculo de la refracción	33
6.3. <i>Salter's Duck</i>	42
6.4. Ventajas ambientales y socioeconómicas	42
6.4.1. Impacto en la atmósfera	44
6.4.b. Impacto en el agua	44
6.4.c. Impacto en el sedimento	45
6.4.d. Impacto socioeconómico	45
7. CONCLUSIONES	48
8. BIBLIOGRAFÍA	49

SIMBOLOGÍA

H_s	altura significativa (metros)
H_o	altura de ola a una isóbata determinada
T	período (segundos)
λ	longitud de onda (metros)
λ_o	longitud de onda en una isóbata determinada
β	ángulo de aproximación del oleaje
β_o	ángulo de aproximación del oleaje en una isóbata determinada
z	profundidad
E	energía del oleaje (kw/m)
g	constante de aceleración por gravedad (9.81 m/s ²)
ρ	densidad del agua de mar (1025 kg/m ³)
K_s	coeficiente de refracción debido al cambio de profundidad
K_r	coeficiente de refracción debido al cambio de ángulo de aproximación
R_o	radio de la "panza" del aparato convertidor
K_D	constante de diseño = 0.0937 λ
R_2	radio circular
d	calado del aparato
r_D	radio interior
L_D	longitud del plano de agua
Λ	ángulo interior del aparato
R_o'	radio de la "panza" modificado
O	centro geométrico
O'	origen del radio R_o'
M	masa desplazada por el aparato
B	ancho del aparato
f_D	frecuencia natural de oscilación del aparato
T_D	período natural de oscilación del aparato
P_D	potencia disponible al sistema
P	potencia extractable
π	pi (3.141592)

LISTA DE TABLAS

- Tabla 1. Máximo, promedio y mínimo de energía (kW/m) para los diez años.
- Tabla 2. Características del oleaje más energético.
- Tabla 3. Medidas de los aparatos para los dos periodos más energéticos

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Valores de la potencia de oleaje promedio en el mundo (Constans 1979, tomada de Rivas, 1992).
- Figura 2. El aparato convertidor *Salter's Duck*.
- Figura 3. Localización del área de estudio y la Planta Termoeléctrica "Tijuana" en Rosarito, Baja California.
- Figura 4. Localización de la boya superficial en aguas profundas (estación 3) en Mision Bay (Tomada de Lambert, 1993).
- Figura 5. Batimetría del área de estudio (Comisión Federal de Electricidad, 1994).
- Figura 6. Notación para el *Salter's Duck*.
- Figura 7 y 8. Energía del oleaje en aguas profundas para los años de 1985 (7) y 1986 (8).
- Figura 9 y 10. Energía del oleaje en aguas profundas para los años de 1987 (9) y 1988 (10).
- Figura 11 y 12. Energía del oleaje en aguas profundas para los años de 1989(11) y 1990 (12).
- Figura 13 y 14. Energía del oleaje en aguas profundas para los años de 1991 (13) y 1992 (14).
- Figura 15 y 16. Energía del oleaje en aguas profundas para los años de 1993 (15) y 1994 (16).
- Figura 17. Promedios estacionales de energía.
- Figura 18. Promedios mensuales de energía.

- Figura 21. Distribución del período.
- Figura 22 y 23. Período contra altura significativa promedio y sus máximos y mínimos para cada una de los años de 1985 (22) y 1986 (23).
- Figura 24 y 25. Período contra altura significativa promedio y sus máximos y mínimos para cada una de los años de 1987 (24) y 1988 (25).
- Figura 26 y 27. Período contra altura significativa promedio y sus máximos y mínimos para cada una de los años de 1989 (26) y 1990 (27).
- Figura 28 y 29. Período contra altura significativa promedio y sus máximos y mínimos para cada una de los años de 1991 (28) y 1992 (29).
- Figura 30 y 31. Período contra altura significativa promedio y sus máximos y mínimos para cada una de los años de 1993 (30) y 1994 (31).
- Figura 32. Períodos contra los promedios de la altura significativa para los diez años de observaciones.
- Figura 33. Dirección para cada intervalo de períodos para 6 años de observaciones en el área de estudio (modificado de García, 1994).

1. INTRODUCCIÓN.

En el estado de Baja California se genera una gran cantidad de energía eléctrica, que proviene principalmente de las plantas de Cerro Prieto (geotérmica) con una producción de 620 MW y Rosarito (termoeléctrica) con 627 MW mensualmente. Ambas plantas generan contaminantes que impactan el medio ambiente, los cuales son gases no condensables como CO₂, H₂S, NH₃ y salmuera residual en Cerro Prieto; productos secundarios que son emitidos a la atmósfera como CO₂, CO, NO_x (compuestos con , SO₂, SO y el agua que se utiliza para enfriamiento de las turbinas de la termoeléctrica y que se regresa al Océano Pacífico en Rosarito (Quintero *et al*, 1993).

Es sabido que los recursos energéticos derivados de hidrocarburos son finitos, por lo que es necesario modificar la política energética hacia un enfoque de uso de energía a partir de fuentes alternativas y utilizar los recursos renovables.

El estado de Baja California posee características que lo hacen ser un gran prospecto para el desarrollo y funcionamiento de instalaciones en el aprovechamiento de fuentes alternativas de energía a partir de recursos renovables. Entre otras, podemos mencionar la energía geotérmica que en la actualidad es explotada en la Planta Geotermoeléctrica de Cerro Prieto en Mexicali. La energía solar también puede jugar un papel importante puesto que Baja California es un estado desértico de baja precipitación pluvial, entre 300 y 400 mm de precipitación anual y 50 mm en la porción más seca, y presenta un gran número de días soleados anualmente. Asimismo, la energía eólica es otra fuente prometedora en algunas zonas del estado en las que las velocidades que alcanza el viento son considerables, sobre todo en la costa del Pacífico.

Como recurso renovable, la energía oceánica representa un gran potencial en nuestro país que cuenta con 10,000 km de costa y 200 millas de zona exclusiva y en el Estado de Baja California, con 1280 km de litoral, 720 km en la costa Oeste y 560 km en la costa del Golfo de California. La energía oceánica es un recurso abundante que está ampliamente distribuido alrededor del mundo, y puede ser transformada a formas útiles a partir del oleaje, las mareas, los gradientes de temperatura y densidad entre las capas de agua oceánica y de procesos bloquímicos, entre otros. Sin embargo hay que tomar en cuenta su variabilidad espacio-temporal (Homma, 1985).

Este estudio propone el uso de energía del oleaje como una fuente alterna y se compara con una fuente convencional en explotación actual.

Las olas se generan por el viento que sopla sobre la superficie del océano, por lo que son una forma concentrada de la energía del viento, y la extracción de energía es más eficiente que la de éste (Charlier y Justus, 1993). Debido a que los vientos cambian constantemente en velocidad y dirección, la superficie del mar nunca esta compuesta de olas regulares. Durante una tormenta se forman olas de gran altura y período que pueden viajar grandes distancias sin tener pérdidas significantes de energía hasta que se disipan en la línea de costa (Charlier y Justus, 1993). En general las características del oleaje presentan patrones regulares, son más altas en invierno que en verano y tambien varían de localidad a localidad.

Para estimar el contenido de energía del oleaje, es necesario obtener una gran cantidad de datos sobre sus características y distribución, mediante técnicas visuales ó instrumentales. Este tipo de datos son escasos en el mundo y en muchas

ocasiones se carece de información de la dirección del oleaje. Las fuentes de datos disponibles más abundantes provienen de procedimientos numéricos de predicción a partir de información meteorológica, después los datos obtenidos por observaciones visuales de oficiales en barcos mercantes, y finalmente los datos obtenidos por boyas (Brin, 1981).

Las estimaciones de costo de la energía producida por oleaje son difíciles de llevar a cabo por lo limitado de los datos, pero conforme con una estimación realizada en 1993 en Inglaterra, el costo para instalar convertidores como el *Salter's Duck* fluctúa entre \$1,000 y \$2,000 dólares por kW instalado (Charlier y Justus, 1993).

En este trabajo se compara una fuente alterna de energía (oleaje) y una fuente convencional (termoeléctrica) que está siendo actualmente explotada en el área. El uso de una fuente alterna por sí sola, como la oceánica, no pretende sustituir a la fuente convencional pues aún no llega a competir económicamente, sin embargo la combinación con otras fuentes alternas pueden dar un aporte significativo para satisfacer los requerimientos de energía del estado y del país de forma limpia y sin contaminación. México es un país altamente dependiente de un solo tipo de energéticos para cubrir nuestras necesidades, por lo que el Programa de Energía señala como meta indicativa que para el año 2,000 la producción de energía primaria por fuentes no convencionales deberá contribuir con el 5% (De Alba, 1988), siendo una de éstas, la energía que se puede obtener a partir del oleaje.

2. ANTECEDENTES

La conversión de energía del oleaje ha sido, entre las marinas, la fuente más atendida por los investigadores. Muchos han sido los esfuerzos con el fin de obtener esta energía y un gran número de sistemas han sido objeto de pruebas costosas ya que la magnitud del recurso justifica esta actividad (Brin, 1981).

La historia de la tecnología de utilización de energía del oleaje comenzó en 1799 en Francia (Maeda, 1985) y hoy en día se estudia en varios países por ser un recurso natural marino de rápida renovación. La cantidad de energía proveniente de este recurso fue estimado por Maeda (1985) obteniendo un promedio de 90 Kw por cada metro de frente de ola. Desde 1985 ha habido una actividad considerable, principalmente en Gran Bretaña, Japón y Escandinavia para examinar el problema que implica generar grandes cantidades de energía a partir del oleaje (Salter, 1974; Masuda, 1979 en Korde, 1990). Sin embargo, los trabajos más recientes apoyan la idea de aplicaciones de energía oceánica en pequeña y mediana escala, en algunos de los cuales la energía eléctrica no es el producto final, por ejemplo para la desalinización de agua de mar (Korde, 1990). La ventaja más importante de los generadores impulsados por oleaje es que no se necesita combustible para operarlos, intrínsecamente estos generadores realizan la conversión a energía eléctrica o mecánica de forma limpia y sin contaminar.

En 1981, se contaba ya con más de 1000 técnicas patentadas para la conversión de energía del oleaje entre Japón, Norteamérica, Oeste de Europa y la Gran Bretaña. Sin embargo, la mayoría de estos diseños son simplemente

variaciones de unas cuantas ideas básicas en las cuales, según McCormick (1981) se incluyen: a) cuerpos pesados en movimiento, utilizando el alza y baja de la ola para producir movimiento mecánico; b) resonadores huecos, basados en la compresión de aire dentro de depósitos huecos mediante una combinación de válvulas de entrada y salida; c) aparatos de presión, su principio es la utilización de la variación de presión hidrostática de fondo al paso de las olas, actuando como bombas hidráulicas que accionan turbinas; d) convertidores de oleaje tipo *surging*, que actúan como receptores del golpe de la ola al romper, moviendo una especie de pistón el cual acciona un sistema hidráulico; e) convertidores de partículas en movimiento, que se basa en el movimiento que las partículas siguen al paso de una onda (movimiento circular - elíptico) para hacer girar aspas y a su vez lo que sería propiamente el generador.

Con base en observaciones visuales de altura y longitudes de onda en varias partes del mundo, Constans (1979 en Rivas, 1992) calcula valores de 14 MWh/m en promedio anual para la potencia del oleaje en la costa oeste de la Península de Baja California, correspondiendo los valores más altos a la porción Norte de la Península (Figura 1).

En particular, en la costa oeste de Baja California se considera (Rivas, 1992) como oleaje bajo olas de hasta 0.5 m de altura, hasta de 2.5 m como oleaje medio y hasta de 4 m como oleaje alto en condiciones de tormenta de invierno, alcanzando en casos extremos hasta los 7 m de altura. Rivas (1992) mostró en su trabajo que considerando que la costa Oeste de Baja California tiene una longitud de 720 km, y que el oleaje tuviese una altura promedio de 1 m y un período de 10 s, aplicando la fórmula para calcular la energía de Kinsman (1965) se tendría que esta zona recibe

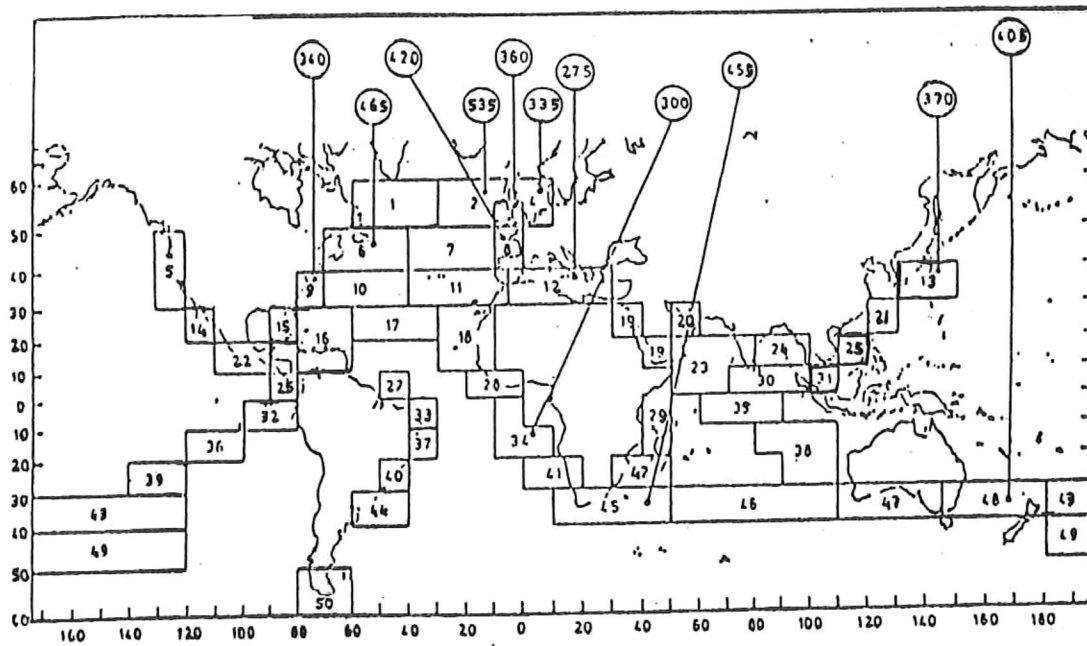


Figura 1. Valores de la potencia de oleaje promedio en el mundo (Constans 1979, tomada de Rivas, 1992).

una potencia de 6.89×10^9 W, lo que equivale a 1.6536×10^8 kWh diarios. Una familia consume en promedio alrededor de 5 kWh al día, si se considera la instalación de un convertidor de energía del oleaje cuya eficiencia de conversión fuera de 20 %, resulta que la cantidad de energía que se podría obtener de la costa oeste de Baja California bastaría para suministrar energía a más de 6.5 millones de familias. Este ejemplo hace notar el gran potencial de nuestras costas, aunque resulta irreal construir un sistema de tal magnitud.

La energía oceánica ha sido utilizada de diversas formas, para activar boyas, para iluminar muelles, y para proveer energía eléctrica a algunas comunidades en Japón, entre otras (Charlier y Justus, 1993).

