



**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA
CALIFORNIA**



Facultad de Ciencias Marinas

PROPUESTA DE DISEÑO DE ROMPEOLAS PARA PUERTO
COLONET, B.C.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO
DE

OCEANÓLOGO

PRESENTA:

VICTORIA MARIEL JIMENEZ ESQUIVEL

Ensenada, Baja California, Junio 2009

PROPUESTA DE DISEÑO DE ROMPEOLAS PARA PUERTO

COLONET, B.C.

TESIS

QUE PRESENTA:

VICTORIA MARIEL JIMENEZ ESQUIVEL

APROBADA POR:



DR. GUILLERMO E. AVILA SERRANO

Presidente del Jurado



M.C. LUIS FELIPE NAVARRO OLACHE

Sinodal Propietario



DR. RONALD SPELZ MADERO

Sinodal Propietario

RESUMEN

Los puertos surgen por la necesidad de aprovechar el medio acuático para transportar personas y bienes. La SCT ha efectuado estudios para definir áreas para el desarrollo portuario encontrando como punto idóneo Bahía Colonet en Ensenada, Baja California. El proyecto: "Puerto Bahía Colonet", sería una solución viable a los problemas de congestión que enfrentan los puertos de Los Ángeles y Long Beach. El objetivo de este trabajo es determinar la orientación y longitud necesaria de un rompeolas conectado a la costa para la creación del Puerto en Punta Colonet. A partir de campañas oceanográficas efectuadas por la Secretaría de Marina se obtuvieron los datos necesarios para generar la batimetría de la Bahía y los datos de oleaje para el análisis estadístico. Se realizaron los histogramas de frecuencia relativa para observar el comportamiento del oleaje, obteniendo valores de altura significativa (H_s) de 1.0 m para los meses de Abril 2007 y Septiembre 2007; de 0.8 m para Noviembre – Diciembre 2007 y valores entre 1.0 a 1.2 m para Marzo Abril 2008; con una dirección entre los 210° - 240° para los meses de invierno. Se hizo un análisis de refracción del oleaje para determinar la dirección de incidencia por medio de la metodología propuesta en el Shore Protection Manual (1984) para determinar la posición de la estructura la cual debe evitar la entrada directa del oleaje y la corriente litoral. La estructura propuesta tiene una longitud de 7,380 m y crea un área protegida de 20.133 km^2 . Se realizó un análisis de difracción del oleaje para conocer la distribución de energía en el área protegida teniendo valores mínimos de altura difractada (H) de 0.2 m. Finalmente se obtuvo el ángulo de talud ideal, el cual fue de 26.57° así como el run up sobre el lado expuesto al mar el cual tiene un valor de 2.38 m en Nivel de Bajamar Media Inferior; considerando un aumento del 10% de seguridad para evitar el rebase de la estructura se obtuvo un valor de 31.3 m de altura en el morro de la estructura. La estructura propuesta genera un área protegida similar a la esperada para la construcción del Puerto; sin embargo la construcción de un rompeolas de roca con estas dimensiones sería demasiado costoso, por lo tanto debería considerarse el uso de otros materiales.

El silencio del mar

El silencio del mar

brama un juicio infinito

más concentrado que el de un cántaro

más implacable que dos gotas

ya acerque el horizonte o nos entregue

la muerte azul de las medusas

nuestras sospechas no lo dejan

el mar escucha como un sordo

es insensible como un dios

y sobrevive a los sobrevivientes

nunca sabré que espero de él

ni que conjuro deja en mis tobillos

pero cuando estos ojos se hartan de baldosas

y esperan entre el llano y las colinas

o en calles que se cierran en más calles

entonces sí me siento náufrago y sólo el mar puede

salvarme

Mario Benedetti

DEDICATORIA

A mi princesa Sophia a quien espero con ansias y se ha convertido en la razón de mi vida.

A mis papás: Miguel A. y Silvia quienes siempre me han dado su apoyo y comprensión para seguir mis sueños y han sido el mejor ejemplo de perseverancia y dedicación.

A mis hermanos: Brianda y Miguel por todas las cosas que hemos vivido y nos han hecho mas fuertes.

AGRADECIMIENTOS

A mi director de tesis Dr. Guillermo E. Ávila Serrano por sus enseñanzas, explicaciones así como su tiempo y apoyo en todo momento.

A mis sinodales M.C. Luis Felipe Navarro Olache y Dr. Ronald Spelz Madero por sus comentarios, asesorías y sugerencias durante la revisión de la tesis.

A la Estación de Investigación Oceanográfica de Ensenada de la Secretaria de Marina y Armada de México por todas las facilidades brindadas para la realización de este trabajo.

A mi familia por siempre haberme brindado su apoyo incondicional en cada decisión que tome para llegar hasta aquí.

A Lulucita, quien se ha convertido en la mejor amiga que pude encontrar en esta ciudad y me enseñó lo que significa la verdadera amistad.

A la familia Villegas Rutiaga quienes siempre me hicieron sentir parte de su familia y me ayudaron en tantos momentos.

A la generación Escaramujos: Abi, Alonso, Mau, Mochis, Paul, Fernando, Daniel, Yuri, Zarko, el Chino, etc... a todos por cada momento que compartimos durante todos estos años. A mis amigas Zenny, Perla, Gixxy por todo lo que vivimos.

A todas las personas que conocí durante todo este tiempo y que me han brindado su amistad y a quienes quisiera agradecer pero me es imposible mencionar a todas en tan poco espacio.

ÍNDICE

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 2. ANTECEDENTES | 5 |
| 2.1. <i>Antecedentes Generales</i> | 5 |
| 2.2. <i>Antecedentes Particulares</i> | 7 |
| 3. OBJETIVOS | 8 |
| 3.1. <i>Objetivo General</i> | 8 |
| 3.2. <i>Objetivos Particulares</i> | 8 |
| 4. ÁREA DE ESTUDIO | 9 |
| 5. PARÁMETROS DE DISEÑO | 11 |
| 5.1. <i>Hidráulicos y Físicos:</i> | 11 |
| 5.1.1. <i>Olas</i> | 11 |
| 5.1.2. <i>Viento</i> | 12 |
| 5.1.3. <i>Mareas</i> | 12 |
| 5.1.3. <i>Sena</i> | 13 |
| 5.1.4. <i>Corrientes</i> | 14 |
| 5.1.5. <i>Tormentas</i> | 14 |
| 5.2. <i>Sedimentación y Procesos Litorales.</i> | 15 |
| 5.2.1. <i>Transporte y Deriva Litoral</i> | 15 |
| 6. METODOLOGÍA | 17 |
| 6.1. <i>Batimetría</i> | 17 |
| 6.2. <i>Oleaje</i> | 17 |
| 6.2.1. <i>Aparatos de Medición de Oleaje.</i> | 18 |
| 6.2.2. <i>Análisis Estadístico de Oleaje.</i> | 18 |
| 6.3. <i>Refracción de oleaje</i> | 19 |
| 6.4. <i>Orientación de la Estructura</i> | 22 |
| 6.5. <i>Análisis de Difracción de Oleaje.</i> | 23 |
| 6.6. <i>Altura de la estructura.</i> | 27 |
| 6.6.1. <i>Talud de la Estructura.</i> | 27 |
| 6.6.2. <i>Run up (R).</i> | 27 |
| 7. RESULTADOS | 31 |
| 7.1. <i>Batimetría</i> | 31 |
| 7.2. <i>Análisis Estadístico</i> | 33 |
| 7.2.1. <i>Estadística General</i> | 33 |
| 7.2.2. <i>Series de Tiempo</i> | 34 |
| 7.2.3. <i>Histogramas de Frecuencia (Hs y Tp)</i> | 37 |
| 7.2.4. <i>Dirección de Oleaje</i> | 40 |
| 7.3. <i>Refracción</i> | 43 |
| 7.4. <i>Diseño de la estructura</i> | 46 |
| 7.5. <i>Difracción</i> | 46 |
| 7.6. <i>Altura de la Estructura</i> | 49 |
| 7.6.1. <i>Talud de la Estructura</i> | 49 |
| 7.6.2. <i>Run up (R)</i> | 49 |

| | |
|--|-----------|
| 8. DISCUSIONES | 51 |
| 8.1. Batimetría | 51 |
| 8.2. Oleaje | 51 |
| 8.3. Refracción | 55 |
| 8.4. Orientación de la Estructura | 56 |
| 8.5. Difracción | 57 |
| 8.6. Altura de la Estructura | 57 |
| 9. CONCLUSIONES | 59 |
| 10. RECOMENDACIONES | 60 |
| 11. BIBLIOGRAFÍA | 61 |
| APENDICE A | 67 |
| APENDICE B | 72 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Tipos de Rompeolas: a) Paramento Vertical; b) Rompeolas Mixto; c) Rompeolas a Talud. | 2 |
| Figura 2. Sección transversal típica de un rompeolas a talud. Este diseño, consiste de un núcleo cubierto o protegido por capas secundarias o inferiores de rocas más pesadas y una capa exterior denominada coraza. | 3 |
| Figura 3. Ubicación Geográfica Punta Colonet, mostrando el área donde se planea desarrollar el megapuerto. | 10 |
| Figura 4. Esquema de definición de refracción de olas. Los frentes de ola de aguas profundas se asumen rectos y paralelos entre si. | 20 |
| Figura 5. Fenómeno de difracción del Oleaje. | 23 |
| Figura 6. Plano de oleaje difractado. | 24 |
| Figura 7. Diagrama de difracción. Ángulo de incidencia 105° . | 26 |
| Figura 8. Comparacion entre el run up de oleaje en taludes lisos y taludes rugosos permeables (datos para $d_s / H_0 > 3$). | 30 |
| Figura 9. Plano batimétrico del área de estudio, donde la separación entre isobatas es de 1 m. | 32 |
| Figura 10. Series de Tiempo de los parámetros de Altura Significante (Hs) y Periodo de Pico Espectral (Tp) para el oleaje correspondiente al mes de Abril 2007. | 35 |
| Figura 11. Series de Tiempo de los parámetros de Altura Significante (Hs) y Periodo de Pico Espectral (Tp) para el oleaje correspondiente al mes de Septiembre 2007. | 35 |
| Figura 12. Series de Tiempo de los parámetros de Altura Significante (Hs) y Periodo de Pico Espectral (Tp) para el oleaje correspondiente al mes de Noviembre - Diciembre 2007. | 36 |
| Figura 13. Series de Tiempo de los parámetros de Altura Significante (Hs) y Periodo de Pico Espectral (Tp) para el oleaje correspondiente al mes de Marzo - Abril 2008. | 36 |
| Figura 14. Histograma de frecuencia por porcentaje de ocurrencia para la Altura Significante (Hs). El valor encontrado en la parte superior de las barras corresponde al Periodo Pico Espectral (Tp) asociado a cada Hs. a) Abril 2007, b) Septiembre 2007, c) Noviembre - Diciembre 2007, d) Marzo – Abril 2008. | 38 |

