

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL  
OLEAJE EN LAS COSTAS DE EL SALVADOR**

PRESENTADO POR:

**JUAN DE DIOS GUZMÁN RAMÍREZ  
ORLANDO ISAAC MEJÍA FUENTES  
PEDRO JULIO MENJÍVAR PINO**

PARA OPTAR A TÍTULO DE:  
**INGENIERO MECÁNICO**

CIUDAD UNIVERSITARIA, NOVIEMBRE DE 2007

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

RECTOR :

**MSc. RUFINO ANTONIO QUEZADA SÁNCHEZ**

SECRETARIO GENERAL :

**LIC. DOUGLAS VLADIMIR ALFARO CHÁVEZ**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

DECANO :

**ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO**

SECRETARIO :

**ING. OSCAR EDUARDO MARROQUÍN HERNÁNDEZ**

**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

DIRECTOR :

**ING. JUAN ANTONIO FLORES DÍAZ**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:  
**INGENIERO MECÁNICO**

Título :  
**EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL OLEAJE  
EN LAS COSTAS DE EL SALVADOR**

Presentado por :  
**JUAN DE DIOS GUZMÁN RAMÍREZ  
ORLANDO ISAAC MEJÍA FUENTES  
PEDRO JULIO MENJÍVAR PINO**

Trabajo de Graduación aprobado por :  
Docentes Directores :  
**ING. FRANCISCO ALFREDO DE LEÓN TORRES  
ING. RIGOBERTO VELÁSQUEZ PAZ  
ING. MSc. ROGELIO ERNESTO GODÍNEZ GONZÁLEZ**

Docente Director Externo :  
**ING. MARIO ERNESTO RODRÍGUEZ SOSA**

San Salvador, Noviembre de 2007

Trabajo de Graduación aprobado por:

Docentes Directores :

**ING. FRANCISCO ALFREDO DE LEÓN TORRES**

**ING. RIGOBERTO VELÁSQUEZ PAZ**

**ING. MSc. ROGELIO ERNESTO GODÍNEZ GONZÁLEZ**

Docente Director Externo :

**ING. MARIO ERNESTO RODRÍGUEZ SOSA**



## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de graduación es el resultado del trabajo en equipo donde la colaboración, sugerencias, comentarios y apoyos desinteresados fueron de gran importancia, por eso, aquí agradecemos a todas las instituciones y personas profesionales de distintas ciencias y técnicas, y no profesionales pero diestros, que se involucraron durante el desarrollo de este trabajo de graduación.

A las autoridades y personal de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador su apoyo. Así mismo a las autoridades de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la FIA-UES.

A los: Lic. Armando Navarrete Soriano, MSc. Oscar Armando Molina Lara, Lic. José Alberto González Leiva y a Johanna Segovia Prado, miembros investigadores del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad de El Salvador (ICMARES-UES) por brindar su apoyo técnico en la investigación de campo. Al MSc. Francisco Chicas, director del ICMARES-UES.

A nuestros asesores de tesis: Ing. Rigoberto Velásquez Paz, Ing. Francisco Alfredo De León Torres, MSc. Rogelio Ernesto Godínez González y al Ing. Mario Ernesto Rodríguez Sosa.

La colaboración aunque indirecta pero importante para el desarrollo de este trabajo, a los profesionales MSc. Jorge López, Dr. Vidal Pascual, Dr. Paulo Salles de Almeida, Dr. Rodolfo Silva Casarín.

A los compañeros: Laura Cristina Castillo Martínez, Mario Herbert Echeverría López, Óscar Ernesto Pacheco Alas, Eva Corina Rodríguez Ayala y José Roberto Serrano Castro, estudiantes de Ingeniería Civil quienes nos apoyaron en el levantamiento topográfico de cuatro lugares en estudio sobre la zona costera de El Salvador.

El gran apoyo de LaGeo S.A. de C.V., a través del préstamo de dos sondas oceanográficas para la medición de parámetros del oleaje, apoyo económico para reforzar el sistema de anclaje del equipo de medición, capacitación y material bibliográfico.

El apoyo económico brindado por la Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa (CEL).

Al Estado Mayor Conjunto de la Fuerza Armada de El Salvador, que facilitó transporte aéreo y marítimo a través de la Fuerza Aérea Salvadoreña (FAS) y la Fuerza Naval.

A la Cooperativa Ostrera y Pesquera de Mizata, ya que fueron de gran apoyo en la realización del trabajo de campo.

Al personal de la Secretaría de Comunicaciones de la Universidad de El Salvador, por su valiosa colaboración con recurso humano y audiovisual para la consecución de nuestros objetivos.

Al personal técnico de la Unidad Productiva de la Escuela de Ingeniería Mecánica, por el valioso apoyo brindado en todo momento.

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo a: Jehová, todo poderoso, padre celestial, manantial de inagotable fuente de sabiduría y Luz de María Ramírez, quien se sacrifico alejándose de sus hijos, buscando cómo darles; formación profesional.

“Bien aventurado el hombre que halla la sabiduría, y que obtiene la inteligencia; porque su ganancia es mejor que la ganancia de la plata, y sus frutos, más que el oro fino. Más preciosa es que las piedras preciosas; y todo lo que puedas desear, no se puede comparar a ella”. *Proverbios 3:13-3:15*

JUAN DE DIOS GUZMÁN RAMÍREZ

## DEDICATORIA

Dedico este estudio de investigación, en primer lugar, a Dios y María Auxiliadora que me dieron la oportunidad de vivir y de regalarme una familia maravillosa.

Con mucho cariño principalmente a mis padres, Marta Alicia Pino y Pedro Julio Menjivar Ramírez, que me dieron la vida y han estado conmigo brindándome todo el apoyo en todo momento. Gracias, por darme una carrera para mi futuro y por creer en mí, por todo los sacrificios que hicieron por apoyarme, Gracias por dejarme tan valiosa herencias los amos mucho.

A mis hermanos queridos, Xenia Menjivar y Geovanni Menjivar, a mi sobrinito, abuela Jesús y Rosario, a mis tíos: Mauricio, Salvador, Carlos, María Elena, Berta, Julia, Milagro, Teresa, Hernán, Nacho, y a todos mis primos y primas, por estar siempre a mi lado y apoyarme siempre, los quiero mucho. A quienes ya no están, presentes en mi vida, por que el señor los llamo, pero que siempre los guardo y busco en mi corazón, queridos abuelos: Toño, María Luz y Carlos Menjivar.

A mi niña Paola Avelar, muchas gracias por estos 3 años y 8 meses de conocernos y en los cuales hemos compartidos tantas cosas, gracias por estar en este día tan importante para mi, gracias por darme el apoyo para continuar y seguir en mi camino, y recuerda que eres muy importante para mi. Además al señor Paul Avelar y su amada esposa Luvi de Avelar y sus hijos, abuelos, Sra. Marlene, que siempre estuvieron apoyándome y guiándome.

A nuestros asesores por guiarnos y aconsejarlos para desarrollar un excelente trabajo: Ing. Velásquez Paz, Ing. Francisco De León, Ing. Rogelio Godínez y especialmente a nuestro motor del estudio de investigación, Ing. Mario Rodríguez, quien nos llevo a este reto gracias por todo su apoyo. A todos mis amigos, que me acompañaron, y confiaron en mí, a la Asociación de Estudiantes de Ingeniería Mecánica (ASEIM) y miembros honorarios, especialmente: Acosta, Alejandro, Alex, Alexis, Alfonso, Arnulfo, Benítez,

Cañada, Carranza, Cristian, Elmer, Elvis, Espinal, Henry, Israel, Iván, Jaime, Jeffrey, Juárez, Kelvin, Manolo, Marín, Mario Flores, Marlon, Marcos, Máx., Merino, Meléndez, Miguel, Miles, Milla, Misael, Moroni, Mozo, Nelson, Oscar Parada, Osmin, Pedro Chávez, Polanco, Raúl, Reinaldo, René, Revelo, Ricardo, Shirwin, Sibrian, Susana, Tinetti, Tobias, Valencia, Valeriano, Vega, William, Wilson. A, aquellos que recientemente conocí, que ahora forman parte de nuestra familia de Mecánica, y aunque algunos no lleves nuestra carreras, chicos y chicas de el localito EIM, Bayron, Cecy, Evelyn, Herbert, Karen, Miguel Sigüenza, Miguel Herrera, Pali, Paty, Raúl y Víctor. Gracias por brindar su valiosa amistad.

Y no me puedo ir sin antes decirles, que sin ustedes a mi lado no lo hubiera logrado Isaac y Juan, tantas desveladas sirvieron para echar para delante y así poder obtener este fruto, les agradezco mucho, compartimos momentos agradables y momentos tristes, pero esos momentos son los que nos hacen crecer, y transformar ese sueño que nació, como un manantial, para luego convertirse en un caudaloso río, alimentados por otros, para poder desembocar en el mar, tocarlo y ser parte de el.

"Lo que sabemos es una gota de agua; lo que ignoramos es el océano"

Isaac Newton

PEDRO JULIO MENJÍVAR PINO

## DEDICATORIA

Resultaría prácticamente imposible mencionar a todas aquellas personas a quien debo un profundo y sincero agradecimiento.....sé que al mencionar a algunos y olvidarme de otros es un poco feo de mi parte. No obstante, creo necesario hacer una mención, sin que por el hecho de que algún nombre no quede aquí, signifique que es menos importante. En primer lugar quiero agradecer el apoyo que toda mi familia me ha brindado durante este largo camino. En particular quiero agradecer a mis padres, José Héctor y Milagro (una mujer extraordinaria). A mis hermanos Iván y Doris. A mis abuelos Francisco<sup>†</sup> y Esther. También quiero agradecer a Mario Ernesto Rodríguez Sosa por su ayuda, la confianza depositada en mí, pero sobre todo por su amistad. A mis profesores que contribuyeron a mi formación profesional. A mis compañeros de tesis, Pedro Julio Menjívar y Juan de Dios Guzmán quienes siempre estuvieron ahí, a pesar de las dificultades que se nos presentaron. A quienes ocupan un lugar muy importante en mi vida: Henry, Valeriano, Polanco, Misael, Manuel, Nelson, Mozo, Julio Escobar, Edwin, Efraín, Guillermo, Ricardo Carranza, Pedro, Lucas, Alba, Alex, Marlon, Tobías, Miles, Osmín, Reynaldo, Iván, Miguel, Moroni, Milla, Manolo, Ricardo, Kelvin, Benítez, Jaime, Raúl, Merino, Juárez, Elmer, Revelo, Alexis, Mario Flores, Oscar, Vega, René, Tinetti, Susana, Marcos, Valencia, Espinal, William, Arnulfo, Cañadas, Elías, Meléndez, Máximo, Alejandro, Rosa, Jeffrey, Israel, Guzmán, Cristian, Elvis, Wilson, Evelyn, Herbert, Cecilia, Raúl, Víctor, Patricia, Julio, Miguel Sigüenza, Miguel Herrera, Bayron, Leonor, Xenia Marisol. A todos ustedes muchísimas gracias.

“Hoy es el día más hermoso de nuestra vida, querido Sancho; los obstáculos más grandes, nuestras propias indecisiones; nuestro enemigo más fuerte, el miedo al poderoso y a nosotros mismos; la cosa más fácil, equivocarnos; la más destructiva, la mentira y el egoísmo; la peor derrota, el desaliento; los defectos más peligrosos, la soberbia y el rencor; las sensaciones más gratas, la buena conciencia, el esfuerzo para ser mejores sin ser perfectos, y sobre todo, la disposición para hacer el bien y combatir la injusticia donde quiera que estén”.

Miguel de Cervantes

Aquellas personas que no están dispuestas a pequeñas reformas, no estarán nunca en las filas de los hombres que apuestan a cambios trascendentales.

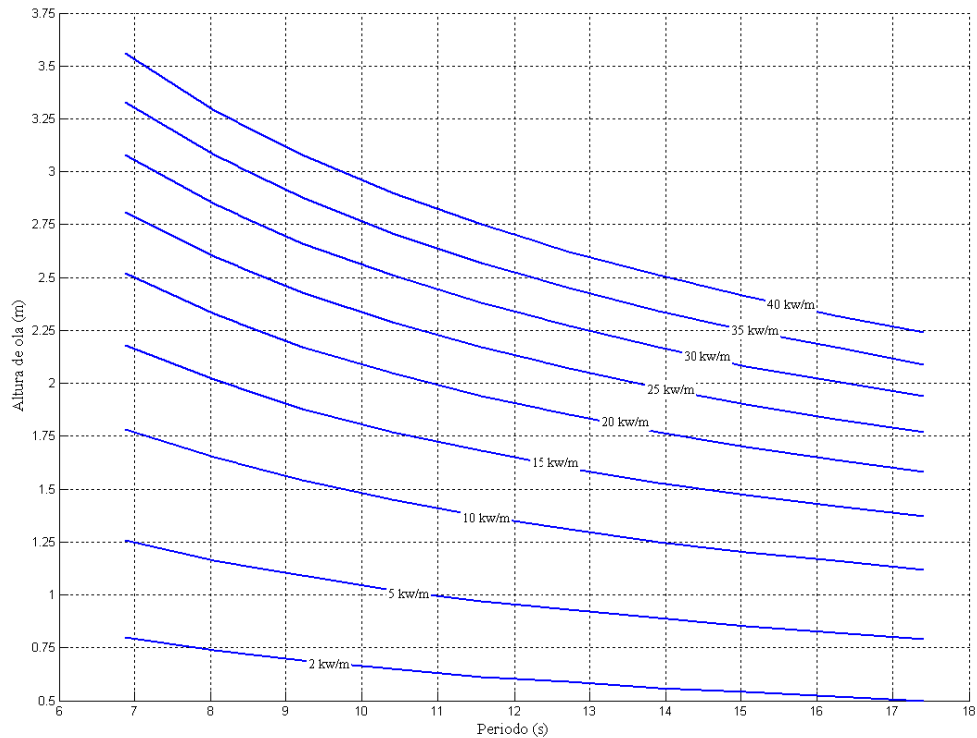
Mahatma Gandhi

## RESUMEN

El estudio “Obtención de Energía Eólica en la Plataforma Continental Usando Recursos Marinos” del Ing. Mario Ernesto Rodríguez Sosa, en 1988, establecía en el país, la posibilidad del uso de la energía que producen las olas costeras. El siguiente estudio evalúa el potencial energético del oleaje marino costero, en la zona de la Playa Santa María Mizata (Latitud:  $13^{\circ} 30.661'$ , Longitud:  $89^{\circ} 36.374'$ ), kilómetro 87.5 carretera del Litoral, departamento La Libertad, registrando localmente las siguientes variables que caracterizan el oleaje marino, altura significativa de la ola ( $H_s$ ), período pico de la ola ( $T_p$ ), y la dirección de propagación del oleaje ( $\theta_m$ ). En este fondo marino se emplazó la sonda oceanográfica ADV Triton, la cual tomó lecturas continuas en períodos muestrales de 15 minutos de duración para cada hora, obteniendo un total de 975 muestras que equivalen al 11.11% de tiempo de las 8760 horas del año monitoriables y registrables.

Los resultados del proceso de medición in situ, obtenidos durante el período del 7 de febrero al 20 de marzo de 2007, indicaron que hay tres direcciones de propagación del oleaje marino que llega y rompe en el acantilado de la zona costera en estudio, con direcciones  $S 9^{\circ} W$ ,  $S 27^{\circ} W$  y  $S 45^{\circ} W$ . El período pico promedio donde la energía del oleaje marino costero local es máximo fue de 13.9 segundos, y un promedio de altura significativa de la ola de 1.22 m, el valor máximo de energía registrado fue de 35 KW/m en esta zona de estudio. La caracterización del flujo de energía para la zona de estudio se muestra en la gráfica 1, la cual describe el aprovechamiento energético del oleaje marino costero a diferentes condiciones de altura de ola y período.





Gráfica 1: Caracterización del flujo de energía para la zona de estudio, en las cercanías de la playa Santa María Mizata.

Con datos obtenidos in situ con la sonda oceanográfica ADV Triton, se establecieron condiciones de frontera para la validación de la simulación del oleaje marino costero frente a la costa salvadoreña, con el modelo numérico SWAN. Se establecieron cinco condiciones de frontera: velocidad y dirección del viento, altura, período y dirección del oleaje respectivamente, para simular el oleaje marino de la faja costera salvadoreña, obteniendo las variables características del oleaje: altura significativa, período pico del oleaje, y dirección de propagación del oleaje, en base a estos resultados, se calculó el flujo de energía (KW/m), en el período de medición comprendido entre el 7 de febrero al 20 de marzo de 2007, los cuales son: para la zona Occidental entre 20 KW/m a 25 KW/m, para la zona Central entre 20 KW/m a 30 KW/M y para la zona Oriental entre 10 KW a 15 KW/m. Por tanto, la mayor concentración de energía se da en la zona Centro-Occidental.

## ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	Pág.
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	i
CAPÍTULO UNO	
GENERALIDADES .....	1
INTRODUCCIÓN.....	2
1.1 ANTECEDENTES.....	2
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	4
1.4 OBJETIVOS.....	5
1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES.....	5
CAPÍTULO DOS	
GENERALIDADES DEL SECTOR ENERGÉTICO, Y ENERGÍA DE LOS OCEÁNOS.....	7
INTRODUCCIÓN.....	8
2.1 SITUACIÓN ENERGÉTICA EN EL SALVADOR.....	8
2.1.1 La reforma del sector energético en El Salvador.....	8
2.1.2 El escenario energético para el siglo XXI.....	9
2.1.3 Situación energética en El Salvador.....	13
2.1.4 Situación actual de la generación de energía eléctrica suministrada a la red de El Salvador.....	15
2.1.5 Esfuerzos nacionales en la generación de energía eléctrica.....	18
2.1.6 Esfuerzo regional para la integración energética centroamericana.....	21
2.1.7 La política energética en El Salvador.....	23
2.1.8 Costos de inversión en energías renovables.....	26
2.2 ENERGÍA DE LOS OCEÁNOS.....	27
2.2.1 Energía de las mareas.....	28
2.2.2 Energía de las corrientes marinas.....	30

2.2.3 Energía termo oceánica.....	31
2.2.4 Energía de las olas costeras del océano.....	33
2.2.5 Energía del oleaje marino oceánico.....	35
2.2.6 Clasificación de las olas oceánicas.....	36
2.2.7 Clasificación del oleaje.....	38
2.2.7.1 Oleaje local o SEA.....	39
2.2.7.2 Oleaje distante o SWELL.....	39
2.2.8 Algunas teorías que hay del oleaje.....	41
2.2.9 Aplicación del modelo numérico SWAN para la predicción del oleaje en la zona costera de El Salvador.....	48
CONCLUSIONES .....	53
RECOMENDACIONES.....	53

## CAPITULO TRES

### ESTUDIO DEL SITIO PARA EVALUAR EL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL OLEAJE EN LAS COSTAS DE EL SALVADOR.....

#### INTRODUCCIÓN .....

#### 3.1 GEOGRAFÍA DE LAS COSTAS SALVADOREÑAS.....

##### 3.1.1 Estudio regional.....

###### 3.1.1.1 Las costas en el Océano Pacífico.....

###### 3.1.1.2 Las costas centroamericanas.....

###### 3.1.1.3 Las costas salvadoreñas.....

##### 3.1.2 Estudio local de la faja costera salvadoreña.....

###### 3.1.2.1 Faja Occidental costera.....

###### 3.1.2.2 Faja Central del borde costero salvadoreño.....

###### 3.1.2.3 Faja Oriental del borde costero salvadoreño.....

##### 3.1.3 Estudio detallado de la línea bordera en la costa del litoral salvadoreño.....

###### 3.1.3.1 Morfología.....

###### 3.1.3.2 Topografía local en ladera bordera continental oceánica para medición del oleaje marino.....

###### 3.1.3.3 Geología.....

###### 3.1.3.4 Geotectónica influyente en la borda oceánica continental.....

###### 3.1.3.5 Suelos.....

###### 3.1.3.6 Estabilidad de las laderas de la borda continental.....

3.1.3.7 Geomorfología.....	120
3.2 LA BORDA OCEÁNICA, PLATAFORMA Y BORDA CONTINENTAL.....	122
3.3 DINÁMICA DEL AGUA Y EL VIENTO DEL MAR SALVADOREÑO.....	125
3.4 DINÁMICA DE LOS VIENTOS EN EL AMBIENTE SUPERFICIAL MARINO COSTERO, SALVADOREÑO.....	137
3.5 ALTERNATIVAS DE ELECCIÓN DE LOS PUNTOS PARA ESTUDIO, IDENTIFICADOS EN LA COSTA CENTRO OCCIDENTAL DE EL SALVADOR.....	138
3.6 EMPLAZAMIENTO EN LOS PUNTOS DE INTERÉS PARA MEDIR EL POTENCIAL ENERGÉTICO QUE GENERAN LAS OLAS CERCA DE LA COSTA SALVADOREÑA.....	139
3.6.1 Emplazamiento de los puntos de interés.....	141
3.6.2 Emplazamiento del equipo de medición. Sonda oceanográfica ADV Triton con fines experimentales.....	144
3.6.3 Emplazamiento de cualquier estructura.....	146
RESULTADOS.....	146
CONCLUSIONES.....	148
RECOMENDACIONES.....	148

## CAPITULO CUATRO

ADQUISICIÓN, VERIFICACIÓN, CALIBRACIÓN, PROGRAMACIÓN Y OPERACIÓN DEL INSTRUMENTO PARA, OBTENER DATOS DEL OLEAJE MARINO COSTERO.....	149
INTRODUCCIÓN.....	150
4.1 VERIFICACIÓN, PRUEBA DE CALIBRACIÓN Y DIAGNÓSTICO PREVIO DE LA SONDA ADV TRITON, FUERA DEL MAR.....	150
4.2 EMPLAZAMIENTO DE LA SONDA ADV TRITON Y ANCLAJE EN EL LECHO MARINO.....	151
4.2.1 Sistema de medición y su anclaje.....	152
4.2.1 Anclaje del sistema de medición.....	152

4.3	METODOLOGÍA PARA EL EMPLAZAMIENTO DE LA SONDA ADV TRITON EN LA ESTACIÓN DE MEDICIÓN.....	155
4.3.1	Instalación del anclaje.....	155
4.3.2	Instalación del sistema de medición.....	156
4.3.3	Instalación de sonda oceanográfica ADV Triton.....	156
4.4	PROCESO DE MEDICIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL OLEAJE.....	158
4.4.1	Registro de parámetros.....	159
4.4.2	Marco explicativo de resultados.....	161
4.4.3	Análisis e interpretación de los resultados.....	167
4.4.4	Aplicación del modelo numérico SWAN para predicción del oleaje en las costas salvadoreñas para una estimación comparativa con los resultados experimentales obtenidos.....	190
4.4.5	Comparación de resultados basado en información de datos meteorológicos.....	202
	CONCLUSIONES.....	205
	RECOMENDACIONES.....	205
	OBSERVACIONES.....	207
	BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS.....	209
	GLOSARIO.....	218
	ANEXOS.....	232

## ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 2-1: Aportes energéticos por recurso, para la generación de electricidad. ....	15
Tabla 2-2: Demanda de energía en megavatios (MW). ....	16
Tabla 2-3: Capacidad instalada y disponible de las centrales generadoras de electricidad al 30 de junio de 2006. ....	17
Tabla 2-4: Desarrollo de la geotermia en El Salvador. ....	19
Tabla 2-5: Expectativas de expansión en el área de la energía geotérmica. ....	19
Tabla 2-6: Expectativas de expansión en el área de la energía hidráulica. ....	20
Tabla 2-7: Expectativas de expansión en el área de la energía térmica. ....	21
Tabla 2-8: Diferentes potenciales energéticos por desarrollar en la región centroamericana. ....	23
Tabla 2-9: Proyectos de plantas mareomotrices realizados. ....	29
Tabla 2-10: Proyectos de plantas mareomotrices en estudio. ....	30
Tabla 2-11: Proyectos realizados de plantas generadoras que aprovechan las corrientes marinas. ....	31
Tabla 2-12: Proyectos realizados sobre la generación de energía mediante el gradiente térmico-oceánico. ....	33
Tabla 2-13: Clasificación de las olas oceánicas, por el cambio de los parámetros principales. ....	37
Tabla 2-14a: Teorías clásicas de la propagación del oleaje. ....	50
Tabla 3-1: Los principales océanos y variables que les caracterizan. ....	57
Tabla 3-2: Principales constituyentes en un kilogramo de agua de mar. ....	58
Tabla 3-3: Principales regiones del mundo para el Océano Pacífico. ....	61
Tabla 3-4: Estratificación cronológica de los suelos salvadoreños. ....	120
Tabla 3-5: Variabilidad entre marea alta y baja en los puertos de El Salvador, respecto al nivel medio del mar. ....	126
Tabla 3-6: Caracterización del punto de emplazamiento de sonda ADV Tritón, para la medición de los parámetros del oleaje en el punto Santa María Mizata. ....	142
Tabla 3-7: Datos topográficos de los puntos a evaluar. ....	144

Tabla 4-1: Promedio de flujo energético en febrero de 2007, Playa Mizata, datos de sonda oceanográfica ADV Triton. ....	165
Tabla 4-2: Promedio de flujo energético en marzo de 2007, Playa Mizata, datos de sonda oceanográfica ADV Triton. ....	166
Tabla 4-3: Resumen de resultados de altura de ola. ....	168
Tabla 4-4: Resumen de resultados del período del oleaje. ....	168
Tabla 4-5: Resumen de resultados de las direcciones del oleaje, durante el período de medición. ....	171
Tabla 4-6: Comparación de flujos de energía en las transiciones de mareas altas y bajas durante el período de medición. ....	179
Tabla 4-7: Comparación de flujos de energía entre las dos mareas altas y las dos mareas bajas. ....	179
Tabla 4-8: Resumen de eventos presentados en base a los cambios de flujos energéticos ocurridos en el periodo de medición, comprendido entre el 7 de febrero al 20 de marzo de 2007. ....	185
Tabla 4-9: Resumen de resultados experimentales al procesar datos registrados a partir del 7 de febrero al 20 de marzo de 2007 en la cercanías de la playa Santa María Mizata kilómetro 87.5 carretera Litoral, departamento La Libertad. ....	190
Tabla 4-10: Condiciones de fronteras asignadas al software SWAN. ....	193

## ÍNDICE DE GRÁFICAS.

Gráfica 2-1: Precio del barril de petróleo (\$). ....	10
Gráfica 2-2: Naciones con mayor reserva de petróleo, en miles de millones de barriles. ....	11
Gráfica 2-3: (a) Consumo mundial de energía; (b) Uso mundial de energía por tipo de energía. ....	11
Gráfica 2-4: Reservas/ producción por tipo de energía fósil en las diferentes regiones mundiales. ....	12

Gráfica 2-5: Generación mundial de electricidad por tipo de recurso. ....	13
Gráfica 2-6: Muestra el precio del megavatio por hora generado en el país del 2005 al 2006. ....	15
Gráfica 2-7: Crecimiento anual de la demanda energética interna. ....	16
Gráfica 2-8: Margen porcentual entre la demanda máxima y la capacidad de energía disponible en El Salvador. ....	17
Gráfica 2-9: Proyección del crecimiento de la demanda energética (MW). ....	18
Gráfica 2-10: Matriz energética centroamericana. Capacidad instalada 2005. ....	22
Gráfica 2-11: Desarrollo futuro de los costos de inversión. ....	27
Gráfica 2-12: Evolución esperada de los costos de generación de electricidad con combustibles fósiles y energías renovables. ....	27
-	
Gráfica 4-1: Resultados obtenidos con la sonda oceanográfica ADV Triton, en el periodo comprendido del 7 de febrero al 20 de marzo de 2007, en las gráficas de arriba esta representado el espectro direccional de energía, que no es más que la distribución de la energía en un rango de direcciones. Y en las gráficas de abajo esta representado el espectro frecuencial del oleaje marino costero en la zona de estudio, en donde se visualiza la distribución de la energía en diferentes bandas de frecuencia. ....	164
Gráfica 4- 2: Resultado de flujo de energía para el mes de febrero de 2007. ....	165
Gráfica 4-3: Resultado de flujo de energía para el mes de marzo de 2007. ....	166
Gráfica 4-4: Altura significativa de la ola, procesada durante el período de medición comprendido entre el 7 de febrero al 20 de marzo de 2007. ....	169
Gráfica 4-5: Período de la ola, procesada durante el período de medición comprendido entre el 7 de febrero al 20 de marzo de 2007. ....	170
Gráfica 4-6: Dirección del oleaje procesada durante el período de medición comprendido entre el 7 de febrero al 20 de marzo de 2007. ....	172
Gráfica 4-7: Rosa de oleaje representativa durante el período de medición comprendido entre el 7 de febrero al 20 de marzo de 2007. ....	173



Gráfica 4-8: Flujo de energía característica en la zona de medición en función de la altura y el período pico del oleaje. ....	176
Gráfica 4-9: Flujo de energía característica en la zona de medición en función de la altura y la dirección de propagación del oleaje. ....	177
Gráfica 4-10: Comparación de los flujos de energía en el día y la noche durante el período de medición comprendido entre el 7 de febrero al 20 de marzo de 2007. ....	178
Gráfica 4-11: Comparación de flujos de energía en las diferentes transiciones de mareas durante el período de medición comprendido entre el 7 de febrero al 20 de marzo de 2007. ....	181
Gráfica 4-12: Variación del flujo de energía en las transiciones lunares durante el período de medición comprendido entre el 7 de febrero al 20 de marzo de 2007. ....	182
Gráfica 4-13: Comparación de flujos de energía entre transición de fases lunares durante el período de medición comprendido entre el 7 de febrero al 20 de marzo de 2007. ....	183
Gráfica 4-14: Variación del flujo de energía, clasificado en base a eventos durante el período de medición comprendido entre el 7 de febrero al 20 de marzo de 2007. ....	186
Gráfica 4-15: Tendencias de flujos energéticos en percentiles de 25,50 y 90 durante el período de medición comprendido entre el 7 de febrero al 20 de marzo de 2007. ....	188
Gráfica 4-16: Caracterización del flujo energético en la zona de estudio durante el período de medición comprendido entre el 7 de febrero al 20 de marzo de 2007. ....	189
Gráfica 4-17: Batimetría de la zona costera de El Salvador elaborada en MatLab. ....	192
Gráfica 4-18: Batimetría de la zona costera de El Salvador procesada por SWAN. ....	194
Gráfica 4-19: Altura de la ola significativa y dirección, para vientos de 8 Km/h y dirección de 45° .....	197
Gráfica 4-20: Altura de la ola significativa y dirección, para vientos de 6 Km/h y dirección de 45° .....	198

Gráfica 4-21: Altura de la ola significativa y dirección, para vientos de 12 Km/h y dirección de 45° .....	199
Gráfica 4-22: Altura de la ola significativa y dirección, para vientos de 10 Km/h y dirección de 45° .....	200
Gráfica 4-23: Flujo de energía para la costa salvadoreña. ....	201

## ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 2-1: Cambio de estructura del sector eléctrico en El Salvador.....	9
Figura 2-2: Distribución global del nivel anual de energía del oleaje marino, fuera de las costas (mar adentro) en KW/m de la cresta de la onda.....	34
Figura 2-3: Formación de las olas.....	35
Figura 2-4: Aspectos importantes de una ola.....	36
Figura 2-5: Espectros de energía de los diferentes tipos de olas oceánicas.....	37
Figura 2-6: Zona de generación del oleaje, donde existe transferencia de energía debido a la interacción océano-atmósfera.....	38
Figura 3-1: Distribución vertical de temperatura en los océanos tropicales.....	56
Figura 3-2: Distribución vertical de salinidad en los océanos tropicales.....	57
Figura 3-3: Clasificación de las aguas del Océano Pacífico de acuerdo con la estructura de sus masas de agua.....	59
Figura 3-4: Diagrama Temperatura-Salinidad dispersivo, para aguas de la zona del océano Pacífico centroamericano.....	60
Figura 3-5: Regiones naturales del Océano Pacífico y sistema de corrientes marítimas en superficie.....	61
Figura 3-6: Dinámica morfológica de la costa y esteros entre el Río Paz y estero El Zapote.....	68
Figura 3-7: Dinámica morfológica de costa y esteros al Norte de Acajutla.....	69
Figura 3-8: Costa llana y esteros entre Punta Remedio y Río Ayacachapa en Acajutla, Son Sonate.....	70

Figura 3-9: Mapa morfológico sinóptico de la gran planicie costera Central de El Salvador.....	75
Figura 3-10: Costa llana y esteros al Oeste del Río Jiboa; mapa base del Instituto Geográfico Nacional. ....	77
Figura 3-11: Mapa físico del Estero de Jaltepeque y la zona costera entre los Ríos Jiboa y Lempa. ....	79
Figura 3-12: Mapa físico de la parte Oriental del Estero de Jiquilisco hasta la Bocanita del Estero El Espino.....	82
Figura 3-13: Costa Oriental de El Salvador entre la Punta Toro de Oro y la playa El Tamarindo. ....	84
Figura 3-14: Parte Poniente del Golfo de Fonseca con la topografía del fondo submarino del Golfo.....	85
Figura 3-15: Clasificación geológica de la zona costera de la Sierra El Bálsamo.....	97
Figura 3-16: Marco Tectónico regional, configuración de las Placas Tectónicas en El Salvador.....	108
Figura 3-17: Sistemas de fallas asociadas a la formación y evolución del Graben Central en El Salvador. ....	109
Figura 3-18: Sistema de fallas en la zona costera de la Sierra El Bálsamo. ....	110
Figura 3-19: Principales tipos de suelo en la zona costera de la Sierra El Bálsamo.....	113
Figura 3-20: Uso del suelo en la zona costera de la Sierra El Bálsamo.....	114
Figura 3-21: Uso potencial del suelo en la zona costera de la Sierra El Bálsamo.....	115
Figura 3-22: Mapa de susceptibilidad a deslizamientos. ....	119
Figura 3-23: Perfiles de la plataforma continental en tres regiones territoriales. ....	124
Figura 3-24: Corte geológico en longitud 89°15'W. En esta zona local, en el departamento La Libertad, se concibe un eusinclinal predominantemente estratificado con rocas volcánicas cuaternarias, subyacidas por rocas volcánicas del Terciario y subsecuentemente rocas metamórficas del Carbonífero Superior.....	140
Figura 3-25: Ubicación de la sonda oceanográfica ADV Triton, en la cercanía de la playa Mizata. ....	142
Figura 4-1: Esquema de carcasa protectora de sonda. ....	154

Figura 4-2: Diagrama esquemático del sistema de anclaje. ....	154
Figura 4-3: Esquema de la instalación del sistema medición en las cercanías de la Playa Santa María Mizata, Kilómetro 87.5 de la carretera de El Litoral, La Libertad. ....	157
Figura 4-4: Trayectoria para la instalación y extracción de la sonda oceanográfica ADV Triton. ....	158
Figura 4-5: Sistema de despliegue, para configurar el modo de operación de la sonda ADV Triton. Vista en pantalla de PC.....	160
Figura 4-6: Registro de resultados procesados por la sonda ADV Triton vista de pantalla de PC. ....	161
Figura 4-7: Ventana para las descarga de la batimetría de la zona costera de El Salvador para la elaboración de la malla computacional. ....	191
Figura 4-8: Flujos medios de energía mostrados, en la zona de estudio obtenido por la sonda ADV Triton y por la NOAA WAVEWATCH. ....	203

#### ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS.

Fotografía 2-1: Oleaje tipo SEA. ....	39
Fotografía 2-2: Oleaje tipo SWELL.....	39
Fotografía 3-1: Planicie con punta, en el Occidente del país, fotografía aérea.....	70
Fotografía 3-2: Sierra El Bálsamo; crestas laterales bajan de la cresta principal hacia el mar. ....	72
Fotografía 3-3: Vista aérea desde la costa de la Sierra El Bálsamo hacia la planicie costera Occidental.....	74
Fotografía 3-4: Costa de El Bálsamo, acantilados orientados hacia el mar. ....	74
Fotografía 3-5: Punto número uno, Kilómetro 51 sobre la carretera El Litoral (restaurante Café La Iguana) departamento La Libertad, donde se visualiza la terraza rocosa del cantil, y al fondo una pequeña ensenada de playa. ....	91

Fotografía 3-6: Punto número dos, Kilómetro 56 sobre la carretera El Litoral (antes del primer túnel) departamento La Libertad, donde se visualiza el cantil con su respectiva plataforma rocosa donde rompen las olas. ....	92
Fotografía 3-7: Punto número tres, Kilómetro 63 sobre la carretera El Litoral, departamento La Libertad, donde se visualiza la terraza rocosa del cantil, y al fondo una pequeña ensenada de playa de arena y al otro extremo existen acantilados rocosos.....	92
Fotografía 3-8: Punto número cuatro, Kilómetro 87.5 sobre la carretera El Litoral (cerca de la playa Sta. María Mizata) departamento La Libertad, donde se visualiza el acantilado, en el que a ambos lados de este existen planicies costeras.....	93
Fotografía 3-9: Relieve de la cadena costera de la Sierra El Bálsamo, en la que se observan un conjunto de alineaciones montañosas de origen volcánico.....	94
Fotografía 3-10: Acercamiento en el punto número uno. ....	95
Fotografía 3-11: Acercamiento en el punto número dos.....	95
Fotografía 3-12: Acercamiento en el punto número tres. ....	96
Fotografía 3-13: Acercamiento en el punto número cuatro. ....	96
Fotografía 3-14: Forma de algunos acantilados de la Sierra El Bálsamo. ....	99
Fotografía 3-15: Terraza rocosa frente al cantil, kilómetro 51 sobre la carretera El Litoral departamento La Libertad.....	100
Fotografía 3-16a: Punto número uno, Kilómetro 51 sobre la carretera El Litoral.....	102
Fotografía 3-17a: Punto número dos, Kilómetro 56 sobre la carretera El Litoral (antes del primer túnel). ....	103
Fotografía 3-18a: Punto número tres, Kilómetro 63 sobre la carretera El Litoral. ....	104
Fotografía 3-19a: Punto número cuatro, Kilómetro 87.5 sobre la carretera El Litoral (cerca de la playa Santa María Mizata). ....	105
Fotografía 3-20: Se muestran lugares donde se han originado derrumbes sobre la borda continental. ....	116
Fotografía 3-21a: Se muestra acantilados que presentan grietas que podrían dar lugar a futuras fallas.....	117

Fotografía 3-22a: Se muestran, la estabilidad del terreno en el Km 51. ....	118
Fotografía 3-23: Secuencias del fenómeno de las marejadas que ocurrieron en el muelle del Puerto de La Libertad el 16 de junio de 2006, en el litoral salvadoreño. ....	129
Fotografía 3- 24a y 3-24b. Fotografías donde se observan ondas bien formadas de la mar de fondo, que vienen del Sur con pequeña altura y largo período de ondas. ....	130
Fotografía 3-25: Fotografía aérea donde se observa el efecto de la resaca en la zona costera de El Salvador. ....	132
Fotografía 3-26: Fotografía aérea que muestra el ángulo aproximado de 9°, entre los frentes de olas y la costa de la zona costera de El Salvador. ....	133
Fotografía 3-27: A medida que la onda se acerca a la plataforma, reduce su velocidad y gana altura, hasta formar un frente de onda casi uniforme. ....	133
Fotografía 3-28: Onda bien formada de la mar de fondo. ....	134
Fotografía 3-29: Empieza la ruptura de la ola, a medida se acerca a la plataforma costera. ....	134
Fotografía 3-30: La cual libera grandes cantidades de energía. ....	135
Fotografía 3-31: Hasta llegar a la línea costera o acantilado. ....	135
Fotografía 3-32: La energía se disipa totalmente al llegar a la plataforma. ....	136
Fotografía 3-33: El agua de resaca baña la playa o acantilado, y esta regresa al mar. .	136
Fotografía 3-34: Inicio del ciclo de desarrollo de resaca. ....	137
Fotografía 3-35: Corales blandos creciendo el sustrato rocoso de las especies Leptogorgia alba. ....	146

## ÍNDICE DE ANEXOS.

Anexo A2-1: Diferentes técnicas utilizadas para el aprovechamiento de la energía del oleaje. ....	234
Anexo A2-2: Distribución de energía espectral del oleaje en el intervalo de frecuencia y dirección, de un estado de mar procesado por el software View Tritón. ....	242

Anexo A3-1: Topografía del Océano Pacífico del Este Tropical. Observe desde el borde continental, relieve moderado, ancho 50 a 80 Km, pendiente de 0° 15' en el occidente y 0° 5' frente al Estero de Jiquilisco, hasta la subcota 200, pasando casi abruptamente hasta la subcota 2000 en una faja equivalente, ancho 100 Km, pendiente 4.5°. Nivel de referencia 0 m s n m, dato en La Unión. Posible influencia de la subducción de las placas oceánicas de Cocos y la de Centroamérica.....	243
Anexo A3-2: Características del fondo marino de El Salvador, Honduras y Nicaragua.	244
Anexo A3-3: Mapa morfológico de El Salvador. 1) Sistema El Bálsamo en depto. La Libertad; 2) Sierra de Jucuarán depto. Usulután; 3) Río Lempa; 4-4) Graven salvadoreño; 5) Volcanismo hacia la costa; 6) Norte montañoso del país. ....	245
Anexo A3-4: Formas de Costas en El Salvador. Borde continental. ....	246
Anexo A3-5: Diferentes tipos de paisajes naturales de la costa de El Salvador. Cuyo paisaje costero se extiende con anchura de 20 Km a 30 Km, paralelamente a la playa. ....	247
Anexo A3-6: Mapa Pedológico de El Salvador, en el que predominan los suelos Latosoles arcillo rojizos, son terrenos elevados de la zona intermedia, terrazas y faldas bajas de la montaña volcánica de El Bálsamo.....	248
Anexo A3-7: Relieve de El Salvador. Formaciones geológicas asociadas de Apaneca, El Bálsamo y Jucuarán. ....	249
Anexo A3-8: Mapa Geomorfológico de la República de El Salvador, en el que 12% del territorio nacional corresponde a la cadena costera, 12% Planicie Costera, 15% Cadena Volcánica Joven, 32% Gran Depresión Central, 25% Montaña Fronteriza y 4% Cuerpos de Agua respectivamente. ....	250
Anexo A3-9: Características de la borda oceánica del Pacífico. ....	251
Anexo A3-10: El Salvador con diferentes isobatas, describiendo la plataforma de la nación. ....	253
Anexo A3-11: Lugares de testimonio de la emergencia isostática de la región costera de El Salvador.....	254

Anexo A3-12: Velocidad media (Km/h) y rumbo dominante anual del viento en El Salvador. Las flechas azules representan los vientos con componente Norte y las de color rojo los vientos con componente Sur. Las curvas verdes representan las Isotacas cada 2 Km/h. ....	255
Anexo A3-13: Parámetros del Ambiente del mar en el Océano Pacífico. ....	256
Anexo A3-14: Lugares visitados para selección del punto de emplazamiento.....	258
Anexo A4-1: Especificaciones técnicas de la sonda oceanográfica ADV Triton. ....	260
Anexo A4-2: Elementos que forman todo el kit de la sonda ADV Triton.....	262
Anexo A4-3: Prueba de diagnostico utilizando el Software SonUtils4. ....	266
Anexo A4-4: Prueba de registro de información de software ViewTriton. ....	271
Anexo A4-5: Planos de la carcasa para la proteger la sonda ADV Triton.....	277
Anexo A4-6: Construcción de la carcasa protectora, de la sonda ADV Triton. ....	278
Anexo A4-7: Planos del anclaje del sistema de anclaje.....	282
Anexo A4-8: Construcción del sistema de anclaje para la sonda ADV Triton.....	283
Anexo A4-9: Proceso de instalación del sistema de anclaje. ....	284
Anexo A4-10: Proceso de instalación de la carcasa.....	285
Anexo A4-11: Extracción de la carcasa y desmontaje de la sonda ADV Triton. ....	286
Anexo A4-12 : Instalación de la sonda ADV Triton.....	287
Anexo A4-13: Destrucción de la sonda oceanográfica ADV Triton. ....	288
Anexo A4-14: Informe Especial de SNET.....	289
Anexo A4-15: Calendario de transiciones de mareas altas y bajas, para los meses de febrero, marzo de 2007.....	291
Anexo A4-16: Calendario de fases lunares, para los meses de febrero, marzo y abril 2007. ....	293



## SIMBOLOGÍA UTILIZADA.

a	Amplitud.
$B_J$	Parámetro de Phillips del espectro de oleaje JONSWAP.
Btu	Unidad Técnica Británica.
cm	Unidad de longitud, representa la centésima parte del metro.
$\text{cm}^2/\text{Hz}$	Unidad de energía espectral frecuencial.
$\text{cm}^2/\text{deg}$	Unidad de energía espectral direccional
d	Unidad de tiempo, equivalente a 24 horas.
$E_T$	Energía teórica total.
$E_C$	Energía cinética.
$E_P$	Energía potencial.
$\bar{f}$	Frecuencia media.
f	Frecuencia.
$f_p$	Frecuencia pico.
g	Gravedad.
g	Unidad de masa, representa la milésima parte del kilogramo.
GW	Unidad de flujo de energía, conocido como potencia, equivalente a mil millones de vatios.
h	Unidad de tiempo, equivalente a 60 minutos.
$H_{1/3}$	Altura significativa de la ola.
$H_S$	Altura significativa de la ola.
k	Número de onda.
Km	Unidad de longitud, equivalente a mil metros.
Km/h	Unidad de velocidad, equivalente a mil metros por tres mil seiscientos segundos.
KW	Unidad de flujo de energía, conocido como potencia, equivale a mil vatios.
KW/m	Flujo de energía, por metro lineal de frente de onda.
m/s	Unidad de velocidad.
$\text{m}^3/\text{s}$	Unidad de Caudal.
$\text{m}^2/\text{Hz}$	Unidad de energía espectral frecuencial.
MHz	Unidad de frecuencia, equivalente a un millón de hertzios.
mm	Unidad de longitud, equivalente a la milésima parte del metro.
MW	Unidad de flujo de energía, conocido como potencia, equivalente a un millón de vatios.
MWh	Unidad de Energía.
T	Período.

$T_p$	Período pico de registro.
$\omega$	Frecuencia angular.
$W$	Unidad de flujo de energía, conocido como potencia.
$\$$	Símbolo utilizado para representar el dólar.
$^{\circ}\text{C}$	Unidad de temperatura, en grados Celsius.
$\rho$	Representa la densidad.
$\pi$	Constante.
$\gamma$	Factor de amplificación del pico espectral.
$\lambda_j$	Parámetro de forma espectral.
$\lambda$	Longitud de onda.
$\theta$	Dirección del frente de la ola.

## SIGLAS Y ABREVIATURAS.

AEA	Alianza en Energía y Ambiente.
AES -CLESA	Compañía de Luz Eléctrica de Santa Ana y Cía.
ADV	Acoustic Doppler Velocimeter.
AIA	Agua Intermedia Antártica.
ASI	Asociación Salvadoreña de Industriales.
ASS	Agua Subsuperficial Sub-tropical.
AST	Agua Superficial Tropical.
BUN-CA	Biomass Users Network- Central America.
CAESS	Compañía de Alumbrado Eléctrico de San Salvador.
CEL	Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa.
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
CNR	Centro Nacional de Registros.
DELSUR	Distribuidora Eléctrica del Sur.
DEUSEM	Distribuidora Eléctrica de Usulután.
DGEE	Dirección General de Energía eléctrica.
EEO	Empresa Eléctrica de Oriente.
ETESAL	Empresa Transmisora de El Salvador S.A. de C.V.
E+Co	Energy Through Enterprise.
FENERCA	Financiamiento de Empresas de Energía Renovable en América Central.
FIA	Facultad de Ingeniería y Arquitectura.
FUSADES	Fundación Salvadoreña para el Desarrollo Económico Sostenible.
GPS	Sistema de Posicionamiento Global.
GTZ	Cooperación Técnica Alemana.
ICMARES	Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad de El Salvador.
IDAE	Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía.
IEA	Agencia Internacional de Energía.
ISSC	International Ship Structures Congress.
ITTC	International Towing Tank Conference.
I+D	Investigación y Desarrollo.
MIDES	Manejo Integral de Desechos Sólidos.
MRS	Mercado Regulador del Sistema.
NEL	National Engineering Laboratory.
OPT	Ocean Power Technologies.
OTEC	Conversión de Energía Termal Oceánica.
OWC	Oscillating Water Column.
PIB	Producto Interno Bruto.

PPA	Asociaciones Públicas y Privadas.
QUB	Queen's University Belfast.
SIEPAC	Sistema de Interconexión Eléctrica de los Países de América Central.
SIFER	Sistema de Fomento de Energías Renovables.
SIGET	Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones.
SNET	Servicio Nacional de Estudios Territoriales.
SWAN	Simulating Waves Nearshore.
TMA	Texel, Marsen y Arsloe.
UES	Universidad de El Salvador.
UT	Unidad de Transacciones.
ZCIT	Zona de Convergencia Intertropical.

## INTRODUCCIÓN GENERAL

En respuesta a los altos costos de los derivados del petróleo y a la creciente demanda de energía en El Salvador, y la alta contaminación ambiental generada por las emisiones de Bióxido de Carbono, se buscan fuentes alternativas de energía renovable, para generar energía eléctrica, esta investigación de largo plazo, consiste en la evaluación del potencial energético del oleaje, en las costas de El Salvador, con el objeto de posibilitar su uso, para la generación de energía eléctrica, captando la energía cinética que llevan las olas del mar antes del choque en la borda costera del país. Para la realización de este estudio, localmente, se seleccionó el sitio donde colocar la estación de medición, en base a características morfológicas de la zona costera, tales como estabilidad del terreno, tipo y régimen del oleaje, lecho marino, etc., accesibilidad y seguridad del lugar, buscando sobre todo lugares que no afecten el turismo. En base a criterios de un especialista en geología, se seleccionaron cuatro zonas de mediciones localizadas en la zona costera Centro-occidental, entre los puertos La Libertad y Acajutla, adyacente a la cordillera El Bálsamo, clasificadas como costas acantiladas en base a la geomorfología costera, con el fin de poder caracterizar el oleaje marino local. Se seleccionó, el punto cercano a la playa Santa María Mizata, Kilómetro 87.5, carretera El Litoral, departamento La Libertad, con el objetivo de caracterizar el oleaje, el cual se midió con la sonda oceanográfica ADV Triton, instalada a 150 metros desde la línea de costa, de 6 m a 8 m de profundidad, registrando datos durante 42 días, comprendidos entre el 7 de febrero al 20 de marzo de 2007. El procesamiento de los datos se hace aplicando el modelo numérico SWAN de tercera generación para la predicción del oleaje frente a la faja costera salvadoreña.

CAPÍTULO UNO  
GENERALIDADES

## INTRODUCCIÓN.

El trabajo de graduación titulado Evaluación del Potencial Energético del Oleaje en las Costas de El Salvador, tiene como objetivo, calcular el flujo de energía del oleaje marino por frente de onda, esto se realiza, cuantificando las variables representativas:  $H_s$ , altura significativa,  $T_p$ , período pico y  $\theta_m$ , dirección de propagación del oleaje, una vez se instale un instrumento de medición apropiado para sondear los parámetros del oleaje. Así mismo, se ostentarán criterios en base a los cuales se puedan reconocer y verificar lugares de la plataforma continental, aptas para ser objeto de emplazamiento de la sonda oceanográfica ADV Triton. En el contenido del estudio, se plantea la situación energética salvadoreña, así como, el estudio de los lugares para emplazamiento, donde se cuantificarán las variables del oleaje, previo de la obtención de datos para procesarlos y con los resultados, cuantificar el potencial energético del oleaje marino costero, en el lugar asignado de estudio.

### 1.1 ANTECEDENTES.

La primera patente de energía de las olas se realizó en Francia al final del siglo XVIII, en el año 1799. En la década de los años de 1970's del pasado siglo XX, surgieron proyectos financiados por empresas privadas y gobiernos de países como Japón e Inglaterra, y el lento desarrollo de la tecnología y los grandes costos de inversión fueron paralizando proyectos tales como Oscillating Water Column (OWC), Archimedes Wave Swing, Ocean Power Technologies OPT, etc<sup>1</sup>. En los últimos seis años, al año 2006, gobiernos y empresas privadas han invertido en estudios para aprovechar la energía de los océanos (Termo-océánica, Mareomotriz, Corrientes Marinas y Olas) considerando que las energías renovables pueden ser de gran ayuda para

---

<sup>1</sup> <http://personales.ya.com/universal/TermoWeb/EnergiasAlternativas/mar/index.html>viernes, Energía del mar, 31 de marzo de 2006, 6:15 p.m.

disminuir los problemas de contaminación ambiental y la escasez de recursos energéticos, derivados del petróleo. Así, países como Inglaterra, Estados Unidos, Japón, Canadá, Francia, Alemania, Escocia, etc., han dado a las investigaciones en energía de las olas del mar, asignación de fondos, para estudios y ensayos de diferentes técnicas para captar la energía que liberan los frentes de olas, por ejemplo: OWC NEL (National Engineering Laboratory, Inglaterra), OWC BBDB (Ryokuseisha Corporation, Japón), OWC QUB (Queen's University Belfast, Prototipo en Islay, Escocia), etc.<sup>2</sup> En El Salvador, es muy importante iniciar el estudio de esta fuente de energía renovable, como una alternativa más, en la generación de energía eléctrica, como consecuencia del incremento de los precios del petróleo y sus derivados.

En El Salvador, el Ingeniero Mario Ernesto Rodríguez Sosa<sup>3</sup>, realizó mediciones de parámetros del oleaje marino costero en el muelle del Puerto La Libertad, Km 32 carretera El Litoral, departamento La Libertad, con el objetivo de calcular el potencial energético. Utilizó medición directa con la ayuda de instrumentos básicos de medición, entre estos: cinta métrica, cronómetro, contómetro y cuerda, obteniendo: altura promedio, período y velocidad de la ola, en base a estas variables, calculó el flujo energético de seis muestras, cuyo valor promedio fue de 30 KW/m de frente de onda, de ahí, el considero, que utilizando la energía cinética del oleaje a lo largo de la costa salvadoreña, es posible generar energía eléctrica en el país. Sin embargo, las mediciones realizadas por el Ing. Rodríguez Sosa fueron únicamente de un día, no se registraron de manera continua y los instrumentos de medición no fueron precisos. Este trabajo de graduación, surge de la inquietud del Ing. Mario Ernesto Rodríguez Sosa en conocer el potencial energético del oleaje marino costero en las zonas acantiladas, para establecer condiciones de diseño de un prototipo, que convierte la energía cinética del oleaje en energía neumática, para aprovecharla y convertirla en energía eléctrica, ver anexo A1-1.

---

<sup>2</sup> Aplicaciones de los OWCs, página 8.

<sup>3</sup> RODRIGUEZ S., Mario E. Obtención de Energía Eólica en la Plataforma Continental Usando Recursos Marinos, agosto de 1988.



## 1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

En El Salvador, la oferta energética está compuesta por fuentes: hidroeléctricas, geotérmicas, biomásicas y térmicas (combustiones con productos derivados del petróleo). Se sabe que en el país existen depósitos de gas natural y/o petróleo, pero estos recursos son escasos<sup>4</sup>. Por lo tanto, el país depende de las importaciones de petróleo, principalmente de Venezuela y México. Esto conlleva a buscar fuentes alternativas de energía, especialmente de tipo renovable; por ejemplo, la energía de las olas del mar, con la finalidad de reducir el impacto negativo sobre la economía del país, que generan los costos del petróleo y sus derivados; impactando, la canasta básica de la población<sup>5</sup>.

## 1.3 JUSTIFICACIÓN.

En los próximos 20 años, la escasez de petróleo generará mayor crisis energética en los países que no lo producen. Desde 1998, El Salvador ha tenido que recurrir a importación de energía eléctrica para poder satisfacer la demanda interna. La generación térmica ha crecido en los últimos 20 años en 17.69%, mientras que la hidráulica sólo 1.45% y la geotérmica en 5.33%<sup>6</sup>, actualmente la demanda de energía crece en 6.5 % al año<sup>7</sup>, esto no es recíproco con la oferta de energía que es casi constante<sup>8</sup>, la cual es cercana a la capacidad interna disponible, y cada vez tiende a igualar a la demanda máxima. Esto hace necesario, que en el Estado haya estrategias a largo plazo para investigar fuentes energéticas renovables, que coadyuven a contrarrestar el impacto del precio del petróleo y sus derivados, para suplir la demanda energética que la población, el sistema productivo y la iluminación que todo el territorio demanda.

---

<sup>4</sup> CONAPES, Comisión Nacional del Petróleo de El Salvador, del Ministerio de Planificación en la década de los años 1960's a 1970's.

<sup>5</sup> La Prensa Gráfica del día miércoles 19 de abril de 2006, página 30.

<sup>6</sup> El Diario de Hoy, miércoles 10 de mayo de 2006, página 3.

<sup>7</sup> La Prensa Gráfica, viernes 2 de junio de 2006, página 56.

<sup>8</sup> El Diario de Hoy, miércoles 10 de mayo de 2006, página 3.

## 1.4 OBJETIVOS.

### Objetivo General:

Evaluar el potencial energético de las olas del mar de la costa salvadoreña, para posibilitar su uso entre las fuentes alternativas de generación de energía eléctrica disponibles en la naturaleza.

### Objetivos Específicos:

- ✓ Establecer criterios para la identificación de zonas costeras, con posibilidades de ser consideradas objeto de producción de energía eléctrica.
- ✓ Evaluar las variables del oleaje marino costero, midiendo sus parámetros, con datos obtenidos a través de mediciones in situ y proponer la aplicación de un modelo matemático que se ajuste al método de medición. Para cuantificar el flujo energético del oleaje frente a la costa salvadoreña.

## 1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES.

### Alcances

- ✓ Se establecerá una estación de medición de los parámetros del oleaje en estudio, focalizado en puntos pilotos de la plataforma continental, evaluando el potencial energético del oleaje en la zona del borde costero.
- ✓ Se modelarán las variables más representativas de las olas costeras del mar a partir de la teoría que se considere más aceptable en la zona de estudio respecto a los datos obtenidos.

### Limitaciones.

- ✓ Apoyo económico y logístico, limitado para la realización de la investigación.

### Delimitación.

La localización exacta del lugar de medición estará comprendida entre los departamentos, Sonsonate y La Libertad, en la proximidad del borde continental en el lecho marino

CAPÍTULO DOS  
GENERALIDADES DEL SECTOR ENERGÉTICO, Y  
ENERGÍA DE LOS OCÉANOS.

## INTRODUCCIÓN.

La disponibilidad de recursos energéticos, es un elemento vital para garantizar el desarrollo de El Salvador. Actualmente, existe una creciente demanda de energía, esto implica, la búsqueda de nuevas fuentes de energía que contribuyan a diversificar la matriz energética. Y depender menos de la generación de electricidad a base de los derivados del petróleo. El siguiente capítulo, aborda la situación energética en El Salvador, capacidad instalada, demanda de energía, y como fuente de energía oceánica, la energía del oleaje marino, que se distribuye a lo largo de las zonas costeras.

El potencial energético del oleaje marino, puede ser analizado con diferentes enfoques, el fin último que se persiga establecerá el método apropiado, y así, se caracterizarán los parámetros del oleaje marino local.

La variabilidad del potencial energético del oleaje frente a las costas salvadoreñas, está influenciado directamente por variables climatológicas, características morfológicas costeras, etc. Al final del capítulo, se elegirá el modelo matemático que se aplicará en el cálculo del flujo de energía por metro lineal de frente onda, también, se explicarán algunas técnicas de aprovechamiento de la energía de las olas del mar.

### 2.1 SITUACIÓN ENERGÉTICA EN EL SALVADOR.

#### 2.1.1 La reforma del sector energético en El Salvador.

El Salvador aprobó la Ley General de Electricidad en 1996, esta promueve la libre competencia en la generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, así como la reestructuración de la Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa (CEL). Esta ley condujo a la privatización del sistema de distribución en 1998, a partir de la cual, se realizó la venta de 276 MW, en 1999, y la privatización del sistema de transmisión eléctrica en el año 2000. La ley estableció además, un ente

regulador, la Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones (SIGET) y un operador del Mercado Mayorista, Unidad de Transacciones (UT)<sup>9</sup>. La figura 2.1 muestra el esquema de organización concebido en la reforma del sector energético salvadoreño.

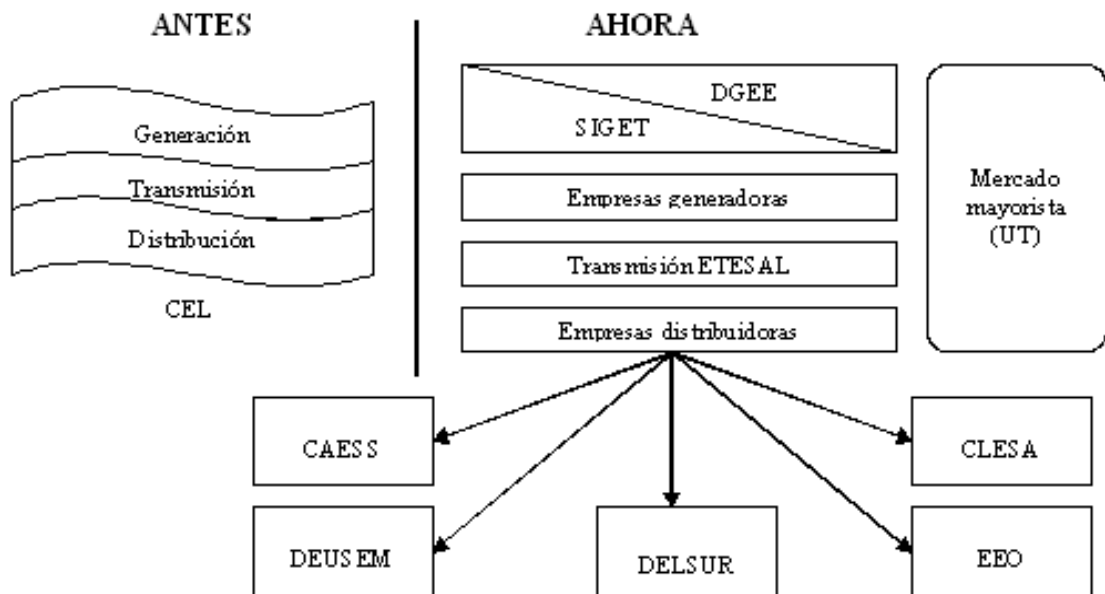


Figura 2-1: Cambio de estructura del sector eléctrico en El Salvador<sup>10</sup>.

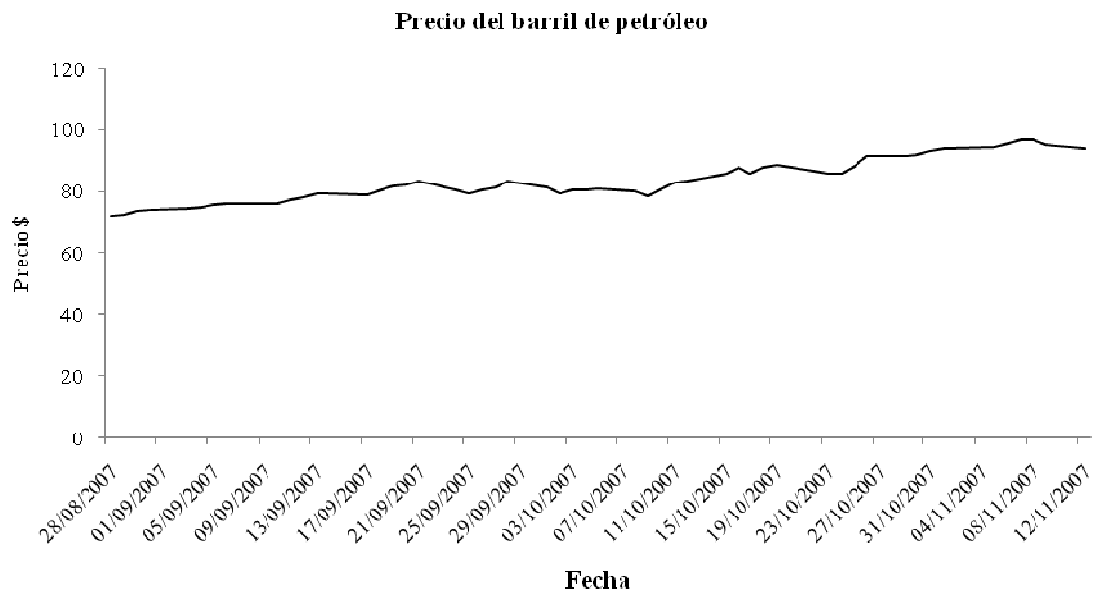
### 2.1.2 El escenario energético para el siglo XXI.

Las actividades cotidianas de cualquier país, encaminadas al crecimiento económico y desarrollo sostenible, necesitan cada vez más la disponibilidad de recursos energéticos, los cuales constituyen un insumo vital para todas las actividades económicas; estos, implican una demanda en el incremento de la oferta energética de cualquier país, el aumento de los precios del petróleo constituye una grave limitante

<sup>9</sup> BLANCO, José María y UMAÑA, Leonel. Promoción de Energía Renovable en Centro América: Oportunidades para el Planteamiento de Políticas, 2ª edición, San José, Costa Rica, página 49, 2003, 67 páginas.

<sup>10</sup> Ibídem.

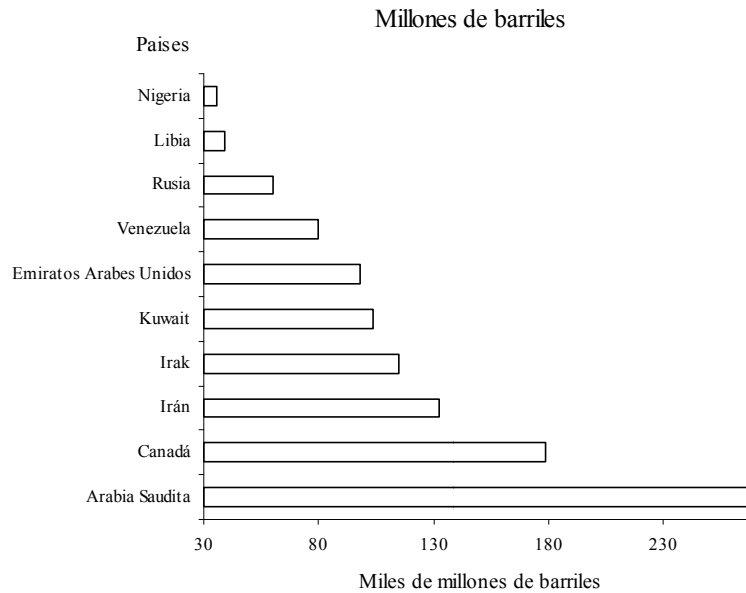
para las posibilidades de crecimiento de la economía global. Actualmente, hay crisis energética generalizada con impactos negativos, ya que el precio del barril de petróleo ha experimentado un aumento en los últimos meses, ver gráfica 2-1; esto como resultado de los conflictos geopolíticos por ejemplo el de Estados Unidos e Irán, y el de Irak, estos dos últimos países con grandes reservas de petróleo, ver gráfica 2-2.



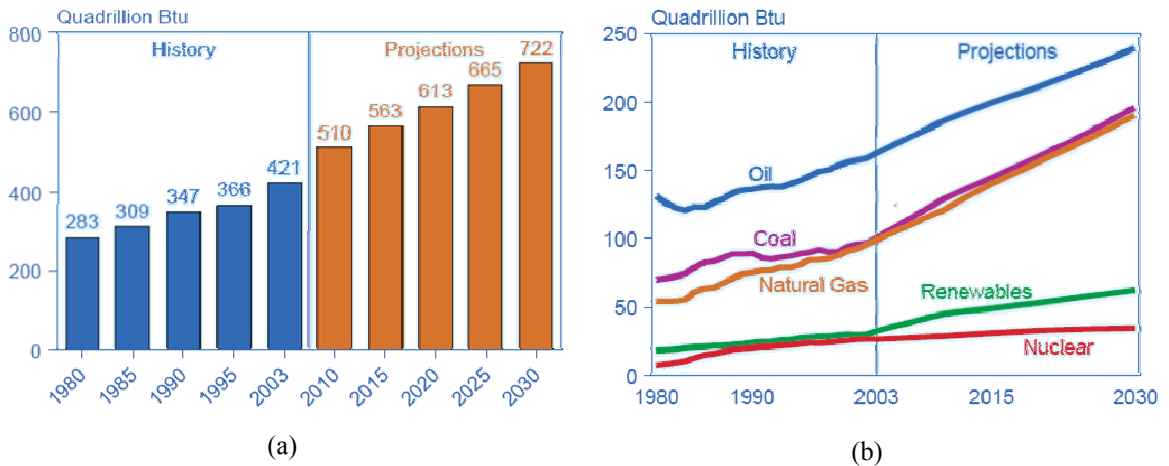
Gráfica 2-1: Precio del barril de petróleo (\$) <sup>11</sup>.

La demanda del recurso energético crece al ritmo que marcan las economías, creando la posibilidad de un colapso energético en el futuro si no se invierte la tendencia de consumo y la dependencia de los combustibles fósiles, ver gráficas 2-3a y 2-3b. Prueba de ello, es el impacto en los países en vías de desarrollo, debido a los altos precios del petróleo y la sensibilidad de sus economías.

<sup>11</sup> <http://www.cedatos.com.ec/contenido.asp?id=95>, lunes 1 de octubre de 2007.



Gráfica 2-2: Naciones con mayor reserva de petróleo, en miles de millones de barriles<sup>12</sup>.



Gráfica 2-3: (a) Consumo mundial de energía; (b) Uso mundial de energía por tipo de energía<sup>13</sup>.

El continuo y creciente deterioro del ecosistema mundial y el agotamiento a mediano plazo de las reservas de combustibles fósiles: carbón, petróleo y gas, son las principales consecuencias del actual sistema energético mundial, ver gráfica 2-4. El sistema

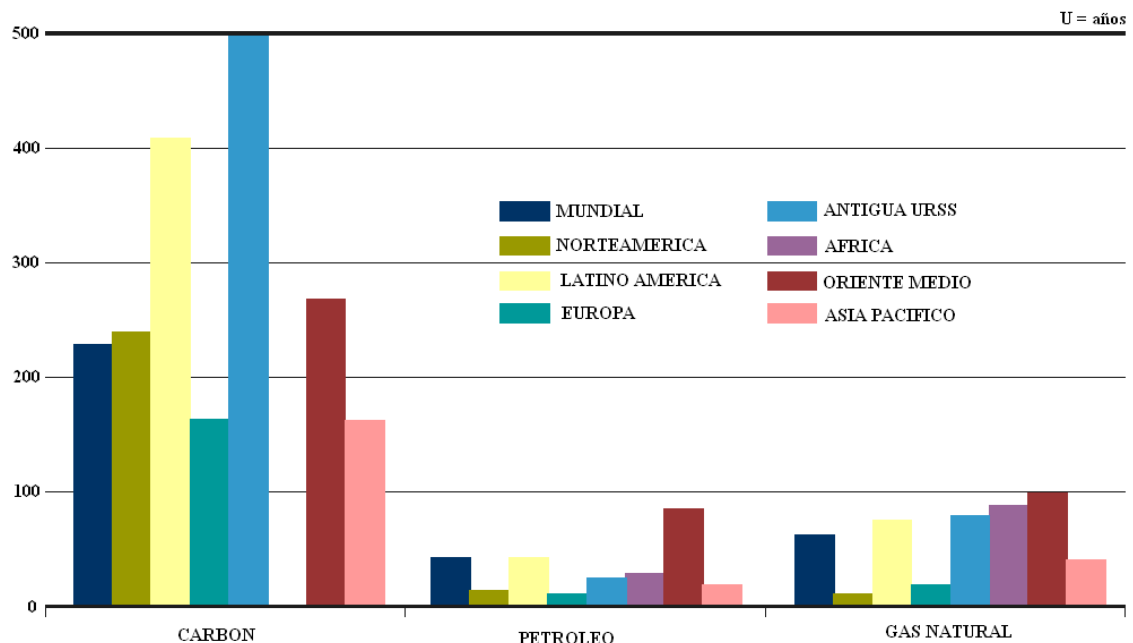
<sup>12</sup> LA PRENSA GRÁFICA, The Wall Street Journal Américas, Los problemas de Irán amenazan el suministro de petróleo, página 38, miércoles 26 de abril de 2006.

<sup>13</sup> International Energy Outlook 2006, Office of Integrated Analysis and Forecasting, U.S., Department of Energy, Washington, DC 20585, June 2006, 202 pages.



energético mundial se basa en la utilización intensiva de tales fuentes. Por esta razón es imperativo el desarrollo de fuentes energéticas alternas que sean armónicas ambientalmente, renovables e inagotables. Estas fuentes alternativas incluyen la radiación solar directa, la energía solar indirecta (hidráulica, viento, olas, biomasa, térmica de los océanos), la energía geotérmica, la de las mareas y la nuclear.

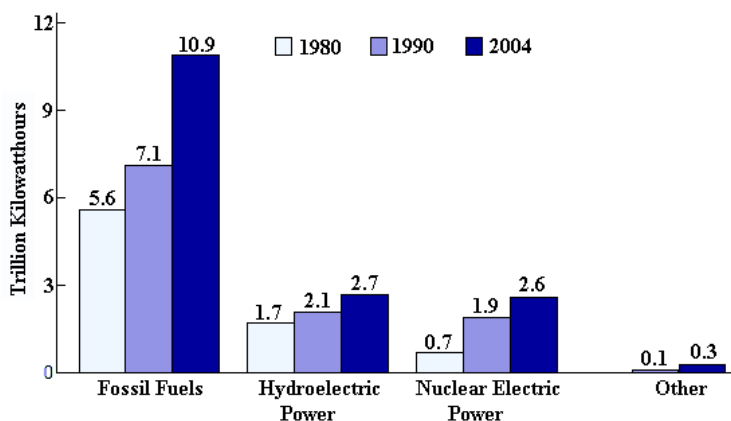
En la actualidad, el uso de los combustibles fósiles, ver gráfica 2-5, ha creado la dependencia de los hidrocarburos tal que la lucha por su control ha provocado invasiones armadas a estos países, con cruentas guerras como en Irak, Afganistán y en la mira Irán, creando un “imperio del gas”, que incluso ha llevado a impedir el desarrollo de investigaciones relacionadas con la búsqueda de fuentes nuevas de energía. Ha vuelto a sonar la opción de las centrales nucleares como solución a la previsible crisis energética que se tiene, siendo la alternativa más barata, pero también la más preocupante y potencialmente peligrosa, por el exterminio humano que esta creando y la destrucción ambiental, mucho más peligrosa.



Gráfica 2-4: Reservas/ producción por tipo de energía fósil en las diferentes regiones mundiales<sup>14</sup>.

<sup>14</sup> BP Statistical Review of World Energy.

Este futuro desalentador, lleva a la búsqueda de soluciones que vayan de la mano con el medio ambiente, sin renunciar al progreso y sin dañar el planeta. Esto se puede lograr, apostando firmemente por las energías renovables, biocombustibles y moderando adecuadamente, al consumo actual del recurso energético<sup>15</sup>.



Gráfica 2-5: Generación mundial de electricidad por tipo de recurso<sup>16</sup>.

### 2.1.3 Situación energética en El Salvador.

En El Salvador hay recursos naturales para generar energía eléctrica, tales como los hídricos, hidro-superficiales, termales con asociación volcánica y los petrolíferos que son limitados y hasta la fecha, no se han registrado actividades de exploración<sup>17</sup>. El único estudio existente a la fecha fue realizado con la cooperación de las Naciones Unidas hace más de 20 años, y comprendió investigaciones sísmicas y de geología superficial<sup>18</sup>. Actualmente con la crisis energética salvadoreña, por ejemplo, la tarifa eléctrica aumentó 14% a partir del 1 de julio de 2006, como resultado del mayor

<sup>15</sup> ARÉVALO G., Jaime A. Propuesta de Suministro Energético para el Desarrollo de La Comunidad La Laguna de El Salvador: Aplicación de un Sistema Aislado Mixto de Energía Solar Fotovoltaica y Eólica de Pequeña Potencia, El Salvador, San Salvador, diciembre de 2006, 168 páginas.

<sup>16</sup> Annual Energy Review 2005, Energy Information Administration, U.S., Department of Energy, Washington, DC 20585, 2005.

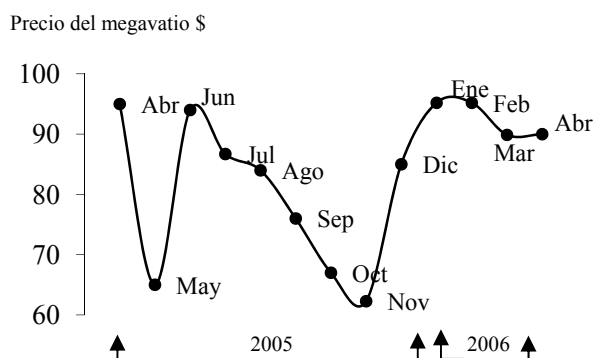
<sup>17</sup> En los años 1970's – 1980's, existió la Comisión Nacional del Petróleo CONAPES dependencia del Ministerio Planificación a cargo del Dr. José Mario Falconio Lazzari.

<sup>18</sup> CEPAL. Istmo Centroamericano: Diagnóstico de la Industria Petrolera, octubre de 2005, 91 páginas.

costo (30%), en la generación de energía eléctrica, a través de la generación térmica; la cual, en el primer trimestre de 2006, ha aumentado su participación en el mercado, ver tabla 2-1. En el país, el precio del megavatio se estima que “se ha mantenido a menor costo que el real”, la gráfica 2-6 indica los precios del megavatio por hora en los años 2005 y 2006, pero, la fuerte dependencia de la energía térmica provocó el mayor encarecimiento histórico de la generación eléctrica en El Salvador. Según estadísticas de la Unidad de Transacciones (UT), entidad encargada de operar el mercado eléctrico salvadoreño, el precio del megavatio hora fue de \$98.47 en agosto de 2007. Para el mismo mes, año 2006, el precio era \$83.31, 14% menos que la del mes pasado. De hecho, el precio promedio del megavatio hora, en julio de 2007 fue \$98.90, el más alto de los últimos tres años. Estos precios corresponden a los promedios del Mercado Regulador del Sistema (MRS), en el que los generadores de energía se la venden a los distribuidores de la misma. Esos precios sirven de base para la elaboración de los pliegos tarifarios con los que, semestralmente, se determina cuánto pagará la población por el servicio eléctrico que reciben en sus casas o en sus negocios. Aunque las energías hidroeléctrica y geotérmica son más baratas, y se venden a unos \$70 el megavatio hora, la energía térmica, o producida con combustibles, es más cara, y se vende a precio mayor que \$120 el megavatio. Como resultado del alza del crudo, el costo de la energía en El Salvador ha subido en los últimos años. El precio promedio del megavatio en el MRS fue de \$78.43 en 2005, pero subió un 13.3%, a \$88.90 en 2006. Durante los primeros ocho meses de 2007, el precio promedio de la energía ha sido de \$93.17, 4.8% mayor al del año pasado.