Actualmente los sistemas de producción de energía eléctrica a partir del oleaje que se encuentran en mayor desarrollo son: el Atolón de Lockheed, el *Nodding Duck* de Salter, la Balsa de Cockerell, la Columna Oscilante de Masuda, el Rectificador Hidráulico y la boya de Isaac (Charlier y Justus, 1993).

El *Nodding Duck* (Salter, 1974), es un aparato innovador y uno de los más exitosos, este aparato es una leva cuyo centro de masa difiere del centro de rotación y hace un movimiento de balanceo con las crestas y valles del oleaje incidente, está diseñado para extraer energía por medio de un movimiento semirotatorio inducido por las olas que arriban, Salter sugiere la producción electrolítica de hidrógeno como almacenamiento de esta energía generada y calcula que su aparato tiene un 80% de eficiencia (Figura 2). El mismo autor menciona que la instalación de unos cuantos cientos de kilómetros de convertidores alineados podrían cubrir la demanda total de energía eléctrica de Inglaterra.

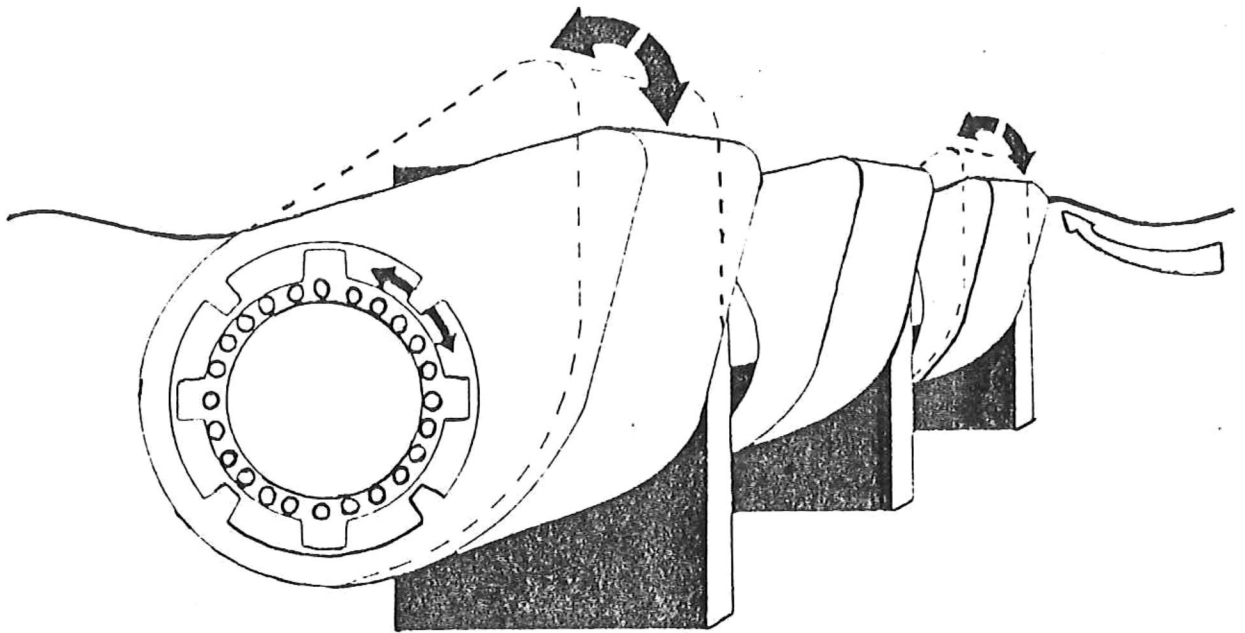


Figura 2. El aparato convertidor *Salter's Duck*.

Swift-Hook *et al.* (1975 citado por Charlier y Justus, 1993) predijeron una eficiencia por encima del 90% para ciertas características del *Salter's Duck*.

Estudios desarrollados por Carmichael (1978) y Serman (1978) (en Padilla, 1989), sobre el aparato de Salter, predicen una eficiencia del aparato por encima del 90%. En cuanto al proceso de conversión de la potencia absorbida por el *Salter's Duck*, Salter (1974) propone un sistema hidráulico para convertir el movimiento de balanceo del aparato en movimiento rotatorio para impulsar un generador eléctrico. El aparato completo consiste de un núcleo central, llamado espina, sobre la que se montan varias secciones (*noddig ducks*) del aparato.

En 1989 Padilla realiza un estudio de series de tiempo de oleaje en la zona de Rosarito y concluye que el oleaje más energético en la zona de estudio fue el "swell" cuya banda de frecuencia es de 0.0625 Hz, que corresponde a un período de 16 segundos y aporta un 36.56 % del total de la energía. Las direcciones de arribo se alternan entre suroeste y noroeste, sin embargo el oleaje más energético proviene del noroeste entre los 37.6° y 85° a partir del norte. La distribución de la potencia en el tiempo va de menor a mayor de octubre a febrero siendo este mes donde existe el oleaje de mayor potencia con 25.51 kW/m en promedio. Padilla (1989) propone la colocación de un aparato de conversión (*Salter's Duck*) en la isobata de los 25 m, pero no determina una dirección preferencial de arribo del oleaje para darle una orientación al aparato de extracción de la energía.

Rivas (1992) diseña y construye un aparato experimental de conversión de energía del oleaje y concluye que el oleaje como fuente energética marina, representa un recurso natural altamente renovable cuyas posibilidades de explotación son reales.

En cuanto al impacto ambiental que produce la termoeléctrica en la zona Quintero *et al*, (1993) realiza un análisis del impacto ambiental de dos sistemas diferentes en el Estado de Baja California y concluye que, aunque ambas plantas han incrementado el desarrollo económico en el estado, la contribución al impacto ambiental de la termoeléctrica de Rosarito es relativamente mayor que aquel producido por la planta geotérmica de Cerro Prieto.

3. OBJETIVO

El objetivo de este trabajo es evaluar la capacidad de extracción de energía eléctrica a partir del oleaje y mencionar algunas de sus ventajas ambientales y socioeconómicas en Rosarito, Baja California, México.

4. ÁREA DE ESTUDIO

El poblado de Rosarito se encuentra localizado en el municipio de Tijuana, B.C. al noroeste de la Península de Baja California entre los 32° 20' y 32° 23' de latitud norte y 117° 03' y 117° 05' de longitud oeste. La Termoeléctrica "Tijuana", se encuentra ubicada en el kilómetro 23.5 de la carretera libre Tijuana - Ensenada a los 32° 23' N y 117° 04' W en la zona conocida como Playas de Rosarito (Figura 3), cubre una extensión aproximada de 10 hectáreas colindando al Norte con el gasoducto y la planta almacenadora de Petróleos Mexicanos (PEMEX), al Sur se encuentra el asentamiento turístico de Rosarito, al oriente la carretera libre y al poniente el Océano Pacífico. El crecimiento de Rosarito está principalmente asociado con el desarrollo de servicios turísticos. Es una zona altamente poblada en relación a las comunidades del estado, (23,000 habitantes) y a pesar de ser una localidad litoral no genera una actividad costera muy importante.

El oleaje en la zona presenta un comportamiento estacional correspondiendo los valores mayores de altura y período a los meses de invierno, diciembre a febrero, mientras que en los meses de verano, junio a agosto, se presentan condiciones menos energéticas (período de calma) en los que el período del oleaje predominante es 6 segundos. Las corrientes marinas cercanas a la costa tienen una dirección norte-sur y el relieve costero no es profundo (Quintero *et al*, 1993).

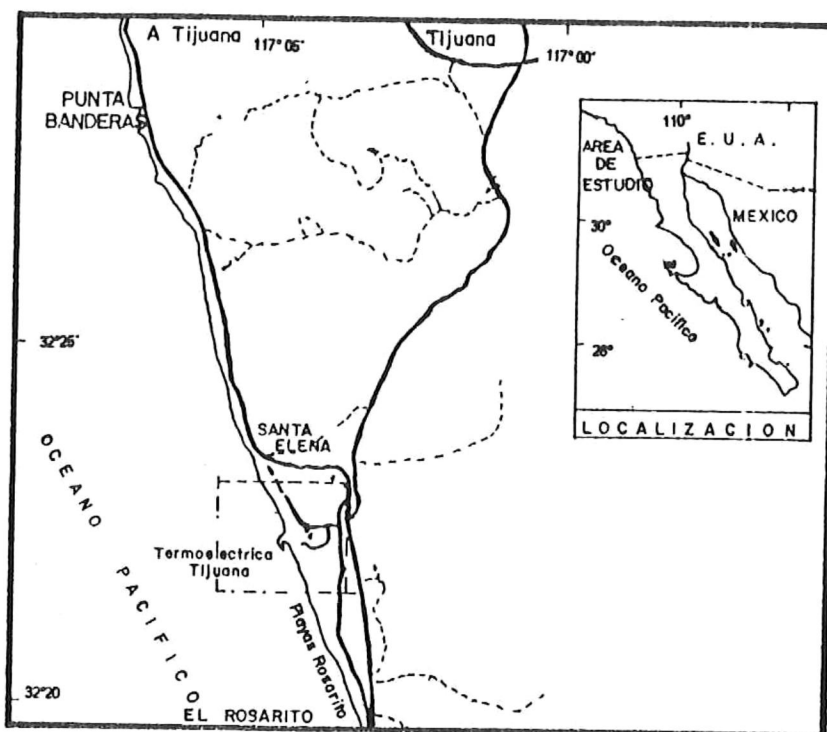


Figura 3. Localización del área de estudio y la Planta Termoeléctrica "Tijuana" en Rosarito, Baja California.

5. METODOLOGÍA

5.1. Evaluación de la energía

Los parámetros del oleaje que se utilizan para la evaluación de la energía proveniente de éste recurso en la zona de Rosarito, B.C., se obtuvieron de los reportes mensuales del Programa de Información de Datos Costeros (CDIP) publicados por ingenieros de la armada de los Estados Unidos (U.S. Army Corps Of Engineers) para el período comprendido entre los meses de enero de 1985 a septiembre de 1994. Estas mediciones fueron registradas mediante una boya superficial localizada aproximadamente a los $32^{\circ} 44.8'$ de latitud Norte y $117^{\circ} 22.2'$ de longitud oeste, en aguas profundas, cerca de la entrada de Mision Bay, California, (Figura 4). Se eligió el uso de estos datos por ser los más cercanos a la zona de estudio, además de que las modificaciones por refracción que sufre el oleaje al arribar a aguas someras no es tan importante por ser la costa de Rosarito una costa abierta (Lambert, 1993).

El oleaje en esta zona cumple con la condición de Hagerman (1985) que establece como áreas operacionales aquellas que presentan alturas de ola significativa de más de 1 metro y una altura máxima de ola (en 1000 olas) de 12.5 metros de altura.

De los reportes de CDIP se tomaron datos diarios de altura significativa (en metros) y período (en segundos) del oleaje de máxima energía. Se tomaron los períodos correspondientes al máximo pico espectral por ser una buena aproximación del período de ola dominante para cada día (Thompson, 1980), y lo denominaremos T. Es importante hacer notar que la boya no mide las direcciones del oleaje

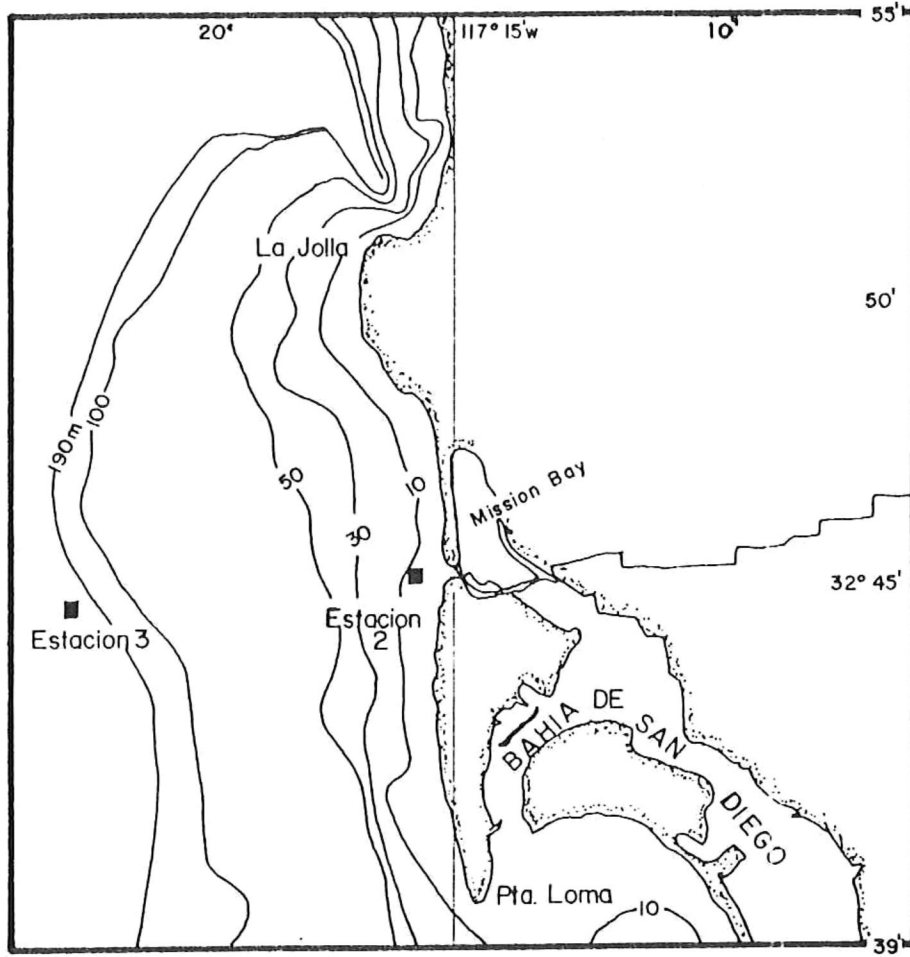


Figura 4. Localización de la boya superficial en aguas profundas (estación 3) en Mision Bay (Tomada de Lambert, 1993).

Como los datos publicados son para aguas profundas, la energía del oleaje puede ser calculada por la fórmula tomada de Charlier y Justus (1993):

$$E \approx 0.96 H_s^2 T \quad (\text{kW/m}) \quad (1)$$

en la cual E es la energía media en unidades de trabajo, H_s la altura significativa en metros y T el período (en segundos) de máxima energía.

Además de la altura y el período, un tercer parámetro, el ángulo de aproximación con que el oleaje arriba a la costa, si bien no está relacionado con el diseño del aparato convertidor, es necesario para estimar la orientación del aparato convertidor para obtener ventaja del máximo impacto.

Las direcciones del oleaje, para los períodos más energéticos se obtuvieron con base en publicaciones de trabajos realizados en las costas del sur de California y Norte de Baja California y en el área de estudio (Padilla, 1989; Wlegel, 1993; García, 1994)

Mediante gráficas de el período contra altura significativa promedio anual y el período contra la cantidad de energía, se obtuvieron los períodos con mayor aporte a la cantidad total de energía y altura significativa promedio correspondiente. Para realizar los cálculos de la cantidad de energía obtenida mediante el aparato se utilizaron las alturas significantes promedio de los diez años de información.