| | |
|---|----|
| Figura 15. Histograma de frecuencia por porcentaje de ocurrencia para el Periodo Pico Espectral (T_p). El valor encontrado en la parte superior de las barras corresponde a la Altura Significante (H_s) asociado a cada T_p . a) Abril 2007, b) Septiembre 2007, c) Noviembre – Diciembre 2008. | 39 |
| Figura 16. Diagramas de Rosa de oleaje para el mes de Septiembre 2007 que nos indica la predominancia de arribo de oleaje con dirección SOO. El intervalo de clases de los diagramas es de 30° , las barras nos indican las diferentes frecuencias de ocurrencia de H_s presentadas en porcentaje en el interior de las figuras. | 41 |
| Figura 17. Diagramas de Rosa de oleaje para los meses de Noviembre - Diciembre 2007 que nos indica la predominancia de arribo de oleaje con dirección SOO. El intervalo de clases de los diagramas es de 30° , las barras nos indican las diferentes frecuencias de ocurrencia de H_s presentadas en porcentaje en el interior de las figuras. | 42 |
| Figura 18. Diagrama de refracción realizado con el programa computacional Waves para una $H = 3.07$ m, $T = 13.5$ s y 210° en donde las líneas azules indican la dirección con la que arriban las ortogonales al área de estudio. El trazo de las ortogonales para ambos casos fue equidistante con una separación entre ortogonales de 4 cm (597 m) con dirección suroeste | 45 |
| Figura 19. Alineación propuesta para un rompeolas conectado a la costa a una profundidad de 23 m | 47 |
| Figura 20. Difracción del oleaje causado por el rompeolas con un ángulo de aproximación de 103° y $H = 2.87$ m. | 47 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla I. Magnitudes empleadas para determinar la geometría estadística del oleaje (Frías – Moreno, 1988). | 11 |
| Tabla II. Tipos de mareas (Frías – Moreno, 1988). | 12 |
| Tabla III. Niveles Hidrográficos de Marea generados a partir de los tipos de mareas (Frías – Moreno, 1988). | 13 |
| Tabla IV. Parámetros estadísticos relevantes de la altura significativa (H_s), periodo pico espectral (T_p) y dirección de las olas registradas durante los meses de medición. | 33 |
| Tabla V. Valores de Coeficiente de Refracción (K_r) obtenidos a partir del software WAVES, con una dirección de arribo de oleaje SSW. | 43 |
| Tabla VI. Características del oleaje de rompiente | 44 |
| Tabla VII. Altura de oleaje de entrada (H_j), coeficiente de difracciones (K') y valores de altura de ola difractada (H). | 46 |
| Tabla VIII. Run up del oleaje de diseño sobre el costado expuesto al mar del rompeolas. | 50 |

1. INTRODUCCIÓN

Los puertos surgen por la necesidad de participar en las corrientes del comercio internacional aprovechando el medio acuático para transportar personas y bienes (Hernández, 1983). Un puerto se define como una zona marítima terrestre que esta protegida de los procesos físicos y oceanográficos, cuyo propósito es mantener un área de aguas tranquilas donde puedan arribar embarcaciones para que puedan realizar maniobras de carga y descarga y permitir el resguardo de las embarcaciones (Enríquez, 2005). La calma que se requiere en las áreas de navegación, operación y maniobra, se logra con las obras de protección, cuya localización, extensión y altura dependerán de factores tales como la dirección del oleaje máximo, la configuración de la línea de la costa y el tamaño del puerto que se desee construir (Hernández, 1983). Dentro de las estructuras portuarias se encuentran los rompeolas, espigones, muelles, embarcaderos e instalaciones especiales para carga y descarga de contenedores o terminales petroleras (Bruun, 1989).

La función esencial de una obra de protección o rompeolas de un puerto, es proteger los accesos, las zonas de maniobras y las obras interiores contra la acción de los oleajes procedentes de aguas profundas. Los rompeolas se pueden clasificar en relación a la forma en que se oponen al oleaje (Frías-Moreno, 1988):

- a) Paramento Vertical.- Esta constituido por una pared vertical formada de concreto rellenos con arena o roca, sustentados por enrocamientos (Fig. 1a).
- b) Rompeolas mixto.- Consiste en una muralla vertical que reposa sobre un enrocamiento cuya corona se encuentra cuando mucho al nivel de bajamar (Fig. 1b).
- c) Rompeolas a talud.- Están constituidos por un núcleo de enrocamiento que impide la transmisión de la energía dada su baja porosidad; este a su vez está protegido por una o varias capas de enrocamiento pero con tamaños crecientes, las cuales evitan la dispersión del núcleo por la acción del oleaje (Fig. 1c).

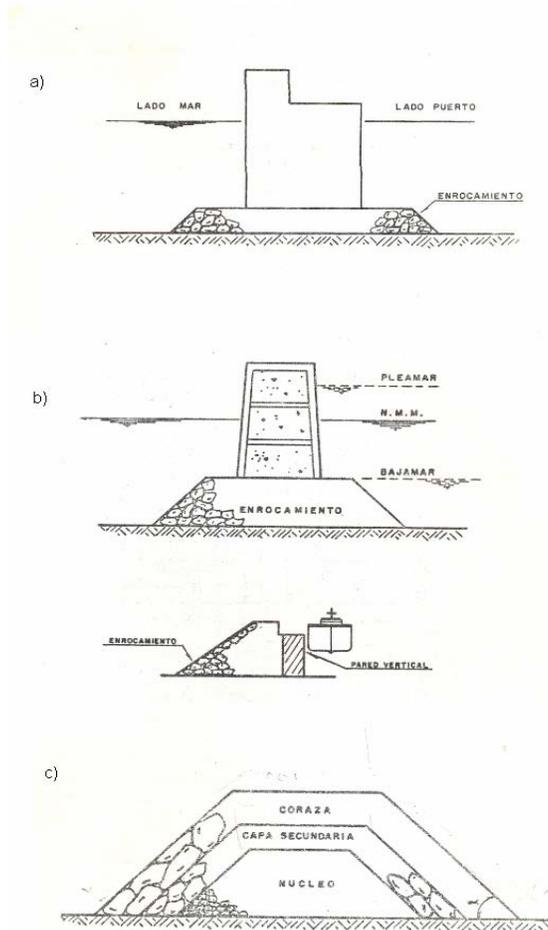


Figura 1. Tipos de Rompeolas: a) Paramento Vertical; b) Rompeolas Mixto; c) Rompeolas a Talud (Frías – Moreno, 1988).

Para ser eficiente en el mantenimiento del canal de navegación, el rompeolas debe ser lo suficientemente alto para obstruir el paso del agua y la arena; además debe estar alineado casi paralelamente a la dirección de las olas predominantes. Las direcciones de arribo del oleaje son determinadas por análisis históricos o por análisis de refracción. Para evitar daños en un rompeolas sobre el nivel del mar es necesario determinar la altura de rompiente de las olas y la amplitud de las mareas ya que si las olas no rompen contra o cerca de la estructura, el daño y los costos de mantenimiento serán mínimos (Frías – Moreno, 1988).

Los rompeolas están constituidos por un núcleo con rocas relativamente pequeñas que impide la transmisión de energía dada su baja porosidad; este, a su vez, se encuentra protegido por una o varias capas de enrocamiento pero de

tamaños crecientes para evitar la dispersión del núcleo y finalmente la capa exterior denominada corona debe de ser diseñada para resistir la fuerza de las olas provenientes de cualquier dirección (Fig. 2) (Frías-Moreno, 1988).

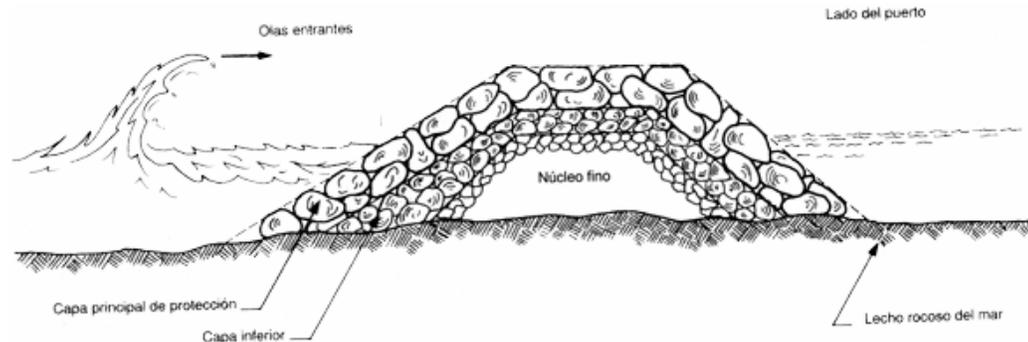


Figura 2. Sección transversal típica de un rompeolas a talud. Este diseño, consiste de un núcleo cubierto o protegido por capas secundarias o inferiores de rocas más pesadas y una capa exterior denominada coraza. Tomado de Sciortino (1996).

En el diseño de estructuras costeras, se tiene como meta principal obtener el diseño estructural más viable tanto en el aspecto ambiental que implica el menor impacto dentro y cerca de la zona, así como por costos de construcción y mantenimiento (Rendón, 2006).

En México, debido a la crisis de los años ochenta, hubo un fuerte rezago en la Marina Mercante por lo que existía un bajo dinamismo en los volúmenes transportados vía marítima en relación con el tamaño de la economía (Enríquez, 2005). Conforme al Plan Nacional de Desarrollo 2001-2006, la habilitación de puertos y terminales resulta imprescindible para la modernización, expansión y mejoramiento de la calidad de la infraestructura y prestación de servicios en materia de comunicaciones y transportes¹.

El Sistema Portuario Nacional (SPN) está conformado por 114 puertos y terminales habilitadas, 56 en el Pacífico y 58 en el Golfo de México y Caribe; 66 son para tráfico de altura y cabotaje y 48 únicamente de cabotaje, la capacidad instalada para el manejo de carga comercial no petrolera es de 198.1 kilómetros de

¹ <http://e-mar.sct.gob.mx>

muelles, 149.3 kilómetros de obras de protección y 5.6 millones de metros cuadrados de áreas de almacenamiento; la carga operada en el SPN se concentra en 41 puertos principales del total, con actividades comerciales, turísticas e industriales. Por todo lo anterior es importante tener puertos con características ideales tanto de abrigo como de maniobra para ser eficientes y competitivos, ya que en el año 2006 el sistema portuario nacional movilizó 287 millones de toneladas de carga total (comercial 43% y petrolera 57%) (González-Azcona, 2008).