Tabla 2-1: Aportes energéticos por recurso, para la generación de electricidad.

Tipo de recurso	2005 (%) <sup>19</sup>	Abril 2006 (%) <sup>20</sup>	Junio 2006 (%) <sup>21</sup>	Mayo 2007 (%) <sup>22</sup>
Térmico	38	54	32.6	52.5
Hidráulico	35	24.4	47.9	22.2
Geotérmico	21	21	19.5	24.2
Importaciones	6	¿?	¿?	
Exportaciones	¿?	¿?	¿?	



Gráfica 2-6: Muestra el precio del megavatio por hora generado en el país del 2005 al 2006<sup>23</sup>.

#### 2.1.4 Situación actual de la generación de energía eléctrica suministrada a la red de El Salvador.

Desde el año 1998, El Salvador ha tenido que recurrir a la importación de energía eléctrica para satisfacer la demanda interna, la cual crece 6% anual<sup>24</sup>, ver gráfica 2-7 y tabla 2-2. En mayo de 2006, los costos de la electricidad llegaron hasta \$180.00 por megavatio hora (MWh). Desde 1992, los costos energéticos se han elevado a 200 por ciento, según el Centro de la Defensa del Consumidor, actualmente, el país está importando desde Honduras, 20 MW diarios de energía térmica que cuesta \$110.00

<sup>19</sup> CEL y SIGET.

<sup>20</sup> *Ibidem*.

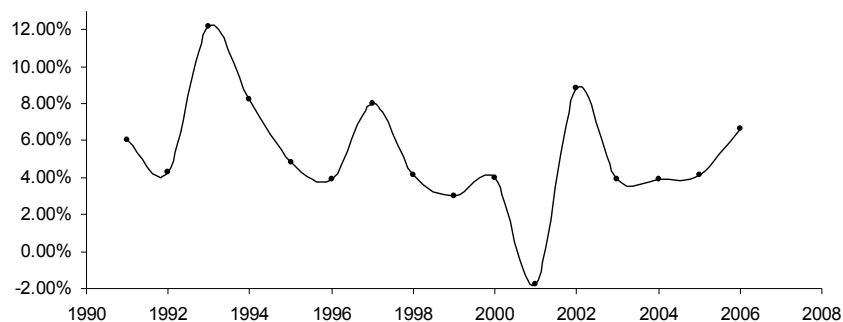
<sup>21</sup> *Ibidem*.

<sup>22</sup> *Ibidem*.

<sup>23</sup> El Diario de Hoy. Negocios, La tarifa eléctrica subiría 14%, viernes 9 de junio de 2006, página 42.

<sup>24</sup> El Diario de Hoy. Demanda de energía crece al 6%, viernes 19 de mayo de 2006, página 4.

por MWh. Además, ha tenido que recurrir a la importación de energía desde Guatemala, y, en los últimos 5 años, esto ha implicado hasta 9% del total ofertado<sup>25</sup>.



Gráfica 2-7: Crecimiento anual de la demanda energética interna<sup>26</sup>.

Tabla 2-2: Demanda de energía en megavatios (MW)<sup>27</sup>.

	2004	2005	2006	2007
Enero	731	773	835	853
Marzo	767	799	872	858
Mayo	767	804	868	889
Julio	733	809	858	
Septiembre	743	803	859	
Diciembre	809	829	881	

La capacidad actual de energía eléctrica, en El Salvador es: 858 MW disponibles y la demandada es 818 MW, margen en 40 MW ó 5% del total. Ver gráfica 2-8 y tabla 2-3. La reserva de energía es 4.6%, 2.4%, disminuida al compararla con la reserva técnica mínima que debe ser de 7%<sup>28</sup>. En el año 2002, la Asociación Salvadoreña de Industriales ASI, propuso que la oferta de generación de energía debía crecer a un ritmo de 35 MW por año, pero no se dio, por lo que el sector industrial estimó en déficit, 140 MW<sup>29</sup>. Esto está indicando la alta vulnerabilidad energética del país, en el

<sup>25</sup> Unidad de Transacciones (UT).

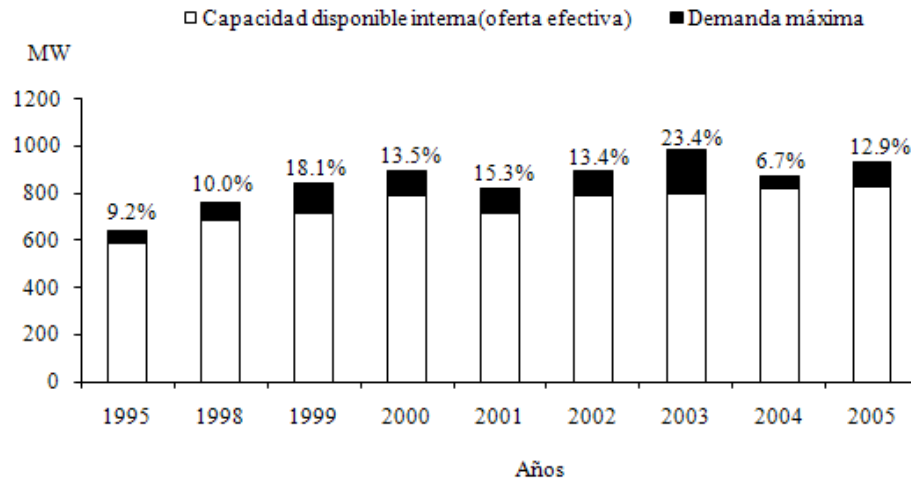
<sup>26</sup> *Ibidem*.

<sup>27</sup> CEL y SIGET.

<sup>28</sup> Informe Trimestral de Coyuntura 1er. Trimestre. Generación de Energía Eléctrica y Crisis Petrolera, Departamento de Estudios Económicos y Sociales FUSADES, 9 de mayo de 2006.

<sup>29</sup> LA PRENSA GRÁFICA. Reunión de trabajo por presa El Tigre, miércoles 26 de mayo de 2006, página 37.

que el mayor porcentaje de generación térmica se da en una coyuntura en que el precio del petróleo está en aumento.



Gráfica 2-8: Margen porcentual entre la demanda máxima y la capacidad de energía disponible en El Salvador<sup>30</sup>.

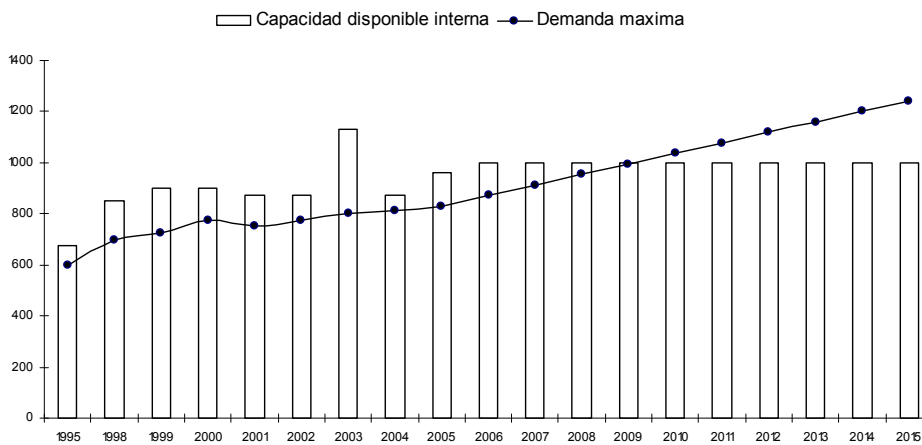
Tabla 2-3: Capacidad instalada y disponible de las centrales generadoras de electricidad al 30 de junio de 2006<sup>31</sup>.

Nombre	Capacidad instalada		Capacidad disponible	
	MW	(%)	MW	(%)
<b>Hidráulica</b>	<b>460.3</b>	<b>41.06</b>	<b>457.5</b>	<b>43.24</b>
Guajoyo	19.8	1.77	17.0	1.61
Cerrón Grande	172.8	15.41	172.8	16.33
5 de Noviembre	99.4	8.87	99.4	9.39
15 de Septiembre	168.3	15.01	168.3	15.91
<b>Geotérmica</b>	<b>151.2</b>	<b>13.49</b>	<b>124.0</b>	<b>11.72</b>
Ahuachapán	95.0	8.47	72.0	6.80
Berlín	56.2	5.02	52.0	4.91
<b>Térmica</b>	<b>509.5</b>	<b>45.4</b>	<b>476.6</b>	<b>45.0</b>
Duke Energy	307.9	27.47	287.0	27.12
Nejapa Power	144.0	12.85	135.0	12.76
CESSA	32.6	2.91	32.6	3.08
CASSA	25.0	2.23	22.0	2.08
<b>Total</b>	<b>1,121.0</b>	<b>100.0</b>	<b>1,058.1</b>	<b>100.0</b>

<sup>30</sup> El Diario de Hoy. miércoles 10 de mayo de 2006, páginas 2 y 3.

<sup>31</sup> SIGET. Estadísticas Eléctricas: Avance Primer Semestre 2006, septiembre 2006, página 42.

Según proyecciones de FUSADES, en el año 2009 la oferta y demanda de energía eléctrica estarán en el mismo nivel y para el año 2010 la demanda energética en El Salvador, superará a la oferta<sup>32</sup>, ver gráfica 2-9. Esto indica, la necesidad de más inversión en el campo de la generación de energía eléctrica, ya que según la SIGET<sup>33</sup> para los próximos 15 años se necesitará una capacidad instalada entre 900 a 2700 MWh.



Gráfica 2-9: Proyección del crecimiento de la demanda energética (MW)<sup>34</sup>.

### 2.1.5 Esfuerzos nacionales en la generación de energía eléctrica.

En concordancia con la crisis energética del país, actualmente se encuentran 11 proyectos de generación de energía eléctrica en desarrollo. Del total de proyectos, 5 son hidroeléctricos y generarán 444 MW adicionales al sistema, 4 geotérmicos y dos serán plantas térmicas. Se prevé, que estos 11 proyectos aporten al sistema eléctrico nacional 1,303 MW<sup>35</sup>.

El desarrollo de la geotermia en El Salvador, ha evolucionado, cronológicamente, ver tabla 2-4. Actualmente, LaGeo provee 125 MW al país, lo que representa entre

<sup>32</sup> Informe Trimestral de Coyuntura 1er. Trimestre: Generación de Energía Eléctrica y Crisis Petrolera, Departamento de Estudios Económicos y Sociales FUSADES, 9 de mayo de 2006.

<sup>33</sup> *Ibidem*.

<sup>34</sup> *Ibidem*.

<sup>35</sup> El Diario de Hoy. miércoles 10 de mayo de 2006, página 3.

21% ó 22% de la oferta, y en diciembre 2006 esta integró 9.5 MW adicionales, con el proyecto “ciclo binario” para generar más energía. Además, LaGeo trabaja en la incorporación de 40 MW al sistema energético nacional con la expansión de las centrales en Berlín y Ahuachapán. Así, las expectativas de expansión para la generación de energía eléctrica a través de la energía geotérmica se muestran en la tabla 2-5.

Tabla 2-4: Desarrollo de la geotermia en El Salvador<sup>36</sup>.

1962	Estudios de explotación preliminares en geología, geoquímica y geofísica.
1971	Estudio para aprovechar la energía geotérmica en los ausoles de Ahuachapán.
1976	Inauguración de la planta geotérmica de Ahuachapán con una capacidad de 60 MW.
1979	Instalación de la 3era. Unidad de 30 MW en la planta geotérmica de Ahuachapán.
1987	Instalación de dos unidades bocapozo de 5 MW cada una en el campo geotérmico de Berlín.
1999	Inauguración de la planta geotérmica de Berlín con una capacidad de 56 MW.
1999	Se constituye La empresa Geotérmica Salvadoreña (LaGeo) con los activos de CEL dedicados a la producción geotérmica.

Tabla 2-5: Expectativas de expansión en el área de la energía geotérmica<sup>37</sup>.

Geotérmica	MW	Año
Optimización Ahuachapán	25	2006-2008
Ciclo Binario Berlín	10	2007
Ampliación Berlín	40	2006
Cuyanausul	10	2009
San Vicente	54	2013

Dentro de los proyectos hidroeléctricos de la CEL, se pueden mencionar la presa El Chaparral, con capacidad estimada de 65 MW y la presa El Cimarrón con capacidad estimada de 243 MW. También, se espera que entre El Salvador y Guatemala inviertan \$200 millones para edificar dos centrales hidroeléctricas, con capacidad de generación de 138 MW; una de las presas estaría ubicada en la zona El Jobo en Ahuachapán, con capacidad de generar 72 MW y la otra llamada Piedra de Toro con capacidad de generar 66 MW; así mismo, se prevé la construcción conjunta

<sup>36</sup> Desarrollo de la Geotermia en El Salvador, Ministerio de Economía, El Salvador.

<sup>37</sup> Política Energética en El Salvador, Dirección de Energía Eléctrica, Ministerio de Economía, El Salvador, 2006.



de la presa El Tigre que ha sido gestada por los gobiernos de El Salvador y Honduras con capacidad de generar 704 MW. En El Salvador, se han identificado 62 sitios para instalar pequeñas centrales hidroeléctricas, las cuales alcanzarían la capacidad instalada de 72.5 MW<sup>38</sup>. Entonces, las expectativas de expansión para la generación de electricidad a través de la energía aprovechable de ríos de más caudal del que dispone en el país, es la que se muestran en la tabla 2-6.

Tabla 2-6: Expectativas de expansión en el área de la energía hidráulica<sup>39</sup>.

Hidroeléctrica	MW	Año	US\$ (Mill)
Re potenciación 15 de Septiembre	12	2007	-
3era. Unidad Cerrón Grande	86	2008	36.8
Cimarrón	243	2014	455
Chaparral	66	2010	140
El Tigre	700	-	1500

Las fuentes alternativas de energía con otros recursos, plantearon proyectos de generación térmica como el de la empresa BIONOR quienes pretendían generar electricidad a partir de la descomposición de la basura, y se instalarían en la cercanía del relleno sanitario administrado por MIDES en Nejapa, San Salvador; y consideraban empezar a generar 7 MW. La empresa BOREALIS de capital salvadoreño, importaría, desde Corea, motores para la generación de 13.6 MW, la planta estaría montada en San Juan Opico, La Libertad. Además, la CEL construyó una central térmica en Talnique, La Libertad, proyecto catalogado de “emergencia”, que aporta 50 MW y está en operación, desde enero de 2007<sup>40</sup>. Las expectativas de expansión para generar electricidad a través de combustibles fósiles se muestran en la tabla 2-7:

<sup>38</sup> Política Energética en El Salvador, Dirección de Energía Eléctrica, Ministerio de Economía, El Salvador, 2006.

<sup>39</sup> Resumen del Plan de Expansión del Sistema de Generación y Transmisión Período 1998-2015, Gerencia de Planificación y Estudios CEL, enero de 1998, 93 páginas.

<sup>40</sup> El Diario de Hoy. Negocios Generarán energía en el relleno de Nejapa, sábado 20 de mayo de 2006, página 37.

Tabla 2-7: Expectativas de expansión en el área de la energía térmica<sup>41</sup>.

Térmica	MW	Año	US\$ (Mill)
Central térmica en Talnique	50	2007	60
AES carbón	220	2009	300
Cutuco Energy Central	500	2009	600

#### 2.1.6 Esfuerzo regional para la integración energética centroamericana.

El Salvador, ratificó el protocolo de Kioto, el 17 de septiembre de 1998, donde se obliga a orientar las políticas energéticas de cualquier país, hacia un desarrollo energético más sostenible<sup>42</sup>. La integración energética ayuda a los países y regiones a poder disponer y compartir fuentes de energía cada vez más económicas, confiables, seguras y limpias, también, para beneficio último de los ciudadanos. Los gobiernos de los países de América Central suscribieron un Tratado Marco del Mercado Eléctrico Regional, para su vigencia en toda la región, en 1998, esto, para obtener los siguientes beneficios derivados de la integración energética:

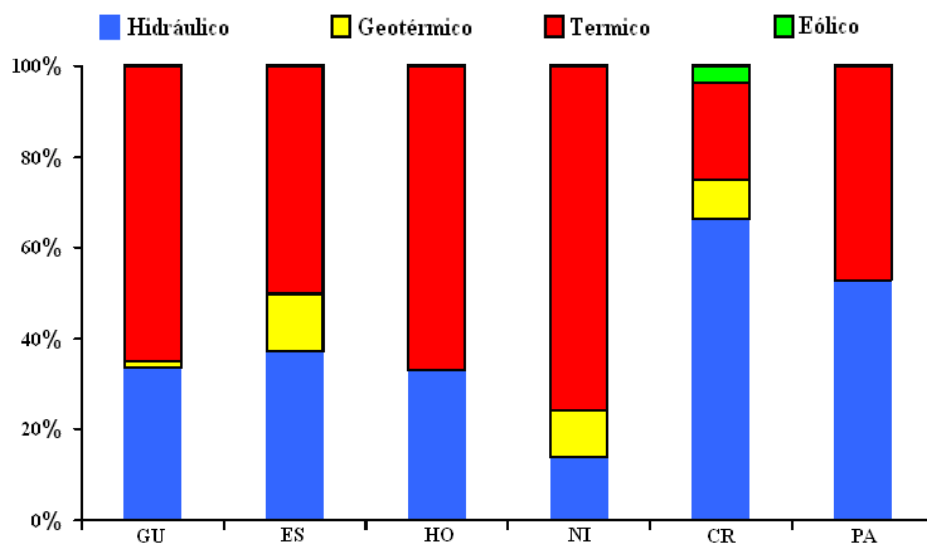
- Aprovechamiento de complementariedad hídrica y no simultaneidad de cargas.
- Mejora de confiabilidad, seguridad y calidad del servicio; incremento de opciones de suministro bajo condiciones de falla.
- Disminución de exigencias de inversión en generación.
- Aumento en la base de demanda para la competencia en la oferta de generación disponible.
- Disminución del precio final al consumidor.

Dos proyectos de gran interés, para la región centroamericana son, la construcción de una refinera regional, incluyendo una planta termoeléctrica para la generación de

<sup>41</sup> Informe Trimestral de Coyuntura 1er. Trimestre. Generación de Energía Eléctrica y Crisis Petrolera, Departamento de Estudios Económicos y Sociales FUSADES, 9 de mayo de 2006.

<sup>42</sup> Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE). Eficiencia Energética y Energías Renovables, octubre 2006, página 5.

energía, con lo cual se esperaría una reducción en el precio de los combustibles, garantizando suministro y beneficio en la reducción de costos de transporte<sup>43</sup>, y en Centro América, la construcción del Sistema de Interconexión Eléctrica de los Países de América Central (SIEPAC), el cual inició a mediados de 2006, cuyo costo será de unos \$370 Millones. La capacidad de la línea SIEPAC será de 600 MW, con intercambios comerciales de hasta 300 MW, enlazando a las generadoras eléctricas comprendidas desde Guatemala hasta Panamá. Por lo tanto el mercado energético local estaría integrado a una línea regional. En este sentido, la actual coyuntura energética que atraviesa la región centroamericana, muestra que existe gran dependencia de la generación térmica. En que el petróleo y sus derivados son preponderantes en la matriz energética, ver gráfica 2-10. En 2010, la matriz energética de los países de la región debería mostrar una participación mínima de 10%<sup>44</sup> de fuentes renovables en la oferta total de energía primaria<sup>45</sup>.



Gráfica 2-10: Matriz energética centroamericana. Capacidad instalada 2005<sup>46</sup>.

<sup>43</sup> LA PRENSA GRÁFICA. Nación C.A. sin acuerdo sede refinera, sábado 3 de junio de 2006, páginas 18-24.

<sup>44</sup> Así lo estipula la Iniciativa Latinoamericana y Caribeña para el Desarrollo Sostenible, presentada y aprobada en la Primera Reunión Extraordinaria del Foro de Ministros de Medio Ambiente de América Latina y el Caribe, Johannesburgo, agosto de 2002.

<sup>45</sup> CEPAL/GTZ. Sostenibilidad Energética en América Latina y el Caribe: El Aporte de las Fuentes Renovables, 8 de octubre de 2006, 72 páginas.

<sup>46</sup> *Ibidem*, página 4.

Centroamérica representa un mercado energético potencial de 37 millones de personas, 12 millones (32.4%) sin acceso al sistema nacional interconectado. Para el año 2017, se espera una adición en potencial energético del orden de los 5,000 MW a 5,700 MW, cuyo costo sería \$1,500.00 /KW (\$89.6 Billones) instalado. Esta demanda de potencia y energía puede ser suplida por: la biomasa, hidroelectricidad, geotermia, energía eólica, y otras. Dado que existe un potencial energético sin desarrollar, como se muestra en la tabla 2-8.

Tabla 2-8: Diferentes potenciales energéticos por desarrollar en la región centroamericana<sup>47</sup>.

País \ Recurso	Hidráulico (MW)	Geotérmico (MW)	Eólico (MW)
Belice	900	-	20
Costa Rica	4,531	750	60
El Salvador	1,743	362	30
Guatemala	10,332	480	200
Honduras	4,534	122	60
Nicaragua	1,636	992	200
Panamá	1,639	42	300
Total	25,315	1,756	870

Los resultados indican que las energías eólicas, la solar fotovoltaica e hidráulica son las opciones con mayores perspectivas de crecimiento y participación efectiva en el sistema energético mundial. Sin embargo, el logro de estas proyecciones depende de un desarrollo tecnológico factible y competitivo, apoyo decidido del Estado, basado en políticas de estímulo y respaldo financiero y la instauración de una cultura energética inspirada en el respeto ambiental, ahorro energético y la sustentabilidad.

#### 2.1.7 La política energética en El Salvador.

El alto precio del petróleo, ha instado a los países de Centroamérica a realizar inversiones en energía renovable. El Salvador se encuentra realizando estudios del

<sup>47</sup> GARCÍA, Otto L. V Foro Regional: Minicentrales Hidroeléctricas y otras Renovables, Alianza en Energía y Ambiente con Centroamérica (AEA), Honduras, San Pedro Sula, 24 de febrero de 2005.

aprovechamiento de energía alternativa tales como: eólica, solar, biomasa y microhidroeléctricas, mediante la creación de un Sistema de Fomento de Energías Renovables (SIFER). Sin embargo, hace falta una legislación que incentive el desarrollo de las energías renovables, con reglas estables en su regulación. Otras limitantes para el desarrollo de este tipo de fuentes de energías renovables son: legales, financieras, tributarias, ambientales, institucionales, tecnológicas y de mercado. Actualmente, no existen incentivos fiscales para inversión en el mercado energético, por lo que se han creado las Asociaciones Públicas y Privadas (PPA), paralelamente con el desarrollo del anteproyecto de la ley de promoción de energías renovables. El Ministerio de Economía considera seis componentes en este anteproyecto de ley, los cuales son<sup>48</sup>:

- Ley de incentivos fiscales.
- Mecanismos de contratos de largo plazo.
- Ley de fomento para biocombustibles.
- Mecanismos de créditos de carbono.
- Desarrollo de proyectos pilotos, evaluación de recursos solar y eólico.
- Fondo de compensación para pequeños generadores.

Esta ley encaminada a reducir la dependencia del petróleo, ya que este influye en el alza del precio de la energía eléctrica.

Se sabe que existen fuentes renovables de energía en el país, 2,165 MW en total de recursos hidroeléctricos, de los cuales, solamente se han ocupado 442 MW, (17.9%), recursos geotérmicos, 333 MW en totalidad, de esos, se han ocupado 151 MW<sup>49</sup>, (45.4%). Así, es necesario incrementar la generación de energía eléctrica con más

---

<sup>48</sup> Desarrollo de las Energías Renovables en El Salvador, Ministerio de Economía, El Salvador, 2006.

<sup>49</sup> CUEVAS M., Fernando J. Diagnóstico del Sector Energético Centroamericano, Unidad de Energía y Recursos Naturales CEPAL, 15 de febrero de 2006, 43 páginas.

inversión de capital, según sea la fuente energética a explotar. Para ello, es necesario: legislación adecuada, estabilidad económica y política, seguridad ciudadana. La principal legislación relacionada con energía renovable en El Salvador, incluye las siguientes<sup>50</sup>:

- Decreto N° 843, del 10 de octubre de 1996, Ley General de Electricidad y su Reglamento Acuerdo N° 70, del 25 de julio de 1997.
- Decreto N° 354 de 10 de Julio de 1998, Ley del Fondo de Inversión Nacional de Electricidad y Telefonía.
- Acuerdo SIGET N° E-13-99, de 19 de julio, 1999, Reglamento de Operación del Sistema de Transmisión y del Mercado Mayorista
- Acuerdo N° 27, de 11 de enero de 2001 del Órgano Ejecutivo de Economía, estableciendo la Dirección de Energía Eléctrica.
- Acuerdo SIGET N° 59-E-2001, de 14 de agosto, 2001, normas aplicables al procedimiento de licitación para el otorgamiento de concesiones de recursos geotérmicos e hidráulicos con fines de generación eléctrica.
- Decreto N° 1216, de 10 de abril del 2003, Reformas a la Ley General de Electricidad.

Y según el Ministerio de Economía los componentes de la política energética de El Salvador son los siguientes<sup>51</sup>:

- Promoción de energías renovables.
- Atracción de nuevas inversiones.
- Diversificación de fuentes energéticas.

---

<sup>50</sup> BLANCO, José María y UMAÑA, Leonel. Promoción de Energía Renovable en C.A. Oportunidades para el Planteamiento de Políticas, 2da. Edición, FENERCA, E+Co y BUN-CA, San José, Costa Rica, diciembre 2003, 71 páginas.

<sup>51</sup> Dirección de Energía Eléctrica. Política Energética en El Salvador, Ministerio de Economía, 2006, 28 páginas.

- Consolidación del mercado regional.
- Incremento de cobertura / electrificación rural.
- Eficiencia energética.

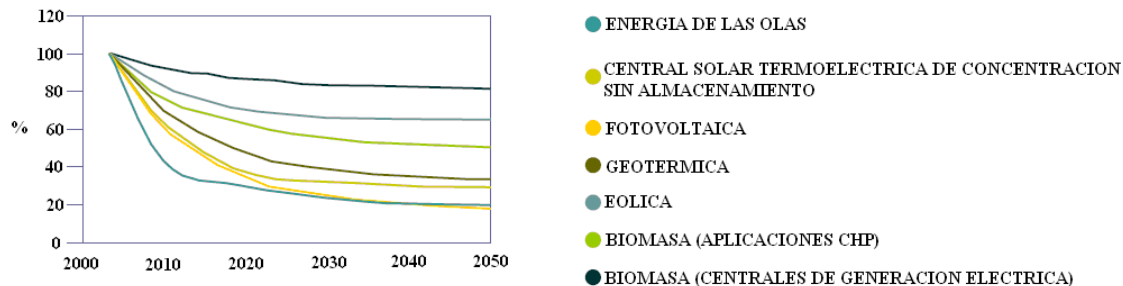
Por tanto, las tecnologías para generar energía renovable podrían ser competitivas si hubieran recibido la misma atención de financiación para la investigación y desarrollo, y subvenciones. Es esencial realizar reformas en el sector eléctrico para que las nuevas tecnologías renovables sean aceptadas en mayor escala de producción, aunque actualmente estas se encuentren en la fase experimental.

#### 2.1.8 Costos de inversión en energías renovables.

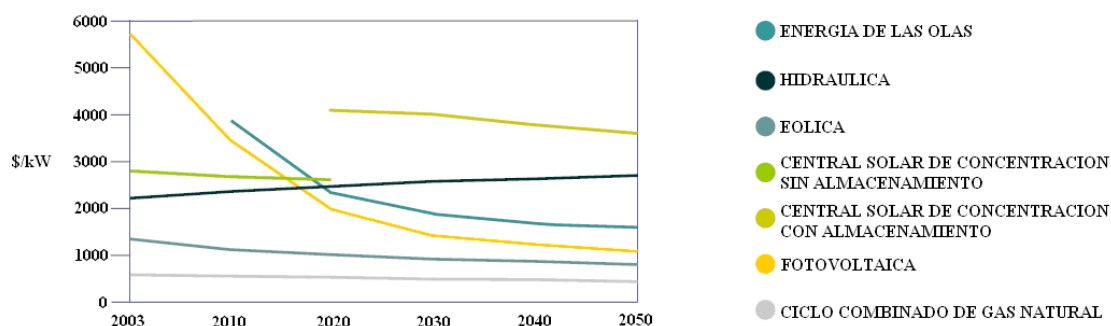
El costo global del suministro de electricidad es un parámetro para evaluar las proyecciones energéticas. Los principales factores son los precios de los combustibles, los costos de inversión en futuras tecnologías de centrales eléctricas y los costos potenciales de las emisiones de CO<sub>2</sub>. El crecimiento económico también, es un factor clave para evaluar la demanda energética. Desde 1971, cada incremento del 1% del PIB (Producto Interno Bruto) ha venido acompañado de un aumento de un 0,6% del consumo de energía primaria. El desacoplamiento entre demanda energética y crecimiento del PIB es por tanto un requisito previo para reducir la demanda en el futuro<sup>52</sup>. La mayoría de las tecnologías utilizadas, en la actualidad, para nuevas formas de generar energía se encuentran en su primera etapa de desarrollo, por lo que sus precios son generalmente más elevados que los sistemas convencionales con los cuales compiten, ver graficas 2-11 y 2-12.

---

<sup>52</sup> KREWITT, Wolfram, SIMON, Sonja y otros. Revolución Energética: Perspectiva Mundial de la Energía Renovable, Greenpeace Internacional, Consejo Europeo de Energías Renovables, enero 2007, 96 páginas.



Gráfica 2-11: Desarrollo futuro de los costos de inversión<sup>53</sup>.



Gráfica 2-12: Evolución esperada de los costos de generación de electricidad con combustibles fósiles y energías renovables<sup>54</sup>.

## 2.2 ENERGÍA DE LOS OCÉANOS.

Los océanos son reservorios con grandes cantidades de energía acumulada, sobre todo, a partir de los vientos que barren su superficie. La idea de cómo aprovecharla ha intrigado al hombre por centurias, tal que existen una gran cantidad de propuestas relacionadas con el potencial energético marino y sus posibilidades de explotación. Es una de las energías renovables mundialmente menos exploradas, pese a que el mar es una fuente inagotable de energía, que resulta de la geodinámica del globo terráqueo. En la actualidad, se han identificado cuatro diferentes maneras para aprovechar este potencial, estas son: termo-océánico, corrientes marinas, mareas y la energía de las olas.

<sup>53</sup> KREWITT, Wolfram, SIMON, Sonja y otros. Revolución Energética: Perspectiva Mundial de la Energía Renovable, Greenpeace Internacional, Consejo Europeo de Energías Renovables, enero 2007, página 33.

<sup>54</sup> *Ibíd.*



### 2.2.1 Energía de las mareas.

En el Reino Unido, en el siglo XI, la utilización de este tipo de fuente de energía radicaba en los molinos movidos mediante los niveles de mareas. Otros países interesados en estudiar las posibilidades de emplear la energía de las mareas para la producción de energía eléctrica fueron Estados Unidos y Canadá. Sus primeros estudios se remontan al siglo XX, (año 1919) y posteriormente decidieron la construcción de una central mareomotriz en la frontera de ambos países, en la Bahía de Fundy, pero este proyecto fracasó debido que entonces, era muchos más barato generar energía eléctrica por medio de los derivados del petróleo, que respecto a este tipo de energía renovable.

La energía mareomotriz, es una energía renovable, limpia e inagotable y se obtiene del aprovechamiento de las diferentes alturas provocadas por las mareas, debido a la diferencia de altura media de los mares según la posición relativa de La Tierra y La Luna, por la atracción gravitatoria de La Luna y El Sol sobre las masas de agua de los mares y océanos<sup>55</sup>.

Para generar energía eléctrica a partir de las mareas, es necesario, construir un dique que almacene agua, convirtiendo la energía potencial de ésta en electricidad igual que en el caso de centrales hidráulicas, por medio de una turbina. La energía producida es proporcional a la cantidad del agua desalojada y a la diferencia de altura existente. Otra manera, es aprovechar la diferencia de alturas medias de los mares interponiendo partes móviles al movimiento natural de ascenso o descenso de las aguas, junto con mecanismos de canalización y depósito, para obtener movimiento en un eje mediante su acoplamiento a un alternador que puede utilizar el sistema para la generación de electricidad, transformando así la energía mareomotriz en energía eléctrica, como una forma energética más útil y aprovechable.

---

<sup>55</sup> <http://personales.ya.com/universal/TermoWeb/index.html>, Energías Alternativas. Mar. Centrales Mareomotrices, páginas 11-13, viernes 31 de marzo de 2006, 6:15 p.m.

Entre las ventajas que presenta la energía de las mareas están, que es auto-renovable, no contaminante, silenciosa, no concentra población, disponible en cualquier clima y época del año, no presenta problemas de sequía como la hidráulica, dado que el promedio de amplitudes de marea prácticamente se puede considerar constante a lo largo del año, etc. Las desventajas que presenta es que los mayores potenciales energéticos, están situados en estuarios. Este en un impacto visual y estructural sobre el paisaje costero, su localización puntual, depende de la amplitud de las mareas, que solo son aprovechables comercialmente con mareas mayores que 6 metros de alto, y causan efecto negativo sobre la flora y la fauna, aunque con el tiempo aparecen nuevas especies, etc<sup>56</sup>. La tabla 2-9 y tabla 2-10 presenta los proyectos de plantas mareomotrices realizados y los proyectos en estudios, respectivamente.

Tabla 2-9: Proyectos de plantas mareomotrices realizados<sup>57</sup>.

Proyecto	Amplitud media de marea	Sistemas para generar energía marina	Especificaciones técnicas	Capacidad instalada
Central de RANCE Francia 1967	8,17 m	Turbinas bulbo	24 turbinas bulbo de 10 MW. Caudal máximo 275 m <sup>3</sup> /s, en turbinaje directo	240 MW
Central de KISLAYA (Kislogubskaya). Rusia 1968	4,4 m	Turbinas bulbo	1 turbina bulbo de 0,4 MW	0,4 MW
Central de la bahía de FUNDY USA-Canadá 1984	6,4 m	Turbina Straflo	Turbina axial Straflo de 18 MW, consumo de 400 m <sup>3</sup> /s, 4 polos, e incorpora un alternador periférico de 144 polos	18 MW

<sup>56</sup> <http://personales.ya.com/universal/TermoWeb/index.html>, Energías Alternativas. Mar. Centrales Mareomotrices, páginas 11-13, viernes 31 de marzo de 2006, 6:15 p.m.

<sup>57</sup> *Ibidem*, páginas 13-15.

Tabla 2-10: Proyectos de plantas mareomotrices en estudio<sup>58</sup>.

CENTRALES EN ESTUDIO			
Proyectos	Amplitud de marea	Capacidad instalada	País
Central de CHAUSEY (Bahía de Saint Michel)	-	-	Francia
Central de la bahía de KISLAYA	7 m	360 MW	Rusia
Central de la bahía de MEZEN	9 m	17 GW	USA-Canadá
Central de la bahía de FUNDY	12 m	5,5 GW	Canadá
Central de la bahía de TUGUR	8 m	8 GW	-
Central de la bahía de PENZHINSK	13,5 m	100 GW	-
Central del estuario del SEVERN	16 m	7,5 GW	Gran Bretaña
Central del GOLFO DE SAN JOSE	5,9 m	20 GW	Argentina

### 2.2.2 Energía de las corrientes marinas.

Las aguas de los océanos del mundo, están sometidas a amplios movimientos oscilatorios, durante los cuales grandes cantidades de esta agua se mueven en forma de corrientes marinas, de un lugar a otro; es decir, en el mar aparecen varias corrientes: unas de gran velocidad, otras muy lentas, unas periódicas, otras intermitentes. Cuando en la atmósfera se generan diferentes temperaturas por el calentamiento solar, se producen los vientos, y éstos causan el movimiento del agua superficial del océano, que se suma a los desplazamientos de las masas de agua producidos por cambios de densidad, dando origen a las corrientes. Sin embargo, éstas no son las únicas causas que producen la circulación del agua oceánica, existen otros factores como el campo gravitacional, la rotación de La Tierra, la fricción, la fuerza de las mareas y la presión atmosférica<sup>59</sup>. Para obtener energía de las corrientes marinas, se necesitan turbinas sumergidas fuera de la costa, con sistemas robustos, cuyas tecnologías son muy recientes, la tabla 2-11 indica dos ejemplos de proyectos instalados.

<sup>58</sup> <http://personales.ya.com/universal/TermoWeb/index.html>, Energías Alternativas. Mar. Centrales Mareomotrices, páginas 16-18, viernes 31 de marzo de 2006, 6:15 p.m.

<sup>59</sup> <http://www.worldenergy.org/wec-geis/publications/reports/sei/marine/marine.asp>, lunes 08 de mayo de 2006, 12:03 p.m.

Tabla 2-11: Proyectos realizados de plantas generadoras que aprovechan las corrientes marinas<sup>60</sup>.

Proyecto	Sistemas para generar energía marina	Descripción	Especificaciones técnicas	Capacidad instalada
Central LYNMOUTH (Devon – Inglaterra) 2003/2004	Turbinas marinas (Seaflow)	Aerogenerador eólico, de flujo de corriente marina que hace girar un rotor bipala.	Diámetro rotor 1 de 11 m, 300 Kw Diámetro rotor 2 de 16 m, 2*500 KW.	1300 KW
Central SHETLAND, Shetland (Escocia), Septiembre 2002/2005	Stingray	Consiste en un alabe plano horizontal que varía su ángulo de inclinación para obtener un movimiento ascendente y descendente	Unidad demostrativa de 150 Kw a 2 m/s. Unidad de 500 KW. a 2 m/s	650 KW

Entre las ventajas que presenta la energía de las corrientes marinas están, que las velocidades para aprovechar este tipo de fuentes es de 2 m/s (4 nudos), aunque es posible generar energía con velocidades de hasta sólo 1 m/s, el recurso tiene cuatro veces la densidad de la energía de un buen sitio de viento, así que el diámetro de la turbina de agua puede ser menos que la mitad de una turbina de viento para la misma salida de energía, las consecuencias negativas, para el medio ambiente, que resultan de usar las corrientes marinas son mínimas. Las desventajas que presenta es que los costos de operación y de mantenimiento son potencialmente altos, no hay, actualmente turbinas comerciales en operación, el recurso más grande está cercana a las líneas de costa y a muchas áreas con altas densidades demográficas.

### 2.2.3 Energía termo oceánica.

Una central maremotérmica, es un sistema capaz de aprovechar los gradientes térmicos en el océano para producir energía eléctrica. Se trata de una máquina térmica en la que el agua superficial actúa como fuente de calor, mientras que el agua

<sup>60</sup> [http://www.robotiker.com/castellano/noticias/eventos\\_pdf/42/PedroIbanez.pdf](http://www.robotiker.com/castellano/noticias/eventos_pdf/42/PedroIbanez.pdf), páginas 6-8, 27, martes 02 de mayo de 2006, 12:00 a.m.

extraída de las profundidades actúa como refrigerante. La transformación de la energía marina a energía eléctrica, se lleva a cabo mediante el "ciclo de Rankine", en el que un líquido se evapora para luego pasar por una turbina. Este ciclo puede ser abierto o cerrado. En el ciclo abierto, el fluido de operación es la misma agua cálida de la superficie del mar, mientras que en el ciclo cerrado se utiliza un fluido de trabajo de bajo punto de ebullición como el amoníaco o el propano. Los dos ciclos son igualmente utilizados, ya que ambos presentan ventajas y desventajas.

Actualmente la conversión maremotérmica en ciclo cerrado, es técnicamente factible hasta menos de 25 MW, mientras que con el ciclo abierto es posible llegar solo a 10 MW<sup>61</sup>, con lo cual, existe un amplio campo de posibilidades entre las distintas técnicas. La tabla 2-12 ilustra proyectos de este tipo.

Entre las ventajas que presenta la energía termo-oceánica están: un salto térmico permanente, aprovechamiento de la energía solar que recibe la superficie marina, aprovechamiento tecnológico de la industria petrolífera. Las desventajas son; alto costo de producción de energía eléctrica, la construcción de plantas OTEC<sup>62</sup> cerca de la costa, puede dañar los ecosistemas marinos, necesidad de grandes profundidades (aprox. 1000 m.) con diferencias de temperatura de 20 °C como mínimo. Sólo se da en zonas tropicales.

---

<sup>61</sup> <http://personales.ya.com/universal/TermoWeb/EnergiasAlternativas/mar/index.html>, páginas 2-13, viernes 31 de marzo de 2006, 6:15 p.m.

<sup>62</sup> Conversión de Energía Termal Oceánica.

Tabla 2-12: Proyectos realizados sobre la generación de energía mediante el gradiente térmico-oceánico<sup>63</sup>.

Proyecto	Sistemas para generar energía marina	Capacidad instalada
Central Maremotérmica. Cuba. 1930	Ciclo abierto de potencia de vapor, tipo Rankine	-
Central Mini-OTEC, Hawai, EE.UU. 1979	Ciclo cerrado de potencia de vapor, tipo Rankine	15 KW
Central OTEC 1 EE.UU.	Ciclo cerrado de potencia de vapor, tipo Rankine	1 MW
Central OTEC 2, EE.UU.	Ciclo cerrado de potencia de vapor, tipo Rankine	40 MW
Central 1 Japón	Ciclo cerrado de potencia de vapor, tipo Rankine	1 MW
Central 2 Japón	Ciclo cerrado de potencia de vapor, tipo Rankine	100 MW

#### 2.2.4 Energía de las olas costeras del océano.

El calentamiento de la superficie terrestre genera viento, y el viento genera olas del mar. Sólo 0.01%<sup>64</sup> del flujo de energía solar se transforma en energía de las olas. Una de las propiedades características de las olas, es su capacidad de desplazarse a grandes distancias, casi con la misma energía. Por ello, la energía generada en cualquier parte de los océanos acaba en el borde continental. Las distribuciones geográficas y temporales de los recursos energéticos de las olas están controladas por los sistemas de viento que se generan. En la figura 2-2 se muestra una estimación de la distribución mundial de la energía del oleaje. La tecnología de conversión del movimiento oscilatorio de las olas marinas, en energía eléctrica, se fundamenta en que la ola incidente crea un movimiento relativo entre un absorbedor y un punto de reacción que impulsa un fluido a través del generador. La potencia instalada en operación, en el mundo, apenas llega a 1 MW. La mayor parte de las instalaciones de

<sup>63</sup> <http://personales.ya.com/universal/TermoWeb/EnergiasAlternativas/mar/index.html>, viernes 31 de marzo de 2006, 6:15 p.m.

<sup>64</sup> <http://www.monografias.com/trabajos/fuentesener/fuentesener.shtml>, lunes 03 de abril de 2006, 9:50 p.m.

este tipo en el continente, varía entre 1MW y 2 MW, experimentalmente, otros sistemas son, los flotantes, que se instalan en el mar<sup>65</sup>.

Entre las ventajas que presenta la energía de las olas marinas están, que es auto renovable, no es contaminante, no genera desplazamiento poblacional en sus puntos de utilización. Las desventajas que presenta es que depende de la amplitud de las olas, alto costo de instalación y mantenimiento. En el Anexo A2-1 se muestran algunas técnicas de aprovechamiento de la energía del oleaje marino.

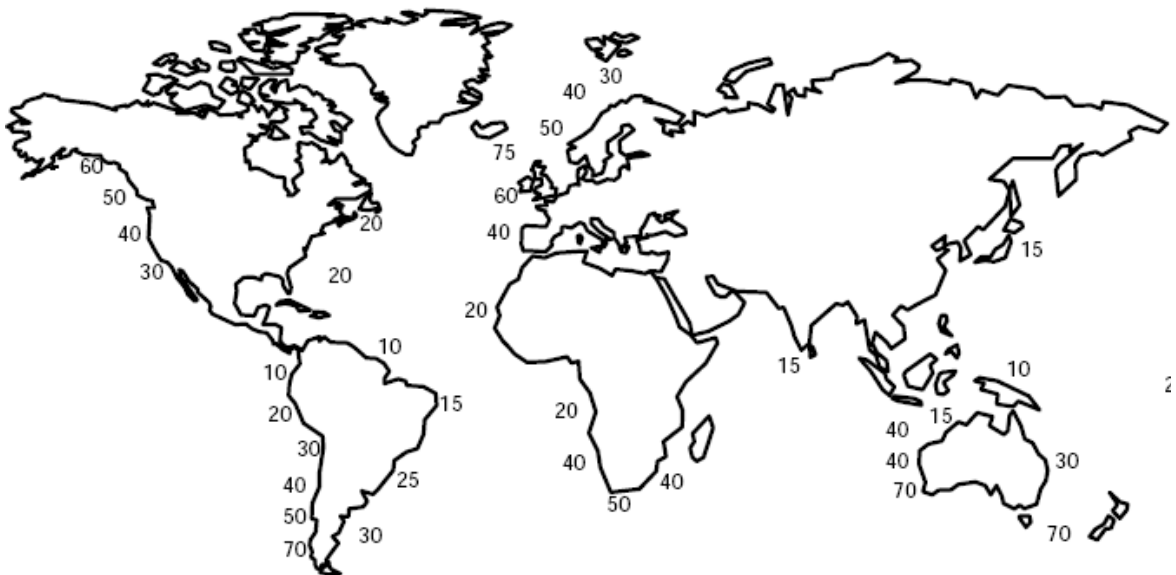


Figura 2-2: Distribución global del nivel anual de energía del oleaje marino, fuera de las costas (mar adentro) en KW/m de la cresta de la onda<sup>66</sup>.

<sup>65</sup> <http://www.monografias.com/trabajos/fuentesener/fuentesener.shtml>, lunes 03 de abril de 2006, 9:50 p.m.

<sup>66</sup> BOUD, Richard. Wave and Marine Current Energy, International Energy Agency (IEA), United Kingdom, 2002, 77 pages.

### 2.2.5 Energía del oleaje marino oceánico.

Las olas del mar, son ondulaciones del agua superficial, producidas principalmente por la fuerza provocada por la acción de los vientos, con velocidades mayores que 3 Km/h en la superficie del agua. Experimentalmente, se sabe que en la ola marina no existe movimiento de traslación, sólo movimiento oscilatorio u ondulatorio, esto se logra notar cuando se lanza un objeto flotante sobre el agua, y se observa que no cambia de lugar, el efecto es distinto cuando la ola está por formar su ruptura, en ese momento, ocurre el movimiento de traslación, entonces, el rompimiento de la ola se origina cuando la profundidad es 1.3 veces la altura de la ola, en ese instante, la onda pierde su estabilidad, produciéndose un levantamiento de volumen de agua, que precipita bruscamente, casi al instante y se forma la resaca de la ola. Esto explica, porqué en algunos lugares, la zona de precipitación es más alejada al borde de costa y en otros más cerca al borde de costa, dependiendo directamente de la pendiente del lecho marino, cuando la pendiente es más pronunciada, la precipitación será más cerca, y con menor pendiente, la formación de resaca será más retirado del borde costero. En la figura 2-3 se muestra un esquema de la formación de las olas del mar.

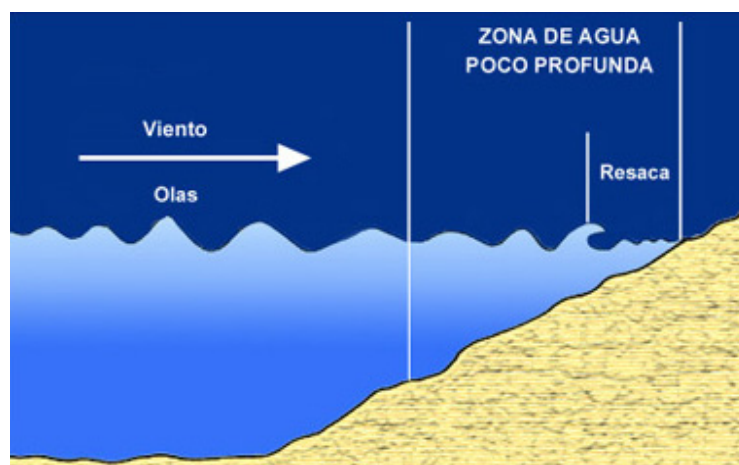


Figura 2-3: Formación de las olas<sup>67</sup>.

<sup>67</sup> <http://marchileno.mardechile.cl/>, Origen de las Olas, martes 04 de abril de 2006, 3:07 p.m.



En las olas, los parámetros que las caracterizan son los siguientes:

- Cresta y seno de la ola: parte superior e inferior respectivamente de la onda.
- Altura de la ola: diferencia entre la cresta y el seno.
- Longitud de la ola: distancia entre dos senos o dos crestas.
- Velocidad de la ola: tiempo entre el paso de dos crestas en un mismo punto.

Los cuales se representan en la figura 2-4.

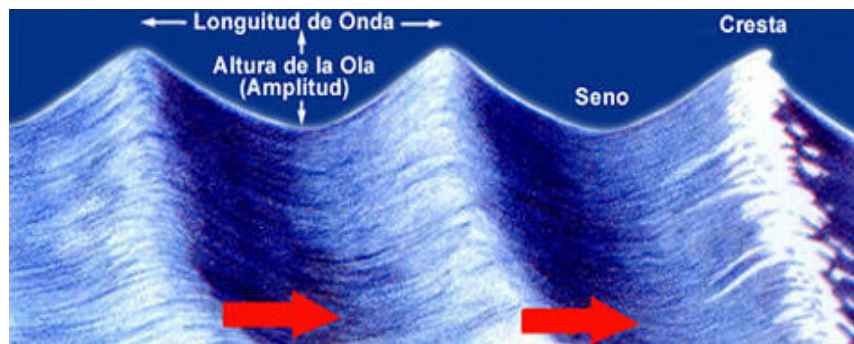


Figura 2-4: Aspectos importantes de una ola<sup>68</sup>.

En un tren de ondas, los parámetros de una ola no son iguales a los de la ola siguiente, por tanto, debido a la aleatoriedad dimensional o geométrica entre si y a la dinámica que las generan<sup>69</sup>, el estudio se vuelve probabilístico.

#### 2.2.6 Clasificación de las olas oceánicas.

Las olas marinas, se clasifican por el cambio en su período, fuerza que lo genera, y la energía que esta aporta. En la tabla 2-13 se detallan y caracterizan los tipos de olas marinas y la figura 2-5 muestra los espectros de energía de las olas posibles.

<sup>68</sup> <http://marchileno.mardechile.cl/>, Origen de las Olas, martes 04 de abril de 2006, 3:07 p.m.

<sup>69</sup> Téngase en cuenta que la totalidad del fenómeno, indica un arreglo controlable parametricamente, pero la realidad de la combinación de factores que influyen y determinan el fenómeno distinguible y medible de manera natural no es arreglado.

Tabla 2-13: Clasificación de las olas oceánicas, por el cambio de los parámetros principales<sup>70</sup>.

Nombre	Período (T)	Longitud (L)	Altura (H)	Fuerza generadora	Fuerza restauradora
Capilares	0 s a 0.1 s	2 cm a 7 cm.	1 mm a 2 mm	Viento	Tensión superficial
Ultra gravedad	0.1 s a 1 s	Centímetros	centímetros	Viento	Tensión superficial y gravedad
Gravedad	1 s a 30 s	De metros a cientos de metros	De centímetros a 16 m	Viento	gravedad
Infragravedad	30 min a 30min	100 m a 200 m	Pequeña	Viento	Gravedad, fuerza de Coriolis
Período largo	5 min a 24 h	Pueden llegar a ser de escala planetaria	1 a 5 m	Sismo, derrumbes, atracción de cuerpos celeste	Gravedad, fuerza de Coriolis
Transmarea	> 24 h	-	0 a 12 m	Oscilaciones climáticas	Gravedad, fuerza de Coriolis

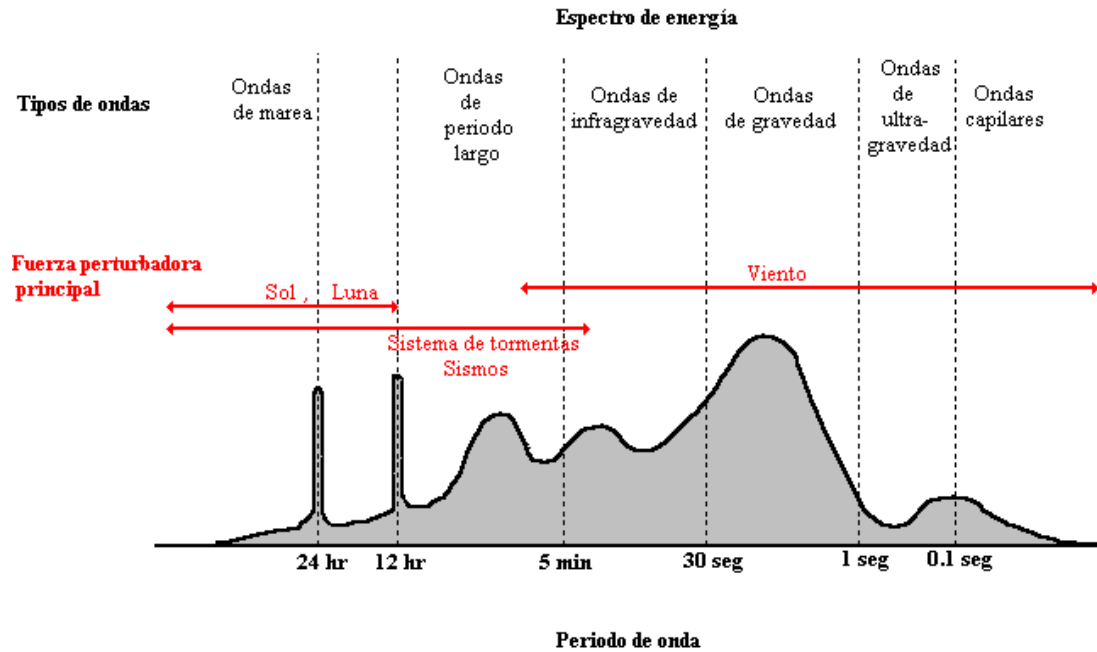


Figura 2-5: Espectros de energía de los diferentes tipos de olas oceánicas<sup>71</sup>.

<sup>70</sup> CASARIN, Dr. Rodolfo Silva. Análisis y Descripción del Oleaje, página 15.

<sup>71</sup> Castro O., Dennise A. Simulación Numérica del Oleaje en la Bahía Todos Santos: Influencia de las Condiciones de Frontera, Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias Marinas, México.

### 2.2.7 Clasificación del oleaje.

En ingeniería oceanográfica, se llama área de generación (fetch) a la región donde existe transferencia de energía del viento hacia la superficie del mar. Ahí, el fenómeno es completamente aleatorio. El oleaje se propaga en diferentes direcciones, aunque la dirección dominante sea la del viento, ver figura 2-6. Las olas pueden tener diversas características, dependiendo de las fuerzas que influyen en su generación. De acuerdo con su inicio de formación, se distinguen dos tipos extremos de oleaje, entre los cuales existen estados intermedios. Se denominan por las palabras inglesas, universalmente aceptadas, SEA y SWELL o su traducción al español como oleaje local y oleaje distante, respectivamente<sup>72</sup> (fotografías 2-1 y 2-2).

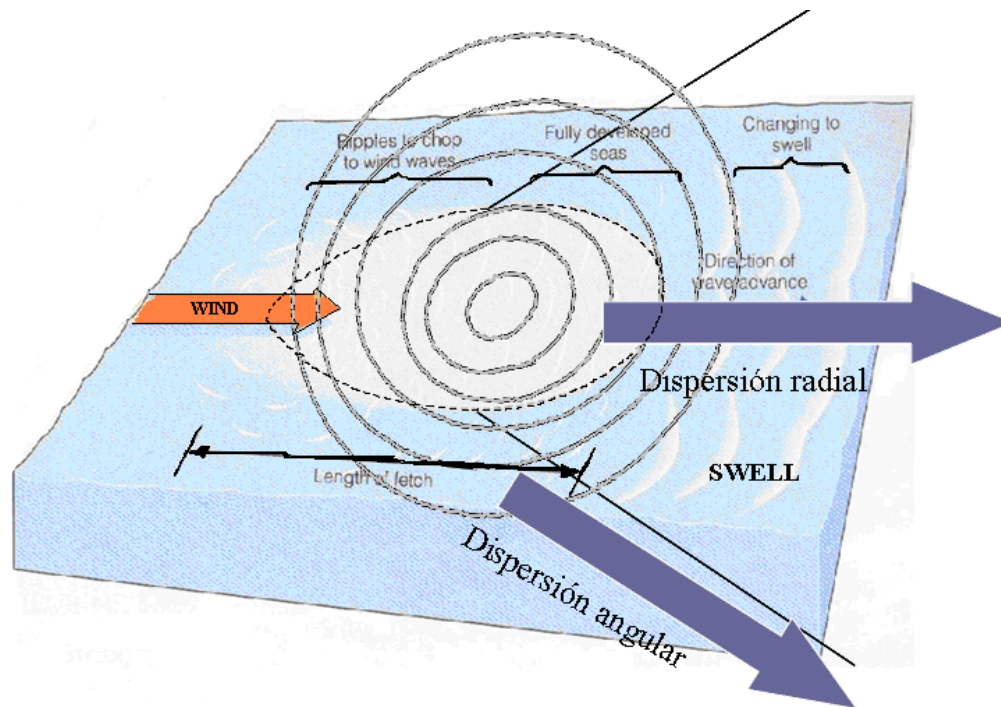


Figura 2-6: Zona de generación del oleaje, donde existe transferencia de energía debido a la interacción océano-atmósfera<sup>73</sup>.

<sup>72</sup> Castro O., Dennise A. Simulación Numérica del Oleaje en la Bahía Todos Santos: Influencia de las Condiciones de Frontera, Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias Marinas, México., página 16.

<sup>73</sup> DUARTE Q., Pablo. Evaluación de la Energía del Oleaje para Islas del Pacifico Mexicano, México D.F., abril de 2004.



Fotografía 2-1: Oleaje tipo SEA<sup>74</sup>.



Fotografía 2-2: Oleaje tipo SWELL<sup>75</sup>.

#### 2.2.7.1 Oleaje local o SEA.

Este tipo de oleaje se produce en la zona de generación en alta mar, donde raramente se aprecian crestas de onda entre sus distanciamientos de período bien definido. Las características que definen este tipo de oleaje son:

- Gran irregularidad, ya que la altura de la superficie líquida es impredecible, carece de periodicidad.
- Asimetría o gran desigualdad entre la forma del valle y la cresta de las olas.
- Gran peralte de las olas. Las olas presentan una altura relativamente grande para su longitud de onda.

#### 2.2.7.2 Oleaje distante o SWELL.

Cuando el oleaje se propaga y abandona el área de generación, ocurren tres fenómenos:

- Decaimiento de energía de las olas.

---

<sup>74</sup> Fotografías obtenidas en la costa de El Salvador por el grupo de trabajo, viernes 28 de abril de 2006.

<sup>75</sup> *Ibídem*.

- En el oleaje hay doble dispersión. Una angular, en la que las olas se dispersan en todas direcciones, y otra radial, debida a que la velocidad es función directa del período, por lo que las olas más largas viajan más rápido que las más cortas. Se produce un filtrado de olas.
- Fenómeno de soldadura, según el cual, las ondas de períodos cercanos se fusionan en largas crestas de onda, lo cual origina que la superficie caótica se simplifique. Especialmente cuando abandona el área de generación va tendiendo a un oleaje de tipo SWELL.

Este tipo de oleaje se puede observar sobre la plataforma costera, especialmente en profundidades reducidas, donde a los fenómenos descritos se añade el de la refracción, que hace que las olas tiendan a progresar en forma paralela a las líneas batimétricas. Así, el oleaje que se acerca a la costa es más regular, forma frentes de cresta muy grandes y las diferencias entre períodos y longitudes de onda son mínimas, surge una periodicidad, las direcciones no son tan dispersas, y se presentan ciertas direcciones predominantes. Todo esto, proporciona un cierto orden al fenómeno<sup>76</sup>. Las olas SWELL, están sujetas a fenómenos de reflexión, refracción y difracción las cuales se describen a continuación:

**Refracción.** Es el cambio de dirección que experimenta la ola, cuando esta se acerca a una zona de menor profundidad, dando como resultado, que el frente de ola se frena, la altura de la ola disminuye y su dirección de propagación se modifica. Este fenómeno se puede aprovechar para la conversión de la energía del oleaje, con técnicas de concentración de la ola.

**Reflexión.** Se produce cuando la ola choca contra un obstáculo vertical, barrera; la ola se refleja con muy poca pérdida de energía.

**Difracción.** Es la dispersión de la energía del oleaje cuando esta pasa al otro lado de una barrera, permitiendo la aparición de pequeños sistemas de olas en aguas protegidas por un obstáculo. La característica de este sistema de olas es la

---

<sup>76</sup> CASARIN, Rodolfo Silva. Análisis y Descripción del Oleaje, páginas 17-18.

disminución en su altura en esa zona, la celeridad y la longitud de onda de la ola no se modifica. El fenómeno de la difracción se puede aprovechar para el control y concentración del oleaje<sup>77</sup>.

#### 2.2.8 Algunas teorías que hay del oleaje.

El fenómeno del oleaje marino, es una consecuencia de la dinámica meteorológica y otros como astros y planetas, por ejemplo El Sol, La Luna y El Universo, esto es, la acción del viento, y una vez cesa este, el oleaje se minimiza. Esta capacidad inducida de transformar el perfil de las olas, constituye uno de los aspectos más característicos, del oleaje, que una vez generado, se forman simultáneamente olas de altura y períodos muy diferentes, moviéndose complejamente en la superficie libre del océano (oleaje SEA). Una vez que las olas abandonan la zona de influencia del viento que las generó, se reagrupan en patrones regulares (trenes de ondas), siendo capaces de viajar grandes distancias en su estado más ordenado (oleaje SWELL)<sup>78</sup>. La tabla 2-14, resumen las distintas teorías del oleaje y los modelos, ecuaciones complejas que caracterizan el movimiento ondulatorio de las olas marinas con las condiciones de contorno no lineales. El oleaje marino es irregular, aleatorio, ello conduce a la modelación probabilística y espectral, basados en las diferentes alturas, períodos, y direcciones de propagación de las olas. Así por ejemplo, altura de ola significativa, es una representación de un estado de mar fuertemente aleatorio. La forma más simple de incorporar la colección de olas de diferentes escalas es utilizando una descripción espectral, ver anexo A2-2. La planificación y el diseño de estructuras costeras necesitan un amplio conocimiento del medio marino y por lo tanto del oleaje. El análisis espectral es un recurso muy utilizado para aplicar en modelos analíticos que se basan en la superposición lineal de ondas regulares. También, un espectro de energía describe cómo la energía se distribuye sobre un rango de frecuencias y direcciones en la borda oceánica, o en la borda costera marina.

---

<sup>77</sup> STICKLE, Miguel Martín. Descripción del Oleaje y Estudio de la Acción Ejercida sobre el Paramento de un Dique Vertical. Aplicación Numérica, Universidad Politécnica de Madrid, página 52, 2005.

<sup>78</sup> *Ibíd.*

La energía ( $m^2 \cdot s$  ó  $m^2/Hz$ ) en el dominio de frecuencias se representa por el espectro de frecuencia  $S(\omega)$ , mientras que la distribución de la energía en el dominio de la dirección se representa por la función de dispersión direccional  $S(\omega, \theta)^{79}$ . Por lo que el comportamiento local de las olas marinas se puede describir mediante el espectro direccional completo del estado del mar, que no es más que la función de densidad de probabilidad de la distancia del espectro de energía  $S(\omega, \theta)$  que depende de la dirección  $\theta$  y la frecuencia  $\omega$ , ver anexo A2-2.

En el oleaje real, el análisis que se hace es estadístico, asumiendo que, el oleaje es un proceso estocástico cuasi - estacionario. Esta condición, obliga a cortar los registros de oleaje en intervalos de tiempo relativamente cortos, pero con suficiente duración como para dar fiabilidad a la estadística, por ejemplo 900 s cada 3600 s en el caso de un muestreo específico. Estos intervalos de tiempo en los que se dividen los registros de oleaje, para su análisis, constituyen estados de mar y el análisis estadístico de los estados de mar constituye el análisis del oleaje en corto plazo. La energía teórica total ( $E_T$ ), en una ola por unidad de superficie es la energía cinética ( $E_C$ ) del agua y la variación de la energía potencial ( $E_P$ ) arriba y abajo del nivel medio del mar, así, la energía cinética en un período es igual a la energía potencial, entonces la totalidad de energía será como se expresa en la ecuación 2-1:

$$E_T = E_C + E_P = \frac{1}{4} \rho g a^2 \lambda + \frac{1}{4} \rho g a^2 \lambda = \frac{1}{2} \rho g a^2 \lambda \quad (J) \quad (EC\ 2-1)$$

---

<sup>79</sup> BOLAÑOS S., Rodolfo. “Tormentas de Oleaje en el Mediterráneo: Física y Predicción”, Universidad Politécnica de Cataluña, Departamento de Ingeniería Hidráulica, Marítima y Ambiental. España, páginas 21-22.

A partir de que  $T = \frac{2\pi}{\omega}$ , donde  $\omega$ , es la frecuencia rotacional,  $\lambda$  longitud de onda y la altura de ola es  $H = 2a$ . Particularmente la potencia del transporte de energía de la ola, para algunas zonas profundas para  $\kappa$ , número de onda y  $h$ , profundidad, cumpliéndose para  $kh \gg 1$ , esto es<sup>80</sup> se obtiene la ecuación 2-2:

$$P = \frac{\rho g^2}{32\pi} H^2 T \quad (\text{W/m}) \quad (\text{EC 2-2})$$

La potencia del oleaje real depende, de factores como la frecuencia  $\omega$ , de las olas, su dirección  $\theta$ , la profundidad  $h$ , del mar, la celeridad del grupo de olas  $C_g$ , etc., definiéndose por la ecuación 2-3:

$$N_L = \gamma \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} C_g(\omega, h) S(\omega, \theta) d\omega d\theta \quad (\text{EC 2-3})$$

La potencia en aguas profundas que cumple  $h > \frac{\lambda}{2}$ , se define con la ecuación 2-4:

$$N_L = \gamma \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} \frac{g}{4\pi} S(\omega, \theta) d\omega d\theta = \frac{\rho g^2}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} \frac{S(\omega, \theta)}{\omega} d\omega d\theta$$

$$N_L = \frac{\rho g^2}{4\pi} m_{(0)} T_P = \frac{\rho g^2}{4\pi} m_{(0)} \frac{2\pi}{\omega} \quad (\text{EC 2-4})$$

---

<sup>80</sup> DUARTE Q., Pablo. Evaluación de La Energía del Oleaje para Islas del Pacífico Mexicano, México D.F., abril de 2004, página 11.



Siendo  $T_p$  el período medio correspondiente a la frecuencia central del espectro  $S(\omega, \theta)$ . Si se define el  $n$ -ésimo momento, o momento espectral de orden  $n$ , de la distribución de energía direccional  $m_{(n)}$ , como:

$$m_{(n)} = \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} \omega^n S(\omega, \theta) d\omega d\theta \quad \text{En una dirección} \quad m_{(n)} = \int_0^{\infty} \omega^n S(\omega) d\omega$$

La expresión de la energía queda definida por la ecuación 2-5:

$$N_L = \frac{\rho g^2}{4\pi} \int_0^{\infty} \frac{S(\omega)}{\omega} d\omega = \left| \int_0^{\infty} \frac{S(\omega)}{\omega} d\omega = m_{(-1)} \right| = \frac{\rho g^2}{4\pi} m_{(-1)} \quad (\text{EC 2-5})$$

Y en el supuesto en que la distribución de las alturas de las olas sea de tipo Rayleigh, la altura significativa de la ola  $H_s$  viene dada por:

$$H_s = 4\sqrt{m_{(0)}}$$

Por lo que el período energético  $T_E = \frac{m_{(-1)}}{m_{(0)}}$  proporciona:

$$m_{(-1)} = T_E m_{(0)} = T_E \frac{H_s^2}{16}$$

Donde  $H_s$  es la altura significativa de la ola (que se puede tomar como la medida del tercio de las olas mayores), y en donde habría que estimar la altura de las olas con la expresión:  $H_s = 1.28H_v - 1.06$ .

En aguas profundas  $h > \frac{\lambda}{2}$  se cumple que:  $C_g = \frac{g}{4\pi\omega}$ , por lo que la potencia del frente de olas de anchura de unidad, para olas no regulares, viene expresada por la ecuación 2-6:

$$N_L = \frac{\rho g^2}{4\pi} m_{(-1)} = \frac{\rho g^2}{4\pi} m_{(0)} T_E = \frac{\rho g^2}{64\pi} H_S^2 T_E = 0.493 H_S^2 T_E \quad (\text{EC 2-6})$$

Donde:  $T_E$  es el período energético y  $T_p$  el período medio o modal, además,  $T_E = 0.8572 T_p$ , por tanto resulta que la potencia se expresa con la ecuación 2-7:

$$N_L = 0.423 H_S^2 T_p \quad (\text{kW/m}) \quad (\text{EC 2-7})$$

En la tabla 2-15 se presentan algunas teorías espectrales, para estados de mar completamente desarrollados. Así, el flujo energético del frente de ola por unidad de longitud, para su cálculo es necesario el espectro direccional de energía  $S(\omega, \theta)$  de cada estado de mar muestreado experimentalmente por la sonda ADV Triton, con el que se puede calcular mediante la ecuación 2-8.

$$N_L = \rho g \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} S(\omega(\theta)) C_g(f) df d\theta \quad (\text{W/m}) \quad (\text{EC. 2-8})$$

Donde:  $\rho$ , es la densidad del agua,  $g$ , la aceleración de la gravedad,  $S(\omega(\theta))$ , la función de densidad espectral direccional, y  $C_g(f)$ , la celeridad con que se transporta la energía o celeridad correspondiente a la frecuencia  $f = 1/T$ . El flujo medio de energía de un estado de mar, se obtiene a través de la función de densidad espectral, si se conoce la distribución de alturas de ola  $H_S$  y períodos  $T_p$  del estado de mar, que proporciona la

sonda oceanográfica ADV Triton. El flujo de energía se puede obtener con la ecuación 2-9<sup>81</sup>(que asume que el espectro escalar es un JONSWAP Standard):

$$F = 550H_S^2 T_Z \quad (\text{W/m}) \quad (\text{EC. 2-9})$$

Donde  $T_Z$  es el período medio de paso ascendente por cero ( $T_{02}$ ) el cual se puede calcular con los datos proporcionados por la sonda oceanográfica ADV Triton, o también, puede aproximarse con la siguiente expresión:  $T_Z = T_p / 1.2$ .

Así, el espectro de oleaje empleado en aplicaciones de ingeniería, debe ser un espectro JONSWAP<sup>82</sup> (Joint Wave Observation Program for the North Sea) con un factor de amplificación  $\gamma$ , entre 3 y 10, dependiendo de la distancia que viaje el oleaje, y  $H_S$ <sup>83</sup> y  $T_p$ <sup>84</sup> variables<sup>85</sup>. El espectro JONSWAP, incluye la velocidad de propagación de ola como parámetro para la predicción del oleaje, y en función de los parámetros de alturas de ola, su expresión es la ecuación 2-10:

$$S(f) = B_J \cdot H_S^2 \cdot T_p^{-4} \cdot f^{-5} \exp\left[-1.25 \cdot (T_p \cdot f)^{-4}\right] \cdot \gamma^{\exp\left[-(T_p \cdot f - 1)^2 / 2\sigma^2\right]} \quad (\text{EC 2-10})$$

Donde:

$$B_J = \frac{0.0624}{0.23 + 0.0336\gamma - 0.185(1.9 + \gamma)^{-1}} \left[1.094 - 0.01915 \ln\gamma\right] \quad ; \text{ es el parámetro de Phillips, del espectro de oleaje JONSWAP.}$$

<sup>81</sup> PASCUAL, Cesar V. Introducción a la Energía del Oleaje y Posibilidades de la Costa Vasca, Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas, Universidad de Cantabria.

<sup>82</sup> STICKLE, Miguel Martín. Descripción del Oleaje y Estudio de la Acción Ejercida sobre el Paramento de un Dique Vertical. Aplicación Numérica, Universidad Politécnica de Madrid, junio 2005, página 48.

<sup>83</sup> Altura signficante: altura representativa de la banda de máxima energía que existe en un determinado oleaje. A efectos prácticos se asemeja a la altura media del tercio de olas más altas.

<sup>84</sup> Período de pico: es el período representativo de la banda de máxima energía (asociado a la  $H_S$ ). se puede considerar como un buen indicador del tiempo entre dos olas consecutivas de la serie.

<sup>85</sup> PASCUAL, Cesar V. Introducción a la Energía del Oleaje y Posibilidades de la Costa Vasca, Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas, Universidad de Cantabria, España.

$H_{\frac{1}{3}}$  : es la altura de ola significativa.

$$T_p = \frac{1}{f_p} \approx \frac{T_{\frac{1}{3}}}{1 - 0.132(\gamma + 0.2)^{-0.559}} \quad : \text{ es el período pico del registro.}$$

$$\sigma = \begin{cases} \sigma_a \cong 0.07 & : f \leq f_p \\ \sigma_b \cong 0.09 & : f \geq f_p \end{cases} \quad : \text{ es el parámetro de escala.}$$

$\gamma = 1 - 7$  : es el factor de amplificación del pico espectral.

En la actualidad, se han desarrollado muchos sensores remotos para medir las propiedades direccionales del oleaje. Las nuevas técnicas que utilizan sensores remotos, tienen la ventaja de tener una gran cobertura espacial, con satélites estacionarios para ese fin, aunque hasta la fecha, las mediciones in situ y las remotas son complementarias. Generalmente, las metas experimentales son alcanzadas a través de una combinación de ambos; mientras que los sensores remotos su espectro unidimensional y parámetros básicos obtenidos telemáticamente son aceptables, los espectros direccionales, no, porque los espectros de dos dimensiones revelan detalles que no pueden ser observados por espectros frecuenciales utilizados como una herramienta cualitativa para interpretar situaciones ambientales y diferencias entre sensores remotos para detectar oleaje. Las mediciones in situ de las propiedades de las olas son procesadas para proporcionar datos que pueden ser comparados con modelos teóricos de predicción (usados localmente, o en estaciones climatológicas) y así validarlos. La validación y mejora de las predicciones de los modelos numéricos de oleaje necesitan toda la información espectral in situ. Los centros operacionales, que actualmente utilizan modelos numéricos para la simulación y predicción del oleaje, usan únicamente la altura de ola significativa. Sin embargo, el parámetro de altura de ola es sólo un parámetro de diagnóstico de los modelos

numéricos y no una variable pronóstico, lo que conduce a simplificaciones en el proceso de asimilación pero no a la mejora de predicciones espectrales<sup>86</sup>.

#### 2.2.9 Aplicación del modelo numérico SWAN para la predicción del oleaje en la zona costera de El Salvador.

En la actualidad, los modelos de oleaje se han utilizado para el trazo de rutas de embarcaciones, operaciones de plataformas, industria en mar abierto e investigación climática. Su inicio se da con el entendimiento de las fluctuaciones de presión y variaciones de la fricción sobre la superficie del océano, asociados a flujos de aire sobre las olas. En los últimos 20 años, ha habido un auge en el estudio del intercambio de momentum en la interface aire - agua en los océanos, lo que ha generado un continuo desarrollo de modelos describiendo la física de tales procesos. Dos tipos de modelos de oleaje han sido desarrollados para simular la evolución del oleaje: la resolución de fase (phase resolving) y el promediado de fase (phase averaged). Los modelos con resolución de fase son usados para condiciones de oleaje muy variables en dominios pequeños y generalmente no consideran generación ni disipación. Por el contrario, los modelos de promediado de fase asumen que las propiedades de las olas varían lentamente en escalas de la longitud de onda y consideran los fenómenos de generación, disipación de energía e interacciones no lineales en los que la superficie del mar es descrita por un espectro de energía. El modelo SWAN “Simulating Waves Nearshore” es un modelo de tercera generación que describe la evolución del espectro de energía del oleaje tomando en cuenta las condiciones del viento, corrientes marinas y batimetría, calculando procesos

---

<sup>86</sup> BOLAÑOS S., Rodolfo. “Tormentas de Oleaje en el Mediterráneo: Física y Predicción”, Universidad Politécnica de Cataluña, Departamento de Ingeniería Hidráulica, Marítima y Ambiental, España, páginas 22-23.

de generación, disipación e interacciones no lineales<sup>87</sup>. Los procesos de propagación representados en SWAN son<sup>88</sup>:

- Propagación recti-lineal en espacio.
- Transformaciones de olas por cambios en profundidad o corrientes (Shoaling y refracción).
- Bloqueo o reflexión de olas por corrientes marinas.
- Transmisión, bloqueo o reflexión por obstáculos.

Los procesos de generación y disipación del oleaje marino considerado en el SWAN<sup>89</sup> son:

- Generación por viento.
- Disipación por rotura.
- Disipación por rotura por fondo.
- Disipación por fricción en el fondo.
- Interacción entre olas (triadas/quadrupletas).

En el capítulo cuatro, se aplica el modelo SWAN para la predicción de las características del oleaje marino costero en la zona costera de El Salvador.

---

<sup>87</sup> BOLAÑOS S., Rodolfo. “Tormentas de Oleaje en el Mediterráneo: Física y Predicción”, Universidad Politécnica de Cataluña, Departamento de Ingeniería Hidráulica, Marítima y Ambiental, España, páginas 28-40.

<sup>88</sup> Ibídem, página 40.

<sup>89</sup> Ibídem, páginas 40-41.

Tabla 2-14a: Teorías clásicas de la propagación del oleaje<sup>90</sup>.

Teorías Clásicas		
Teoría	Principio	perfil del oleaje
Teoría de Airy (Lineal)	La propagación del oleaje, para simplificar, la considera que es lineal, y oscilaciones de amplitud pequeña respecto a la posiciones de equilibrio, bajo el efecto de la gravedad, de un líquido con una superficie libre.	$\eta = a \cdot \cos(kx) \cdot \sin(\omega \cdot t + \varepsilon)$ Validación de la teoría Airy: $\frac{a}{h} \ll 1$ Donde: a : amplitud; h : profundidad; $\omega$ : frecuencia de olas; t : tiempo ; k : numero de ondas $\varepsilon$ : dirección;
Teoría de Stokes (no lineal)	Stokes desarrollo la teoría de Airy para olas de amplitud finita (no lineal), dando como resultado un perfil con crestas más altas y puntiagudas y senos planos, descripción que se ajusta al oleaje observado cuando este entra en zonas de aguas intermedias y someras.	$\eta = a \cdot \cos(kt - \omega t) + a^2 \cdot k \cdot \frac{\cosh(kh) \cdot [2 + \cosh(2kh)]}{\sinh^3(kh)} \cdot \cos[2 \cdot (kx - \omega t)]$ Donde: a : amplitud; k : numero de ondas; L : longitud de onda $\omega$ : frecuencia de olas; t : tiempo; $\varepsilon$ : dirección; h : profundidad
Teoría de onda solitaria Russell	Consiste en que la onda posee una única elevación, de altura no necesariamente pequeña en comparación con la profundidad, progresando en aguas en reposo, es decir sin seno, por lo que no es oscilatoria.	$y = 1 + \frac{1}{2} \cdot \operatorname{sech}^2\left(\frac{1}{2}x\right)$ Donde: h : profundidad

<sup>90</sup> Descripción del oleaje y estudio de la acción ejercida sobre el paramento de un dique vertical, Trabajo de Investigación Universidad Politécnica de Madrid E.T.S. de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos, junio 2005, páginas 20-34.