La información del perfil batimétrico se obtuvo del levantamiento batimétrico de la Central Termoeléctrica Rosarito, B.C. con fecha de Junio de 1994 publicado por la Gerencia de Estudios de Ingeniería Civil, Subgerencia de Estudios Hidrográficos de la Comisión Federal de Electricidad (Figura 5). Suponiendo que las isobatas más profundas son paralelas a la isóbata de 10 metros, se procedió a calcular la refracción sufrida por el oleaje, mediante la metodología tomada de McCormick (1981), para obtener los ángulos de aproximación del oleaje en la costa.

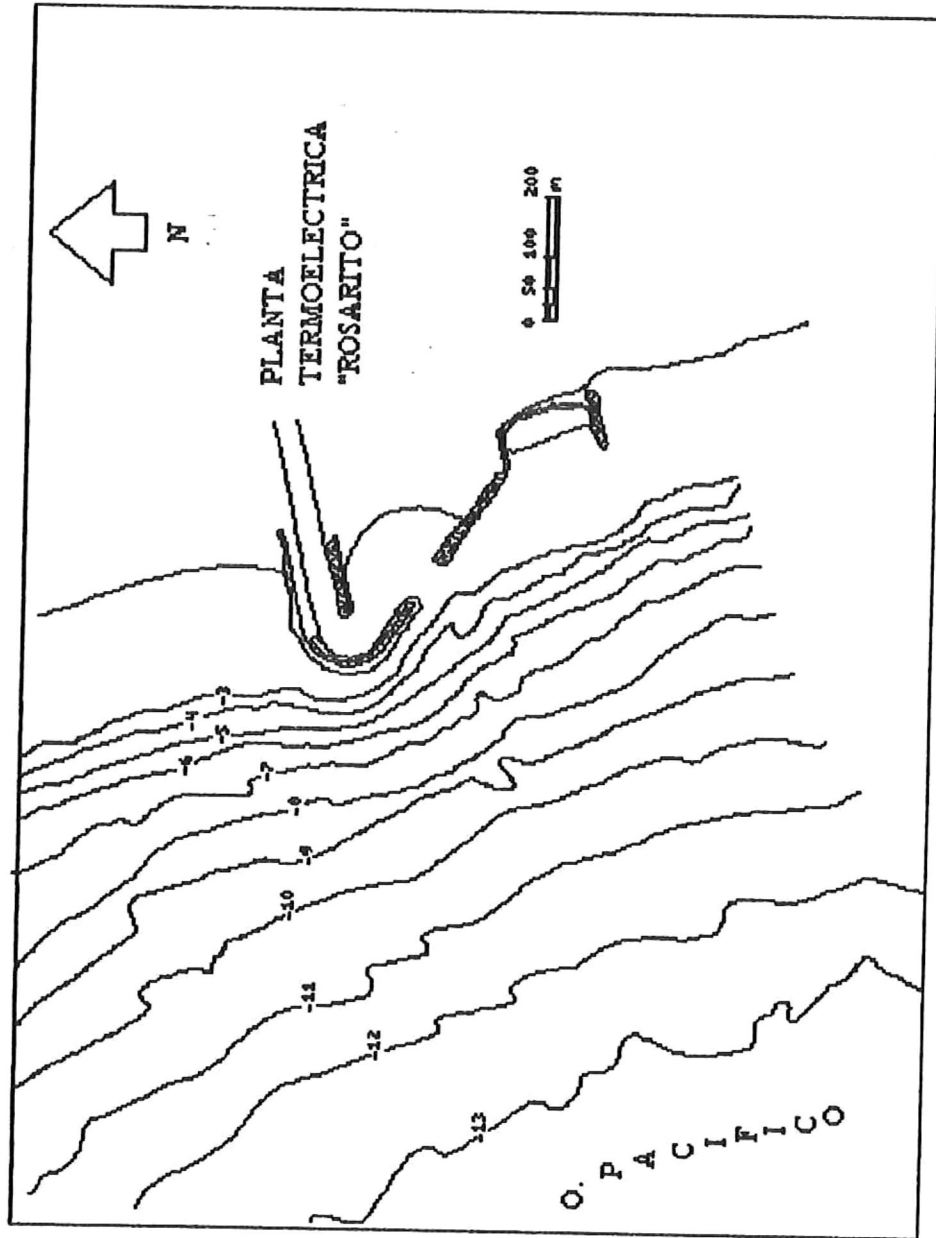


Figura 5. Batimetría del área de estudio (Comisión Federal de Electricidad, 1994).

5.2. Cálculo de las dimensiones del *Salter's Duck*.

Una vez conocidos los parámetros de período y altura representativos para la zona y habiendo evaluado la magnitud del recurso energético, se procedió a calcular las dimensiones y eficiencia del *Salter's Duck* (Figura 6), siguiendo los pasos descritos en McCormick (1981).

Primero se calculó la longitud de ola correspondiente al período utilizado (Teoría lineal):

$$\lambda = \frac{gT^2}{2\pi} \quad (2)$$

Salter (1976 en McCormick, 1981) especifica entonces el radio de la "panza" del aparato, R_0 , como:

$$R_0 = K_D e^{2\pi z/\lambda} \quad (3)$$

donde K_D es una constante de diseño que se determina en $z = -2R_2$ para un supuesto valor de $\lambda/R_2 = 20$ de acuerdo con los resultados obtenidos por Salter (1974). De esta manera la constante de diseño es:

$$K_D = 0.0937 \lambda \quad (4)$$

El calado d del *Salter's Duck* se obtiene de:

$$d = 2 R_2 \quad (5)$$

Si suponemos que el centro de masa del *Salter's Duck* se encuentra de manera tal que r_D y R_D coinciden donde $r_D = 0.3 R_D$ y refiriéndonos a la figura (6), se tiene que la longitud del plano de agua (L_D) es:

$$\begin{aligned} L_D &= R_D \cos(\Lambda) \\ &= (R_D^2 - R_2^2)^{1/2} \end{aligned} \quad (6)$$

donde $R_D = R_0|_{z=0}$ y Λ es el ángulo formado entre la horizontal y el radio R_D , que es el radio que intersecta la superficie del agua.

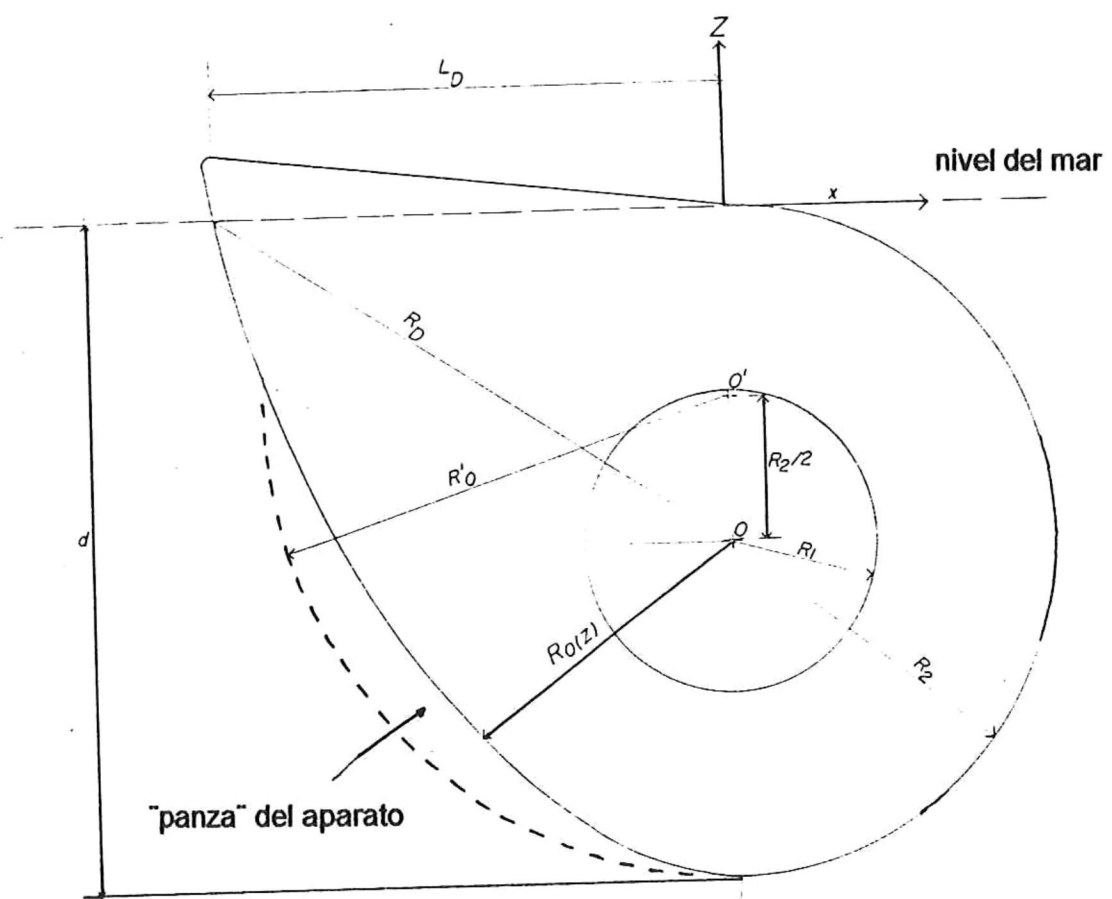


Figura 6. Notación para el *Salter's Duck*.

Salter (1976 en McCormick, 1981) supone que la masa desplazada es igual a la masa (M) del sistema, aunque esto no es necesariamente cierto pues una pequeña parte del aparato queda sobre el nivel de la superficie. Antes de calcular el valor de la masa desplazada por el aparato, McCormick (1981) modifica el diseño ideal de Salter para: (a) simplificar los cálculos de la masa desplazada y (b) facilitar la construcción del *nodding duck*. Esta modificación se lleva a cabo reemplazando el radio de la panza (R_0), por un arco circular de radio

$$R_0' = 1.5 R_2 \quad (7)$$

con su origen O' en $z = -R_2/2$

Usando esta geometría modificada y suponiendo un ancho del *Salter's Duck* $B=2R_2$ la masa (M) desplazada es

$$M = \rho B \left\{ \frac{\pi R_2^2}{2} + 0.222\pi (R_0')^2 + 0.5 (R_0')^2 \sin(10^\circ) [\cos(10^\circ) + \tan(10^\circ)] + \frac{R_2 L_D}{2} - \frac{R_2^2}{8} \tan(10^\circ) \right\} \quad (8)$$

Ahora procedemos a calcular la frecuencia natural del sistema (f_D), que es la frecuencia a la cual el aparato entraría en resonancia con el oleaje:

$$f_D = \frac{1}{2\pi} \left\{ \frac{1/3 \rho g L_D^3 B - M g r_D \sin(\Lambda)}{2 \{ 1/32 \pi \rho B [(L_D/\cos(\Lambda))^2 - R_2^2] \}} \right\} \quad (9)$$

Si al calcular ésto el período natural del sistema (T_D) no es igual al período de las olas más energéticas (T), simplemente los igualamos para obtener la nueva posición de r_D , lo cual se hace para que el aparato entre en resonancia el oleaje y obtenga ventaja sobre las condiciones de éste.

El porcentaje de potencia disponible al aparato es:

$$\frac{P_D}{P} = (1 - e^{-2kd}) \quad (10)$$

La potencia puede ser calculada mediante la siguiente ecuación (McCormick, 1981), la cual multiplicada por la eficiencia nos da la potencia de salida del aparato.

$$P = [B \rho g (\lambda / T) H_S^2] / 16 \quad (11)$$

5.3. Ventajas ambientales y socioeconómicas del convertidor de energía del oleaje.

Se mencionan las ventajas ambientales y socioeconómicas de la fuente alterna (oleaje) contra la actualmente explotada (termoeléctrica). Se diagnosticaron los posibles impactos de la planta de extracción de energía del oleaje, esta parte se realizó con base en un trabajo previo (Quintero *et al*, 1993) y se propone una tabla de evaluación de impacto de la fuente alterna y el impacto causado por la termoeléctrica, en donde toma tres diferentes signos para la dirección del efecto: (+), (0) y (-). Se dió un intervalo de valores para evaluar la magnitud de acuerdo a su importancia relativa de 0 a 5.

El efecto geográfico de las plantas se evaluó de la siguiente manera:

- restringido, dentro de las instalaciones. (1)
- local, dentro de la periferia (2)
- regional, dentro del municipio y cruzando la frontera (3)
- Global (4)

El valor total de las columnas en la matriz es la suma de los productos considerados para estimar el Impacto total de la planta, y la suma algebraica de los renglones ayuda a identificar la contribución de cada variable al total.

6. RESULTADOS Y DISCUSIONES

6. 1. Energía del oleaje en aguas profundas.

De la figura 7 a la 16 se observan las variaciones de la energía del oleaje del año 1985 a 1994 en aguas profundas en la costa noroeste de Baja California, es notoria la alta variabilidad del recurso, que presenta niveles altos y bajos alternados durante todo el periodo de observaciones.

Se puede decir que la refracción no es muy importante por que Rosarito presenta una costa abierta (Lambert, 1993), y por la cercanía con el área de estudio. Se puede entonces suponer que la energía en aguas profundas es prácticamente la misma que en la costa, sin embargo, la refracción se realizó para conocer los ángulos con los que se aproxima el oleaje a la costa.

En la Tabla 1 se muestran el máximo, media y mínimo de la energía para cada uno de los años y el promedio del máximo, la media y el promedio del mínimo para el total de las observaciones.

Tabla 1. Máximo, promedio y mínimo de energía (kW/m) para los diez años.