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes ha efectuado los estudios necesarios con el fin de definir las áreas que requieren para los servicios portuarios que se prestan a los usuarios y aquellos otros relacionados con las actividades portuarias. Se han tomado en cuenta las condiciones de incremento de tránsito marítimo y demás factores de las zonas de influencia; encontrando como punto idóneo un lugar en el litoral del Pacífico de México, conocido como Bahía Colonet, Municipio de Ensenada, en el Estado de Baja California¹ dada su cercanía geográfica con el Estado de California, en los Estados Unidos.

La construcción de ese puerto en México sería una solución viable a los problemas de congestionamiento y restricciones ambientales que enfrentan los puertos de Los Ángeles, California, y Long Beach, California, U.S.A., según la Asociación Americana de Autoridades Portuarias (AAPA por sus siglas en inglés) (De la Rosa, 2004).

El Proyecto Punta Bahía Colonet, incluye una Terminal especializada de contenedores y un ferrocarril como ancla de un importante desarrollo de inversión privada. El puerto se operará bajo la figura de concesión por un plazo de treinta años para la explotación, uso y aprovechamiento de bienes de dominio público de la federación que forma parte del recinto portuario. La concesión incluirá la construcción, operación y explotación de la Terminal, servicio de manejo, carga y descarga de contenedores, una vía férrea y una Banda de Frecuencia radioeléctrica². El proyecto Colonet contempla además una inversión de 1,100 millones de dólares adicionales para la construcción de una planta de generación de electricidad y una regasificadora de gas natural. Asimismo, considera el

¹ <http://e-mar.sct.gob.mx>

² <http://cgpmm.sct.gob.mx>

desarrollo de un complejo hotelero, industrial, comercial, una súper carretera, un aeropuerto, y por supuesto una ciudad habitacional de soporte (De la Rosa, 2004).

El aspecto económico es muy importante para la realización de un puerto, sin embargo, es necesario considerar factores geológicos, físicos, oceanográficos y meteorológicos en el diseño del rompeolas, ya que con estos se determinarán las características estructurales del mismo para asegurar la funcionalidad de la estructura. De acuerdo a lo anterior, el presente trabajo esta encaminado a crear una propuesta de diseño y orientación del rompeolas idóneo para el Proyecto Punta Colonet; por tal efecto se aplicaran los criterios necesarios para diseñar un rompeolas en esta zona, con el objetivo de reducir la altura del oleaje y proveer un lugar en aguas tranquilas para atracar embarcaciones de gran calado y poder realizar maniobras de carga y descarga de manera segura. Para este propósito se consideraran estudios batimétricos, la estadística de oleaje, así como análisis de refracción, análisis de difracción y se determinara la altura del rompeolas recomendada para que este sea eficiente.

2. ANTECEDENTES

2.1. Antecedentes Generales

Ajas (1984) analiza las características del estero de Punta Banda, B.C. para construir una marina, la cual concluye que en la boca del estero existe una alternancia Norte – Sur en la dirección del transporte litoral con predominancia en dirección Norte; por tal motivo se sugiere la construcción de dos rompeolas uno a cada lado de la boca para impedir la migración de sedimento.

Bretschneider (1960 en Aldeco, 1986) presento los pasos a seguir para la selección de la ola de diseño para estructuras marinas. Menciona que se requiere el análisis de todos los eventos extremos pasados, cuando los datos están disponibles. En aquellos casos en los cuales no hay datos disponibles, datos de localidades vecinas o con localización similar pueden ser usados.

González (1992) proporciona las variables involucradas en la planeación, diseño y construcción del puerto de Ensenada, las cuales son estudios topográficos, batimétricos, oceanográficos y meteorológicos; recomienda que para

una mejor funcionalidad del puerto es necesario tomar en cuenta periodos largos de información, principalmente altura significativa (Hs) y periodo (T), bajo condiciones de invierno y tormenta.

Mansard (1990 en Bermúdez, 1999), aplica un modelo físico a los rompeolas de roca convencional, concluyendo que para el diseño de éstos se debe considerar la estabilidad hidráulica así como la integridad estructural de las rocas de la coraza.

Thompson, *et al.*, (1995), desarrollan un manual de procedimientos generales para proyectos en la zona costera. Incluye aspectos gubernamentales, ecológicos y políticos que las obras de este tipo exigen.

Seabrook y Hall (1996 en Téllez, 2003) analizan el efecto del ancho de la cresta y la geometría en el funcionamiento de un rompeolas sumergido, definiendo el efecto de la profundidad donde se colocara el rompeolas, el ancho de la cresta y la pendiente del rompeolas en base a características de la transmisión de olas. Los resultados indican que la profundidad de colocación del rompeolas, la altura de la ola incidente y el ancho de cresta son los factores más importantes que afectan la transmisión irregular de las olas.

McCormick (1997 en Bermúdez, 1999) realizo un proyecto de protección y restauración de marismas mediante el uso combinado de un rompeolas sumergido, relleno producto de dragado y colocación de pastos marinos para la Bahía de Chesapeake en el Golfo de México.

En México, fue hasta los años treinta del siglo pasado cuando se hicieron los primeros estudios para determinar las medidas, cantidades y formas adecuadas para la construcción de las obras de protección (rompeolas y escolleras), tomando en cuenta los factores que los pudieran afectar. La mayoría de las obras de protección consisten actualmente en capas de roca natural de diferentes tamaños, protegidas por una o más capas de roca de un peso mayor, colocadas con precisión para obtener secciones de forma trapezoidal cuyo diseño se basa en la fórmula de Hudson modificada (Ruiz, *et al.*, 1999).

Bermúdez (1999) realizó un estudio para el diseño de un rompeolas separado de la costa como alternativa de protección a los cantiles en la zona del Sauzal de Rodríguez proponiendo una metodología para la realización de este tipo de estructuras basándose en las técnicas de Bruun *et al* (1978), Shore Protection Manual (USACE, 1984), Dally *et al* (1986) y Chesten *et al* (1993) y proporcionando las variables involucradas para la planeación, diseño y construcción de un rompeolas.

Pilarczyk *et al* (2003 en Téllez, 2003) realizan un resumen de la literatura y herramientas usadas para el diseño de estructuras sumergidas y de corona baja basándose principalmente en literatura japonesa. Muestran información acerca de la transmisión de ola para este tipo de estructuras así como la propuesta de diferentes modelos y diseños de rompeolas sumergidos separados de la costa.

Rendón (2006) propuso el diseño estructural de un rompeolas conectado a la costa para la protección de un área de aproximadamente 10,559 m², en donde evaluó los factores hidrográficos (marea, oleaje y corrientes), los parámetros de oleaje para el diseño estructural y desempeño funcional durante el invierno y verano y los factores geológicos de la zona del desplante, todo esto con la finalidad de proporcionar las condiciones optimas de energía ($H < 0.3$ m).

2.2. Antecedentes Particulares

El rompeolas para el área de Bahía Colonet, B.C., es un proyecto nuevo y se enfoca en la actividad portuaria y protección contra la erosión del oleaje. Debido a que esta zona no ha sido bien estudiada con anterioridad, la información sobre proyectos similares al que aquí se propone es inexistente, por lo que se utilizó la información de otros proyectos realizados en otras localidades.

Algunos autores han estudiado el área frente a Punta Colonet, dentro de los cuales podemos citar a Wooster y Jones (1970 en Torres, 1982) los cuales demuestran la existencia de una subcorriente fluyendo al Norte a lo largo del talud continental; Barton y Argote (1980 en Torres, 1982) analizan la variabilidad hidrográfica, vientos y corrientes del área frente a Punta Colonet en Junio de 1976 y Torres (1982) ubicó la Contracorriente Subsuperficial, la cual mostro tener una

estructura compleja, detectándose debajo de los 150 m hasta 600 m de profundidad y alcanzando distancias de hasta 100 km fuera de la costa, con dirección principal de movimiento Noroeste cerca del talud. De acuerdo con Martínez (1981), de forma general la dirección predominante del transporte litoral en Bahía Colonet, es de Norte a Sur.

Fondeport (1982 en Ajas, 1984) menciona que el estado de California a partir de 1982, no permite la construcción de marinas en sus costas lo que determina un mercado potencial ilimitado para Baja California.

Esta zona presenta una serie de cantiles que han sido poco estudiados; Bravo (2009) clasifica estos cantiles como activos, por lo tanto son fuente importante para el aporte de sedimento en Bahía Colonet. Los cantiles de la Zona Sur son los que aportan mayor material al sistema y los que están mayormente influenciados por la erosión marina, mientras que en la Zona Norte el agente sub aéreo es el principal causante de erosión en los cantiles. Bahía Colonet presenta playas disipativas en la Zona Norte y reflectivas en la Zona Sur, esto por la pendiente de la playa y la incidencia del oleaje.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo General

Determinar la orientación y longitud necesaria de un rompeolas conectado a la costa, para la creación del Mega Puerto en Punta Colonet.

3.2. Objetivos Particulares

1. Generar la batimetría de la zona a partir de los datos proporcionados con apoyo de la Secretaría de Marina.
2. Llevar a cabo un análisis estadístico de oleaje para conocer la Altura de Ola Significante y el Periodo Significante para el área de estudio.

3. Hacer un análisis de refracción, para determinar los sitios actuales en donde se concentra la energía dentro Bahía Colonet, B.C.
4. Realizar un análisis de difracción en base al rompeolas que se planea desarrollar.
5. Determinar la altura ideal de la estructura que evite el paso de la energía del oleaje.

4. ÁREA DE ESTUDIO

Bahía Colonet se localiza en el Municipio de Ensenada a 130 km al sur de la ciudad de Ensenada, en el Estado de Baja California, dentro del litoral del Pacífico Mexicano (De la Rosa, 2004); geográficamente está delimitada al norte por Punta Colonet ubicada entre los $30^{\circ} 57' 22.43''$ latitud Norte y $116^{\circ} 19' 29.79''$ longitud Oeste; y al sur por Punta San Telmo ubicada entre los $30^{\circ} 55' 04.46''$ latitud Norte y $116^{\circ} 13' 17.82''$ longitud Oeste (Fig. 3) (Bravo, 2009).