Tabla 2-14b: Teorías actuales de la propagación del oleaje<sup>91</sup>.

Teorías Actuales		
Teoría	Principio	Ecuaciones generales
Teoría Geométrico - estadística	La teoría del oleaje aleatorio (teoría Geométrico-estadística) se abordan problemas de ingeniería. Esta teoría permite establecer con precisión parámetros estadísticos sobre las condiciones de los distintos estados del mar en zonas próximas a estructuras costeras.	
Teoría espectral	Las olas del mar pueden ser analizadas como si consistieran en un número infinito de pequeñas ondas, las cuales tienen distintas frecuencias y direcciones. La distribución de energía de estas pequeñas ondas representada respecto a la frecuencia y respecto a la dirección se denomina espectro de la ola. Si la distribución de energía se realiza solo respecto a la frecuencia se conoce como espectro de frecuencia, si la distribución de energía se expresa respecto a la frecuencia y a la dirección se conoce como espectro direccional de ola.	$S(f) = B_J \cdot H_{1/3}^2 \cdot T_p^{-4} \cdot f^{-5} \exp[-1.25 \cdot (T_p \cdot f)^4] \cdot \gamma \exp\left[-\frac{(T_p f - 1)^2}{2\sigma^2}\right]$ <p>Donde:  S : función de densidad espectral de ola direccional  H : amplitud; T : período; f : frecuencia;  γ : Parámetro de ruptura de la ola.</p>

<sup>91</sup> Descripción del oleaje y estudio de la acción ejercida sobre el paramento de un dique vertical, Trabajo de Investigación Universidad Politécnica de Madrid E.T.S. de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos, junio 2005, páginas 36-55.



Tabla 2-15: Algunos modelos espectrales de un estado de mar.

Teoría espectral	Expresión para el cálculo del espectro de energía <sup>92</sup>	Potencia (kW/m)
Espectro Neumann (1953)	$S(f)=1.466 H_{m0}^2 \frac{f_p^5}{f^6} \exp[-3(f/f_p)^{-2}]$	
Pierson-Moskowitz (1964)	$S(f)=\frac{H_S^2}{2} \left(\frac{2\pi}{T_Z}\right)^4 (2\pi f)^{-5} \exp\left[-\left(\frac{2\pi}{T_Z}\right)^4 \left(\frac{2\pi f}{\pi}\right)^{-4}\right]$	$N_L = 0.549 H_S^2 T_Z$
Espectro ISSC (1964)	$S(f)=0.1107 H_S^2 \frac{\bar{f}^4}{f^5} \exp[-0.4427(f_S/f)^4]$	$N_L = 0.5949 H_S^2 T_Z$
Espectro ITTC (1966)	$S(f)=1.272 m_0 f_Z^4 f^{-5} \exp[-0.318(f_Z/f)^4]$	
Hogben y Lumb (1967)		$N_L = 0.487 H_V^2 T_V$
Jonswap-Hasselmann (1973)	$S(f) = B_J \cdot H_{1/3}^2 \cdot T_p^{-4} \cdot f^{-5} \exp[-1.25 \cdot (T_p \cdot f)^{-4}] \cdot \gamma^{\exp\left[-\frac{(T_p f - 1)^2}{2\sigma^2}\right]}$	$N_L = 0.458 H_S^2 T_Z$
Espectro de Ochi-Hubble (1976)	$S(f) = \frac{\pi}{2} \sum_{j=1}^2 \frac{\left(\frac{4\lambda_j+1}{4} (2\pi f_{0j})^4\right)^{\lambda_j}}{\Gamma(\lambda_j)} \frac{H_{Sj}^2}{(2\pi f)^{4\lambda_j+1}} \exp\left[-\left(\frac{4\lambda_j+1}{4}\right) \left(\frac{f_{0j}}{f}\right)^4\right]$	
Espectro TMA (1985)	$S_{TMA}=S_j(f) \Phi_K(\omega_H)$	
Bretschneider-Mitsuyasu	$S(f)=0.257(H_{1/3})^2 T_{1/3} (T_{1/3} f)^{-5} \exp[-1.03 (T_{1/3} f)^{-4}]$	$N_L = 0.441 H_S^2 T_Z$
Nath		$N_L = 0.538 H_S^2 T_Z + 0.491 \frac{H_S^3}{T_Z}$

<sup>92</sup> ROSALES S., Víctor. Caracterización del Oleaje Aplicada a Tuxpan, páginas 70-76.

## CONCLUSIONES

- La problemática energética del país, hace necesaria, la diversificación de la matriz energética a producir, para satisfacer la demanda de energía eléctrica interna, esto, trae la búsqueda de fuentes y recursos alternativos viables para incrementar la oferta energética la cual, continuamente requiere ir complementándose.
- En base a los diferentes tipos de aprovechamiento energético del mar, la energía de las olas del mar es un tipo de fuente renovable, que hasta la fecha no se ha aprovechado, en las costas de El Salvador. Por tanto, al producir energía eléctrica a partir de este recurso renovable e inagotable, se dispondrá de energía que pueda satisfacer gran parte de la demanda energética en el país.

## RECOMENDACIONES

- Fomentar la investigación en la diversificación del aprovechamiento energético del mar correspondiente al territorio salvadoreño, desde el borde costero hasta las 200 millas marítimas establecidas en la constitución política salvadoreña.

CAPITULO TRES  
ESTUDIO DEL SITIO PARA EVALUAR EL POTENCIAL  
ENERGÉTICO DEL OLEAJE EN LAS COSTAS DE EL  
SALVADOR.

## INTRODUCCIÓN

En este capítulo se describen características generales del Océano Pacífico, especificando algunas variables importantes, que hacen modificar el oleaje del agua marina, con la participación de factores como los vientos y las estaciones del tiempo en las costas orientales de Nueva Zelanda, que afecta las costas occidentales de El Salvador, por su geomorfología costera. Además, se describe el tipo de costas a lo largo de la borda costera salvadoreña, donde se realiza la elección de puntos específicos, para emplazamiento de equipo de medición de parámetros del oleaje, basándose en criterios de un geólogo, especialista.

### 3.1 GEOGRAFÍA DE LAS COSTAS SALVADOREÑAS.

#### 3.1.1 Estudio regional.

##### 3.1.1.1 Las costas en el Océano Pacífico.

La costa es el lugar donde la tierra se une con el mar. En sectores de playa, su cobertura bidimensional puede extenderse, y en otros casos, disminuir, debido a los procesos de erosión marina. Pero, las costas también son modificadas por otros factores, como el clima, el viento, el oleaje, actividad biológica y las actividades humanas<sup>93</sup>. Los océanos cubren y contienen las mismas características geológicas que se observan en tierra firme continental. Se encuentran grandes montañas, volcanes activos, terremotos y avalanchas, tesoros minerales y planicies tranquilas<sup>94</sup>. El Océano Pacífico, es el más vasto de los océanos, comparativamente, presenta características completamente opuestas a las del Océano Atlántico, tal como temperatura y salinidad, respecto a profundidad, ver figuras 3-1 y 3-2. Su eje mayor, paralelo al Ecuador, alcanza los 150°, sumándole el Océano Indico Oriental, con el que se comunica ampliamente y presenta gran analogía, su extensión excede la mitad del Ecuador terrestre. Su profundidad

---

<sup>93</sup> <http://es.wikipedia.org>.

<sup>94</sup> BRENES R., Carlos L. Fundamentos de Oceanografía Descriptiva, página 3.

media es mayor que la del Océano Atlántico<sup>95</sup>, ver la tabla 3-1. En el anexo A3-1, se muestra una figura donde se presenta la topografía del Océano Pacífico del Este Tropical, limitando al Este con el Continente Americano, al Norte con el mar de Bering, al Oeste con Asia, el Archipiélago Malayo y Australia, al Sur con el Océano Austral. En el Sudeste, los océanos Pacífico y Atlántico, están divididos por el paralelo 68 a través del estrecho de Drake<sup>96</sup>. El Océano Pacífico, es el mar más grande de La Tierra con 176, 680,000 km<sup>2</sup>, ocupando 35% de toda la superficie terrestre, firme y marítima, y es el mar más profundo con promedio de 4,188 m, ver tabla 3-1. Del total de 17 fosas submarinas, existentes en La Tierra, 13 se ubican en este océano, caracterizadas por profundidades mayores que 6,000 m, se distinguen por su posición en el borde de los mares, la superposición con zonas de gran actividad sísmica y fuerza de gravedad anómalamente reducida<sup>97</sup>.

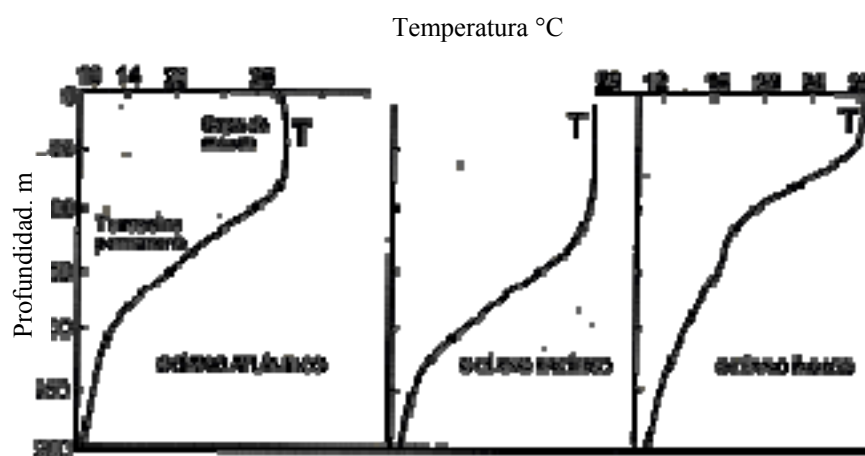


Figura 3-1: Distribución vertical de temperatura en los océanos tropicales<sup>98</sup>.

<sup>95</sup> BOURCART, Jacques. El Fondo de los Océanos, página 72.

<sup>96</sup> <http://www.lighthouse-foundation.org>.

<sup>97</sup> Geografía de El Salvador, página 127.

<sup>98</sup> Ibídem, página 17.

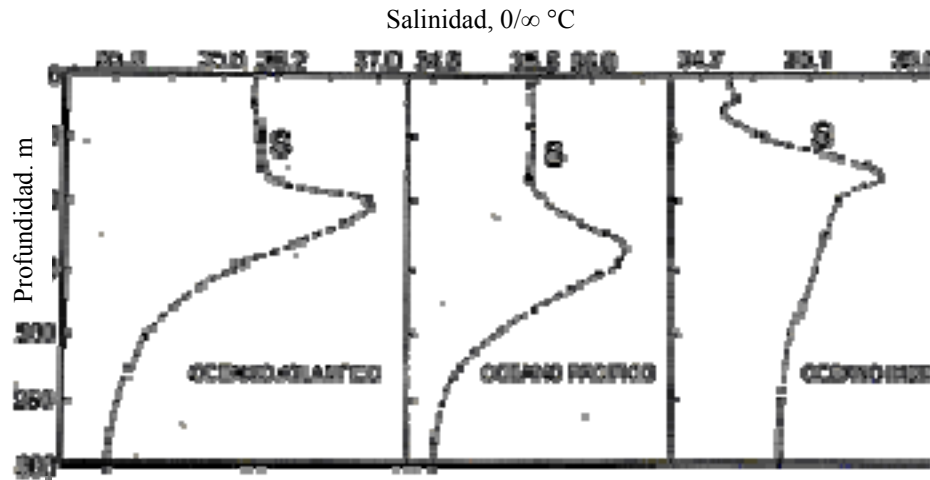


Figura 3-2: Distribución vertical de salinidad en los océanos tropicales<sup>99</sup>.

Tabla 3-1: Los principales océanos y variables que les caracterizan<sup>100</sup>.

Océano	Área*	Volumen*	Profundidad media, m	Temp. °C	Salinidad, ‰	Características
Pacífico	166.241	696.184	4.188	3.36	34.62	El más frío, profundo y grande de los océanos, ocupa más de la mitad del volumen de las cuencas oceánicas.
Atlántico	94.314	337.210	3.736	3.72	34.76	Recibe la mayor cantidad de sedimentos provenientes de los ríos, tales como El Amazonas, El Congo, El Mississippi.
Índico	77.118	284.608	3.872	3.73	34.90	Recibe la mayor cantidad de sedimentos del Río Ganges y El Brahmaputra.
Mundial	362.033	1,304.929	3.729	3.52	34.72	Los océanos ocupan el 70 % de la superficie terrestre.

\*Por 10<sup>6</sup> km<sup>2</sup>.

A pesar de la aparente homogeneidad en los océanos, (ver tabla 3-2, principales compuestos de agua de mar en estado disuelto) existen diferencias en las características del agua, por ejemplo, densidad, salinidad, temperatura, etc., las cuales hacen que ciertos volúmenes de agua, con propiedades muy homogéneas, se

<sup>99</sup> Geografía de El Salvador, página 12.

<sup>100</sup> BRENES R., Carlos L. Fundamentos de Oceanografía Descriptiva, página 5.

muevan como una masa distintiva, conservando sus propiedades a lo largo de grandes distancias, la masa de agua, se utiliza para definir estos volúmenes de agua, los cuales poseen temperaturas y salinidades más o menos uniformes<sup>101</sup>.

Las aguas oceánicas, se pueden dividir en cuatro capas, respecto a la profundidad donde se localizan<sup>102</sup>, como sigue:

1. Superficial (0 m – 300 m).
2. Intermedia (500 m – 1000 m).
3. Profunda (1200 m – 4000 m).
4. Del fondo (mayor que 4000 m).

Tabla 3-2: Principales constituyentes en un kilogramo de agua de mar<sup>103</sup>.

Compuesto	Peso (gramos)	Proporción en el contenido total de sales (%)
Cloro	18.980	55.044
Sodio	10.556	30.613
Sulfatos	2.649	7.682
Magnesio	1.272	3.689
Calcio	0.400	1.160
Potasio	0.380	1.102
Bicarbonatos	0.140	0.406
Bromo	0.065	0.189
Acido bórico	0.026	0.075
Estroncio	0.013	0.038
Flúor	0.001	0.003
Agua	965.518	0.000
Total	1000.000	100.000

Estas aguas superficiales oceánicas, ver figura 3-3, se dividen en<sup>104</sup>: Ecuatoriales, Centrales, Subárticas, Subantárticas, Circumpolares. En el Pacífico de América Central, la columna de agua desde la superficie hasta los 1000 m de profundidad está ocupada por tres masas de agua, a saber<sup>105</sup>:

<sup>101</sup> BRENES R., Carlos L. Fundamentos de Oceanografía Descriptiva, página 19.

<sup>102</sup> *Ibidem*, página 12.

<sup>103</sup> GUERRERO, Manuel. El Agua, página 42.

<sup>104</sup> BRENES R., Carlos L. Fundamentos de Oceanografía Descriptiva, página 19.

<sup>105</sup> *Ibidem*, página 20.



Figura 3-3: Clasificación de las aguas del Océano Pacífico de acuerdo con la estructura de sus masas de agua<sup>106</sup>.

- Agua Superficial Tropical (AST), sus índices termohalinos ( $T > 25^{\circ}\text{C}$ ,  $S < 34$  ‰, ver figura 3.4), la definen como una masa de agua cálida y poco salina, posee, generalmente, índices de saturación de oxígeno de al menos el 100 %. Su temperatura varía poco, estacional e interanualmente, dando como resultado un alto grado de estratificación térmica y una termoclina, bastante Ecuatorial, su mínimo salino se sitúa bajo la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), y es más pronunciado justo en los meses de septiembre a noviembre, cuando la ZCIT alcanza su posición más al Norte, la lluvia y la nubosidad caracterizan la presencia de esta zona, produciendo el mínimo salino superficial. La termoclina debajo de la capa superficial, limita la mezcla de agua dulce superficial con el agua salina de los niveles

<sup>106</sup> BRENES R., Carlos L. Fundamentos de Oceanografía Descriptiva, página 20.



intermedios. Esta masa de agua se extiende en todo el Pacífico Ecuatorial, y su límite Norte, lo define la isoterma 25°C.

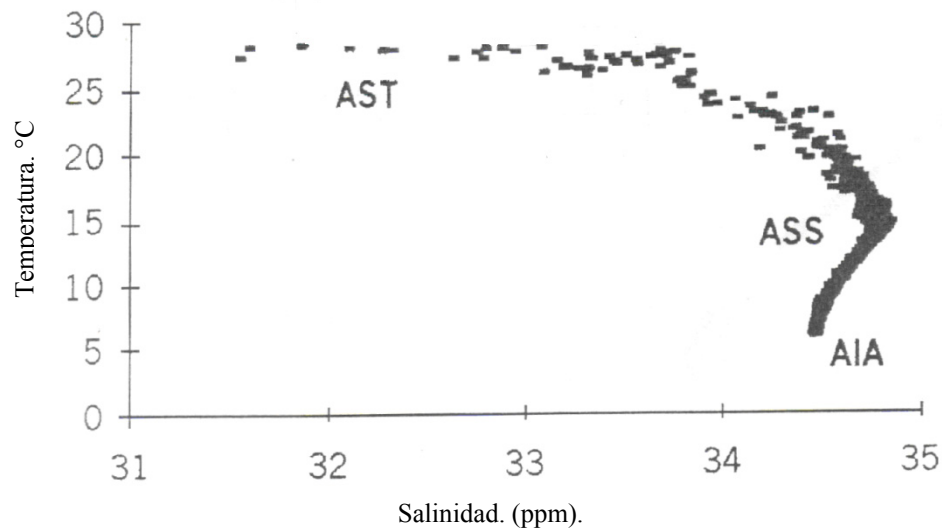


Figura 3-4: Diagrama Temperatura-Salinidad dispersivo, para aguas de la zona del océano Pacífico centroamericano<sup>107</sup>.

- Agua Subsuperficial Sub-tropical (ASS). Esta masa de agua se caracteriza por el máximo de salinidad, cercano al 35 ‰, en los diagramas Temperatura Vs. Salinidad, de la figura 3-4, y ocupa los niveles subtermoclinos. El origen de esta masa de agua se sitúa en el Océano Pacífico Sur y se desplaza atravesando el Ecuador hacia el Hemisferio Norte.
- Agua Intermedia Antártica (AIA). La define el mínimo de salinidad a los 900 m de profundidad. La salinidad en su núcleo, es de 34.55 ‰, y las temperaturas ligeramente menores que 5°C, como se indica en la figura 3-4. Se forma cerca del Frente Polar Antártico y se extiende en la dirección Norte, razón por la cual, sus índices termohalinos experimentan un aumento.

En las regiones marinas, indicadas en la figura 3-5, sin considerar características locales, se puede distinguir, en los mares mundiales, siete regiones

<sup>107</sup> BRENES R., Carlos L. Fundamentos de Oceanografía Descriptiva, página 20.

principales de temperatura, salinidad, para el Océano Pacífico, indicadas en la tabla 3-3 y en la figura 3-5.

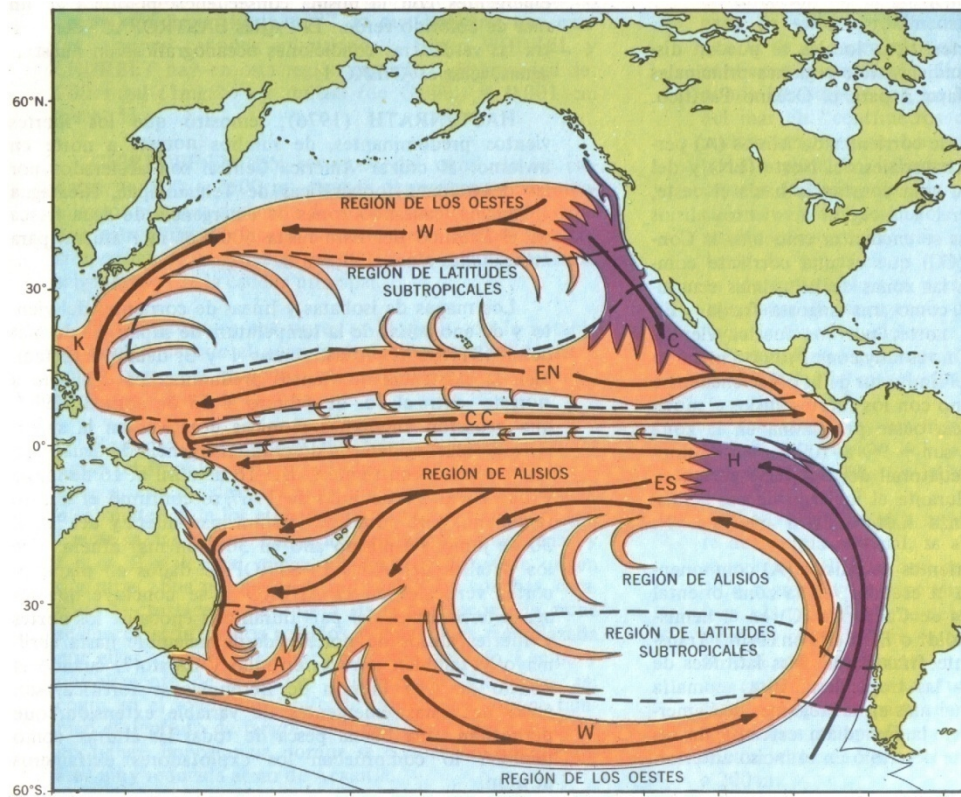


Figura 3-5: Regiones naturales del Océano Pacífico y sistema de corrientes marítimas en superficie<sup>108</sup>.

Tabla 3-3: Principales regiones del mundo para el Océano Pacífico<sup>109</sup>.

Corrientes Marítimas	
código	Regiones
A	Corrientes Australiana Oriental.
CC	Contracorriente Ecuatorial.
C	Corrientes de California.
H	Corrientes de Humboldt o Perú.
K	Corrientes de Kuru Shivo.
EN, ES	Corrientes Ecuatoriales del Norte y Sur.
W	Corrientes de los Oestes.

<sup>108</sup> Geografía de El Salvador, página 134.

<sup>109</sup> Ibidem.

### 3.1.1.2 Las costas centroamericanas.

Por su ubicación geográfica, Centroamérica está expuesta a amenazas naturales, por ejemplo, peligros como huracanes, inundaciones, deslizamientos de laderas, sequías e incendios forestales, se presentan recurrentemente y con periodicidad impredecible, provocando severos efectos negativos, los que suelen manifestarse con particular interés en la agricultura, el medio rural y las pesquerías. Así mismo, ocurre el fenómeno de El Niño, este aparece con periodicidad entre 3 años y 7 años, en el Litoral Pacífico, como sigue: prolongación del verano de mediados de año, reducción e inadecuada distribución de las precipitaciones, aumento de días secos, adelanto de la estación seca, y aumento, en el promedio de la temperatura del aire durante el verano<sup>110</sup>. Las características del fondo marino, de las costas centroamericanas son: fondo plano, irregular, muy irregular y pendiente pronunciada, notando en la figura del anexo A3-2, que en El Salvador, predomina el fondo plano, y en La Unión y La Libertad, alejados del borde costero, denota la particularidad de fondo irregular.

### 3.1.1.3 Las costas salvadoreñas.

La costa de El Salvador, se encuentra en posición latitudinal entre 13° 10' N y 13° 40' N, está apenas al Sur, y con eso, fuera del área directa de huracanes, de ninguna manera está influenciada directamente por esos fenómenos climáticos, sin embargo, el día lunes 19 de junio de 2006 ocurrieron marejadas, incrementando la altura del oleaje hasta más de 5 metros, similarmente, en la segunda y tercera semana de abril de 2007.

La costa pacífica de El Salvador se extiende longitudinalmente en total, 321 km desde el Río Paz, en el extremo Occidental, hasta el Golfo de Fonseca en el extremo Oriental. En dos zonas Norte y Sur, las montañas llegan hasta el mar, la Sierra El Bálsamo y la Sierra de Jucuarán, en el anexo A3-3 se observan las

---

<sup>110</sup> BRENES R., Carlos L. Fundamentos de Oceanografía Descriptiva, página 77-79.

características morfológicas de El Salvador, ambas sierras, dividen el paisaje costero en cinco secciones de Oeste a Este, que son las siguientes<sup>111</sup>:

- 1) la gran planicie costera del Occidente con una faja angosta conteniendo lagunas,
- 2) la costa acantilada de 10 m a 50 m de alto de la Sierra El Bálsamo, con cantiles, terrazas de playa y ensenadas,
- 3) la planicie costera de más de 100 km de extensión, de la zona Central de El Salvador, en ambos lados del Río Lempa, tiene pequeñas lagunas, y se encuentran en ella los grandes estuarios de marea de Jaltepeque y de Jiquilisco con playas de arena, lenguas de tierra y extensos manglares situados detrás de las lenguas,
- 4) la costa acantilada de la Sierra de Jucuarán,
- 5) la costa llana, con playas de arena y pequeñas lagunas, se extiende hasta el Golfo de Fonseca,
- 6) la costa Oriental de El Salvador hacia el Golfo de Fonseca, como zona aparte, con la costa de derrumbe del Volcán de Conchagua y con el delta cubierto de manglares del Río Goascorán y algunas islas del Golfo de Fonseca. Ver el anexo A3-4, los diferentes tipos de costa de El Salvador.

Por lo tanto, los tipos de costa que forman la morfología de la borda marina-continental de las costas salvadoreñas son, costas llanas y costas acantiladas. La costa llana, siempre tiene playas de arena con lenguas de tierra y lagunas. Los manglares no forman límites con el océano, sino que se encuentran únicamente atrás de las lenguas de tierra, en el Golfo de Fonseca. Las costas acantiladas, se forman en grandes partes directamente de las sierras, en trechos más pequeños de llanuras más altas, con declive abrupto, y en el Volcán de Conchagua, como costa acantilada al pie del volcán. Las islas, en su mayoría tienen orillas abruptas<sup>112</sup>.

---

<sup>111</sup> EMDEN, Gierloff. La Costa de El Salvador. Monografía Morfológica-Oceanográfica, página 187.

<sup>112</sup> *Ibidem*, página 69.

La planicie costera de El Salvador. Se puede subdividir en tres tipos de morfologías diferentes: planicies de pie de monte, planicie costera propiamente, bahías y esteros.

Las planicies de pie de monte. Son áreas inclinadas, ligeramente diseccionadas y relieve, moderado a bajo, que se encuentran al pie de los macizos montañosos costeros y de algunos macizos montañosos volcánicos, la topografía varía de ligeramente ondulada a ondulada, con inclinación siempre hacia el Sur, o sea, en dirección al mar. Las rocas subyacentes de estas áreas, están compuestas de aglomerados volcánicos, tobas, lapillo y otros estratos aluviales antiguos. Son áreas que por lo general son de buen drenaje, con suelos moderadamente profundos, dependiendo del grado de erosión. Pertenecen en su mayoría a los Latosoles arcillo-rojizos, sólo que, en el extremo Occidental, por el Puerto de Acajutla, se encuentran, a veces, asociados con los Grumosoles, ocupando éstos las posiciones cóncavas y los Latosoles las convexas. Lo mismo ocurre en el extremo Este del país, donde se encuentra esta misma asociación, en Punta Amapala, en el Golfo de Fonseca. En la parte Central de esta planicie de pie de monte, a partir del Río Huiza en el departamento La Paz, hasta el Puente de Oro, sobre el Río Lempa, estos suelos rojos se encuentran enterrados por mantos de cenizas volcánicas blancas, predominando los suelos Regosoles y sólo en parches dispersos debido a la erosión, aparecen estos suelos Latosoles arcillo-rojizos, pero es más frecuente su apareamiento geográfico entre Zacatecoluca y el Río Lempa, en la parte inferior de esta planicie, también, se encuentra algunos Grumosoles. Otra área algo similar a la anterior, en cuanto a depósitos de ceniza volcánica, es la que se encuentra a partir de la hacienda La Carrera hasta el poblado El Tránsito, en Usulután, donde ha habido mayor actividad volcánica, y a causa de esta, hay suelos enterrados y algunos Andosoles y Latosoles arcillo-rojizos (Inceptisoles, Alfisoles y Molisoles).

Planicies costeras propiamente. Formadas por materiales aluviales, arrastrados por ríos que desembocan en el mar, son áreas planas cruzadas por cañadas, con drenaje restringido, en su mayoría, o con peligros de inundación. En el contacto superior de éstas con el inferior de las planicies de pie de monte, se encuentra, en muchos lugares, el afloramiento del manto freático alto, dando lugar a formación de lagunetas. Este fenómeno, es más evidente en la parte Central, que se extiende desde el Río Jiboa hasta el Río Lempa, y entre las cuales se pueden citar las siguientes lagunetas: El Zorral, Nahualapa, El Palmo, Contreras, La Pancha, Los Reyes, Los Micos, El Garrobo, Talquezal, etc. En la zona Oriental, se encuentra la laguna El Jocotal, 900 km<sup>2</sup> a 1600 km<sup>2</sup> de extensión, es del mismo origen y tiene mayor extensión que las citadas. Los suelos de esta zona pertenecen a los Aluviales, o sea, Entisoles y algunos Inceptisoles y Molisoles, los cuales, la mayoría, son suelos jóvenes sin desarrollo agrícola. Algunos de estos suelos, próximos a los esteros, a veces presentan manchas salinas dispersas, que limitan un poco el tipo de cultivo para la siembra agrícola.

Bahías y esteros. Son áreas adyacentes al litoral costero salvadoreño, típicas por su fraccionamiento donde denotan entradas y salidas de agua que bordean una serie de islas de variadas formas, incluyen también las áreas de las bocanas de los ríos que desembocan en el mar, cordones litorales, penínsulas y algunas islas formadas con materiales marinos. Los suelos cercanos a los esteros, son suelos Halomórficos, de alta concentración salina, que impiden el desarrollo normal de plantas de cultivo, y en ellos, se desarrolla una vegetación Halófitas, muy bien representada por los bosques de mangle. Las texturas de estos suelos Halomórficos son muy variables; pueden ser, desde arenosos hasta arcillo-limosos, son jóvenes, sin desarrollo en el perfil. En los cordones litorales y penínsulas, los suelos

pertenecen a los Regosoles, compuestos de materiales marinos (arenas) no consolidados, de textura arenosa o arenoferosas<sup>113</sup>.

El curso actual de la costa de El Salvador, es el resultado de las fuerzas activas de la resaca de las olas marinas y remoción subaérea y del efecto de sedimentación. Como parte integrante de la costa pacífica de Centro América. La historia geológica del área salvadoreña, está llena de vicisitudes, desde el Período Terciario, hace unos 2 millones de años, y ha intervenido en el transcurso de la costa. Todas las características que se observan en esta área, prueban la actuación múltiple y hasta hoy subsistente de fuerzas creativas de costas y montañas, con elevaciones o hundimientos locales de fragmentos aislados<sup>114</sup>. Así, el fondo submarino de las aguas territoriales, frente a las costas llanas, los sedimentos, son arenas y fangos fluviales así como sedimentos calizos de origen orgánico, sus productores principales son conchas, caracoles y crustáceos. Frente a las costas rocosas, la arena se mezcla con cantos rodados y grava o es reemplazada por ellos. Frente a la desembocadura del Río Lempa y posiblemente de la bocana del Estero de Jiquilisco, así como en el fondo del Golfo de Fonseca, se supone también el depósito de fango. Los sedimentos cuyo origen es el coral, comparativamente, no llegan a ser muy importante<sup>115</sup>, respecto a una área muy reducida, existente al Sur de Acajutla. En el talud continental hay varias, clases de sedimentos, el fango tiende a ser el más común. Las prominencias volcánicas, las hondonadas y las mesetas del mar profundo y llano, la capa de sedimentos puede tener de 1000 m a 2000 m de espesor, o más<sup>116</sup>.

---

<sup>113</sup> Geografía de El Salvador, página 112.

<sup>114</sup> EMDEN, Gierloff. La Costa de El Salvador. Monografía Morfológica-Oceanográfica, página 189.

<sup>115</sup> Sin embargo, los ambientalistas y El Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (ICMARES) de La Universidad de El Salvador han dado relevancia a esta riqueza natural que ha sido afectada por el proyecto turístico de desarrollo de infraestructura hotelera donde se ha destruido parte de este arrecife marino.

<sup>116</sup> Geografía de El Salvador, página 132.

### 3.1.2 Estudio local de la faja costera salvadoreña.

#### 3.1.2.1 Faja Occidental costera.

##### 3.1.2.1.1 La planicie Occidental.

Tiene 55 km de longitud y se extiende desde el Río Paz hasta las estribaciones de la Sierra El Bálsamo con anchura de 8 km a 20 km, hasta la Isoipsa que delimita 200 m de profundidad. Las costas llanas de la zona Occidental, son las siguientes<sup>117</sup>:

- a) Sección Río Paz - Río Grande de Sonsonate. Paisaje 1, ver anexo A3-5. Esta sección de planicie de Aluvión, ha sido construida con sedimentos de origen de la Sierra Tacaba-Apaneca y el macizo volcánico de Santa Ana, cuyo pie de monte presenta el límite de la planicie costera Occidental.
- b) Sección Río Grande de Sonsonate - Río Ayacachapa. Paisaje 2, ver anexo A3-5. Esta parte de planicie costera, tiene fisonomía muy distinta y es zona tectónicamente perturbada, en el subsuelo, se encuentran las estribaciones Ponientes y Suroccidentales de la Sierra El Bálsamo, que comienzan debajo de la Plataforma Continental, donde encima, se depositaron sedimentos fluviales originarios de las montañas al Norte y Este, que formaron una capa relativamente delgada. En el área de Acajutla, la planicie costera forma una terraza elevada que rompe hacia el mar, en forma de cantil, hasta más de 15 m de alto, que continua tierra adentro por varios kilómetros, formando la ribera oriental del Río Grande de Sonsonate. La roca cortada, demuestra materiales fuertemente cementados. Al Norte de la carretera La Litoral, cerca donde cruza el Río Banderas, 112 km sobre la carretera La Litoral, se divisan varias lomas

---

<sup>117</sup> Geografía de El Salvador, página 151.



redondas que sobresalen de la planicie, 20 m a 40 m, otro grupo de menor altura se halla a lo largo del camino hacia Los Cóbanos, en Sonsonate, estos, son restos de las primitivas estribaciones occidentales de la Sierra El Bálsamo.

- c) Costa llana y esteros entre Río Paz y Río Grande de Sonsonate. Paisaje 11, ver anexo A3-5<sup>118</sup>. Las costas, desde la desembocadura del Río Paz hasta Acajutla, son una costa rectilínea de orientación Nor-Oeste-Sureste, con anchas playas de arena que se interrumpen por varias desembocaduras de esteros, figura 3-6 y 3-7.

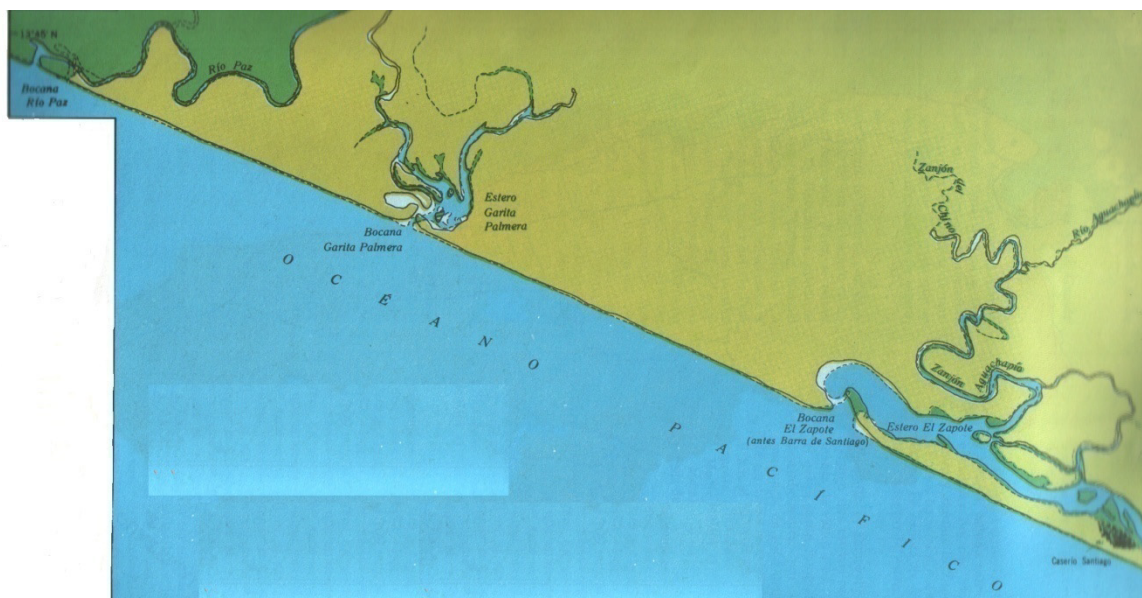


Figura 3-6: Dinámica morfológica de la costa y esteros entre el Río Paz y estero El Zapote<sup>119</sup>.

<sup>118</sup> Geografía de El Salvador, página 152.

<sup>119</sup> *Ibidem*, página 154.





construida de sedimentos volcánicos cementados, cenizas y otros materiales. La existencia de cavidades cavernosas en su pie, sugiere que es un cantil activo. Más al Sur, hacia la Punta Remedio, la costa acantilada pierde altura y las ensenadas se cubren con arenas gruesas de color anaranjado.

3.1.2.1.2 Las montañas costeras de la zona Occidental. Se describen como sigue:

- a) Sierra El Bálsamo. Paisaje 7, ver anexo A3-5<sup>125</sup>. Constan de rocas efusivas Andesíticas y Basálticas, Piroclastitas volcánicas y corrientes de lava, intercaladas. El borde boreal rompe abruptamente sobre la línea de falla principal hacia el “graben” principal, mientras, los estratos inciden suavemente hasta el Sur, formando una costa acantilada transversal, que corta las crestas orientadas Norte-Sur (ver fotografía 3-2). Además, ambas sierras encuentran en la parte Poniente, una transición suave y en el Este, un borde acantilado de menor elevación, que corre desde el mar hacia el Este-Noreste. Sin embargo, en las zonas Centrales y Este de la Sierra El Bálsamo, y en la Sierra de Jucuarán, al Norte y Centro de ella, los estratos originales están superpuestos con material más joven, de la formación Cuscatlán.

La cresta principal de esta sierra, forma el frente Norte, orientado Este-Oeste, y va en declive, en forma de un abrupto escalón dislocado, hacia el Norte, el cual, es menos desarrollado en su parte Central, donde se depositaron, contra el pie del declive acantilado, los sedimentos volcánicos más recientes del volcán San Salvador, provienen del Norte. El punto más alto de la sierra se encuentra cerca de la orilla occidental de la cresta, alcanzando 1474 m de

---

<sup>125</sup> Geografía de El Salvador, página 195.



Altitud. Esta cresta principal, se va constituyendo en la arteria principal de tránsito de la Sierra El Bálsamo, consistente en un camino que desde Santa Tecla conduce a el; de este, salen hacia el Sur, los caminos sobre las crestas laterales, hacia los poblados Cuisnahuat, Ishuatán, Teotepeque, Chiltiupán y Tamanique. Las crestas occidentales, demuestran una vertiente suave hacia la planicie de Acajutla-Sonsonate. Al Este de la carretera, San Salvador - La Libertad, las formas de la sierra son más variadas, desde la cresta principal, que está quebrada en pedazos, descendiendo hacia el Sur, una planicie truncada de relieve ligeramente ondulado, donde valles profundos separan macizos, lomas y mesetas.



Fotografía 3-2: Sierra El Bálsamo; crestas laterales bajan de la cresta principal hacia el mar<sup>126</sup>.

---

<sup>126</sup> Fotografías aéreas obtenidas en la Costa de El Salvador, por la Secretaría de Comunicaciones UES, el 21 de abril de 2006.

### 3.1.2.1.3 Cantiles costeros de El Litoral Centro Occidental.

- a) Costa de la Sierra El Bálsamo Occidental, hasta el Río El Zunzal. Paisaje 20, ver anexo A3-5<sup>127</sup>. La costa de la Sierra El Bálsamo, empieza en el Occidente, cerca de las lomas El Sunzal, al Este del Río Ayacachapa, en el lugar donde las cresta laterales orientadas Noreste-Suroeste se acercan al mar, fotografía 3-3. Desde la costa, se extiende del Oeste al Este, sobre 40 km hasta el Río Jute, un kilómetro al Este de La Libertad, sólo 30 km de ella, es costa acantilada. Los salientes de roca, muchas denotan un plano asimétrico y señalan con sus frentes hacia el Sureste. Las formas decisivas de una costa rocosa, son sus acantilados en la Sierra El Bálsamo, se han formado, donde los espolones de las crestas llegan directamente al mar, con distancia de río a río de 1 km a 2 km. Los frentes de los acantilados, orientados hacia el mar, fotografía 3-4, tienen anchuras de 400 m a 1000 m. La forma de los acantilados depende de la calidad de la roca, y la estratificación<sup>128</sup>, que cambia mucho, de lugar a lugar, consistente en lava, aglomerados cementados, tobas de pómez, brechas de toba aglomeráticas y cenizas endurecidas en proceso avanzado de Litificación.
- b) Costa de transición del Río El Zunzal al Río El Jute. Paisaje 21, ver anexo A3-5<sup>129</sup>. Cerca de la playa El Zunzal, 8 kilómetros al Oeste de La Libertad, donde la ciudad, empieza a transformarse. En la costa, los espolones ya no alcanzan el mar, y forman una franja llana de Aluvión, que alcanza anchura de 400 m a 100 m. En las ensenadas chatas, la playa tiene hasta 50 m de ancho, propiamente de arenisca. Cerca de las

---

<sup>127</sup> Geografía de El Salvador, página 196.

<sup>128</sup> En realidad, actualmente estos perfiles han evolucionado sustantivamente debido a la erosión marina en los bordes acantilados, donde se atestigua que tal estratificación puede ser aparente ya que se denotan los mismos materiales de diferentes cronología, disposición, formación y consistencia.

<sup>129</sup> Geografía de El Salvador, página 199.

desembocaduras del Río Grande y El Majahual, atrás del cordón costero, empieza la formación de lagunitas orladas por pequeños manglares.



Fotografía 3-3: Vista aérea desde la costa de la Sierra El Bálsamo hacia la planicie costera Occidental<sup>130</sup>.



Fotografía 3-4: Costa de El Bálsamo, acantilados orientados hacia el mar<sup>131</sup>.

---

<sup>130</sup> Fotografía aérea tomada en la costa de El Salvador, por Secretaría de Comunicaciones UES el 21 de abril de 2006.

<sup>131</sup> Ibidem.

### 3.1.2.2 Faja Central del borde costero salvadoreño.

A partir de la desembocadura del Río Jute, 2 km al Este de La Libertad, empieza a extenderse el macropaisaje, en planicie costera Central llana, de 120 km de largo, cuyo límite Oriental es el borde Occidental de la Sierra de Jucuarán, con anchura de hasta 15 km, ver figura 3-9. Tierra adentro, hacia el Norte, la llanura se extiende hasta el pie de monte de la parte Oriental de la Sierra El Bálsamo, el volcán San Vicente, y al Este del Río Lempa, la Sierra Tecapa-Chinameca-San Miguel. El límite suele ser marcado por un acantilado de 20 m a 50 m de alto. Morfológicamente, resulta una división paralela a la costa y otra transversal a esta, desde el pie de monte hasta el borde del manglar de los esteros, con la planicie de Aluvión, pendiente uniforme, y en la costa propia, el paisaje de estero y manglar al nivel del mar. El límite entre ambos, es bien marcado por un escalón, y bien visible durante todo el año, por el colorido verde oscuro del manglar. Según su origen aluvial y la firme consistencia del suelo, la planicie costera forma parte de la tierra firme<sup>132</sup>.



Figura 3-9: Mapa morfológico sinóptico de la gran planicie costera Central de El Salvador<sup>133</sup>.

<sup>132</sup> Geografía de El Salvador, página 162.

<sup>133</sup> *Ibidem*, página 163.



3.1.2.2.1 Las costas llanas de la zona Central. Se describen como sigue:

- a) Sección Occidental. Paisaje 3, ver anexo A3-5<sup>134</sup>. En la cuenca del Río Comalapa, se distinguen tres levantamientos parciales, los cuales pertenecen al área de transición hacia la planicie costera, 20 km más al Oeste, en la hacienda San Diego. Al pie de la Sierra El Bálsamo, se extiende una ladera con subsuelo de arena, hasta 30 m de profundidad, continuada con roca volcánica cementada, tobas y rocalla, formada por procesos marinos o fluviales.
- b) Sección Central Río Lempa. Paisaje 4, ver anexo A3-5<sup>135</sup>. La región central de la planicie de aluvión, empieza cerca de San Marcos Lempa, donde se encontraba originalmente la desembocadura primitiva del Río Lempa, después de haber atravesado entre los volcanes San Vicente y Tecapa, un sistema montañoso más antiguo de la Sierra El Bálsamo, de la era del Mioceno-Plioceno hace unos 5 millones de años. Las condiciones edáficas en el delta varían mucho, de sedimentos arenosos a zonas de depósitos muy finos, formado áreas con subsuelo impermeable, donde en la estación lluviosa se forman lagunas de poca profundidad, por ejemplo, Laguneta, El Matazano, El Cajón. La zona al Sur del caserío Las Mesitas, sobre la ribera Oriental del Río Lempa, consta de numerosos micropaisajes de secanos, manglares y canales.
- c) Sección Oriental, paisaje 5, ver anexo A3-5<sup>136</sup>. La franja Oriental de la planicie incluye la parte Sur del pie de monte de los volcanes. Los ríos tributarios del Río Grande de San Miguel o del Estero de Jiquilisco, se han cortado hasta 15 m en los materiales volcánicos, flujos de Aluvión, disectados en forma de V con laterales convexos. En la estación seca, sus lechos suelen ser usados como caminos rurales.

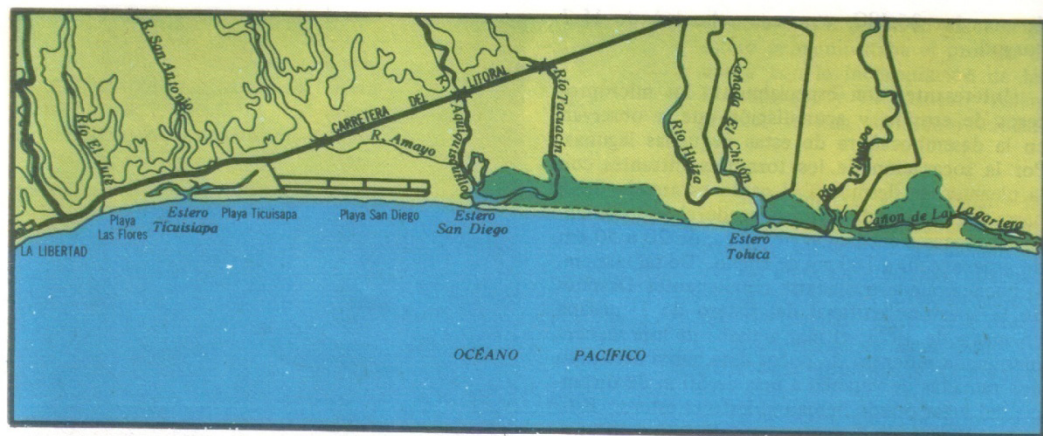
---

<sup>134</sup> Geografía de El Salvador, página 162.

<sup>135</sup> *Ibidem*, página 164.

<sup>136</sup> *Ibidem*.

d) Costa llana y esteros entre el Río El Jute y el Río Jiboa. Paisaje 14, ver anexo A3-5<sup>137</sup>. Esta sección de la costa, de 33 km de largo, se caracteriza por varios pequeños esteros, numerosos cambios de las sietas desembocaduras crean continuamente nuevas condiciones, ver figura 3-10.



PARTE I LA LIBERTAD – CAÑON DE LA LAGARTERA



PARTE II CAÑON DE LA LAGARTERA – RÍO JIBOA

Figura 3-10: Costa llana y esteros al Oeste del Río Jiboa; mapa base del Instituto Geográfico Nacional<sup>138</sup>.

<sup>137</sup> Geografía de El Salvador, páginas 164 y 165.

<sup>138</sup> Ibidem, página 165.

Debido al transporte de arena en las desembocaduras, donde empieza la formación del cordón costero que causa la separación de lagunas de poca profundidad un kilómetro de largo o más y hasta 50 m a 100 m de ancho. Los esteros Toluca, La Bocanitas y Limpio, están unidos por medio de canales angostos orientados paralelamente a la costa y juntos forman una vía acuática de 8 km de largo. Los micro procesos de erosión y acumulación que se observan en la desembocadura de estas pequeñas lagunas, por socavación de los torrentes entrantes con la pleamar, que se desmonta de la línea de costa, de 1 m a 2 m de alto, han provocado deslizamientos o avalanchas de arenas, de 20 cm a 50 cm de grueso y 50 cm a 100 cm de ancho.

- e) Desembocadura del Río Jiboa. Paisaje 15, ver anexo A3-5<sup>139</sup>. El Río Jiboa, drena por medio de su tributario, el Río Desagüe, el Lago Ilopango y transporta hacia el mar los sedimentos de toba de pómez, típicas de esta cuenca lacustre, su curso inferior y su desembocadura, son tan cambiantes de posición, que todavía continúan haciéndolo, igual que el Río Lempa, y el Río Jiboa, demuestra en su curso inferior numerosos meandros de desembocadura, notando que los lechos del río, actual y anterior, se dejan agrupar en varias líneas, más o menos paralela a la costa, 2 km entre si.
- f) El gran Estero de Jaltepeque. Paisaje 16, ver anexo A3-5<sup>140</sup>. Tiene 20 km de largo, se encuentran entre el Río Jiboa y el Río Lempa, su anchura varía entre 400 m y 1200 m, sus profundidades oscilan entre 1.5 m y 5 m, más al Oriente de la playa Los Blancos, es menos profundo.

Este paisaje costero, en su definición más restringida, incluye la lengua de tierra, la laguna y el sistema de canales con las zonas anfílicas del manglar y

---

<sup>139</sup> Geografía de El Salvador, página 166.

<sup>140</sup> *Ibidem*, página 167.

marismas que en la parte Occidental su anchura es de 1 km, aumentando hasta 6 km en la parte Oriental (ver figura 3-11).

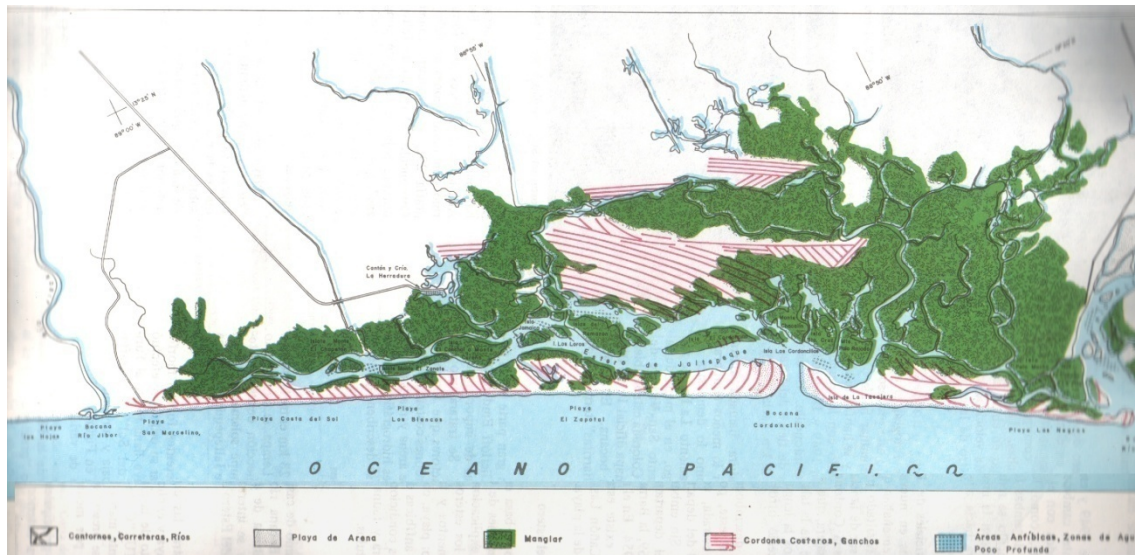


Figura 3-11: Mapa físico del Estero de Jaltepeque y la zona costera entre los Ríos Jiboa y Lempa<sup>141</sup>.

f1) Morfología del Estero Jaltepeque<sup>142</sup>. El paisaje del estero está formado por playa, cordones costeros, lengua de tierra, zonas anfíbias de arena y marisma con los manglares, condiciones hidrográficas y sedimentos. Estos se describen como sigue:

f1.1) La playa. Sobre un tramo de casi 28 km, entre la Bocana Río Jiboa y Bocana Río Lempa, han formado una playa rectilínea de dirección Oeste-Noreste-Este-Sureste, que se interrumpe sólo por la desembocadura del Estero de Jaltepeque, la Bocana Cordoncillo. El declive de la playa varía según el material del cual se construye, lo más fino es la arena, y lo más llano es la playa, se estima pendiente

<sup>141</sup> Geografía de El Salvador, página 169.

<sup>142</sup> Ibidem, página 170.

de 2° para una playa arenosa que consta de granos de 0.12 mm. Las playas salvadoreñas, en su mayoría son llanas, con granos de arena de diámetro de 0.1 mm a 0.3 mm que correspondería a pendientes de 2° a 6°, esto, también aplica para las ensenadas y playas de la costa acantilada de El Bálsamo y Jucuarán, donde la arena suele ser oscura, de Magnetita y Hornblenda. Las playas empinadas se construyen con fracciones de 0.25 mm a 0.5 mm de diámetro.

f1.2) Cordones costeros<sup>143</sup>. La formación de los cordones costeros es lenta y continua durante las pleamares vivas. Los ríos costeros, suministran el material de construcción para el Estero de Jaltepeque, el Río Jiboa y el Río Lempa y la corriente costera longitudinal, originada por la resaca, transporta el material de arena fina hacia la playa superior, sus modificaciones secundarias, ocurren por el afirmamiento de los cordones, efectos eólicos como pequeñas dunas y disipación, el escurrimiento por las lluvias y la población de estas zonas.

f1.3) Lengua de tierra<sup>144</sup>. Separa el estero del mar. En su extremo Occidental tiene una anchura de 400 m y se ensancha hacia el Este, en la hacienda Santa Teresita, hasta 1200 m, se eleva hasta la corona de los cordones costeros, entre 2 m y 4 m, consiste en tres franjas: la playa, el núcleo formado por los cordones y la franja de fango y manglar. La franja Central, consiste en una agrupación de cordones que no siempre van paralelos a la costa, entre las playas San Marcelino y Los Blancos, atravesando con rumbo Noroeste-Sureste. Esta franja, superficialmente está canalizada con relieve suave. La composición del suelo es la misma que en la playa. En el subsuelo arenoso, se acumula el agua lluvia en forma de lentes de

---

<sup>143</sup> Geografía de El Salvador, página 174.

<sup>144</sup> *Ibidem*.

agua dulce. La franja interior, la ribera del estero, está llena de sinuosidades por el fuerte engranaje entre el núcleo arenoso y la franja de fango. En la zona de la punta de la lengua de tierra, se observan las diferentes fases de su construcción. Cerca del caserío El Zapote, 2 km a 3 km de la punta, unos, 15 cordones costeros cruzan en forma de ganchos transversales la lengua de tierra firme.

- fl.4) El manglar<sup>145</sup>. Este sitio cubre grandes áreas, en los esteros, y todos los paisajes costeros del país, se desarrolla solamente en las zonas tropicales, en el área anfílica de los esteros y lagunas pequeñas, principalmente sobre fango blando de granulación fina aluvial, rica en materia orgánica.
- g) Desembocadura del Río Lempa. Paisaje 17, ver anexo A3-5<sup>146</sup>. El Río Lempa con su zona de estuario, construye una sección costera de 10 km de largo, ubicada entre ambos esteros grandes, es el principal suministrante de sedimentos para la zona Central de la costa de El Salvador.
- h) Estero de Jiquilisco. Paisaje 18, ver anexo A3-5<sup>147</sup>. Comparado con el Estero de Jaltepeque, el de Jiquilisco es muy grande, ocupa una área costera entre el Río Lempa y la Sierra de Jucuarán unos 400 km<sup>2</sup>, con longitud de costa de 55 km hasta La Bocanita del Estero El Espino (ver figura 3-12).

---

<sup>145</sup> Geografía de El Salvador, página 176.

<sup>146</sup> *Ibidem*, página 179.

<sup>147</sup> *Ibidem*, página 184.





Figura 3-12: Mapa físico de la parte Oriental del Estero de Jiquilisco hasta la Bocanita del Estero El Espino<sup>148</sup>.

### 3.1.2.3 Faja Oriental del borde costero salvadoreño.

3.1.2.3.1 Las Costas llanas de la zona Oriental bordera salvadoreña, Se describe como sigue:

- a) Costa de laguna entre El Cuco y El Tamarindo. Paisaje 6, ver anexo A3-5<sup>149</sup>. Esta angosta franja costera de 24 km de largo, transcurre de Oeste a Este, entre la orilla del mar y las pendientes escarpadas de la Sierra de Jucuarán, lo angosto, de la planicie, empieza al Poniente de El Cuco y se ensancha hacia el Este, paulatinamente, 2 km a 4 km, hasta el Estero El Encantado. En su playa ancha de arena, atrás, se formaron varias lagunas y canales que se comunican con el mar, a través de tres desembocaduras, ver figura 3-13. La construcción de esta planicie hacia el mar, ha sido lenta, debido al poco suministro de sedimentos por algunos ríos

<sup>148</sup> Geografía de El Salvador, página 186.

<sup>149</sup> *Ibidem*, páginas 191 y 192.

estacionales. Algunos antiguos cordones costeros se localizan de 0.5 km a un kilómetro tierra adentro, cerca del esterito de Ingle y dentro del manglar del Estero El Encantado. Al Norte y Este del Estero El Encantado, se elevan varias colinas, alcanzando 68 m en El Cerrito Canoguero, 2.5 km al Noreste de la playa Las Tunas, son estribaciones de la sierra, ubicadas más al Norte, que forman varios cabos en la playa que va hacia el Este, hasta los cabos Punta Amapala y Punta Las Mueludas, que presentan el extremo Oriental de la propia costa pacífica del país. Entre el Estero El Encantado y los Cabos Rocosos, se encontraba originalmente una ensenada que disminuye sucesivamente por medio de manglares y marismas, que finalmente se transforman en tierra firme.



a) Desde Punta Toro de Oro hasta finales de Bahía de Jiquilisco.





(b) Desde playa El Espino hasta playa El Tamarindo.

Figura 3-13: Costa Oriental de El Salvador entre la Punta Toro de Oro y la playa El Tamarindo<sup>150</sup>.

b) Costa llana de la Bahía de La Unión. Paisaje 19, ver anexo A3-5<sup>151</sup>. La mayor parte de la costa de esta bahía, está rodeada de extensas regiones anfílicas de canales, manglares y áreas arenosas sin vegetación. Es un trecho ribereño de unos 24 km de largo y entre 5 km a 7 km de ancho, en los deltas de los ríos Goascorán y Siramá o Amatillo en el Norte, y de 1 km a 2 km en el Noroeste, donde desembocan algunos riachuelos. Se ha formado, debido a acumulación de sedimentos fluviales por las fuerzas morfológicas, condicionadas por la amplitud tidal. Ya no se observa la mar de leva ni una resaca que evitará la formación de manglares directamente en la costa libre de la bahía. Frente a la orilla de los deltas, se encuentran extensas áreas de marisma, que en su mayoría constan de fango arenoso, de hasta un metro de profundidad, dentro de esta zona hay varias franjas sólidas de bancos de conchas, ver figura 3-14.

<sup>150</sup> Geografía de El Salvador, página 192.

<sup>151</sup> *Ibidem*, página 193.



Figura 3-14: Parte Poniente del Golfo de Fonseca con la topografía del fondo submarino del Golfo<sup>152</sup>.

<sup>152</sup> Geografía de El Salvador, página 194.

c) Las costas montañosas de la zona Oriental se dividen como sigue:

c1) Sierra de Jucuarán, paisaje 8, ver anexo A3-5<sup>153</sup>. La Sierra de Jucuarán limita la planicie costera Central en el Oriente. Se extiende frente al mar, de Oeste a Este, 35 km, con una anchura de 10 a 15 km, a lo largo de un trecho de 17 km, linda con el mar y forma una costa acantilada. La topografía de la sierra, es de difícil orientación. Las elevaciones más altas se encuentran fuera del borde Norte de la sierra, 9 Km a 11 km de la costa con la mayor altura de 767 m, en la Nariz del Diablo, desde donde va en declive, al Sur, hacia el mar. La sierra está mucho más desplazada que la parte Oriental de la Sierra El Bálsamo. Entre el Estero El Espino y El Cuco, ascienden crestas escarpadas desde el mar, que conducen a varios valles anchos cerrados.

c2) Costa acantilada de Jucuarán, Paisaje 22, ver anexo A3-5<sup>154</sup>. Se localiza entre el Estero El Espino y la playa El Cuco, se distingue considerablemente de la Sierra El Bálsamo. La costa rocosa de Jucuarán termina en el poniente con un cabo de roca, 500 m al Noroeste de la Punta El Amatillo.

c3) Golfo de Fonseca<sup>155</sup>. Es una profunda entrada del Océano Pacífico, en el Istmo de América Central, su costa Occidental pertenece a El Salvador, la entrada Sureste a Nicaragua y las orillas del interior central a Honduras. Los paisajes en este lugar se describen como sigue:

---

<sup>153</sup> Geografía de El Salvador, páginas 200 y 201.

<sup>154</sup> *Ibidem*, páginas 201 y 202.

<sup>155</sup> *Ibidem*, página 202.

- Volcán Conchagua. Paisaje 9, ver anexo A3-5<sup>156</sup>. Este prominente volcán es visible desde lejos y sirve de marca de navegación para facilitar a los marinos la entrada en el Golfo.
- Islas del Golfo de Fonseca. Paisaje 10, ver anexo A3-5<sup>157</sup>. Todas son de origen volcánico, la isla Zacatillo se localiza sobre la línea de prolongación de las cimas del Volcán Conchagua y pertenece a la misma formación Cuscatlán. Otras islas son, Conchagüita, Meanguera, Martín Pérez.
- Costa del volcán Conchagua. Paisaje 23, ver anexo A3-5<sup>158</sup>. Alrededor, del volcán, se forman en su pie, una costa acantilada de 20 Km de largo, desde la ciudad, La Unión, en el Norte, sobre la Punta El Chiquirín en el Este, y sobre el acantilado hasta el Cerro Tamarindo. La costa entre la ciudad La Unión y la península El Chiquirín, que forma el extremo Sur de la Bahía La Unión, es una zona transitoria entre la costa llana más al Este y la costa rocosa o acantilada del volcán, donde se encuentran playas de arena, a veces también de fango, separadas por salientes de lava y ceniza, con altos acantilados de bloques de roca, rocalla y material desagregado echado delante.
- Costas acantiladas de las islas del Golfo. Paisaje 24, ver anexo A3-5<sup>159</sup>. La isla salvadoreña más grande del Golfo de Fonseca, es la isla Meanguera, con área de unos 16 km<sup>2</sup>. En sus lados Norte y Oeste las pendientes cubiertas de bosques descienden oblicuamente hacia el agua, hasta la marca de la pleamar, cuyos bloques rocosos negros, algo redondeados, forman la playa. La costa poniente consta de varios acantilados, con formas cóncavas, cabos redondos en forma de roca, cuevas y cavernas encima de la marca de la pleamar.

---

<sup>156</sup> Geografía de El Salvador, página 202.

<sup>157</sup> *Ibidem*, página 203.

<sup>158</sup> *Ibidem*, página 204.

<sup>159</sup> *Ibidem*, página 205.

- Paisaje marino en el Golfo de Fonseca. Paisaje 25, ver anexo A3-5<sup>160</sup>. El fenómeno hidrográfico más interesante de la parte Poniente del Golfo de Fonseca, es el canal que se conduce con varias sinuosidades, desde el Estero La Manzanilla, hacia el Sur, pasando delante de los puertos La Unión y Cutuco, a través del estrecho entre la Punta El Chiquirín y la isla Zacatillo, hacia aguas más profundas entre el volcán Conchagua y la isla Conchaguita. Durante la bajamar, a través de este canal, hondonado por la corriente de la bajamar, se vacían las masas de agua en las grandes áreas anfílicas y en la bahía La Unión.

#### 3.1.2.3.2 Descripción de los paisajes costeros de El Salvador respecto a su geografía física.

El desarrollo del paisaje costero del territorio salvadoreño, es la expresión de un aporte de la morfología Centroamericana o Mesoamericana, se extiende con anchura de 20 km a 30 Km, paralelamente a la línea de la playa, encuentra su deslindamiento al pie de la cadena Neovolcánica principal<sup>161</sup>. También pertenece al área costera, la zona marítima de la plataforma continental que tiene 70 Km a 80 Km de ancho y termina a la profundidad de 150 m, zona desde la cual comienza con un declive de 3° a 5°. El talud continental hacia la Fosa de Guatemala, 130 Km al Sur de la costa salvadoreña, su profundidad es mayor que 5400 m y se extiende desde México hasta Nicaragua. En el borde de la Fosa Marina de Guatemala, se sabe que ocurre gran frecuencia sísmica<sup>162</sup>. Las sierras costeras El Bálsamo y Jucuarán, limitan una gran planicie costera Occidental y una gran planicie costera Central, ambas se constituyen, por lo general, de material volcánico, en parte, depositado fluvialmente. Ambas ascienden hacia el interior, del territorio con pendiente de 3 m por kilómetro. La

---

<sup>160</sup> Geografía de El Salvador, página 205.

<sup>161</sup> EMDEN, Gierloff. La Costa de El Salvador. Monografía Morfológica-Oceanográfica, página 65.

<sup>162</sup> *Ibidem*, página 189.

planicie Occidental se divide en dos secciones. Su límite conduce desde la ensenada de Acajutla hacia el Noreste. La parte Occidental, entre el Río Paz y el Río Grande de Sonsonate, está cortada por una docena de ríos costeros cortos que fluyen hacia el Sur. Una serie de esteros pequeños y algunos más grandes (lagunas) forman aquí la franja angosta del propio paisaje costero. Los ríos se han entallado y sus cauces tienen riberas escarpadas. Las franjas de tierra entre los ríos tienen anchura media de 2 Km a 5 Km, y son llanas hasta 10 Km tierra adentro. Después, sobresalen pequeños grupos de colinas chatas, de pequeña altura, que se formaron por erosión. La línea de unión de sus cimas más altas, asciende paulatinamente hasta el área al pie del grupo occidental de volcanes y las crestas montañosas de Tacuba-Apaneca, indicando así, la primitiva superficie de Aluvión de la planicie. Las crestas montañosas y los volcanes, limitan esta parte de la planicie costera hacia el Norte. La planicie al Este del Río Grande de Sonsonete, forma, hasta la ensenada de Acajutla, un acantilado que alcanza 10 m de alto. Hacia el Este, se une con la costa acantilada de la Sierra El Bálsamo, con 45 Km de longitud. Al Este de La Libertad, comienza al pie del borde de la Sierra El Bálsamo, que dobla hacia el Noreste, la costa llana de más de 115 Km de largo de la sección costera Central, cuyo límite Oriental es la Sierra de Jucuarán. Tierra adentro, se extiende la gran planicie costera a ambos lados del Río Lempa, que está limitada al Norte por la parte Oriental de la Sierra El Bálsamo y las áreas al pie de los Volcanes San Vicente, Taburete, Usulután y San Miguel. Esta sección costera, tiene playas de arena. En su sección Occidental, se encuentran varias pequeñas lagunas. Por ambos lados del Río Lempa, se localizan los dos grandes estuarios tidales, en el Oeste, el Estero de Jaltepeque y en el Este el Estero de Jiquilisco. Las lagunas de 15 Km a 35 Km de largo, respectivamente, están ubicadas con sus áreas de agua, islas y el mundo anfibio de los manglares, atrás de las grandes lenguas de arena, llanas. El Río Lempa, tiene comunicaciones canaliformes con el Estero de Jaltepeque, en el Occidente, así mismo, el Río Grande de San Miguel, que está conectado



con su desembocadura al Estero de Jiquilisco. El Estero El Espino, es la laguna más al Este de esa parte Central de la costa llana, y llega inmediatamente hasta al pie de la Sierra de Jucuarán. Esta sierra forma una costa acantilada de 25 Km de largo. El borde Oriental de la sierra, está conectado con una pequeña llanura costera que sobre 12 Km de largo, forma una costa llana con pequeñas lagunas. Hacia el Este, se convierte en la costa de Amapala, acantilada y muy baja, que con su cabo Punta Amapala, forma el punto Oriental de la costa pacífica de El Salvador. Punta Amapala, es la esquina Occidental de la entrada al Golfo de Fonseca, cuya longitud es la más grande, de 70 Km y un fondo máximo de 50 Km, entra profundamente como parte del Océano Pacífico en la tierra costera centroamericana. En este, participan tres países, El Salvador, Honduras y Nicaragua. En esa zona, el río más grande es el Río Goascorán, como río limítrofe. Este forma en su gran delta, un extenso paisaje de manglares, en la parte boreal trasera del Golfo. Los dos grandes volcanes, Cosigüina en el Este, en Nicaragua, y Conchagua, en el Occidente, se encuentran frente a frente como pilares de esquina de la entrada al Golfo. La costa, en la parte Occidental salvadoreña del Golfo, se formó como costa acantilada al pie del Volcán Conchagua y como costa llana al Norte y al Sur. Una serie de islas, entre estas tres de mayor extensión (Meanguera, Conchagüita y Zacatillo) de origen volcánico, pertenecen a El Salvador, en esta parte Occidental del Golfo de Fonseca. En el Anexo A3-5 se muestran los diferentes paisajes costeros descritos para toda la costa de El Salvador. Por lo tanto, los tipos de costa que forman la morfología de la costa salvadoreña son costas llanas y costas acantiladas. La costa llana, siempre tiene playas de arena con lenguas y lagunas. Los manglares no forman límites con el océano, sino que se encuentran únicamente atrás de las lenguas de tierra, en el Golfo de Fonseca. Las costas acantiladas, se forman en grandes partes directamente de las sierras, en trechos más pequeños de llanuras más altas con declive abrupto, y en el Volcán de

Conchagua, como costa acantilada al pie del volcán. Las islas, en su mayoría, tienen orillas abruptas<sup>163</sup>.

### 3.1.3 Estudio detallado de la línea bordera en la costa del litoral salvadoreño.

#### 3.1.3.1 Morfología.

De acuerdo con la descripción paisajística del país, su morfología predominante en los puntos de estudio para la medición de energía que generan las olas que llegan a la borda costera con la resaca marina, son costas acantiladas de 10 m a 50 m de alto, las cuales pertenecen a la base de la Sierra El Bálsamo, con cantiles, terrazas de playa y ensenadas, ver fotografías 2-5 a 2-8. Estas geoformas, comunes en estas orillas, están conformadas por un relieve marino y una topografía que va de acuerdo con la composición geológica y geomorfologías propias del ambiente terráqueo Occidental de la línea del Cinturón de Fuego, que circundan los bordes limítrofes del Océano Pacífico y el Continente Americano.



Fotografía 3-5: Punto número uno, Kilómetro 51 sobre la carretera El Litoral (restaurante Café La Iguana) departamento La Libertad, donde se visualiza la terraza rocosa del cantil, y al fondo una pequeña ensenada de playa<sup>164</sup>.

---

<sup>163</sup> EMDEN, Gierloff. La Costa de El Salvador. Monografía Morfológica-Oceanográfica, páginas 67 y 69.

<sup>164</sup> Fotografía tomada en la costa de El Salvador, por el grupo de trabajo el 21 de mayo de 2006.





Fotografía 3-6: Punto número dos, Kilómetro 56 sobre la carretera El Litoral (antes del primer túnel) departamento La Libertad, donde se visualiza el cantil con su respectiva plataforma rocosa donde rompen las olas<sup>165</sup>.



Fotografía 3-7: Punto número tres, Kilómetro 63 sobre la carretera El Litoral, departamento La Libertad, donde se visualiza la terraza rocosa del cantil, y al fondo una pequeña ensenada de playa de arena y al otro extremo existen acantilados rocosos<sup>166</sup>.

---

<sup>165</sup> Fotografía aérea tomada en la costa de El Salvador, por Secretaría de Comunicaciones UES el 21 de abril de 2006.

<sup>166</sup> Fotografía tomada en la costa de El Salvador, por el grupo de trabajo, el 11 de junio de 2006.



Fotografía 3-8: Punto número cuatro, Kilómetro 87.5 sobre la carretera El Litoral (cerca de la playa Sta. María Mizata) departamento La Libertad, donde se visualiza el acantilado, en el que a ambos lados de este existen planicies costeras<sup>167</sup>.

El relieve costero salvadoreño, actual, es producto de los movimientos orogénicos, así como de la actividad volcánica durante su historia geológica del área centroamericana, ver anexo A3-6. Estos procesos geodinámicos naturales, han dado origen a la diversidad de unidades geomorfológicas del país. Alrededor de 13 % del total del territorio, está conformado por planicies costeras, 49 % por áreas montañosas, y 38 % consiste en zonas de relieve bajos, pequeñas lomas y valles<sup>168</sup>.

La cadena costera, tiene un conjunto de alineaciones montañosas de origen volcánico, paralelas al litoral, separadas por planicies aluviales, drenadas por importantes cursos fluviales perennes, y temporales, ver fotografía 3-9. Los materiales asociados a esta cadena, son Piroclastos, con coladas de lavas intercaladas, de composición Andesítica – Basáltica, predominando las Epiclastitas volcánicas, pertenecientes a la formación El Bálsamo. Sobreyacen a estos

---

<sup>167</sup> Fotografía tomada en la costa de El Salvador, por el grupo de trabajo, el 13 de julio de 2006.

<sup>168</sup> SNET. Balance Hídrico Integrado y Dinámico en El Salvador, página 23.

materiales, en menor extensión, Piroclastitas ácidas e Ignimbritas de la Formación Cuscatlán y de la Formación San Salvador<sup>169</sup>.



Fotografía 3-9: Relieve de la cadena costera de la Sierra El Bálsamo, en la que se observan un conjunto de alineaciones montañosas de origen volcánico<sup>170</sup>.

3.1.3.2 Topografía local en ladera bordera continental oceánica para medición del oleaje marino.

Basados en un estudio de recorrido a lo largo del borde playero marino continental, en esta faja, se procedió a hacer reconocimientos en ladera y borde continental e incidencia del oleaje para la elección de cuatro puntos de interés, estos varían en su topografía local, desde ligeramente ondulada hasta áreas montañosas muy accidentadas y de fuertes pendientes, ver fotografías 2-10 a 2-13.

---

<sup>169</sup> SNET. Balance Hídrico Integrado y Dinámico en El Salvador, página 23.

<sup>170</sup> Fotografía aérea tomada en la costa de El Salvador, por Secretaría de Comunicaciones UES, el 21 de abril de 2006.





Fotografía 3-10: Acercamiento en el punto número uno<sup>171</sup>.



Fotografía 3-11: Acercamiento en el punto número dos<sup>172</sup>.

---

<sup>171</sup> Fotografía tomada en la costa de El Salvador, por el grupo de trabajo, el 21 de mayo de 2006.

<sup>172</sup> Fotografía tomada en la costa de El Salvador, por el grupo de trabajo, el 28 de mayo de 2006.



Fotografía 3-12: Acercamiento en el punto número tres<sup>173</sup>.



Fotografía 3-13: Acercamiento en el punto número cuatro<sup>174</sup>.

---

<sup>173</sup> Fotografía tomada en la costa de El Salvador, por el grupo de trabajo, el 11 de junio de 2006.

<sup>174</sup> Fotografía tomada en la costa de El Salvador, por el grupo de trabajo, el 13 de julio de 2006.

### 3.1.3.3 Geología.

La geología de El Salvador, es muy joven. Una cuarta parte del territorio nacional es de la Edad Pleistocénica, hace unos 8 mil años a 130 mil años, y tres cuartas partes están cubiertas por rocas de la Edad Terciaria, predominando la época Pliocénica, hace 65 millones de años a 1,6 millones de años. Por eso, las capas de Edad Cretácica, de hace unos 146 millones de años, hasta el inicio de la época del Paleoceno del Período Terciario, 65 Millones de años, que cubren aproximadamente 5% del territorio salvadoreño, se considera en términos generales, que no juegan un papel importante para la constitución geológica del total del país. Sólo estas últimas capas son de origen sedimentario marino, todas las demás rocas, con pocas excepciones, están originadas por fenómenos volcánicos. En otros lugares, por ejemplo en el departamento de Chalatenango, se conocen, además, rocas intrusivas que pertenecen a la época Miocénica, es decir, también son Terciarias<sup>175</sup>.

Los puntos de interés, que se encuentran en la zona costera de la cordillera El Bálsamo, están clasificados, geológicamente, como zonas de Aluviones, localmente con intercalaciones de Piroclastitas y zonas de Epiclastitas volcánicas, Piroclastitas, corrientes de lavas intercaladas, ver figura 3-15.



Figura 3-15: Clasificación geológica de la zona costera de la Sierra El Bálsamo<sup>176</sup>.

<sup>175</sup> <http://www.snet.gob.sv>.