	Máximo	Promedio	Mínimo
1985	120.4	13.2	2
1986	146	15.5	2
1987	90	15.7	2
1988	560	16	1.4
1989	69.7	12.3	1.7
1990	136.9	13.5	1.7
1991	137	16.9	1.4
1992	105	15.9	1.4
1993	65	15	2.8
1994	49	12.6	2
Promedio Total	147.9	14.66	1.84

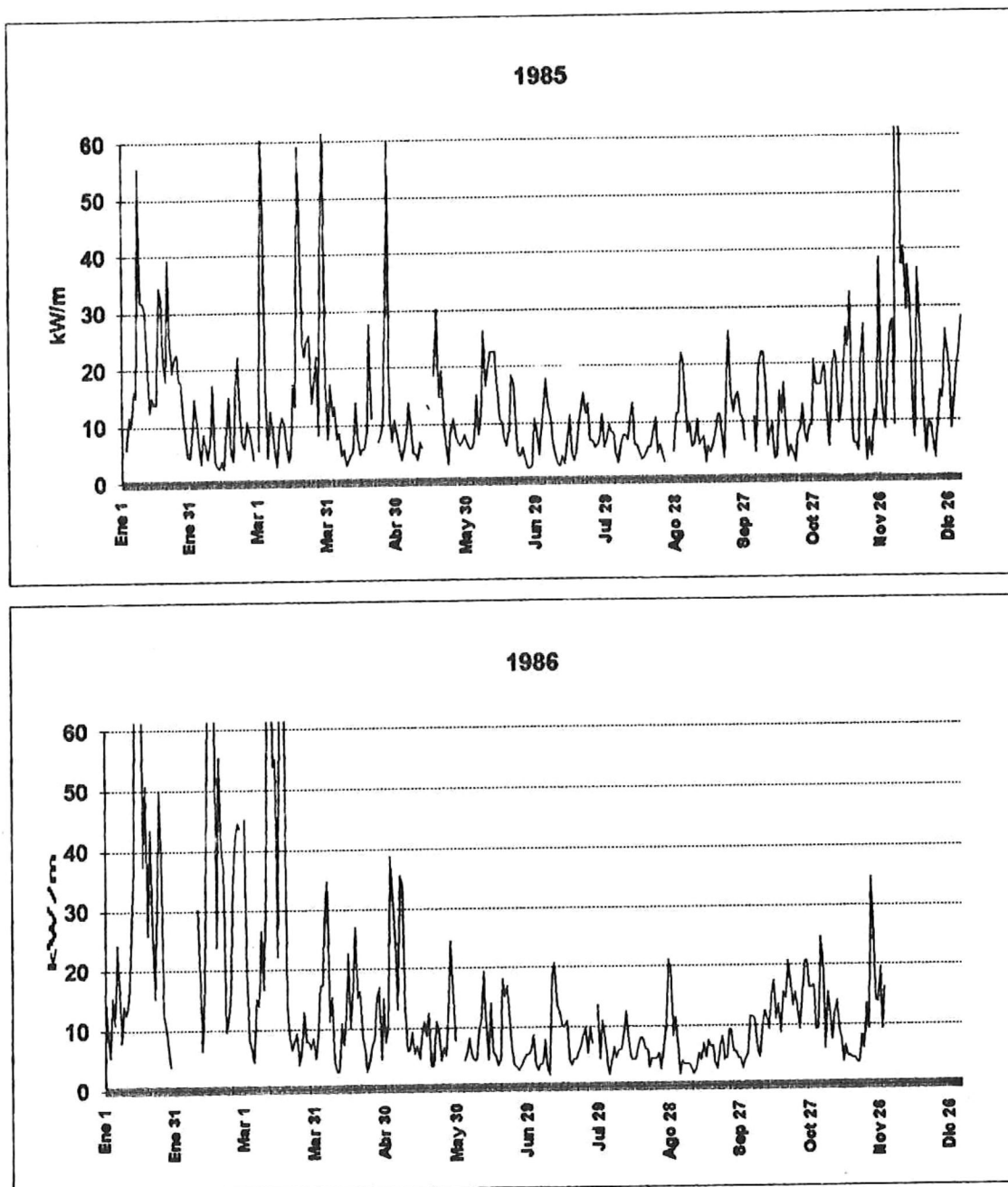


Figura 7 y 8. Energía del oleaje en aguas profundas para los años de 1985 (7) y 1986 (8).

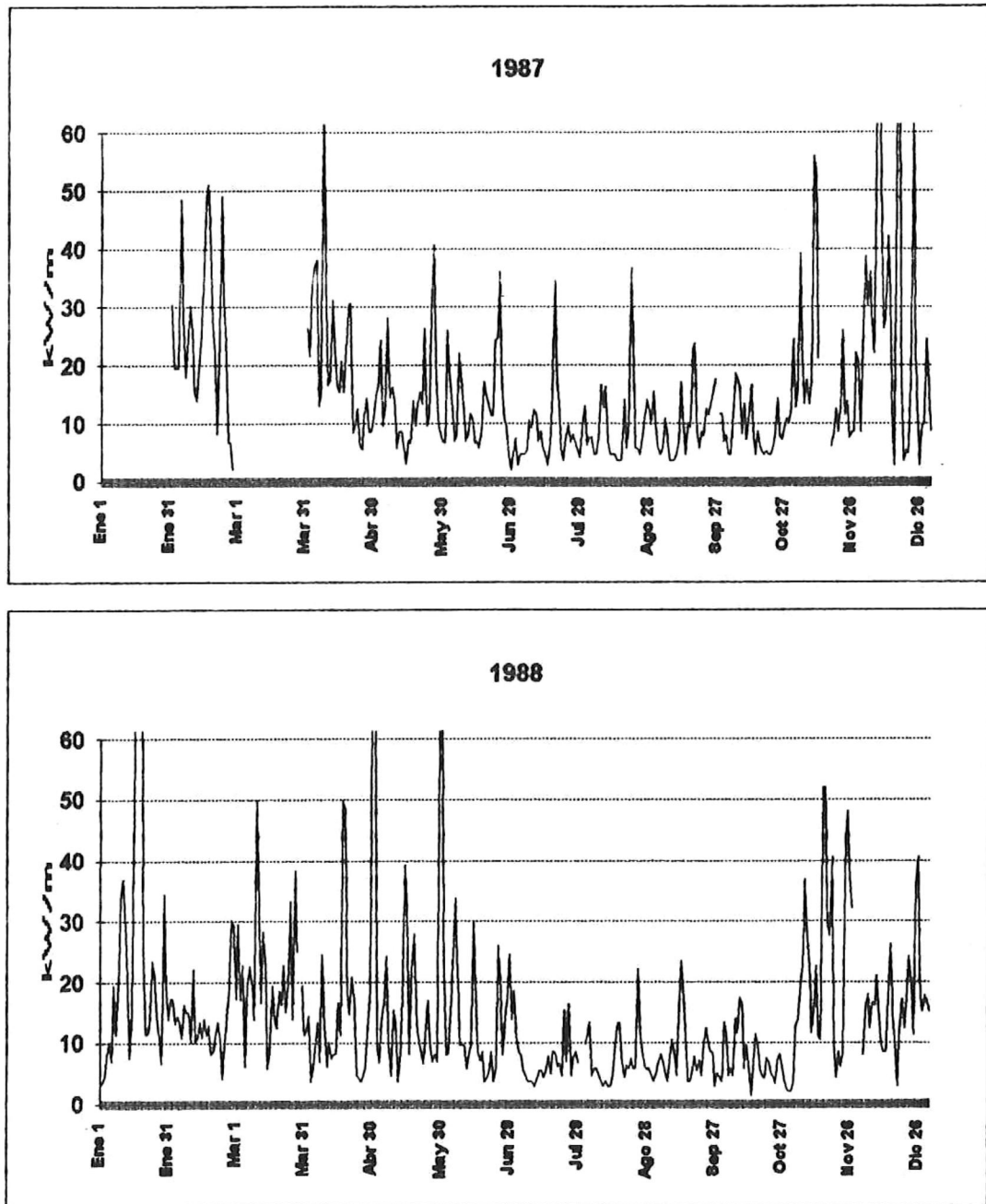


Figura 9 y 10. Energía del oleaje en aguas profundas para los años de 1987 (9) y 1988 (10).

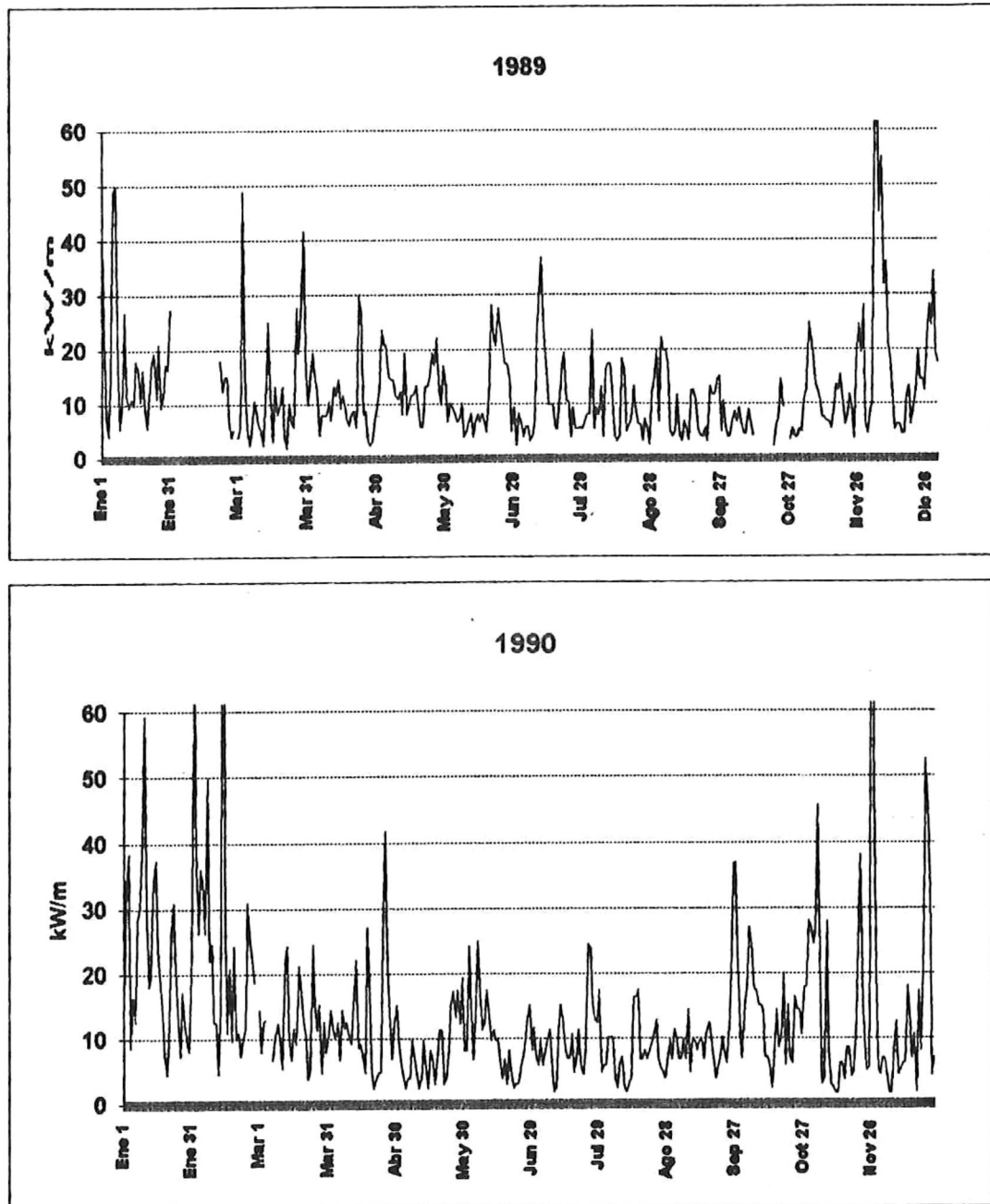


Figura 11 y 12. Energía del oleaje en aguas profundas para los años de 1989(11) y 1990 (12).

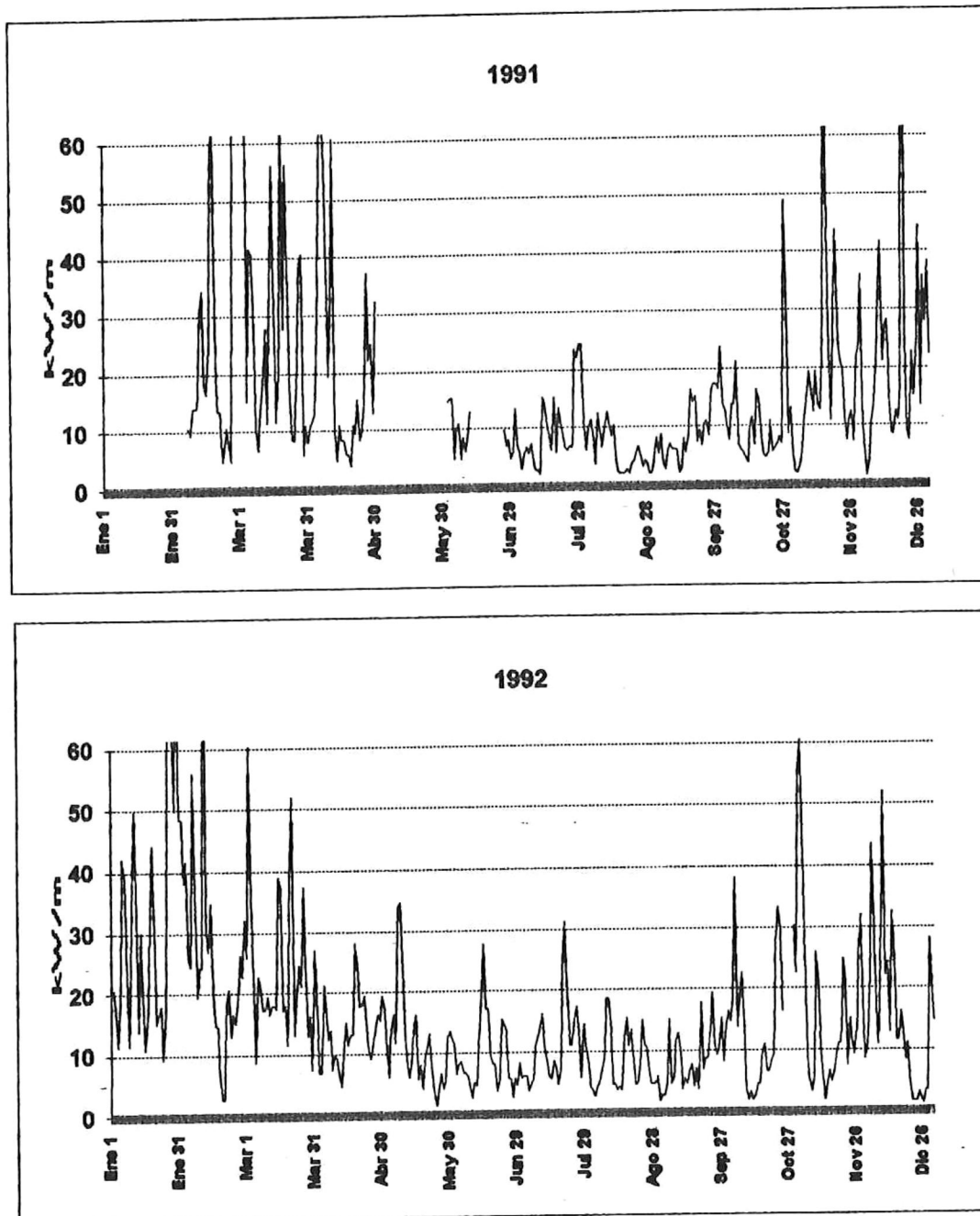


Figura 13 y 14. Energía del oleaje en aguas profundas para los años de 1991 (13) y 1992 (14).