Punta Colonet está a 240 km al sur de Tijuana (Fig. 3), siendo el punto ideal para el desarrollo del nuevo puerto por las características naturales de la zona marítima (De la Rosa, 2004) descritas mas adelante y por la necesidad de consolidar e incrementar las instalaciones portuarias que atienden el comercio exterior del país en el litoral Pacífico Norte, en la Península de Baja California, el desarrollo que se planea en la Bahía comprende un puerto de cabotaje y altura, adscrito a la Capitanía de Puerto de Ensenada, se convertirá para la próxima década, en el más importante del Pacífico Mexicano (Wales-Sanger, 2007).

El área tiene una superficie total de 2,769 hectáreas para construir el mega complejo portuario, integradas por 83 hectáreas de terrenos de dominio público de la Federación y 2,686 hectáreas de agua de mar territorial según las poligonales envolventes del recinto. También Bahía Colonet cuenta con un canal “mínimo” de navegación de 17 m de profundidad, un farallón de 4.5 km de largo para protección del puerto y “amplios espacios planos sobre el farallón” (BANOBRAS, 2008).

La región de Punta Colonet es una costa formada por bloques de roca volcánica de composición basáltica y andesítica, en la cual existen pequeñas playas de gravas y guijarros. Desde Bahía Colonet hacia el sur, hasta 2 km al Norte de Bahía Camalú, la costa está formada por guijarros y cantos rodados, existiendo arena en muy pocos lugares (Martínez, 1981).

Bahía Colonet está bañada por dos arroyos: San Rafael y San Telmo. El primero es intermitente y fluye solo durante la estación de lluvias que ocurre en el invierno (diciembre a febrero). Este arroyo nace en las inmediaciones de la Sierra Juárez y fluye hacia el Suroeste, erosionando una gran variedad de rocas plutónicas, volcánicas, metamórficas y sedimentarias, para desembocar al Norte de dicha Bahía. Las aguas del arroyo San Telmo provienen de la Sierra de San Pedro Mártir, formando varios afluentes que también se dirigen hacia el Suroeste y desembocan al Sur de Bahía Colonet. En su recorrido, este arroyo erosiona rocas origen plutónico, volcánico y sedimentario (Gastil, *et al*, 1975).

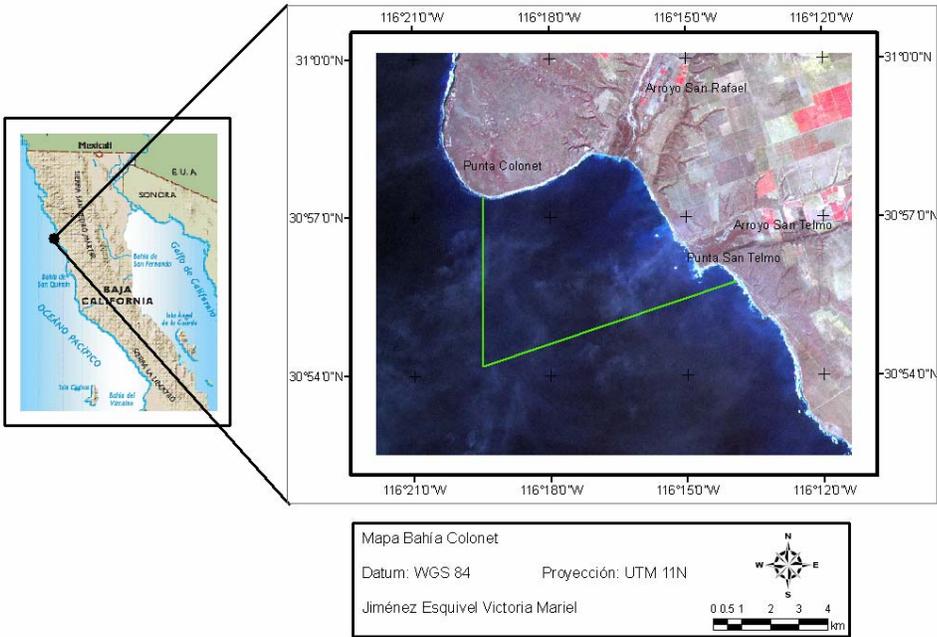


Figura 3. Ubicación Geográfica Punta Colonet, mostrando el área donde se planea desarrollar el megapuerto.

5. PARÁMETROS DE DISEÑO

5.1. Hidráulicos y Físicos:

5.1.1 Olas

Las olas producen las más críticas fuerzas a las cuales se ven expuestas las estructuras costeras. Una estructura expuesta a la acción de las olas debe de ser diseñada para resistir a la ola más grande que puede esperarse en ese lugar, siempre que éste diseño sea económicamente viable (Tabla I) (Ajas, 1984).

Tabla I. Magnitudes empleadas para determinar la geometría estadística del oleaje (Frías – Moreno, 1988).

| Parámetro | Definición |
|-------------------------|--|
| $H_{1/3}$ y $T_{1/3}$ | Altura y Periodo un tercio o significantes los cuales corresponden al promedio del tercio de los valores mas altos de un tren de olas. |
| $H_{1/10}$ y $T_{1/10}$ | Altura y Periodo un decimo, que corresponden al promedio de un decimo de los valores mas altos de un tren de olas. |
| \bar{H} y \bar{T} | Altura y Periodo medios de un tren de olas |
| T_z | Periodo de Cruces por cero |
| T_c | Periodo promedio de crestas |

Para el caso de los rompeolas, la integridad estructural depende de la resistencia que se tenga a la acción erosiva de las olas. El daño a los rompeolas es generalmente progresivo y es necesario un extenso periodo de acción de olas destructivas antes de que la estructura falle y cese de dar protección, por lo que es necesario la selección de una altura de ola para el diseño considerando la ocurrencia de olas destructivas, la economía de la construcción, su protección y mantenimiento (Ajas, 1984).

5.1.2 Viento

El viento, al soplar sobre el océano, genera corrientes y oleajes en virtud del esfuerzo tangencial que ejerce sobre la superficie, el cual, junto con las variaciones de presión, pone a las masas de agua en movimiento y su efecto sobre la costa es permanente. Por otra parte, las instalaciones marítimas están sujetas a la presión directa del viento, por esto, es necesario contar con registros estadísticos de la frecuencia, dirección e intensidad del viento. Dichos registros pueden obtenerse a partir de estaciones meteorológicas locales o bien mediante las cartas oceanográficas (Herrejón, 1979) de ahí la importancia de su estudio desde el punto de vista de las obras marítimas.

5.1.3 Mareas

Las mareas son importantes no solo por su amplitud, sino también por las corrientes que originan. Para las obras marítimas es importante considerar el tipo de marea que existe en el área (Tabla II) así como las elevaciones de pleamar máxima registrada, la pleamar mínima registrada y el nivel medio del mar (Tabla III). Estos niveles hidrográficos pueden obtenerse mediante las tablas de predicción de mareas (Herrejón, 1979).

Tabla II. Tipos de mareas (Frías – Moreno, 1988).

| | |
|------------|--|
| DIURNA | Un pleamar y un bajamar por ciclo, en un periodo de 24 hrs y 50 min (Valor promedio) |
| SEMIDIURNA | Dos pleamares y dos bajamares durante dos sucesivos ciclos con periodos de 12 hrs y 25 min cada uno (Valor promedio) |
| MIXTA | Es la combinación de los dos tipos mencionados anteriormente. |

Tabla III. Niveles Hidrográficos de Marea generados a partir de los tipos de mareas (Frías – Moreno, 1988).

| | | |
|---------------------------------|-------------|--|
| Pleamar Máxima Registrada | PMR o HHW | Nivel más alto registrado debido a las fuerzas de marea periódica. |
| Nivel de Pleamar Media Superior | NPMS o NHHW | Promedio de la mas alta de las dos pleamares diarias. |
| Nivel de Pleamar Media | NPM o MHW | Promedio de todas las pleamares durante el periodo considera en cada estación. |
| Nivel Medio del Mar | NMM o MSL | Promedio de las alturas horarias durante el periodo registrado. |
| Nivel de Bajamar Media | MBM o MLW | Promedio de todas las bajamares durante el periodo de registro. |
| Nivel de Bajar Media Inferior | NBMI o MLLW | Promedio de la mas baja de las dos bajamares diarias. |
| Bajamar Mínima Registrada | BMR o LLW | Nivel más Bajo registrado debido a las fuerzas de marea periódica. |

5.1.3.1 Sena

Un factor determinante en el diseño de obras costeras es la sobre elevación del nivel del mar o marea de tormenta (Sena) se define como el aumento del nivel causado por una perturbación atmosférica sobre una zona costera somera. Las causas de los cambios del nivel del agua son: esfuerzo superficial del viento y el esfuerzo del fondo relacionado a las corrientes, diferencia de presión atmosférica, generación de olas largas por la perturbación atmosférica moviéndose y por la precipitación. En la costa de Baja California se presentan tormentas extra tropicales, que resultan de la interacción de masas de aire frio y caliente, siendo estas las causantes de una Sena sustancial (Aldeco, 1986).

5.1.4 Corrientes

En general se pueden definir a las corrientes como el desplazamiento de una masa de agua, determinada por dos características: dirección y velocidad; para su estudio se pueden dividir en cuatro tipos: corrientes oceánicas, corrientes inducidas por el viento, corrientes por marea y corrientes en la costa producidas por oleaje (Frías – Moreno, 1988).

Los efectos producidos por las corrientes de marea son de gran importancia en el diseño de estructuras marinas ya que en zonas de mar profundo estas corrientes mantienen una rotación periódica con velocidades relativamente bajas, por el contrario en las proximidades de las costas las velocidades pueden llegar a ser bastante considerables dando lugar a problemas de transporte de sedimentos, accesos de puertos, etc (Frías – Moreno, 1988).

5.1.5 Tormentas

El oleaje generado durante eventos extremos en ciertas épocas establece las condiciones máximas que han de soportar las estructuras, lo cual a su vez permitirá conocer las fuerzas que se ejercen sobre la estructura, ya que si esta se diseña para oleajes con periodos de retorno bajos el oleaje de tormenta la atacara y es probable que la estructura falle antes del final de su vida útil (Aldeco, 1986).

La selección de las consideraciones de diseño está relacionada con los costos de construcción, costo anual de mantenimiento y reparación de la estructura en el caso de acción extrema del oleaje ocasionado por eventos de tormentas. Las evaluaciones económicas dependen de la frecuencia de ocurrencia de eventos extremos, altura y duración de olas extremas así como el daño potencial de olas grandes. Estos casos están relacionados a la probabilidad de ocurrencia de olas y niveles hidrográficos inusualmente grandes (Ajas, 1984).