<sup>176</sup> *Ibíd.*

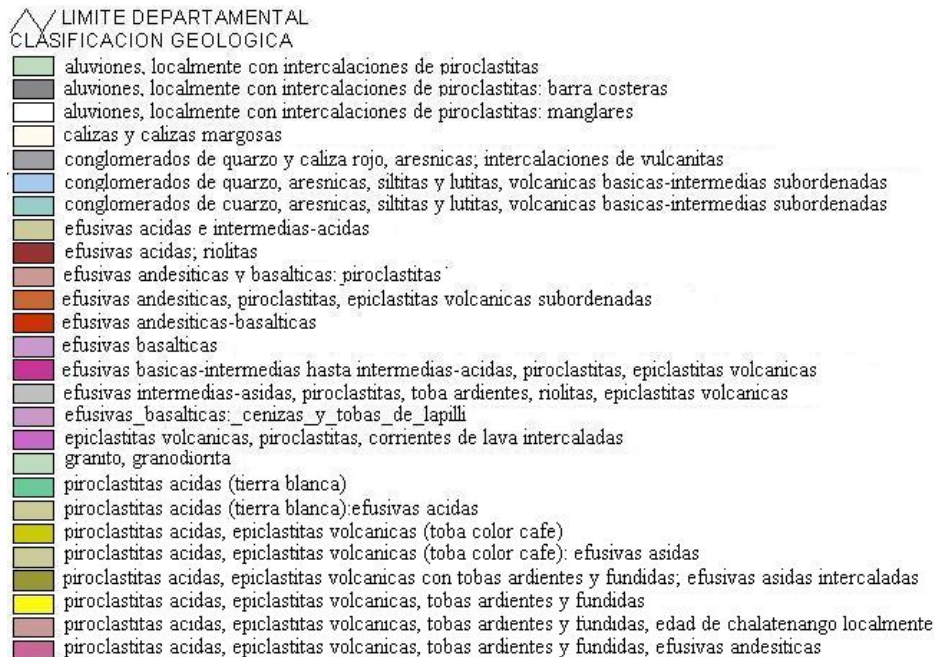


Figura 3-15: Leyenda descriptiva del mapeo.

### 3.1.3.3.1 Ambientes geológicos costeros.

Comúnmente, hay, dos tipos de costa, costas llanas, que siempre tienen playas de arena con lenguas y lagunas, formándose detrás de estas lenguas, donde atrás de ellas, se forman los manglares. También, costas acantiladas, formadas directamente en las sierras. En El Salvador se reconocen dos sierras costeras, la Sierra El Bálsamo y la Sierra Jucuarán<sup>177</sup>. En la Sierra El Bálsamo, se han formado costas con numerosos cantiles, estos están orientados hacia el mar, con longitud de 400 m a 1000 m, en laderas a pique, se notan alturas más frecuentes de 7 m a 12 m, siendo las más altas de 25 m, llamadas por esto, orillas acantiladas<sup>178</sup>, generalmente la forma de estas laderas terminan en lomas o cortes verticales, ver fotografía 3-14. La superficie de las espuelas asciende

<sup>177</sup> EMDEN, Gierloff. La Costa de El Salvador. Monografía Morfológica-Oceanográfica, página 69.

<sup>178</sup> Ibidem, página 81.



normalmente con un declive de 15° a 23°, por lo general, la superficie se ve cubierta por algún tipo de vegetación, algún tipo de gramíneas, arbustos espinosos o arbolados. En el cantil, tiende a adquirir un color rojizo, rojo – café, gris o rojo – azul, ver fotografía 3-14, dependiendo este, de la calidad de las rocas, influencia, tipo de ambiente y su historicidad, van cambiando en cada lugar. La estructura de las laderas, consiste en material estratificado, de espesor variable, formado por lavas, conglomerados enmasillados, tobas pómez, brechas de tobas, tobas conglomeradas y cenizas endurecidas, todavía en proceso de estabilización.

Los acantilados están formados por lavas espesas que regularmente se ven libres de vegetación, su pendiente en declive es de 30° a 40° hacia el mar. En muchos lugares se encuentran frente al cantil, una terraza de playa rocosa, observándose formas cóncavas de erosión, ver fotografía 3-15.



Fotografía 3-14: Forma de algunos acantilados de la Sierra El Bálsamo<sup>179</sup>.

---

<sup>179</sup> Fotografía tomada en la costa de El Salvador, por el grupo de investigación, el 12 de abril de 2006.





Fotografía 3-15: Terraza rocosa frente al cantil, kilómetro 51 sobre la carretera El Litoral departamento La Libertad<sup>180</sup>.

#### 3.1.3.3.2 Rocas.

La geología salvadoreña esta referida a la Era Secundaria, empezó hace 245 millones de años a 65 millones de años, entre el Período Cretácico Medio y el Cretácico Superior<sup>181</sup>. La secuencia estratigráfica en América Central, se resume de la siguiente manera<sup>182</sup>:

- Rocas volcánicas intrusivas del Terciario y del Cuaternario, de hace 1.8 millones de años atrás, hasta el presente.
- Rocas sedimentarias del Terciario, de hace unos 65 millones de años hasta 1.8 millones de años.
- Sedimentos Mesozoicos, especialmente rocas carbonáticas del Cretácico, de hace unos 245 millones de años a 65 millones de años.

---

<sup>180</sup> Fotografía tomada en la costa de El Salvador, por el grupo de trabajo, el 21 de mayo de 2006.

<sup>181</sup> Geografía de El Salvador, página 32.

<sup>182</sup> *Ibidem*.

- Rocas sedimentarias del Paleozoico Superior, de hace unos 286 millones de años a 245 millones de años, (Pennsylvánico y Pérmico).
- Rocas metamórficas del Paleozoico Inferior, de hace unos 544 millones de años a 286 millones de años.
- Rocas metamórficas del Precámbrico, de hace unos 4500 millones de años a 544 millones de años.

Desde el punto de vista geológico, en el territorio salvadoreño se distinguen los siguientes tipos de rocas<sup>183</sup>:

- Rocas volcánicas. Estas cubren más del 90% del país, clasificándolas por su composición química y mineralógica, en rocas efusivas Riolíticas y Dacíticas existiendo estas en menor proporción, Andesíticas y Basálticas, y materiales Piroclásticos, muy abundantes.
- Rocas sedimentarias marinas, localizadas en el extremo Noroeste del país, exactamente al Norte de Santa Ana. Estas, en su gran mayoría, se componen de calizas y conglomerados de cuarzos y areniscas.
- Rocas sedimentarias de origen orgánico, se localizan en diferentes partes del país, formando pequeños depósitos de Diatomitas y Lignitos.
- Rocas intrusivas, petrográficamente clasificadas como granitos, granodioritas, monzonitas y dioritas.

El tipo de roca de los cuatro puntos de interés, son de lavas Basálticas y Andesíticas, posiblemente de la época del Pleistoceno, ver fotografías de la 3-16 a 3-19.

---

<sup>183</sup> Geografía de El Salvador, página 39.



Fotografía 3-16a: Punto número uno, Kilómetro 51 sobre la carretera El Litoral<sup>184</sup>.



Fotografía 3-16b: Punto número uno, Kilómetro 51 sobre la carretera El Litoral<sup>185</sup>.

---

<sup>184</sup> Fotografía tomada en la costa de El Salvador, por el grupo de trabajo, el 28 de mayo de 2006.

<sup>185</sup> *Ibidem*.



Fotografía 3-17a: Punto número dos, Kilómetro 56 sobre la carretera El Litoral (antes del primer túnel)<sup>186</sup>.



Fotografía 3-17b. Punto número dos, Kilómetro 56 sobre la carretera El Litoral (antes del primer túnel)<sup>187</sup>.

---

<sup>186</sup> Fotografía tomada en la costa de El Salvador, por el grupo de trabajo, el 28 de mayo de 2006.

<sup>187</sup> *Ibidem*.





Fotografía 3-18a: Punto número tres, Kilómetro 63 sobre la carretera El Litoral<sup>188</sup>.



Fotografía 3-18b. Punto número tres, Kilómetro 63 sobre la carretera El Litoral<sup>189</sup>.

---

<sup>188</sup> Fotografía tomada en la costa de El Salvador, por el grupo de trabajo, el 11 de junio de 2006.

<sup>189</sup> *Ibidem*.



Fotografía 3-19a: Punto número cuatro, Kilómetro 87.5 sobre la carretera El Litoral (cerca de la playa Santa María Mizata)<sup>190</sup>.



Fotografía 3-19b. Punto número cuatro, Kilómetro 87.5 sobre la carretera El Litoral (cerca de la playa Santa María Mizata)<sup>191</sup>.

---

<sup>190</sup> Tomada en la costa de El Salvador, por el grupo de trabajo, el 13 de julio de 2006.

<sup>191</sup> *Ibidem*.

### 3.1.3.3.3 Estructuras geológicas y formaciones geológicas asociadas.

Las montañas costeras de El Salvador, son grupos de montañas paralelas a la costa del mar, que interrumpen, en tramos, a la planicie costera. Estas constan de tres macizos independientes, que de Oeste a Este se identifican con los nombres Apaneca, El Bálsamo y Jucuarán. Las montañas de El Bálsamo y Jucuarán, casi bruscamente emergen del mar, en su lateral Sur, luego en el extremo Este de ambas, se separan un poco del litoral costero. En el lateral Norte, de estas tres montañas, se encuentra el farallón de falla que controla la Fosa Central. La montaña de Jucuarán, al separarse un poco de la línea costera en su extremo Este, hace un giro casi de 90° hacia el Norte, antes de llegar al Estero de Managuara, que forma la península Tamarindo en el Golfo de Fonseca. Al girar este macizo montañoso y al extenderse hacia el Norte, interrumpe en esa sección, la prolongación de la Fosa Central, en su continuidad hacia el Este. Los suelos predominantes de estas montañas costeras son los Latosoles arcillosos rojizos, siendo más profundos los del bloque de Jucuarán, por su predominancia en los estratos inferiores de lavas Basálticas y Andesíticas. En cambio, en la Sierra El Bálsamo, las rocas subyacentes predominantes, son los aglomerados y tobas de más difícil intemperización. El macizo de Apaneca estaría más bien en una situación intermedia, por lo tanto, los suelos arcillo-rojizos de ambos bloques montañosos, son menos profundos que los de Jucuarán. El macizo montañoso de Apaneca, es el menos apreciable de los tres, por estar confundido con la cadena volcánica reciente. Esta montaña costera y la de El Bálsamo, son las que tienen zonas de contacto con el macizo montañoso volcánico, pertenecientes a la cadena volcánica reciente, y, en cuyo contacto, es confusa la identificación de cada uno de ellos. A causa de esta situación, de cercanía, es que en las erupciones de los cráteres volcánicos vecinos a las montañas costeras, se han depositado sobre el relieve de ellos, materiales piroclásticos de diversos tamaños, soterrando los antiguos suelos Latosoles arcillosos rojos. Y eso, ha dado origen, en esas partes, a la formación

de suelos Andosoles y Regosoles de cenizas volcánicas. El contacto de la montaña costera de Apaneca, con el macizo volcánico de Santa Ana, es el más difícil de identificar, ya que ambos corren confundidos en gran trecho<sup>192</sup>, ver anexo A3-7, en el cual, se aprecian las formaciones geológicas asociadas, paralelas a la zona costera de El Salvador.

### 3.1.3.4 Geotectónica influyente en la borda oceánica continental.

#### 3.1.3.4.1 Tectónica regional<sup>193</sup>.

El vulcanismo en América Central, o neo vulcanismo, resulta de la interacción de la triple convergencia de las placas de Norteamérica, la de Cocos y la del Caribe, ver figura 3-16. La placa oceánica de Cocos, se hunde (subduce) por debajo de las placas continentales Norteamericana y del Caribe, contribuyendo a que se forme el arco volcánico, conocido como Cordillera Volcánica Centroamericana, a lo largo de unos 1,500 kilómetros, desde Guatemala hasta Panamá. A escala global, el vulcanismo en esta cordillera, forma parte del denominado Cinturón de Fuego del Pacífico, que abarca todas las costas Occidentales del Continente Americano y las costas Orientales de Asia y Australia, en la periferia de la Cuenca Pacífica, del Océano Pacífico. Los procesos geodinámicos producidos por el fenómeno de subducción de la placa de Cocos en dirección NE bajo la placa del Caribe, se reflejan en la tectónica y la geología estructural del Istmo Centroamericano<sup>194</sup>. La evidencia está, en la concentración de volcanes activos en la región, generando una de las zonas de mayor densidad volcánica en el mundo.

---

<sup>192</sup> Geografía de El Salvador, página 112.

<sup>193</sup> <http://www.snet.gob.sv>.

<sup>194</sup> Butterlin, J. 1977 Geologie structurale de la région des Caraïbes, Mexique, Amérique Centrale, Antilles et Cordillere Caribe.



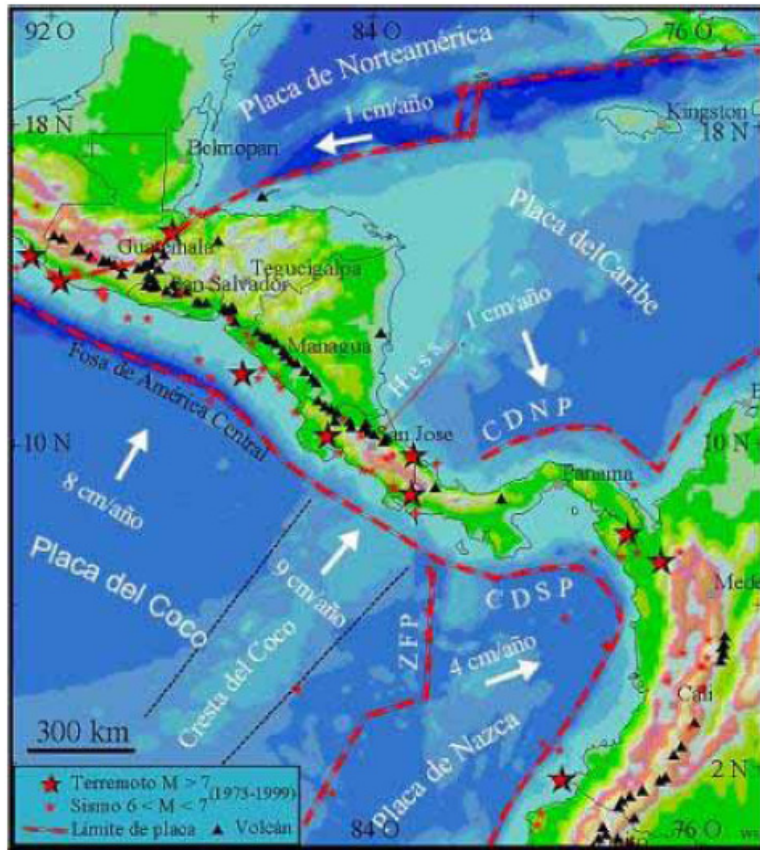


Figura 3-16: Marco Tectónico regional, configuración de las Placas Tectónicas en El Salvador.

#### 3.1.3.4.2 Marco Tectónico en El Salvador<sup>195</sup>.

La estructura tectónica prominente en la región Mesoamericana, la constituye el Graben Central Centroamericano, donde se desarrollan, en la placa continental del Caribe, esfuerzos regionales de compresión en conjunto con esfuerzos distensivos en las partes superiores de la Litosfera, para su existencia, que inició durante el Plioceno y el Pleistoceno, entre los 2 a 9 millones de años. En su paso por El Salvador, esta fosa tectónica tiene un ancho irregular que varía entre 15 Km y 30 Km, ver figura 3-17.

<sup>195</sup> <http://www.snet.gob.sv>.

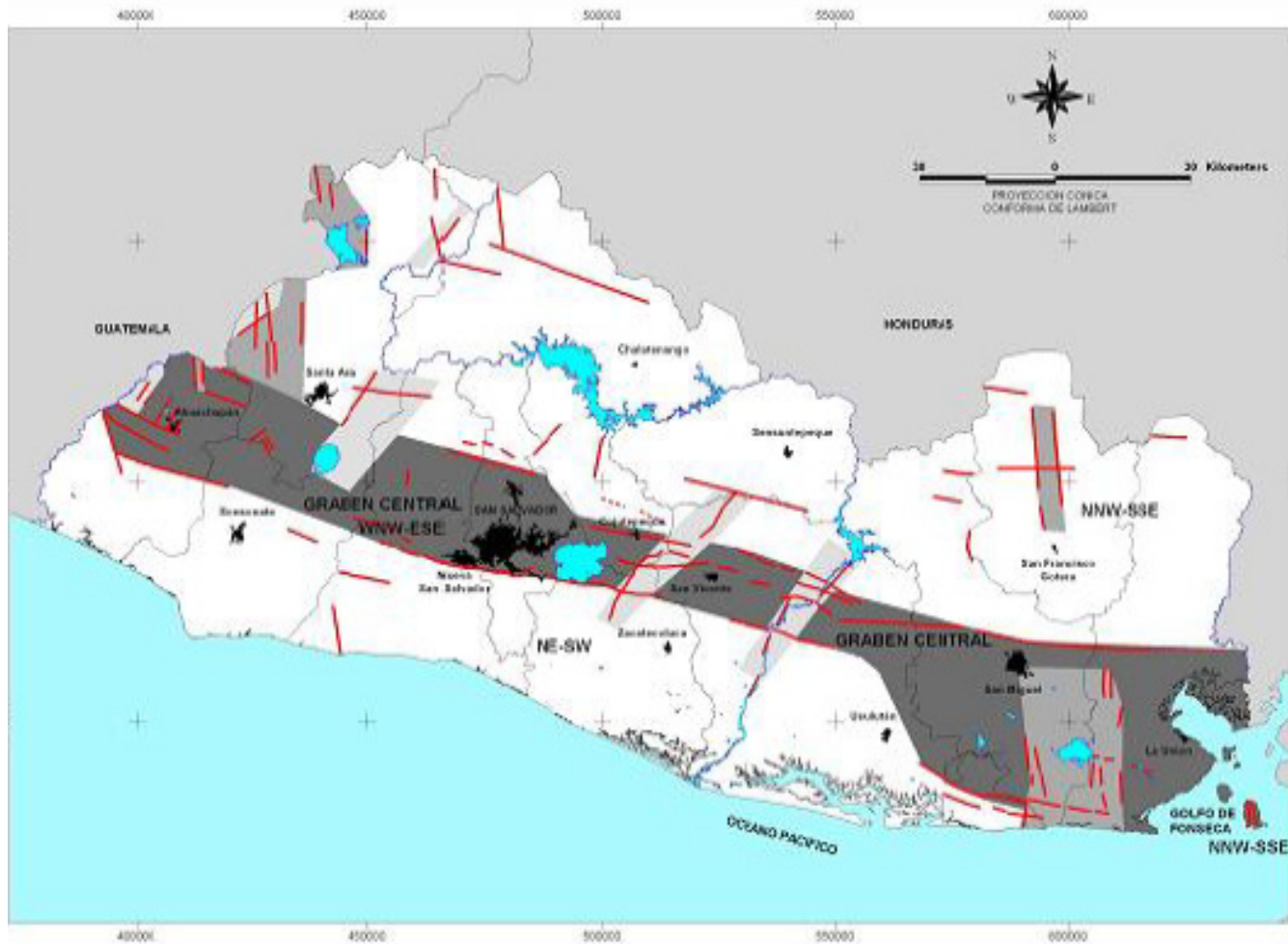


Figura 3-17: Sistemas de fallas asociadas a la formación y evolución del Graben Central en El Salvador.

Dentro de este Graben y con tendencia migratoria hacia el borde Sur del país, se ha desarrollado el vulcanismo Cuaternario salvadoreño o neovulcanismo. Esta estructura tectónica, con rumbo preferencial WNW – ESE, localmente, es conocida como “Fosa Mediana”. El Salvador, está localizado en el cuarto segmento tectónico de Centroamérica, que tiene longitud aproximada de 230 km, la interpretación estructural de este segmento tectónico permite definir tres sistemas o familias de fallas dominantes, a saber<sup>196</sup>:

#### 3.1.3.4.2.1 Sistema de fallas WNW-ESE.

Es el sistema más importante en El Salvador y su rumbo aproximado es N 70° W. Las fallas de este sistema, definen los límites Norte y Sur del Graben Central, donde se ha desarrollado el frente volcánico activo y donde han ocurrido los terremotos más destructivos. Paralelo al Graben, corren una serie de pequeñas fallas con la misma dirección, indicando la existencia de una zona afectada por esfuerzos distensivos (Figura 3-18). Sin embargo, los mecanismos focales y los desplazamientos en algunos drenajes sugieren, que también existen movimientos de strike-slip (transcurrentes).



Figura 3-18: Sistema de fallas en la zona costera de la Sierra El Balsamo<sup>197</sup>.

<sup>196</sup> <http://www.snet.gob.sv>.

<sup>197</sup> *Ibidem*.

#### 3.1.3.4.2.2 Sistema de fallas NNW-SSE.

Numerosas fallas normales al Noreste de El Salvador y la frontera con Guatemala, y depresiones volcano-tectónicas caracterizan este sistema. Los volcanes activos Santa Ana, San Salvador y San Miguel, están atravesados por esas fallas, a lo largo de las cuales se ha desarrollado actividad magmática bien reciente, años 1900 a 2007, por ejemplo, el volcán de San Salvador, lava el 7 junio de 1917, lava y ceniza, volcán Ilamatepec de Santa Ana, el 1 de octubre de 2006, ceniza. Estos permanecen con actividad fumarólica, así mismo, los volcanes San Miguel e Izalco, todos estos y además, controlados por el Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET).

#### 3.1.3.4.2.3 Sistema de fallas NE-SW.

Este sistema de fallas, predomina al Oeste de El Salvador, muy cerca de la frontera con Guatemala.

Los únicos elementos tectónicos que se conocen en el país son los de fractura, sin indicios de plegamientos. De los tres sistemas de debilidad tectónica descritos, el más importante es el sistema tectónico con dirección WNW; que se caracteriza por desplazamientos verticales considerables que atraviesan al territorio salvadoreño, formando un graben o fosa tectónica. Se reconocen cinco ejes principales dentro de este sistema, a saber<sup>198</sup>:

- Primer eje. Forma el límite Sur de las montañas Norteñas y está representado por dislocaciones verticales de alrededor de 1000 m.
- Segundo eje. Se caracteriza por un volcanismo individual apagado en la parte Norte del país.
- Tercer eje. Está situado más al Sur; es el más prominente, con

---

<sup>198</sup> <http://www.snet.gob.sv>.

dislocaciones tectónicas (la más importante de ellas, es la Fosa Central atraviesa el país) y con un volcanismo individual joven, en parte todavía activo. También, se encuentran depresiones volcano-tectónicas y cúpulas de lava. Los eventos sísmicos que aún ocurren en esta zona, indican que los movimientos tectónicos continúan.

- Cuarto eje. Se localiza en el Océano Pacífico a 25 km de la costa salvadoreña y se caracteriza por su actividad sísmica frecuente.
- Quinto eje. Se encuentra más al Sur, formando una fosa marina que corre paralela a la costa salvadoreña y muestra cierta actividad sísmica. Existen elevaciones de forma cónica que se levantan desde más de 3000 metros de profundidad hasta el nivel del mar, considerándose estos como volcanes.

#### 3.1.3.5 Suelos.

En los cuatro puntos seleccionados, que están comprendidos en la zona costera de la Cordillera El Bálsamo, predomina el tipo de suelo Latosoles arcillo rojizos, ver figura 3-19. Se reconocen por su color rojo, con algunas variaciones en su tonalidad y por su textura arcillosa. El drenaje natural de estas áreas, varía de bueno a excesivo. Estos suelos, cuando han estado protegidos de la erosión, poseen un horizonte superficial de color café rojizo oscuro, de poco espesor, 20 cm, y poseen textura franco-arcillosa, con estructura fuerte, en bloques o prismática, de tamaño grande. Muchos de ellos, presentan películas de arcilla en sus caras y a veces caras de deslizamiento. En algunos suelos, los horizontes del subsuelo con manchas negras, debidas a precipitaciones de manganeso, indica arrastre o lavado de este elemento, de los horizontes superiores y depositados en estratos inferiores, o bien, debido a condiciones de drenaje imperfecto. La profundidad hasta la roca madre, lava basáltica y Andesítica, es variable, pero en promedio se puede establecer en alrededor de un metro, dependiendo de la

posición que ocupen en el paisaje<sup>199</sup>. Uso del suelo, esta zona se utiliza en su gran mayoría, para turismo y para bosques naturales, ver figura 3-20. Uso potencial, ha sido clasificada agrológicamente en varias clases, a saber<sup>200</sup>, ver figura 3-21.

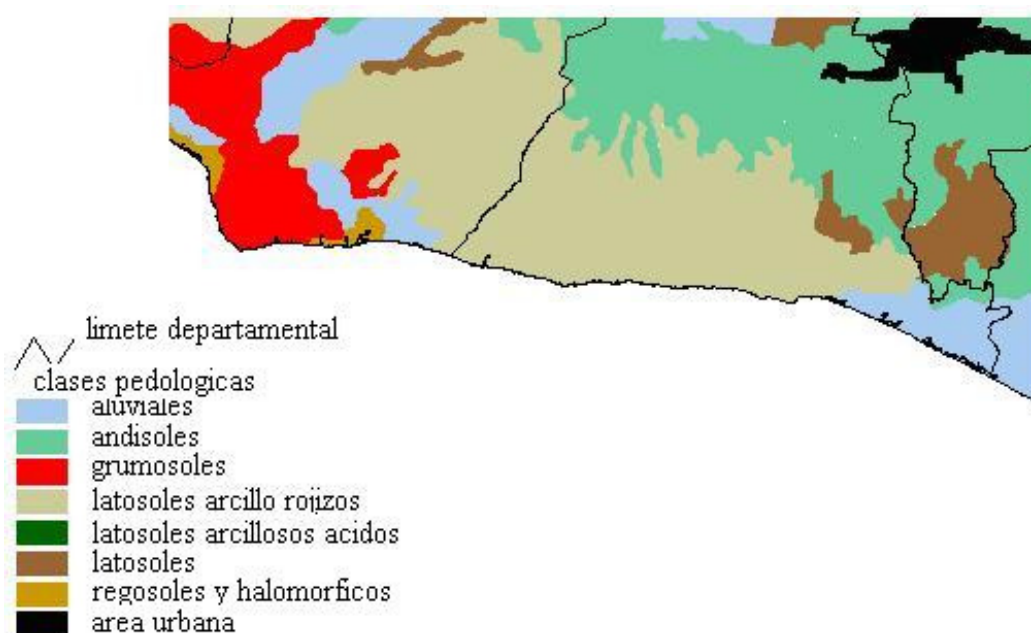


Figura 3-19: Principales tipos de suelo en la zona costera de la Sierra El Bálsamo<sup>201</sup>.

- Clase IV. Tierras con severas limitaciones que restringen la elección de plantas. Requieren cuidadosas prácticas y obras de manejo y conservación, costosas y difíciles de aplicar y mantener. Se pueden obtener cosechas de moderadas a buenas.
- Clase VI. Tierras que tienen limitaciones muy severas que hacen inadecuado su uso para cultivos, y lo limitan para vegetación permanente. Se requiere

<sup>199</sup> Geografía de El Salvador, página 104.

<sup>200</sup> Ibidem, página 107.

<sup>201</sup> <http://www.marn.gob.sv>.



usar cuidadosas medidas de conservación y manejo. Se pueden esperar rendimientos, buenos a muy buenos en las cosechas.

- Clase VII. Tierras con limitaciones permanentes muy severas, restringen su uso a bosques y praderas, los cuales requieren manejo muy cuidadoso, pendientes muy abruptas o suelos muy superficiales o ambas.
- Clase VIII. Las tierras de esta clase están restringidas para el uso agrícola. Son recomendables únicamente para vegetación de protección permanente, vida silvestre o recreación.

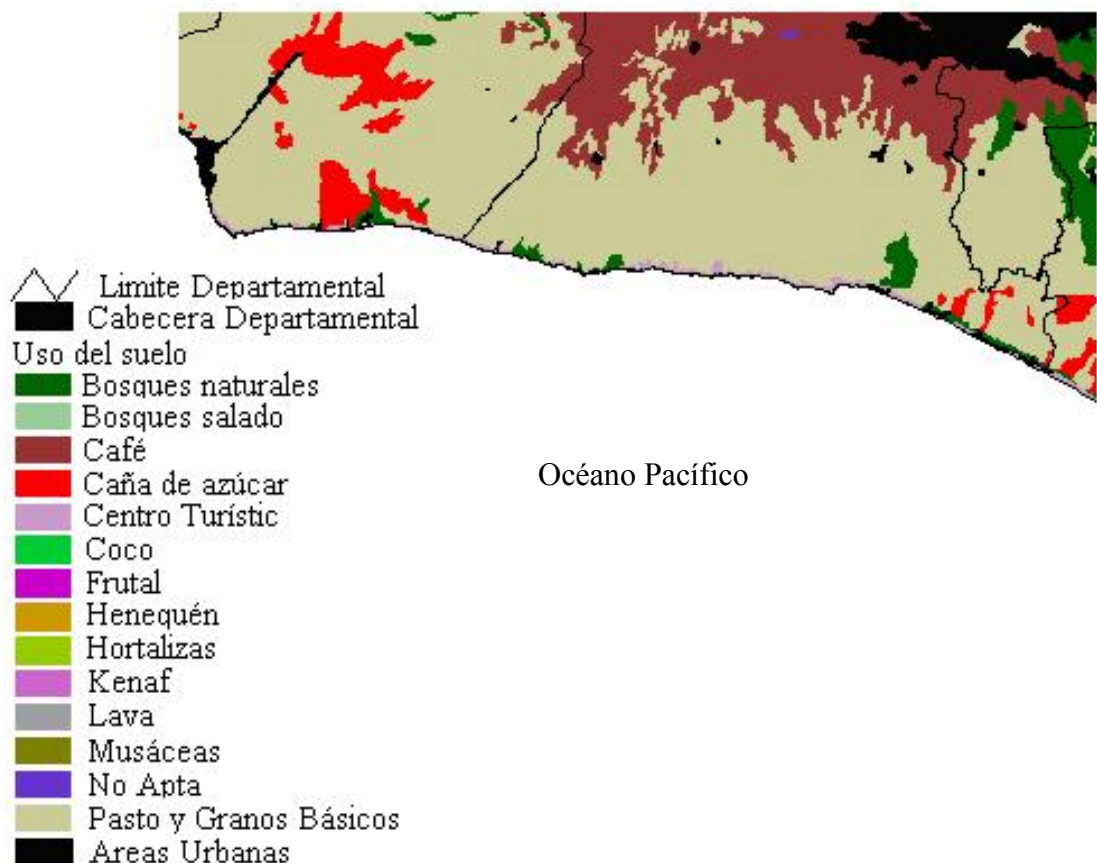


Figura 3-20: Uso del suelo en la zona costera de la Sierra El Bálsamo<sup>202</sup>.

<sup>202</sup> <http://www.marn.gob.sv>.

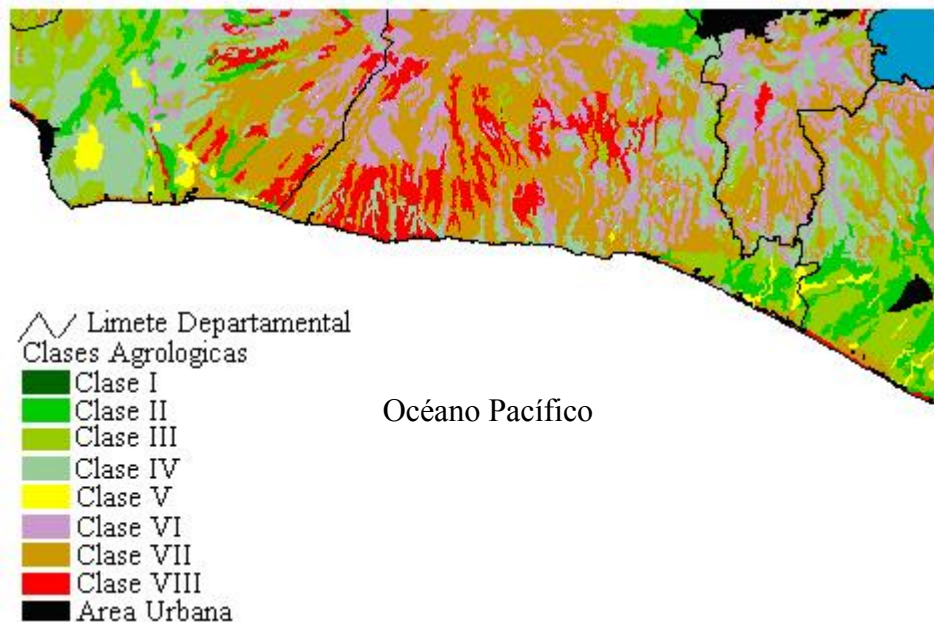


Figura 3-21: Uso potencial del suelo en la zona costera de la Sierra El Bálsamo<sup>203</sup>.

### 3.1.3.6 Estabilidad de las laderas de la borda continental.

La sismicidad del país, sus epicentros se localizan cercano a las costas, con focos sísmicos a 20 km ó 30 km desde la costa, siendo el lugar más cercano, el puerto de Acajutla. Según datos estadísticos, la mayoría de los sismos del país provienen de esta zona. La segunda zona, está ubicada a 60 km desde la costa, la tercera zona, está ubicada en la Fosa Marina Centroamericana, a la distancia de unos 120 km desde la costa. Los sismos generados en las dos últimas zonas, rara vez son percibidos en el territorio nacional. La cuarta zona, corre paralela a la cadena montañosa joven del país, y la energía sísmica se concentra en un área limitada. Para este estudio, se han hecho visitas acompañados con un especialista en geología, a diferentes lugares de la región costera, desde el Puerto de La Libertad hasta el Puerto de Acajutla, entre estos están: lugares de borde costero y

<sup>203</sup> <http://www.marn.gob.sv>.



montañoso, donde se han generado diferentes derrumbes, esto se muestra en las fotografías 3-20a y 3-20b.



(a) Derrumbe en el borde costero, cerca de la playa La Perla.



(b)

Fotografía 3-20: Se muestran lugares donde se han originado derrumbes sobre la borda continental<sup>204</sup>.

---

<sup>204</sup> Fotografías tomada en la costa de El Salvador, por el grupo de investigación, el 12 de abril de 2006.

También, hay grietas profundas en los acantilados, probablemente como consecuencia de los sismos que han ocurrido durante muchos años, ver fotografías 3-21a y 3-21b, estas circunstancias, hacen considerar la estabilidad, para establecer cualquier obra civil a largo plazo. En el mismo recorrido, se observaron lugares donde hay rocas sólidamente fijas, que a pesar de soportar constantemente la energía del oleaje, mantienen su textura, aún, al haber estado sometidas a erosión durante miles de años, ver fotografías 3-22a y 3-22b, lo que refleja, que se cuenta con muy buena estabilidad de los taludes. Los lugares donde se está haciendo el estudio, se han elegido por su buena estabilidad, no obstante, es necesario que se haga un estudio detallado, para así, establecer las características necesarias del tipo de estructuras a utilizar.

Estratigrafías. La tabla 3.4 describe la sucesión estratigráfica de los suelos en El Salvador<sup>205</sup>:



Fotografía 3-21a: Se muestra acantilados que presentan grietas que podrían dar lugar a futuras fallas<sup>206</sup>.

---

<sup>205</sup> Geografía de El Salvador, página 40.

<sup>206</sup> Fotografías tomada en la costa de El Salvador, por el grupo de investigación, el 12 de abril de 2006.





Fotografías 3-21b: Se muestra acantilados que presentan grietas que podrían dar lugar a futuras fallas<sup>207</sup>.



Fotografía 3-22a: Se muestran, la estabilidad del terreno en el Km 51<sup>208</sup>.

---

<sup>207</sup> Fotografías tomada en la costa de El Salvador, por el grupo de investigación, el 12 de abril de 2006.

<sup>208</sup> Fotografías tomada en la costa de El Salvador, por el grupo de investigación, el 21 de mayo de 2006.



Fotografías 3-22b: Se muestran, la estabilidad del terreno en el Km 63 sobre la carretera El Litoral<sup>209</sup>.

La figura 3-22, indica, un mapeo regional de la susceptibilidad y riesgo a deslizamientos en la superficie de la corteza terrestre, identificando los lugares en la cordillera El Bálsamo. Así; en las zonas de color amarillo claro, el riesgo a deslizamiento es bajo, las amarillo oscuro, el riesgo es intermedio, color rosa, el riesgo es alto y las zonas color rojo, el riesgo a derrumbes es muy alto. Además, hay lugares, donde se logra notar un sistema de deslizamientos profundizados, en la dirección NNW-SSE, ver figura 3-18 en la página 110.



Figura 3-22: Mapa de susceptibilidad a deslizamientos<sup>210</sup>.

<sup>209</sup> Fotografías tomada en la costa de El Salvador, por el grupo de investigación, el 11 de junio de 2006.

<sup>210</sup> [www.snet.gob.sv](http://www.snet.gob.sv).

Tabla 3-4: Estratificación cronológica de los suelos salvadoreños.

EDAD	UNIDAD ESTRATIGRÁFICA	OBSERVACIONES
Reciente	Aluvión	Se presentan gravas, arenas y arcillas a lo largo de ríos, además se tienen grandes volúmenes de materiales en las planicies costeras.
Holoceno hasta Pleistoceno	Estratos de San Salvador	Se tienen corrientes de lavas, cúpulas de lavas, tobas fundidas, pómez, escorias y cenizas volcánicas, todos estos de la cadena volcánica joven, pero también se tienen suelos fósiles, entre estos suelos café y negro.
Pleistoceno Inferior Hasta Plioceno Superior	Estratos de Guazapa	Se observa, corrientes de lava, aglomerados, tobas, y cenizas volcánicas endurecidas, estos son resultado de la cadena volcánica vieja. Además, se tienen suelos fósiles rojos de poca profundidad (4 m).
Plioceno	Estratos El Bálsamo	Se tienen productos volcánicos, aglomerados, tobas volcánicas endurecidas y corrientes de lavas basálticas – andesíticas. Se tienen suelos fósiles rojos de gran profundidad (20 m), cubiertas de rocas extrusivas, cubiertas en la parte inferior con productos andesíticos, y en la parte superior son basálticos.
Mioceno Superior	Estratos de Chalatenango	Rocas volcánicas de carácter Riolítico – Dacíticas Areniscas finas de color rojo violeta. Conglomerados monomixtos de caliza de color rojo violeta y Cantos de tobas volcánicas andesíticas
Mioceno Inferior		
Albiano	Estratos de Metapán	Tobas volcánicas andesíticas de color violeta, caliza gris claro en bancos gruesos, y caliza oscura laminada, areniscas rojas de grano fino con cemento arcilloso y estratificación fina.
Cretácico Inferior		

### 3.1.3.7 Geomorfología.

Entre las principales regiones geomorfológicas del territorio salvadoreño, se pueden señalar las siguientes, ver anexo A3-8:

#### 3.1.3.7.1 Planicies Costeras.

Consta de dos zonas, una ubicada en el Oeste y la otra en el Centro del país, estas abarcan 12% del territorio nacional<sup>211</sup>.

#### 3.1.3.7.2 Cadena Costera.

<sup>211</sup> Geografía de El Salvador, página 79.

En extensión, es igual que la anterior, abarca 12% del territorio nacional, con inclinación de 5° hacia el Sur, en el lecho marino, o por debajo de la planicie costera. Se estima, que su altura máxima es 1200 m sobre el nivel del mar. En la cadena costera, se distinguen cuatro plegamientos: el primero comienza a orillas del Río Paz, con altura de 300 m sobre el nivel del mar, dirigiéndose hacia el Este, alcanzando los 1400 m de altura en Tacuba Apaneca, luego, descendiendo, llegando muy cerca de Sonsonate. El segundo, inicia al término del primero, se extiende por la cordillera El Bálsamo, alcanzando altura máxima de 1500 m al Sur de Jayaque, bajando suavemente hacia el valle del Río Jiboa, descendiendo hasta la elevación 400 m sobre el nivel del mar. El tercero alcanza altura máxima de 1000 m, no es visible en su totalidad, por estar cubierto por el cono del volcán de San Vicente. El cuarto es la prolongación del tercero, este atraviesa al Río Lempa, con altura de 200 m y 300 m, su máxima elevación es 600 m sobre el nivel del mar<sup>212</sup>.

#### 3.1.3.7.3 Fosa Central.

Comprende el 20% de la superficie del país, Se extiende a lo largo de este, con rumbo en la dirección WNW-ESE, su anchó varía entre 10 km y 30 km. En esta, se han dado hundimientos tectónicos, los cuales varían entre 1 km y 1.5 km, los cuales ocurrieron cerca de Ciudad Arce y al Este de San Vicente, entre El Carmen y Siramá, siendo bien notable el estrechamiento de la fosa. Por el contrario, cerca de San Salvador, Chalchuapa y Usulután, su ensanchamiento es muy notable. Los cuatro plegamientos de la cadena costera están conectados con los cuatro grandes macizos volcánicos de la fosa central, formados estos últimos por materiales piroclásticos, tales como pómez, escorias, lapillo, tobas y cenizas volcánicas, y lavas<sup>213</sup>.

---

<sup>212</sup> Geografía de El Salvador, página 79 y 80.

<sup>213</sup> *Ibidem*, página 80.

#### 3.1.3.7.4 Cadena Interior.

Abarca 20% del área territorial salvadoreña. En el Oeste del país, la Fosa Central y la Fosa Interior, están separadas por esta unidad geomorfológica, no ocurriendo lo mismo hacia el Este, por no existir esta unidad en ese extremo. Se ha estimado, que esta cadena la forman unos diez plegamientos, cuyo basamento está formado por aglomerados volcánicos de la edad Pliocénica, caracterizados principalmente por volcanes considerados inactivos o apagados, por ejemplo: Guazapa, Sihuatepeque y Cacahuatique<sup>214</sup>.

#### 3.1.3.7.5 Fosa Interior.

Considerada la unidad más pequeña del país, ocupa 5% del territorio nacional. Se localiza en el Noroeste del país, y su longitud es 70 km<sup>215</sup>.

#### 3.1.3.7.6 Montaña Fronteriza.

Constituye 25 % del territorio nacionales, la unidad más grande de la región salvadoreña, formada por los siguientes elementos estructurales: la serie marina de Metapán, donde están las rocas más antiguas del país y la serie Chalatenango, formada por rocas intrusivas. La altura máxima de la montaña fronteriza es 1500 m a 2500 m sobre el nivel del mar<sup>216</sup>.

### 3.2 LA BORDA OCEÁNICA, PLATAFORMA Y BORDA CONTINENTAL.

La formación de la plataforma continental, la explican varios procesos. Uno de estos es la erosión causada por las olas, cortando de esta forma la línea costera. Los materiales resultantes de la erosión de las costas se van acumulando junto con los provenientes de

---

<sup>214</sup> Geografía de El Salvador, página 80.

<sup>215</sup> *Ibidem*.

<sup>216</sup> *Ibidem*.

los ríos, formando así la plataforma, extendiéndose hacia el océano. La utilización racional y el manejo de las zonas costeras y sus recursos marinos, constituyen un enorme desafío frente a la posibilidad de obtener energía a partir del oleaje del mar<sup>217</sup>. Las plataformas continentales, representan el 10% del fondo del mar mundial, donde se encuentran el 17% de las reservas mundiales de petróleo y 10% de las de gas natural. La plataforma frente a las costas salvadoreñas, ocupa casi 20% del mar territorial, en el anexo A3-9 se describen las principales características de la borda oceánica, plataforma y borda continental salvadoreña, además de la hidrografía asociada.

En El Salvador, su plataforma continental tiene un declive de playa, hacia el mar, bastante uniforme, en el anexo A3-10, se observa, que la isobata 100 se encuentra frente a la costa de Acajutla a 35 km de distancia, entre La Libertad y la desembocadura del Río Lempa a 55 km, en el área de la desembocadura y el Estero de Jiquilisco y la Sierra de Jucuarán a 65 km. De la figura 3-23, en el perfil I, se observa, que en las playas del Occidente del país, se tienen profundidades de 200 m a 50 km desde la línea de playa, 500 m a 75 km y 1000 m a 73 km respectivamente. El perfil II de esa misma figura, se ha tomado de la Sierra El Bálsamo, donde, se observa un declive menos pronunciado comparado con el perfil anterior, los 200 m de profundidad se presentan a más de 60 km mar adentro, se observa un cambio en la pendiente, aproximadamente a 70 km mar adentro, en el que la profundidad es de 750 m, luego la pendiente se eleva hasta un punto en que la profundidad es de 136 m, o sea, a una distancia de 80 km de la línea de playa, iniciándose a partir de este punto, un declive pronunciado de la pendiente, hasta llegar a profundidad de 2000 m, a 100 km desde la línea de playa. El perfil III describe la región oriental del país, donde se tiene 200 m de profundidad a 75 km, desde la línea de playa, 500 m a 85 km y 1000 a 100 km respectivamente. La figura 3-23 fue obtenida analizando el mapa mostrado en el anexo A3-10, donde se detalla una descripción completa de la plataforma de todo el territorio nacional<sup>218</sup>.

---

<sup>217</sup> El Salvador consume unos 881 MW de energía eléctrica anualmente, frente a una capacidad instalada de aproximadamente 1,200 MW.

<sup>218</sup> EMDEN, Gierloff. La Costa de El Salvador. Monografía Morfológica-Oceanográfica, página 73.



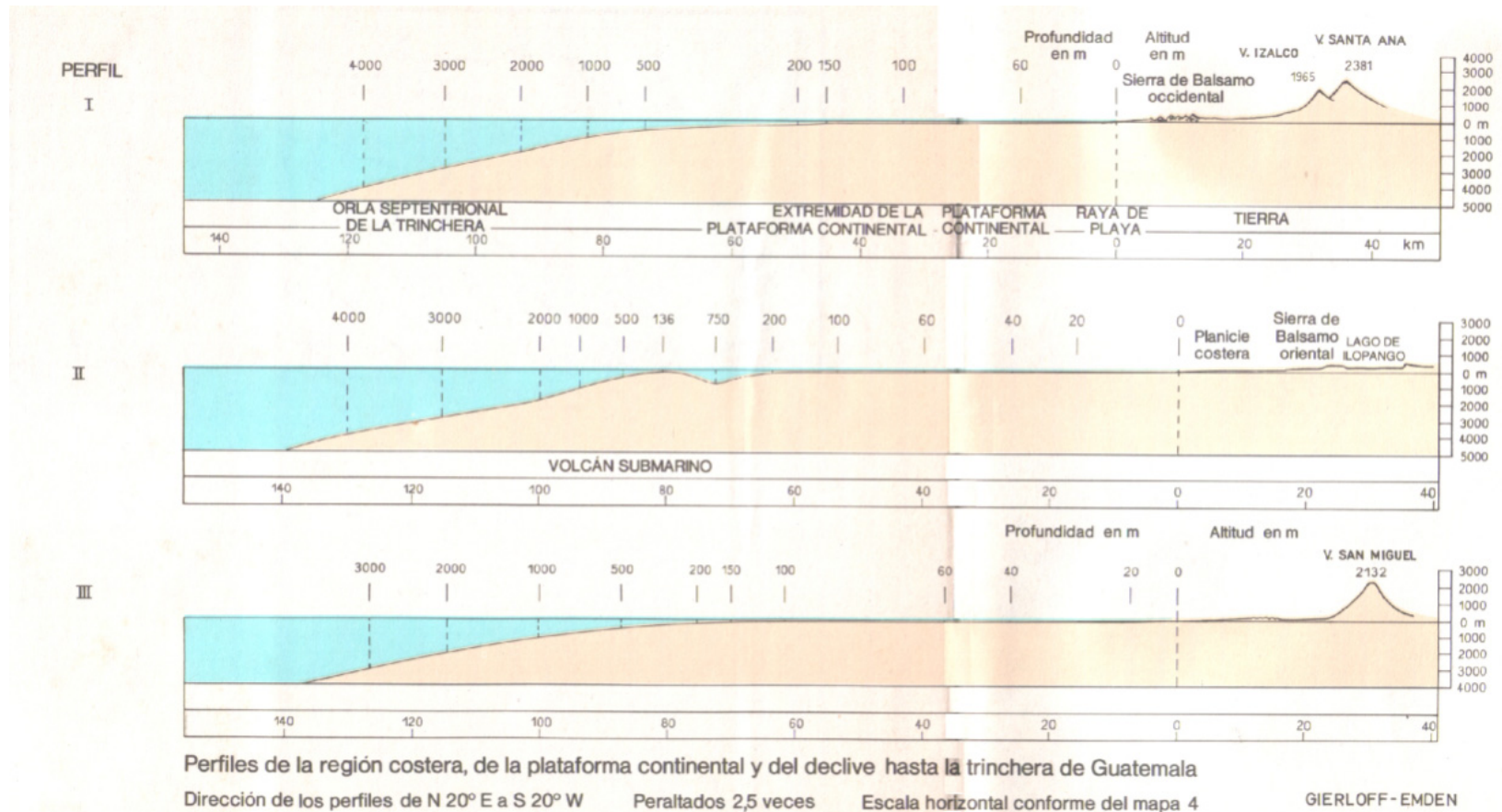


Figura 3-23: Perfiles de la plataforma continental en tres regiones territoriales<sup>219</sup>.

<sup>219</sup> EMDEN, Gierloff. La Costa de El Salvador. Monografía Morfológica-Oceanográfica, mapa 4.

Con los datos obtenidos hasta el año 1976, no hay reconocimiento de divisiones en terraza en el fondo marino, además, no se observa relieve fuerte, basándose en la inexistencia de depresiones como hondonadas u hoyas longitudinales. Desde la isobata 100 empieza a aumentar el declive de la plataforma continental hacia mar adentro, esta isobata divide la plataforma continental en una zona muy llana y ancha frente a la línea de playa, con otra franja angosta mar adentro, con pendiente de tres a cuatro veces más grande, esto, considerando el cambio entre plataforma y talud continental<sup>220</sup>. Todo esto, ha ocurrido en cientos de miles de años. En estos lugares también actúan, permanentemente, fuerzas que resultan de mareas, resaca, vientos, corrientes marinas, sedimentos litorales.

### 3.3 DINÁMICA DEL AGUA Y EL VIENTO DEL MAR SALVADOREÑO.

En las costas acantiladas, ver anexo A3-11, se indican los lugares donde, por cambios bruscos en cientos de miles de años, ocurrieron eventos dinámicos, que han marcado la región con esta morfología, identificando fallas tectónicas, terrazas fluviales, lechos de ríos cortados, escalones separados de los manglares de tierra firme, antiguos cordones costeros y antiguos lechos de río con meandro de desembocadura. Los dos últimos, permiten la ubicación de antiguas líneas de playa<sup>221</sup>.

Así mismo, tienen lugar cientos de procesos químicos y biológicos coadyuvantes. Los cordones costeros se construyen únicamente en las pleamares vivas, ocurriendo alrededor de doce al mes, a mediados del segundo semestre de cada año es más notorio, donde el invierno llega a la fase crítica de las máximas lluvias, acompañadas de otra gran influencia meteorológica, grandes masas de aire que movilizan, creando principalmente, fuertes vientos, sin distanciamiento, una vez cada doce horas durante seis días. Por otra parte, el suministro de sedimentos como materiales de construcción, para el caso de El Salvador, se limita únicamente a seis meses en el año, durante la

---

<sup>220</sup> EMDEN, Gierloff. La Costa de El Salvador. Monografía Morfológica-Oceanográfica, página 74.

<sup>221</sup> *Ibidem*, página 209.

temporada de lluvias, porque en la estación seca, los sedimentos se reducen hasta una vigésima parte de los de la estación lluviosa<sup>222</sup>. Por lo cual, la costa pacífica de Centro América, pertenece a la forma tidal de mareas semidiurnas, cuya amplitud media de marea viva (m), se cuantifica expresandolo como sigue:  $2(M_2 + S_2) = 3.23m$ <sup>223</sup>, (EC 3.1), para la costa de El Salvador. Donde  $M_2$  se debe a la marea de La luna, y  $S_2$  a la marea generada por El Sol. Las condiciones tidales, delante de la costa salvadoreña, no son muy bien conocidas, el almanaque de mareas, que anualmente publica el Centro Nacional de Registros (CNR), contiene, los pronósticos de mareas, fechas, horas de entrada de pleamar y bajamar, y los niveles de agua correspondientes en los principales puertos de El Salvador. Así mismo, la cronología del movimiento de El Sol y La Luna. La altimetría terrestre de El Salvador, ha determinado el “cero cartográfico” en el nivel medio del mar, en La Unión. La variación de la marea alta o pleamar y marea baja o bajamar, en los principales puertos del país, es la que indica la tabla 3-5.

Tabla 3-5: Variabilidad entre marea alta y baja en los puertos de El Salvador, respecto al nivel medio del mar<sup>224</sup>.

Puertos	Marea alta (m)	Marea baja (m)
Cutuco	3.38	-0.37
Acajutla	2.17	-0.23
La Libertad	2.27	-0.25

La región marítima delante de la costa salvadoreña, pertenece a las más tranquilas de La Tierra, y son raras las ondas de largo período causadas por sismos, con extensiones desastrosas<sup>225</sup>. Un fenómeno oceanográfico que afecta al país es la marejada, provocada a varios kilómetros de distancia de El Salvador, frente a las costas de Nueva Zelanda, origina un incremento del oleaje de las costas centroamericanas y suramericanas, por la llegada del invierno en esa región polar. Por ejemplo, el día lunes 19 de junio de 2006 se

<sup>222</sup> EMDEN, Gierloff. La Costa de El Salvador. Monografía Morfológica-Oceanográfica.

<sup>223</sup> Ibidem, página 51.

<sup>224</sup> CNR. Almanaque de Mareas 2005.

<sup>225</sup> EMDEN, Gierloff. La Costa de El Salvador. Monografía Morfológica-Oceanográfica, página 53.

presentó este fenómeno, incrementando la altura del oleaje hasta más de 5 m, 2 m mayor que las mareas altas de Cutuco y 2.73 m mayores que las de La Libertad, zona local del estudio, ver las fotografías 2-23a a 2-23d, donde se muestra una secuencia del fenómeno de marejadas.

Las ondas de agua de mar, frente a las costas de El Salvador, son del tipo “c”, el tercero de los tipos de olas, son “olas largas de poca altura y pendiente constantes”, se les denomina olas del mar de fondo, porque su velocidad de propagación es mayor que la velocidad del viento y van delante del área de viento donde se originaron, pueden atravesar vastas regiones marítimas y ser la causa de la resaca en costas lejanas. Por lo tanto, la zona de origen de la mar de fondo se encuentra 2000 km a 2500 km mar adentro, es decir, en la región de los vientos alisios del Hemisferio Sur, posiblemente, este mar de fondo proceda de latitudes australes de los 40°. Los fenómenos del oleaje son la causa para el origen de la resaca y con ésta para el origen, desarrollo y cambio de la playa<sup>226</sup>.

La superficie del mar, delante de la costa, casi nunca es plana, como un espejo, se observan ondas superficiales de agua de mar, bien formadas, de la mar de fondo, que las producen vientos alisios que vienen del Sur, generando oleaje con pequeña altura y largos períodos de ondas<sup>227</sup>, ver fotografías 2-24a y 2-24b.

---

<sup>226</sup> EMDEN, Gierloff. La Costa de El Salvador. Monografía Morfológica-Oceanográfica, páginas 55-57.

<sup>227</sup> *Ibidem*, página 55.



(a) Olas llegando a la orilla de la costa, en choque con el frente del muelle.



(b) Subida de las olas cubriendo la estructura del muelle.



(c) Máxima altura alcanzada por la ola, en cobertura total de la estructura, resistiendo, estas fuerzas de gran impulso.



(d) Rompimiento de la ola.

Fotografía 3-23: Secuencias del fenómeno de las marejadas que ocurrieron en el muelle del Puerto de La Libertad el 16 de junio de 2006, en el litoral salvadoreño<sup>228</sup>.

---

<sup>228</sup> Fotografías obtenidas de un video proporcionado por noticiero 4visión el 20 de junio de 2006.





(a) Playa San Blas.



(b)

Fotografía 3- 24a y 3-24b. Fotografías donde se observan ondas bien formadas de la mar de fondo, que vienen del Sur con pequeña altura y largo período de ondas<sup>229</sup>.

El efecto morfológico más importante, en la costa, resulta de la resaca y sus efectos laterales. La resaca, está determinada principalmente por el modo de las ondas de la mar

---

<sup>229</sup> Fotografías aéreas tomadas por la Secretaría de Comunicaciones UES, el 21 de abril de 2006.

de fondo y la forma de la playa. Son de gran importancia, la altura de las olas, período y longitud, la dirección de los frentes de ondas al chocar con la costa y la profundidad del agua. Con excepción de la profundidad del agua, la resaca en la costa salvadoreña, se observa libremente en todas las zonas costeras y durante todas las estaciones del año, ver fotografías 2-25, por lo general, se marca más fuertemente al final de la estación lluviosa. Para la morfología de la costa salvadoreña, es especialmente interesante, la corriente de resaca longitudinal, paralela a la playa, porque produce transporte de materiales. Según ensayos y estimaciones energéticas de Putman y Punk (1970)<sup>230</sup>, la corriente de resaca longitudinal, está representada por la expresión siguiente:

$$V_b = \frac{3}{C_1} \sqrt{\frac{H_b b^2}{T} m \operatorname{sen} 2\alpha} \quad \text{EC. 2.2}$$

siendo,

$$C_1 = \left( 0.871 \frac{gs}{r} \right)^{1/3} = \text{constante}$$

$H_b, T$  : Altura y pendiente de la ola en el punto de rompimiento, respectivamente.

$m$  : Pendiente de la playa submarina.

$\alpha$  : Ángulo entre la cresta y la altura de la ola  $H_b$ .

$g$  : Aceleración de la gravedad.

$s$  : Fracción de corriente de energía que mantiene la corriente de resaca longitudinal.

$r$  : Coeficiente de rozamiento.

$s$  y  $r$ , no son constantes sino que dependen de la energía de las olas y la estructura de la playa submarina.

---

<sup>230</sup> EMDEN, Gierloff. La Costa de El Salvador. Monografía Morfológica-Oceanográfica, página 62.





Fotografía 3-25: Fotografía aérea donde se observa el efecto de la resaca en la zona costera de El Salvador<sup>231</sup>.

El movimiento de agua, paralelo a la costa, causado por la corriente de resaca longitudinal, puede alcanzar velocidades considerablemente más altas que el movimiento orbital de las olas que causan el transporte transversal a velocidad de 3 a 4 nudos. El ángulo entre los frentes de olas y la costa, por lo general, no es mayor que  $10^\circ$ , ver fotografía 3-26<sup>232</sup>. La resaca se modifica localmente por las condiciones isobáticas, es decir, por el ángulo de la pendiente de playa y la terraza de la playa, así como por el curso de la línea de playa en forma de ensenadas y salientes, la resaca origina la modelación local de la playa y de la línea de la playa, de manera que existe un efecto recíproco<sup>233</sup>. En las fotografías 2-27 a la 2-34<sup>234</sup>, se muestra el desarrollo de la resaca, en un cantil, con una porción de terraza rocosa, el lugar está ubicado sobre el kilómetro 51 sobre la carretera del Litoral, departamento de La Libertad.

---

<sup>231</sup> Fotografías aéreas tomadas por la Secretaría de Comunicaciones UES, el 21 de abril de 2006.

<sup>232</sup> Ibidem.

<sup>233</sup> EMDEN, Gierloff. La Costa de El Salvador. Monografía Morfológica-Oceanográfica, páginas 57 y 63.

<sup>234</sup> Fotografías de la zona costera de la Sierra El Bálsamo, tomadas por el grupo de trabajo.



Fotografía 3-26: Fotografía aérea que muestra el ángulo aproximado de 9°, entre los frentes de olas y la costa de la zona costera de El Salvador.



Fotografía 3-27: A medida que la onda se acerca a la plataforma, reduce su velocidad y gana altura, hasta formar un frente de onda casi uniforme<sup>235</sup>.

---

<sup>235</sup> Fotografías tomadas por el grupo de trabajo, en el segundo punto, el 28 de mayo de 2006.



Fotografía 3-28: Onda bien formada de la mar de fondo<sup>236</sup>.



Fotografía 3-29: Empieza la ruptura de la ola, a medida se acerca a la plataforma costera<sup>237</sup>.

---

<sup>236</sup> Fotografías tomadas por el grupo de trabajo, en el segundo punto, el 28 de mayo de 2006.

<sup>237</sup> Ibidem.





Fotografía 3-30: La cual libera grandes cantidades de energía<sup>238</sup>.



Fotografía 3-31: Hasta llegar a la línea costera o acantilado<sup>239</sup>.

---

<sup>238</sup> Fotografías tomadas por el grupo de trabajo, en el segundo punto, el 28 de mayo de 2006.

<sup>239</sup> Ibidem.



Fotografía 3-32: La energía se disipa totalmente al llegar a la plataforma<sup>240</sup>.



Fotografía 3-33: El agua de resaca baña la playa o acantilado, y esta regresa al mar<sup>241</sup>.

---

<sup>240</sup> Fotografías tomadas por el grupo de trabajo, en el segundo punto, el 28 de mayo de 2006.

<sup>241</sup> Ibidem.



Fotografía 3-34: Inicio del ciclo de desarrollo de resaca<sup>242</sup>.

#### 3.4 DINÁMICA DE LOS VIENTOS EN EL AMBIENTE SUPERFICIAL MARINO COSTERO, SALVADOREÑO.

Los vientos durante la estación seca (diciembre-abril). Todos los vientos cerca de la costa y aún mar adentro, soplan preponderantemente desde rumbos Norte y Noreste, porque El Salvador se encuentra sobre una costa expuesta hacia el Suroeste. Los vientos invernales del Norte soplan de tierra a mar. Durante la estación lluviosa (mayo-octubre) las condiciones de viento delante de la costa y en el mar más adentro, son diferentes, soplando, generalmente, del Suroeste y rumbos vecinos, sin alcanzar la costa. En el área cerca de la costa, los vientos son cambiantes. Estas condiciones del viento resultan del predominio de la corriente de vientos alisios del Noreste en la estación seca y de la influencia de la Zona Intertropical del Oeste, con vientos del Suroeste desde el mar<sup>243</sup>. El anexo A3-12 es un mapa de velocidades medias de 6 Km/h a 12 Km/h y el rumbo dominante anual del viento, en El Salvador, donde las líneas azules representan los

---

<sup>242</sup> Fotografías tomadas por el grupo de trabajo, en el segundo punto, el 28 de mayo de 2006.

<sup>243</sup> EMDEN, Gierloff. La Costa de El Salvador. Monografía Morfológica-Oceanográfica, página 47.

vientos con componente Norte y las líneas de color rojo representan los vientos con componente Sur, mientras que las líneas verdes representan las isotacas cada 2 km/h.

### 3.5 ALTERNATIVAS DE ELECCIÓN DE LOS PUNTOS PARA ESTUDIO, IDENTIFICADOS EN LA COSTA CENTRO OCCIDENTAL DE EL SALVADOR.

En la dinámica marina de la superficie del mar salvadoreño, se lleva un control de subida y bajada del nivel del mar, estable y controlable en la pleamar y la bajamar, en diferencia promedio de 3.57 m, 2.40 m, 2.52 m, en los puertos Cutuco, Acajutla y La Libertad, respectivamente, en donde las resacas de las olas se alejan o se acercan, según el caso, de la borda continental que la limita o la apantalla en su choque. La resaca del oleaje costero salvadoreño, es permanente en cualquier época del año, teniendo mayor notoriedad, el oleaje en el invierno, que es cuando, principalmente, se crean marejadas de gran altura, debido a los vientos alisios que se generan en el Océano Pacífico. También, hay control del lecho marino, respecto a la superficie oceánica, cuyo perfil es uniforme, en pendiente suave. Hasta la isobata 100, distanciada de la borda continental, entre los 35 km a 65 km, en adelante, se encontrarán mayores profundidades de 200 m, 500 m, 1000 m y mayores hacia la fosa pacífica. La elección de algún lugar apropiado para obtener datos de medición respecto a las características del mar en su oleaje, con el fin de aprovechar esta energía cinética renovable, se apoya, en este caso, en aspectos como los siguientes:

La faja costera salvadoreña, 321 km, denota características marítimas continentales asociadas a potenciales dinámicos geomorfológicos, con suelos y uso de suelo diferenciados, considerados establemente apropiados, donde el resultado del oleaje marino, la resaca, llega a la borda continental con corrientes de agua que su continuo choque provoca oquedades en esta, constituyendo cámaras de aire comprimido<sup>244</sup> aliviadas con chiflones de agua-aire que se disparan a presión en columna de agua

---

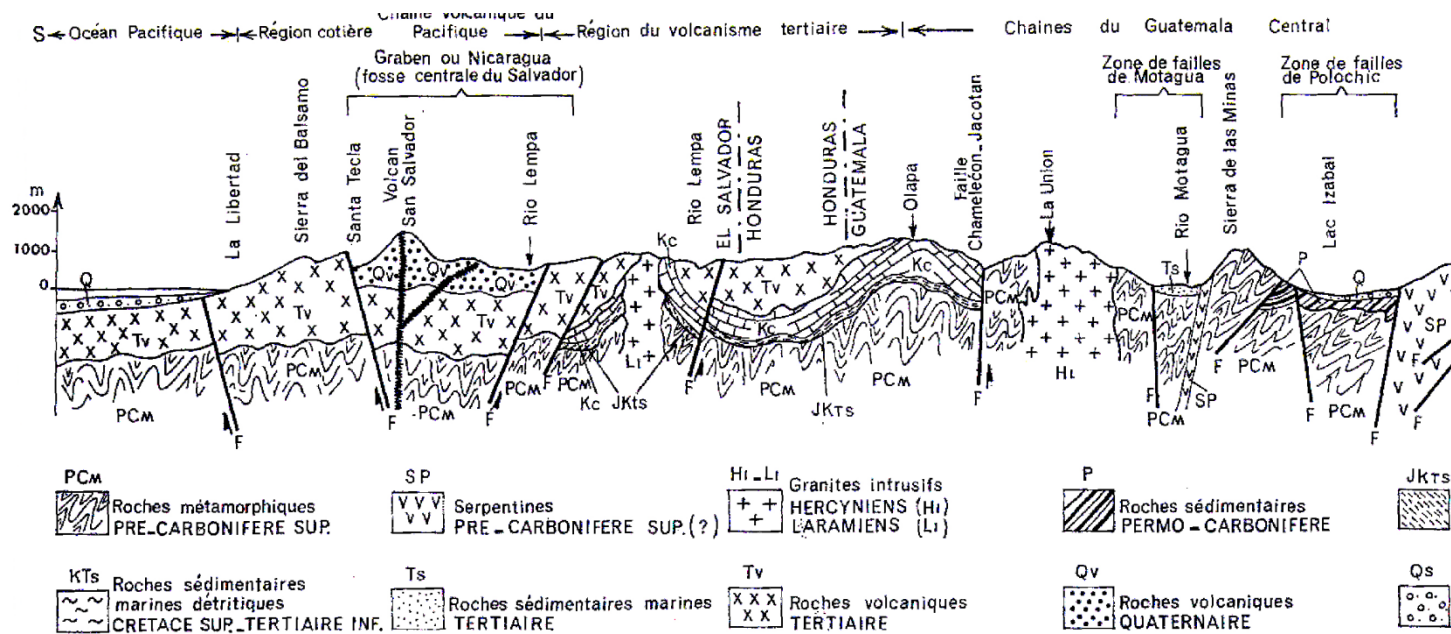
<sup>244</sup> Esta condición, se puede asociar con el caso de un pistón que en su cámara aloja presión y su posterior alivio y así sucesivamente permanece.

esparcida, alcanzando aproximadamente , 70 m de altura, en períodos muy cortos del orden de los 2 a 3 minutos, esto, en acantilados, donde no hay población habitando. La morfología costera salvadoreña es llana y acantilada; la costa acantilada está constituida principalmente por el borde Sur de la Sierra El Bálsamo, de unos 30 km a 45 Km de longitud, en el departamento La Libertad y en la Sierra de Jucuarán, unos 35 Km de largo en el departamento Usulután, la costa llana se extiende unos 115 Km a 120 Km de largo, más unos 56 Km de morfología similar accidentada, propias del perímetro marino, con biodiversidad exótica. La superficie costera llana de la playa, tiene anchuras de corredor de 5 m a 10 m y otras de los 10 m a 50 m de ancho, con declives hacia adentro del mar, cuya inclinación comienza de 2° a 3° y en otras zonas hasta 5°. Las condiciones de la plataforma suboceánica y continental, el lecho marino y la borda continental, están asociadas a la corteza terrestre con la placa de Cocos y la placa del Caribe que interactúan en la zona de subducción, donde tienen lugar fenómenos tectónicos que influyen en el movimiento de las corrientes marinas y las olas en la superficie del mar. Un perfil o corte geológico en longitud 89° 15' W, indicado por Dengo 1968 y citado por Butterlin 1977 es el que se muestra en la figura 3-24, esta da la idea conjunta de la borda marina y continente de Sur a Norte del territorio nacional en relevancia de la composición más importante.

### 3.6 EMPLAZAMIENTO EN LOS PUNTOS DE INTERÉS PARA MEDIR EL POTENCIAL ENERGÉTICO QUE GENERAN LAS OLAS CERCA DE LA COSTA SALVADOREÑA.

En concordancia con lo descrito, en la faja costera salvadoreña, su morfología continental bordera es variada, distinguiendo, fundamentalmente, planadas de playas de distintas formas de ensenadas y pequeños a grandes acantilados del orden de los 100 m de alto, propios del ambiente volcánico sedimentario, fenómenos aluviales y de los resultados de la actividad neo volcánica salvadoreña. El oleaje o resaca mínima pacífica, acciona en toda la costa y la energía producida, consecuentemente, se puede cuantificar en distintas potencialidades.





*Coupe géologique de l'Amérique Centrale septentrionale*

Figura 3-24: Corte geológico en longitud 89°15'W. En esta zona local, en el departamento La Libertad, se concibe un eusinclinal predominantemente estratificado con rocas volcánicas cuaternarias, subyacidas por rocas volcánicas del Terciario y subsecuentemente rocas metamórficas del Carbonífero Superior<sup>245</sup>.

<sup>245</sup> Corte Geológico indicado por Dengo, 1968 y citado por Butterlin, 1977.

Así, los acantilados, tienen la particularidad, que las corrientes marinas llegan con mayor incidencia sobre ellos, lo cual propicia condiciones más estables, en esta primera fase, para medir parámetros propios del oleaje, a profundidad convenientemente especificada, menor que 10 m. Los acantilados, dependen del tipo de roca constituyente del lugar, y su grado de estabilidad va a depender, en este caso, de factores como actividad tectónica y volcánica, acción erosiva regresiva, producida por el oleaje y corrientes de agua masivas, y la composición de los materiales que los conforman, debido a la degradación que provoca la dinámica del agua salada, viento, sol, lluvia y fenómenos consiguientes, ver anexo A3-13.

El estudio de los factores citados, en el tramo comprendido entre el muelle del Puerto de La Libertad y el muelle del Puerto de Acajutla, se describe en cuatro puntos elegidos, entre los lugares visitados, ver anexo A3-14, esto, con el fin de establecer posibles puntos de medición con aparatos que serán emplazados en el respectivo sitio elegido. Los cuatro sitios sobre la carretera del El Litoral, en el tramo descrito, de Oriente a Poniente sobre la borda territorial Sur, La Libertad-Acajutla, con las siguientes identificaciones son: Km 51 carretera Litoral hacia el Occidente, próximo al restaurante La Iguana, Km 56 aproximadamente 500 metros antes del primer túnel, Km 63 en Taquillo, Shalpa, y en el Km 87.5 lugar llamado como El Pital. Cada punto elegido, está referido en posicionamiento, y para fines prácticos, de acceso directo, esto también, está hecho respecto al eje de la carretera El Litoral, La Libertad-Acajutla, como se indica en los correspondientes planos topográficos, ver anexo A3-15.

### 3.6.1 Emplazamiento de los puntos de interés.

Para propósitos de este estudio, en los sitios elegidos, es posible emplazar cualquier equipo de medición para extracción de datos, principalmente del oleaje marino, como también, sería objeto de emplazamiento cualquier estructura, en la que se permita capturar y transformar esta energía cinética. Así, el equipo de medición en el km 87.5 sobre la carretera El Litoral, tiene el posicionamiento siguiente. Ver tabla 3-6.

Tabla 3-6: Caracterización del punto de emplazamiento de sonda ADV Tritón, para la medición de los parámetros del oleaje en el punto Santa María Mizata.

Equipo N°	Profundidad sumergido [m]	Distancia desde el borde hasta el pie del acantilado. [m]	Datos con GPS		
			Latitud	Longitud	Elevación (m)
1	5 y 8	±100	13°30.661'	89°36.374'	-8

En la figura 3-25, se observa un croquis del punto de instalación de la sonda oceanográfica ADV Tritón, situada en las cercanías de la playa Santa María Mizata, Asociación Cooperativa de Producción Pesquera Ostreros de Mizata de R.L., distando unos 738 m desde el borde de playa.



Figura 3-25: Ubicación de la sonda oceanográfica ADV Triton, en la cercanía de la playa Mizata.

El borde del acantilado y la estructura que lo constituye, hasta el corte, por donde pasa la carretera El Litoral, eje de la vía, se describe en cada uno de los puntos seleccionados como sigue:

En el restaurante La Iguana, Km 56. Ubicado sobre la carretera Litoral, departamento La Libertad, accediendo por el restaurante “La Iguana” en dirección Sur, recto, pendiente abajo respecto al nivel de la carretera, entrando por veredas de tierra

entre la vegetación, las cuales llevan hasta un pequeño plan, a partir del cual, el terreno es más inclinado e irregular en el relieve y más vegetado (árboles, y maleza), así como rocoso al borde del acantilado, desde el cual, se observan cuevas entre la roca y al pie de este, la plataforma rocosa, desde donde se inicia la medición topográfica, siendo en este punto, donde choca el agua del mar y se demarca la pleamar y la bajamar. Ver fotografía 3-5 en la página 91.

Primer túnel, Km 56. Ubicado sobre la carretera El Litoral, departamento La Libertad, a 500 m antes de llegar al primer túnel. El acceso al costado izquierdo de la carretera es por una entrada entre el alambre de púas del cerco, siguiendo la vereda pendiente abajo, entre vegetación y taludes de tierra, hasta llegar a una planada, cambiando en dirección sur hacia el mar, entre vegetación, se llega a una zona rocosa del talud continental, desde donde se observa el borde continental y marino para continuar bajando unas gradas hasta la terraza rocosa donde se define la pleamar y la bajamar, en cuyo borde y pie del talud, inicia la medición topográfica. Ver fotografía 3-6 en la página 92.

Predio baldío, Km 63, sobre carretera Litoral, en el departamento La Libertad. Por este predio, al costado izquierdo de la carretera, se accesa hacia el sur para llegar a una planicie sobre un camino de tierra, donde hay casas habitadas. Luego, pasando el cerco de alambre de púas, se baja la vereda del talud rocoso que lleva al borde del acantilado hasta el punto donde respinga el agua desde las cámaras o cuevas que eyectan un chiflón de agua comprimida que sube pulverizado hasta unos 70 m de alto. La topografía en relieve de roca de este punto, va desde el acantilado hasta donde están las viviendas en el camino intermedio. Ver fotografía 3-7 en la página 92

El Pital, Km 87.5. Se localiza sobre la carretera y se accesa sobre el costado izquierdo de esta, pasando el alambre de púas, en este punto, se sigue la vereda hacia el sur sobre una área plana y luego se baja entre el zacatal, hasta llegar al borde del acantilado de roca, desde donde se divisa libremente el mar, el borde de pleamar y bajamar, y al pie del cual, se inicia el trabajo topográfico de referenciación. Los

resultados de la topografía realizada están resumidos en la tabla 3-5<sup>246</sup>. Ver fotografía 3-8 en la página 93.

Tabla 3-7: Datos topográficos de los puntos a evaluar.<sup>247</sup>

Descripción	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
Ubicación sobre carretera El Litoral.	Km. 51	Km. 56	Km. 63	Km. 87.5
Distancia de Plataforma al Eje de la carretera (m).	172.51	300.32	61.64	114.60
Elevación de Eje de la carretera (msnmm).	52.138	76.426	28.408	40.868
Latitud (plataforma continental).	453687.00	10450391.00	447167	43435.45
Longitud (plataforma continental).	263615.00	264136.00	264191	265792.70
Latitud (Eje de calle).	453805.21	10450360.37	447215.70	434272.96
Longitud (Eje de calle).	263688.51	264408.39	264212.05	265857.67
Área Plataforma (m <sup>2</sup> ) en contacto con el agua.	69.84	330.40	-	-

### 3.6.2 Emplazamiento del equipo de medición. Sonda oceanográfica ADV Triton con fines experimentales.

Esto se hace cuando se ha seleccionado el posicionamiento del equipo en el punto elegido de trabajo, basándose en exploraciones previas del lecho marino. Un equipo técnico de buceo<sup>248</sup>, establece las condiciones del lugar y su influencia para que se haga propicia la permanencia del sistema dispuesto que contiene el equipo de medición. En este caso, habiendo escogido el punto Km 87.5 carretera El Litoral, La Libertad, punto El Pital. Primera estación de medición. Los buzos del ICMARES, en la primera visita, rastrearon la zona de interés a 60-80 m desde la costa, con el objeto de encontrar un sustrato rocoso lo suficientemente uniforme para colocar el sistema de medición. Se realizó un recorrido submarino exploratorio paralelo al acantilado por 1 h, siendo el tiempo que dura un cilindro de aire comprimido, encontrando que, en la zona hay áreas de sustrato rocoso con arena, otras áreas de sólo arena. En la segunda visita, un buzo del ICMARES y un ostrero de La Cooperativa de Producción

<sup>246</sup> Reporte final de levantamientos topográficos de cuatro puntos en estudio sobre la zona costera de El Salvador. R. Godínez y otros, mayo de 2006.

<sup>247</sup> Ibidem, página 37.

<sup>248</sup> Se hizo con el apoyo técnico de ICMARES-UES. 1a. visita 12 de diciembre de 2006, 2a. visita 28 de diciembre de 2006.

Pesquera, Ostreros de Mizata, encontraron una área estimada en unos 10,000 m<sup>2</sup> (1 Ha), con 60% de sustrato arenoso en la parte Sur del lugar; recomendando que se instale la sonda oceanográfica ADV Tritón, en el resto 40% que encontraron en ese lugar, colocando el sistema de medición en dirección al Norte, y Noroeste, la zona, está constituida por sustrato rocoso que conforma un piso sólido con escasas depresiones 5% al 10%. En este sustrato se encontraron también, algas macroscópicas Clorofitas Halimeda sp, la Feofita Padina sp y la Rodofita Ceramium sp. No se encontró, formaciones de corales duros, creciendo, en ninguno de los sustratos; pero de estos hay creciendo, en lo rocoso, escasas formaciones aisladas de corales blandos de las especies Leptogorgia alba y las colonias más abundantes que se encuentran es la Carijoa multiflora; se visualizaron al menos dos langosta juveniles Panulirus espinosus y semillas de ostras de Crassostrea sp<sup>249</sup>. En la fotografía 3-35 se muestra la Leptogorgia alba.