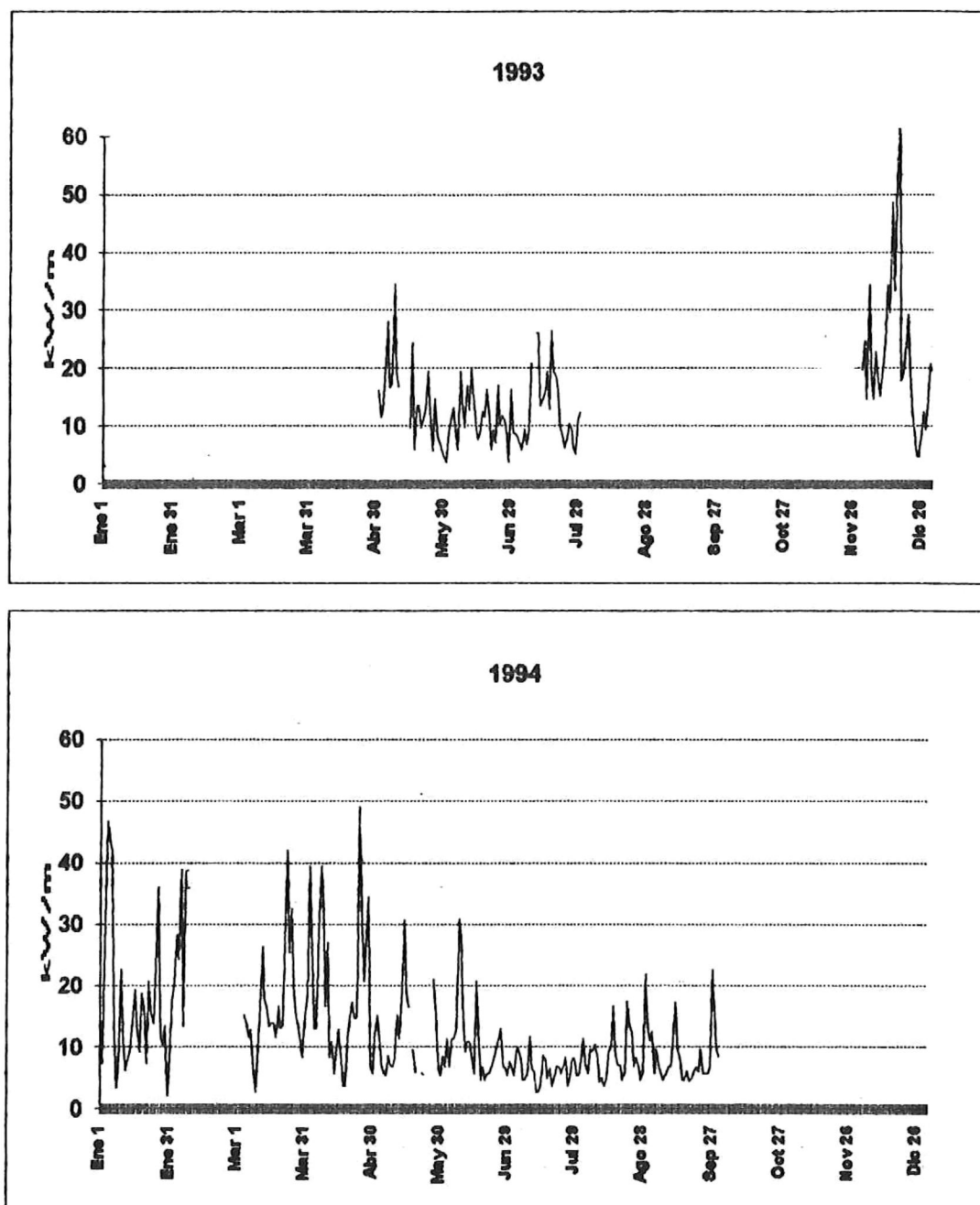


Figura 15 y 16. Energía del oleaje en aguas profundas para los años de 1993 (15) y 1994 (16).

El promedio total para los diez años es 14.7 kW/m, el promedio de los mínimos 1.84 kW/m, y el promedio de los máximos 147.9 kW/m. En general se observa un comportamiento estacional más que mensual como se demuestra en las figuras 17 y 18, la energía del oleaje aumenta significativamente en los meses de invierno (diciembre, enero y febrero), descargando en el caso excepcional de la tormenta de enero de 1988 hasta 560 kW/m, para disminuir a valores que oscilan entre los 15 y 25 kW/m en los meses de primavera (marzo, abril y mayo) y entre los 5 y 15 kW/m en los meses de verano (junio, julio y agosto). En los meses de otoño (septiembre, octubre y noviembre) la energía comienza nuevamente a aumentar, hasta alcanzar los valores de invierno.

En la figura 19, se muestra la energía producida por olas de 3 metros de altura o más, es necesario destacar los eventos de febrero y marzo de 1986, de enero de 1988, y de noviembre de 1991, en los cuales el valores de energía se dispara a más de 100 veces de los valores comunes. Son importantes estos eventos con alturas mayores de tres metros por la cantidad de energía que pudiera obtenerse durante su duración, sin embargo hay que tomar en cuenta los daños que podrían causar a las instalaciones.

En caso del evento de los días 17 y 18 del mes de enero de 1988 se produjo una tormenta cuyo período de retorno es de 100 a 200 años (Seymour, 1989).

En la figura 20 observamos que el período de 14 segundos es el que aporta más porcentaje de energía (14.36 %) que el de 7 segundos (13.01%), sin embargo en la figura 21 se observa que los períodos cortos 6 y 7 segundos se repiten más veces que el período de 14 segundos durante el año.

De la figura 21 a 31 se muestran los períodos contra su altura significativa promedio, máximo y mínimo, siendo lo más notorio el valor máximo para el período

Promedios Estacionales de Energía de oleaje

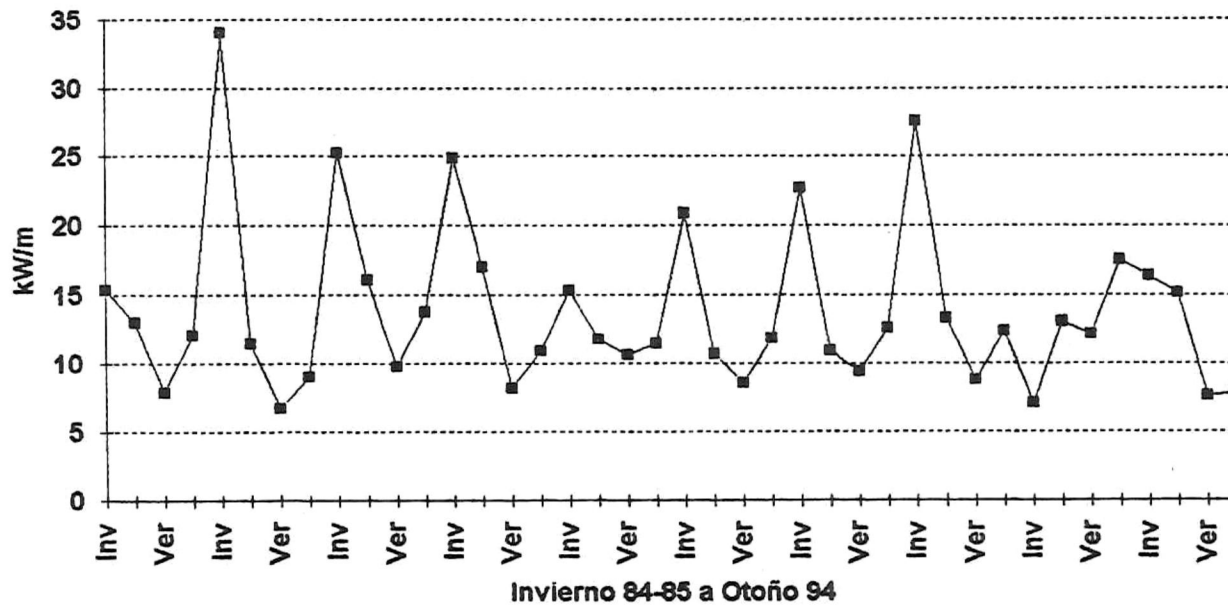


Figura 17. Promedios estacionales de energía.

Promedios de Energía Mensuales

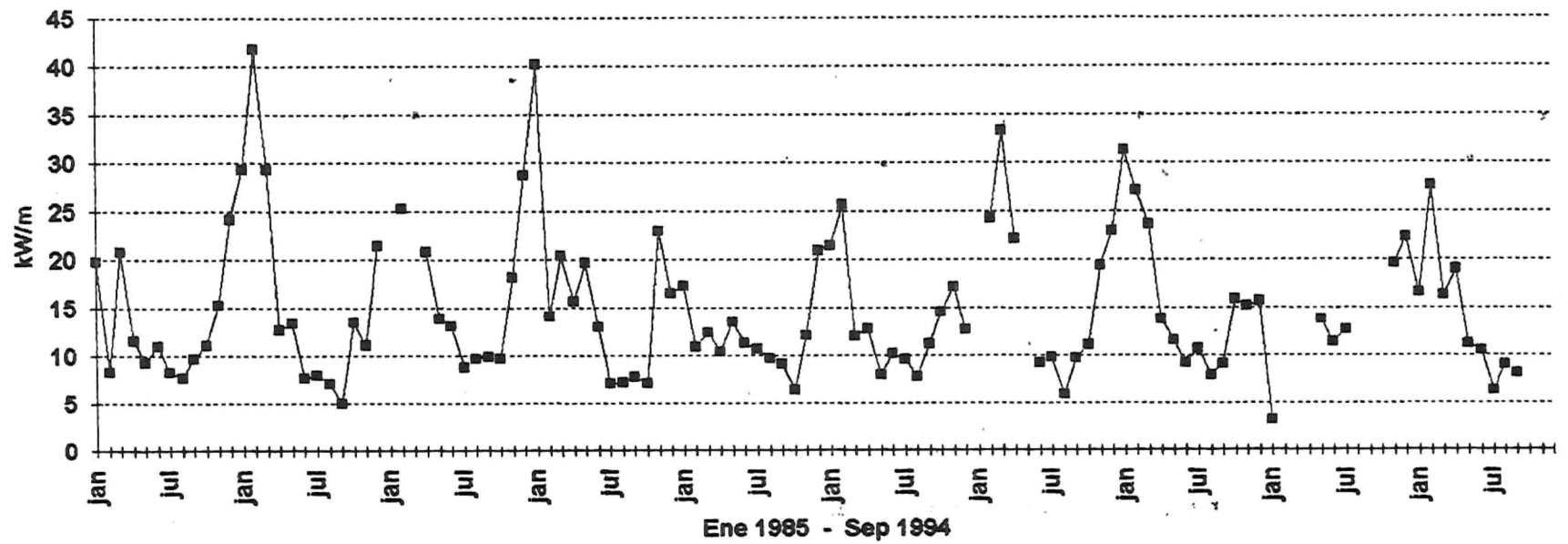


Figura 18. Promedios mensuales de energía.

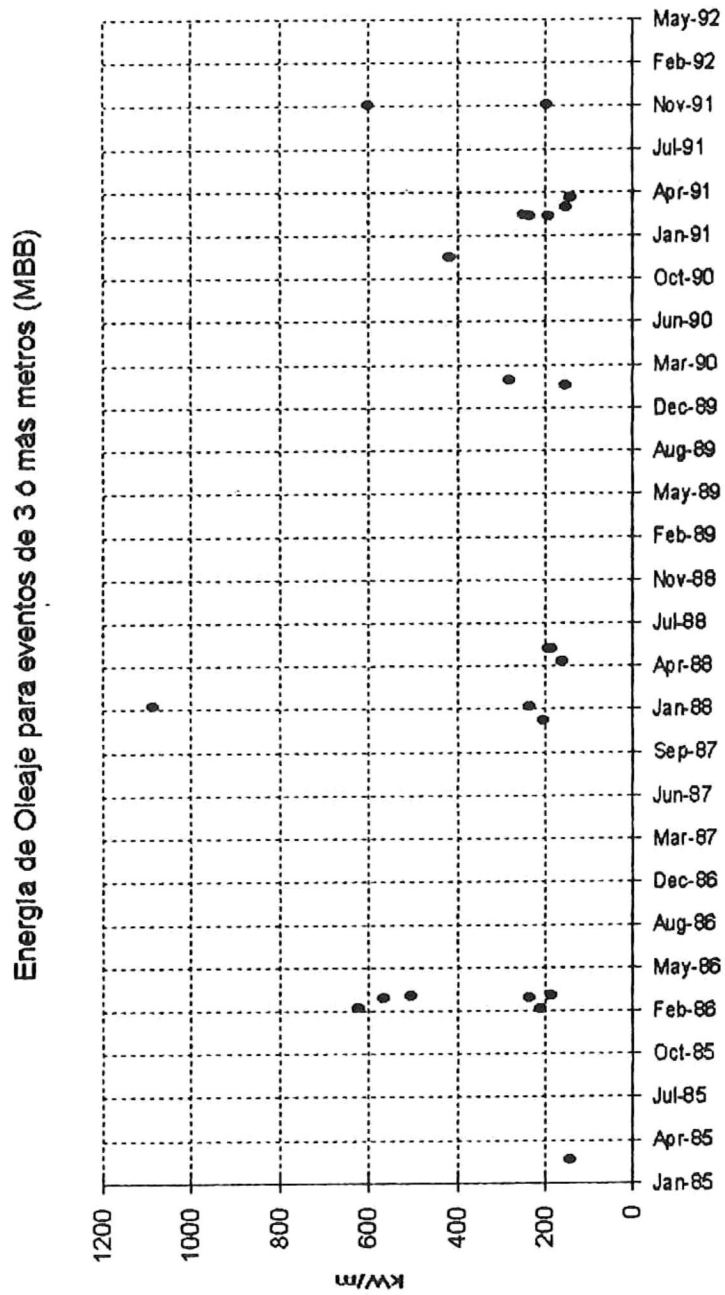


Figura 19. Energía del oleaje para los eventos extremos (alturas mayores a 3 metros)

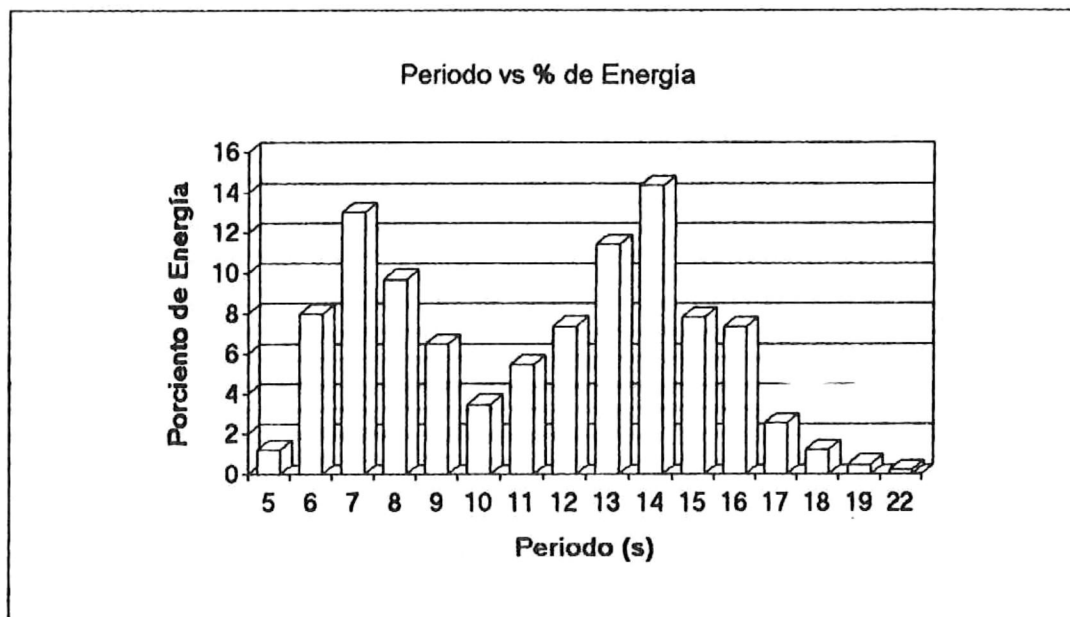


Figura 20. Aporte porcentual por periodos a la cantidad total de energía.