5.2. Sedimentación y Procesos Litorales.

5.2.1 Transporte y Deriva Litoral

El transporte litoral se define como el movimiento que presenta el sedimento a lo largo de la playa, estando restringido entre la zona de rompiente y la línea de costa. Es de gran importancia evaluar los procesos que tienen lugar en la franja costera, ya que con lo anterior es posible planear las estructuras adecuadas para el aprovechamiento máximo de las costas (Cruz, 1989).

El transporte litoral se divide en:

- Transporte paralelo a la costa (transporte a lo largo de la costa), es provocado por el flujo de agua paralelo a la costa y esta restringido principalmente a la región entre la zona de rompiente del oleaje y la línea de costa (González, 1985), la dirección de este transporte está relacionado directamente con la dirección de aproximación de las olas, cuando la ola llega a la costa con cierto ángulo, la componente de la energía paralela a la costa produce una corriente litoral y por consiguiente un transporte de sedimentos a lo largo de la misma (Frías – Moreno, 1988)
- Transporte perpendicular a la costa (transporte hacia adentro y hacia afuera de la costa), el transporte perpendicular es determinado primariamente por la esbeltez de la ola³, el tamaño del sedimento y la pendiente de la playa. En general olas con mucha esbeltez mueven material fuera de la costa y olas poco esbeltas (bajas de largo periodo), mueven materiales hacia la costa (Ajas, 1984).

Para propósito de diseño, es necesario obtener muestras de los materiales del lecho marino para determinar la estabilidad del fondo y asegurar una buena cimentación de la estructura, se requiere información sobre la resistencia al esfuerzo cortante, densidad del sustrato húmedo, densidad del sustrato seco, contenido de agua y peso específico, entre otros; existen varios tipos de equipos

³ La relación de esbeltez, se define como el cociente de la amplitud, entre la longitud de la ola.
 $Re = H/L$ (Hernández, 1983).

para llevar a cabo este tipo de trabajo y la longitud del sondeo depende del tipo de terreno. (Herrejón, 1979).

Las causas que provocan el transporte de sedimentos en las costas son básicamente las corrientes y el oleaje ya que provocan esfuerzos cortantes sobre los sedimentos y hacen que sean transportados en suspensión o por el fondo a distancias relativamente grandes, es por esto que en la realización de una abra de protección es necesario tomar en cuenta las posibles interacciones entre el fluido en movimiento y los sedimentos del fondo sobre los que actúa (Frías – Moreno, 1988).

6. METODOLOGÍA

A partir de cuatro campañas oceanográficas, efectuadas por la Estación de Investigación Oceanográfica de Ensenada (EIOE) la cual pertenece a la Marina Mexicana, durante los meses de Abril, Septiembre y Noviembre - Diciembre de 2007 y Marzo - Abril de 2008 a bordo de los buques oceanográficos ALTAIR y ALEJANDRO HUMBOLTD, se obtuvieron los datos para realizar este trabajo. Se midió la intensidad y dirección de la corriente, la presión y la temperatura del agua y se realizó un barrido del fondo marino del área.

6.1. Batimetría

El levantamiento batimétrico en el área de estudio desde Punta Colonet hasta Punta San Telmo se realizó con la información obtenida a partir de las campañas oceanográficas realizadas en los días 11 y 12 de Noviembre 2007. Los datos de profundidad se obtuvieron mediante una Ecosonda Raytheon modelo DE719 la cual produce un pulso acústico a través de un medio acuoso y es reflejado al incidir en un medio de diferente densidad como el fondo marino, la ecosonda registra el tiempo que tardan las ondas acústicas en regresar mientras que los datos sobre la posición geográfica se obtuvieron a partir de un sistema de GPS Simrad modelo Shipmate CP30. Por otra parte se llevo a cabo un caminamiento a lo largo de la línea de costa desde Punta Colonet hasta Punta San Telmo usando el mismo sistema de GPS utilizado en el levantamiento batimétrico.

Los datos registrados a bordo de la embarcación y el caminamiento fueron procesados y referidos con respecto al Nivel de Bajamar Media Inferior. La corrección por marea consiste en sumar o restar la altura de la marea con respecto al nivel hidrográfico de referencia. Los datos se digitalizaron en el programa computacional *SURFER 8.0* para generar una carta batimétrica a una escala 1:15000 y se encuentra referida al *Datum* NAD27 zona UTM 11 graficando las isobatas cada metro.

6.2. Oleaje

La medición de datos de oleaje sirve para determinar las propiedades estadísticas de la climatología local de oleaje, mejorar el entendimiento de los

procesos físicos de las olas así como diseñar y construir adecuadamente obras marítimas en la ingeniería portuaria (Cano, 2004).

6.2.1. Aparatos de Medición de Oleaje.

En la primera campaña oceanográfica el oleaje fue medido a partir de un Perfilador Acústico Doppler (ADP) marca Sontek modelo Argonauta XR Unidireccional, este registra en su base de datos exclusivamente valores de altura significativa (H_s) y periodo de pico espectral (T_p). Para las tres siguientes campañas se utilizó un corrientímetro – holómetro marca InterOcean modelo S4A el cual puede medir corrientes y oleaje con registros Bidireccionales y registra un mayor número de parámetros estadísticos (H_s , \bar{H} , $H_{1/10}$, $H_{máx}$, T_p , T_s , T_z , T_c , $T_{máx}$), la desviación estándar y la dirección de arribo del oleaje (Θ).

6.2.2. Análisis Estadístico de Oleaje.

Debido a la función que desempeñan los rompeolas, su diseño estructural debe de tomar en cuenta las características energéticas del lugar, ya que la ola se refleja, disipa y transmite dependiendo de las características más sobresalientes de oleaje, como son la altura (H), el periodo (T) y la dirección predominante de las olas (Θ) (Komar, 1998).

El tratamiento de los datos se llevó a cabo de forma estadística, analizando los diferentes parámetros del oleaje como la H_s , T_p , Θ , amplitud (a) y longitud de onda (L), los cuales se separaron de acuerdo a los meses de cada campaña. Se calcularon los valores máximos, mínimos, la media y la desviación estándar de todos los parámetros en Excel 2003.

Los datos obtenidos fueron procesados con el software MatLab v 7.6 con el cual se realizaron gráficas de serie de tiempo para H_s y T_p , con la finalidad de establecer el comportamiento espacio-temporal de las variables del oleaje en las distintas estaciones de medición.

Para estimar el tipo de distribución y el porcentaje de ocurrencia de las variables físicas (H_s y T_p), se construyeron histogramas de frecuencia. Se consideraron intervalos de clases de 0.2 m en el caso de las alturas significantes. En el caso del periodo se consideró un intervalo de 2 s. Asimismo, se elaboraron

los diagramas de rosas de oleaje para cada estación con la finalidad de asociar la altura de ola con la dirección de arribo.

6.3. Refracción de oleaje

El fenómeno de refracción sucede cuando las olas son distorsionadas por cambios de la profundidad en aguas relativamente someras, este curvamiento de las crestas de las olas es llamado refracción. Si un tren de olas se aproxima a la costa con algún ángulo oblicuo, y los contornos del fondo (isóbatas) son relativamente uniformes, las olas mas cercanas a la costa sentirán fondo primero y tendrán un retardo relativo a las olas en aguas profundas, de modo que la cresta será curvada y tenderán a hacerse paralelas con los contornos del fondo (Fig. 4) (Aldeco, 1986).

La celeridad de propagación de una ola progresiva para un periodo determinado, esta en función de la profundidad relativa d/L . De acuerdo con la teoría lineal del oleaje (Ec. 1) se puede afirmar que la celeridad varia con la profundidad de la zona en donde se propaga, consecuentemente se producirá una variación en la longitud de onda.

$$C = \sqrt{\frac{gL}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L}} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

C = Celeridad

g = Gravedad

d =

Existen dos métodos para el estudio de la refracción: numérico y grafico. Estos métodos de refracción están basados en el principio de la Ley de Snell, el cual establece que donde los contornos del fondo son rectos y paralelos, el seno del ángulo α entre la cresta incidente y el contorno del fondo es proporcional a la velocidad de propagación de la ola C (Ec. 2), así si la profundidad decrece también decrece la celeridad de la onda y por consiguiente su longitud, mientras que el periodo se mantiene constante en todo momento (Macdonel *et al*, 2000).

$$\frac{C}{C_0} = \frac{\text{sen}\alpha}{\text{sen}\alpha_0} \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

C = Celeridad de la ola a la profundidad del segundo contorno.

C₀ = Celeridad de la ola a la profundidad del primer contorno.

α = Ángulo de incidencia de oleaje.

α₀ = Ángulo entre la cresta de la ola en agua profunda y la línea de costa.

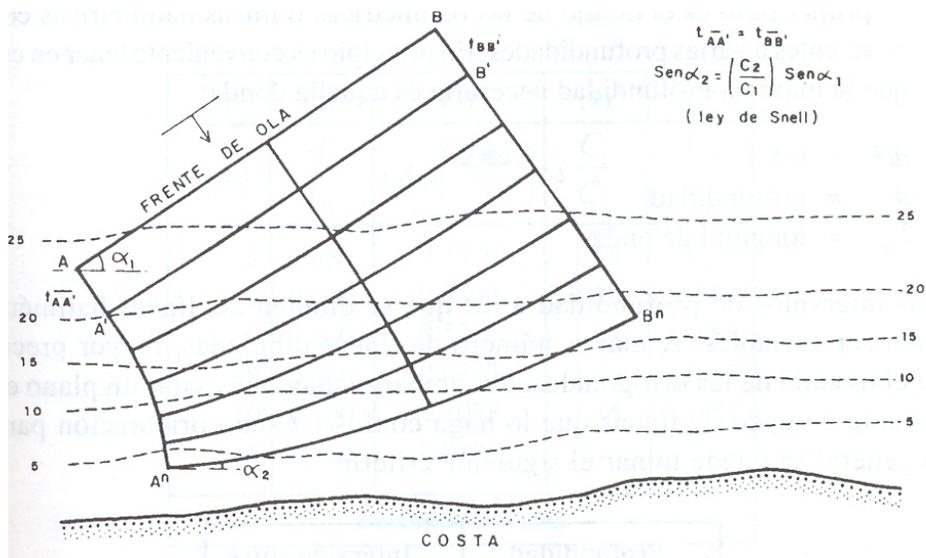


Figura 4. Esquema de definición de refracción de olas. Los frentes de ola de aguas profundas se asumen rectos y paralelos entre si (Macdonel, 2000).