Por tanto, el sustrato rocoso en ese punto, es suficiente en área para instalar la estación de monitoreo de parámetros, además, el sitio no está afectado por bancos de arena, por estar la roca por encima del sustrato arenoso, manteniéndose todo el año limpio de arena, ese sitio se localiza a 150 m de la orilla de costa, con un promedio de profundidad de 5 m a 8 m dependiendo del estado de la marea. Con estas estimaciones, se marcó el sitio para realizar el montaje del sistema de medición para constituir la estación experimental o de medición de la energía del oleaje marino.

---

<sup>249</sup> Equipo Técnico del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad de El Salvador, ICMARES.



Fotografía 3-35: Corales blandos creciendo el sustrato rocoso de las especies *Leptogorgia alba*.

### 3.6.3 Emplazamiento de cualquier estructura.

Es necesario hacer un estudio previo de cuáles son las condiciones que garanticen la permanencia de cualquier instalación, a largo plazo, para el propósito deseado, y el tipo de estructura que más se adecue para tal fin. Sin embargo, esto no corresponde a esta etapa del proyecto. La cual, sólo incluye toma de datos propios de la dinámica del oleaje marino, para evaluar el potencial energético, y aplicar un modelo particular en esta zona costera, ubicada entre el puerto de La Libertad y Acajutla.

## RESULTADOS.

La investigación bibliográfica, ha indicado lo siguiente:

Frente a las costas orientales de El Salvador, en las cercanías de la fosa marina, el fondo es irregular, además, la morfología de los diferentes ambientes costeros de El Salvador, predomina la plana que la acantilada, tomando la segunda como primer

prioridad de criterio, en la elección de lugares para un futuro emplazamiento de estaciones de medición, con el fin de cuantificar la energía de las olas en estos sitios, para que posteriormente se evalué la posibilidad de instalar un prototipo que aproveche este potencial energético.

Como resultado de la investigación de campo, se estableció, la microlocalización, para el emplazamiento de estaciones de medición, partiendo de lo siguiente:

- Características particulares de cuatro lugares, ubicados los puntos en el Km 51, 56.2, 63, y 87.5, en las orillas de la carretera El Litoral. Seleccionando estos lugares, tomando como criterio principal, características mínimas para emplazar un prototipo propuesto<sup>250</sup>; estas características son las siguientes:
  - Costa acantilada, donde existe poca formación de resaca, por las características propias del lecho marino, declinando la ola muy cerca del acantilado o rompiendo directamente sobre este.
  - Estabilidad en las laderas, evitando poner en riesgo cualquier equipo de medición respecto a deslizamientos del talud continental.
  - Lecho marino rocoso, con el propósito de reducir costos en la instalación de estructuras.
  - Turismo, donde sea casi nula la actividad turística.
  - Población, se estudian lugares donde no se produzca desplazamiento de familias.

---

<sup>250</sup> En 1988 el Ingeniero Mario Ernesto Rodríguez Sosa propuso un prototipo de captación de energía del oleaje marino en la borda costera acantilada.



## CONCLUSIONES.

- El aprovechamiento de la energía de las olas del mar, dependerá de características morfológicas. La zona costera de acantilados, hace que estos sean más apropiados para captar la energía del oleaje marino, técnica y equipo apropiado para la captación de energía en costas salvadoreñas, previos estudios que garantizarán resultados esperados.
- De los cuatro lugares considerados para el emplazamiento de la estación de medición se seleccionó la zona de El Pital Km 87.5 carretera El Litoral, departamento La Libertad, lugar cercano a la playa Santa María Mizata, tomando en consideración la accesibilidad, estabilidad, seguridad y la proximidad del Puerto de Acajutla para la facilidad del transporte marítimo del sistema de anclaje.

## RECOMENDACIONES

- Realizar estudios detallados del lecho marino y del relieve costero en los puntos de emplazamiento experimental. Así mismo, realizar un estudio de impacto ambiental de la zona de emplazamiento.
- Considerar el fenómeno de la marejada, para el cálculo de factores imposición de estática y dinámica de fuerza y los de seguridad, en el diseño de las estructuras que se construyan para captación de energía del oleaje.

CAPITULO CUATRO  
ADQUISICIÓN, VERIFICACIÓN, CALIBRACIÓN,  
PROGRAMACIÓN Y OPERACIÓN DEL INSTRUMENTO  
PARA, OBTENER DATOS DEL OLEAJE MARINO  
COSTERO.

## INTRODUCCIÓN

Este capítulo, indica un proceso para obtener los parámetros del oleaje marino a unos 150 m desde la borda continental, para lo cual, se utilizó la sonda ADV Tritón que habiéndola anclado en el lecho marino, esta registró amplitud, período, dirección, velocidad de corriente, rapidez, temperatura, presión. Para que estos registros fueran permanentes y continuos se usó un sistema que contenía protegido el instrumento anclado apropiadamente, para las condiciones marinas a las que se expone. Se describe también, el proceso de introducción y extracción de la sonda ADV Tritón para la medición de los parámetros, los datos registrados, mediante las condiciones asignadas, para tiempos de medición continua, y un intervalo de frecuencia. Con los resultados obtenidos, estos se analizan e interpretan para cuantificar el potencial energético del oleaje marino costero en la zona de estudio, estimado en kilovatios por metro lineal de frente de onda, mediante la variabilidad del flujo de las corrientes marinas a 8 m de profundidad incluyendo las transiciones de mareas vivas, distribución direccional de la energía del oleaje, fases lunares, flujos de energía en el día y la noche. Además, con los datos obtenidos in situ por la sonda ADV Triton se establecen condiciones de frontera para la simulación del oleaje marino costero a lo largo de toda la costa salvadoreña, con el modelo numérico SWAN para la predicción de las características del oleaje, y calcular el flujo energético (KW/m).

### 4.1 VERIFICACIÓN, PRUEBA DE CALIBRACIÓN Y DIAGNÓSTICO PREVIO DE LA SONDA ADV TRITON, FUERA DEL MAR<sup>251</sup>.

Una vez adquirida la sonda ADV Tritón (ver especificaciones en anexo A4-1), se dispuso al chequeo de sus respectivos componentes que lo conforman, ver anexo A4-2. Se revisa y constata, que no falte ningún dispositivo, y se procede a la realización de

---

<sup>251</sup> Según el manual de operación del Triton, Firmware Versión 1.0.

pruebas pilotos de uso y manejo de la sonda ADV Triton. El fabricante recomienda hacer las pruebas con el Software SonUtils4, ver anexos en A4-3, con el objeto de familiarizarse con este y adquirir las destrezas pertinentes en la ejecución de la prueba. El diagnóstico de los sensores del medidor, es el punto de partida para su calibración, previa a la ejecución de la recolección de datos. Sin embargo, cada vez que se extraigan los datos, el instrumento se calibrará, para detectar posibles errores en los sensores al continuar captando datos.

El proceso de calibración, consiste en ejecutar el comando compass calibration, con el software SonUtils4, con la PC conectada a la sonda ADV Triton, este hace una verificación rápida y precisa, realizando ajustes de frecuencia y niveles de ruidos que puedan ocasionar una mala medición. Por eso, es importante que, antes de utilizar la sonda ADV Triton, se haga una correcta calibración. Para el caso, las pruebas de calibración realizadas con el software no mostraron anomalía alguna, por lo tanto, los sensores están en buen funcionamiento, ver anexo A4-3. Habiendo verificado la calibración de los sensores, se tiene que realizar la prueba de medición y recolección de parámetros del oleaje marino bajo la programación horaria asignada. Por ejemplo, el intervalo de medición que se uso<sup>252</sup>, para el caso de la prueba, se determinó en 15 minutos de duración, por cada hora, ver anexo A4-4. El diagnóstico de la sonda oceanográfica ADV Tritón, al no presentar errores de medición y de almacenamiento de los parámetros de oleaje en su memoria, se acepta que está calibrada, verificada y lista para ser instalada en la zona de emplazamiento, para hacer la medición en el punto seleccionado. Latitud: 13°30.661', Longitud: 89°36.374', elevación: -8 msnm.

#### 4.2 EMPLAZAMIENTO DE LA SONDA ADV TRITON Y ANCLAJE EN EL LECHO MARINO.

Los tipos de montajes en el lecho marino, que se utilizan para la sonda oceanográfica ADV Triton son los que se muestra en las fotografías 4-1 y que van de acuerdo con las

---

<sup>252</sup> Captación continua de datos por la sonda ADV Triton.

características marinas, tipo de lecho marino, distancia a la que se colocará desde la línea de costa y la profundidad. En base a las características del lecho marino y la zona de rompimiento de las olas en el lugar de emplazamiento del sistema de medición, se utiliza una carcasa protectora hecha de lámina de acero inoxidable no magnética, para que no ocasione errores en la medición, cuya forma es pirámide truncada, ver fotografía 4-1c, conteniendo en la base y al centro la sonda ADV Triton en condición libre para que los tres sensores, capturen la señal enviada por el emisor, y la registren en memoria, también, se busca proteger el instrumento del proceso de arrastre de sedimentos de materiales erosionados, tales como: arena, lodos, piedras o cualquier objeto sólido que pueda dañarlo durante los impactos, así mismo, de la actividad ostrera y pesquera, y turbulencias generadas por el oleaje y las corrientes máximas del fondo oceánico.

#### 4.2.1 Sistema de medición y su anclaje.

La figura 4-1, muestra el contenedor de la sonda ADV Tritón, ver los planos de diseño en el anexo A4-5. El soporte de la carcasa se refuerza con ángulo interno, hecho de lámina de acero inoxidable con el objeto de dar rigidez a la armazón, ver planos en anexo A4-5. El sistema se construyó en la Unidad Productiva de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la UES. El anexo A4-6, muestra la secuencia en la construcción de la carcasa de acero inoxidable y demás accesorios.

#### 4.2.1 Anclaje del sistema de medición.

El tipo de anclaje a utilizar, para estabilizar el conjunto contenedor de la sonda ADV Triton en el lecho marino, lo indica el esquema de la figura 4-2. Y los planos correspondientes se presentan en el anexo A4-7.



(a) tipo sujeción<sup>253</sup> de la sonda ADV Triton.



(b) tipo sujeción<sup>254</sup> de la sonda ADV Triton.



(c) tipo pirámide<sup>255</sup> de la sonda ADV Triton.

Fotografías 4-1: Tipos de montajes para la sonda ADV Tritón.

---

<sup>253</sup> Foto proporcionada por el agente distribuidor del producto Sontek, en San Diego, California, EE.UU, Joel Edelman.

<sup>254</sup> Ibidem.

<sup>255</sup> Foto proporcionada por el agente distribuidor del producto Sontek, en México, Gerardo García Silva.

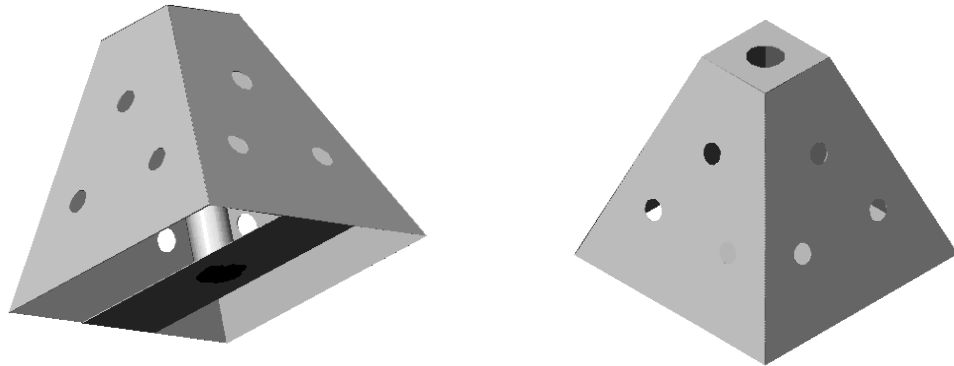


Figura 4-1: Esquema de carcasa protectora de sonda<sup>256</sup>.

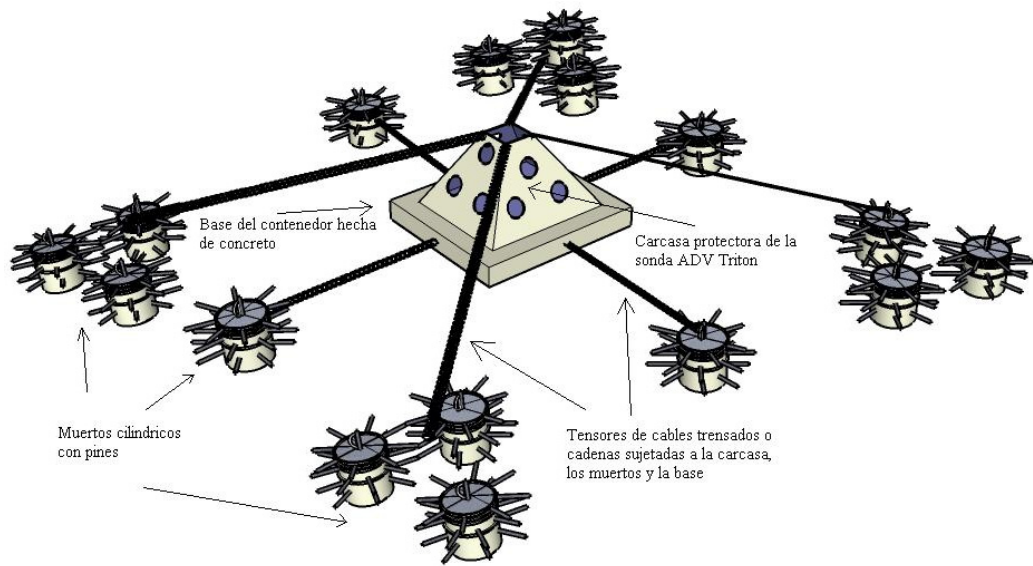


Figura 4-2: Diagrama esquemático del sistema de anclaje<sup>257</sup>.

El anexo A4-8, muestra la secuencia de construcción del anclaje del sistema de medición, en el que la estructura de acero inoxidable (contenedor), va acoplada o “empotrada” en la plancha de concreto o “muerto”, la cual, le dará la respectiva

<sup>256</sup> Esquema realizado por el grupo de investigación.

<sup>257</sup> Esquema realizado por el grupo de investigación.

fijación a la sonda oceanográfica dentro del fondo marino, es importante que, la sonda ADV Triton se haya colocado y anclado lo más fija posible para que no hayan desplazamientos durante se estén registrando la variabilidad de los parámetros del oleaje marino costero.

#### 4.3 METODOLOGÍA PARA EL EMPLAZAMIENTO DE LA SONDA ADV TRITON EN LA ESTACIÓN DE MEDICIÓN.

##### 4.3.1 Instalación del anclaje.

Antes de instalar la sonda ADV Triton, se coloca la plancha de concreto, fijándola con cada sujetador, con los muertos y cable o cadenas, tensores respectivos para seguridad permanente, ya que de esta manera se le dará estabilidad estando sumergida en el fondo marino, evitando el arrastre por las corrientes marinas. Esto se llevará a cabo con el equipo técnico del ICMARES-UES y la Fuerza Naval Salvadoreña, durante una semana, de la manera siguiente:

Las anclas y la plancha de concreto, se cargan en un guardacostas de la Fuerza Naval, embarcando en el Puerto de Acajutla, para su posterior traslado al lugar en estudio. Estacionado en la posición elegida. Con la ayuda de un pescante hidráulico se bajó la base de concreto y se utilizó un lazo para sujetarla en una balsa que se mantiene flotando, posteriormente, los buzos y personal de la Fuerza Naval sumergieron el conjunto, y lo arrastraron, hasta la zona donde el lecho es arenoso, por razones de tiempo, se procedió a bajar la plancha cortando el lazo por debajo de la balsa, y se señaló, para realizar una posterior búsqueda y colocación final en el fondo marino, auxiliándose de una lancha, la cual traslado al lugar indicado, tal como se había planeado, para fijar la plancha con las anclas. La figura 4-3 muestra un esquema de la instalación de todo el sistema ancla-plancha-carcasa. El anexo A4-9, contiene la instalación del anclaje y la plancha de concreto en el lugar de estudio.



#### 4.3.2 Instalación del sistema de medición.

Una semana después de haber instalado las anclas y la plancha de concreto, se procede a instalar la carcasa de la sonda. Para lo cual, se trasladó la carcasa en una lancha de pesca artesanal al lugar donde se encuentran instaladas las anclas y la plancha de concreto, una vez identificado el lugar exacto, el equipo de buceo del ICMARES realizó el montaje de la sonda oceanográfica ADV Tritón, la carcasa sobre la plancha de concreto, fijándola, con sus respectivos anclajes. La figura 4-3 muestra un esquema de la instalación del sistema de medición, se consideró para su instalación, colocarlo en el lecho marino a unos 150 m de distancia desde el borde del acantilado, donde llega la superficie del oleaje o nivel medio del mar, con profundidad de 6m a 8m dependiendo del nivel de marea, el sistema lo constituye el medidor, sonda ADV Tritón, una carcasa de protección y su respectiva base, cadenas tensoras que sujetan la carcasa y los muertos con pines que se empotran con su propio peso, ver figura 4-2 y 4-3. El anexo A4-10, contiene el sistema de instalación de la carcasa de la sonda en el lugar de estudio.

#### 4.3.3 Instalación de sonda oceanográfica ADV Triton.

El procedimiento a seguir fue el siguiente:

- Calibración de la sonda mediante el software apropiado para evitar errores de medición y almacenamientos de datos.
- Transporte de la sonda hasta la playa más cercana al punto de estudio, programándola, desde una computadora portátil, realizado en la Cooperativa de Producción Pesquera Ostreros de Mizata.
- En el contenedor, desmontar la carcasa protectora ensamblada a la plancha de concreto, extraerla del fondo marino y llevarla a la playa, donde esta la sonda, para hacer el montaje. Esto se muestra en el Anexo A4-11, se realiza utilizando una lancha de pesca artesanal, en el lugar de estudio, para el caso, con la Cooperativa

Ostreros de Mizata, en la figura 4-4 se muestra la trayectoria para la extracción para luego llevarla a la playa.

- Para la instalación del sistema de medición se lleva (el conjunto carcasa-sonda) al punto especificado para sumergirlo y anclarlo, ver anexo A4-12.
- En la primera sumergida de la sonda, llevar un monitoreo continuo, extrayendo los datos por lo menos dos días después de la instalada, comprobando que se hayan almacenado datos, mediante la programación asignada. Esto para prevenir cualquier inconveniente que se presente, resolviendo anticipadamente.

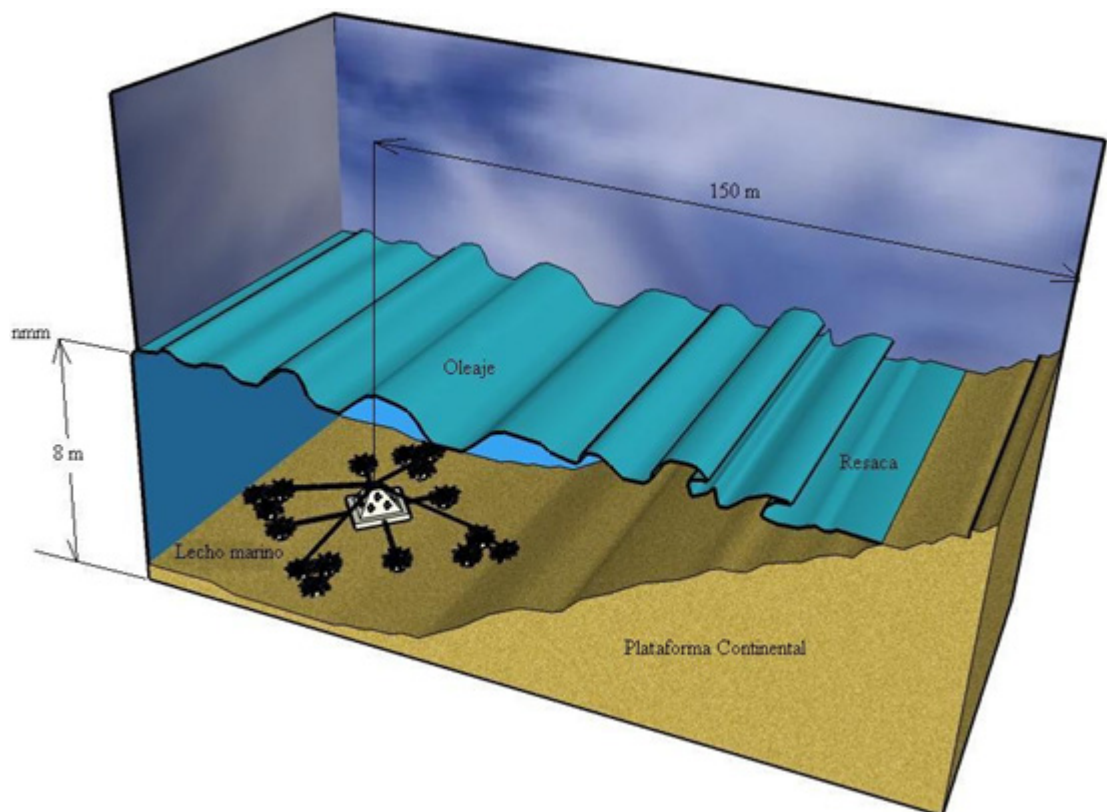


Figura 4-3: Esquema de la instalación del sistema medición en las cercanías de la Playa Santa María Mizata, Kilómetro 87.5 de la carretera de El Litoral, La Libertad.



Figura 4-4: Trayectoria para la instalación y extracción de la sonda oceanográfica ADV Triton<sup>258</sup>.

#### 4.4 PROCESO DE MEDICIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL OLEAJE.

El procedimiento a seguir, en el proceso de medición de los parámetros, por medio de la sonda oceanográfica ADV Triton, es el siguiente:

- Se extrae el conjunto, carcasa-sonda, del fondo marino, y se llevan a la playa más cercana, para extraer la información de la memoria interna de la sonda ADV Triton, utilizando el Software SonUtils4 en la computadora, revisar la sonda ADV Triton y reemplazar el paquete de baterías.
- Verificar el estado del sistema anclaje, carcasa y sonda ADV Triton, para el respectivo mantenimiento. Hacer nueva calibración y programación de la sonda ADV Triton y montarla en la carcasa.
- llevar nuevamente el conjunto (carcasa-sonda) por medio de una lancha, al punto donde se mantiene anclada para sumergirlo y ensamblado a la base, asegurando que

<sup>258</sup> Imagen capturada con el Google Eart, 19 de septiembre de 2007.

todo quede totalmente fijo. Y así, este quede preparado para la siguiente serie de medición de parámetros del oleaje marino, realizando esta actividad cada 20 días, con un margen de 10 días, para prevención, en el caso que no se pueda extraer la sonda en el día especificado según programación, debido a condiciones ambientales marinas desfavorables.

Un aspecto muy importante a tomar en cuenta, al extraer el conjunto carcasa-sonda, es el mantenimiento de los componentes, ya que es necesaria la verificación de los anclajes, cables, que no estén dañados por la corrosión, además cerciorarse que el conjunto carcasa-sonda-anclas, no se hayan desplazado como consecuencia de las corrientes marinas locales, y así, evitar cualquier tipo de inconvenientes que pongan en peligro la sonda ADV Triton, la vida de cualquier persona involucrada en el proyecto. También, se debe remover los organismos que se adhieren a la sonda, para evitar la obstrucción de los sensores, y errores en las mediciones, y retirar el sedimento almacenado en la estructura.

#### 4.4.1 Registro de parámetros.

El registro de los parámetros del oleaje, dependerá principalmente de los valores asignados en la programación de la sonda ADV Triton, ver figura 4-5, estos comprenden: el intervalo continuo de medición, intervalo de muestreo, sistema de coordenadas, rango de velocidad, nombre del archivo, fecha y hora de inicio de medición, modo automático de medición de temperatura, configuración de la serie de la onda, esto se programa en una interface gráfica, como la mostrada en la figura 4-5.

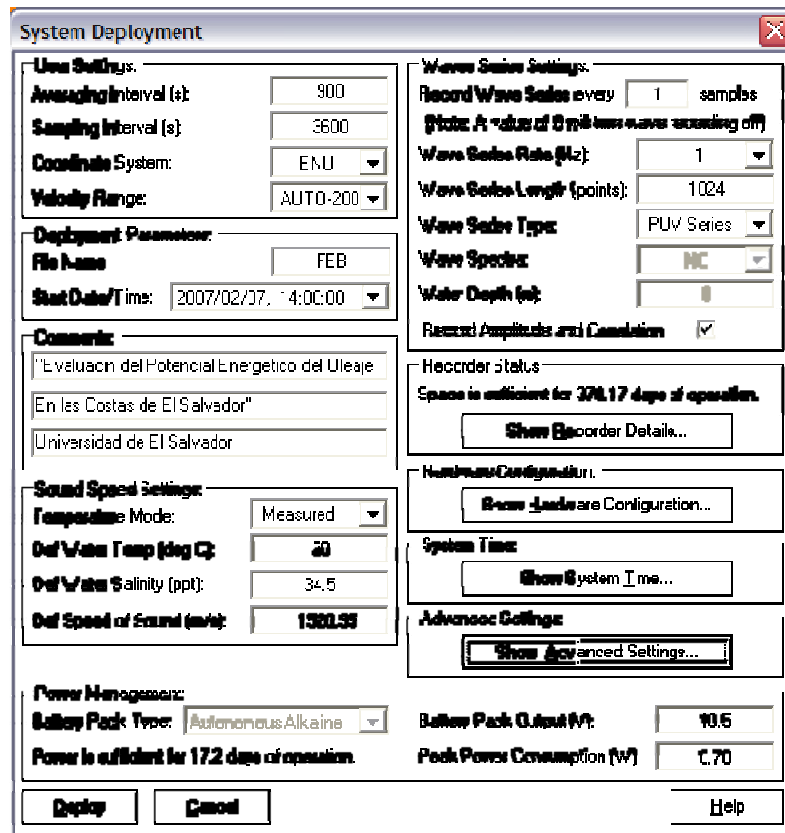


Figura 4-5: Sistema de despliegue, para configurar el modo de operación de la sonda ADV Triton<sup>259</sup>.  
Vista en pantalla de PC.

El registro de resultados de datos proporcionados por la sonda ADV Triton, incluyen: altura significativa de la ola <sup>260</sup>, períodos medios, dirección del oleaje, presión, temperatura, rapidez, velocidad y dirección de corriente, profundidad. Como lo indica la figura 4-6.

<sup>259</sup> Figura capturada por el grupo de investigación, 7 de febrero de 2007.

<sup>260</sup> Media aritmética del tercio de olas más altas del conjunto del número de olas del registro.

<b>Sample Information:</b>		<b>Wave Series</b>		<b>Compass Data:</b>	
Sample No.	1	Sample	1	Heading (deg)	267.6
Sample Date	28/06/2001	Sample Time	0.0	Pitch (deg)	-7.6
Sample Time	14:51:36	V1/X/E(cm/s)	--	Roll(deg)	2.4
Time Interval	300	V2/Y/N(cm/s)	--		
<b>Sample Data:</b>		V3/Z/U(cm/s)	--		
V1/X/E(cm/s)	-108.5	Depth (m)	0.10		
V2/Y/N(cm/s)	-65.8	<b>Wave Summary:</b>			
V3/Z/U(cm/s)	-4.6	WSeries No.	1		
Speed(cm/s)	126.8	Start Date	28/06/2001		
Direction(deg)	238.8	Start Time	14:51:36		
Amp1 (counts)	95	Hs (cm)	0.0		
Amp2 (counts)	81	Tp (sec)	0.0		
Amp3 (counts)	85	Dir (deg)	--		
Mean Amp	87	Spread (deg)	--		
StErr1 (cm/s)	25.5	U_StErr(cm/s)	0.0		
StErr2 (cm/s)	25.5	V_StErr(cm/s)	0.0		
StErr3 (cm/s)	25.5	W_StErr(cm/s)	--		
Battery (V)	10.4	P_StErr(dbar)	0.00		

Figura 4-6: Registro de resultados procesados por la sonda ADV Triton<sup>261</sup> vista de pantalla de PC.

#### 4.4.2 Marco explicativo de resultados<sup>262</sup>.

Los parámetros del oleaje censados del 7 de febrero hasta el 20 de marzo de 2007 por la sonda oceanográfica ADV Triton, representa un período de medición de 42 días, en el que se almacenaron muestras periódicas representativas, de 15 minutos de medición continua, por cada hora, planificando obtener la cantidad de 24 muestras de 15 minutos en un día, haciendo un total 1008 muestras, para los 42 días. No pudiéndose registrar 9 muestras, las cuales corresponden al tiempo de extracción de la sonda ADV Triton, para la descarga interna de datos registrados y darle su mantenimiento respectivo, y además, no se registraron 24 muestras debido a que la

<sup>261</sup> Imagen capturada del registro de datos procesados, del software ViewTiton.

<sup>262</sup> PASCUAL, Cesar V. Introducción a la Energía del Oleaje y Posibilidades de la Costa Vasca, Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas, Universidad de Cantabria. España.

medición inició el 7 de febrero de 2007, registrando su primera muestra a las 14:00 pm, y finalizando el 20 de marzo de 2007, midiendo la última a las 10:00 am, haciendo un total de 975 muestras. En el proceso de medición se llevaron a cabo tres extracciones de registros de datos, obteniendo en la primera extracción 45 muestras, comprendido en el período del 7 al 9 de febrero de 2007, en la segunda 357 muestras, comprendido en el período del 9 al 24 de febrero de 2007 y en la última 573 muestras, comprendido entre el 24 de febrero al 20 de marzo de 2007, haciendo un total de 975 muestras. No pudiéndose tener más registros, debido a circunstancias adversas originadas por factores climatológicos, que ocasionaron la destrucción de la sonda oceanográfica ADV Triton<sup>263</sup>, ver anexo A4-13. Los resultados que a continuación se detallan, equivalen a una muestra pequeña de un 11.1% de un año de monitoreo de medición en la zona costera en estudio. Por lo tanto, es imperativo conocer a cabalidad la variabilidad del potencial energético en las dos estaciones del año<sup>264</sup> (invierno y verano), porque se sabe, que el oleaje marino frente a las costas salvadoreñas presenta variaciones, en épocas de lluvias, invierno, en donde se incrementan la altura de las olas, y en época seca, verano, donde la altura del oleaje disminuye. Así mismo, en las transiciones de las mareas altas, mareas bajas, dirección del oleaje y las transiciones de las fases de La Luna. En base a las muestras registradas por la sonda oceanográfica ADV Tritón, se identifica la tendencia del flujo energético, para los diferentes estados de transiciones de mareas (marea alta y marea baja), caracterización climatológica, fases de La Luna y el comportamiento del flujo de energía en el día y noche.

El registro de las variaciones del oleaje marino, en la zona de estudio, recolectadas por la sonda oceanográfica ADV Triton son: altura del oleaje, dirección del frente de onda, velocidad de la onda, velocidad de corriente, profundidad, presión, período y frecuencia del oleaje, estas se procesan, en base a un análisis estadístico a corto

---

<sup>263</sup> Cada año, cuando inicia el invierno en Nueva Zelanda, en El Salvador, se registran un fenómeno al que le llaman marejada, donde la altura se caracteriza por ser superior a las normales.

<sup>264</sup> Las estimaciones del Ing. Rodríguez Sosa en 1988, fueron datos tomados en agosto de 1988 (invierno), y los de este estudio, de febrero a marzo (verano) de 2007.

plazo<sup>265</sup> de los registros de oleaje, en el intervalo de la frecuencia, y direcciones. En la gráfica 4-1, se muestran los resultados de las distribuciones del espectro de energía en diferentes bandas de frecuencias angulares y direcciones, expresada por la ecuación 2.10<sup>266</sup>, ver página 51. Los espectros de energía de la gráfica 4-1, corresponden a un periodo de medición de 42 días, registrándose 975 muestras de diferentes estados de mar, donde la variabilidad de frecuencias y direcciones del espectro de energía, representa, muestras de 15 minutos de duración continua cada hora, con diferentes energías espectrales, procesado por el software View Triton. En base a los espectros de energía direccionales y frecuenciales, el software View Triton calcula, la altura de ola significativa<sup>267</sup>( $H_s$ ), período pico  $T_p$ , dirección media de propagación de la onda  $\theta_m$  y variación de la dirección ( $\Delta\theta$ ) del frente de onda, posteriormente se procesan las variables principales  $H_s$ ,  $T_p$  y utilizando un espectro JONSWAP, para calcular el flujo de energía por metro lineal de frente de onda  $F(\text{KW}/\text{m})$ <sup>268</sup>. Este cálculo se hará para los 975 estados de mar registrados por la sonda ADV Triton en el período de 7 de febrero al 20 de marzo de 2007. En la tabla 4-1 y gráfica 4-2 se presenta el resumen de resultado de las variables  $H_s(\text{m})$ ,  $T_p(\text{s})$ ,  $\theta_m(\text{deg})$  y  $F(\text{KW}/\text{m})$ , por cada día para el mes de febrero, y en la tabla 4-2 y gráfica 4-3 los resultados para el mes de marzo.

---

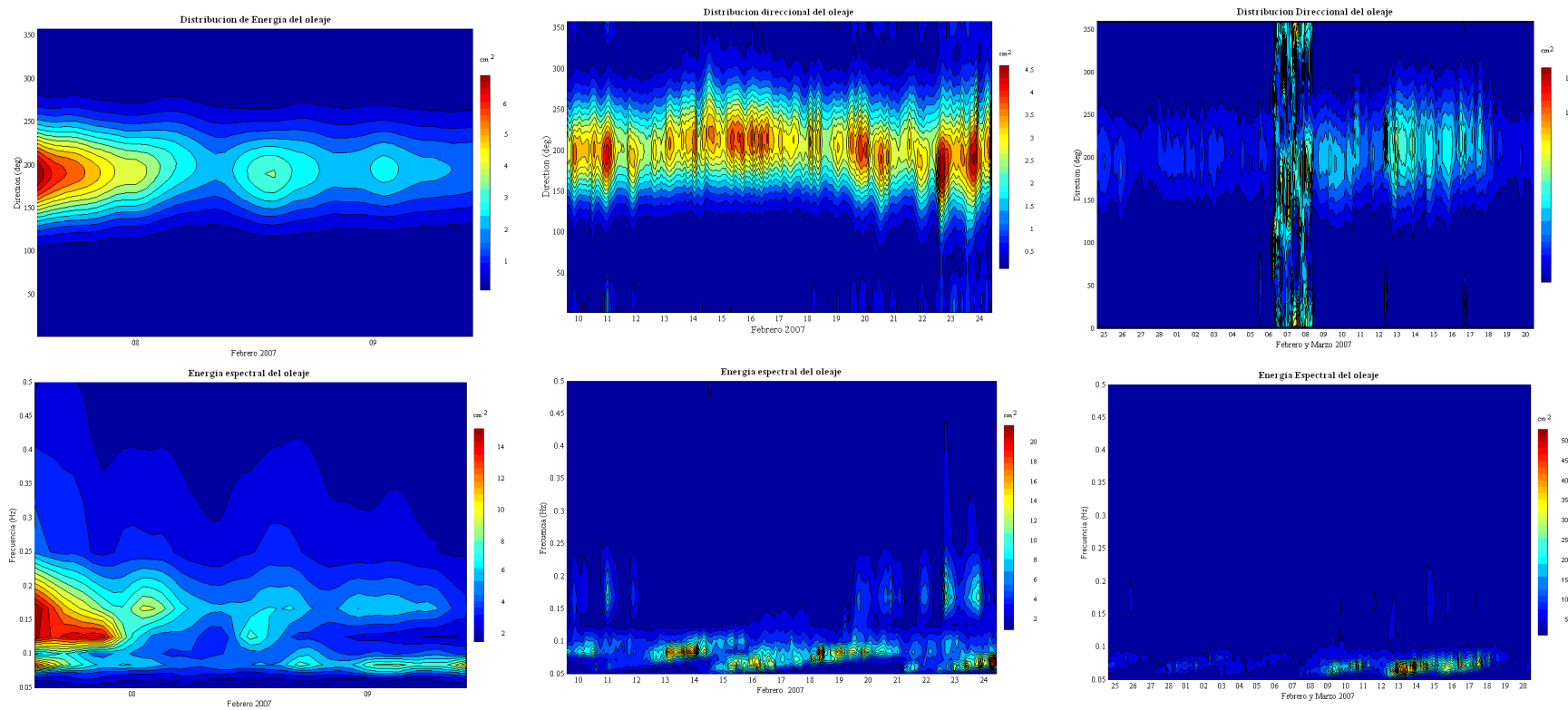
<sup>265</sup> Condición que obliga a cortar los registros de oleaje en intervalos de tiempo relativamente cortos (900 s), pero con suficiente duración como para dar fiabilidad a la estadística.

<sup>266</sup> Función de densidad espectral direccional, de la superficie libre del mar, la cual representa la energía total promediada en el tiempo existente en cada intervalo de frecuencia y en cada intervalo de dirección del oleaje irregular.

<sup>267</sup> Media aritmética del tercio de olas más altas del conjunto del número de olas del registro.

<sup>268</sup> Como lo explicado en el capítulo 2, página 41.





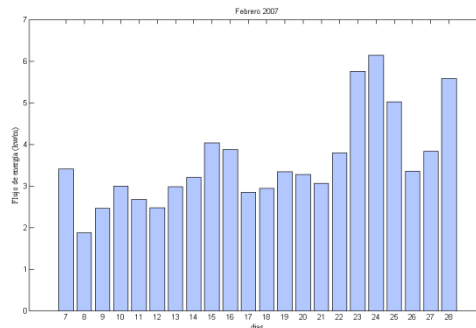
Gráfica 4-1: Resultados obtenidos con la sonda oceanográfica ADV Triton, en el periodo comprendido del 7 de febrero al 20 de marzo de 2007<sup>269</sup>, en las gráficas de arriba esta representado el espectro direccional de energía, que no es más que la distribución de la energía en un rango de direcciones. Y en las gráficas de abajo esta representado el espectro frecuencial del oleaje marino costero en la zona de estudio, en donde se visualiza la distribución de la energía en diferentes bandas de frecuencia.

<sup>269</sup> Distribución de energía espectral del oleaje, procesado por el software View Triton.

Al descargarse con el software View Triton todos los registros de: altura significativa de la ola  $H_s$ , período pico  $T_p$ , y dirección media de propagación del oleaje  $\theta_m$ , se procede con el software MatLab (programa interactivo para realizar cálculos numéricos, gráficas, etc.) a generar una base de datos, con los parámetros del oleaje,  $H_s$ ,  $T_p$  y  $\theta_m$  para calcular el flujo de energía por metro lineal de frente de onda<sup>270</sup>, en cada estado de mar muestreado, y clasificarlo en base a los diferentes estados de transiciones de mareas, fases lunares, flujos de energías en el día y noche, y eventos típicos.

Tabla 4-1: Promedio de flujo energético en febrero de 2007, Playa Mizata, datos de sonda oceanográfica ADV Triton.

Fecha	Hs (m)	Tp (s)	$\theta_m$ (°)	F (KW/m)	Fecha	Hs (m)	Tp (s)	$\theta_m$ (°)	F (KW/m)
07/01/1900	0.96	7.97	190.18	3.41	18/01/1900	0.68	13.69	212.40	2.94
08/01/1900	0.71	8.05	200.22	1.88	19/01/1900	0.76	12.48	211.04	3.34
09/01/1900	0.67	12.08	212.54	2.46	20/01/1900	0.76	12.25	217.70	3.28
10/01/1900	0.74	12.08	216.99	2.99	21/01/1900	0.70	13.43	220.60	3.06
11/01/1900	0.69	12.07	215.08	2.68	22/01/1900	0.82	12.49	221.39	3.80
12/01/1900	0.63	13.28	208.10	2.47	23/01/1900	0.92	14.75	231.01	5.75
13/01/1900	0.71	12.88	211.60	2.98	24/01/1900	0.95	14.91	215.67	6.14
14/01/1900	0.75	12.38	204.81	3.21	25/01/1900	0.92	13.07	204.19	5.02
15/01/1900	0.75	15.37	218.71	4.03	26/01/1900	0.73	13.41	208.75	3.35
16/01/1900	0.75	14.85	219.33	3.87	27/01/1900	0.74	15.02	215.39	3.83
17/01/1900	0.67	13.65	212.89	2.85	28/01/1900	0.88	15.30	204.47	5.58
Promedio						0.77	12.98	212.41	3.59



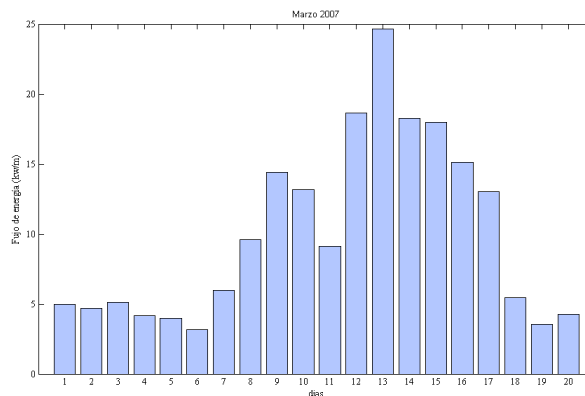
Gráfica 4- 2: Resultado de flujo de energía para el mes de febrero de 2007<sup>271</sup>.

<sup>270</sup> Utilizando un espectro JONSWAP y las variables  $H_s$  y  $T_p$  como lo explicado en el capítulo 2 de teorías del oleaje.

<sup>271</sup> Gráfica elaborada en software MatLab 6.5.

Tabla 4-2: Promedio de flujo energético en marzo de 2007, Playa Mizata, datos de sonda oceanográfica ADV Triton.

Fecha	Hs (m)	Tp (s)	$\theta_m$ (°)	F (KW/m)
01/03/2007	0.86	14.52	203.45	5.00
02/03/2007	0.86	13.71	206.58	4.71
03/03/2007	0.88	14.26	213.61	5.10
04/03/2007	0.79	14.40	210.87	4.18
05/03/2007	0.80	13.52	203.06	4.00
06/03/2007	0.74	12.51	191.31	3.17
07/03/2007	0.89	15.84	212.15	5.96
08/03/2007	1.15	15.55	220.09	9.60
09/03/2007	1.41	15.69	208.63	14.42
10/03/2007	1.37	15.02	209.36	13.16
11/03/2007	1.17	14.40	218.52	9.12
12/03/2007	1.55	16.24	221.33	18.66
13/03/2007	1.83	15.78	221.30	24.63
14/03/2007	1.63	14.87	229.55	18.27
15/03/2007	1.60	15.05	223.11	17.97
16/03/2007	1.49	14.73	228.87	15.11
17/03/2007	1.40	14.10	222.68	13.04
18/03/2007	0.94	12.91	216.42	5.47
19/03/2007	0.77	12.77	217.60	3.55
20/03/2007	0.78	15.13	223.87	4.26
Promedio	1.15	14.55	215.12	9.97



Gráfica 4-3: Resultado de flujo de energía para el mes de marzo de 2007<sup>272</sup>.

<sup>272</sup> Gráfica elaborada en software MatLab 6.5.

#### 4.4.3 Análisis e interpretación de los resultados.

En el período de medición, comprendido entre el 7 de febrero al 20 de marzo de 2007, la sonda ADV Triton se recolectaron un total de 975 muestras, que representan estados de mar<sup>273</sup>, representativos para la muestra de medición continua durante 15 minutos por cada hora, a partir de los cuales se hace el cálculo del potencial energético del oleaje marino, en la zona de estudio (playa Santa María Mizata, km 87.5 Carretera Litoral, La Libertad) con lo cual se caracteriza la zona.

Entre los resultados que se obtuvieron en el proceso de medición, se analizó la tendencia de la altura significativa<sup>274</sup> de ola  $H_s$ , el período pico  $T_p$ , y la dirección del frente de la ola  $\theta_m$  respecto a las 975 muestras recolectadas por la sonda oceanográfica ADV Triton, clasificándolas mediante el mayor números de ocurrencias. En la gráfica 4-4, se muestra la relación  $H_s$  y el número de muestras registradas en todo el período de medición<sup>275</sup>. A partir de esto se establecen olas con altura desde 0.72 m hasta 0.88 m, que representa el 36.41 % de las 975 muestras recolectadas como se muestra en el evento B, ver tabla 4-3, y un mínimo de ocurrencias con alturas de olas de 1.89 m a 2.23 m, representando 1.44% del muestreo total en el evento E, los demás resultados de alturas de olas, registrados durante la medición también se presentan en la tabla 4.3.

---

<sup>273</sup> Intervalos de tiempo en los que se dividen los registros de oleaje para su análisis.

<sup>274</sup> Media aritmética del tercio de olas más altas del conjunto de N olas del registro.

<sup>275</sup> Resultados procesados con el software MatLab, versión 6.5.

Tabla 4-3: Resumen de resultados de altura de ola.

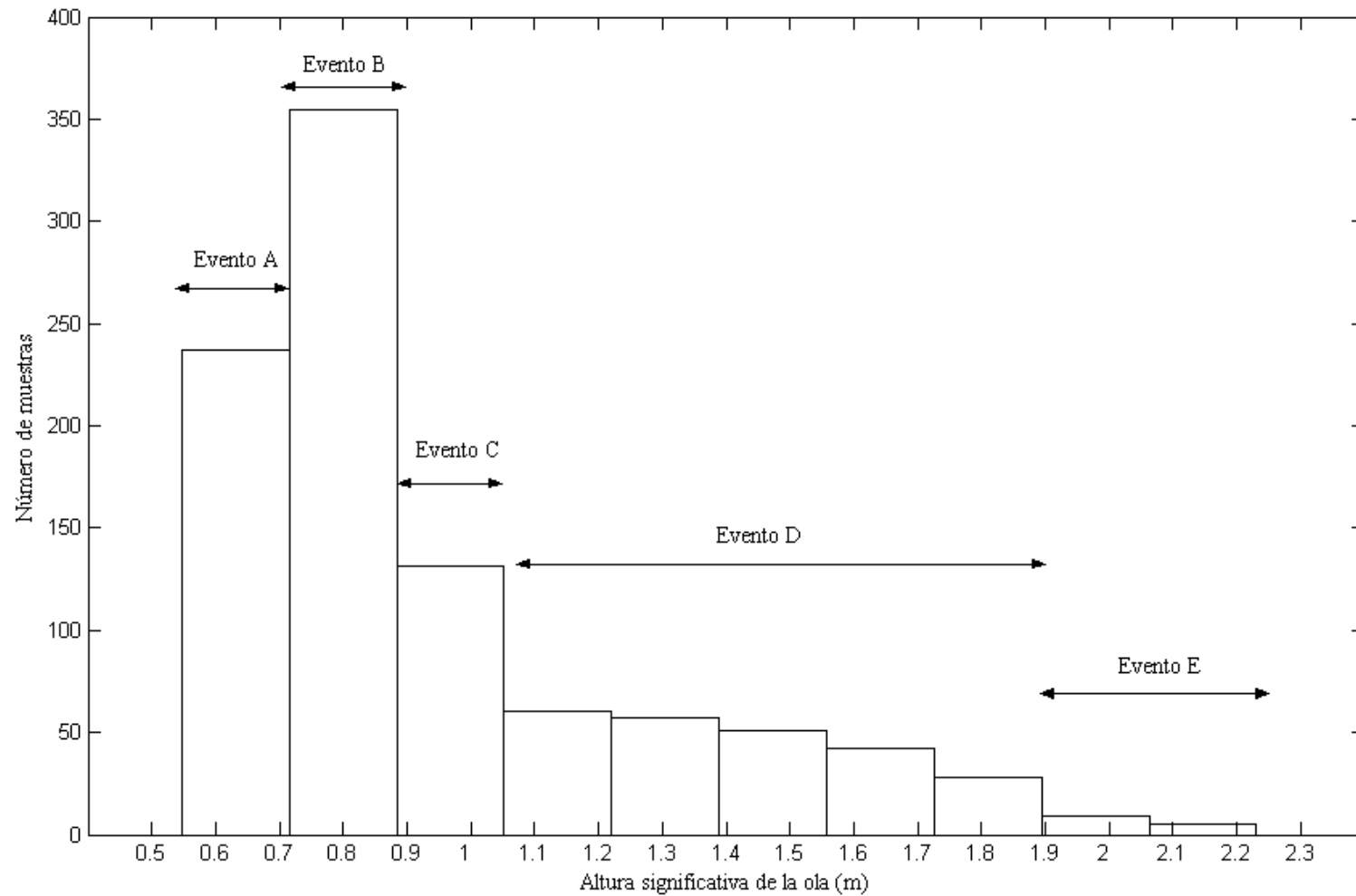
Eventos	Intervalo de altura de la ola (m)	Número de muestras	Porcentaje del muestreo total
A	0.55 a 0.72	237	24.31 %
B	0.72 a 0.88	355	36.41 %
C	0.88 a 1.05	131	13.44 %
D	1.05 a 1.89	238	24.41 %
E	1.89 a 2.23	14	1.44 %

La relación período de ola,  $T_p$  y el número de muestras, se presenta en la gráfica 4-5, y clasificando en base al mayor número de ocurrencias por medio de eventos se puede constatar en la etapa de medición, que en el evento E se dieron los períodos pico, donde la energía espectral es máxima, y sus magnitudes oscilaron entre 12.15 s a 15.66 s, en el 73.54% del muestreo total, mientras que el mínimo número de ocurrencias de medición registraron períodos de 8.64 s a 10.98 s, representa el 0.21 % de las 975 muestras almacenadas en el período de medición. Por lo tanto, en base a la investigación teórica, explicada en el capítulo 2, tabla 2.13 página 37, se pudo comprobar que el intervalo del período de duración obtenido en la medición comprendida entre el 7 de febrero al 20 de marzo de 2007 fue de 6.3 s a 18 s, ver gráfica 4-5, por lo que el tipo de olas son clasificadas por gravitatorias<sup>276</sup>, en las costas cercanas a playa Santa María Mizata, las cuales son las que liberan la mayor energía. En la tabla 4.4 contiene el resumen de los períodos obtenidos durante la medición.

Tabla 4-4: Resumen de resultados del período del oleaje.

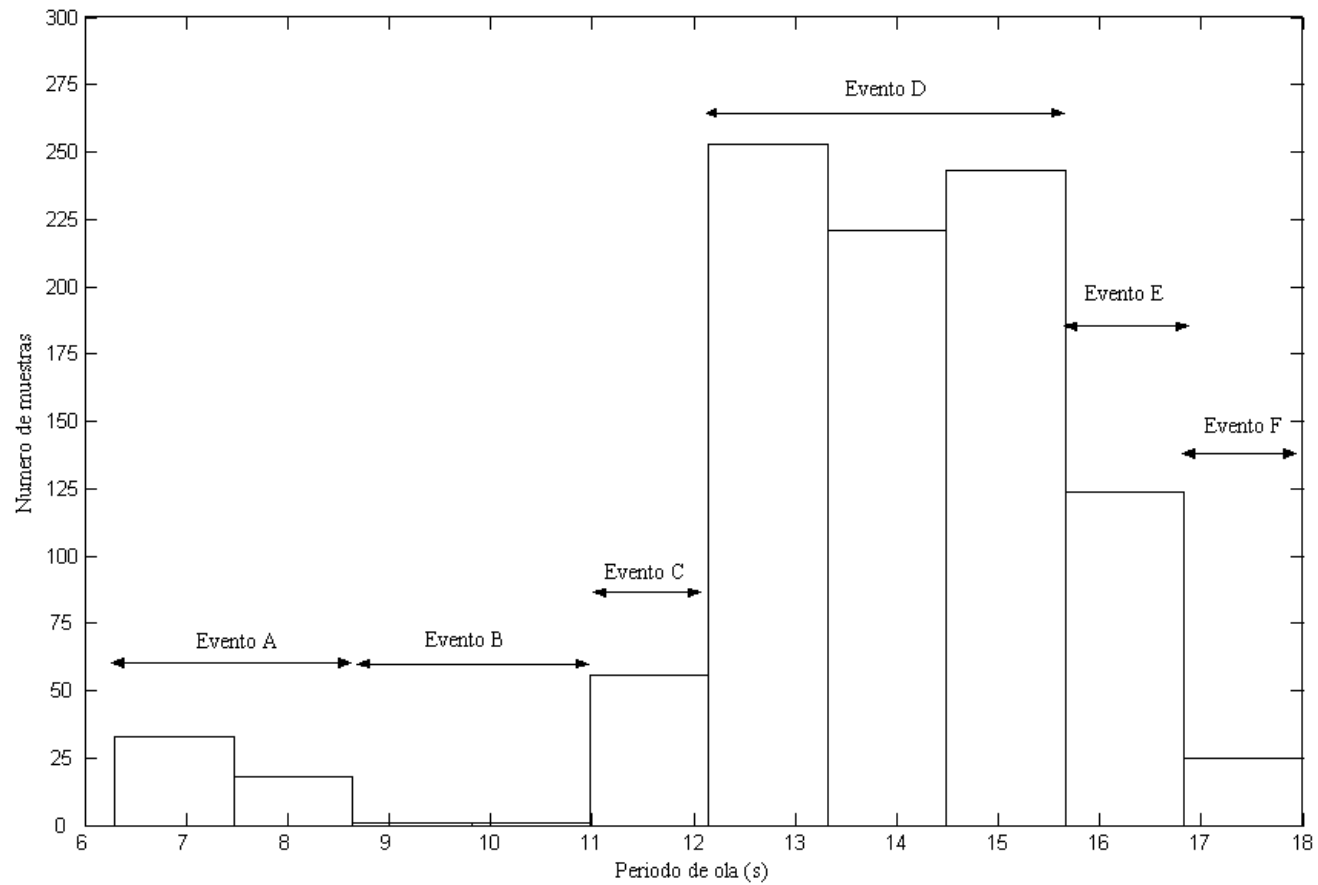
Eventos	Intervalo de Período pico(s)	Número de muestras	Porcentaje del muestreo total
A	6.3 a 8.64	41	4.21%
B	8.64 a 10.98	2	0.21%
C	10.98 a 12.15	56	5.74%
D	12.15 a 15.66	717	73.54%
E	15.66 a 16.83	124	12.72%
F	16.83 a 18.00	35	3.59%

<sup>276</sup> Llamadas así, porque la fuerza generadora, es la fuerza gravitatoria.



Gráfica 4-4: Altura significativa de la ola, procesada durante el período de medición comprendido entre el 7 de febrero al 20 de marzo de 2007<sup>277</sup>.

<sup>277</sup> Gráfica elaborada en software MatLab 6.5.



Gráfica 4-5: Período de la ola, procesada durante el período de medición comprendido entre el 7 de febrero al 20 de marzo de 2007<sup>278</sup>.

<sup>278</sup> Gráfica elaborada en software MatLab 6.5.

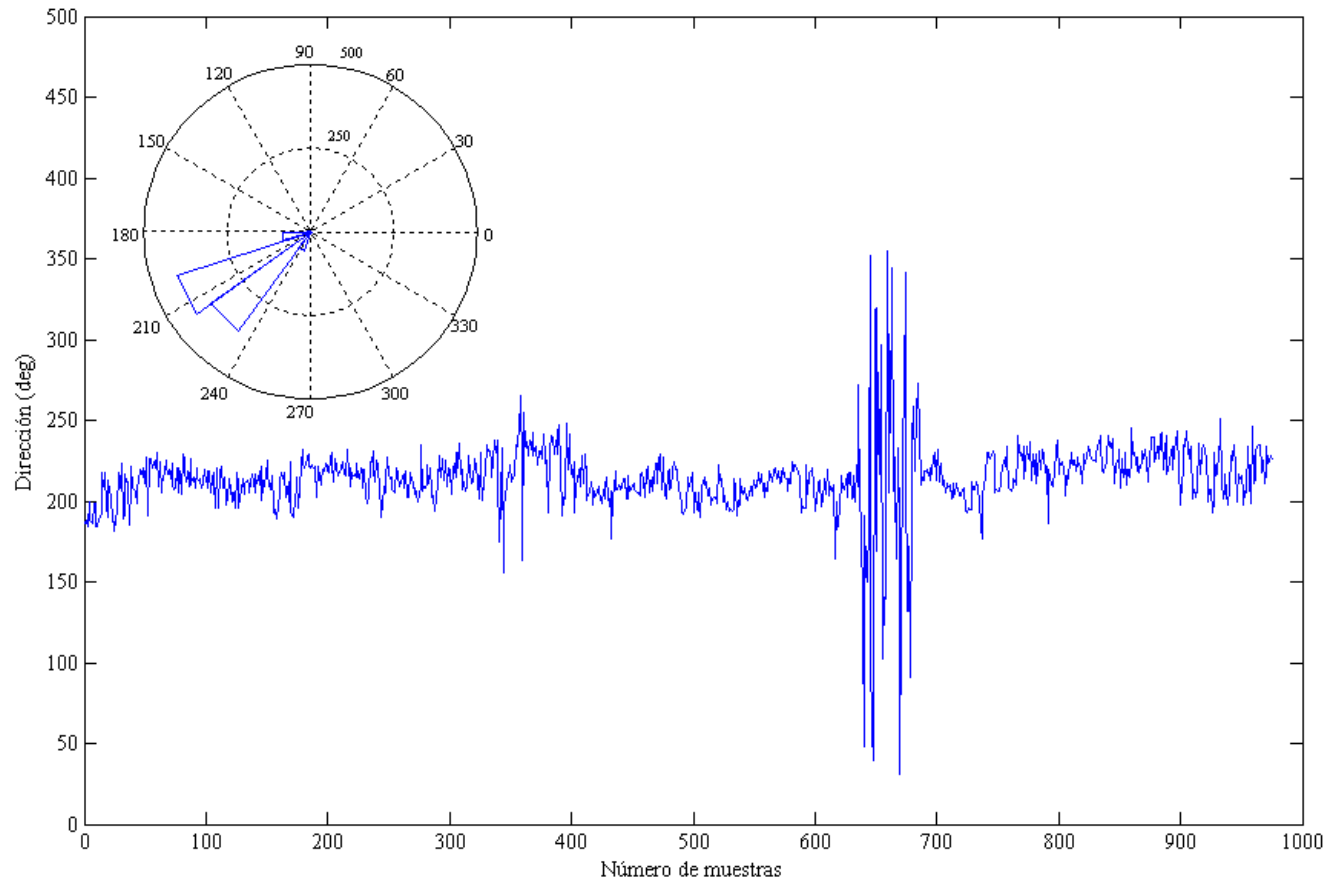
Las variaciones de las direcciones del oleaje, obtenidas durante el período de medición en la zona de estudio, ver gráfica 4-6, esta indica que la dirección del oleaje predominante osciló entre 207° y 225° excepto en las muestras 640 a 690 registradas que corresponden a los días 6 y 8 de marzo de 2007, donde la dirección osciló entre 48.26° y 354.85° debido a una alta presión en Texas, Estados Unidos, produciendo en el país una situación de "Vientos Nortes" ver anexo A4-14. Ocasionando el aumento en la altura del oleaje, en consecuencia, aumento en el flujo energético. En la tabla 4.5 se presenta el resumen de resultados obtenidos de las direcciones del oleaje, durante el período de medición.

Tabla 4-5: Resumen de resultados de las direcciones del oleaje, durante el período de medición.

Dirección del oleaje S W	Número de muestras	Porcentaje del muestreo total
9°	85	9%
27°	422	43%
45°	367	38%
64°	60	6%
NW, NE, SE	41	4%

En la grafica 4.7, se muestra, la rosa de oleaje, se observan 3 direcciones de oleaje, características, siendo las alturas de ola más representadas las de 0.75 m a 1.25 m. tanto en intensidad y frecuencia de aparición. Las direcciones que se muestran en la rosa de oleaje son de S 9° W, S 27° W y S 45° W con ocurrencias de 9%, 43%, y 38% respectivamente de las 975 muestras censadas. Además, se puede visualizar en la rosa de oleaje que los frente de olas con mayor altura, son los que provienen de la dirección S 45° W, con 23 ocurrencias de las 975 muestras y altura promedios representativos de 1.75 m a 2.25 m.

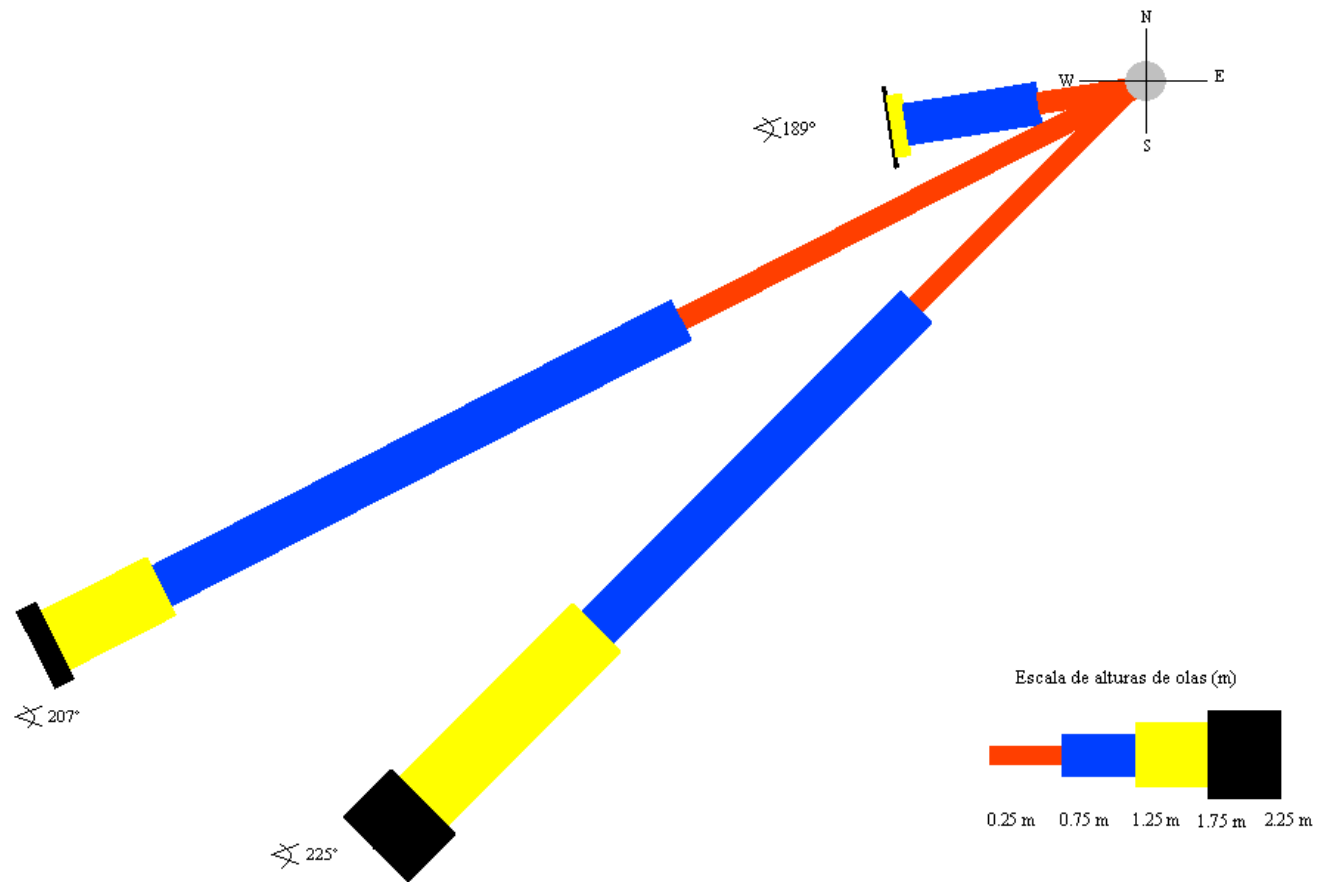




Gráfica 4-6: Dirección del oleaje procesada durante el período de medición comprendido entre el 7 de febrero al 20 de marzo de 2007<sup>279</sup>.

---

<sup>279</sup> Gráfica elaborada en software MatLab 6.5.



Gráfica 4-7: Rosa de oleaje representativa durante el período de medición comprendido entre el 7 de febrero al 20 de marzo de 2007.  
 Nota: el ancho representa el intervalo de la altura de ola, y la longitud representa la ocurrencia de eventos<sup>280</sup>.

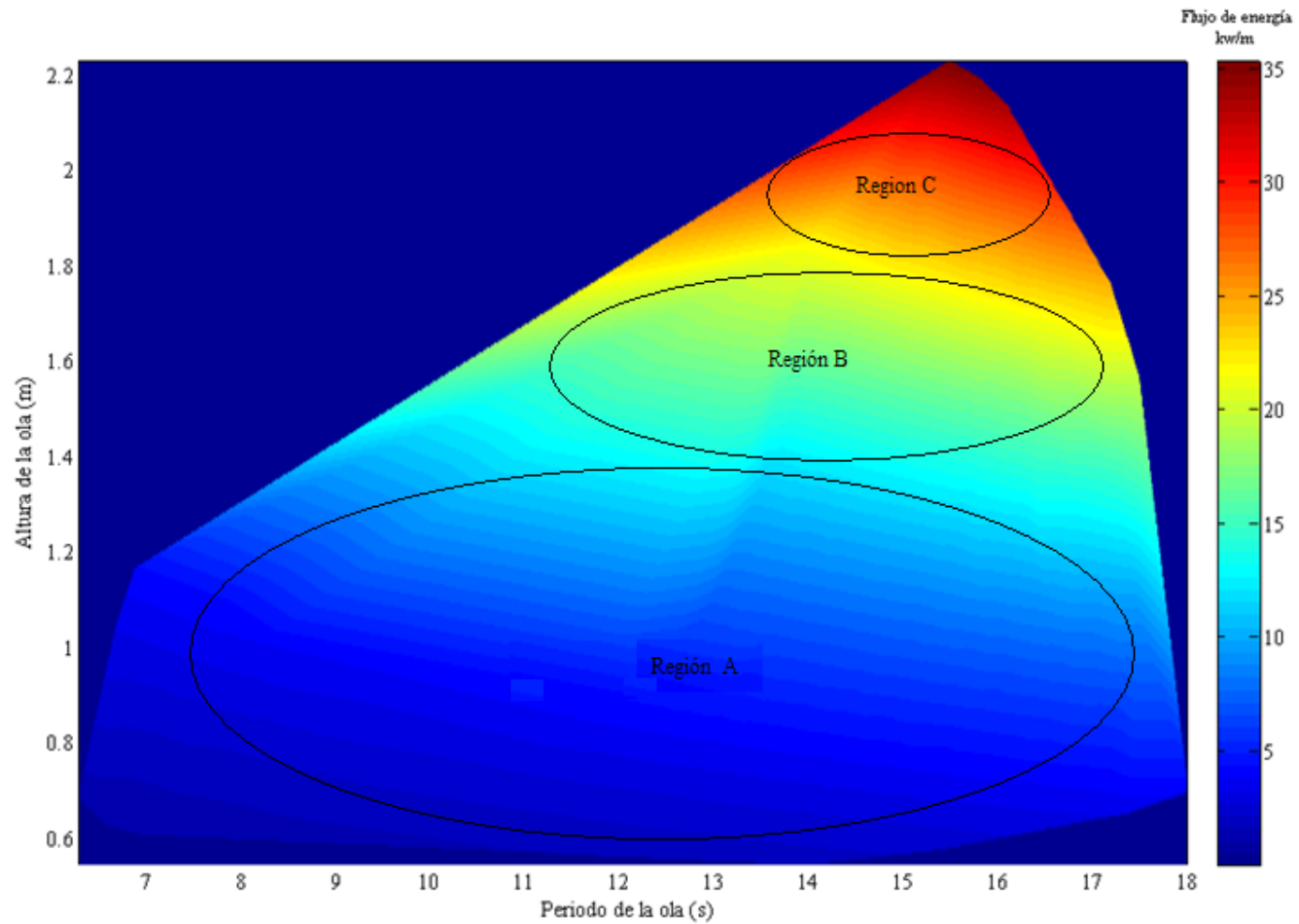
<sup>280</sup> Gráfica elaborada en AutoCad 2004.

Por lo tanto los resultados obtenidos durante la medición en el período del 7 de febrero al 20 de marzo de 2007, de las variables principales que caracterizan el oleaje en las cercanías de la playa de Santa María Mizata, Kilómetro 87.5 de la carretera El Litoral, departamento La Libertad, presenta promedios de alturas de olas de 0.72 m, con períodos promedios de 13.9 s, pasando en promedio 65 olas por muestras, ó 5 olas por minuto y con dirección promedio de S 27° W predominante. Con las variables características del oleaje, representativas de la zona de estudio:  $H_s$  y  $T_p$ , censadas por la sonda oceanográfica ADV Triton durante el período de medición del 7 de febrero al 20 de marzo de 2007, se calculó el flujo de energía en KW/m. En la gráfica 4-8, se presenta el espectro de flujo de energía en función de la altura de ola y el período pico, se puede observar la variación del flujo de energía al variar la altura y periodo de la ola. El flujo máximo de energía se concentra, en los períodos de 13 s a 17 s. En la gráfica 4-9, se muestra la distribución del flujo de energía en función de la altura y dirección de propagación del oleaje, donde la mayor concentración de energía se da entre las direcciones 189° y 250°. Las regiones A, B y C, señaladas en las gráficas 4-8 y 4-9, tienen una relación con el número de ocurrencias muestreadas en el periodo de medición. Por ejemplo, para la región A, existe un mayor número de muestras que las demás regiones (B y C) que presentan las siguientes características: alturas de ola entre 0.6 m y 1.3 m, periodos entre 7 s y 17.6 s, direcciones de propagación del frente de onda entre 50° y 325°, y flujo de energía entre 3 KW/m y 15 KW/m.

La variación del flujo de energía durante el día y la noche, presenta los siguientes resultados: de las 975 muestras registradas por la sonda oceanográfica ADV Triton, durante el período de medición, 483 muestras corresponden al día y 492 muestras a la noche. En la gráfica 4-10, se muestran la tendencias de los flujos de energías tanto para el día como para la noche, donde el 54.2 % del muestreo total, indica que el flujo energía para el día fue de 2.75 KW/m, mientras que para la noche fue de 2.89 KW/m, al relacionar los dos casos, se constata que

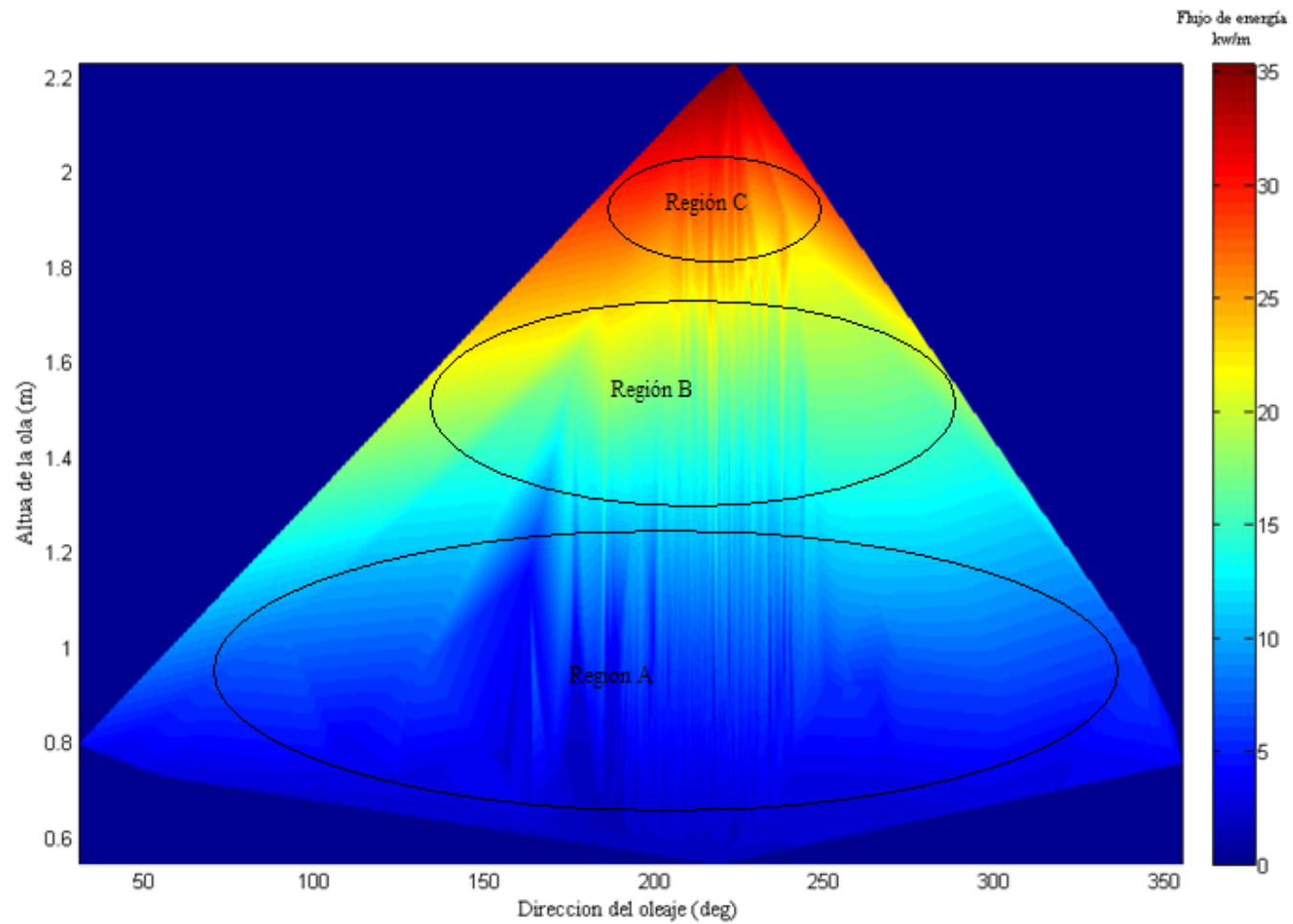
el flujo de energía en la noche es 1.1 veces mayor que en el día. Esta relación, se cumple para todos los demás casos comparativos. Por consiguiente, la variación del flujo energético en la noche es 10% mayor que en el día, durante el período de medición comprendido entre el 7 de febrero al 20 de marzo de 2007, en el punto Km 87.5 carretera El Litoral en Santa María Mizata.

Las variaciones del flujo de energía en las transiciones de las mareas, se muestran en la gráfica 4-11 y en el anexo A4-15, se muestran los valores respectivos del nivel de marea para todo el período de medición. En la grafica 4-11 se puede observar que la variación del flujo energético, en todo el período de medición comprendido entre el 7 de febrero al 20 de marzo de 2007, tiene las siguientes tendencias: entre la primera transición (marea alta 1 a marea baja 1), el flujo energético de la marea baja 1 es 3% más que el de la marea alta 1. En la transición 2, (marea baja 1 a marea alta 2), el flujo energético de la marea baja 1 es 14% mayor que el de la marea alta 2. Mientras que en la transición 3 (marea alta 2 a marea baja 2), el flujo energético de la marea baja 2 es 20% mayor que el de la marea alta 2 y en la transición 4 (marea baja 2 a marea alta 1), el flujo energético de la marea baja 2 es 6% mayor que el de la marea alta 1. En la tabla 4-6 se presenta el resumen de la variación del flujo de energía, respecto a las transiciones de mareas. Al comparar los flujos energéticos de las marea alta 1 y marea alta 2, se observa en la gráfica 4-11, que la marea alta 1 es 11% mayor que la marea alta 2. Y en el caso de las dos mareas bajas, la marea baja 2 es 3% mayor que la marea baja 1. Por lo tanto, durante el período de medición, el mayor cambio de flujo energético se da en la transición 3 (marea alta 2 a marea baja 2). Lo cual concuerda con lo descrito en el capítulo 2, sobre la variación de la altura del oleaje con respecto a la profundidad. En la tabla 4-7 se presenta el resumen de la variación de energía, entre las dos mareas altas y bajas.



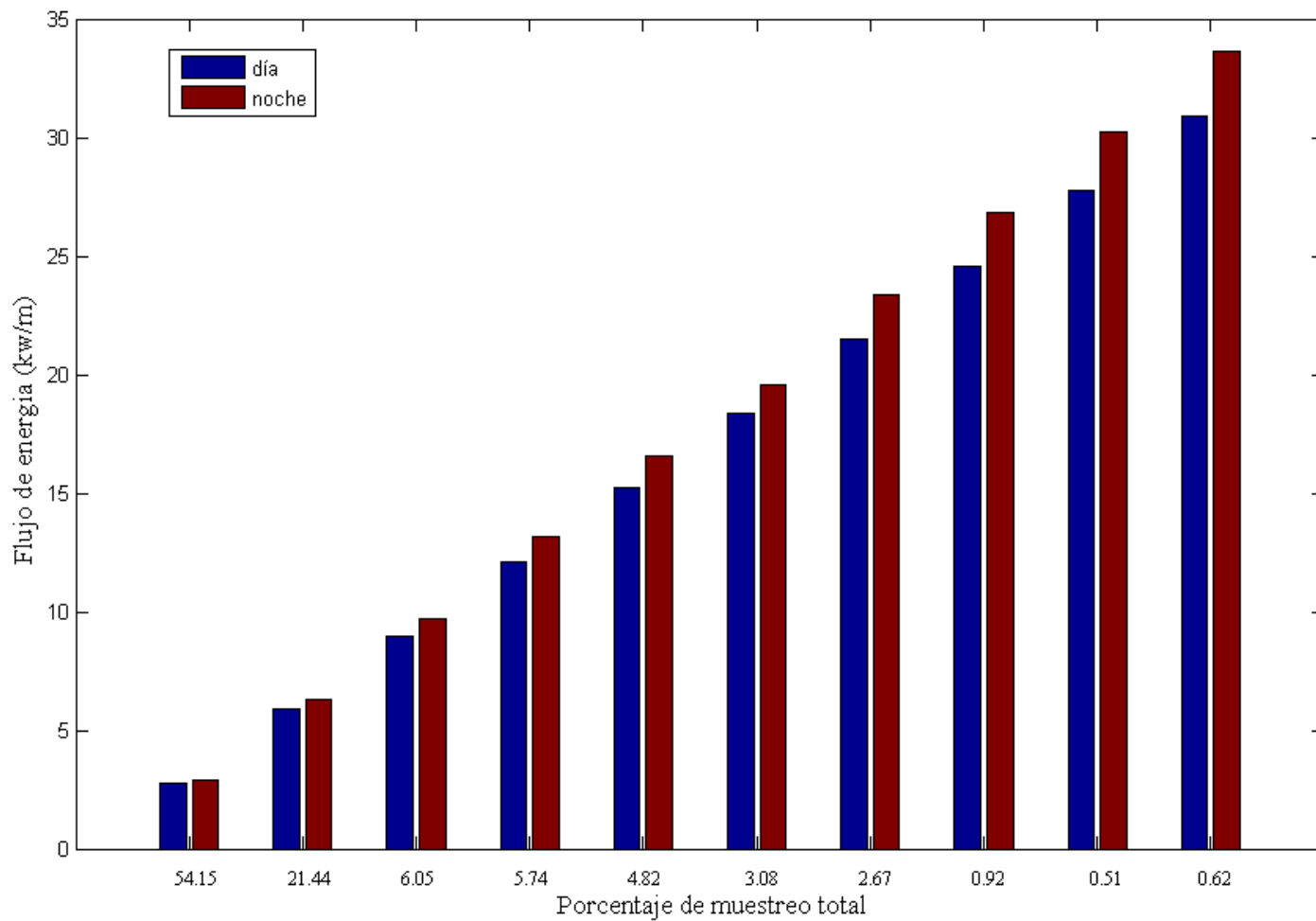
Gráfica 4-8: Flujo de energía característica en la zona de medición en función de la altura y el período pico del oleaje<sup>281</sup>.