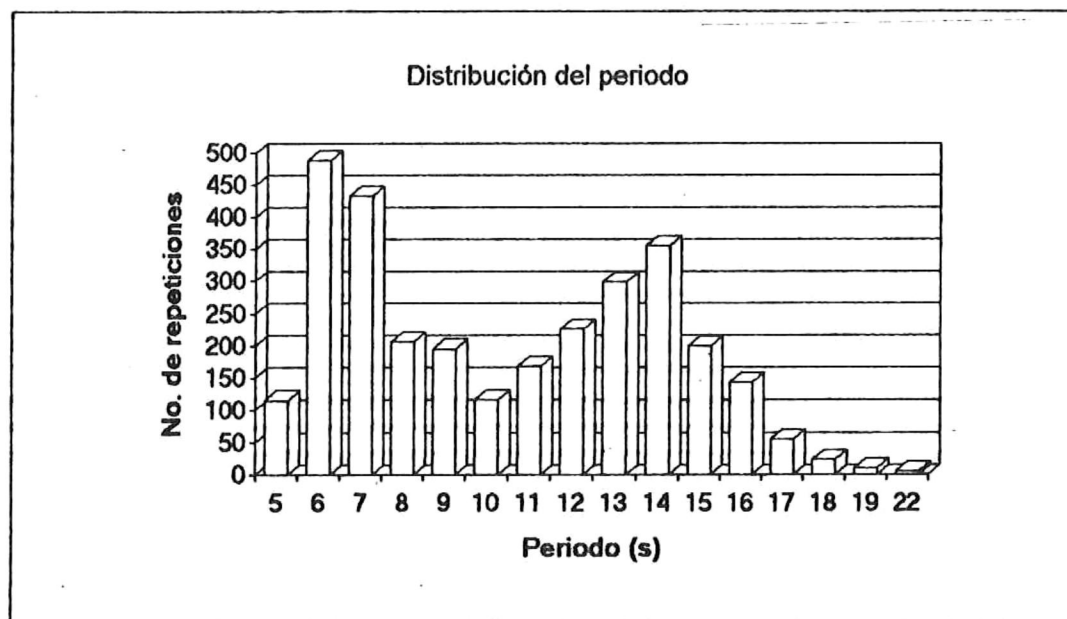


Figura 21. Distribución del periodo.

de 13 segundos en el año de 1988, lo cual como ya se dijo es debido a la tormenta excepcional que se produjo ese año.

En la figura 32, tenemos el período contra la altura significativa promedio para la totalidad de los años, de aquí se obtuvieron los valores de altura para los períodos más energéticos, éste es, al período de 7 segundos le corresponde una altura significativa promedio de 1.35 metros y al de 14 segundos de 1.1 metros. Estos datos se utilizarán para calcular la refracción que sufre el oleaje al arribar a la costa y así conocer los ángulos con los que se aproxima.

En la figura 33 se observan las direcciones para cada intervalo de período en la isobata de 10 metros, de aquí resulta que para los períodos cortos (de 6 a 7.9 segundos) la dirección predominante de arribo es del oeste, lo mismo que para los períodos largos.

6. 2. Cálculo de la refracción.

Se realizó la refracción de los períodos más energéticos para: a) calcular el ángulo de aproximación del oleaje en la isobata de 25 metros, que es donde se propone colocar el aparato y, b) reafirmar que el oleaje no sufre una refracción considerable, debido a la cercanía de la boya con el área de estudio y por presentar Rosarito una costa abierta.

Los períodos más energéticos fueron el de 7 segundos cuya altura significativa promedio es de 1.35 metros y el de 14 segundos con altura significativa promedio de 1.1 metros.

El primer paso para la refracción en la isobata de los 25 metros fué calcular la longitud de onda correspondiente en aguas profundas por medio de la fórmula (2), lo cual nos da 76.5 metros, para la ola de 7 segundos.

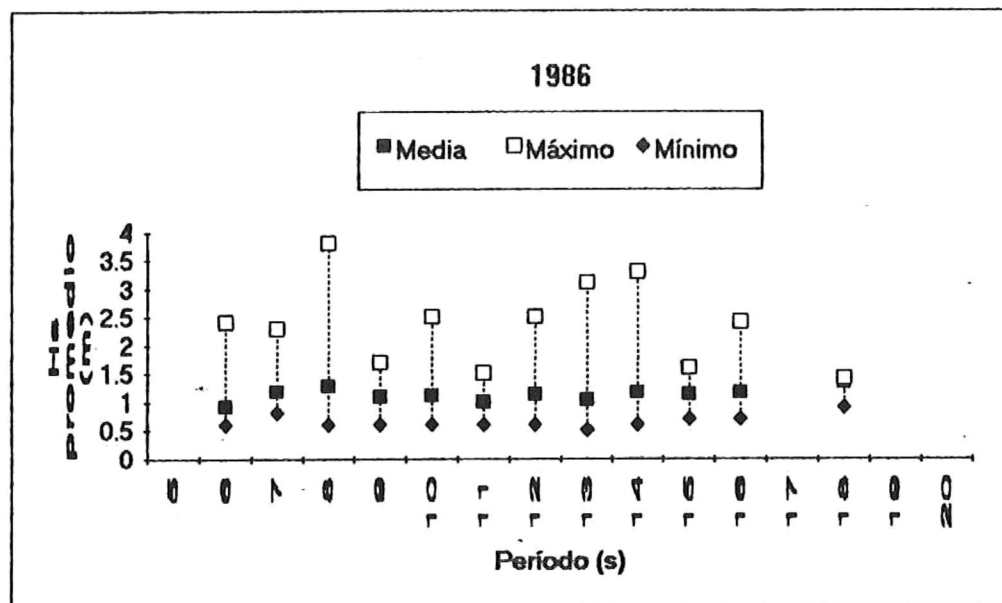
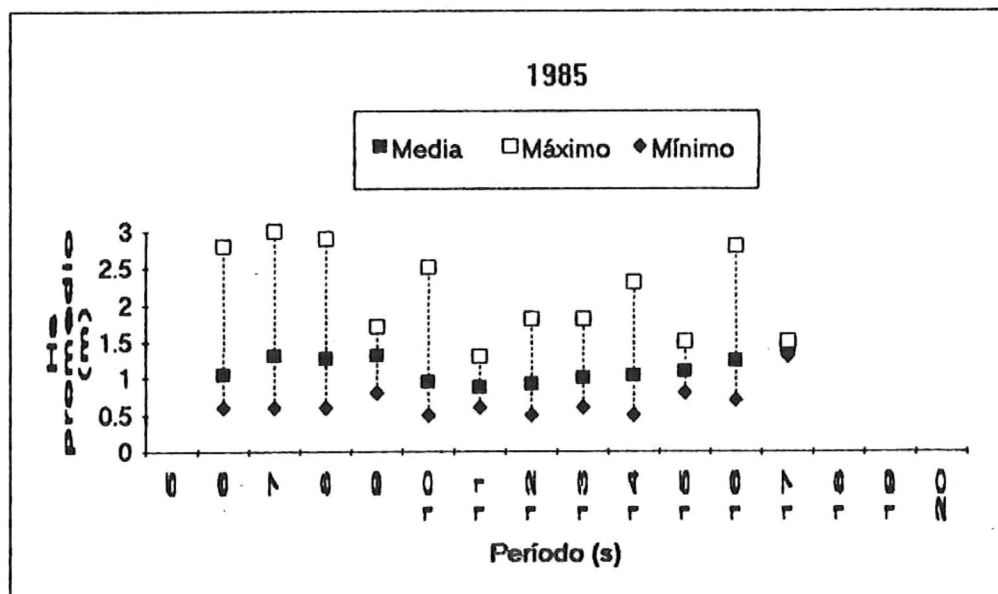


Figura 22 y 23. Período contra altura significativa promedio y sus máximos y mínimos para cada una de los años de 1985 (22) y 1986 (23).

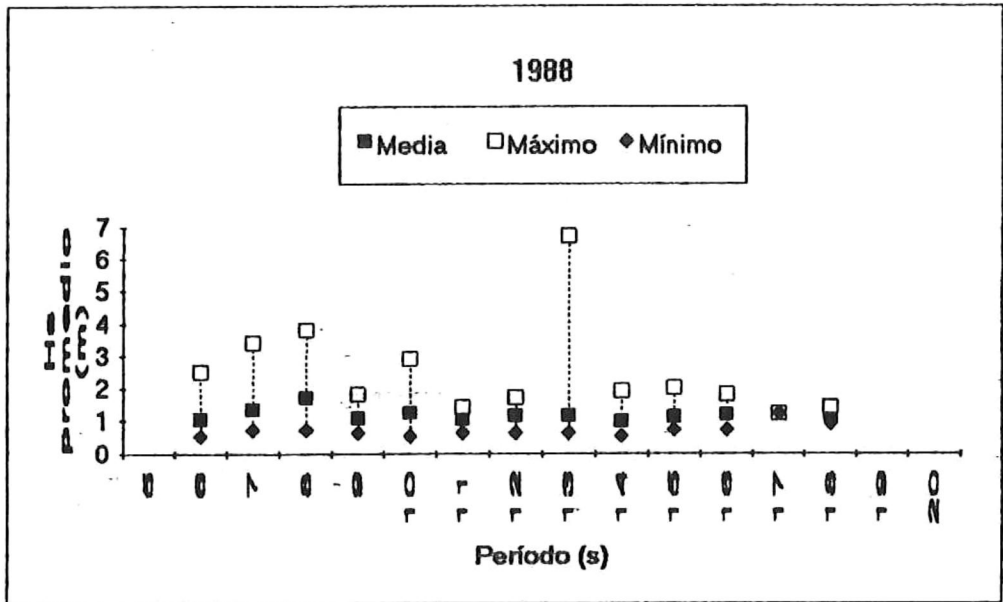
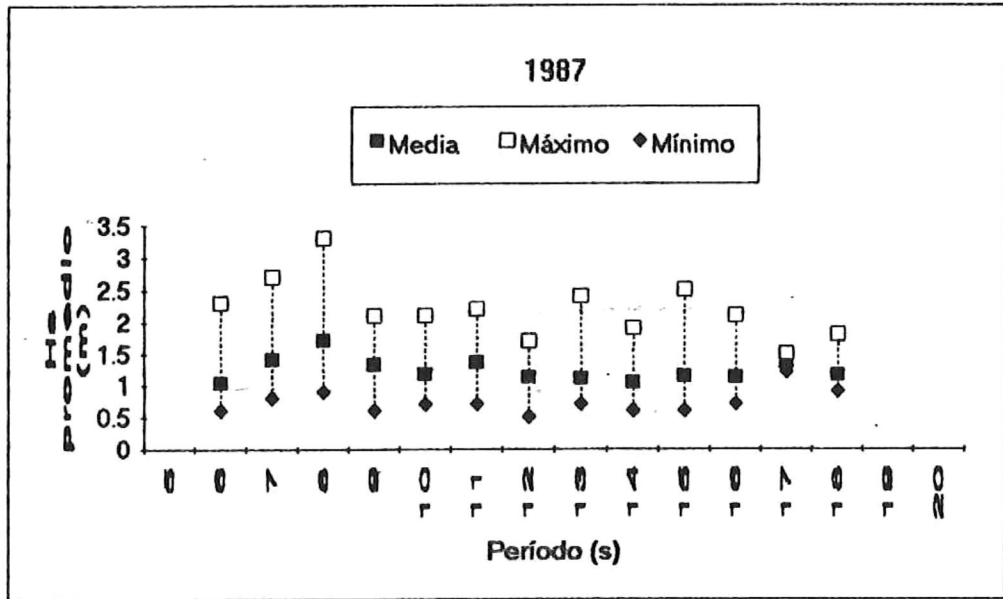


Figura 24 y 25. Período contra altura significativa promedio y sus máximos y mínimos para cada una de los años de 1987 (24) y 1988 (25).

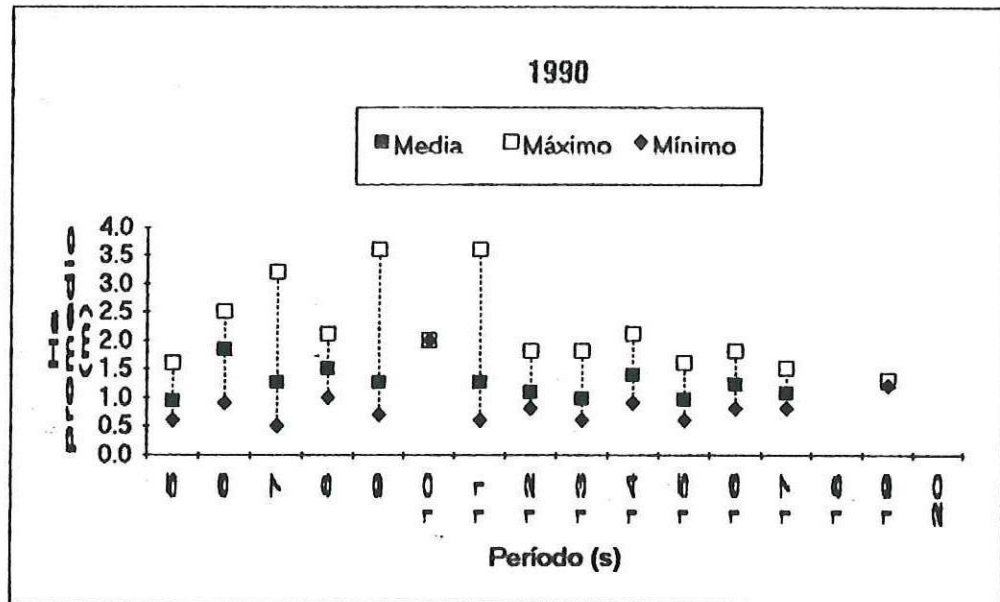
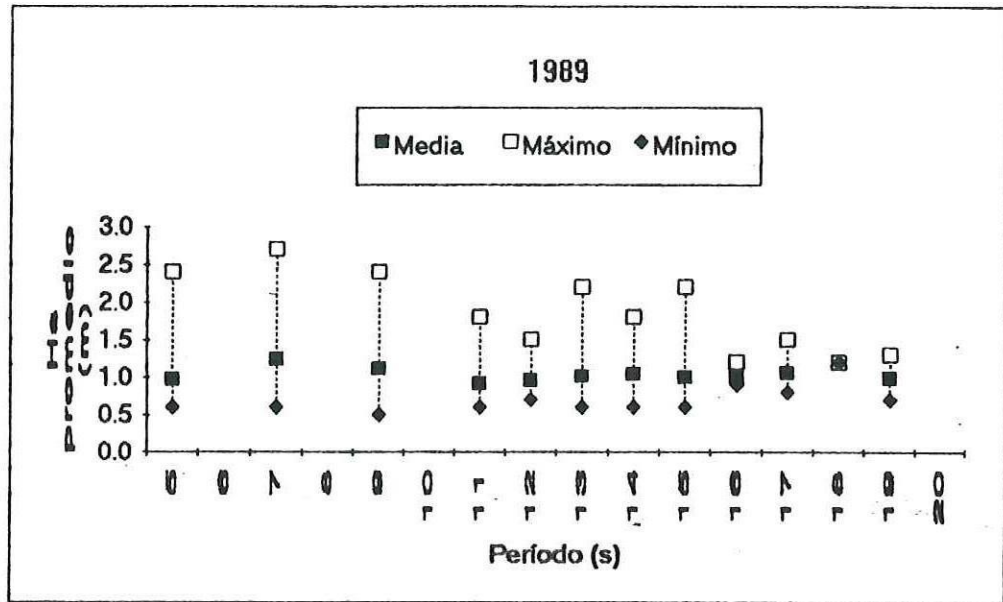


Figura 26 y 27. Período contra altura significativa promedio y sus máximos y mínimos para cada una de los años de 1989 (26) y 1990 (27).