Para la realización del diagrama de refracción se utilizó la carta batimétrica generada así como los parámetros de altura (Hs) y dirección de incidencia (Θ) del oleaje, este análisis se llevo a cabo a partir del programa computacional WAVES el cual maneja los mismos principios que son utilizados por el método 'Gráfico de Refracción por Batimetría o de las Ortogonales' descrita en el **Shore Protección Manual** (USACE, 1984) el cual se explicara mas adelante. Las suposiciones de partida son las siguientes:

- La energía entre los rayos u ortogonales permanece constante (las ortogonales son líneas que se dibujan perpendicularmente a las crestas y se prolongan en al misma dirección de la ola).
- La dirección del avance de la ola es perpendicular a al cresta de la misma.

- La celeridad de una ola en un punto en particular con un periodo determinado, depende únicamente de la profundidad de ese punto.
- Los cambios en la batimetría son graduales.
- La forma de la ola es senoidal, de cresta indefinida, periodo constante, pequeña amplitud y monocromáticas.
- Se desprecian los efectos de corrientes, vientos y reflexiones del oleaje incidente en la costa (Guillen, 1998).

Como parte del método de refracción del Shore Protection Manual (USACE, 1984) es necesario calcular la longitud de onda de la ola (Ec. 3) :

$$L_o = 1.56T^2 \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde:

L_o = Longitud de ola en aguas profundas [m]

T = Periodo [s]

A partir de esta relación es posible conocer la profundidad a la cual la ola empieza a sentir fondo (Ec. 4):

$$d = \frac{L_o}{2} \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde:

d = Profundidad [m]

L_o = Longitud de ola en aguas profundas [m]

Se trazaron sobre la batimetría las ortogonales de aguas profundas a someras y se calcularon los coeficientes de refracción (K_r) a partir de la Ec. 5:

$$K_r = \sqrt{\frac{b_0}{b}} \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde:

b_0 = Distancia entre ortogonales seleccionadas en aguas profundas.

b = Distancia entre ortogonales seleccionadas en aguas someras.

Para calcular el ángulo de incidencia de la ola hacia la costa se usó la ley de Snell (Ec. 2).

Se utilizó el programa WAVES, el cual se basa en la metodología anteriormente descrita, para realizar la refracción con el cual se obtuvo el ángulo de refracción de la ola y la altura de ola, así como las principales características del oleaje a distintas profundidades: la longitud de ola, celeridad, velocidad de grupo, energía y fuerza de la ola; por otra parte nos indicara cuando el oleaje llegue a la zona de rompiente.

Según la USACE (1984) la refracción del oleaje es importante por:

- a) Determina la altura de la ola en cualquier punto con una serie de condiciones de oleaje dadas, esto es, altura, período y dirección de propagación de la ola en aguas profundas.
- b) El cambio de dirección de las ortogonales (líneas perpendiculares a la cresta) de diferentes partes de la ola resultan en convergencia y divergencia de energía, lo cual es importante para el diseño del rompeolas.

6.4. Orientación de la Estructura

La posición de la estructura debe evitar la entrada directa del oleaje y la corriente litoral, para asegurar que las condiciones de energía dentro del área protegida se mantengan estables durante las maniobras que se realicen en el puerto (Frías-Moreno, 1988). Para semicerrar la bahía se propuso una orientación en la cual se contemplaron tanto las características geomorfológicas como la configuración de la línea de costa.

Los criterios utilizados para determinar la orientación de la estructura fueron los siguientes:

1. Condiciones estratigráficas.- Ubicar el desplante de la estructura sobre fondos duros o arenosos, evitando zonas arcillosas. Cuando este tipo de estructuras se desplantan sobre fondos no consolidados y están expuestas a oleaje de rompiente, pueden socavar la base del rompeolas, el cual

provoca hundimiento de elementos que causan la desestabilización de toda la estructura (TM-850-1, 1993 en Rendón, 2006).

2. Puntos de Inflexión. Son aquellas zonas de la estructura en donde existirá un cambio en la orientación. Es recomendable usar diseños con ángulos internos abiertos ($0 > 90^\circ$), estos permiten mayor circulación y mantienen estable la calidad del agua dentro de la dársena (EM 1110-2-1206, 1993 en Rendón, 2006).

6.5. Análisis de Difracción de Oleaje.

La difracción se produce cuando el oleaje incidente se topa con el morro de la estructura y provoca una propagación lateral de la energía, se genera una zona de calma en donde la altura del oleaje y la forma son modificadas (Fig. 5) (USACE, 1984).

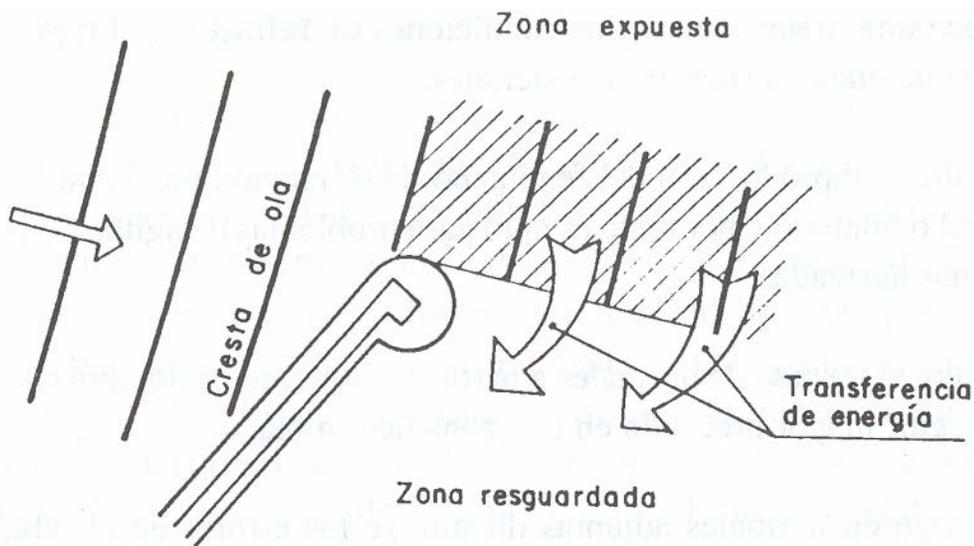


Figura 5. Fenómeno de difracción del Oleaje (Frías – Moreno, 1986).

De acuerdo con la teoría de modificación del oleaje de Iribarren cuando existe un obstáculo al paso del oleaje incidente (Fig. 6) en la dirección BB_3 será causa de expansión lateral de la ola, llamada zona de expansión. Las condiciones de esta expansión son:

- El paso de la ola origina en B una oscilación armónica que se propaga rápidamente.
- Hay una cesión lateral de energía que da lugar a modificaciones en la altura de la ola.
- El fenómeno se produce cuando a la cresta de la ola le falta un cuarto de su longitud para llegar al extremo del obstáculo, es decir cuando esta a $L_{b/2}$ de B, siendo L_B la longitud de ola correspondiente a la profundidad de B.

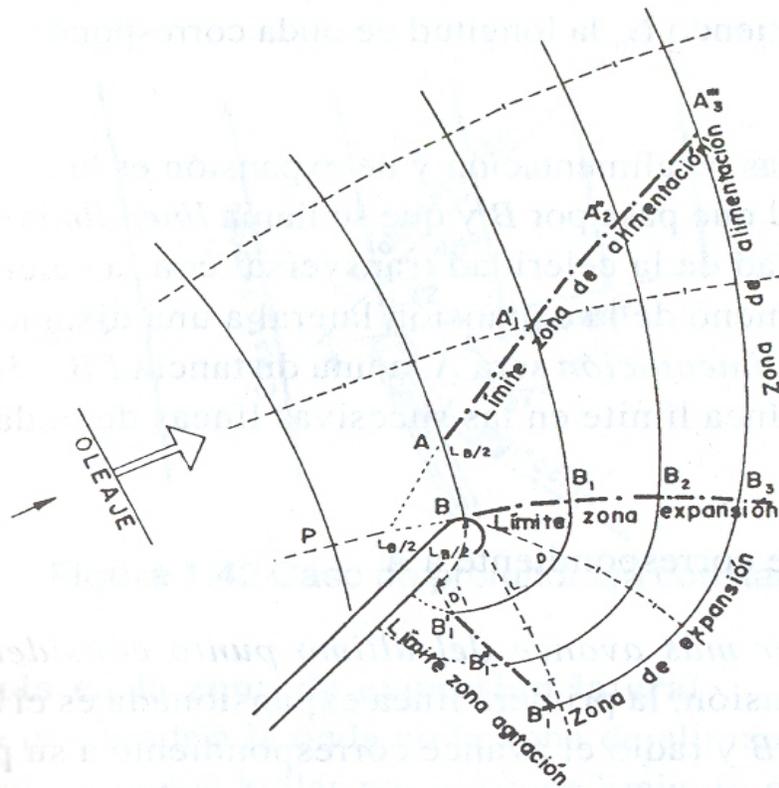


Figura 6. Plano de oleaje difractado (Macdonel, 2000).

Una vez obtenidos los diagramas de refracción y con la información de oleaje, se realizaron los patrones de difracción que producirá la estructura. Este análisis fue realizado por el método de entradas con incidencia de oleaje oblicuo del Shore Protection Manual (1984), mediante el uso del diagrama de Wiegel (1962), los cuales tiene como base el que la profundidad es uniforme en la zona adyacente al obstáculo que produce la difracción, la estructura es impermeable y se muestran líneas con igual reducción de altura de ola, estos diagramas solo sirven para el caso de un solo rompeolas. Los diagramas están contruidos en coordenadas

polares formadas de arcos y rayos centrados en la punta de una estructura, estos arcos están espaciados cada unidad de radio-longitud de ola y separados cada 15°. El diagrama de difracción es seleccionado de acuerdo al ángulo de oleaje incidente respecto a la punta de la estructura.