<sup>281</sup> Gráfica elaborada en software MatLab 6.5.



Gráfica 4-9: Flujo de energía característica en la zona de medición en función de la altura y la dirección de propagación del oleaje<sup>282</sup>.

<sup>282</sup> Gráfica elaborada en software MatLab 6.5.



Gráfica 4-10: Comparación de los flujos de energía en el día y la noche durante el período de medición comprendido entre el 7 de febrero al 20 de marzo de 2007<sup>283</sup>.

<sup>283</sup> Gráfica elaborada en software MatLab 6.5.

Tabla 4-6: Comparación de flujos de energía en las transiciones de mareas altas y bajas durante el periodo de medición.

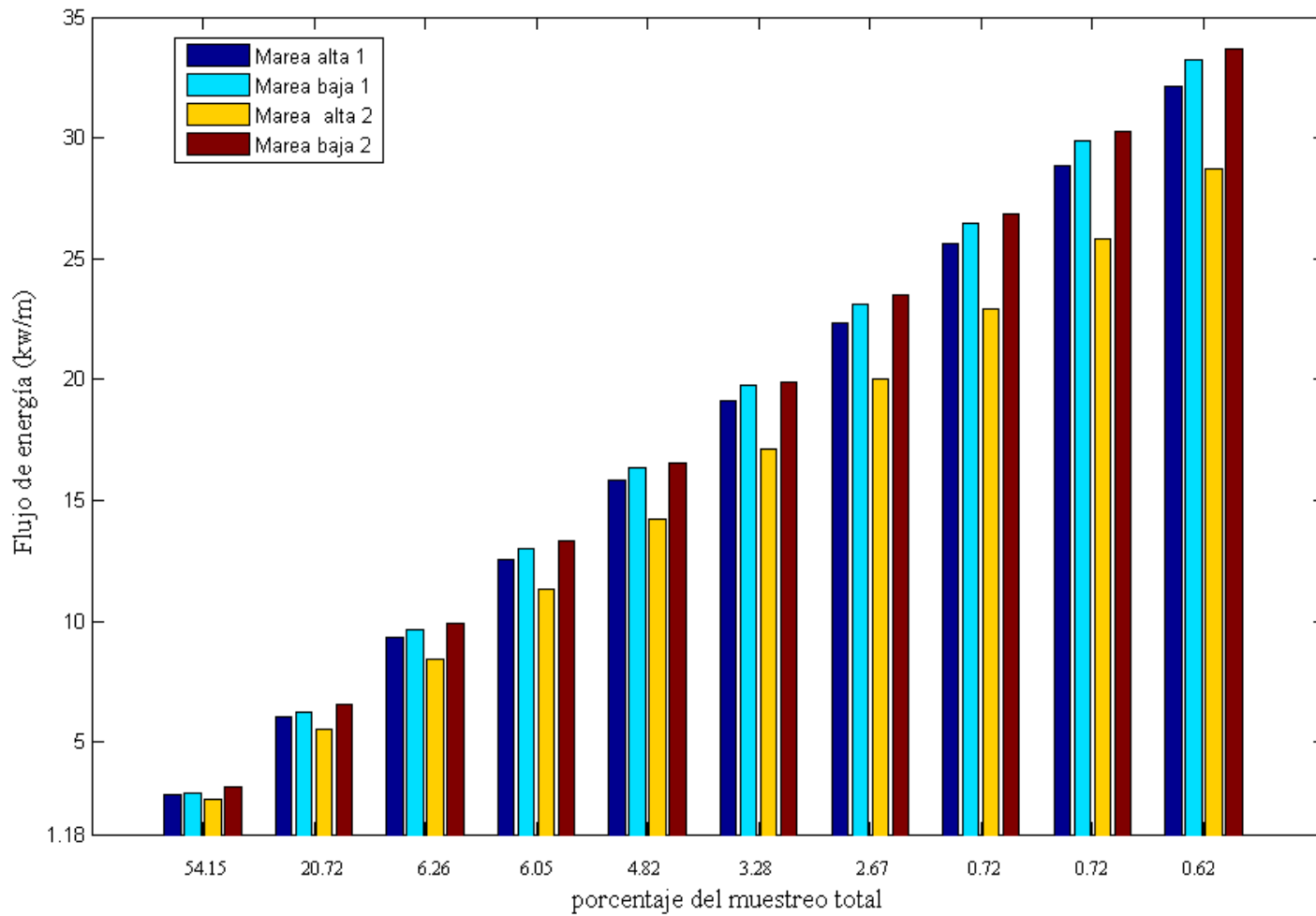
Transición 1 marea alta 1 a marea baja 1		Transición 2 marea baja 1 a marea alta 2		Transición 3 marea alta 2 a marea baja 2		Transición 4 marea baja 2 a marea alta 1	
Flujo de energía alta 1 (KW/m)	Flujo de energía baja 1 (KW/m)	Flujo de energía baja 1 (KW/m)	Flujo de energía alta 2 (KW/m)	Flujo de energía alta 2 (KW/m)	Flujo de energía baja 2 (KW/m)	Flujo de energía baja 2 (KW/m)	Flujo de energía alta 1 (KW/m)
19.1	19.75	19.75	17.13	17.13	19.92	19.92	19.1
15.84	16.37	16.37	14.24	14.24	16.53	16.53	15.84
32.13	33.25	33.25	28.71	28.71	33.68	33.68	32.13
25.62	26.49	26.49	22.92	22.92	26.88	26.88	25.62
28.87	29.86	29.86	25.81	25.81	30.29	30.29	28.87
22.37	23.12	23.12	20.02	20.02	23.49	23.49	22.37
12.58	13	13	11.34	11.34	13.32	13.32	12.58
9.33	9.63	9.63	8.45	8.45	9.92	9.92	9.33
6.07	6.25	6.25	5.55	5.55	6.53	6.53	6.07
2.81	2.86	2.86	2.66	2.66	3.14	3.14	2.81
Promedio	17.5	18.1	18.1	15.7	15.7	18.4	18.4

Tabla 4-7: Comparación de flujos de energía entre las dos mareas altas y las dos mareas bajas.

Transiciones de marea altas		Transiciones de marea bajas	
Flujo de energía alta 1 (KW/m)	Flujo de energía alta 2 (KW/m)	Flujo de energía baja 1 (KW/m)	Flujo de energía baja 2 (KW/m)
2.81	2.66	2.86	3.14
6.07	5.55	6.25	6.53
9.33	8.45	9.63	9.92
12.58	11.34	13	13.32
15.84	14.24	16.37	16.53
19.1	17.13	19.75	19.92
22.37	20.02	23.12	23.49
25.62	22.92	26.49	26.88
28.87	25.81	29.86	30.29
32.13	28.71	33.25	33.68
Promedio	17.5	18.1	18.4

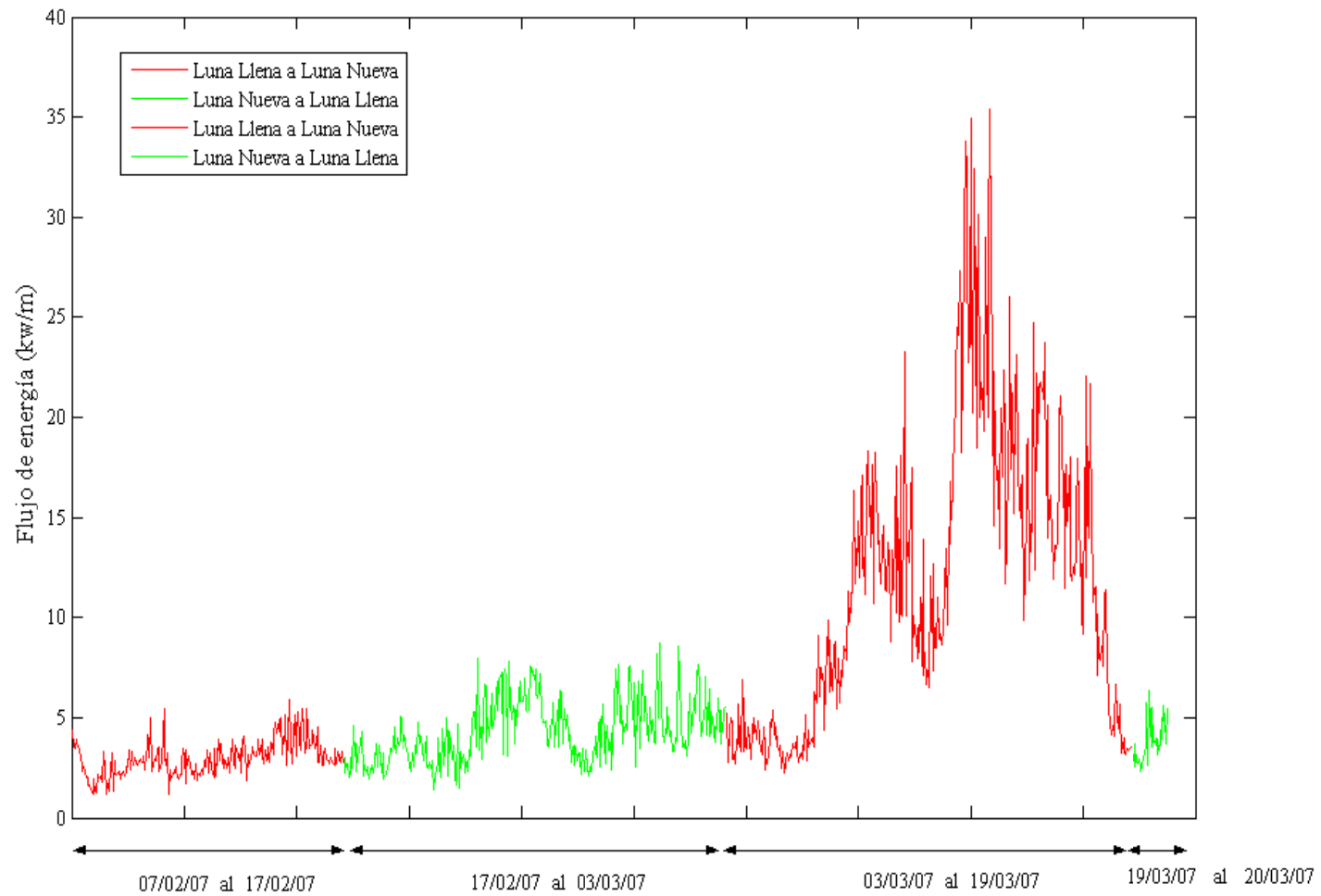


En el período de medición comprendido entre el 7 de febrero al 20 de marzo de 2007 se presentaron 2 transiciones de fases de Luna completa, una transición fue de Luna Nueva a Luna Llena, en el período del 17 de febrero al 3 de marzo de 2007, y la otra de Luna Llena a Luna Nueva, en el período del 3 al 19 de marzo de 2007, y otras dos transiciones de fases lunares fueron parciales, Luna Llena a Luna Nueva, en el período del 7 al 17 de febrero y Luna Nueva a Luna Llena, del 19 al 20 de marzo de 2007, ver anexo A4-16 y ver la gráfica 4-12, en que se presenta la variación del flujo de energía, siendo mayor en la transición de fase de Luna Llena a Luna Nueva de 11.31 KW/m, con un 39.38% del total de muestreo, y la mínima en la misma transición lunar fue 2.98 KW/m con un 23.69% del muestreo total. Las otras dos transiciones lunares presentaron valores de 4.24 KW/m y 3.92 KW/m, ver la gráfica 4-13.



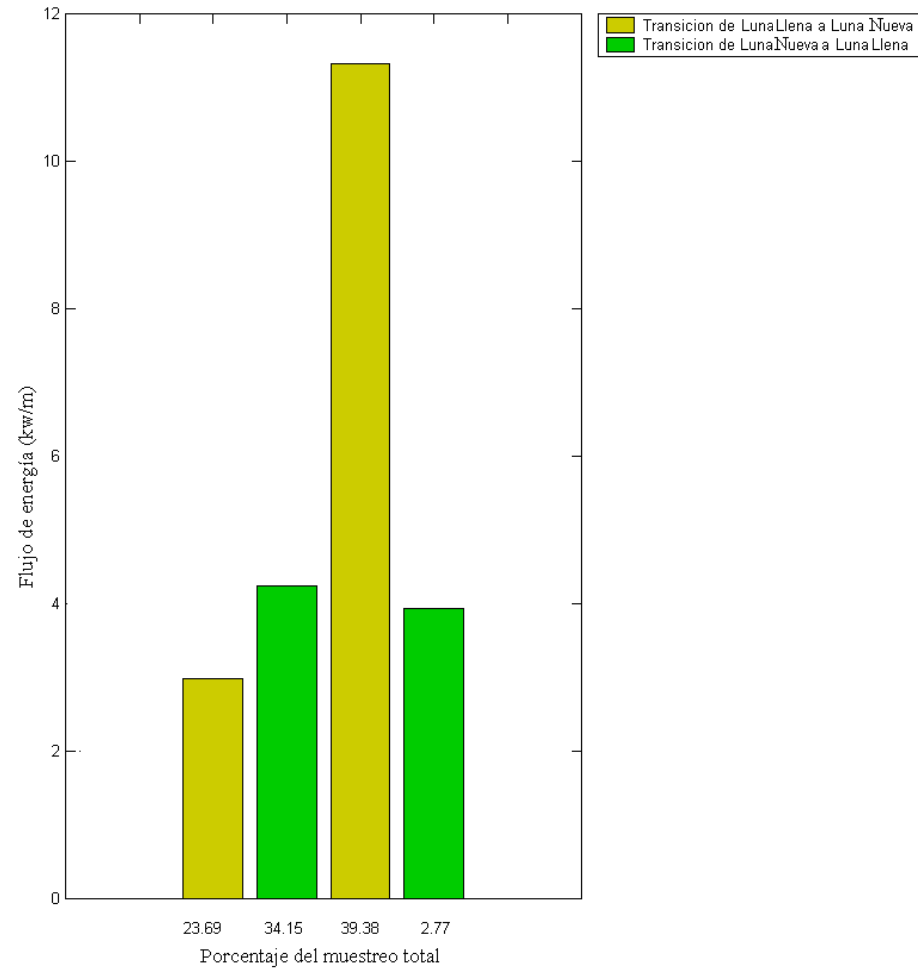
Gráfica 4-11: Comparación de flujos de energía en las diferentes transiciones de mareas durante el período de medición comprendido entre el 7 de febrero al 20 de marzo de 2007<sup>284</sup>.

<sup>284</sup> Gráfica elaborada en software MatLab 6.5.



Gráfica 4-12: Variación del flujo de energía en las transiciones lunares durante el período de medición comprendido entre el 7 de febrero al 20 de marzo de 2007<sup>285</sup>.

<sup>285</sup> Gráfica elaborada en software MatLab 6.5.



Gráfica 4-13: Comparación de flujos de energía entre transición de fases lunares durante el período de medición comprendido entre el 7 de febrero al 20 de marzo de 2007<sup>286</sup>.

<sup>286</sup> Gráfica elaborada en software MatLab 6.5.

La gráfica 4-14, muestra la variabilidad del flujo de energía en la zona de estudio en el período comprendido del 7 de febrero al 20 de marzo de 2007, como puede observarse en esta grafica. Cuatro eventos de gran interés, los cuales han sido clasificados en base a las oscilaciones mostradas, por las variaciones del flujo de energía, durante el período de medición, para el análisis e interpretación de los resultados. En el evento A se registraron durante el período del 7 al 22 de febrero de 2007, 356 muestras, en el que se observó que el flujo de energía, osciló entre 1.42 KW/m y 5.70 KW/m, equivalente a un 36.51% del muestreo total, obteniendo así un promedio de flujo de energía de 3.56 KW/m y un promedio de altura de ola significativa<sup>287</sup> de 0.82 m, ver tabla 4-8. En el evento B de la grafica 4-14, en el período del 22 de febrero al 7 de marzo de 2007, se registraron 304 muestras equivalentes a 34.26% del muestro total, donde se establecen flujos de energía, entre 2.49 KW/m a 9.45 KW/m, con un promedio de 5.97 KW/m y un promedio de 0.87 m de altura de la ola, por lo tanto, al relacionar los eventos A y B, se establece que en el evento B hubo un incremento del flujo de energía de 1.7 veces mayor, que el evento A, y un incremento en la altura de la ola de 1.1 veces mayor que en el evento A, ver tabla 4-8. En el evento C, que presenta la grafica 4-14, durante el período del 7 de marzo al 18 de marzo de 2007, con 265 muestras equivalentes a 22.67% del muestreo, el flujo de energía, osciló entre 7.98 KW/m y 33.92 KW/m, con un promedio de 20.95 KW/m, y un promedio de 1.62 m de altura de ola. En este evento C, se observa un salto brusco de flujo de energía de 5.4 veces mayor que el evento A, y 3.3 veces mayor que el evento B, mientras que la altura de la ola incremento 2 veces mayor que en el evento A y 1.76 veces mayor que en el evento B. Este salto brusco de flujo de energía, y aumento en la altura de la ola, fue debido por una alta presión, ocurrida el 4 de marzo de 2007, en Texas<sup>288</sup>. Ver anexo A4-14. Pero las costas salvadoreñas fueron afectadas hasta el 8 de marzo de 2007, como se observa en

---

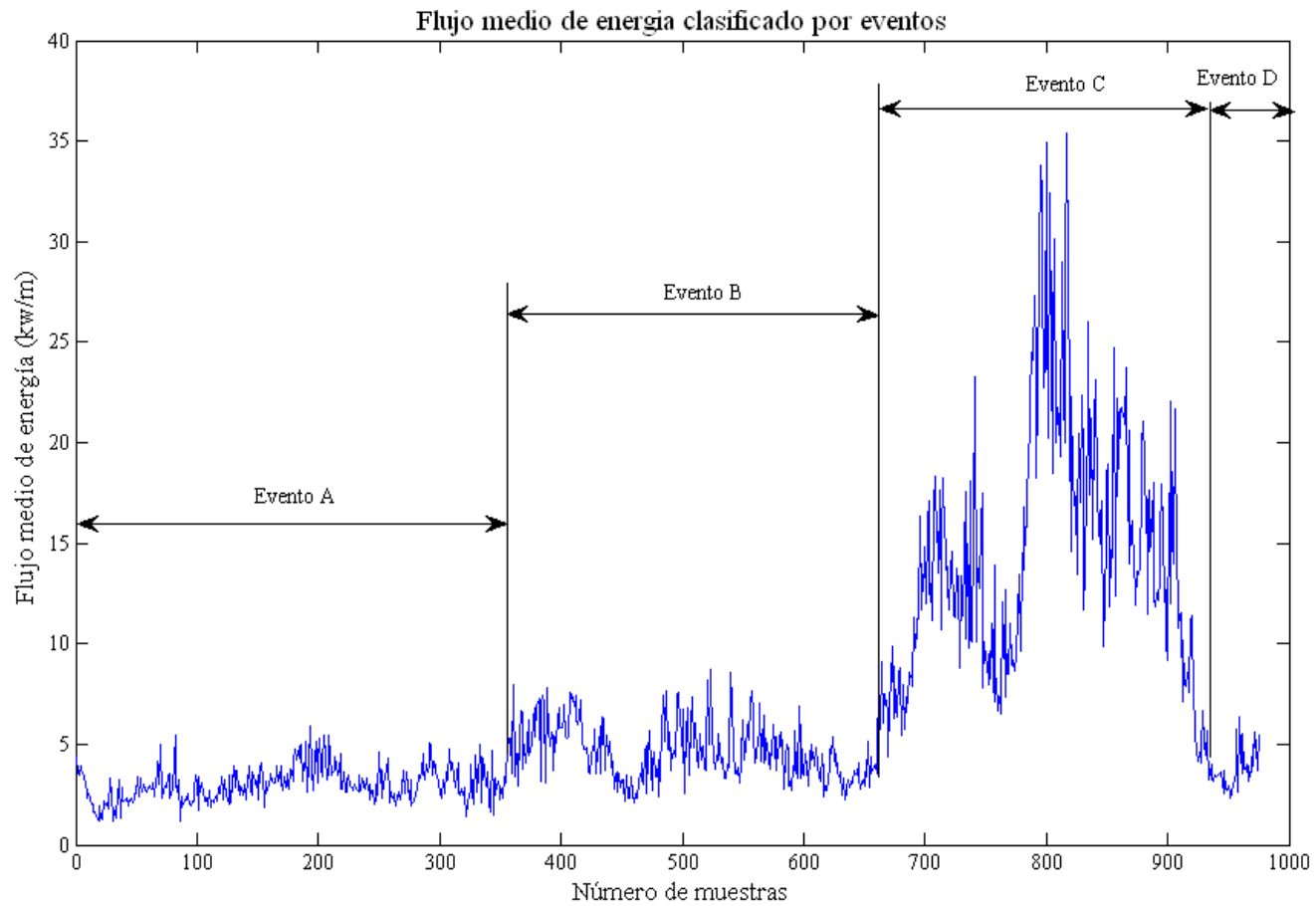
<sup>287</sup> Un tercio de las olas más altas.

<sup>288</sup> Informe Especial SNET No.1. Hora y Fecha de Emisión 2007-03-02, 12:00:00. Pronosticador Responsable: Sidia Sire Marinero Tobar.

la gráfica 4-14, del 8 al 13 de marzo de 2007, el flujo incremento de 11.32 KW/m hasta 35.36 KW/m y posteriormente, disminuyo hasta el 17 de marzo con un flujo energético de 11.51 KW/m. De ahí que, el flujo de energía se ve afectado considerablemente por los cambios climatológicos, que se dan en las zonas de convergencias de masas de aire, ver resumen de datos obtenidos para cada evento en la tabla 4-8. En el período comprendido entre el 18 de marzo de 2007, empieza otro evento y que no se pudo, observar la tendencia, del flujo energético debido a la destrucción de la sonda oceanográfica ADV Triton, por una marejada fuerte en el período del 9 al 13 de abril de 2007, el flujo de energía para este evento parcial, oscilo entre 2.79 KW/m y 10.91 KW/m, hasta el 20 de marzo de 2007, con un promedio de 6.85 KW/m y una altura de ola de 1 m, el flujo en este evento fue 3.3 veces menos que en el evento C y 1.7 veces menos la altura de la ola respectivamente.

Tabla 4-8: Resumen de eventos presentados en base a los cambios de flujos energéticos ocurridos en el periodo de medición, comprendido entre el 7 de febrero al 20 de marzo de 2007.

Evento A 356 muestras		Evento B 304 muestras		Evento C 265 muestras		Evento D 50 muestras	
Flujo de Energía (KW/m)	Altura de la ola (m)	Flujo de Energía (KW/m)	Altura de la ola (m)	Flujo de Energía (KW/m)	Altura de la ola (m)	Flujo de Energía (KW/m)	Altura de la ola (m)
1.42	0.57	2.49	0.61	7.98	1.06	2.79	0.68
1.89	0.63	3.26	0.67	10.86	1.18	3.69	0.75
2.37	0.69	4.04	0.73	13.75	1.31	4.60	0.82
2.85	0.74	4.81	0.79	16.63	1.43	5.50	0.89
3.32	0.80	5.58	0.84	19.51	1.55	6.40	0.96
3.80	0.85	6.36	0.90	22.39	1.68	7.30	1.03
4.27	0.91	7.13	0.96	25.27	1.80	8.20	1.10
4.75	0.96	7.91	1.02	28.16	1.92	9.11	1.17
5.23	1.02	8.68	1.08	31.04	2.05	10.01	1.24
5.70	1.07	9.45	1.14	33.92	2.17	10.91	1.31
<b>Promedio</b>	<b>3.56</b>	<b>5.97</b>	<b>0.87</b>	<b>20.95</b>	<b>1.62</b>	<b>6.85</b>	<b>1.0</b>



Gráfica 4-14: Variación del flujo de energía, clasificado en base a eventos durante el período de medición comprendido entre el 7 de febrero al 20 de marzo de 2007<sup>289</sup>.

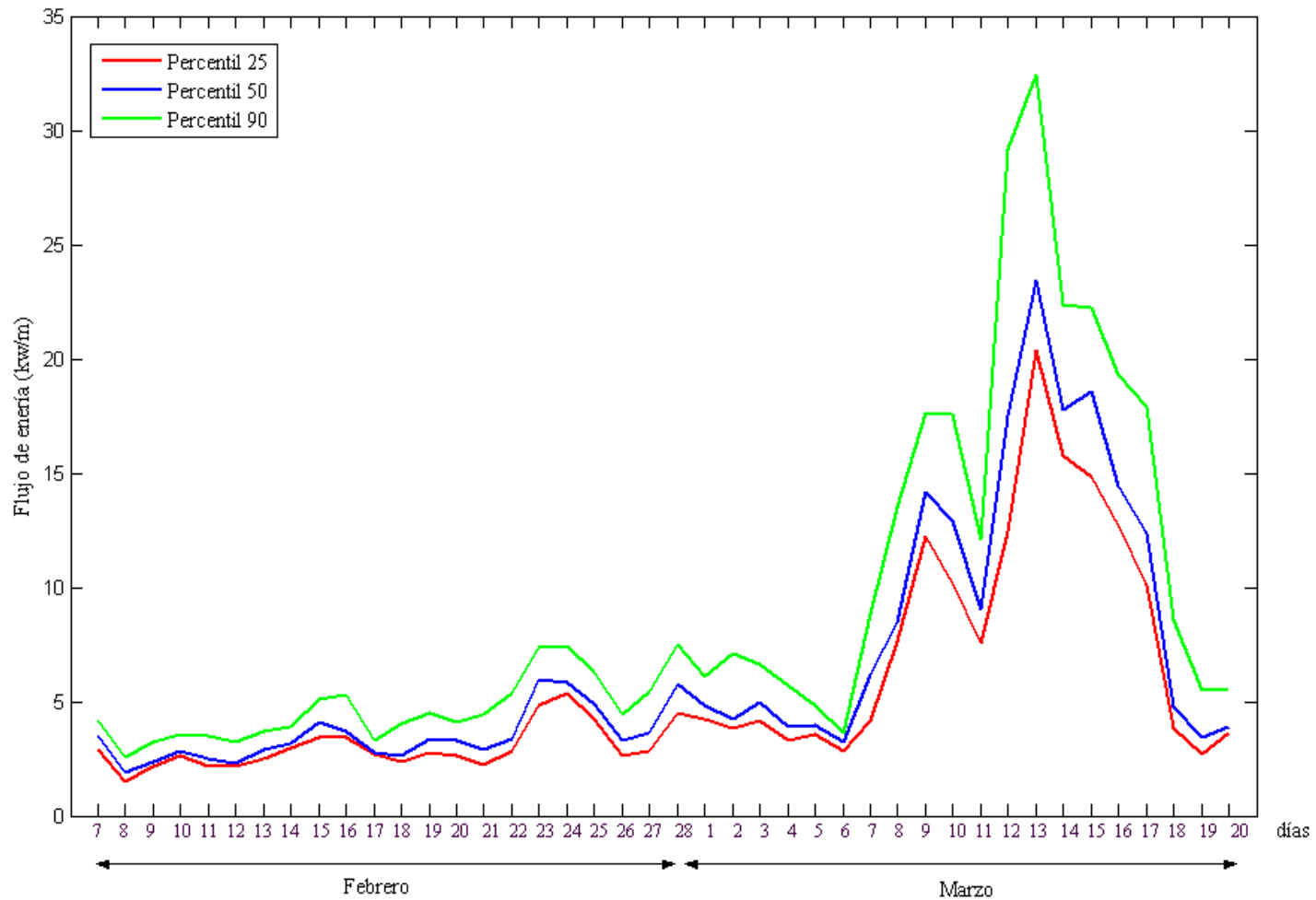
<sup>289</sup> Gráfica elaborada en software MatLab 6.5.

En la gráfica 4-15, se observa el flujo de energía por día, dados en percentiles de 25, 50 y 90. Por ejemplo, en el día 13 de marzo se da el máximo flujo de energía, el percentil 25 indica que 25% de las muestras procesadas, que el flujo estuvo por debajo de 20.36 KW/m y el 75% obtuvo un valor por encima de 20.36 KW/m, del percentil 50, el 50% de las muestras procesadas registraron valores por debajo de 23.42 KW/m, mientras que el percentil 90, el 90% obtuvieron valores de flujos energéticos por debajo de 32.43 KW/m y 10% estuvo por encima de ese valor. Y así se pueden ver las tendencias a lo largo de todo el período de medición comprendido del 7 de marzo al 20 de marzo de 2007.

En base a los resultados obtenidos de las variables características del oleaje, períodos del frente de la ola ( $T_p$ ) y la altura de la ola ( $H_s$ ), durante el período comprendido entre el 7 de febrero al 20 de marzo de 2007, se caracterizó el flujo energético de la zona en estudio, en la cercanía de la playa Santa María Mizata, departamento La Libertad, ver la gráfica 4-16, la cual muestra la tendencia del flujo energético del oleaje en ese punto, para los diferentes valores de  $H_s$  y  $T_p$ , que se registraron por medio de la sonda oceanográfica ADV Triton.

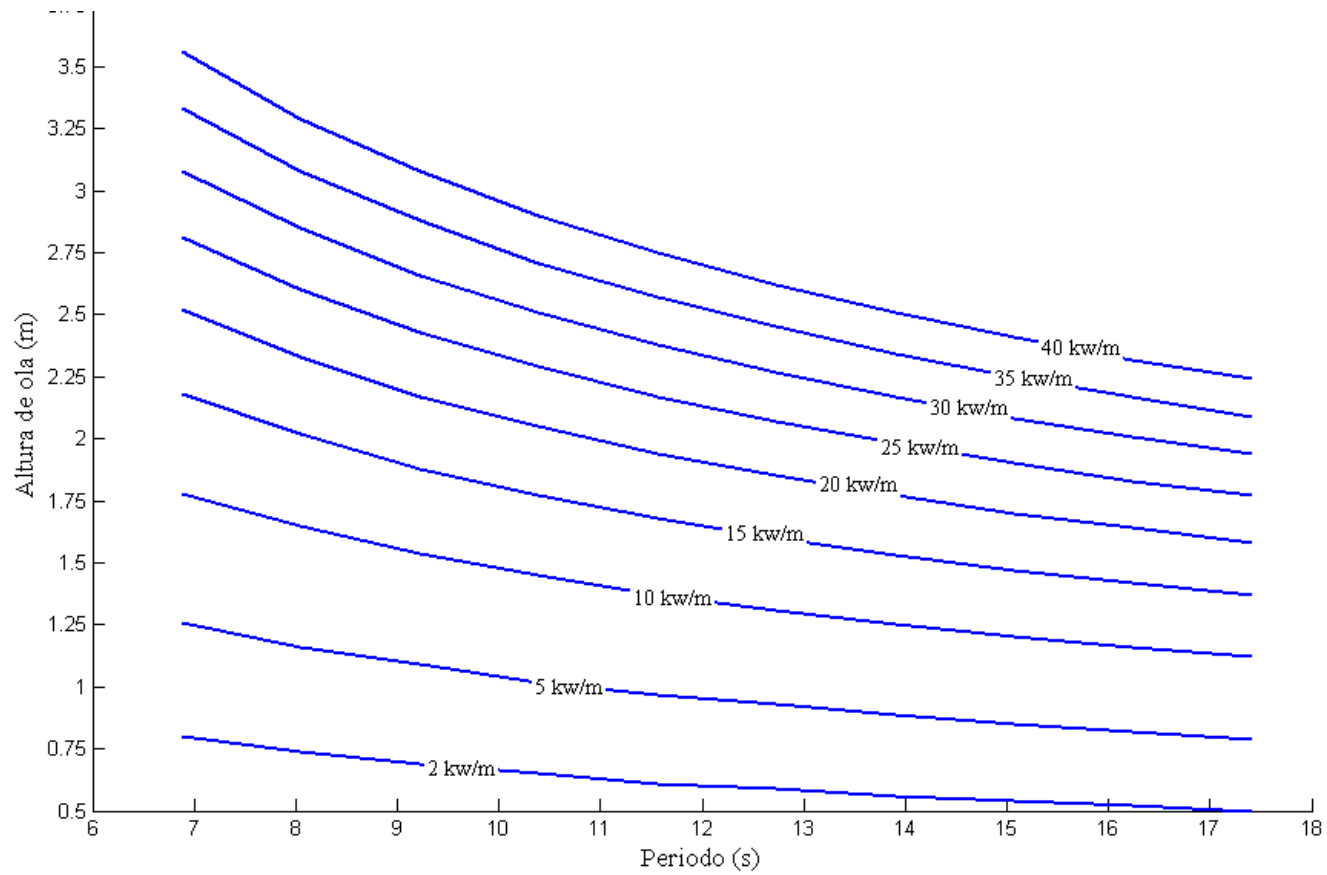
En la gráfica 4-16 se pueden establecer las tendencias del flujo de energía a diferentes estados de  $H_s$  y  $T_p$ . Resultado de ellos son las curvas de 2 KW/m, 5 KW/m, 10 KW/m, 15 KW/m, 20 KW/m, 25 KW/m, 30 KW/m, 35 KW/m y 40 KW/m, en la cual se observan, que a medida se va incrementado el período, todas las curvas de isoflujos van disminuyendo su pendiente, por ejemplo en la curva de 2 KW/m, se observa, que para el período de 7 segundos, la altura de la ola es de 0.80 m y para el período de 17 segundos la altura es de 0.50 m y su pendiente disminuye, por consiguiente para diferentes iso-curvas de flujo de energía en KW/m, se establece que, si el período de la ola aumenta, su la altura significativa disminuye, y esto se cumple para todas las curvas de isoflujos.





Gráfica 4-15: Tendencias de flujos energéticos en percentiles de 25,50 y 90 durante el periodo de medición comprendido entre el 7 de febrero al 20 de marzo de 2007<sup>290</sup>.

<sup>290</sup> Gráfica elaborada en software MatLab 6.5.



Gráfica 4-16: Caracterización del flujo energético en la zona de estudio durante el período de medición comprendido entre el 7 de febrero al 20 de marzo de 2007<sup>291</sup>.

<sup>291</sup> Gráfica elaborada en software MatLab 6.5.

La tabla 4-9 presenta el resumen de los resultados de flujos medio de energía (KW/m) obtenido durante el período de medición de la sonda oceanográfica ADV Tritón, comprendido entre el 7 de febrero al 20 de marzo de 2007.

Tabla 4-9: Resumen de resultados experimentales al procesar datos registrados a partir del 7 de febrero al 20 de marzo de 2007 en la cercanías de la playa Santa María Mizata kilómetro 87.5 carretera Litoral, departamento La Libertad.

Descripción	Flujo de energía (KW/m)
El flujo de energía mínimo, obtenido el día 8 de febrero de 2007.	1.18 KW/m
El flujo de energía máximo obtenido el día 13 de marzo de 2007.	35.36 KW/m
El promedio del flujo de energía, en la noche, durante el muestreo comprendido entre el 7 de febrero al 20 de marzo de 2007.	6.6 KW/m
El promedio del flujo de energía, en el día durante el muestreo comprendido entre el 7 de febrero al 20 de marzo de 2007.	6.8 KW/m
El promedio del flujo de energía entre las transiciones de mareas altas y bajas durante el período del 7 de febrero al 20 de marzo de 2007.	Marea alta 1: 6.79 KW/m Marea alta 2: 6.68 KW/m Marea baja 1: 6.60 KW/m Marea baja 2: 6.81 KW/m
El promedio flujo de energía en la fase de transición de Luna Llena a Luna Nueva durante el período del 7 al 17 de febrero de 2007.	2.98 KW/m
El Flujo de energía en la fase de transición de Luna Nueva a Luna Llena durante el período del 17 febrero al 3 de marzo de 2007.	4.24 KW/m
El Flujo de energía en la fase de transición de Luna Llena a Luna Nueva durante el período del 3 de febrero al 19 de marzo de 2007.	11.31 KW/m
El Flujo de energía en la fase de transición de Luna Nueva a Luna Llena durante el período del 19 al 20 marzo de 2007.	3.92 KW/m

4.4.4 Aplicación del modelo numérico SWAN para predicción del oleaje en las costas salvadoreñas para una estimación comparativa con los resultados experimentales obtenidos.

Para la aplicación del modelo SWAN, en las predicciones de las características del oleaje se requieren las siguientes condiciones de frontera: altura de la ola significativa

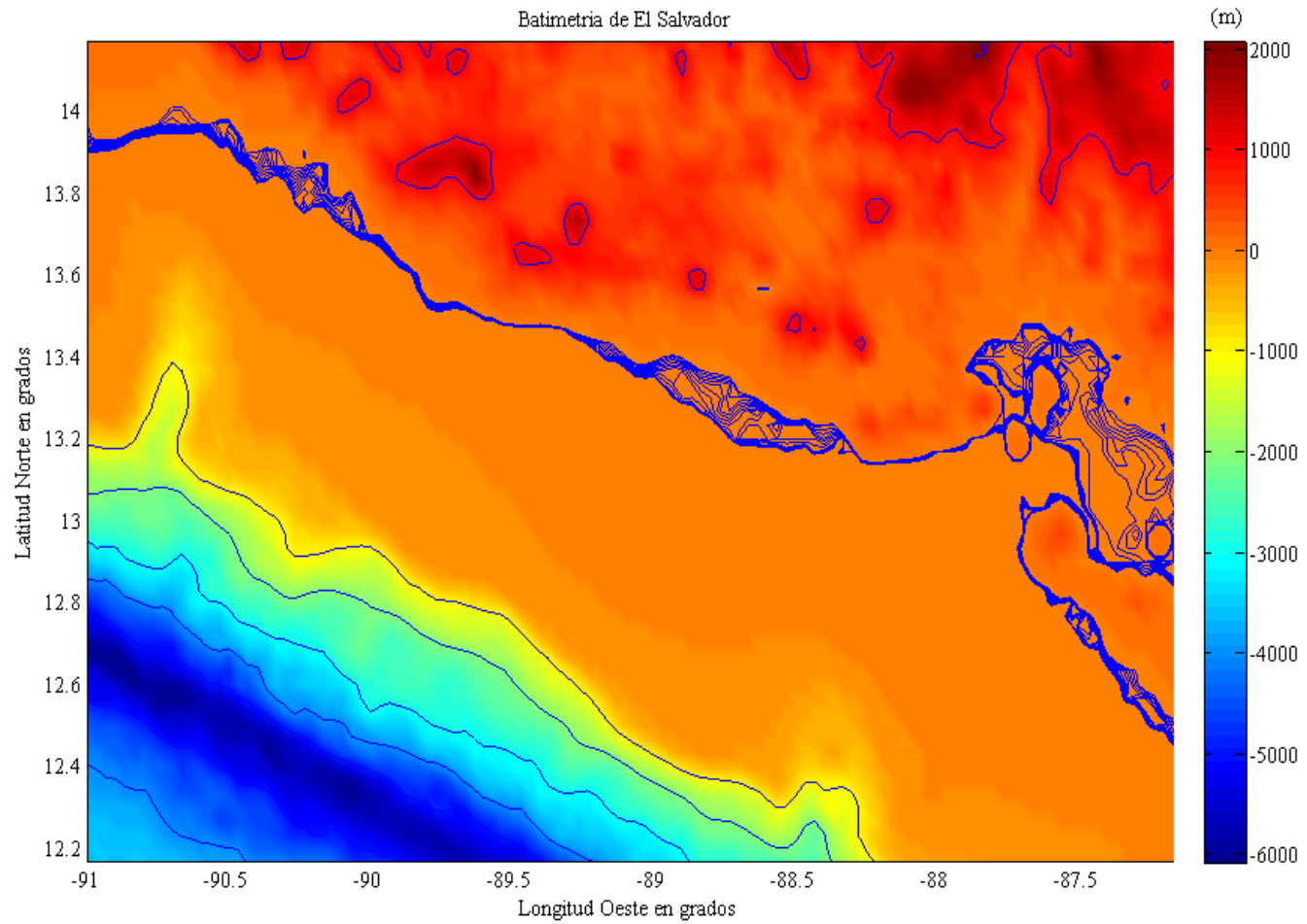
$H_s$ , período pico de la ola  $T_p$ , dirección de propagación del oleaje  $\theta_m$ , para la validación del modelo numérico SWAN, además, la batimetría de la región y condiciones de vientos. Las variables  $H_s$ ,  $T_p$ ,  $\theta_m$  se obtuvieron del análisis e interpretación de los resultados más representativos de las mediciones realizadas in situ, con la ayuda de la sonda oceanográfica ADV Triton, emplazada en las cercanías de la playa Santa María Mizata, kilómetro 87.5, carretera del Litoral La Libertad, durante el período comprendido entre el 7 de febrero al 20 de marzo de 2007. Las condiciones de vientos se obtuvieron a través de los informes proporcionados por el SNET, la batimetría de la región, se obtuvo por medio de la National Geophysical Data Center (NGDC)<sup>292</sup>, ver figura 4-7.

Figura 4-7: Ventana para las descarga de la batimetría de la zona costera de El Salvador para la elaboración de la malla computacional<sup>293</sup>.

Con los datos batimétricos descargados se construyó la malla computacional como se muestra en la grafica 4-17, la cual muestra la tendencia de la profundidad de la costa salvadoreña.

<sup>292</sup> [http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/gdas/gd\\_designagrid.html](http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/gdas/gd_designagrid.html), 18 de octubre de 2007.

<sup>293</sup> *Ibidem*.



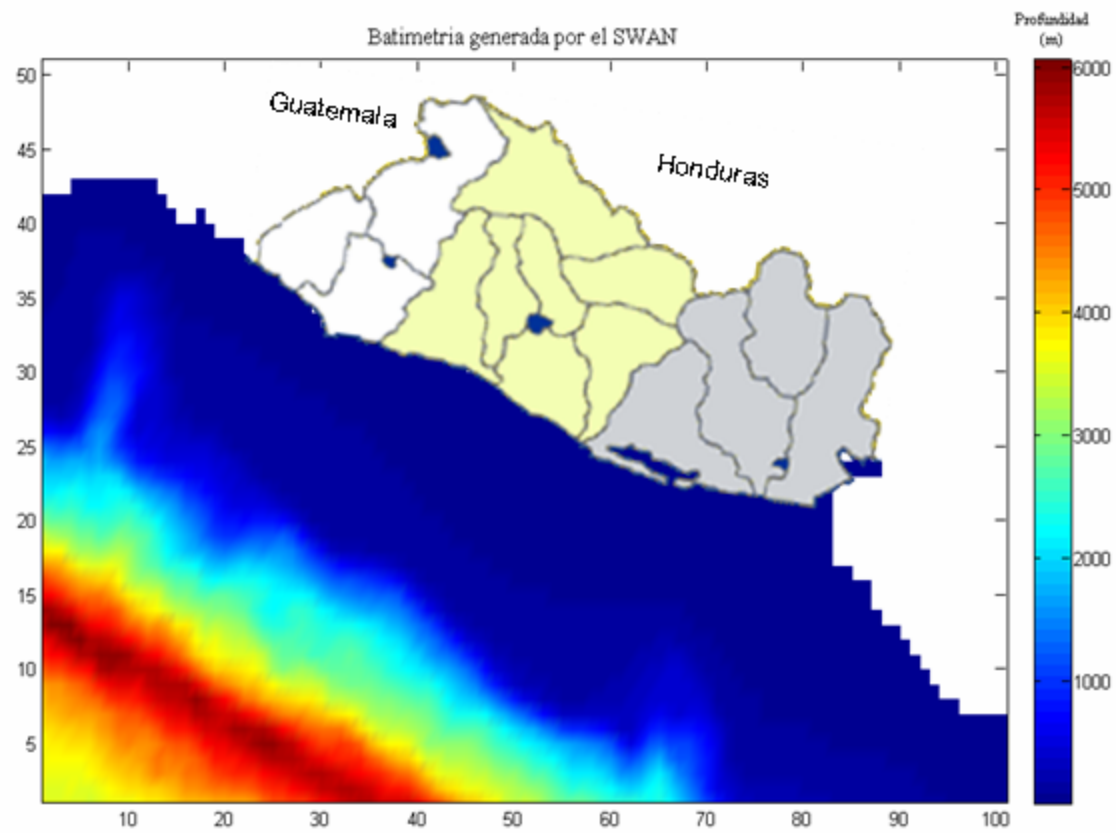
Gráfica 4-17: Batimetría de la zona costera de El Salvador elaborada en MatLab 6.5.

Para la entrada de datos de batimetría al SWAN, se utilizó el sistema de coordenadas cartesianas, por lo tanto, se aplicó un factor de conversión a los datos obtenidos de Latitud y Longitud de la malla computacional, sabiendo que  $1^\circ = 111.18$  Km, resultando una malla computacional en coordenadas cartesianas de: 222.36 Km de Longitud y 433.6 Km de Latitud. Las condiciones de fronteras utilizadas en el SWAN son las que se muestra en la tabla 4-10, las variables de altura de ola significativa, período pico de la ola y dirección de propagación del oleaje se adquiere de los resultados más representativos tomados de los registros obtenidos por la sonda oceanográfica ADV Triton, Para los datos de campo de viento se analizarán cuatro casos según los pronósticos presentados por el SNET durante el período de medición.

Tabla 4-10: Condiciones de fronteras asignadas al software SWAN.

Casos	Viento		oleaje		
	Velocidad (km/h)	Dirección (deg)	Altura (m)	Período (s)	Dirección (deg)
1	8	45	0.72	12.6	212.4
2	6	45	0.84	14	209.6
3	12	45	1.42	15.2	220.1
4	10	45	0.8	13.3	218.1

La batimetría generada por el software SWAN para todas las condiciones de fronteras asignadas, se presenta en la gráfica 4-18, la cual es resultado de los límites de fronteras asignados por la malla computacional de trabajo, indispensable para la simulación del desarrollo del oleaje. En la cual se observa profundidades a lo largo de área de trabajo de 0 m (línea de costa) hasta 6000 m, que corresponde a la fosa de Guatemala. En las gráficas 4-19, 4-20, 4-21 y 4-22 se presentan los resultados obtenidos de altura significativa de las olas, a lo largo de toda la costa salvadoreña, y mar abierto para los diferentes condiciones de fronteras: velocidades de vientos y sus respectivas direcciones del viento, como se muestra en la tabla 4-10.



Gráfica 4-18: Batimetría de la zona costera de El Salvador procesada por SWAN<sup>294</sup>.

---

<sup>294</sup> Datos procesados en SWAN y graficado en MatLab 6.5.

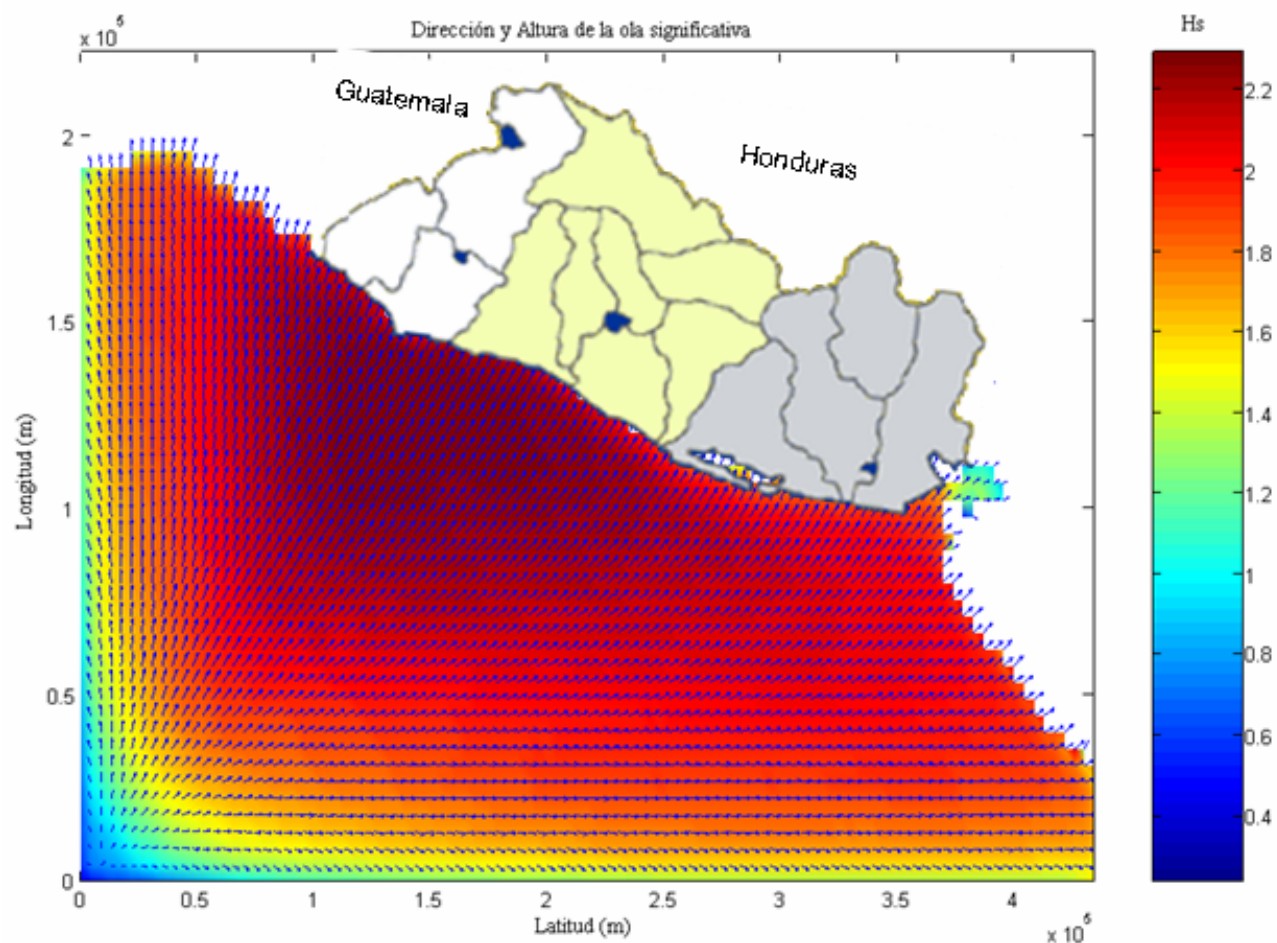
En la grafica 4-19 se muestra la simulación del caso 1, del oleaje marino del Océano Pacífico, a lo largo de la malla computacional con condiciones de altura de ola 0.72 m, periodo 12.6 s y dirección del oleaje S 32.4° W, vientos con velocidades de 8 Km/h, en dirección SW, la altura de la ola se incrementa en esas condiciones iniciales, el viento hace que los frentes de olas se trasladen grandes distancias hacia el Occidente de las costas de El Salvador donde se establecen olas con altura de 1.6 m a 2.0 m, al Centro la altura de ola alcanza 1.6 m a 2.4 m, al Oriente las olas van de 1.2 m y 1.8 m de altura. Las olas con mayores alturas que se obtuvieron con estas condiciones de frontera se presentaron en las costas del departamento La Libertad como se muestra en la gráfica 4-19 con altura de 2.25 m, y las olas con menor altura se obtuvieron en la zona Oriental, específicamente en el Golfo de Fonseca con alturas de 0.5 m. En la gráfica 4-20, se muestra la simulación del caso 2, con las siguientes condiciones: dirección del viento SW, la magnitud de la velocidad del viento de 6 Km/h, y con altura de oleaje de 0.84 m, período de ola de 14 s y dirección de propagación del oleaje de S 29.6 W, en el Occidente de las costas de El Salvador, se obtienen, alturas de ola entre 1.0 m a 1.3 m. En la zona Central, alturas de olas entre 1.0 m a 1.6 m y para la zona Oriental, alturas de olas entre 0.5 m a 1.0 m, en esta simulación las mayores alturas de olas, se dan en los departamentos La Libertad y la parte Oriental de Sonsonate con 1.5 m. Y siempre obteniendo las alturas de olas, más pequeñas en el Golfo de Fonseca de 0.30 m. Para la simulación del caso 3, con velocidades de viento de 12 Km/h en la dirección SW, y con alturas de olas de 1.42 m, período de la ola de 15.2 s y propagación de dirección del oleaje S 40.1 W, obteniendo resultados para la zona Occidental con alturas de olas entre 3.0 m a 3.5 m, en la zona Central alturas de olas entre 3.0 m a 4.2 m y en la zona Oriental alturas de olas entre 2.5 m a 3.2 m. Igualmente, el oleaje con mayor altura se establece en la zona Centro-Occidental de La Libertad, de 4.0 m. En estas simulaciones, la velocidad y dirección de propagación del viento, son factores importantes para el incremento de la energía del oleaje. Y para la ultima simulación del caso 4, se establecen las siguientes condiciones: velocidad de viento, 10 Km/h en la dirección SW, altura de



ola 0.8 m, período de ola 13.3 s y dirección del oleaje S 38.1 W, obteniendo como resultados para la zona Occidental olas con alturas entre 2.0 m a 3.0 m, en la zona Central olas entre 2.0 m a 3.5 m y en la zona Oriental olas entre 1.5 m a 2.4 m de altura. Las olas con mayor altura se forman frente a la costa del departamento La Libertad y parte de Sonsonate, con alturas de 3.2 m.

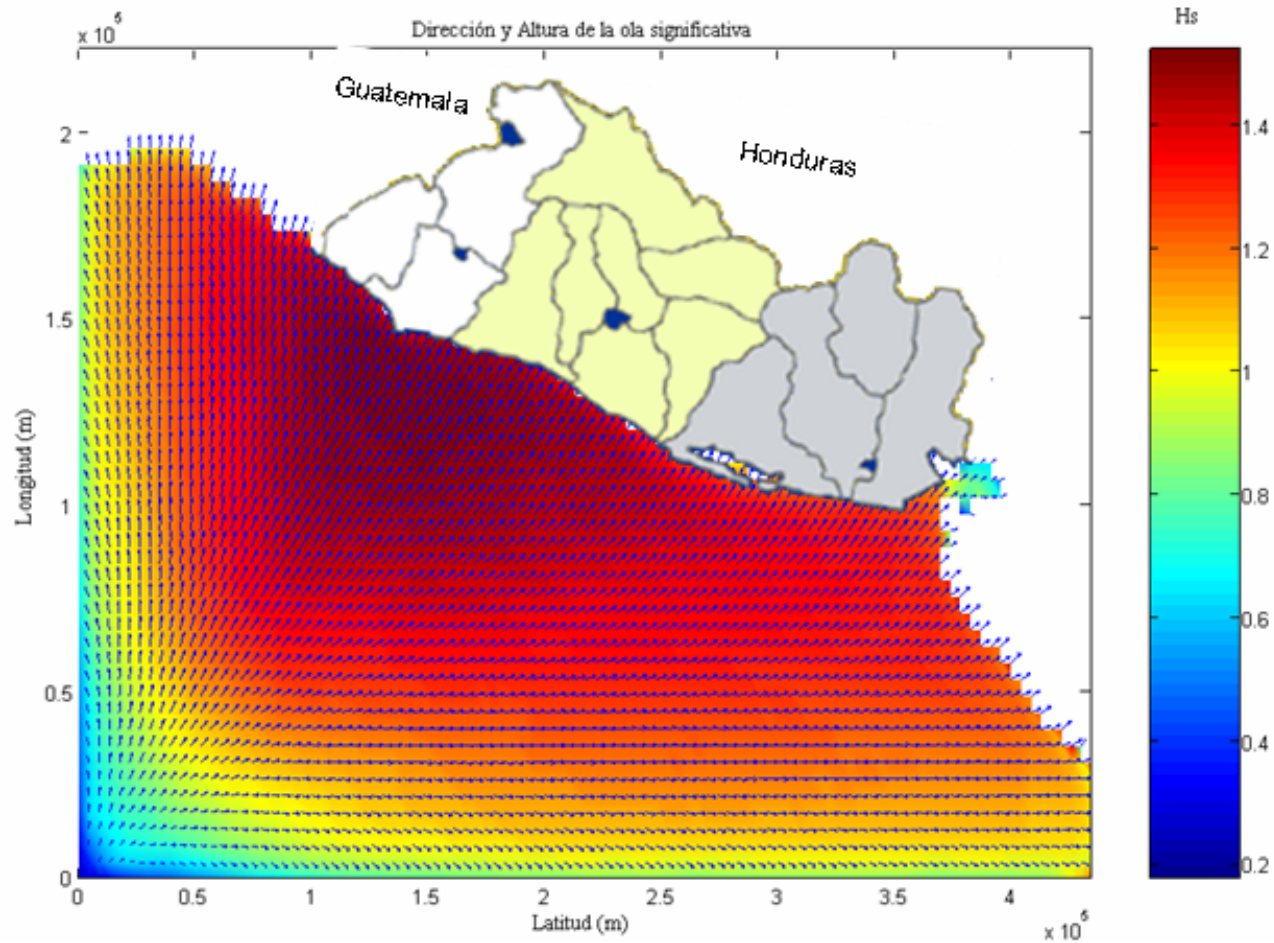
En la gráfica 4-23, el flujo de energía promedio, en kilovatios por metro de frente de onda, en las zonas costeras de El Salvador, para el período comprendido de medición del 7 de febrero al 20 de marzo de 2007, en base a los registros de oleaje obtenidos con la sonda oceanográfica ADV Triton, con promedios de alturas de olas de 1.0 m, período de 14 s, y dirección de propagación del oleaje S 45° W, y considerando el campo de vientos presente en las costas de El Salvador, con velocidades de 8 Km/h y dirección SW, resultando flujo promedio de energía, simulado por el SWAN, para la zona Occidental de El Salvador, entre 20 KW/m a 25 KW/m, para la zona Central entre 20 KW/m a 30 KW/m y para la zona Oriental entre 10 KW/m a 15 KW/m, ver gráfica 4-23. Donde la mayor concentración de energía del oleaje, se produce en la zona Centro-Occidental (departamento La Libertad y Sonsonate) debido al tipo de fondo marino, morfología costera y la intensidad del viento en la dirección SW, lo cual favorece al incremento en la altura del oleaje.

Resultados del campo de oleaje por el SWAN.



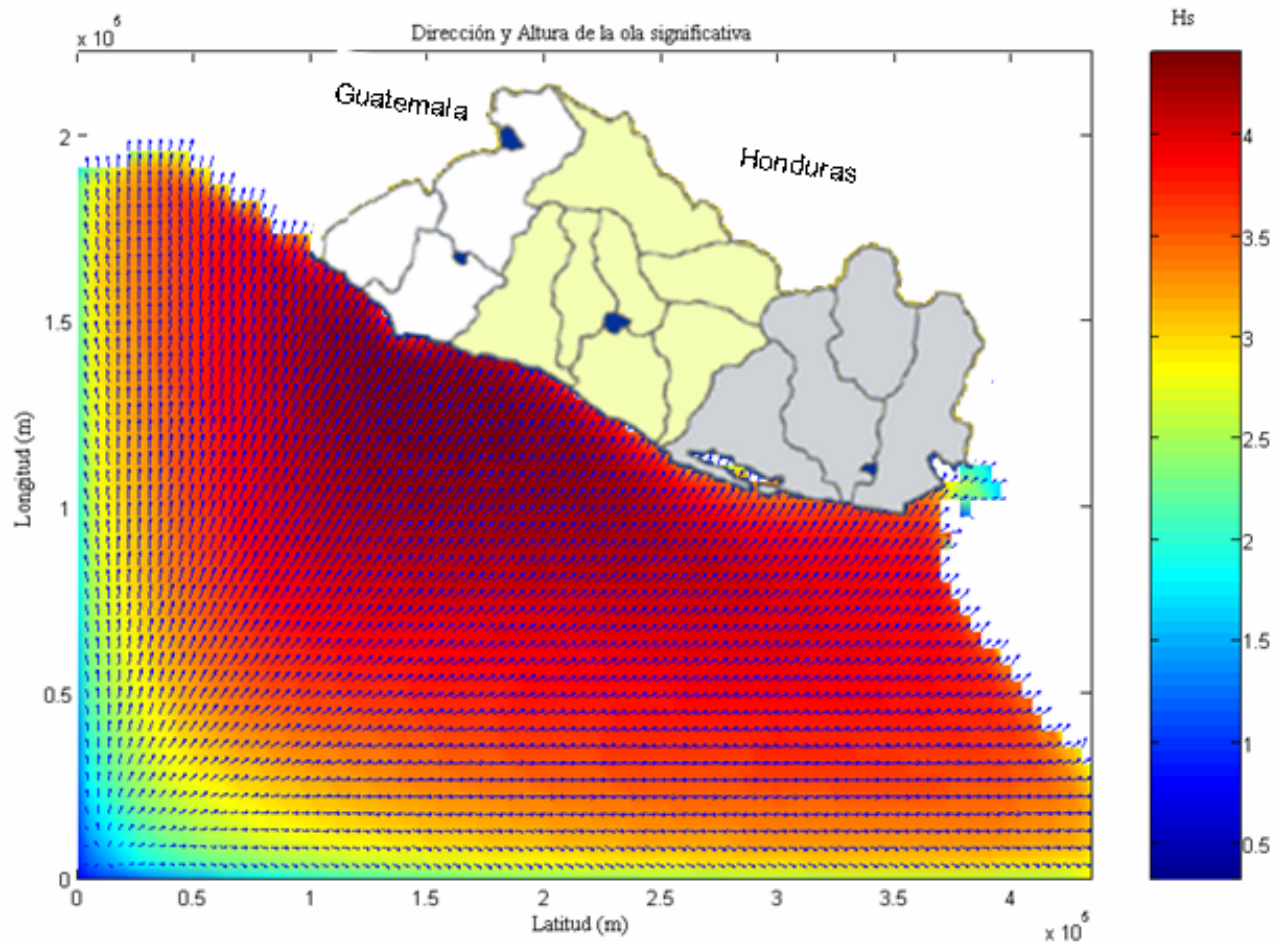
Gráfica 4-19: Altura de la ola significativa y dirección, para vientos de 8 Km/h y dirección de  $45^\circ$ <sup>295</sup>.

<sup>295</sup> Datos procesados en SWAN y graficado en MatLab 6.5.



Gráfica 4-20: Altura de la ola significante y dirección, para vientos de 6 Km/h y dirección de 45°<sup>296</sup>.

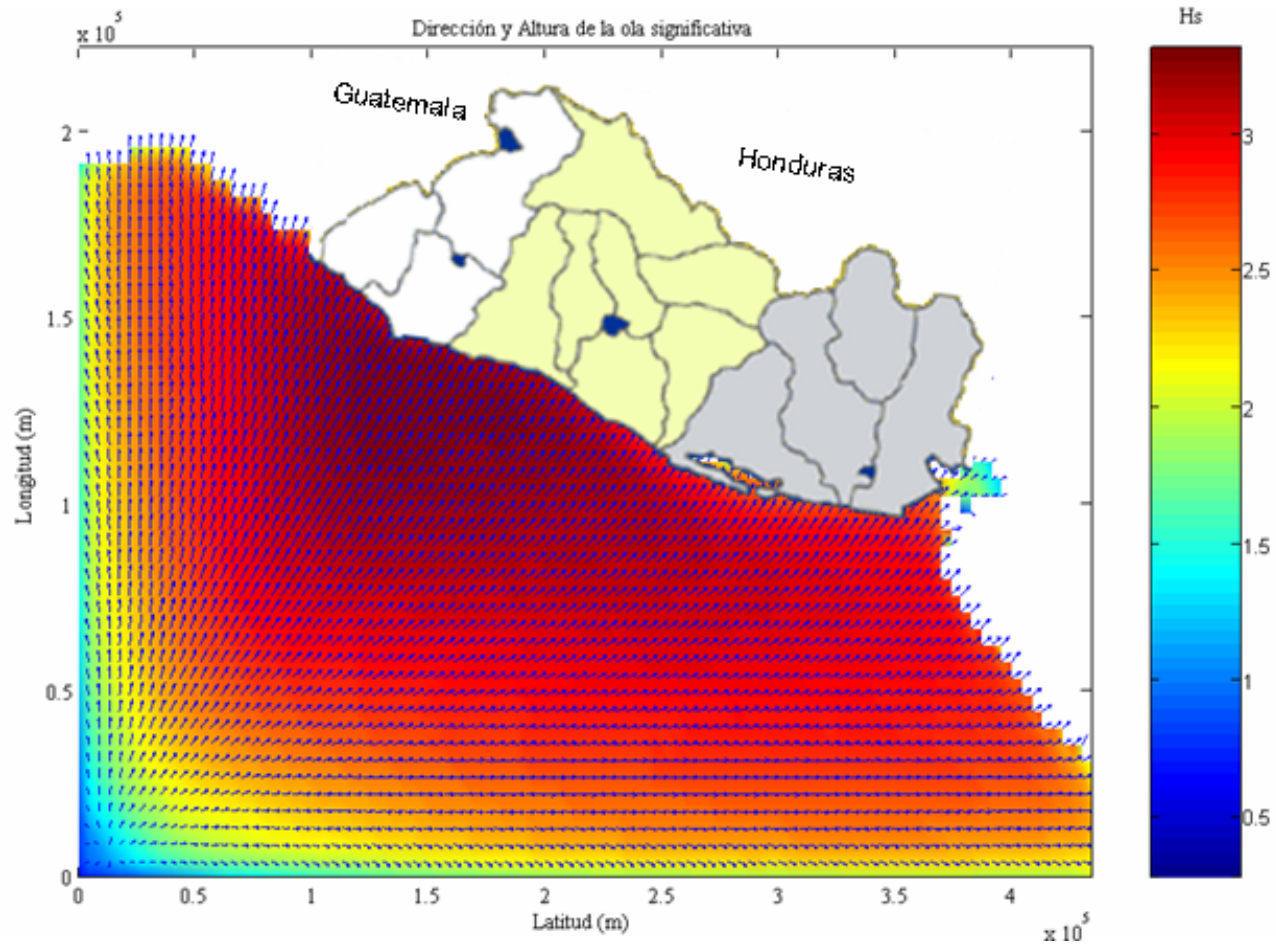
<sup>296</sup> Datos procesados en SWAN y graficado en MatLab 6.5.



Gráfica 4-21: Altura de la ola significante y dirección, para vientos de 12 Km/h y dirección de 45°<sup>297</sup>.

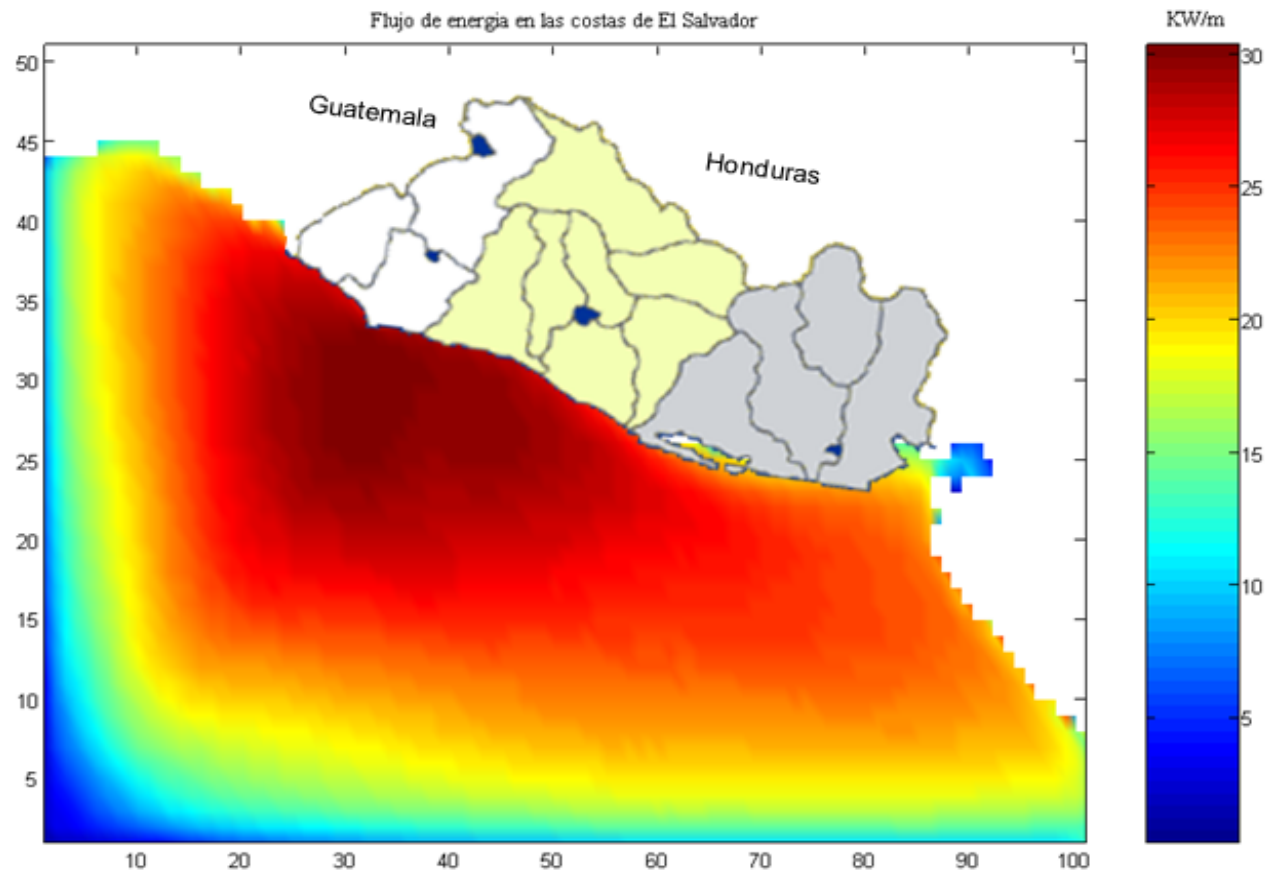
<sup>297</sup> Datos procesados en SWAN y graficado en MatLab 6.5.





Gráfica 4-22: Altura de la ola significativa y dirección, para vientos de 10 Km/h y dirección de 45°<sup>298</sup>.

<sup>298</sup> Datos procesados en SWAN y graficado en MatLab 6.5.



Gráfica 4-23: Flujo de energía para la costa salvadoreña<sup>299</sup>.

---

<sup>299</sup> Datos procesados en SWAN y graficado en MatLab 6.5.

#### 4.4.5 Comparación de resultados basado en información de datos meteorológicos.

Es posible obtener de una forma general, los parámetros característicos del oleaje que son  $H_s$ ,  $T_p$ , y dirección del frente de onda, a partir de información meteorológica, proporcionada por OCEANWEATHER, NOAA WAVEWATCH. En el estudio realizado, los parámetros del oleaje son obtenidos in situ, por medio de la sonda oceanográfica ADV Triton, emplazada en el lecho marino, en la cercanía de la playa Santa María Mizata. En la figura 4.8, se muestra una comparación de flujos de energía (KW/m), obtenidos por dos tipos de métodos de obtención de datos. El primero, por medio de instrumental directo, con un flujo promedio de 6.9 KW/m, en la ubicación: Latitud  $13^{\circ}30.611'$  y Longitud  $89^{\circ}36.374'$ , el segundo por medio del NOAA WAVEWATCH<sup>300</sup> con un flujo promedio de 2.8 KW/m, frente a las costas centroamericanas, en el mismo período, monitoreado desde la ubicación: Latitud 0.00 y Longitud 93.75W. Además, en la figura 4.8 el flujo de energía en el punto de monitoreo del NOAA, es de 46.8 KW/m.

La variación del flujo de energía presentada por los dos métodos es de 4.1 KW/m, esto se debe, al tipo de método empleado en la medición de parámetros del oleaje; en el proceso de medición experimental realizado in situ del 7 de febrero al 20 de marzo de 2007, se hizo de forma directa, teniéndose resultados mas precisos que en el método indirecto, siendo este una proyección estimada de un modelo numérico en base a información proporcionada satelitalmente.

---

<sup>300</sup> [http://polar.ncep.noaa.gov/waves/main\\_int.html](http://polar.ncep.noaa.gov/waves/main_int.html).

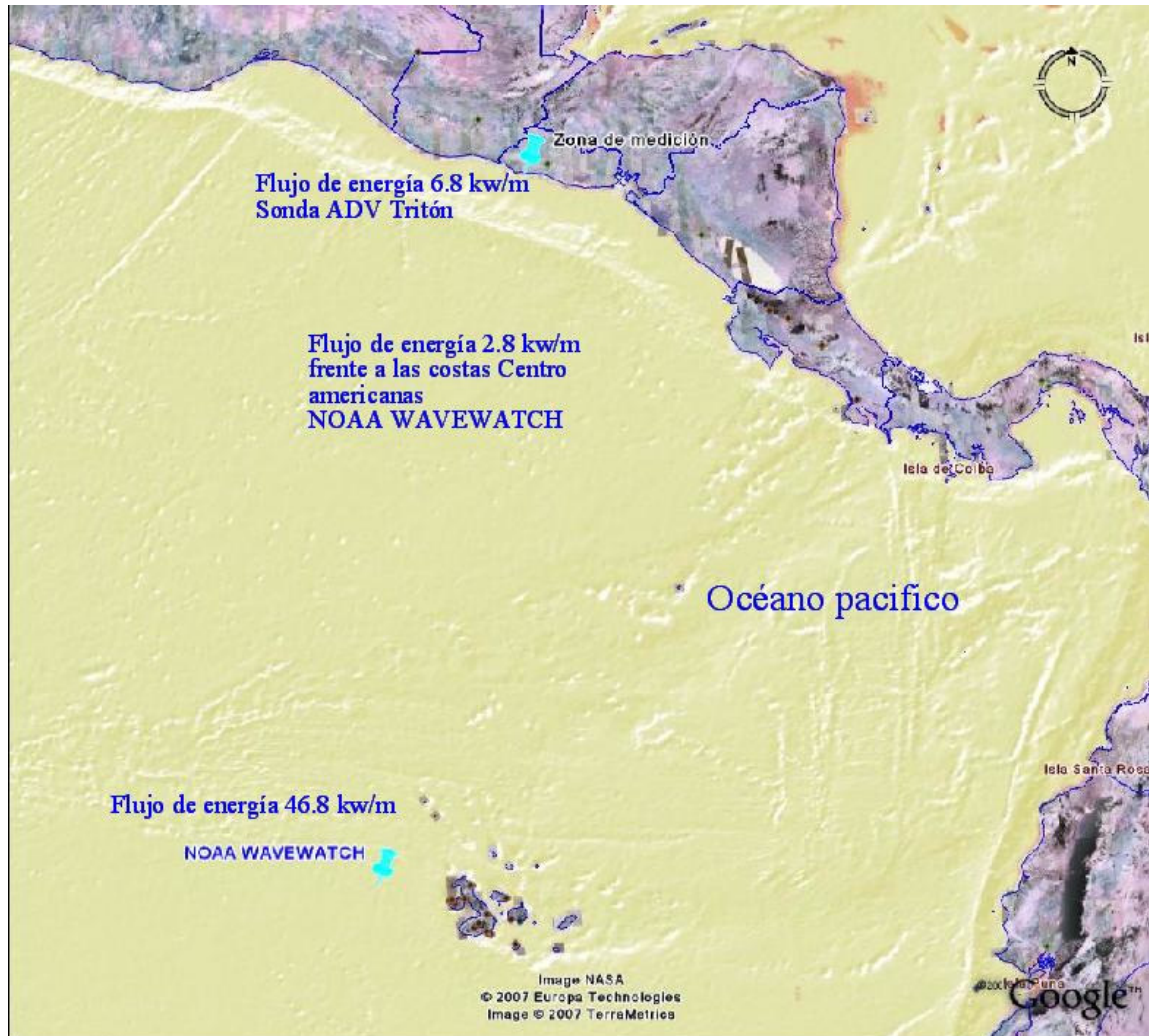


Figura 4-8: Flujos medios de energía mostrados, en la zona de estudio obtenido por la sonda ADV Tritón y por la NOAA WAVEWATCH<sup>301</sup>.

<sup>301</sup> Imagen capturada del software Google Earth, por el grupo de investigación, 11 de julio de 2007.



CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y  
OBSERVACIONES

## CONCLUSIONES.

El análisis de las variables que caracterizan las olas del mar en el Km 87.5 Carretera Litoral La Libertad, dentro del muestreo, realizado en el período del 7 de febrero al 20 de marzo de 2007, con la sonda oceanográfica ADV Tritón, los resultados de la evaluación del potencial energético en esa zona de estudio, indica que las tendencias de las variables características del oleaje marino y el flujo de energía son las siguientes:

La altura promedio del oleaje marino costero es de 1.22 m, con direcciones provenientes de S 27 W, S 45 W, y con un promedio de período pico de 13.9 s. El flujo de energía del oleaje marino en la noche es 10% mayor que en el día. En las transiciones de las mareas, el flujo máximo de energía del oleaje, en todos los casos muestreados resulta, cuando se da el cambio de marea alta dos (15.7 KW/m) a marea baja dos (18.4 KW/m). Se comprobó que el flujo máximo de energía ocurrió en la transición lunar de Luna Llena a Luna Nueva con una magnitud de 11.31 KW/m.

El flujo promedio obtenido por medio de la modelación numérica SWAN para las condiciones representativas en la clasificación de eventos durante el período de medición fue para la zona Occidental 20 KW/m a 25 KW/m, para la zona Central 20 KW/m a 30 KW/m y Oriental de 10 KW/m a 15 KW/m. Por tanto existe un potencial energético mayor en la zona costera acantilada Centro-Occidental para generar energía eléctrica a través de las olas del mar.

## RECOMENDACIONES.

- Realizar a lo sumo mediciones anuales para evaluar el potencial energético del oleaje costero marino, e instalar instrumentos de medición de parámetros de oleaje, en otros puntos, para comparar, la variabilidad del flujo energético.

Además llevar un registro paralelo de recolección de parámetros de oleaje, proporcionados por instituciones meteorológicas.

- Realizar estudios de factibilidad técnica-económica, para la selección del tipo de tecnología a emplear en el aprovechamiento de la energía del oleaje costero marino.
- Tomar en cuenta fenómenos marinos como por ejemplo: marejadas, tsunamis, etc. Ya que estos, sirven como parámetros de diseño y selección de tecnología para aprovechar la energía del oleaje.
- Realizar un estudio de investigación, a largo plazo para el diseño y construcción del prototipo de captación de energía del oleaje costero marino, propuesto por el Ing. Mario Ernesto Rodríguez Sosa.
- Realizar sondeos en las regiones someras, frente a la zona costera salvadoreña para obtener la batimetría y realizar mediciones de la magnitud y dirección del viento, con objeto de obtener una simulación precisa con el SWAN, para la predicción del oleaje y así establecer un atlas energético para la costa salvadoreña.
- Realizar pruebas de medición, en pequeños intervalos de medición continuos, por ejemplo cada 5 minutos ò 15 minutos, durante una hora, en una piscina, para familiarice con el software y el instrumento.