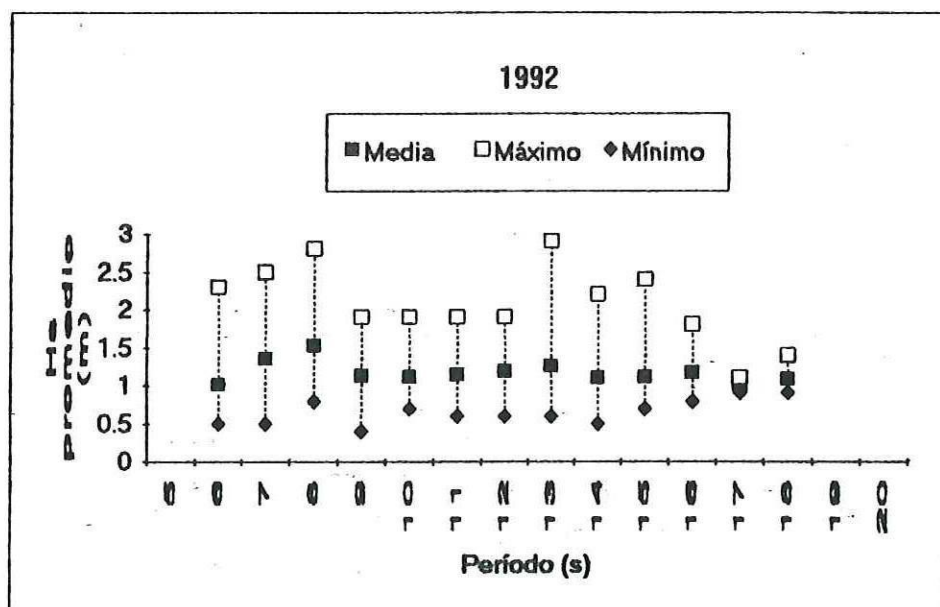
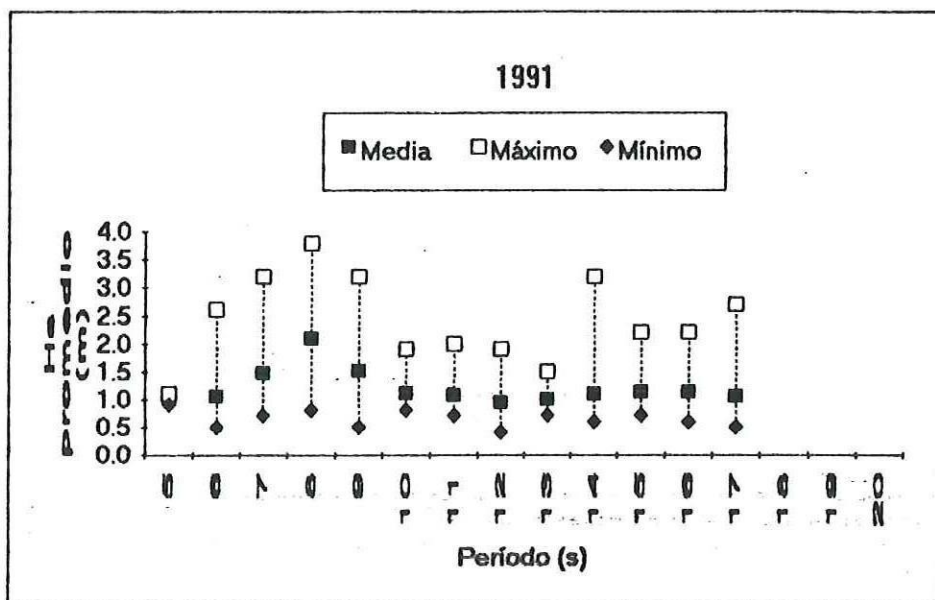


Figura 28 y 29. Período contra altura significativa promedio y sus máximos y mínimos para cada una de los años de 1991 (28) y 1992 (29).

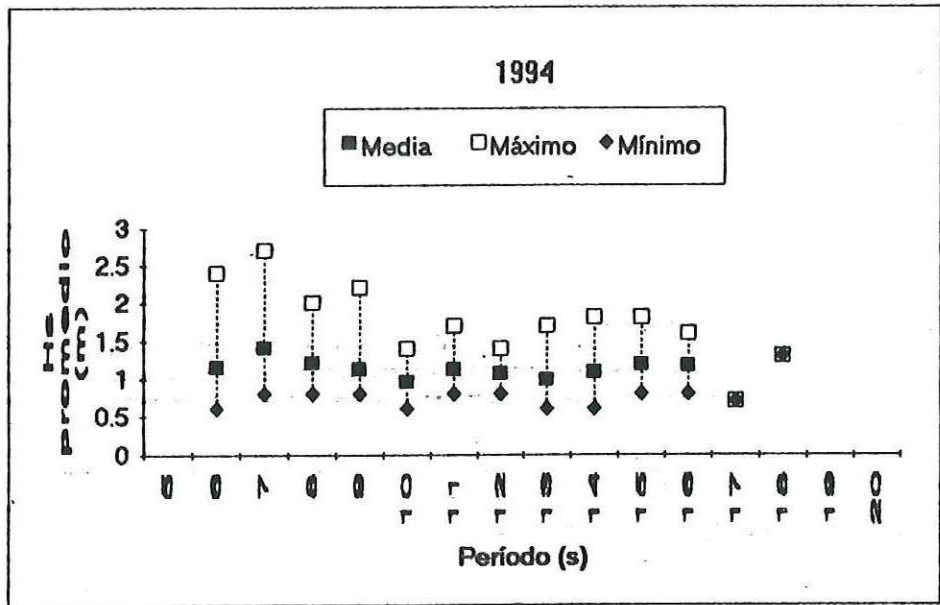
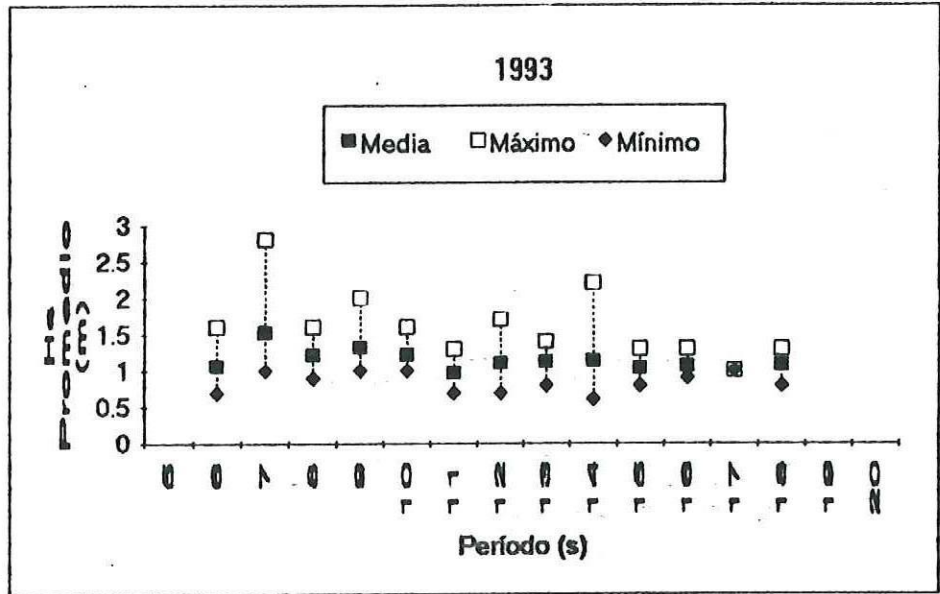


Figura 30 y 31. Período contra altura significativa promedio y sus máximos y mínimos para cada una de los años de 1993 (30) y 1994 (31).

Obtenemos el valor de la relación h/λ en el contorno de 25 metros es 0.3267, y con este valor buscamos en la figura C-1 de Coastal Engineering Research Center (1984) para obtener los valores:

$$H/H_0 = K_s = 1.1$$

y

$$\lambda/\lambda_0 = 0.4 = c/c_0$$

Aplicando la ley de Snell

$$\text{sen } \beta / \text{sen } \beta_0 = c / c_0 \quad (12)$$

El ángulo de aproximación en aguas someras β con respecto a la cota de 25 metros, para la ola de período de 7 segundos es de 12° , ésto es con base en García (1994), despejando el ángulo con que arriba en aguas profundas (β_0) que es el que no conocemos obtenemos $\beta_0 = 31.32^\circ$.

El coeficiente de refracción K_r lo podemos calcular mediante:

$$\begin{aligned} K_r &= [\cos(\beta_0) / \cos(\beta)]^{1/2} \\ &= 0.9345 \end{aligned} \quad (13)$$

Finalmente obtenemos la altura refractada H de

$$\begin{aligned} H &= K_s K_r H_0 = (1.1) (0.9345) (1.35 \text{ m}) \\ &= 1.38 \text{ metros} \end{aligned} \quad (14)$$

Lo mismo se hizo para el de 14 segundos, suponiendo que corresponden a las olas de tormenta de período largo provenientes del Noroeste de tormentas que se generan en las regiones cercanas a Japón y Hawaii en los meses de Noviembre a Abril. García (1994) observa que las olas de período mayor de 14 segundos en la cota de los 10 metros tienen una proveniencia del oeste. La altura significativa promedio disminuye de 1.1 metros a 1 metro. En la Tabla 2 se observan las características del oleaje escogido.

Totalidad de los años

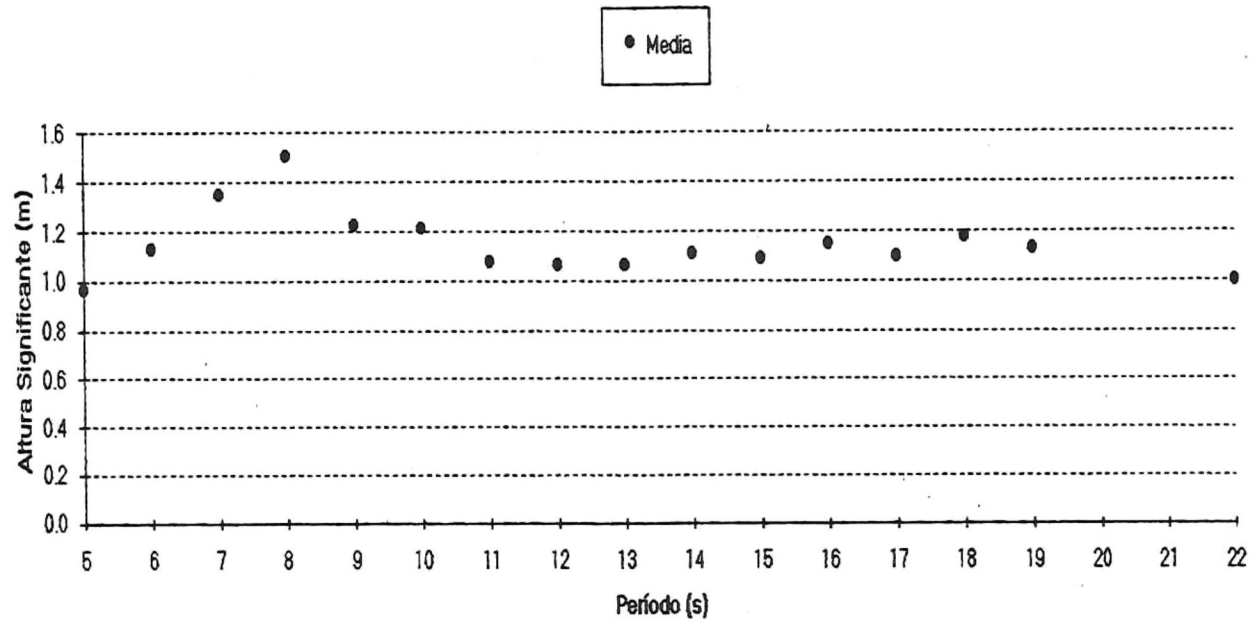


Figura 32. Períodos contra los promedios de la altura significativa para los diez años de observaciones.

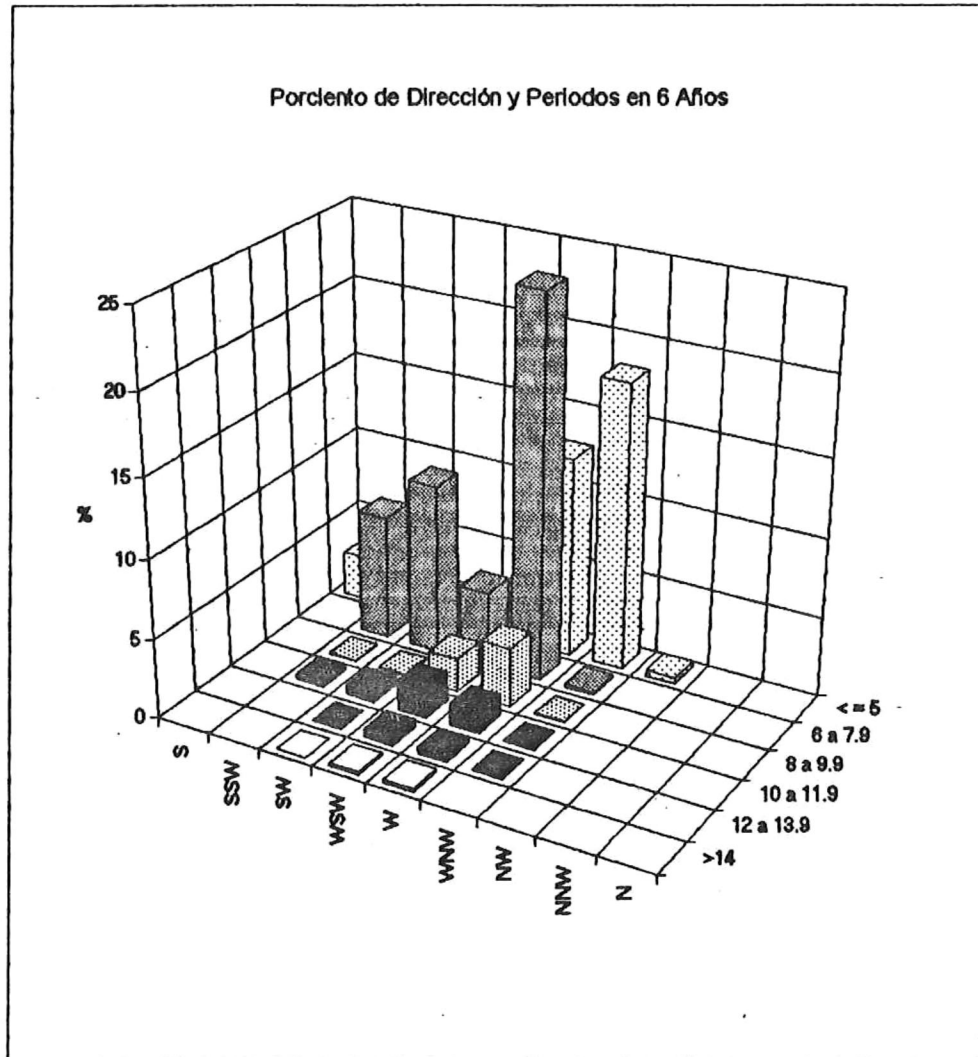


Figura 33.