Con este método se tendrá una mejor idea del comportamiento del oleaje detrás de la estructura, el área protegida. Este análisis se realizó usando el diagrama de difracción de Wiegel con un ángulo de incidencia de 105° (Fig. 7) sobre la estructura; el diagrama debe estar escalado a la longitud de ola correspondiente a la escala de la carta batimétrica. Para determinar la escala del diagrama de difracción es necesario determinar la longitud de ola en la punta de la estructura. La longitud de ola (L) en aguas someras, se encuentra calculando d_s / L_0 y usando el apéndice C tabla C – 1 del Shore Protection Manual, donde encontraremos el valor correspondiente de d_s / L . dividiendo d_s entre el valor de d_s/L tendremos la longitud de ola en aguas someras (Cupul - Ávila, 2003) y a partir de la siguiente relación (Ec. 6) determinaremos la escala con la cual construiremos nuestro diagrama de difracción:

$$n = \frac{L}{S} \quad (\text{Ec. 6})$$

Donde:

n = Escala del diagrama de difracción

L = Longitud de ola en aguas someras

S = Escala de la carta batimétrica

En el diagrama de difracción las coordenadas graficas representan unidades de longitud de onda. La reducción de la altura de ola esta dada en términos de un coeficiente de refracción K' que se define como la relación entre la altura de la ola H en el área afectada por la refracción y la altura de la ola incidente H_i del área no afectada por la refracción (Ec. 7):

$$H = \kappa' H_i \quad (\text{Ec. 7})$$

Donde:

H = altura de ola difractada

k' = coeficiente de difracción

H_i = altura de oleaje incidente

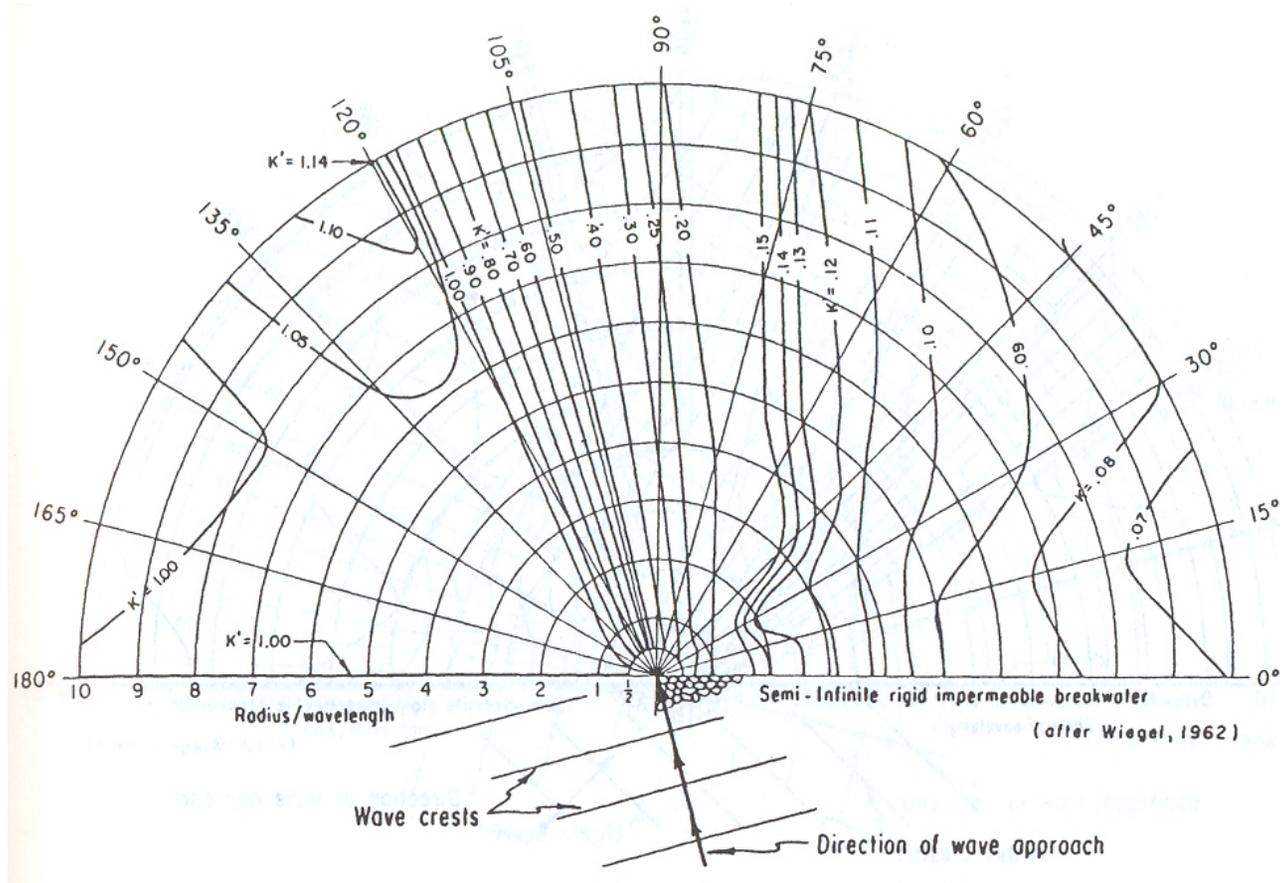


Figura 7. Diagrama de difracción. Ángulo de incidencia 105° (USACE, 1984).

6.6. Altura de la estructura.

La altura de una estructura depende de si se permite el que existe 'overtopping' (salto de la ola) sobre ella. La existencia o no de este overtopping depende del fenómeno de 'run up' y este a su vez depende de la pendiente, porosidad y rugosidad de la capa de coraza.

6.6.1. Talud de la Estructura.

Es recomendable que una estructura presente taludes entre 1:1.5 y 3:1, para mayor estabilidad y facilidad de construcción, los cuales son de menor inclinación y evitan el deslizamiento de elementos en la capa coraza, principalmente en el lado expuesto al mar (Rendón, 2006). El ángulo de talud (α) que debe tener la estructura se determinará a partir de la relación $\tan^{-1}(1/C)$.

6.6.2. Run up (R).

El 'run up' es el movimiento del agua por encima de una estructura, como resultado de la ruptura de una ola; su magnitud se refiere a la altura vertical por encima del nivel medio de bajamar inferior, que alcanza el agua en su desplazamiento (USACE, 1984). El 'run up' depende de varios factores como lo son: la forma o perfil de la estructura, la rugosidad del material de la estructura, características del fondo del mar frente a la estructura y las características del oleaje incidente. Se determinó el valor Run up (R) en estructuras de superficie rugosa y permeables a partir del método del SPM II (USACE, 1984).

Como parte del método se calculó la altura de ola en aguas profundas, para esto se obtuvo el valor de L_0 correspondiente al periodo T escogido; en este caso el periodo fue de 13.5 s, el valor de L_0 se calcula con la ecuación 8.

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} \quad (\text{Ec. 8})$$

Donde :

L_0 = Longitud de onda en aguas profundas [m]

g = gravedad [m/s^2]

T = Periodo

La altura de ola en aguas profundas (H'_o), se encuentra usando el apéndice C tabla C – 1 del Shore Protection Manual y de la relación d_s / L_0 (Ec. 9) donde encontraremos el valor correspondiente de H / H'_o y a partir de esta relación (Ec.10) determinaremos el valor de la altura de ola en aguas profundas:

$$\frac{d_s}{L_0} \quad (\text{Ec. 9})$$

Donde:

d_s = profundidad de diseño en el morro de la estructura [m]

$$\frac{H}{H'_o} \quad (\text{Ec. 10})$$

Donde:

H = Altura de ola en el morro de la estructura.

H'_o = Altura de ola en aguas profundas sin considerar refracción.

Se utilizaron los valores de oleaje en mar profundo obtenidos anteriormente para calcular la relación entre la profundidad de diseño (d_s) en el morro de la estructura y la altura de la ola en aguas profundas sin considerar refracción (H'_o) con el fin de determinar las condiciones frente a la estructura de protección y determinar la gráfica que se utilizara

$$\frac{d_s}{H'_o} \quad (\text{Ec. 8})$$

Donde:

d_s = Profundidad de diseño

H'_o = Altura de ola en aguas profundas sin considerar refracción.

Utilizando la gráfica 7 – 20 del Shore Protection Manual (Fig. 8) para comparar el 'run up' de una ola con respecto a la rugosidad de una estructura permeable de elementos sueltos debido a que nuestra relación $d_s / H'_o > 3$, se obtiene la relación (R / H'_o) la cual define la proporción entre el run up respecto a la altura de ola no refractada en aguas profundas; partiendo de la expresión H'_o / gT^2 . Se despeja el valor de R (valor relativo del run up sobre la estructura).

Con la información del run up del oleaje de verano se determino la altura que tendrá la estructura en el morro con respecto al Nivel de Bajamar Media Inferior.

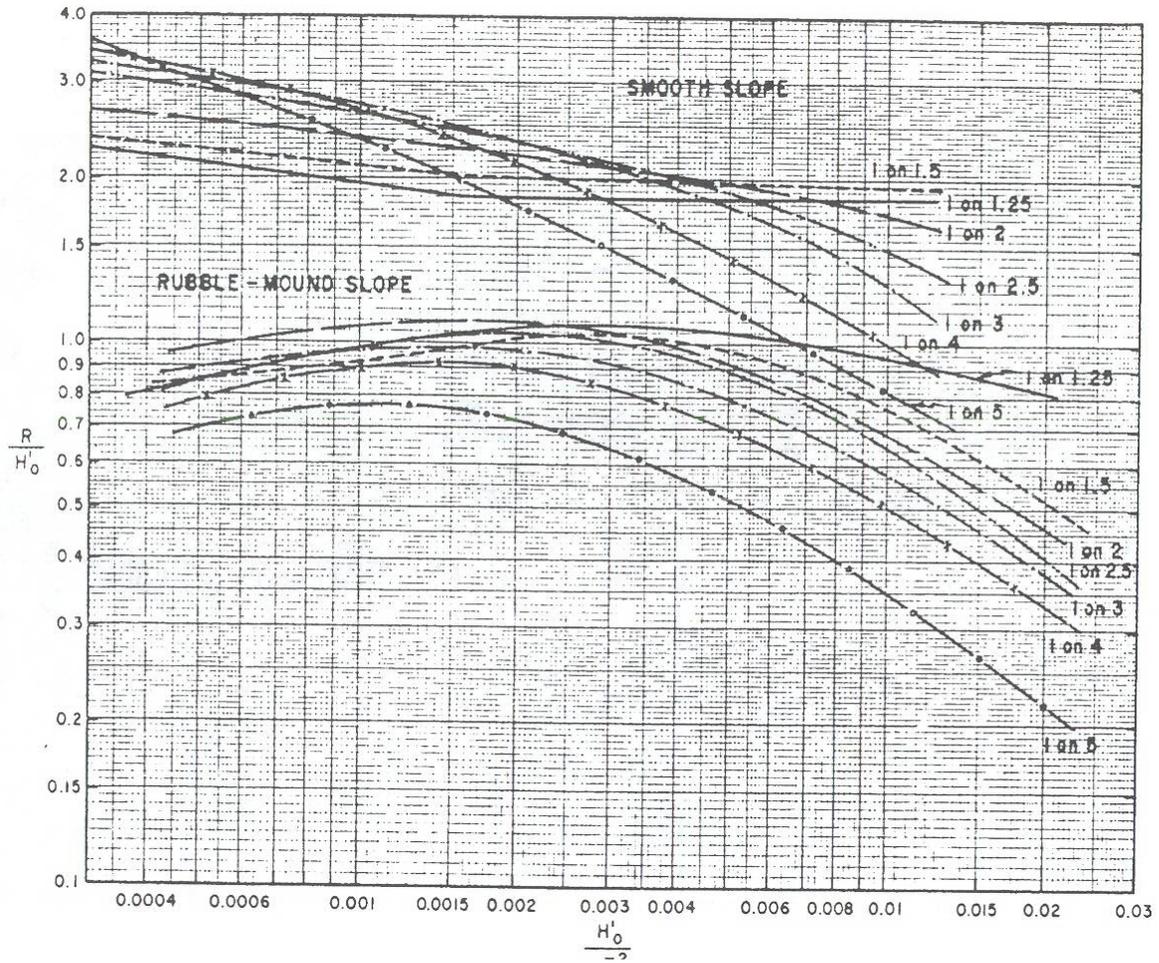


Figura 8. Comparacion entre el run up de oleaje en taludes lisos y taludes rugosos permeables (datos para $d_s / H_0 > 3$).