## OBSERVACIONES.

- Se tuvieron dificultades con el sistema de sujeción para la extracción e introducción de la sonda oceanográfica ADV Triton, en la estación de medición. debido a la falta de recursos que requería el sistema de anclaje adoptado.
- Debido al transporte de sedimentos que se generan en el punto de emplazamientos se debe diseñar una carcasa, adecuada, para evitar la colisión de rocas que puedan dañar la sonda ADV Triton, disminuir el riesgo con los lugareños y evitar su posible robo. Así mismo comunicación con los lugareños de la zona, las condiciones apropiadas para sumergir y extraer la sonda ADV Triton al haber común acuerdo. Verificar, las condiciones climáticas proporcionadas por el SNET.
- Es conveniente tener el equipo adecuado para la construcción de la carcasa de la sonda ADV Triton. Además, utilizar soldadura adecuada para la unión de las piezas de la carcasa.
- El tipo de anclaje (muertos), es necesario que sean fácilmente manejables en el fondo marino, por parte de los buzos. Así como, el acoplamiento entre el anclaje y la estructura de carcasa de la sonda. monitorear continuamente, la sonda ADV Triton, una vez puesta en la estación de medición, para verificar su funcionamiento.
- Verificar que el sistema experimental de registros de datos, la carcasa, sonda oceanográfica, anclaje, se mantenga en buenas condiciones. Y hacer el debido mantenimiento, ya sea correctivo o preventivo.
- Utilizar una técnica apropiada (por ejemplo un sistema de flotador), para la extracción de la sonda ADV Triton desde el lecho marino a la superficie libre del mar.

- Contar con un inversor (convertidor de DC a AC), para la alimentación de la PC y la sonda ADV Triton, al hacer la extracción de datos, debido a que hay lugares de la zona costera, que no tienen alimentador de energía eléctrica.
- Adquirir un puerto serial en la PC, o tener un convertidor de serial a USB, para la conexión de la sonda ADV Triton a la PC, para extracción directa de los datos registrados.
- Formatear la memoria interna de la sonda ADV Triton, cada vez que se extraiga, su registro, para evitar posibles conflictos internos con el sistema, durante esté registrando en el período programado.
- Disponer de herramienta apropiada para el montaje y desmontaje de la carcasa – sonda – anclaje y retiro de la sonda para extraer datos con la PC.
- El personal de trabajo y buceo, requiere utilización de protección física adecuada, para los pies, piel, manos, etc. para el traslado y colocación de la carcasa-sonda y sistema anclado en la zona, así mismo, vestimenta apropiada, chalecos salvavidas, para las operaciones en el mar y disponer de cargas adicionales de oxígeno, equipos auxiliares de buceo y repuestos para las operaciones de buceo.
- Los factores climatológicos afectan en la propagación del oleaje marino costero, por ejemplo, la alta presión atmosférica, en Texas, fue un factor perturbador en el oleaje de las costas salvadoreñas, que produjo cambios bruscos, en las direcciones del oleaje entre  $48.26^\circ$  y  $354.85^\circ$ . A su vez, estos cambios predicen el inicio de un nuevo evento, aumentando el flujo de energía, al mismo tiempo que se estabiliza la dirección de la propagación del oleaje.

## **BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS**

- Antonio G., Marco. *Marco Político Institucional de la Energía Geotérmica y Otras Renovables en Centroamérica*, octubre 2005, 13 páginas.
- ARANDA, César M. *Estudio Numérico-Experimental de la Dinámica de la Zona Cercana a la Costa*, Universidad Politécnica de Cataluña, mayo 2004.
- AZOFRA, Asunción B. LOSADA R., Miguel A. y RODRÍGUEZ, María L. *Fundamentos del Movimiento Oscilatorio*, Grupo de Puertos y Costas, Universidad de Granada, septiembre 2004, 172 páginas.
- BADDOUR, Emile. *Energy From Waves and Tidal Currents*, Institute for Ocean Technology, National Research Council, august 2004, 83 pages.
- BCIE. *Estrategia y Plan de Inversiones 2005-2010 para Respaldo del Desarrollo del Sector Energía en Centroamérica*, octubre de 2005, 45 páginas.
- BEDARD, Roger. McGINNIS, Des y KLURE, Justin. *Ocean Wave Energy Conversion Technology*, December 2005.
- BEDARD, Roger. *Overview: EPRI Ocean Energy Program*, U.S., september 2006, 73 pages.
- Beyond Petroleum (BP). *BP Statistical Review of World Energy June 2007*, printed Beacon Press, London UK, 2007, 48 pages.
- Beyond Petroleum (BP). *Informe de Sostenibilidad BP 2006*, impreso por Beacon Press, London UK, 2007, 58 páginas.
- BLANCO, José María y UMAÑA, Leonel. *Promoción de Energía Renovable en Centro América: Oportunidades para el Planteamiento de Políticas*, 2da. edición, San José, Costa Rica, 2003, 71 páginas.
- BRENES R., Carlos L. *Fundamentos de Oceanografía Descriptiva: Para el Istmo Centroamericano, Proyecto para el Desarrollo Integral de la Pesca Artesanal en la Región Autónoma Atlántico Sur (DIPAL)*, Producciones EMCOR, S.A., Nicaragua, 2005, 89 páginas.
- BUN-CA. *Guía para Desarrolladores de Proyectos de Generación de Energía Eléctrica Utilizando Recursos Renovables en El Salvador*, El Salvador, impreso en 2002, 40 páginas.

- CASARIN, Rodolfo Silva. *Análisis y Descripción Estadística del Oleaje*, Instituto de Ingeniería UNAM, México D.F., septiembre 2005, 186 páginas. <http://aplicaciones.iingen.unam.mx/ConsultasSPII/Buscarnpublicacion.aspx>.
- CASTRO O., Dennise A. *Simulación Numérica del Oleaje en la Bahía Todos Santos: Influencia de las Condiciones de Frontera*, Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias Marinas, México D.F., 2004.
- CEL. *Boletín de Estadísticas Eléctricas N° 32 2001*, San Salvador, El Salvador C.A., junio 2002, 119 páginas.
- CEL. *Resumen del Plan de Expansión del Sistema de Generación y Transmisión período 1998-2015*, El Salvador, 1998, 91 páginas.
- Centro de Investigaciones Geofísicas. Universidad de Costa Rica. *Técnicas de Pronóstico de Oleaje para las Costas de Costa Rica*, Costa Rica, febrero 2003, 49 páginas.
- CEPAL. *Istmo Centroamericano: Diagnóstico de la Industria Petrolera*, octubre de 2005, 91 páginas.
- CEPAL/GTZ. *Sostenibilidad Energética en América Latina y el Caribe: El Aporte de las Fuentes Renovables*, octubre de 2006, 72 páginas.
- CUEVAS M., Fernando J. *Diagnostico del Sector Energético Centroamericano*, Unidad de Energía y Recursos Naturales CEPAL, febrero de 2006, 43 páginas.
- DEAN, Robert G. y DALRYMPLE, Robert A. *Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists*, volume 2, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore, 1991, 353 pages.
- DÍEZ, Pedro Fernández. *Energía de las Olas*, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética, Universidad de Cantabria, España, 52 páginas.
- DÍEZ, Pedro Fernández. *Energía Maremotérmica*, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética, Universidad de Cantabria, España, 12 páginas.
- DÍEZ, Pedro Fernández. *Energía Mareomotriz*, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética, Universidad de Cantabria, España, 30 páginas.
- DTI. *EB Frond Wave Energy Converter-Phase 2*, 1era. Edition, The Engineering Business Ltd., UK, 2005, 129 pages.



- DTI. *Wave and Marine Current Energy*, International Energy Agency (IEA), UK, 2003, 85 pages.
- Energy Information Administration, Office of Integrated Analysis and Forecasting, U.S. Department of Energy. *International Energy Outlook 2006*, Washington, DC 20585, June 2006, 202 pages.
- Equipo estable I+D INGEMAR, Universidad de La Laguna, Proyecto Wavenergy. *Plan de Desarrollo Regional para el Uso de la Energía Proveniente del Oleaje Atlántico*, marzo de 2007, 27 páginas.
- EREÑO, Pedro I. *La Energía Marina. Situación Actual y Perspectivas*, Sevilla, mayo de 2006, 36 páginas.
- ESCOBAR C., María Del Carmen. *Técnicas de Investigación Documental y Redacción de Informes*, 1era. Edición, San Salvador, El Salvador, mayo de 2005, 67 páginas.
- FUSADES. *Informe Trimestral de Coyuntura. 1er. Trimestre*, El Salvador, 9 de mayo de 2006, 13 páginas.
- GARCÍA. Otto L. *Minicentrales Hidroeléctricas y Otras Renovables*, San Pedro Sula, febrero de 2005, 20 páginas.
- GIERLOFF Emdem. *Las Costas de El Salvador, Monografía Morfología Oceanografía*. Primera edición en español, Ministerio de Educación. Dirección de Publicaciones, El Salvador. 1976, 279 páginas.
- GONZÁLEZ, Jordi R. *Simulación de Oleaje para el Estudio de Vulnerabilidad de Obras Marítimas*, 53 páginas.
- GONZÁLEZ, Manuel y LIRIA, Pedro. *Energía Marina y sus Posibilidades a Nivel Mundial: Disponibilidad de Recursos y Posibilidades de la Costa Vasca*, AZTI-TECNALIA, Bilbao, enero 2007, 34 páginas.
- GONZÁLEZ, Marco. *Agua y Energía: Perspectivas, Barreras y Retos*, San Pedro Sula, febrero de 2005, 14 páginas.

- HERNÁNDEZ, Gabriel D. *Análisis de Resonancia Portuaria: Generación, Transitoriedad, No Linealidad y Acoplamiento Geométrico*, Universidad de Cantabria, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, marzo de 2006.
- IBAÑEZ, Pedro. *Energía Marina*, ROBOTIKER-TECNALIA, Barcelona, noviembre 2005, 31 páginas.
- JOHNSON, F. CHUDLEY, J. y DAI, Y.M. *Prolongation of the Deployment and Monitoring of a Multiple Oscillating Water Column Wave Energy Converter*, 1era. Edition, The University of Plymouth, Department of Mechanical and Marine Engineering, UK, 2003, 88 pages.
- KREWITT, Wolfram. SIMON, Sonja y Otros. *Revolución Energética: Perspectiva Mundial de la Energía Renovable*, Greenpeace Internacional, Consejo Europeo de Energías Renovables (EREC), Holanda, enero 2007, 86 páginas.
- LEMONIS, Georgios. *Ocean Energy Conversion in Europe*, Centre for Renewable Energy Sources, Greece, 2006, 36 pages.
- LIZANO, Omar G. OCAMPO, Francisco J. ALVARADO, Luís F. VEGA, Rolando y PUIG, José M. *Evaluación de Modelos Numéricos de Tercera Generación para el Pronóstico del Oleaje en Centroamérica y México*, Escuela de Física, Universidad de Costa Rica, enero de 2001, 10 páginas.
- MASSEL, Stanislaw R. *Ocean Surface Waves: Their Physics and Prediction*, volume 11, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore, 1996, 491 pages.
- Ministerio de Cultura y Comunicaciones. *Geografía de El Salvador*. 1er. Tomo, Dirección de Publicaciones, El Salvador, 1986, 257 páginas.
- Ministerio de Economía. *Desarrollo de las Energías Renovables en El Salvador*, El Salvador, 2006, 14 páginas.
- Ministerio de Economía. *Desarrollo de la Geotermia en El Salvador*, El Salvador, 9 páginas.
- Ministerio de Economía. *Desarrollo de las Energías Renovables en El Salvador*, El Salvador, 2005, 14 páginas.

- Ministerio de Economía. *Dirección de Energía Eléctrica: Política Energética en El Salvador*, El Salvador, 2006, 28 páginas.
- Ministerio de Economía. *Política Energética en El Salvador*, El Salvador, 2005, 28 páginas.
- OCAMPO T., Francisco J. *El Oleaje*, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada Km. 107 Carretera Tijuana-Ensenada, Ensenada B.C., México, diciembre de 1995, 171 páginas.
- Organización Latinoamericana de Energía (OLADE). Comisión Europea. *Manejo de la Demanda y Uso Eficiente de la Energía Eléctrica en el Istmo Centroamericano*, diciembre de 2000, 161 páginas.
- Organización Latinoamericana de Energía (OLADE). *Informe Energético 2003*, Ecuador, octubre 2004, 100 páginas.
- PASCUAL, Cesar V. *Introducción a la Energía del Oleaje y Posibilidades de la Costa Vasca*, Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas, Universidad de Cantabria, 34 páginas.
- PICKARD, George L. y EMERY, William J. *Descriptive Physical Oceanography*, 5ta. Edition, published by Elsevier Ltd., UK, 1990, 320 pages.
- POIGNON, Roberto L. *Energía Marina: Desarrollo de una Planta de Energía de las Olas en el Cantábrico*, IBERDROLA, Bilbao, enero 2006, 45 páginas.
- PREVISIC, Mirko. *Offshore Wave Energy Conversion Devices*, Electric Power Research Institute (EPRI), U.S., june 2004, 52 pages.
- QUIROGA, Pablo D. *Evaluación de la Energía del Oleaje para Islas del Pacífico Mexicano*, México D.F., abril de 2004, 130 páginas.
- REQUEJO L., María S. *Análisis y Mejoras en la Evaluación de Diversos Términos de los Modelos de Evolución de Playas en Escalas de Medio Plazo*, Universidad de Cantabria, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, marzo de 2005, 512 páginas.
- RODRIGUEZ S., Mario E. *Obtención de Energía Eólica en la Plataforma Continental Usando Recursos Marinos*, San Salvador, El Salvador, agosto de 1988.

- SÁNCHEZ, Rodolfo B. *Tormentas de Oleaje en el Mediterráneo: Física y Predicción*, Universidad Politécnica de Cataluña, Departamento de Ingeniería Hidráulica, Marítima y Ambiental, 231 páginas.
- SIGET. Gerencia de Electricidad. *Boletín de Estadísticas Eléctricas N° 7 2005*. San Salvador, El Salvador C.A., mayo de 2006, 164 páginas.
- SIGET. Gerencia de Electricidad. *Boletín de Estadísticas Eléctricas N° 8 2006*, San Salvador, El Salvador C.A., agosto de 2007, 171 páginas.
- SIGET. Gerencia de Electricidad. *Estadísticas Eléctricas: Avance Primer Semestre 2004*, San Salvador, El Salvador C.A., septiembre 2004, 69 páginas.
- SIGET. Gerencia de Electricidad. *Estadísticas Eléctricas: Avance Primer Semestre 2006*, San Salvador, El Salvador C.A., septiembre 2006, 87 páginas.
- SODERBERG, Axel. *Importancia de los Incentivos a las Energías Renovables*, Grupo RENOVA, El Salvador, 24 páginas.
- STICKLE, Miguel Martín. *Descripción del Oleaje y Estudio de la Acción Ejercida sobre el Paramento de un Dique Vertical. Aplicación Numérica*, Trabajo de Investigación Universidad Politécnica de Madrid E.T.S de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos, 2005, 107 páginas.
- TECNALIA. *Aprovechamiento de la Energía de las Olas*, Bilbao, enero 2007, 18 páginas.
- TECNALIA. *Tecnologías Emergentes: Energía del Mar*, marzo 2005, 27 páginas.
- THORPE, T. W. *A Brief Review of Wave Energy*, Department of Trade and Industry UK, may 1999, 200 pages.
- VILLALBA, Fernando H. *Centrales Maremotrices, Treinta Años de Historia*, Revista de Obras Publicas, noviembre de 1997, 18 páginas.
- VINING, Jennifer G. *Ocean Wave Energy Converters: Overview, Legal and Economic Aspects, and Direct-Drive Power Take-Off*, University of Wisconsin-Madison, January 2007, 137 pages.

## Electrónicas

- <http://www.termica.webhop.info/>, lunes 8 de mayo de 2006, 10:00 p.m.
- [http://www.energíadebate.com.mx/articulos/febrero2006/alvaro\\_rios\\_roca.html](http://www.energíadebate.com.mx/articulos/febrero2006/alvaro_rios_roca.html), martes 30 de mayo de 2006, 11:27 a.m.
- <http://personales.ya.com/universal/TermoWeb/EnergiasAlternativas/mar/index.html>. *Centrales Maremotrices*, viernes 31 de marzo de 2006, 6:15 p.m.
- <http://www.worldenergy.org/weceis/publications/reports/ser/marine/marine.asp>, lunes 8 de mayo de 2006, 12:03 p.m.
- [http://www.robotiker.com/castellano/noticias/eventos\\_pdf/42/PedroIbanez.pdf](http://www.robotiker.com/castellano/noticias/eventos_pdf/42/PedroIbanez.pdf), martes 2 de mayo de 2006, 12:00 a.m.
- <http://personales.ya.com/universal/TermoWeb/EnergiasAlternativas/mar/index.html>. *Conversión de la Energía Térmica del Océano*, viernes 31 de marzo de 2006, 6:15 p.m.
- <http://www.monografias.com/trabajos/fuentesener/fuentesener.shtml>, lunes 03 de abril de 2006, 9:50 p.m.
- <http://personales.ya.com/universal/TermoWeb/EnergiasAlternativas/mar/index.html>. *Técnicas para Aprovechar la Energía de las Olas*, viernes 31 de marzo de 2006, 6:15 p.m.
- <http://marchileno.mardechile.cl/>. *Origen de las Olas*, martes 4 de abril de 2006, 3:07 p.m.
- <http://es.wikipedia.org>, martes 19 de septiembre de 2006, 9:30 a.m.
- <http://www.lighthouse-foundation.org>, jueves 12 de abril de 2007, 6:30 p.m.
- <http://www.snet.gob.sv>, lunes 16 de abril de 2007, 7:30 p.m.
- <http://www.marn.gob.sv>, miércoles 7 de marzo de 2007, 4:15 p.m.
- [http://polar.ncep.noaa.gov/waves/main\\_int.html](http://polar.ncep.noaa.gov/waves/main_int.html), miércoles 7 de marzo de 2007, 4:15 p.m.
- <http://www.bp.com/statisticalreview>, viernes 19 de octubre de 2007, 1:05 a.m.

- <http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/index.html>.
- <http://www.olade.org.ec>

#### Hemerografía

- MAS, martes 16 de mayo de 2006, página 6.
- El Diario de Hoy, miércoles 10 de mayo de 2006, página 3.
- El Diario de Hoy. Demanda de energía crece al 6%, viernes 19 de mayo de 2006, página 4.
- La Prensa Gráfica, viernes 2 de junio de 2006, página 56.
- El Diario de Hoy, miércoles 10 de mayo de 2006, página 3.
- El Diario de Hoy, miércoles 10 de mayo de 2006, páginas 2 y 3.
- El Diario de Hoy, Negocios Generarán energía en el relleno de Nejapa, sábado 20 de mayo de 2006, página 37.
- El Diario de Hoy. Negocios, La tarifa eléctrica subiría 14%, viernes 9 de junio de 2006, página 42.
- La Prensa Gráfica. miércoles 19 de abril de 2006, página 30.
- LA PRENSA GRÁFICA, Economía, Preven alzas en las gasolinas y diésel para esta semana, martes 18 de abril de 2006, páginas 28 y 29.
- LA PRENSA GRÁFICA, The Wall Street Journal Américas, Los problemas de Irán amenazan el suministro de petróleo, miércoles 26 de abril de 2006, página 38.
- LA PRENSA GRÁFICA. Nación C.A. sin acuerdo sede refinería, sábado 3 de junio de 2006, páginas 18-24.

## **GLOSARIO**

## A

<b>Aerogenerador eólico</b>	Un aerogenerador es un generador eléctrico movido por la acción del viento. Sus precedentes directos son los molinos de viento que se empleaban para la molienda y obtención de harina.
<b>Alabe</b>	Cada una de las paletas curvas de una rueda hidráulica o de una turbina:
<b>Alternador</b>	Generador electromagnético de corriente alterna:
<b>Altura de la ola</b>	Es diferencia de altura entre la cresta y el seno de una ola
<b>Altura media de los mares</b>	Resulta de la atracción gravitatoria de La Luna y El Sol sobre las masas de agua de los mares, según la posición relativa de La Tierra y La Luna.
<b>Aluvión</b>	Sedimento arrastrado por las lluvias y las corrientes
<b>Arena</b>	La arena es un conjunto de partículas de rocas disgregadas.
<b>Asimetría</b>	Se refiere a la no simetría, es decir, a la propiedad de determinados cuerpos, funciones matemáticas y otros tipos de elementos en los que, al aplicarles una regla de transformación efectiva, se observan cambios respecto al elemento original.
<b>Avalanchas</b>	Es un desplazamiento de una masa que puede contener rocas, tierra o hielo, sobre una pendiente montañosa, que continúa su movimiento, hasta que la disminución de la pendiente o la presencia de obstáculos, provocan su detención.

## B

<b>Bahía</b>	Entrada de mar en la costa, ancha y de extensión considerable, pero menor que la del golfo
<b>Bajamar</b>	Momento en que el agua del mar alcanza su mínima altura dentro del ciclo de las mareas.
<b>Basáltica</b>	De basalto, Roca volcánica de color negro o gris oscuro, de grano fino, muy dura y compuesta principalmente de feldespatos y piroxeno.
<b>Biocombustibles</b>	Es el término con el cual se denomina a cualquier tipo de combustible que derive de la biomasa - organismos recientemente vivos o sus desechos metabólicos, tales como el estiércol de la vaca.



**Biomasa** Abreviatura de masa biológica, cantidad de materia viva producida en un área determinada de la superficie terrestre, o por organismos de un tipo específico.

**Bocanas** Desembocadura de un río.

## C

**Campo gravitacional** Se definirse como la fuerza por unidad de masa que experimentará una partícula puntual situada ante la presencia de una distribución de masa.

**Carrera de marea** Diferencia de altura entre pleamar y bajamar.

**celeridad** La velocidad de onda, también llamada velocidad de fase, es decir la velocidad de propagación de la onda, se calcula dividiendo la longitud de onda por el período.

**Cenizas volcánicas** La ceniza volcánica es una composición de partículas de roca y mineral muy finas (de menos de 2 milímetros de diámetro) eyectadas por un viento volcánico.

**Central hidroeléctrica** Una central hidroeléctrica es aquella que genera electricidad mediante el aprovechamiento de la energía potencial del agua embalsada en una presa situada a más alto nivel que la central.

**Central maremotérmica** Es un sistema capaz de aprovechar las diferencias de temperatura del mar para producir energía eléctrica

**Ciclo binario** “Ciclo Binario”, es un sistema por medio del cual se transfiere calor desde un fluido de mayor temperatura a otro de menor temperatura, con el fin de evaporarlo y generar electricidad mediante el uso de un sistema turbina-generador.

**Ciclo de Rankine** El Ciclo de Rankine es un ciclo termodinámico. Donde la máxima eficiencia termodinámica es dada por el cálculo de máxima eficiencia del Ciclo de Carnot. Debe su nombre a su desarrollador, el físico y filósofo escocés William John Macquorn Rankine.

**Corales** El animal conocido como coral, es un pequeño pólipo de apenas unos milímetros de diámetro. Tiene la capacidad de fijar sobre sus tejidos el calcio disuelto en el mar y así formar las estructuras rígidas características.

**Corrientes marinas** Es un movimiento de traslación, continuado y permanente de una

masa de agua determinada de los océanos y, en menor grado, de los mares más extensos.

<b>Costa</b>	La costa es la parte de un continente o de una isla que linda con el mar.
<b>Costas acantiladas</b>	Las costas acantiladas son aquellas que terminan abruptamente en la línea de la costa.
<b>Cresta</b>	Parte más alta de una ola.
<b>Cretácico</b>	El Cretácico, o también Cretáceo, es un período geológico que constituye una de las mayores divisiones de la escala del tiempo geológico, abarcando desde el fin del período Jurásico, hace 146 millones de años (Ma) hasta el inicio de la época del Paleoceno del período Terciario (65 Ma).
<b>Crustáceos</b>	Los crustáceos son un extenso subfilo de artrópodos (alrededor de 55.000 especies). Incluyen varios conocidos grupos animales, como las langostas, los camarones, los cangrejos y los percebes.
<b>Cuaternario</b>	También llamado Neozoico es el último de los grandes períodos geológicos. Se desarrolla entre el final del período terciario y el comienzo de las glaciaciones como el inferior, es decir, hace 1,64 millones de años hasta nuestros días como límite superior.

## D

<b>Deltas</b>	La zona amplia de la desembocadura de un río donde se depositan sedimentos por encima del nivel del agua. Estos materiales pueden proceder de la erosión fluvial, marina o de ambas.
<b>Densidad</b>	En física el término densidad, es una magnitud referida a la cantidad de masa contenida en un determinado volumen, y puede utilizarse en términos absolutos o relativos.
<b>Difracción</b>	Es un fenómeno característico de las ondas que consiste en la dispersión y curvado aparente de las ondas cuando encuentran un obstáculo.
<b>Dique</b>	Un dique es un terraplén natural o artificial, por lo general de tierra, paralelo al curso de un río.
<b>Dispersión</b>	Es el fenómeno por el cual un conjunto de partículas que se mueve en una dirección determinada rebota sucesivamente con las partículas del medio por el que se mueve hasta perder una dirección

privilegiada de movimiento.

**Dunas**

Es una acumulación de arena en la línea costera, generada por la acción del oleaje en el transporte de sedimentos.

**E**

**Edad Pleistocénica**

El Pleistoceno es el período más antiguo del Cuaternario. Precedido por el Plioceno y seguida del Holoceno (últimos 10.000 años).

**Edad Terciaria**

Era Terciaria, o Cenozoico, que en idioma griego significa animales nuevos, se inició hace unos 65 millones de años y se extiende hasta la actualidad.

**Electricidad**

La electricidad es un fenómeno físico originado por cargas eléctricas estáticas o en movimiento y por su interacción.

**Energía**

La energía es una magnitud física abstracta, ligada al estado dinámico de un sistema cerrado y que permanece invariable con el tiempo. También se puede definir la energía de sistemas abiertos, es decir, partes no aisladas entre sí de un sistema cerrado mayor. Un enunciado clásico de la física newtoniana afirmaba que la energía ni se crea ni se destruye, sólo se transforma.

**Energía de Biomasa**

Es la energía que se obtiene de la materia orgánica que se encuentra en La Tierra.

**Energía eólica**

La energía eólica es la energía producida por el viento.

**Energía geotérmica**

Energía geotérmica es aquella energía que puede ser obtenida por el hombre mediante el aprovechamiento del calor del interior de La Tierra.

**Energía mareomotriz**

La energía mareomotriz es la que resulta de aprovechar las mareas, es decir, la diferencia de altura media de los mares según la posición relativa de La Tierra y La Luna, y que resulta de la atracción gravitatoria de esta última y del sol sobre las masas de agua de los mares.

**Energía solar**

La energía solar es la energía que se obtiene utilizando la radiación de El Sol.

<b>Energía térmica</b>	Se denomina energía térmica a la energía liberada en forma de calor, obtenida de la naturaleza (energía geotérmica), mediante la combustión de algún combustible fósil (petróleo, gas natural o carbón), mediante energía eléctrica por efecto Joule, por rozamiento, por un proceso de fisión nuclear o como residuo de otros procesos mecánicos o químicos.
<b>Energías renovables</b>	Se denomina energía renovable a la energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, unas por la inmensa cantidad de energía que contienen, y otras porque son capaces de regenerarse por medios naturales.
<b>Epicentros</b>	Punto de la superficie de La Tierra bajo el cual se origina un movimiento sísmico y en el que, por tanto, es mayor su intensidad:
<b>Época del Paleoceno</b>	La extinción de los dinosaurios incidió en una gran diversidad de mamíferos en este período. Los principales fueron: Marsupiales, Insectívoros, Lémures, Creodontos y animales Ungulados primitivos, a partir de los cuales evolucionaron diversos grupos, como los caballos, los rinocerontes, los cerdos y los camellos.
<b>Época Miocénica</b>	Proliferaron las especies de mamíferos, entre ellos el rinoceronte, el gato, el camello y el caballo con las formas primitivas; entre estos están incluidos los grandes simios, que además de África, vivían en Asia y el Sur de Europa.
<b>Epoca Pliocénica</b>	La era geológica del Plioceno es el período en la historia geológica que se extiende desde 5.3 millones hasta 1.8 millones de años en el pasado.
<b>Era Secundaria</b>	La Era Secundaria, también llamada Era Mesozoica o Mesozoico, fue un período de La Tierra que se inició hace 225 millones de años y finalizó hace unos 65.
<b>Estero</b>	Estero es un canal angosto y somero por donde ingresan y salen las mareas a un río.
<b>Estocástico</b>	Palabra proveniente del griego: στοχαστικός, hábil en conjeturar. Significa "perteneciente o relativo al azar" según el DRAE. Se denomina estocástico a aquel sistema que funciona, sobre todo, por el azar.
<b>Estratos</b>	En Geología se llama estrato a cada una de las capas en que se presentan divididos los sedimentos, las rocas sedimentarias y las rocas metamórficas que derivan de ellas, cuando esas capas se

deben al proceso de sedimentación.

**Estuarios** Es la zona de la desembocadura de un río en la que penetra la erosión del mar.

## F

**Fango** Fango es el lodo o sedimento acuoso en la que se concentran los sólidos sedimentados o decantados de un agua bruta o bien de un reactor biológico.

**Fenómeno de El Niño** En climatología se denomina El Niño a un síndrome climático, erráticamente cíclico, que consiste en un cambio en los patrones de movimientos de las masas de aire provocando, en consecuencia, un retardo en la cinética de las corrientes marinas "normales", desencadenando el calentamiento de las aguas sudamericanas

**Frecuencia** Es una medida para indicar el número de repeticiones de cualquier fenómeno o suceso periódico en una unidad de tiempo.

**Fuentes de energía** Las fuentes de energía son elaboraciones naturales más o menos complejas de las que el hombre puede extraer energía para realizar un determinado trabajo u obtener alguna utilidad.

## G

**Generación de electricidad** La generación de energía eléctrica, en términos generales, consiste en transformar alguna clase de energía no eléctrica, sea esta química, mecánica, térmica, luminosa, etc., en energía eléctrica.

**Geodinámica** La Geodinámica es una subdisciplina de la geofísica que estudia la dinámica de los procesos que han dado lugar a la estructura de La Tierra, como la convección en el manto terrestre.

**Geología** La geología es la ciencia que estudia la forma interior del globo terrestre, la materia que lo compone, su mecanismo de formación, los cambios o alteraciones que éstas han experimentado desde su origen, y la colocación que tienen en su actual estado.

**Geomorfología** La geomorfología es la disciplina geológica que estudia los fenómenos que han configurado la superficie terrestre como resultado de un balance dinámico, que evoluciona en el tiempo, entre procesos constructivos y destructivos.

**Golfo** Un golfo es una penetración de grandes dimensiones del mar en la costa formando una curva. En cada extremo suele tener un cabo.

**Graben** El conjunto de dos fallas normales paralelas con inclinación opuesta en un ambiente tectónico expansiva.

**Gravedad** La gravedad es máxima en la superficie. Tiende a disminuir al alejarse del planeta, por aumentar la distancia  $r$  entre las masas implicadas. Sin embargo, también disminuye al adentrarse en el interior de la Tierra.

**Grumosoles** Los Grumosoles son suelos arcillosos, que varían en color desde negro hasta gris oscuro

## H

**Halófito** Es una planta que naturalmente crece en áreas afectadas por salinidad en las raíces o spray de sal, como en los desiertos salinos, litorales. Un ejemplo de ellas es el pasto de salares *Spartina*.

**Halomórficos** Suelos Halomórficos. Son suelos de áreas bajas, adyacentes al mar y a los esteros

**Hornblenda** La Hornblenda ó Hornablenda es el nombre de un grupo de minerales perteneciente a los silicatos ó aluminosilicatos. Su fórmula genérica es  $Ca_2(Mg,Fe,Al)_5(Al,Si)_8O_{22}(OH)_2$ . El nombre deriva del alemán Horn (Cuerno) y Blende (de blenden = relucir) y se refiere al brillo del mineral.

**Huracanes** Es un sistema de tormentas con una circulación cerrada alrededor de un centro de baja presión.

## I

**Ignimbritas** Son sedimentaciones de corrientes del material expulsado del un volcán.

**Inceptisoles** Uno de los diez órdenes de suelo en el Sistema de Taxonomía de Suelos de los Estados Unidos.

**Inundaciones** Una inundación es la ocupación por parte del agua de zonas que habitualmente están libres de esta, bien por desbordamiento de ríos y ramblas, subida de las mareas por encima del nivel habitual o avalanchas causadas por tsunamis.

**Islas** Una isla es una porción de tierra menor que un continente que se encuentra totalmente rodeada de agua. Toda su superficie tomada a la misma altura sobre el nivel del mar está sometida a un clima

similar, a diferencia de lo que ocurre en los continentes.

## L

<b>Laguna</b>	Es la denominación que recibe cualquier extensión natural de agua estancada, sea esta dulce o salada.
<b>Lapillo</b>	Lapillo es un término internacional que en la geología y en aplicaciones de vulcanología, indica pequeños fragmentos sólidos de las coladas que vienen con violencia de los volcanes durante erupciones del tipo explosivo.
<b>Latosoles</b>	Suelos arcillosos de color rojizo en lomas y montañas.
<b>Latosotes</b>	Los tipos de suelo que se encuentran son: Latosoles arcillo rojizos y Litosoles, Alfisoles (fase pedregosa superficial de ondulada a montañosa muy accidentada); Grumosoles, Litosoles y Latosoles arcillo rojizos, Vertisoles y Alfisoles. (Fase de casi a nivel a fuertemente alomadas).
<b>Lavas</b>	La lava es magma que ha alcanzado la superficie perdiendo una parte importante de los gases que contenía.
<b>Lenguas de tierra</b>	Cualquier porción de tierra de forma alargada y no muy extensa podría llamarse una lengua de tierra.
<b>Longitud de la ola</b>	A la distancia entre dos crestas se le denomina longitud de onda ( $\lambda$ )

## M

<b>Magnetita</b>	La magnetita es un mineral de hierro constituido por óxido ferroso-diférrico ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) que debe su nombre de la ciudad griega Magnesia.
<b>Manglares</b>	Tipo de ecosistema considerado a menudo un tipo de biomasa, formado por árboles muy tolerantes a la sal que ocupan la zona intermareal de las costas de latitudes tropicales de La Tierra.
<b>Mantenimiento</b>	Son de aplicación directa, estructural, de control económico y debe ser capaz de prolongar el ciclo vital de la maquinaria
<b>Manto freático</b>	Cuerpo de agua de infiltración en el subsuelo que se encuentra ubicado a poca profundidad, generalmente a unos pocos metros de la superficie

<b>Mareas</b>	Se le llama marea al ascenso y descenso periódicos de todas las aguas oceánicas, incluyendo las del mar abierto, los golfos y las bahías. Estos movimientos se deben a la atracción gravitatoria de La Luna y El Sol sobre el agua y la propia Tierra.
<b>Marejadas</b>	La marejada ciclónica es una inundación costera asociada con sistemas atmosféricos de baja presión, normalmente, un ciclón tropical. La marejada ciclónica se produce principalmente por los vientos en altura, empujando la superficie oceánica.
<b>Mares</b>	Un mar es una masa de agua salada de tamaño inferior al océano, así como también el conjunto de la masa de agua salada que cubre la mayor parte del Planeta Tierra, incluyendo océanos y mares menores.
<b>Marismas</b>	En Geografía, una marisma es un ecosistema húmedo con plantas herbáceas que crecen en el agua. Llanura húmeda próxima al mar.
<b>Matriz energética</b>	En una matriz energética se establecen las diferentes fuentes energéticas que dispone un país, indicando la importancia de cada una de estas y sus el modo en que estas se usan.
<b>Metro</b>	El metro es la unidad de longitud del Sistema Internacional de Unidades. Se define como la longitud del trayecto recorrido en el vacío por la luz durante un tiempo de $1/299792458$ s (aprox. 3,34 ns).
<b>Molisoles</b>	Los Molisoles son básicamente suelos negros o pardos que se han desarrollado a partir de sedimentos minerales en climas templado húmedos a semiárido, aunque también se presentan en regímenes fríos y cálidos con una cobertura vegetal integrada fundamentalmente por gramíneas.
<b>Montañas</b>	Es una eminencia superior a 700 metros respecto a su base, es decir, una elevación natural del terreno.
<b>Morfología</b>	En biología, la morfología es la disciplina encargada del estudio de la forma y estructura de un organismo o sistema.
<b>Movimiento de traslación</b>	En física, la traslación es un movimiento en el cual se modifica la posición de un objeto, en contraposición a una rotación.



**Movimiento oscilatorio** Es un movimiento periódico en torno a un punto de equilibrio estable. Los puntos de equilibrio mecánico son, en general, aquellos en los cuales la fuerza neta que actúa sobre la partícula es cero. Si el equilibrio es estable, pequeños desplazamientos darán lugar a la aparición de una fuerza que tenderá a llevar a la partícula de vuelta hacia el punto de equilibrio.

**Movimientos orogénicos** Movimientos orogénicos. Son el conjunto de procesos mediante los cuales se originan montañas.

## N

**Nudos** Abreviado kn, es una medida de velocidad utilizada tanto para navegación marítima como aérea.

## O

**Océano** Parte de la superficie terrestre ocupada por el agua marina.

## P

**Paleozoico** O Era Primaria es una etapa de la Historia de La Tierra de unos 315 millones de años de duración, que se inició hace unos 570 millones de años y acabó hace unos 249.

**Penínsulas** Una península es una extensión de tierra rodeada de agua por todas partes excepto por una zona, relativamente menos larga que ella.

**Peralte de las olas** Es la relación existente entre la altura de ola y su longitud de ola correspondiente y es un indicador de la forma de la ola.

**Petróleo** Es una mezcla compleja no homogénea de hidrocarburos (compuestos formados principalmente por hidrógeno y carbono).

**Plataforma Continental** Es el perímetro extendido de cada continente, que queda cubierto por mares relativamente poco profundos y golfos. La plataforma nace, en la costa, y suele terminar en un punto de la comarca pendiente creciente (llamado barrera continental).

**Playas** Las playas son la expansión del balance entre la erosión marina producida por las olas, mareas y corrientes marinas y los aportes suministrados por la propia erosión marina desde otras zonas y por los ríos. Los agentes del modelado costero son las olas, las corrientes y las mareas.

**Pleamares**

Momento en que el agua del mar alcanza su máxima altura dentro del ciclo de las mareas.

**Precámbrico**

El Precámbrico es la etapa más larga de la Historia de La Tierra. Comienza cuando ésta se formó, hace 4.600 millones de años, y termina hace aproximadamente 570 millones de años.

**Presión**

Se define como la fuerza por unidad de superficie

**Privatización**

Es la acción por la que un bien público pasa a ser controlado por empresas privadas.

**Probabilístico**

Es un algoritmo que basa su resultado en la toma de algunas decisiones al azar, de tal forma que, en promedio, obtiene una buena solución al problema planteado para cualquier distribución de los datos de entrada.

**R**

**Refinería**

Una refinería es una planta industrial destinada refinación de petróleo la cual, mediante un proceso adecuado, obtienen diversos combustibles fósiles capaces de ser utilizados en motores de combustión:

**Reflexión**

En la reflexión óptica, lo que refleja, no es luz, sino ondas.

**Refracción**

Cambio de dirección que experimenta una onda al pasar de un medio material a otro.

**Regosoles**

Son suelos muy jóvenes, generalmente resultado del depósito reciente de roca y arena acarreadas por el agua.

**Relieve**

Formas que adopta la superficie de la corteza terrestre.

**Resaca**

Corriente de agua formada después del rompimiento de la ola.

**Río**

Corriente natural de agua que fluye con continuidad. Posee un caudal determinado y desemboca en el mar, en un lago o en otro río, en cuyo caso se denomina afluente.

**Rocalla**

Designa a una forma peculiar de jardinería, caracterizada por una decoración de estilo rústico con plantas de origen alpino o plantas resistentes a la sequía que se crían en terrenos pobres y secos de gravas, conchas y piedras naturales o artificiales que sirven de ornamento para algunas fuentes o grutas decorativas.

## S

<b>Salinidad</b>	Es el contenido de sal disuelta en un cuerpo de agua. Dicho de otra manera, es válida la expresión salinidad para referirse al contenido salino en suelos o en agua.
<b>Sedimentación</b>	Es el proceso por el cual el material sólido, transportado por una corriente de agua, se deposita en el fondo del río, embalse, canal artificial, o dispositivo construido especialmente para tal fin.
<b>Seno de la ola</b>	La parte más baja de una ola.
<b>Sierra</b>	Cordillera de montes o peñascos cortados.
<b>Sinuosidades</b>	Huecos o concavidades que forman una cosa encorvada.
<b>Suelos</b>	Sustrato físico sobre el que se realizan las obras, del que importan las propiedades físico-químicas, especialmente las propiedades mecánicas.
<b>Sustrato</b>	El sustrato es la parte del biotopo donde determinan seres vivos a realizan sus funciones vitales (nutrición, reproducción, relación).

## T

<b>Talud continental</b>	Parte de la morfología submarina, ubicada entre los 200 a 4.000 metros bajo el nivel del mar. Esta zona tiene un fuerte relieve o declive, en la que se encuentran profundos valles, grandes montañas y gigantescos cañones submarinos.
<b>Temperatura</b>	Es un parámetro termodinámico del estado de un sistema que caracteriza el calor, o transferencia de energía.
<b>Termales</b>	Es una columna de aire ascendente desde bajas altitudes de la atmósfera terrestre. Las termales se crean por el desigual calentamiento de la superficie terrestre por la radiación solar, y es un ejemplo de convección. El Sol calienta el suelo, que a su vez calienta el aire por encima de él.
<b>Terremotos</b>	Sacudidas o movimientos bruscos del terreno generalmente producidos por disturbios tectónicos o volcánicos.
<b>Toba calcárea</b>	Roca porosa, no confundir con la piedra pómez, que es más ligera e incluso flota en el agua. De color castaño (zona levantina de España) o crema (Baleares), se usa como ornamentación en la construcción de obra (generalmente chalets).

<b>Toba pómez</b>	Roca magmática volcánica vítrea, con baja densidad (flota en el agua) y muy porosa. En su formación la lava proyectada al aire sufre una gran descompresión. Como consecuencia de la misma se produce una desgasificación quedando espacios vacíos separados por delgadas paredes de vidrio volcánico.
<b>Toba Volcánica</b>	Roca ligera, de consistencia porosa, formada por la acumulación de cenizas u otros elementos volcánicos muy pequeños.
<b>Topografía</b>	Ciencia que estudia el conjunto de principios y procedimientos que tienen por objeto la representación gráfica de la superficie de La Tierra, con sus formas y detalles, tanto naturales como artificiales.
<b>Trenes de ondas</b>	Las ondas al viajar se orientan en forma paralela según su longitud de ondas características, y forman los denominados Trenes de Ondas.
<b>Turbinas</b>	Nombre genérico que se le da a la mayoría de las turbomáquinas motoras. Éstas son máquinas de fluido, a través de las cuales pasa un fluido en forma continua y éste le entrega su energía a través de un rodete con paletas o álabes.

## ANEXOS

Anexo A1-1: Técnica de aprovechamiento energético del oleaje<sup>302</sup>.

Prototipo propuesto por el Ingeniero Mario Ernesto Rodríguez Sosa en 1988, El Salvador.

El principio consiste en un juego de bóvedas de diferentes niveles (tipo panal), donde la ola incidente actúa como pistón, para comprimir aire, almacenándolo posteriormente en reservorios para su almacenamiento, luego el aire a presión es descargado a una turbina para generar energía eléctrica.

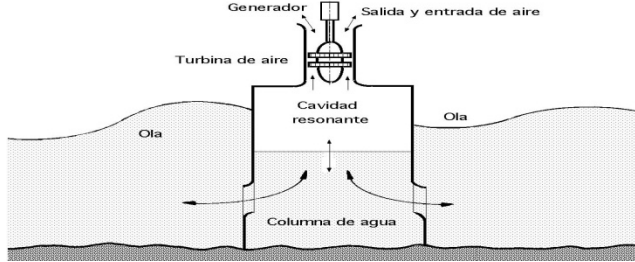
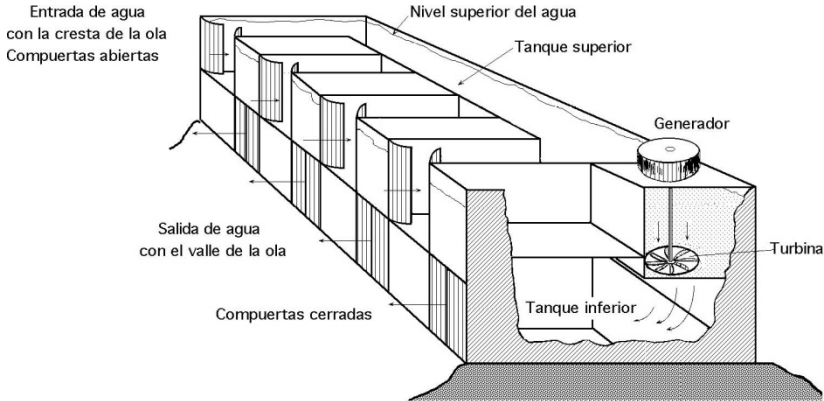
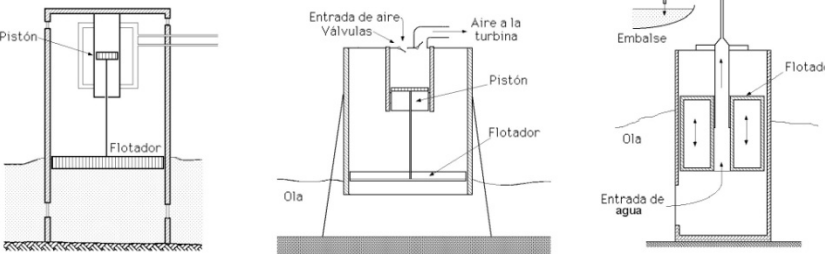


<sup>302</sup> Propuesta por el Ingeniero Mario Ernesto Rodríguez Sosa, en 1988.

Anexo A2-1: Diferentes técnicas utilizadas para el aprovechamiento de la energía del oleaje<sup>303</sup>.

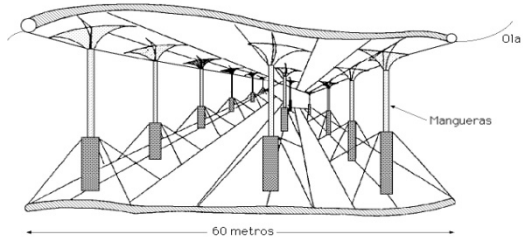
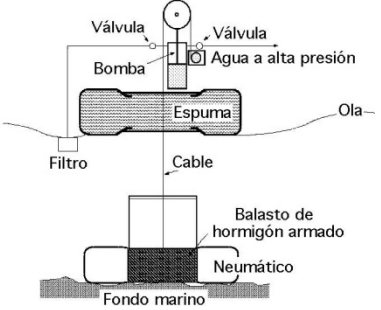
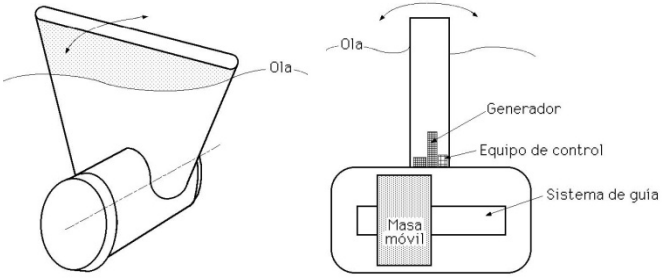
TÉCNICAS DE CONVERSIÓN ENERGÉTICA DEL OLEAJE.		
Principio	Descripción	Esquema
Empuje de la ola	Consiste de un dique conectado a un pistón hidráulico, donde los frentes de olas transmite la energía al pistón, comprimiendo y este acoplado a un generador.	
Variación de la altura de la superficie de la ola	Para aprovechar este fenómeno, se instalan estructuras flotantes que se muevan con las olas, sintonizadas de tal manera que puedan captar su energía. Al disponer de un gran número de esta se capturará la energía.	

<sup>303</sup> <http://personales.ya.com/universal/TermoWeb/EnergiasAlternativas/mar/index.html>, Técnicas para Aprovechar la Energía de las Olas, páginas 3-19, viernes 31 de marzo de 2006.

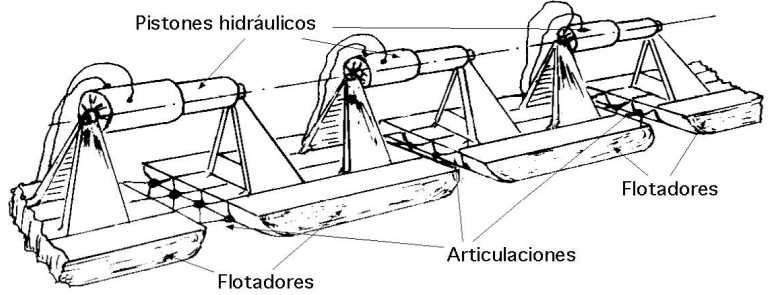
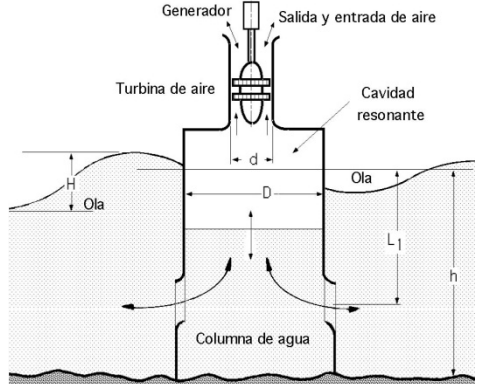
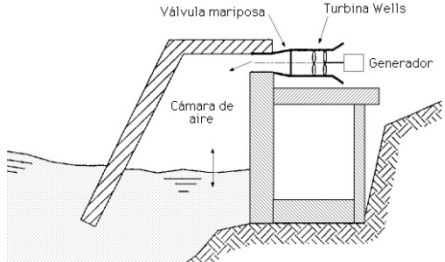
<p>Variación de la presión bajo la superficie de la ola</p>	<p>Esta técnica utiliza el principio de la columna de agua oscilante; el cual consisten de una cámara abierta al mar, que encierra un volumen de aire que se comprime y expande por la oscilación del agua inducida por el oleaje, el aire circula a través de una turbina que puede ser bidireccional acoplado a un generador.</p>	
<p>OWC Rectificador Russel</p>	<p>Consiste en una gran estructura construida sobre el lecho marino, que consta de dos tanques, uno superior y otro inferior. Las compuertas superiores se abren con la cresta de la ola, penetrando grandes cantidades de agua en el tanque superior, mientras que las compuertas inferiores permiten la salida del agua del tanque inferior con el valle de la ola; ambos tanques están comunicados por una turbina.</p>	
<p>OWCS mecánicos</p>	<p>Aprovechan la oscilación del agua en la cámara mediante un flotador, que puede accionar agua (bomba) o aire (compresor). El flotador puede accionar también un motor hidráulico, o un alternador.</p>	

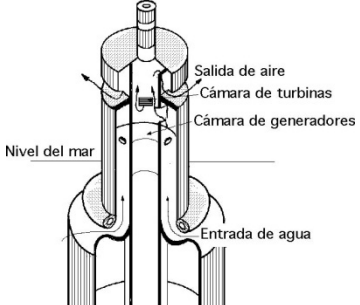
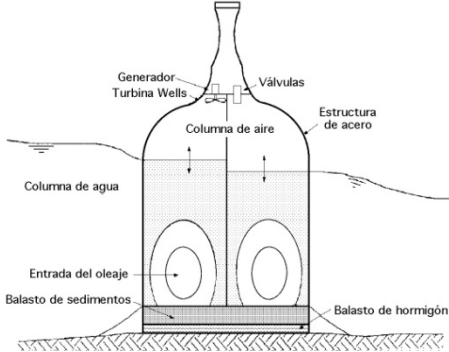
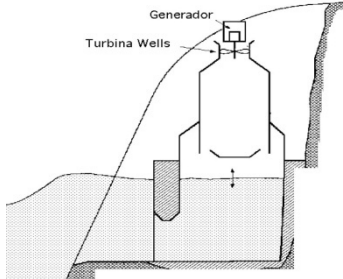


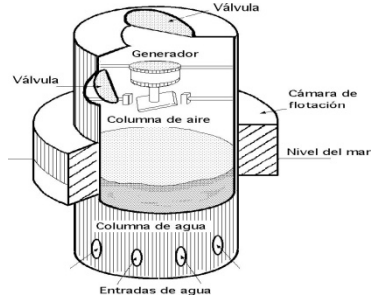
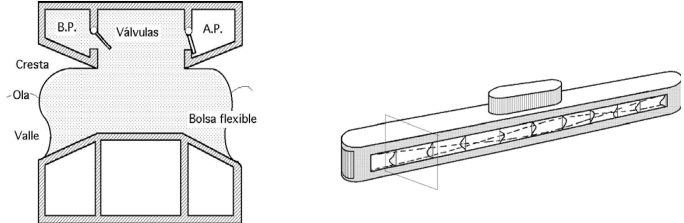
<p>OWC De Unión Fenosa</p>	<p>El OWC se ubica en un pozo existente, se comunica con el mar, y consta de un flotador de 6 m de diámetro, conectado mediante una cadena a un dispositivo mecánico que transforma el movimiento ascendente descendente del flotador en un giro, mediante un rectificador acoplado a un multiplicador de velocidad y a un generador eléctrico, con volante de inercia.</p>	
<p>OWC Péndulo</p>	<p>Consiste en una cámara fabricada de hormigón de forma que el frente hacia el mar está provisto de una placa rígida de acero, articulada en su parte superior, que puede oscilar ligeramente. En el interior de la cámara, cuya profundidad es de un cuarto de longitud de ola, se produce una ondulación estacionaria que mueve la placa, cuyas oscilaciones se transmiten y absorben por un dispositivo oleohidráulico.</p>	
<p>OWC Tapchan (Noruega)</p>	<p>Consiste en un colector formado por un canal horizontal convergente que concentra el oleaje y eleva el agua del mar a un embalse situado a unos metros por encima del nivel mar, convirtiendo la mayor parte de la energía de las olas en energía potencial, para su posterior restitución al mar a través de una turbina convencional tipo Kaplan.</p>	

<p>OWC Bomba de Manguera (Suecia)</p>	<p>Consiste en un sistema de mangueras en serie, conectadas en sus extremos a membranas deformables, que suministran agua de mar a una turbina Pelton, el dispositivo suministra electricidad a boyas de navegación.</p>	
<p>OWC Bomba de pistón (Dinamarca)</p>	<p>Este sistema consta de un cilindro con pistón en una estructura de hormigón ubicada en el fondo del mar, un flotador y un cable que une el pistón y el flotador. El pistón asciende por la acción del oleaje y desciende por gravedad, y está provisto de válvulas rectificadoras a la entrada del agua generando un flujo de agua que se aprovecha en una turbina hidráulica.</p>	
<p>OWC Frog</p>	<p>Este sistema consta de un flotador en forma de remo en posición vertical, conectado rígidamente a un casco sumergido y anclado al fondo del mar, como una boya. El casco contiene una masa, que actúa como pistón dentro de un cilindro, que puede moverse sobre un eje en la dirección de las olas, produciéndose un flujo de aceite a alta presión.</p>	

<p>OWC Duck o Pato Salter (Escocia)</p>	<p>Consiste en un flotador alargado cuya sección más estrecha se enfrenta a la ola con el fin de absorber la energía, mientras que su parte posterior es cilíndrica, para evitar pérdidas de energía por rozamiento. Los flotadores giran bajo la acción de las olas, lentamente, alrededor de un eje cuyo movimiento de rotación acciona una bomba de aceite que se encarga de mover una turbina.</p>	
<p>OWC Clam</p>	<p>Consiste en una estructura flotante de forma toroidal, la base de acero, lleva montadas sobre la cara exterior membranas de goma reforzada. Las membranas son deformables por la acción del oleaje. Cuando una ola choca con la membrana, su volumen disminuye y hace circular el aire dentro de ella, a través de una tubería.</p>	
<p>OWC Cilindro Bristol</p>	<p>Consiste en una estructura de anclaje en la que están incorporadas bombas hidráulicas, que permiten un desplazamiento vertical. Expuesto al oleaje, el cilindro describe un movimiento circular, en respuesta al movimiento orbital de las partículas de agua dentro de la ola.</p>	

<p>OWC Raft o Balsa Cockerell</p>	<p>Consiste en plataformas flotantes, articuladas entre sí, (dos o más), unidas mediante mecanismos hidráulicos (cilindro-émbolo), que reciben el impacto de las crestas de las olas, de forma que los movimientos de giro parcial de los flotadores accionados por ellas, se aprovechan para mover un fluido mediante el sistema (cilindro-émbolo).</p>	
<p>OWC Columna Oscilante</p>	<p>El principio de extracción de la energía de las olas está basado en la oscilación del agua dentro de una cámara semi-sumergida y abierta por debajo del nivel del mar, provocada por el oleaje, que produce un cambio de presión del aire por encima del agua, obteniéndose un flujo de aire que se puede aprovechar haciéndole pasar a través de una turbina.</p>	
<p>OWC NEL (Escocia)</p>	<p>Funciona según el principio de la cavidad resonante de forma que mediante un sistema de válvulas se consigue que el aire que atraviesa la turbina circule siempre en el mismo sentido (Válvula Check).</p>	

<p>OWC Shoreline o Convertidor Belfast (Escocia)</p>	<p>El principio de operación de este OWC es idéntico al del NEL, pues aprovecha el flujo de aire producido por la oscilación del agua dentro de la cámara. El aire de la cámara se conduce a través de un tubo hacia una turbina biplana tipo Wells, (que gira siempre en el mismo sentido independientemente de la corriente de aire).</p>	
<p>Art Osprey</p>	<p>La estructura en forma semiesférica contiene dos cámaras de aire, colocado en el fondo del mar, tiene su salida equipada con dos turbinas tipo Wells y generadores en posición vertical, su fijación al fondo del mar se efectuó por balasto de sedimentos y hormigón. El ascenso y descenso debido al constante movimiento de las olas hace que el aire se comprima y pase por las turbinas.</p>	
<p>OWC Kvaerner (Noruega)</p>	<p>El principio consiste en que cuando las olas penetran por la parte inferior del cilindro estas desplacen hacia arriba una columna de aire, la cual se aprovechara para impulsar una turbina instalada en el extremo superior del tubo.</p>	

<p>OWC Sanze o Boya Masuda (Japón)</p>	<p>Es una boya que tiene en su interior un sistema que actúa por el principio de cavidad resonante, accionando una turbina de aire comprimido por la columna de agua provocada por las olas.</p>	
<p>OWC Bolsa de Lancaster</p>	<p>Las olas actúan lateralmente sobre las bolsas flexibles de forma que, aprovechando la situación de las crestas y valles de las olas, y mediante un sistema de válvulas, provocan el accionamiento de unas turbinas de aire.</p>	

### Distribución Direccional de la Energía del Oleaje

09-Mar-2007 01:00:00

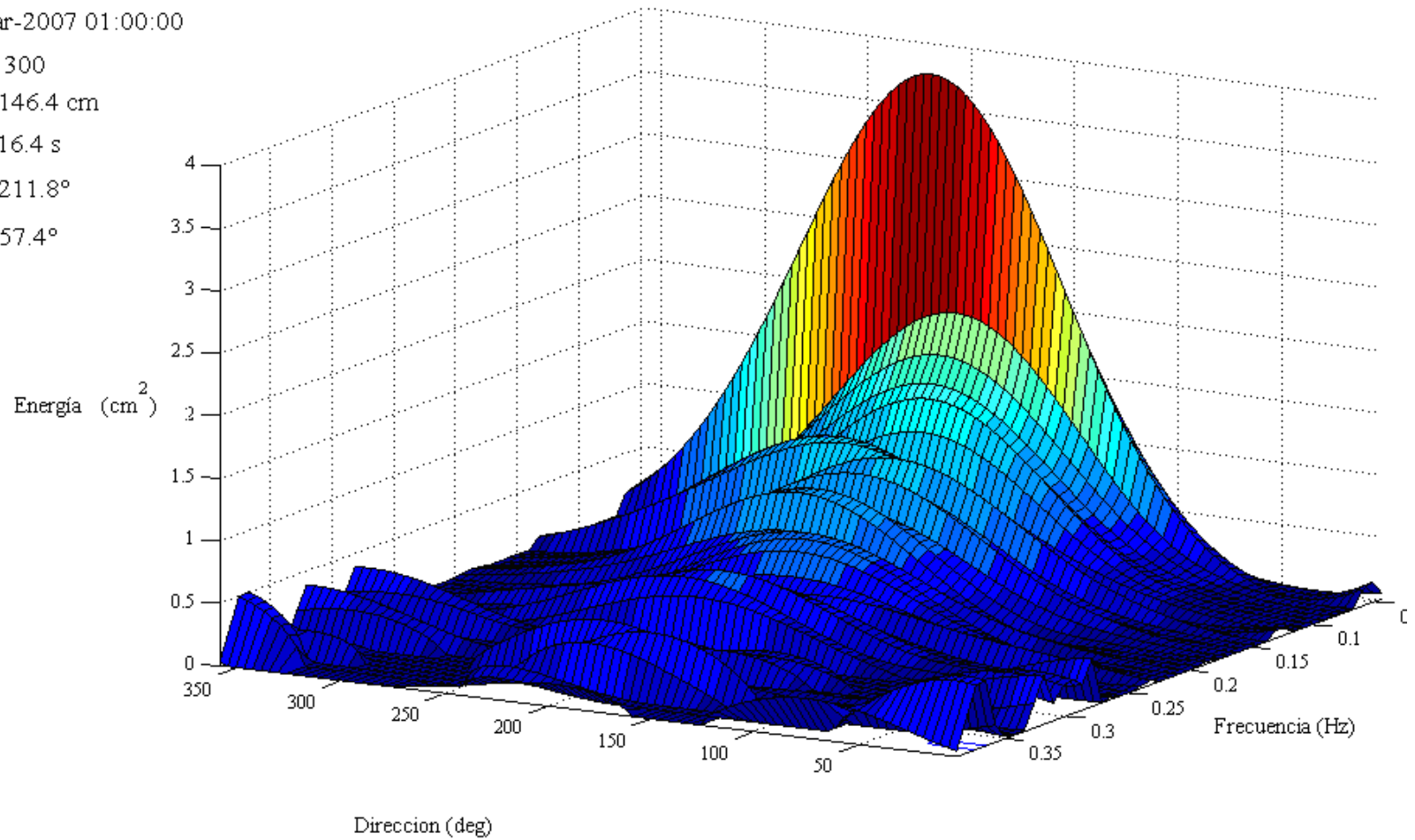
Burst: 300

$H_s$ : 146.4 cm

$T_p$ : 16.4 s

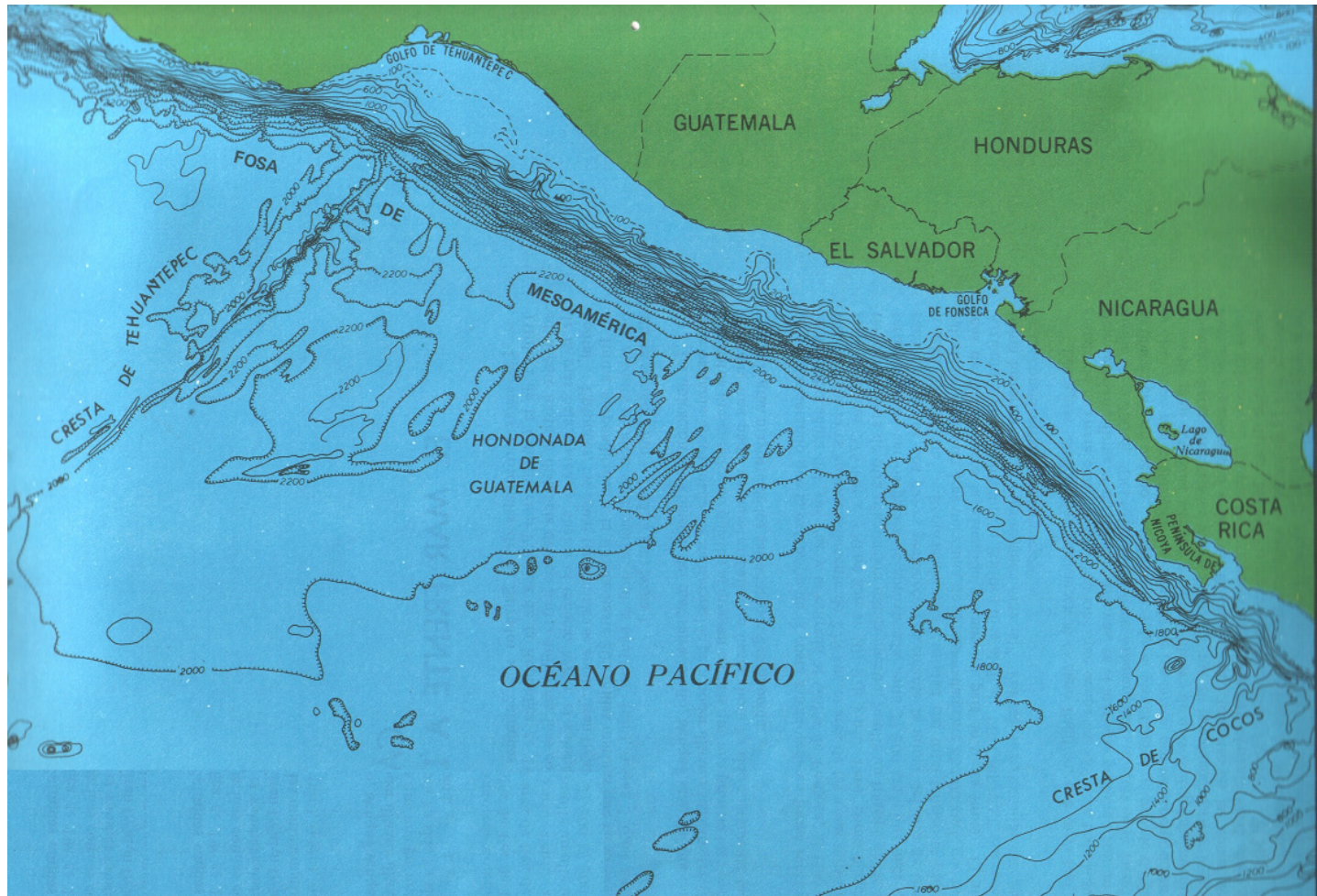
$\theta_m$ : 211.8°

$\Delta\theta$ : 57.4°



Anexo A2-2: Distribución de energía espectral del oleaje en el intervalo de frecuencia y dirección, de un estado de mar procesado por el software View Tritón.

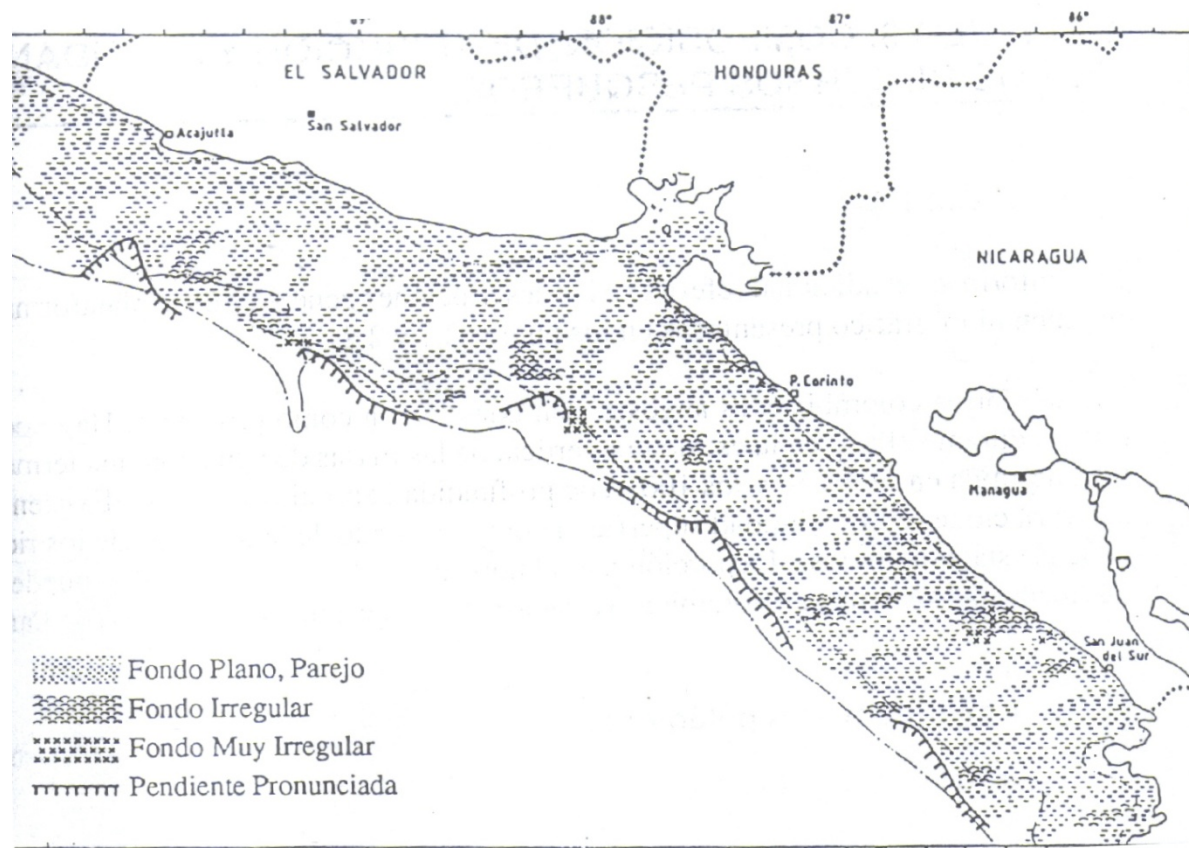




Anexo A3-1: Topografía del Océano Pacífico del Este Tropical<sup>304</sup>. Observe desde el borde continental, relieve moderado, ancho 50 a 80 Km, pendiente de 0° 15' en el occidente y 0° 5' frente al Estero de Jiquilisco, hasta la subcota 200, pasando casi abruptamente hasta la subcota 2000 en una faja equivalente, ancho 100 Km, pendiente 4.5°. Nivel de referencia 0 m s n m, dato en La Unión. Posible influencia de la subducción de las placas oceánicas de Cocos y la de Centroamérica.

<sup>304</sup> Geografía de El Salvador, página 128.





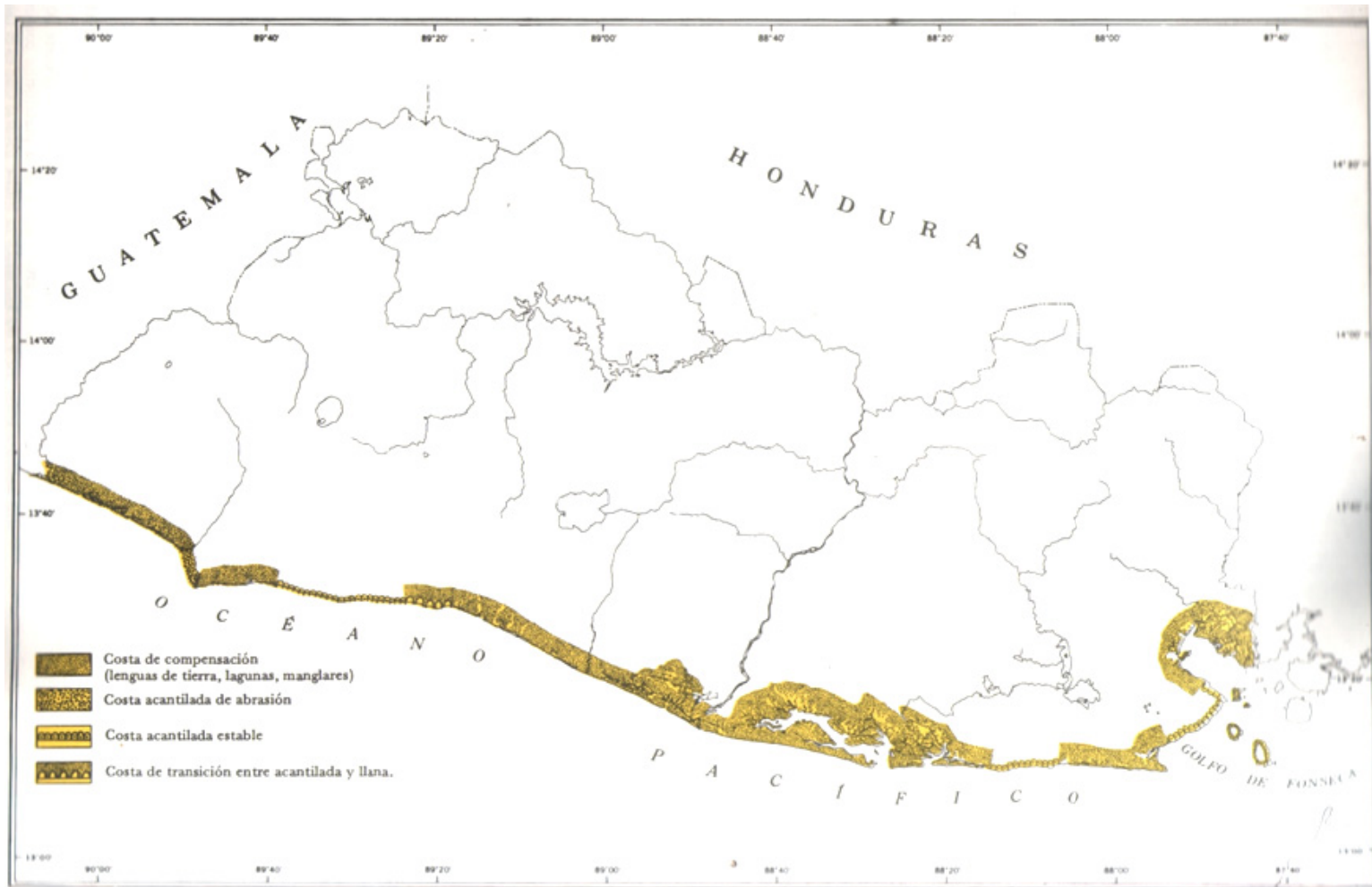
Anexo A3-2: Características del fondo marino de El Salvador, Honduras y Nicaragua<sup>305</sup>.

<sup>305</sup> VIDAL J., Julio y ROSETTI B., Bruno. Resumen de las Exploraciones Dimersales en el Pacífico de Centro América, página 27.



Anexo A3-3: Mapa morfológico de El Salvador<sup>306</sup>. 1) Sistema El Bálsamo en depto. La Libertad; 2) Sierra de Jucuarán depto. Usulután; 3) Río Lempa; 4-4) Graven salvadoreño; 5) Volcanismo hacia la costa; 6) Norte montañoso del país.

<sup>306</sup> EMDEN, Gierloff. La Costa de El Salvador. Monografía Morfológica-Oceanográfica, mapa 1.



Anexo A3-4: Formas de Costas en El Salvador<sup>307</sup>. Borde continental.

<sup>307</sup> Geografía de El Salvador, página 150.

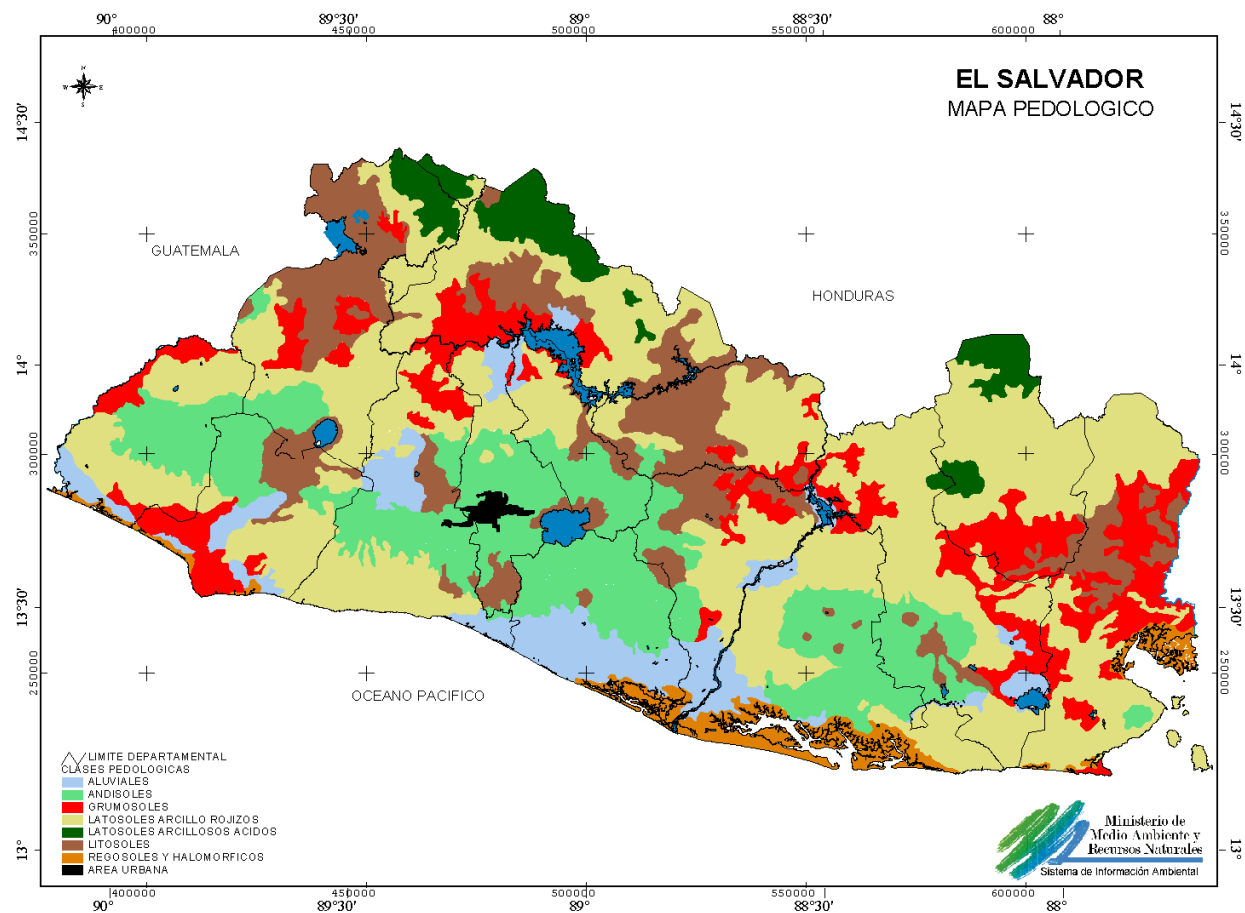




Anexo A3-5: Diferentes tipos de paisajes naturales de la costa de El Salvador<sup>308</sup>. Cuyo paisaje costero se extiende con anchura de 20 Km a 30 Km, paralelamente a la playa.