Dirección para cada intervalo de periodos para 6 años de observaciones en el área de estudio (modificado de García, 1994).

6. 3. *Salter's Duck*.

En la Tabla 3 se muestran las medidas del *Salter's Duck* para olas de 7 y 14 segundos. Se escogió un aparato cuyo periodo natural sea el de las olas de 7 segundos por ser esta frecuencia la que se presenta predominantemente. Esto asegura la producción de energía durante todo el año.

Aunque la potencia de un aparato (70 kW) no cumple con la potencia instalada de la central termoelectrica, una línea de varios aparatos puede producir un aporte significativo.

6. 4. Ventajas Ambientales y socioeconómicas.

Los aparatos convertidores de oleaje realizan la conversión a energía eléctrica de forma limpia y sin contaminantes.

Como se trata de explotar la energía del oleaje de un cuerpo de agua, el impacto ambiental resulta principalmente por la reducción del nivel de energía del oleaje. Como se muestra en la Tabla 4 , la construcción y operación de una planta de extracción de energía a partir del oleaje tiene efectos mezclados en el nivel de energía del cuerpo de agua, en los procesos en la zona litoral, en los ecosistemas acuáticos, puede causar riesgos en navegación, y puede o no llevar a una reducción en las actividades recreativas, además de que cualquier sistema de energía asociado al convertidor de energía del oleaje o sistemas de almacenamiento de la energía poseen problemas ambientales por sí mismos.

Aún así la utilización del aparato de extracción de energía a partir del oleaje presenta ventajas ambientales y socioeconómicas favorables que lo hacen ser una excelente opción como fuente alterna de energía.

Tabla 2. Características del oleaje más energético.

Período	7 segundos	14 segundos
Hs promedio	1.38 m	1.00 m
Dirección	Oeste	Oeste
Long. de Onda	76.5 m	106.01 m

Tabla 3. Medidas del aparato para los períodos más energéticos

Período	7 segundos	14 segundos
R2	3.825 m	15.3 m
d	7.65 m	30.6 m
Ro	3.82 m	15.3 m
rD	0.2200 RD	0.2265 RD
RD	3.825 m	28.67 m
LD	6.05 m	24.24 m
Δ	32.33°	32.27°
Ro'	5.73 m	22.95 m
fD	0.05 Hz	0.033 Hz
B	7.65 m	30.6 m
M	4.73 X 10E5	2.97 X 10E7
Potencia	70.738 kW	293.77 kW

6. 4. 1. Impacto en la atmósfera.

Además de los impactos transitorios en la calidad del aire ambiental en la etapa de construcción y a diferencia del uso de combustibles fósiles, el desarrollo y operación de una planta de energía a partir del oleaje no produce ninguna emisión de contaminantes. En contraste, la planta termoeléctrica instalada en la localidad emite directamente a la atmósfera una gran cantidad de contaminantes, los cuales se muestran en la Tabla 4, producidos principalmente por la combustión de hidrocarburos para el funcionamiento de las turbinas. El contaminante más importante es CO₂ que contribuye al efecto de invernadero a escala global además de producirse SO₂, SO, NO_x y partículas (Quintero-Núñez *et al*, 1993). Existen problemas respiratorios causados por la emisión de los contaminantes producidos por las centrales termoeléctricas (Garduño, 1988 en Quintero-Núñez *et al*, 1993).

6. 4. 2. Impacto en el agua.

Como se mencionó con anterioridad, el principal impacto que produce el convertidor de energía del oleaje es la disminución de la energía del oleaje que arriba a la zona provocando zonas de calma, lo cual según Probert y Mitchel (1983 en Rivas, 1992) puede influir en las costas y áreas submareales resultando en cambios en la densidad y variedad en las poblaciones de organismos en la zona, esto puede resultar en un cambio positivo, pues al estar fijo al fondo, el aparato da lugar a un nuevo ecosistema ya que propicia la aparición de especies que no existían en la zona. Las zonas de calma creadas pueden por lo tanto ser utilizadas para acuicultura.

El riesgo que el aparato pudiera traer a la navegación puede disminuirse con la utilización de marcas o con algún sistema de advertencia al radar de las

embarcaciones.

El ruido producido, podría afectar el sistema de navegación de algunas especies de peces y mamíferos marinos (Rivas, 1992)

Con respecto a la termoeléctrica, los contaminantes marinos que produce son el agua residual caliente que se regresa al océano Pacífico y las aguas residuales aceitosas que se deben al manejo y almacenaje de hidrocarburos.

6. 4. 3. Impacto en el sedimento.

El cambio en la energía del oleaje debido al convertidor cambiará el transporte de sedimentos, ya que éste es debido al oleaje que arriba a la costa.

Tomando en cuenta esto, la colocación estratégica del aparato convertidor puede resultar en la estabilización de la playa del lado sur de la Planta Termoeléctrica "Rosarito" y terminar con los problemas de dragado en el canal de abastecimiento de agua de la misma planta, resultando en una ventaja.

La transmisión a la costa de la energía obtenida, por medio de cables submarinos, podría causar tanto durante su instalación como al paso del tiempo serios daños dada la remoción de volúmenes considerables de sedimento del fondo, el cual contiene organismos o huevecillos de estos (Rivas, 1992).

6. 4. 4. Impacto socio-económico.

El impacto directo ya sea de una planta de conversión de energía del oleaje o de la planta termoeléctrica, es la generación de empleos dentro de la comunidad y la creación de servicios.

Los cambios directos en Ingreso, empleo, y población causará impactos indirectos en estructura social y servicios públicos, y podría generar problemas

sociales que pueden afectar el bienestar comunitario (Roger et al, 1984)

Rosarito es un poblado que depende altamente del turismo, el mayor impacto económico de la planta de energía a partir del oleaje sería directamente sobre aquel. La presencia de la planta termoeléctrica ha modificado el uso de la tierra, de ser tierras para agricultura y turismo, cambiaron a industriales dando como resultado usos complementarios tales como asentamientos, comerciales y de Infraestructura (Quintero *et al*, 1993). Esta situación ha cambiado el valor comercial de la tenencia de la tierra.

Tabla 4. El Impacto de la Planta Termoeléctrica (modificada de Quintero et al, 1993) y el posible impacto de la Planta de Energía a partir del Oleaje.

VARIABLE Efecto	Planta Termoeléctrica Rosarito				Planta de Energía de Oleaje			
	Impacto	Valor	Escala	Producto	Impacto	Valor	Escala	Producto
Economía	+	5	3	15	+	4	3	12
Bienestar Social	+	3	2	6	+	4	3	12
Estética	-	5	2	-10	-	2	3	-6
Uso de Suelo	+	3	2	6	+	2	2	4
Turismo	-	2	3	-6	+	3	3	9
Navegación	0	0	0	0	-	1	2	-2
Espacio de Planta	-	1	1	-1	-	1	1	-1
Total de Aspectos Económicos				10				28
Riesgo	-	5	2	-10	+	2	2	4
Salud comunidad	-	4	2	-8	+	4	2	8
Demandas Púb	-	3	2	-6	0	0	0	0
Ruido	-	1	1	-2	-	1	2	-2
Visibilidad	-	1	2	-3	0	0	0	0
Lluvia ácida	-	2	2	-4	0	0	0	0
Biota	-	3	3	-9	-	2	2	-4
Subsistencia	0	0	0	0	0	0	0	0
Inducción Sísmica	0	0	0	0	0	0	0	0
Total de Aspectos Sociales				-42				8
CO2	-	5	4	-20	0	0	0	0
SO2	-	5	3	-15	0	0	0	0
NOx	-	2	3	-6	0	0	0	0
CO	-	1	3	-3	0	0	0	0
H2S	0	0	0	0	0	0	0	0
NH3	0	0	0	0	0	0	0	0
Polvo - Partículas	-	1	27	-2	0	0	0	0
Vapor (H2O)	0	0	0	0	0	0	0	0
Calor	-	1	1	-1	0	0	0	0
Hidrocarburos Atm.	-	2	3	-6	0	0	0	0
Hidrocarburos Mar	-	4	3	-12 (?)	0	0	0	0
Refrigerante	-	2	2	-4	0	0	0	0
Aguas Secundarias	-	2	3	-6	0	0	0	0
Salmuera	0	0	0	0	0	0	0	0
Transporte Litoral	-	3	2	6	-	4	2	-8
Metales Traza	-	2	2	-4	0	0	0	0
Total de Aspectos Físico - Químicos				-73				-8

7. CONCLUSIONES

La energía del oleaje en aguas profundas en la costa oeste del sur de California y Norte de Baja California, presenta un comportamiento marcadamente estacional, con mayor energía en invierno.

Aunque presenta una alta variabilidad, el promedio de energía es 14.7 kW/m, el máximo es de 560 kW/m y el mínimo 1.4 kW/m. El año en el que el oleaje presenta la mayor energía fué el de 1988 debido a las tormentas que se presentaron en el mes de enero de este año.

El período más energético fué el de 7 segundos, que aporta 13% del total de la energía y altura significativa promedio asociada de 1.38 m, y el de 14 segundos que aporta el 14.4 % y su altura es 1 metro. La dirección de arribo predominante para ambos es del oeste.

Un aparato de conversión de energía del oleaje del tipo Salter's Duck diseñado para resonar con la ola de período de 7 segundos se colocaría en la isobata de los 25 metros, su orientación preferencial sería oeste y su potencia sería de 70 kW. Unos cuantos de estos aparatos alineados podrían hacer un aporte considerable de energía a la zona.

Las ventajas ambientales y socioeconómicas que genera la conversión de energía a partir del oleaje, la hacen una buena alternativa que sustituirá las fuentes convencionales de obtención de energía.

Dentro de este contexto la obtención de energía a partir del oleaje se presenta como una oportunidad real y prometedora de aprovechar un recurso renovable, para producir energía limpia y sin contaminantes.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Brin Andre. 1981. *Energy and the Oceans*. Ann Harbor Science Publishers Inc., Ann Harbor, Michigan U.S.A., 133 pp.

- Charlier R., y Justus J. 1993. *Ocean Energies: Environmental, Economic and Technological Aspects of Alternative Power Sources*. Elsevier. New York pp 105 - 185.

- Coastal Engineering Research Center. 1984. *Shore Protection Manual*. Department of the Army. 4 Ed. Washington, D .C.

- Comisión Federal de Electricidad. 1994. *Levantamiento batimétrico de la central termoeléctrica de Rosarito*, B. C. Gerencia de Estudios de Ingeniería Civil. Subgerencia de Estudios Hidrográficos. Rosarito, B. C.

- De Alba, E. 1988. *Política Nacional sobre la investigación y fuentes alternas de energía*. En Reunión Nacional Sobre la Energía y el Confort. Memorias. U.A.B.C. Instituto de Ingeniería. Mexicali, B.C. 334 pp.

- Hagerman, G. M. Jr. 1985. *Oceanographic design criteria and site selection for ocean wave energy conversion*. Hydrodynamics of ocean wave energy utilization. IUTAM Symposium Lisbon/ Portugal 1985. 445 pp.

- Homma, T. 1985. *Prospects of ocean energy technology*. En First Symposium on Wave Energy Utilization In Japan. Ocean Engineering. 12 : 544.

- Kinsman, B., 1965. *Wind waves Their Generation and Propagation on the Ocean Surface*. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, U.S.A. 676pp.

- García K. R. 1994. Comunicación Personal. Departamento de Física, Facultad de Ciencias Marinas, U.A.B.C.

- Korde, U. A., 1990. *Study of a wave energy device for possible application*

in communication and spacecraft propulsion. Ocean Engineering. Vol. 17 No. 6, pp 587 -599.

-Lambert Arista A. A. 1993. *Variabilidad del oleaje y su efecto en la estimación de parámetros estadísticos*. Tesis de Maestría en Ciencias. CICESE. 85 pp.

- Maeda, H. 1985. *Technology of wave energy utilization*. En First Symposium on Wave Energy Utilization in Japan. Ocean Engineering. 12 : 547.

- McCormick, Michael. 1981. *Ocean Wave Energy Conversion*. John Wiley & Sons, Inc. U.S.A. 231 pp.

- Padilla H. R. 1989. *Potencia y dirección del oleaje en la costa noroeste de la península de Baja California y su aprovechamiento*. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California. Facultad de Ciencias Marinas. Ensenada, B.C. 58 pp.

- Quintero-Núñez, M., León, C., Rojas, R. 1993. *Environmental impact of two energy systems in the state of Baja California: geothermoelectric and thermoelectric power plants*. International Symposium on Heat and Mass Transfer in Energy Systems and Environmental Effects. Cancún, México. p 457-462

- Rivas Caceres, H. 1992. *Conversión de energía del oleaje; diseño, usos y aplicaciones*. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California. Facultad de Ciencias Marinas. Ensenada, B.C. 62 pp.

- Salter S.H. 1974. *Wave power*. Nature vol. 249, No. 5459, June. p 720 - 724.

- Seymour J. Richard. 1989. *Wave observations in the storm of 17-18 January, 1988*. Shore and Beach. Octubre 1989. p 10- 13.

- Roger, Golden y Halpern. 1984. *Impacts of Coastal Energy Development on New Jersey's Shorefront Recreational Resources*. The New Jersey Department of Environmental Protection. Division of Coastal Resources.

- Thompson F. Edward. 1980. *Interpretation of wave energy spectra*. Coastal Engineering. Technical Aid No 80-5. U.S. Army, Corps of Engineers. Coastal Engineering Research Center. Port Belvoir, Va. 20 pp.

- U.S. Army Corps Of Engineers. 1985 - 1994. *Coastal data information program*. Mensual Reports. State of California. The Resources Agency of Boating and Waterways.

- Wiegel, Robert L. 1993. *Dana Point Harbor, California*. Shore and Beach. V. 61 (3). p 37 - 55