---

<sup>308</sup> Geografía de El Salvador, página 153.

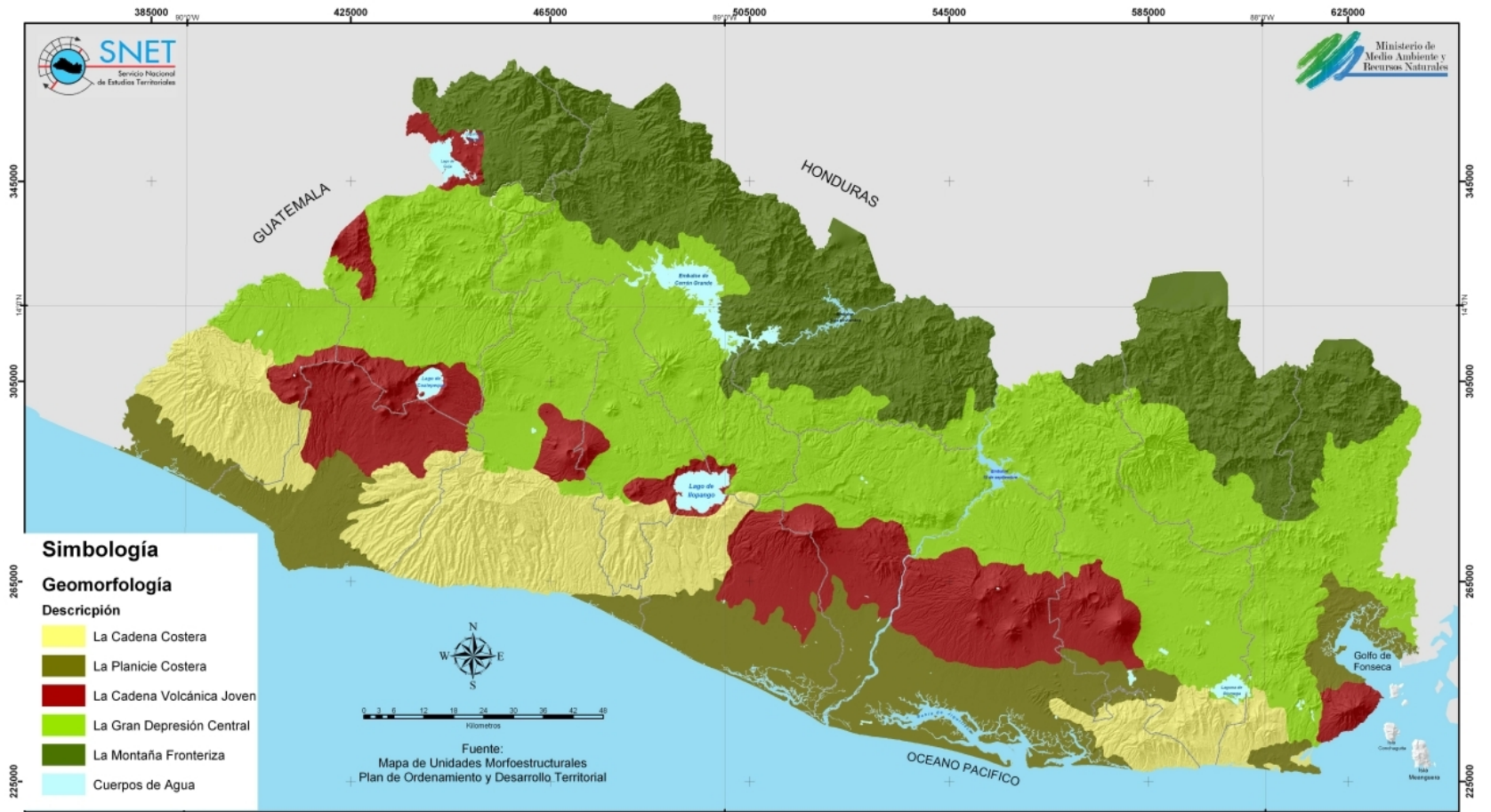


Anexo A3-6: Mapa Pedológico de El Salvador<sup>309</sup>, en el que predominan los suelos Latosoles arcillo rojizos, son terrenos elevados de la zona intermedia, terrazas y faldas bajas de la montaña volcánica de El Bálsamo.

<sup>309</sup> [www.marn.gob.sv](http://www.marn.gob.sv).







Anexo A3-8: Mapa Geomorfológico de la República de El Salvador<sup>311</sup>, en el que 12% del territorio nacional corresponde a la cadena costera, 12% Planicie Costera, 15% Cadena Volcánica Joven, 32% Gran Depresión Central, 25% Montaña Fronteriza y 4% Cuerpos de Agua respectivamente.

<sup>311</sup> [www.marn.gob.sv](http://www.marn.gob.sv).

Anexo A3-9: Características de la borda oceánica del Pacífico.

Borda marina	Profundidad submarina	Línea costera	Borda continental
<p>Las profundidades de la borda marina se encuentra entre 3000 metros y 5000 metros, en la cual se encuentra infinidad de accidentes submarinos incluyendo volcanes, la fosa de Guatemala o Middle América Trench, mesetas marítimas, hondonadas<sup>312</sup>. La Fosa de Mesoamérica frente a las costas de El Salvador tiene anchuras de 12 Km a 25 Km.</p>	<p>Dentro de la plataforma se conocen dos elevaciones submarinas, una 22 km al suroeste del Estero El Zapote, subiendo desde una profundidad de cerca de 70 m hasta solamente 10 m de la superficie debajo del agua. La terminología submarina la llama arrecife por que presenta un peligro para la navegación. La otra se encuentra 60 km al suroeste de la desembocadura del río Jiboa; tiene una altura relativa de 70 m y se eleva aproximadamente hasta 37 m debajo de la superficie del mar. En la misma dirección, 15 km más mar afuera, sobre la pendiente del talud continental, hay otra elevación de una altura relativa de más de 400 m subiendo hasta 137 m debajo de la superficie del mar. Existen otras eminencias y oscilan entre 2500 y 3000 m de profundidad con una altura relativa de más de 100 m<sup>313</sup>.</p>	<p>Línea del Océano Pacífico, paisaje costero, constituye en las costas pacífica de El Salvador. Costas acantiladas con planicies costeras<sup>314</sup>.</p>	<p>Dentro de la borda continental las profundidades empiezan 200 metros distantes de la línea de costa a 55 km y llega hasta profundidades de 5500 a la distancia de 120 km<sup>315</sup>. La plataforma continental salvadoreña ocupa aproximadamente 16,575 Km<sup>2</sup> o sea más o menos 19% de nuestro mar territorial. La forma del talud continental hasta la fosa es convexa, es decir, su declive aumenta con la profundidad.</p>

<sup>312</sup> Geografía de El Salvador, página 133.

<sup>313</sup> *Ibidem*, página 131.

<sup>314</sup> *Ibidem*, página 149.

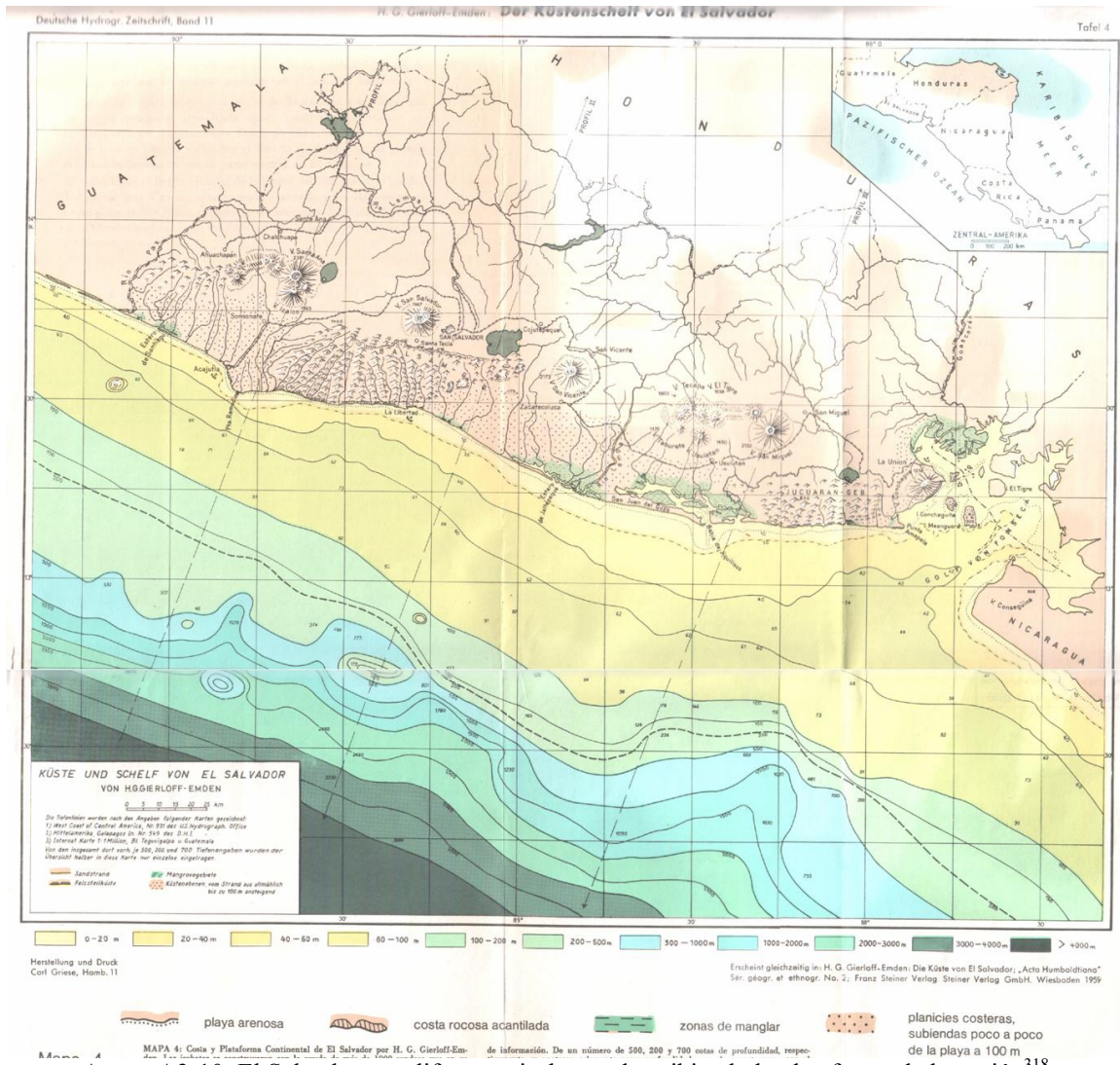
<sup>315</sup> *Ibidem*, página 130.



Proximidad continental a la costa pacífica	Hidrografía asociada	
	Ríos	Lagunas
<p>A lo largo de la costa salvadoreña se extiende la plataforma continental desde la Península de Nicoya hasta el Istmo de Tehuantepec. Paralela a ésta, entre 100 y 200 Km de la costa se encuentra la profunda y angosta Fosa de Mesoamérica.</p> <p>Montañas que llegan hasta el mar, Sierra de El Bálsamo y Sierra de Jucuarán dividiendo el paisaje costero de Oeste a Este<sup>316</sup>.</p>	<p>El número total de ríos y riachuelos es alrededor de 180. Las cuencas drenadas por los ríos corresponden a la jerarquía. El río Lempa junto con su sistema de afluentes desagua un 50% de la superficie de El Salvador. Los tres ríos de extensión mediana: río Paz, río Goascorán y río Grande de San Miguel desaguan otro 23%, quedando 27% para el gran número de los ríos costeros mas pequeños entre 10 km y 40 km de longitud.</p> <p>El sistema de ríos costeros entre el Río Paz y Río Lempa abarca 37 riachuelos y arroyos<sup>317</sup>.</p>	<p>En El Salvador existen 35 lagunas; de las cuales 5 pertenecen al departamento de Ahuachapán, 2 a La Libertad, 6 a La Paz, 4 a La Unión, 4 a San Miguel, 6 a San Vicente, 3 a Santa Ana y 4 en Usulután. Con respecto a los lagos tenemos 1 en San Salvador y 2 en Santa Ana. Esto equivale a 172.728 km<sup>2</sup> del territorio nacional.</p>

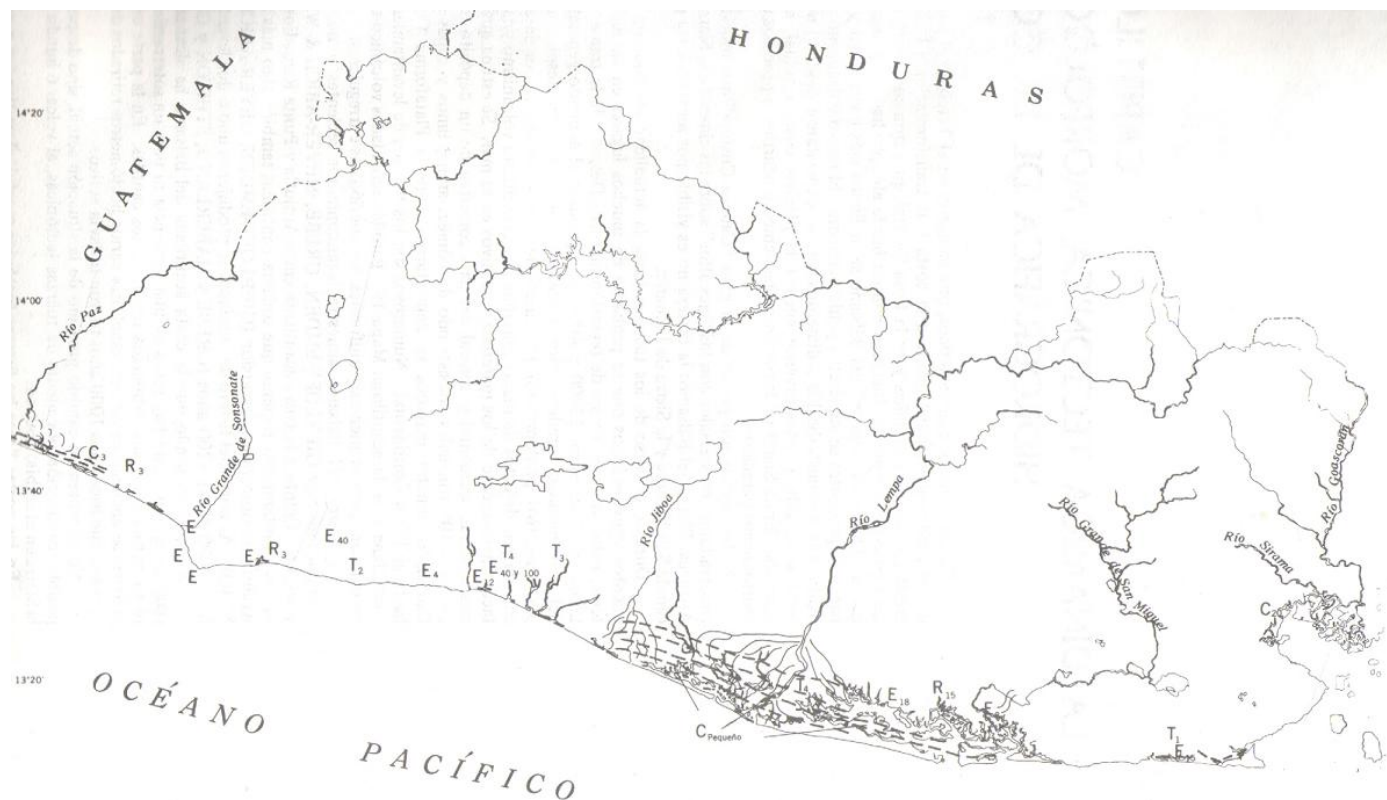
<sup>316</sup> Costa de El Salvador, página 68.

<sup>317</sup> Ibidem, página 70.



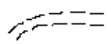
Anexo A3-10: El Salvador con diferentes isobatas, describiendo la plataforma de la nación<sup>318</sup>.


<sup>318</sup> EMDEN, Gierloff. La Costa de El Salvador, Monografía Morfológica-Oceanográfica, mapa 4.



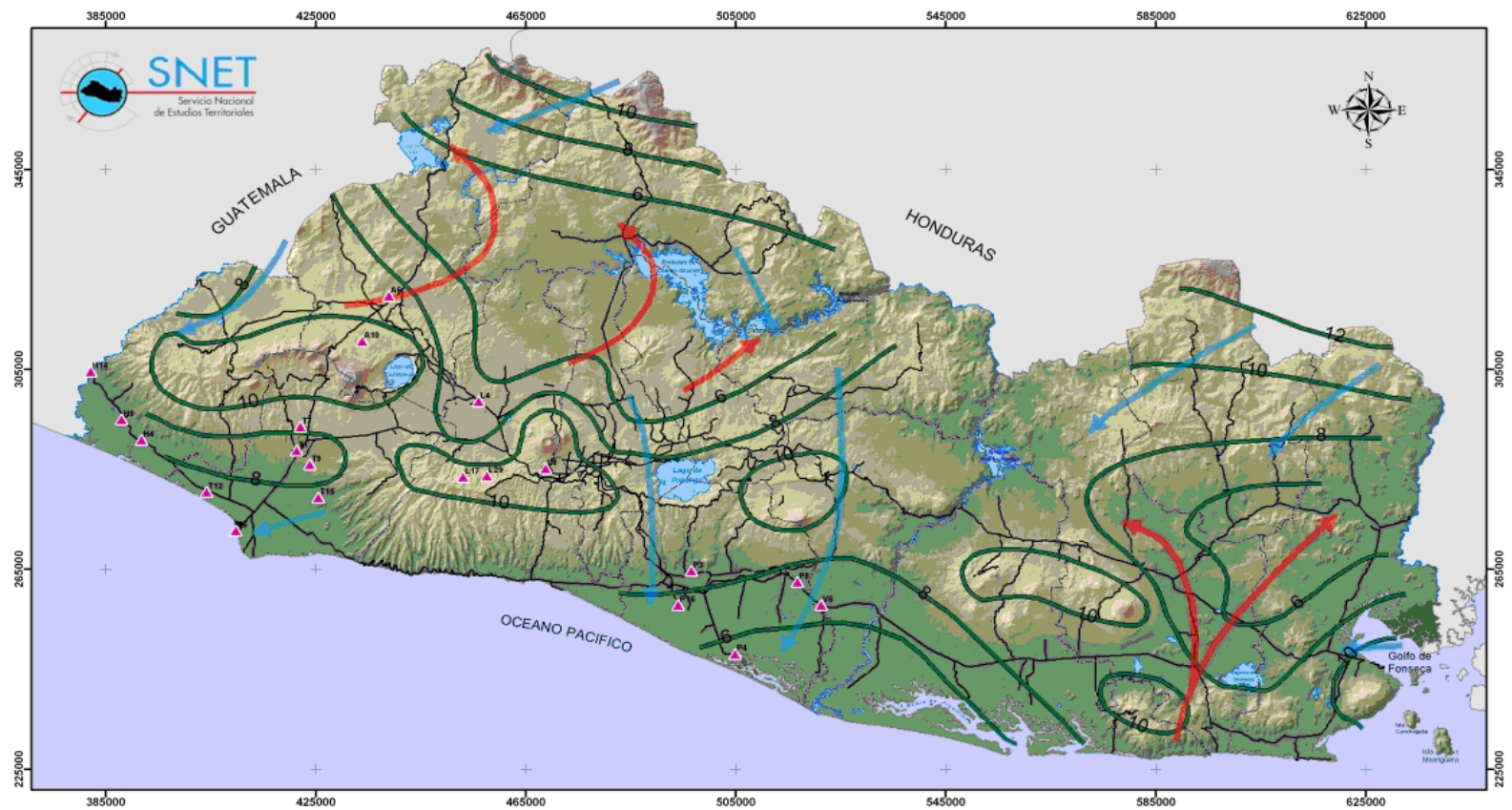
Anexo A3-11: Lugares de testimonio de la emergencia isostática de la región costera de El Salvador<sup>319</sup>.

Leyenda: E: Emergencia sobre fallas tectónicas (altura en metros); T: Terraza fluvial (numero de T); R: Ríos con lechos cortados (por tantos metros); C: Escalón entre estero y tierra firme (altura en metros).

 Antiguos cordones costeros.

 Antiguos lechos de ríos con meandro de desembocadura.

<sup>319</sup> EMDEN, Gierloff. La Costa de El Salvador, Monografía Morfológica-Oceanográfica, página 208.



Anexo A3-12: Velocidad media (Km/h) y rumbo dominante anual del viento en El Salvador<sup>320</sup>. Las flechas azules representan los vientos con componente Norte y las de color rojo los vientos con componente Sur. Las curvas verdes representan las Isotacas cada 2 Km/h.

<sup>320</sup> [www.marn.gob.sv](http://www.marn.gob.sv).

Anexo A3-13: Parámetros del Ambiente del mar en el Océano Pacífico.

Lugar	VARIABLES						Profundidad (m)	Caracterización
	T(°C)	S (‰)	V <sub>viento</sub>	Latitud	Longitud	O		
Océano Pacífico <sup>321</sup> .	3.36	34.62		70° y 60° N	70° y 160°W		4300 a 6000	Es el mayor océano del planeta, limitado por Asia y Australia en su parte occidental, por el Continente Antártico en el S. y el Continente Americano en el E. Con sus mares subsidiarios, ocupa una superficie de 179,7 millones de km <sup>2</sup> , más de 1/3 de la superficie total de la Tierra <sup>322</sup> .
Norte del Pacífico superficial.	-3 a 35	0 a 40		40° a 80°N	78° a 155° W	0.01 a 12.0	0 a 300	
Norte del Pacífico intermedia.	-3 a 28	32.4 a 35.25		40° a 80°N	78° a 155° W	0.01 a 6.4	500 a 1000	
Norte del Pacífico profunda.	-1.5 a 18	33.7 a 35.15		40° a 80°N	78° a 155° W	0.01 a 6.3	1200 a 4000	
Ecuatorial del Pacífico superficial.	5.0 a 35.0	0 a 40		40° a 20°N	78° a 155° W	0.01 a 12.0	0 a 300	
Ecuatorial del Pacífico intermedia.	3.0 a 28.0	31.8 a 36.2		40° a 20°N	78° a 155° W	0.01 a 6.4	500 a 1000	
Ecuatorial del Pacífico profundo.	0 a 18	34.2 a 35.3		40° a 20°N	78° a 155° W	0.01 a 6.3	1200 a 4000	
Sur del Pacífico superficial.	-2 a 32	0 a 40		20° a 60°N	78° a 155° W	0.01 a 12.0	0 a 300	
Sur del Pacífico	-2 a	34.2 a		20° a	78° a	0.01	500 a 1000	

<sup>321</sup> Fundamentos de Oceanografía, página 5.

<sup>322</sup> <http://www.practiciencia.com.ar/ctierrayesp/tierra/superficie/hidrosfera/oceanos/pacifico/index.html>, 11/10/06.

intermedio.	28	35.5		60°N	155° W	a 6.4		
Sur del Pacífico profundo <sup>323</sup> .	-2 a 18	34.3 a 34.7		20° a 60°N	78° a 155° W	0.01 a 6.3	1200 a 4000	
Masas del agua del Pacífico Centroamericano <sup>324</sup> .								
Agua Superficial tropical	26	31.8	5 a 10	8.5° y 14.5° N	93° y 77°W	100%	0 a 300	Zona de convergencia intertropical. Lluviosa y nubosa.
Agua Subsuperficial Subtropical.	15	34.8.	5 a 10	8.5° y 13.8	93° y 77°W	100%	300 a 500	
Agua intermedia antártica.	5	34.5	5 a 10	8 y 13.5°N	93° y 77°W	100%	500 a 1000	Cercana al frente polar ártico contiene 7 regiones.
Aguas territoriales de El Salvador <sup>325</sup> .	28°	33	2 a 5	10° a 13.5°N	90° a 30°W		0 a 4000	Circulaciones transversales al Norte de la Contra Corriente Ecuatorial, Corriente Ecuatorial Norte, agua cambia de color cobalto a verde. pesca de atún.


<sup>323</sup> 2005\_qc94tso, páginas 47, 53, 59.




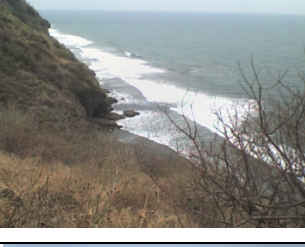
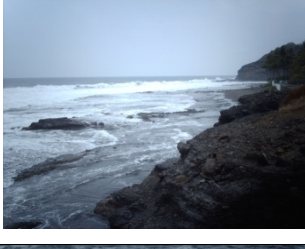
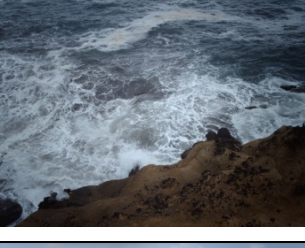

<sup>324</sup> Fundamentos de Oceanografía, página 20.

<sup>325</sup> Geografía de El Salvador, páginas 130-133.



Anexo A3-14: Lugares visitados para selección del punto de emplazamiento.

Lugar	Característica	Foto
Puerto de La Libertad.	Zona Comercial, turística, sus playas son llanas.	
Playa Sunzal.	Playa llana, accesible, con piedra suelta, lugar con explotación turística.	
Km. 45.5, entre el Sunzal y Atami.	Lugar con poca accesibilidad, playa acantilada, con construcciones de ranchos.	
Km 51, entre playa El Zonte, y Playa Palmarcito.	Lugar de terreno baldío accesible por veredas, no se observa que acuda turismo.	
Km 56.2 antes del primer túnel.	Terreno baldío, accesible por veredas, playa acantilada, no se observa mucho turismo.	
Km. 63. en la playa Shalpa, Taquillo.	Lugar con acceso restringido, área de con construcciones de ranchos vacacionales.	

<p>Playa La perla, Km 67, sobre la Carretera Litoral.</p>	<p>Lugar turístico, con playa llana y acantilada, accesible.</p>	
<p>Km 68.4, entre playa la Perla, y el cuarto túnel, sobre El Litoral.</p>	<p>Acceso por veredas, pendientes muy inclinadas, fallas sobre los acantilados muy visibles, con alto riesgo de derrumbe.</p>	
<p>Km 70, justo después del cuarto túnel.</p>	<p>Lugar inaccesible, playa acantilada de unos 150 m de altura.</p>	
<p>Playa el Bejuco, Km. 71.2, Sobre El Litoral.</p>	<p>Acceso limitado por veredas, con acantilados de 5 m a 200 m de altura, acceso a la playa llana por bejucos.</p>	
<p>Playa Mizata, Km 86, Sobre El Litoral.</p>	<p>Playa llana, zona turística, muy accesible.</p>	
<p>El Pital, Km 87.5, Sobre El Litoral.</p>	<p>Playa Acantilada, con acceso por veredas, acantilados de 25 m de altura.</p>	
<p>Playa del Puerto de Acajutla.</p>	<p>Zona Comercial, turística, sus playas son llanas.</p>	



Anexo A4-1: Especificaciones técnicas de la sonda oceanográfica ADV Triton.

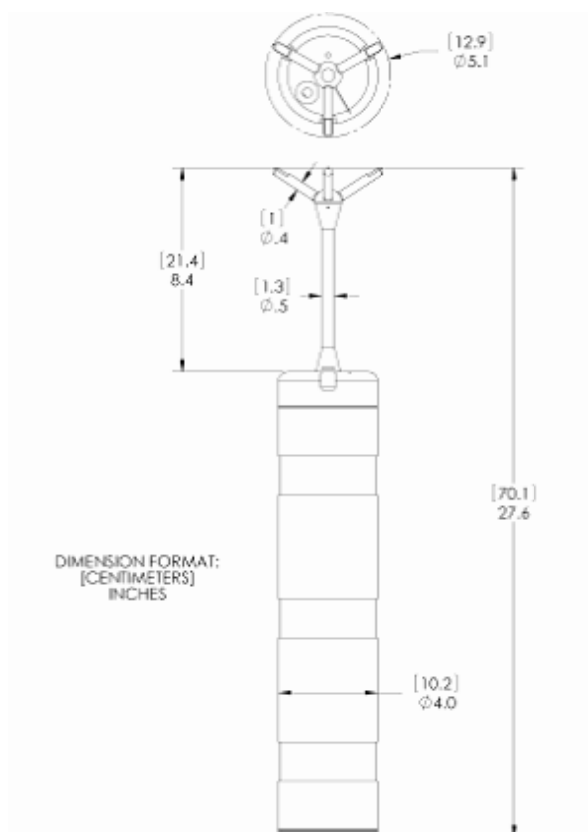
- a) Especificaciones de velocidad.
  - Rango:  $\pm 0.1$  hasta 4.8 m/s.
  - Resolución: 0.01 cm/s.
  - Precisión:  $\pm 1\%$  de la medición de velocidad  $\pm 0.1$  cm/s.
  - Rango de velocidad automática: hasta 480 cm/s.
  - Cuatro rangos fijos de velocidad:  $\pm 15$ , 50, 200 o 480 cm/s.
- b) Especificaciones del muestreo de la onda.
  - Rango del muestreo: hasta 4 Hz para rangos de velocidad fijo.
  - 2 Hz para rango de velocidad automática.
  - Longitud de la serie de la onda: 128 hasta 8192 muestras.
- c) Especificaciones del compás.
  - Compás de material de estado sólido.
  - Operación en los 360° completos.
  - Precisión en la dirección: 1.5° RMS.
  - Precisión de inclinación: 0.5° RMS.
- d) Requerimientos de energía.
  - 7-15 VDC.
  - Consumo.
    - Velocity only: 0.2 to 0.5 W.
    - Velocidad + ondas: 1.2 to 1.5 W.
      - Modo suspendido: 0.001 W.
  - Duración de la batería: 1-3 meses, dependiendo de la configuración del sistema.
  - Capacidad nominal de la batería: 220 W-h.
  - Paquete de batería externo de 500 W-h opcionales.
- e) Especificación del rango de presión (rango de 30 m).
  - Tipo: Piezo-resistiva (describe la resistencia eléctrica que cambia de un material debido a la tensión mecánica aplicada).
  - Precisión: 0.1%.

f) Especificaciones de temperatura.

- Precisión: 0.1 °C.
- Resolución: 0.01 °C.

g) Condiciones de operación.

- Rango de profundidad: 60 m.
- Temperatura de operación: -5 hasta 40 °C.
- Temperaturas extremas de operación: -10 hasta 50 °C.
- Peso en el aire: 3.2 kg (7 lbs).
- Peso en el agua: 0.45 kg (1 lb).



Dimensiones de la sonda oceanográfica ADV Triton<sup>326</sup>.

<sup>326</sup> <http://www.sontek.com/download/brochure/Triton.pdf>.

Anexo A4-2: Elementos que forman todo el kit de la sonda ADV Triton.

- Case, embalaje para transportar todo el kit.
- Sonda Oceanográfica ADV Triton.
- Kit de repuestos y herramientas.
- Kit de 21 baterías alcalinas Duracell de 10.5V.
- Cables de energía y comunicación con la PC.
- Manuales de operación, del uso del software y especificaciones técnicas.



Sonda ADV Tritón y su embalaje<sup>327</sup>.

---

<sup>327</sup> Fotografía tomada por el grupo de investigación, 13 de noviembre de 2006.



Sonda oceanográfica ADV Triton<sup>328</sup>.



Kit de repuestos y herramientas<sup>329</sup>. El cual incluyen, repuestos de sellos “O” rin, par de desarmadores, tornillos con sus respectivas arandelas, material dispersante, un tubo de pegamento para los sellos, herramientas para montar y desmontar la tapa inferior de la sonda, para el cambio de kit de baterías.

---

<sup>328</sup> Fotografía tomada por el grupo de investigación, 13 de noviembre de 2006.

<sup>329</sup> *Ibidem*.



Kit de 21 baterías alcalinas Duracell de 10.5 V<sup>330</sup>.



Cables de energía y comunicación con la PC<sup>331</sup>.

---

<sup>330</sup> Fotografía tomada por el grupo de investigación, 13 de noviembre de 2006.

<sup>331</sup> *Ibídem.*





Manuales de operación, del uso del software y especificaciones técnicas<sup>332</sup>.

---

<sup>332</sup> Fotografía tomada por el grupo de investigación, 13 de noviembre de 2006.

### Anexo A4-3: Prueba de diagnostico utilizando el Software SonUtils4.

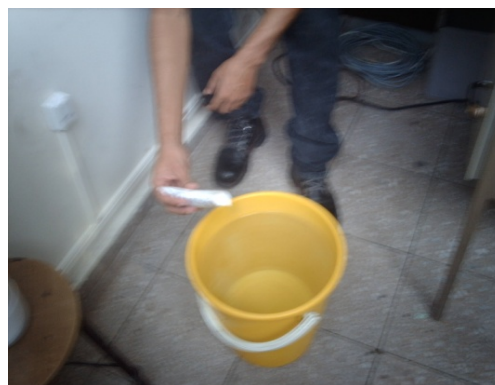
- a) Se montara la punta de prueba en un tanque de agua tal que el fondo del tanque sea de 20 cm a 30 cm desde el extremo a la punta de prueba.
- b) Se le agregara una pequeña cantidad de material de cultivo, provisto por el fabricante para asegurar suficiente material de dispersión, para aumentar la sensibilidad de los sensores.



Montaje de la punta de prueba, de la sonda oceanográfica ADV Tritón, en el recipiente con agua<sup>333</sup>.



Material de dispersión<sup>334</sup>.



Disolviendo el material de dispersión en el recipiente con agua<sup>335</sup>.

---

<sup>333</sup> Fotografía tomada por el grupo de investigación, 17 de noviembre de 2006.

<sup>334</sup> *Ibidem*.

<sup>335</sup> Fotografía tomada por el grupo de investigación, 17 de noviembre de 2006.

- c) Luego se procederá a conectar el cable de comunicación y de alimentación de electricidad desde el instrumento al puerto COM, respectivo, de la computadora de control.



Conectando el cable de comunicación a la sonda ADV Triton<sup>336</sup>.



Cable de poder<sup>337</sup>.



Cable de salida de la sonda ADV Triton<sup>338</sup>.



Cable convertidor de serial a USB conectado a PC<sup>339</sup>.

- d) Se accederá al SonUtils4 usando Start | Programs | SonTek Software | SonUtils4.

---

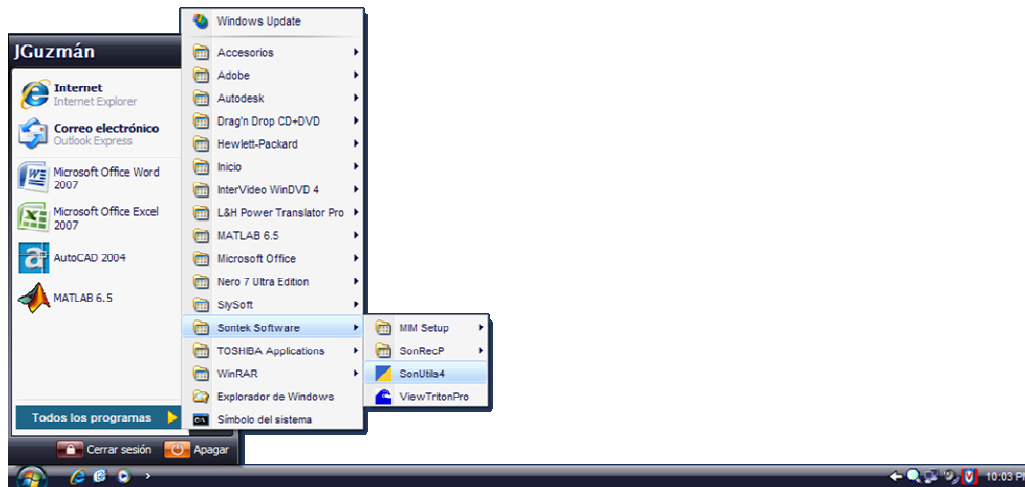
<sup>336</sup> Fotografía tomada por el grupo de investigación, 17 de noviembre de 2006.

<sup>337</sup> *Ibidem*.

<sup>338</sup> *Ibidem*.

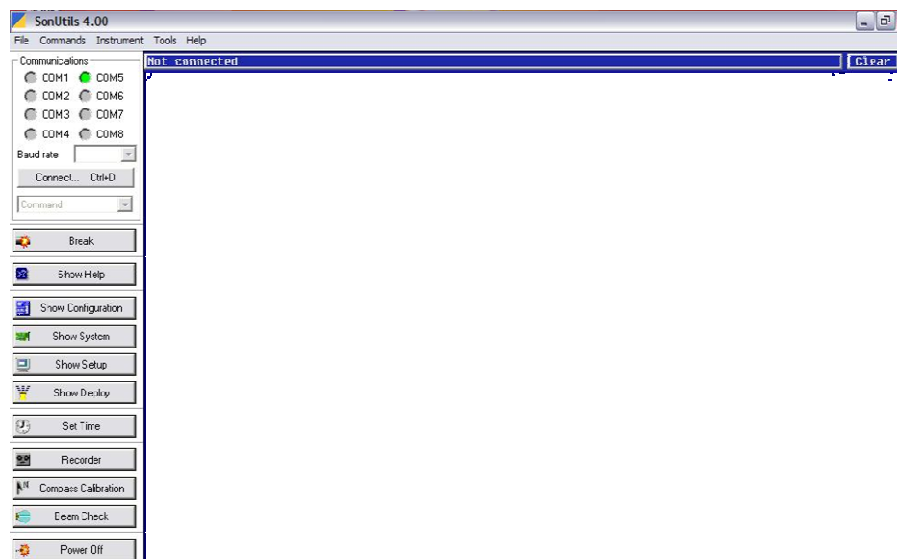
<sup>339</sup> *Ibidem*.





Acceso al programa SonUtils4<sup>340</sup>.

e) Luego se accederá al Beam Check en el menú principal de SonUtils4.

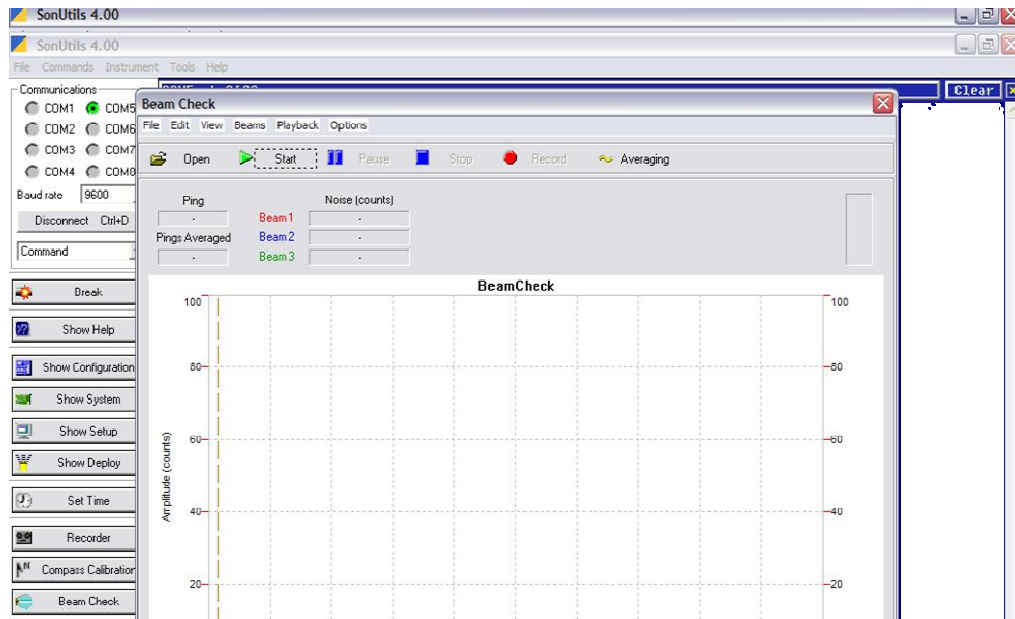


Ventana de menú principal de SonUtils4<sup>341</sup>.

f) Se visualizará en la pantalla la actualización en pocos segundos. Entonces se procederá a:

<sup>340</sup> Imagen capturada del sistema operativo de la PC, utilizada por el grupo de investigación.

<sup>341</sup> Imagen capturada del software SonUtils 4.0, por parte del grupo de investigación.



Ventana del comando Beam Check<sup>342</sup>.

- Verificar que el agua tenga suficiente material de dispersión.
- Verificar que todos los Sensores tengan el mismo comportamiento de la señal de salida, misma altura. Como se puede observar la señal que están recibiendo los tres receptores, por parte del transmisor tienen las mismas características, por lo que no se encontraron problemas en los receptores, al hacer la respectiva prueba. En donde, se puede visualizar que cada curva, representa respectivamente, el comportamiento de cada sensor de la sonda ADV Triton oceanográfica, ante el perturbamiento de su entorno.

<sup>342</sup> Imagen capturada del software SonUtils 4.0, por parte del grupo de investigación.



Ventana Beam Check que muestra la salida de la señal, en cada sensor<sup>343</sup>.

- Además verificar que el nivel de ruido electrónico sea razonable para captar la señal.
- Luego salir de programa SonUtils4.

<sup>343</sup> Imagen capturada del software SonUtils 4.0, por parte del grupo de investigación.

Anexo A4-4: Prueba de registro de información de software ViewTriton.

- a) Conectar el cable de comunicación y de alimentación de electricidad desde el instrumento al puerto COM, respectivo, de la computadora de control al proveedor de energía externa, incluidos en el sistema.

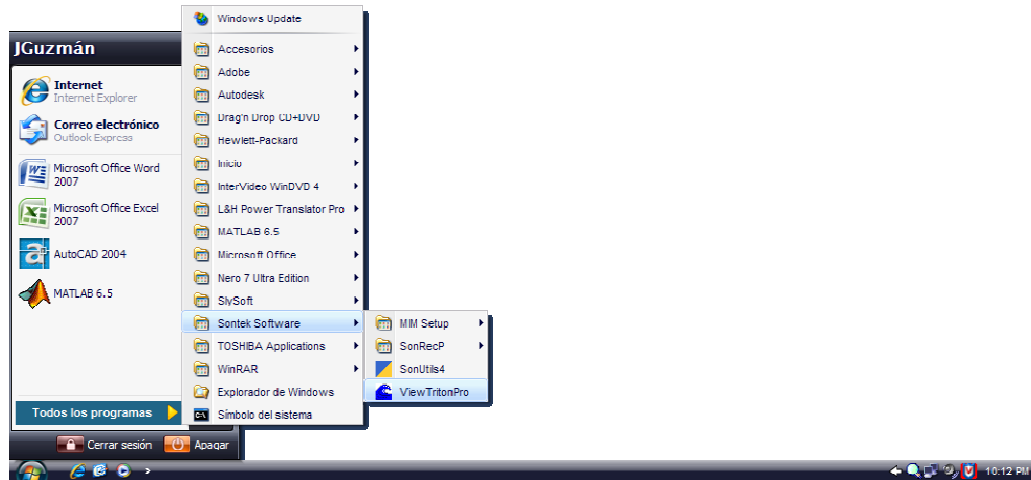


Conexión del cable de comunicación y alimentación de la sonda ADV Triton a la PC<sup>344</sup>.

- b) Iniciar el programa ViewTriton usando, Inicio | Programas | SonTek Software | ViewTriton.

---

<sup>344</sup> Fotografía tomada por el grupo de investigación, 23 de diciembre de 2007.



Acceso al programa ViewTriton<sup>345</sup>.

Aparecerá entonces, el menú principal del ViewTriton.

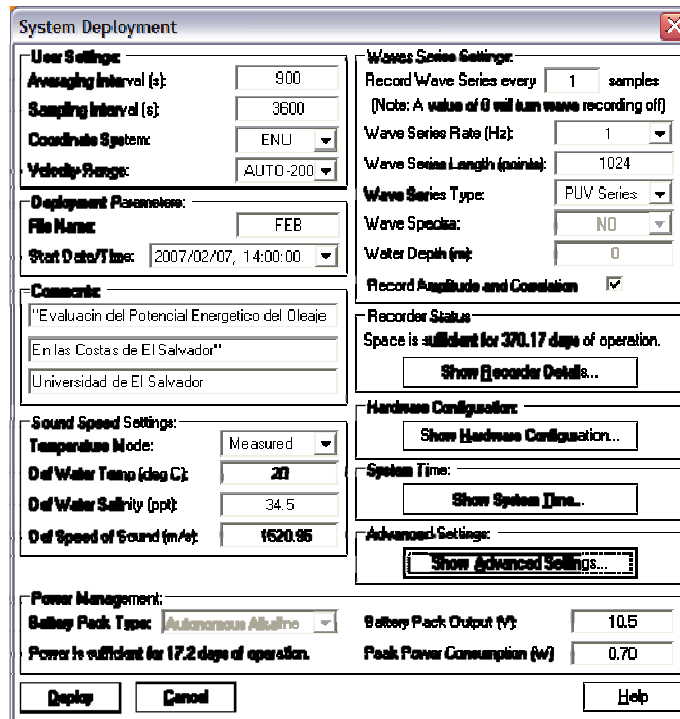


Ventana principal de ViewTriton<sup>346</sup>.

- c) Acceder al Deployment en el menú principal de ViewTriton, entonces aparecerá la siguiente ventana, entonces:

<sup>345</sup> Imagen capturada del sistema operativo de la PC, utilizada por el grupo de investigación.

<sup>346</sup> Imagen capturada del menú principal, del software SonTek Triton, por parte del grupo de investigación.

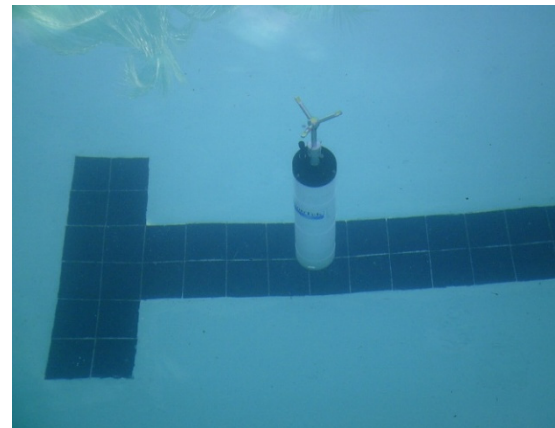


Ventana de despliegue de las variables de entrada<sup>347</sup>.

- d) Fijar un intervalo promedio de 900 segundos, especificar un nombre de archivo de grabación, y presione Deploy para enviar los parámetros al sistema.
- e) Desconectar el cable de comunicación, cuando el sistema lo sugiera.
- f) Sumergir la sonda ADV Triton dentro de una piscina.



Inmersión de la sonda ADV Triton ADV Tritón<sup>348</sup>.



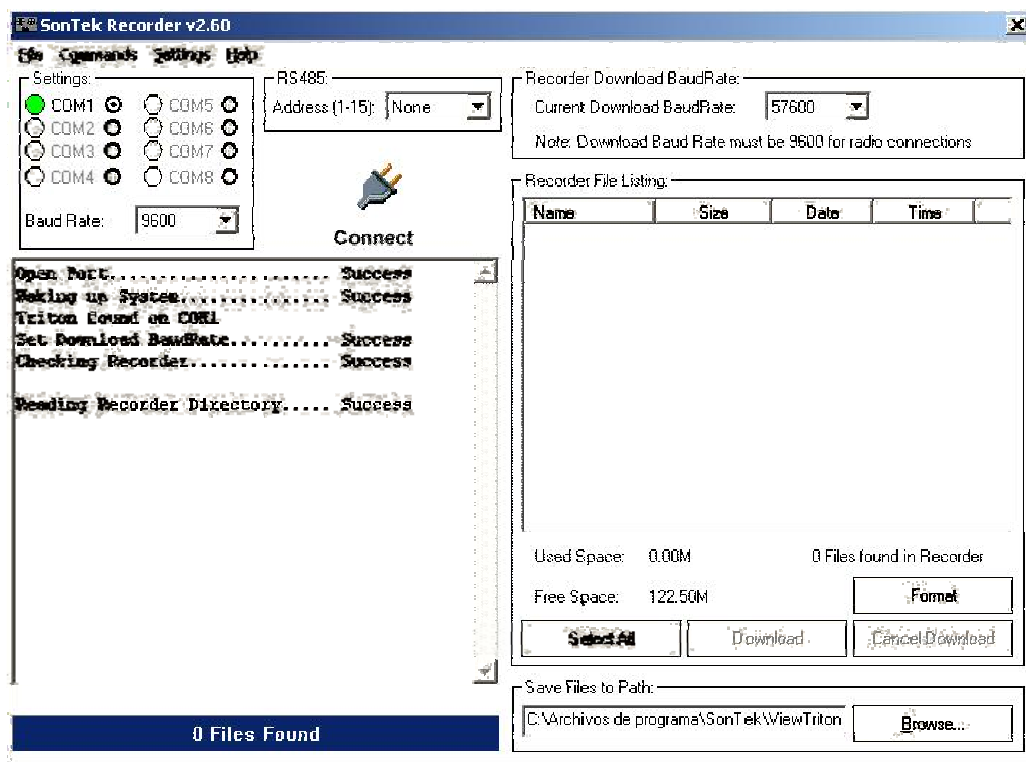
Registro de datos, de la sonda ADV Triton ADV Tritón<sup>349</sup>.

<sup>347</sup> Imagen capturada de la ventana Deployment, del menú principal del software ViewTriton.

<sup>348</sup> Fotografía tomada por el grupo de investigación, 23 de diciembre de 2007.

<sup>349</sup> Fotografía tomada por el grupo de investigación, 23 de diciembre de 2007.

- g) Permitir a la sonda ADV Tritón que guarde varios minutos de información. Y posteriormente sacar la sonda ADV Triton para extraer el registro.
- h) Conectar el cable de comunicación y de alimentación de electricidad desde el instrumento al puerto COM respectivo, de la computadora de control al proveedor de energía externa, incluidos en el sistema.
- i) Realizar el paso del literal b.
- j) Acceder al Recorder en el menú principal de ViewTriton, y descargar el registro.



Ventana de grabación de datos de ViewTriton<sup>350</sup>.

<sup>350</sup> Imagen capturada de la ventana Recorder, del menú principal del software ViewTriton.

- k) Acceder al Processing del menú principal de ViewTriton y abrir el registro. En dicha ventana, aparecerán los respectivos registros procesados y almacenados por la sonda ADV Triton. Entonces, al abrir cada registro, aparecerá el comportamiento de las variables registradas por la sonda ADV Triton.

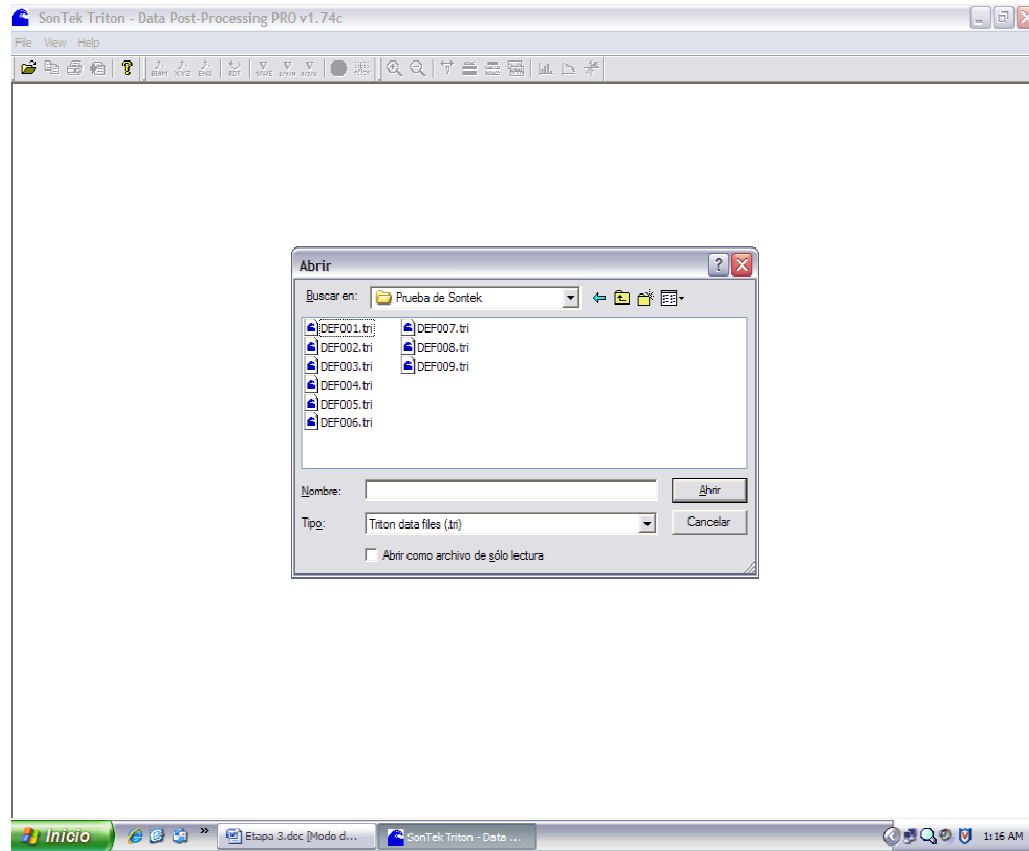


Figura 4-10. Ventana de procesos de datos del ViewTriton<sup>351</sup>.

<sup>351</sup> Imagen capturada de la ventana Processing, del menú principal del software ViewTriton.



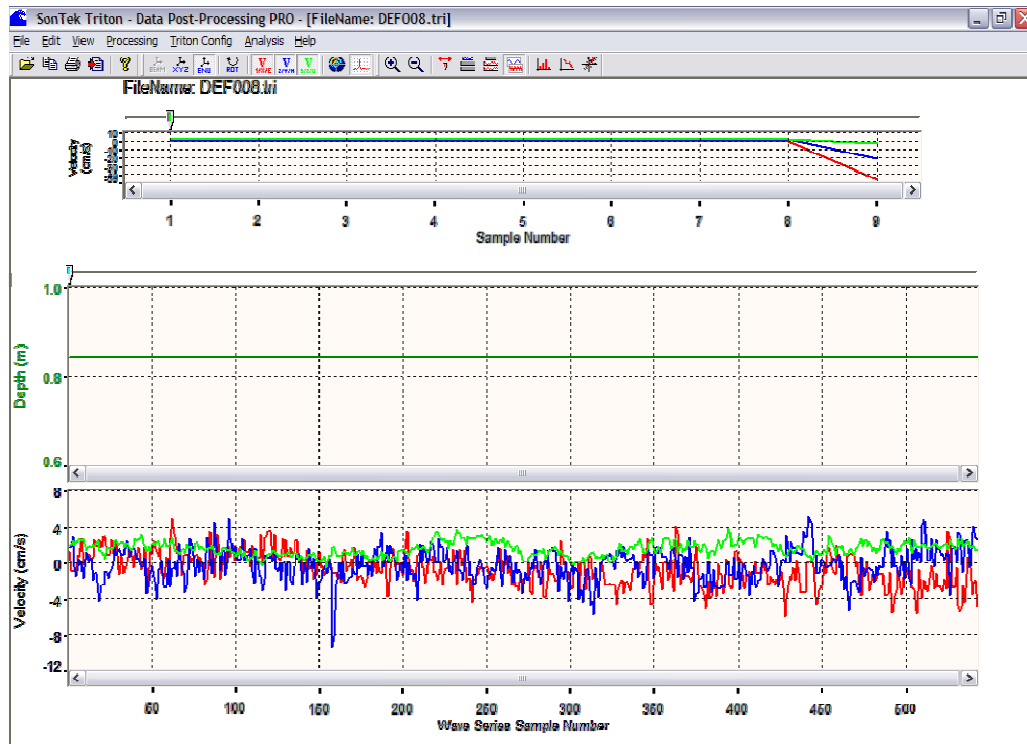
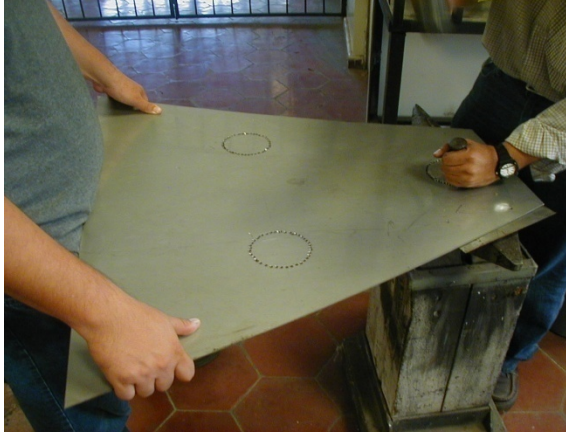


Figura 4-11. Despliegue de datos de proceso del registro<sup>352</sup>.

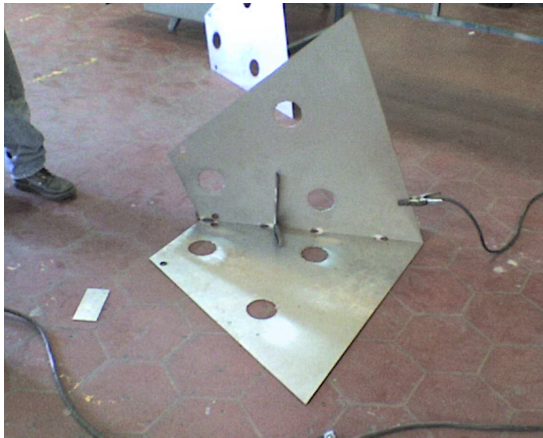
<sup>352</sup> Imagen capturada de la ventana Processing, del menú principal del software ViewTriton, mostrando el despliegue de datos procesados, por la sonda.

Anexo A4-5: Planos de la carcasa protectora de la sonda ADV  
Triton.

Anexo A4-6: Construcción de la carcasa protectora, de la sonda ADV Triton.

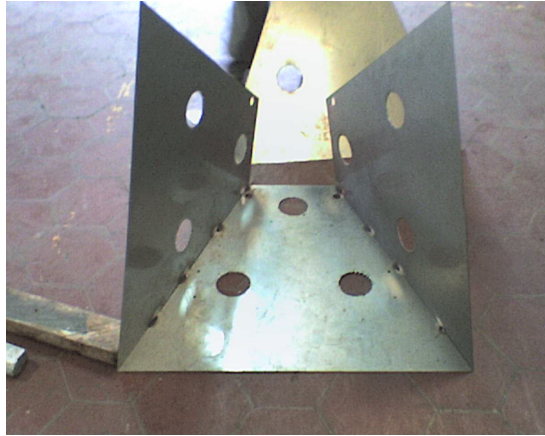


Perforación de los agujeros en las caras de la carcasa<sup>353</sup>.

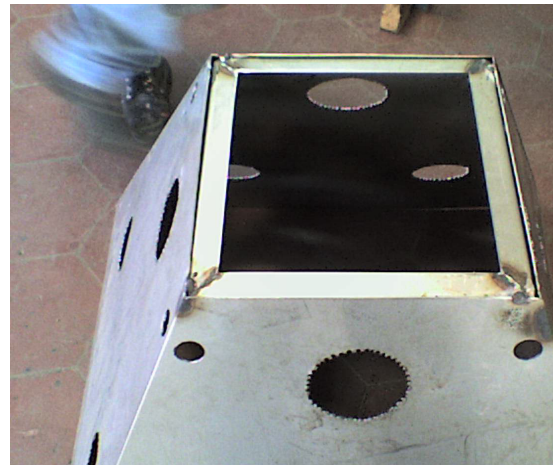
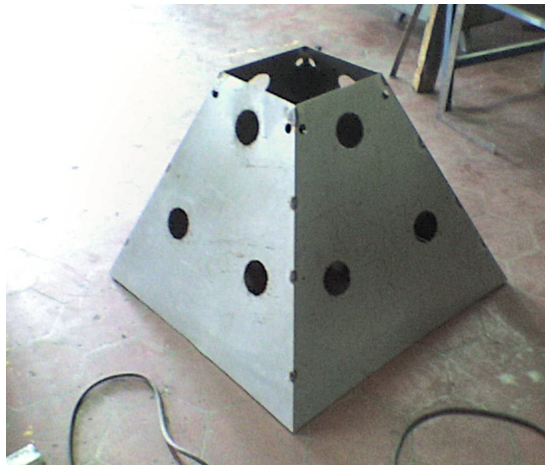


---

<sup>353</sup> Fotografías tomadas por el grupo de investigación, 6 de noviembre de 2006.



Proceso de ensamble de las caras de la carcasa<sup>354</sup>.



Carcasa ensamblada<sup>355</sup>.

---

<sup>354</sup> Fotografías tomadas por el grupo de investigación, 13 de noviembre de 2006.

<sup>355</sup> Ibidem.





Refuerzo interno de la carcasa y ensamble de la base inferior<sup>356</sup>.

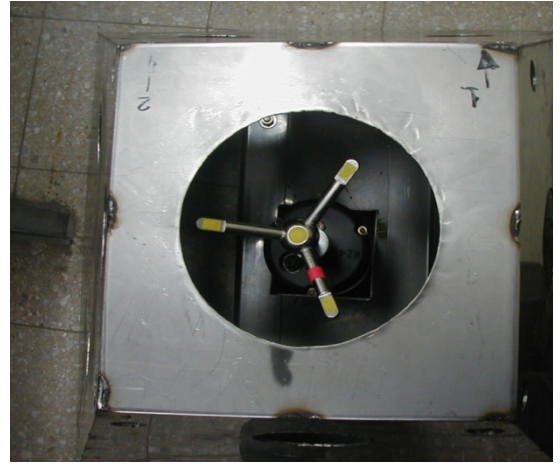
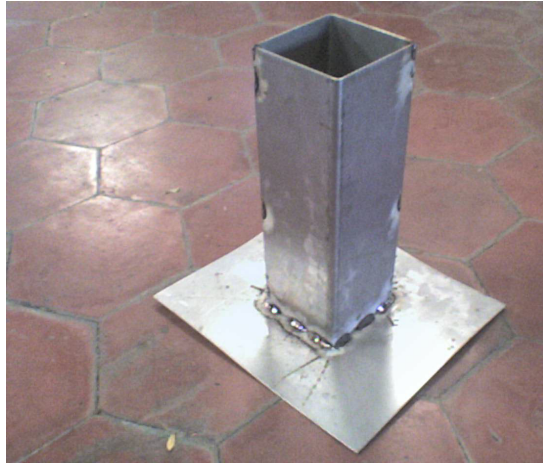


Ensamble de la base superior y elementos de sujeción en la carcasa<sup>357</sup>.

---

<sup>356</sup> Fotografías tomadas por el grupo de investigación, 13 de noviembre de 2006.

<sup>357</sup> Ibidem.



Ensamble de elemento de sujeción<sup>358</sup>.

---

<sup>358</sup> Fotografías tomadas por el grupo de investigación, 13 de noviembre de 2006.

Anexo A4-7: Planos del sistema de anclaje.



Anexo A4-8: Construcción del sistema de anclaje para la sonda ADV Triton.



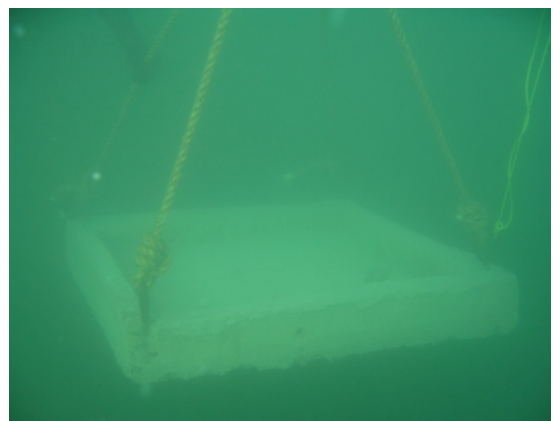
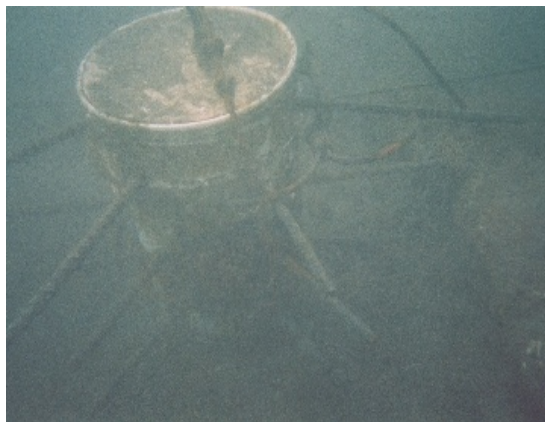
Construcción del sistema de anclaje de la carcasa de la sonda ADV Triton<sup>359</sup>.

---

<sup>359</sup> Fotografías tomada por el grupo de investigación, 16 de noviembre de 2006.



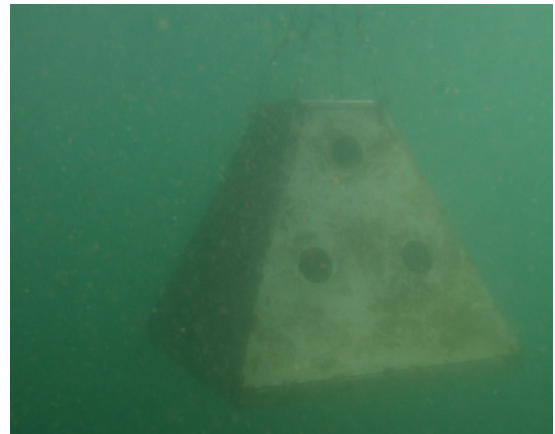
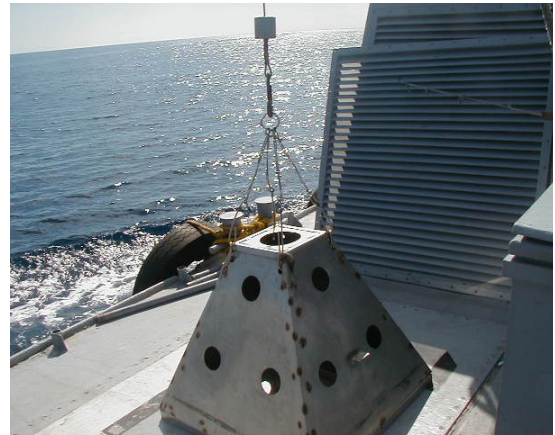
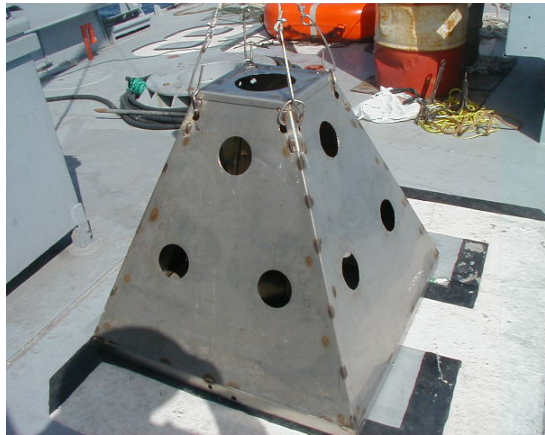
Anexo A4-9: Proceso de instalación del sistema de anclaje.



Proceso de instalación del sistema de anclaje en el fondo marino<sup>360</sup>.

<sup>360</sup> Fotografías tomadas por Johana Segovia de ICMARES, 12 de diciembre de 2006.

Anexo A4-10: Proceso de instalación de la carcasa.



Proceso de instalación de la carcasa de la sonda ADV Triton<sup>361</sup>.

---

<sup>361</sup> Fotografías tomadas por Johanna Segovia de ICMARES, 20 de diciembre de 2006.



Anexo A4-11: Extracción de la carcasa y desmontaje de la sonda ADV Triton.



Extracción de la carcasa<sup>362</sup>.

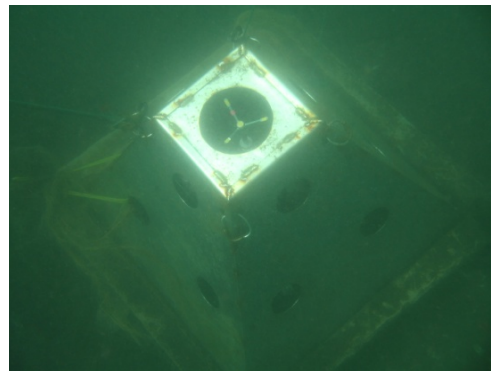
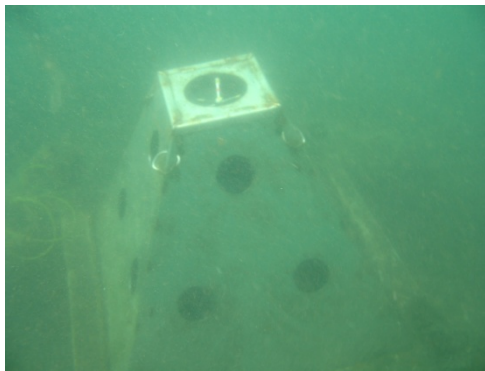
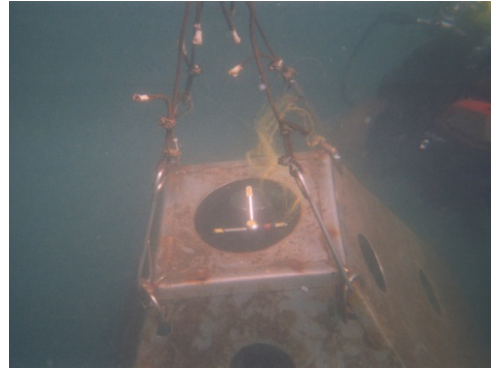


Desmontaje de la sonda oceanográfica, ADV Triton de la carcasa protectora<sup>363</sup>.

<sup>362</sup> Fotografías tomadas por el grupo de investigación, 9 de febrero de 2007.

<sup>363</sup> Ibidem.

Anexo A4-12 : Instalación de la sonda ADV Triton.



Instalación de la sonda ADV Triton, en el fondo marino<sup>364</sup>.

---

<sup>364</sup> Fotografías tomadas por el grupo de investigación, 9 de febrero de 2007.



Anexo A4-13: Destrucción de la sonda oceanográfica ADV Triton.



Destrucción de la sonda ADV Triton producida por fuerte oleaje, que se experimento en las costas de nuestro país durante el período del 9 al 13 de abril del 2007, instalado en la cercanía de la playa de Santa María de Mizata, kilómetro 87 de la carretera del litoral. Aproximadamente a 200 m aguas adentro<sup>365</sup>.

---

<sup>365</sup> Fotografías tomadas por el grupo de investigación, el día 20 de abril de 2007.

Vientos "Nortes" sobre el territorio salvadoreño

Informe Especial No. 1 SNET

Hora y Fecha de Emisión 2007-03-02 12:00:00

Descripción del Fenómeno

Una Alta Presión de 1030 milibares, se ubicará sobre Texas el próximo domingo 4 de marzo. Este sistema orientará una cuña anticiclónica, de forma gradual, sobre Guatemala, Honduras y El Salvador.

Esta Alta Presión producirá en nuestro país una situación de "Vientos Nortes" de moderados a fuertes, con énfasis en las zonas altas. Además generará una leve disminución de la temperatura ambiente en todo el país, sobretodo, en horas de la noche y madrugada.

Pronóstico

Se prevé que los Vientos "Nortes" inicien el domingo 4 de marzo y se incrementen en el transcurso de la tarde y la noche de este mismo día, permaneciendo así para el lunes 5 de marzo.

Las velocidades de los Vientos Nortes serán entre los 20 a 30 Kilómetros por hora, con ráfagas ocasionales de hasta 50 Kilómetros por hora en los valles interiores del país. En las zonas altas, los vientos podrían alcanzar velocidades de 50 Kilómetros por hora, con ráfagas ocasionales de hasta 60 kilómetros por hora.

Se espera que esta condición de Vientos "Nortes" se debilite de forma gradual para el día martes 6, retornando a condiciones propias de la época el miércoles 7 de marzo.

Para el 5 y 6 de marzo los vientos mar afuera, alcanzarán velocidades máximas de 45 kilómetros por hora. Con esta situación la temperatura ambiente tendrá una relativa disminución a partir de la noche del domingo. En valles interiores se esperan valores de temperaturas entre los 14 y 16 grados centígrados (°C) y para las zonas altas de 7 a 12 grados centígrados. Los valores más bajos de temperatura se alcanzarán en horas de la

madrugada del lunes y martes. Las temperaturas retornarán gradualmente a la normalidad a partir del día miércoles 7 de marzo.

#### Recomendaciones

A la navegación marítima, pesca artesanal, deportes acuáticos sobre lagos y mar abierto, evaluar las condiciones atmosféricas mencionadas antes de realizar sus actividades.

A la población en general, se le sugiere no hacer fogatas ni quemas de ninguna clase. Se recomienda proteger y abrigar a los niños y adultos mayores.

Pronosticador Responsable: Sidia Sire Marinero Tobar.










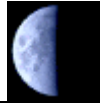


















Anexo A4-15: Calendario de transiciones de mareas altas y bajas, para los meses de febrero, marzo de 2007.

Niveles de mareas febrero 2007.											
Día		Marea Alta		Marea Baja		Día		Marea Alta		Marea Baja	
		Hora	Altura (m)	Hora	Altura (m)			Hora	Altura (m)	Hora	Altura (m)
Miércoles	7	11:47	1.7	05:56	0.15	Domingo	18	08:56	1.92	02:54	0.03
		*	*	18:03	0.13			21:28	1.97	15:14	-0.11
Jueves	8	00:13	1.8	06:33	0.2	Lunes	19	09:43	1.98	03:42	-0.1
		12:22	1.63	18:36	0.21			22:13	2.08	15:59	-0.19
Viernes	9	00:47	1.75	07:10	0.26	Martes	20	10:29	2.01	04:28	-0.18
		12:59	1.54	19:12	0.29			22:57	2.14	16:43	-0.24
Sábado	10	01:25	1.7	07:51	0.32	Miércoles	21	11:15	1.98	05:14	-0.21
		13:40	1.45	19:51	0.37			23:43	2.14	17:27	-0.22
Domingo	11	02:08	1.64	08:37	0.39	Jueves	22	12:00	1.9	06:01	-0.18
		14:28	1.38	20:38	0.46			*	*	16:12	-0.15
Lunes	12	02:58	1.59	09:32	0.43	Viernes	23	00:29	2.09	06:49	-0.1
		15:25	1.32	21:36	0.52			12:48	1.79	19:00	-0.03
Martes	13	03:57	1.56	10:35	0.44	Sábado	24	01:18	1.99	07:40	0.02
		16:32	1.32	22:47	0.53			13:40	1.66	19:51	0.12
Miércoles	14	05:02	1.58	11:42	0.39	Domingo	25	02:11	1.86	08:36	0.15
		17:45	1.38	*	*			14:38	1.53	20:49	0.27
Jueves	15	06:08	1.63	00:01	0.47	Lunes	26	03:11	1.73	09:39	0.27
		18:54	1.5	12:45	0.29			15:48	1.44	21:58	0.4
Viernes	16	07:10	1.72	01:07	0.35	Martes	27	04:19	1.63	10:52	0.34
		19:51	1.66	13:39	0.16			17:11	1.41	23:18	0.45
Sábado	17	08:05	1.83	02:03	0.19	Miércoles	28	05:34	1.59	*	*
		20:41	1.82	14:28	0.02			18:31	1.45	12:06	0.34



















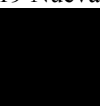
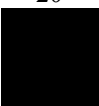






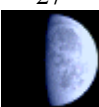






Niveles de mareas marzo 2007.											
Día		Marea Alta		Marea Baja		Día		Marea Alta		Marea Baja	
		Hora	Altura (m)	Hora	Altura (m)			Hora	Altura (m)	Hora	Altura (m)
Jueves	1	06:44	1.6	00:34	0.42	Domingo	11	00:48	1.72	07:14	0.25
		19:33	1.54	13:09	0.29			13:06	1.46	19:17	0.34
Viernes	2	07:41	1.64	01:35	0.34	Lunes	12	01:30	1.65	07:58	0.32
		20:21	1.64	14:00	0.22			13:53	1.39	20:04	0.42
Sábado	3	08:27	1.69	02:24	0.26	Martes	13	02:20	1.59	08:50	0.38
		21:00	1.72	14:42	0.16			14:50	1.35	21:02	0.48
Domingo	4	09:05	1.72	03:06	0.18	Miércoles	14	03:20	1.55	09:52	0.4
		21:34	1.79	15:19	0.1			15:59	1.35	22:15	0.49
Lunes	5	09:40	1.75	03:44	0.12	Jueves	15	04:28	1.55	11:01	0.37
		22:05	1.83	15:54	0.07			17:12	1.43	23:32	0.42
Martes	6	10:12	1.75	04:19	0.08	Viernes	16	05:37	1.6	12:08	0.27
		22:35	1.85	16:26	0.07			18:21	1.57	*	*
Miércoles	7	10:44	1.73	04:52	0.07	Sábado	17	06:41	1.69	00:41	0.28
		23:06	1.85	16:59	0.09			19:20	1.74	13:07	0.14
Jueves	8	11:17	1.68	05:26	0.09	Domingo	18	07:39	1.8	01:40	0.11
		23:38	1.82	17:30	0.13			20:12	1.92	13:59	-0.01
Viernes	9	11:50	1.62	06:00	0.12	Lunes	19	08:31	1.9	02:32	0.1
		*	*	18:03	0.19			21:01	2.07	14:48	-0.14
Sábado	10	00:11	1.78	06:36	0.18	Martes	20	09:20	1.97	03:20	-0.19
		12:26	1.54	18:38	0.26			21:47	2.17	15:34	-0.22

























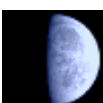
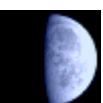



Anexo A4-16: Calendario de fases lunares, para los meses de febrero, marzo y abril 2007.  
Fases lunares para el mes de febrero del año 2007.

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
			1 	2 Llena 	3 	4 
5 	6 	7 	8 	9 	10 	11 
12 	13 	14 	15 	16 	17 Nueva 	18 
19 	20 	21 	22 	23 	24 	25 
26 	27 	28 				

Fases lunares para el mes de marzo del año 2007.

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
			1 	2 	3 Llena 	4 
5 	6 	7 	8 	9 	10 	11 
12 	13 	14 	15 	16 	17 Nueva 	18 
19 Nueva 	20 	21 	22 	23 	24 	25 
26 	27 	28 	29 	30 	31 	

Fases lunares para el mes de abril del año 2007.

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
						1 
2 Llena 	3 	4 	5 	6 	7 	8 
9 	10 	11 	12 	13 	14 	15 
16 	17 Nueva 	18 	19 	20 	21 	22 
23 	24 	25 	26 	27 	28 	29 
30 