7. RESULTADOS

7.1. Batimetría

El plano batimétrico, levantado por el departamento de Oceanografía de la Marina Mexicana a escala 1:15000, se encuentra en la Figura 9. En este plano se puede observar a detalle Bahía Colonet que comprende desde Punta Colonet hasta Punta San Telmo, las isobatas se presentan cada metro a partir de la profundidad de 3.0 m hasta llegar a la de 27 m debido a que fue el límite donde se realizaron los transectos.

Es posible observar que el área presenta una pendiente uniforme sin cambios abruptos de profundidad, a partir de la isobata de los 15 m se aprecia como los contornos de profundidad se ven afectados debido a la topografía de la zona. Algo que sobresale en las isobatas de la zona costera, es la ausencia de cambio por la presencia de los arroyos (San Rafael y San Telmo). El cambio se mantiene constante dentro de la bahía, excepto en la zona norte (PC), donde se localizan los cantiles de mayor altura. Se observa que la configuración de la costa presenta una sección en arco la cual inicia en la zona NE de Punta Colonet (PC) y continua aproximadamente 2,000 m en dirección SE hasta la parte sur del arroyo San Rafael, después la línea de costa se extiende aproximadamente 4,000 m en dirección SE formando lo que se conoce como Punta San Telmo (PST).

En la zona de PC se forma una pared submarina la cual crea profundidades que van desde los 15 m en la zona más cercana a la punta y disminuye hasta los 3 m en dirección NE siendo ésta zona la de mayor pendiente; al sur de la zona de PC encontramos la menor pendiente de la bahía entre las isobatas 13 y 23. Frente a PST se localiza una zona con pendiente abrupta ubicada entre los 3 m y 10 m, es importante mencionar que en esta zona es evidente como los contornos de profundidad se ven afectados por la topografía de la zona y debido a esta saliente se produce un cambio en la dirección de la incidencia del tren de olas que llega a la costa. Al W de PST se localizan bajos rocosos desde la isobata 3 hasta la 19 donde se localizó la presencia de grandes mantos de algas, del cual la región suroeste presentó la mayor cobertura de algas dentro de la bahía.

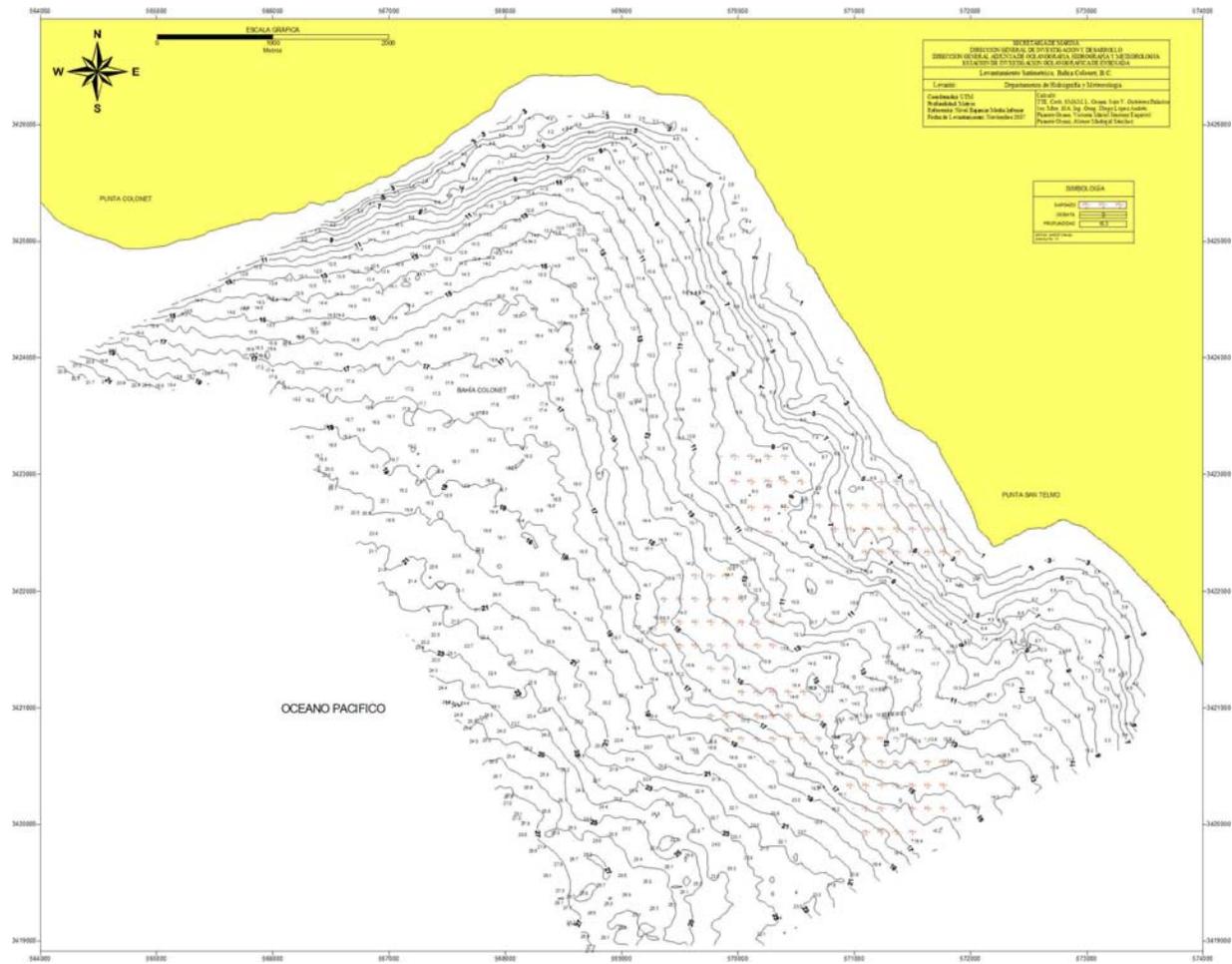


Figura 9. Plano batimétrico del área de estudio, donde la separación entre isobatas es de 1 m.

7.2. Análisis Estadístico

7.2.1. Estadística General

La estadística general de todos los datos de oleaje obtenidos en Bahía Colonet, se presentan en la Tabla IV. En esta Tabla se pretenden resumir los parámetros estadísticos más importantes tales como mínimos, promedio y valores máximos de H_s , T_p y θ , para cada uno de los meses de medición.

Tabla IV. Parámetros estadísticos relevantes de la altura significativa (H_s), periodo pico espectral (T_p) y dirección de las olas registradas durante los meses de medición.

| Mes | Parámetro estadístico | Mínimo | Máximo | Promedio |
|-------------------------------|-----------------------|--------|--------|----------|
| Abril 2007 | H_s [m] | 0.605 | 2.408 | 1.283 |
| | T_p [s] | 12.797 | 22.700 | 4.3 |
| | θ [°] | * | * | * |
| Septiembre 2007 | H_s [m] | 0.63 | 1.23 | 0.937 |
| | T_p [s] | 6.26 | 19.14 | 13.349 |
| | θ [°] | 33.3 | 233.53 | 156.540 |
| Noviembre – Diciembre 2007 | H_s [m] | 0.5 | 3.07 | 0.930 |
| | T_p [s] | 5.4 | 19.88 | 13.648 |
| | θ [°] | 2.66 | 352.84 | 148.662 |
| Marzo - Abril 2008 | H_s [m] | 0.63 | 2.42 | 1.186 |
| | T_p [s] | 6.26 | 21.56 | 13.516 |
| | θ [°] | 0.94 | 352.74 | 127.570 |

Las alturas promedio varían entre 0.93 y 1.3 m durante todo el ciclo de medición. Es importante mencionar que para el mes de Abril 2007 no se obtuvo

datos de dirección de oleaje debido a que el aparato usado para la medición era unidireccional; es en este mes que se obtuvo el valor máximo de Hs promedio en todo el ciclo anual 1.283 m. Es posible distinguir para el mes de Septiembre valores de altura con un promedio de 0.937 m; un valor máximo de ola de 1.23 m con un promedio de periodo del espectro de 13.35 s y una dirección promedio de 156.54°. Para los meses de Noviembre – Diciembre 2007 tenemos un valor de altura promedio de 0.93 m, un valor máximo de 3.07 m en los primeros días del mes de diciembre y le corresponde un periodo de 13.65 s con una dirección de 148.66°. Los últimos datos que corresponden a los meses de Marzo – Abril 2008 observamos una altura promedio de 1.186 m con un periodo de 13.52 s y un valor máximo de altura de 2.42 m con una dirección de 127.57°.

7.2.2. Series de Tiempo

Con la finalidad de visualizar y comparar la variación temporal del oleaje durante todo el período de medición (Abril 2007 – Abril 2008), se graficaron en función del tiempo los parámetros estadísticos que caracterizan al oleaje, la Altura Significante (Hs) y el periodo del pico espectral (Tp) para cada estación medida.

En el mes de Abril 2007 es posible distinguir que existe una relación entre las alturas Hs menores a 1 m con los periodos Tp con valores entre 10 y 15 s (Fig. 10). Durante el mes de Septiembre 2007 se observaron valores máximos de Hs de 1.2 m registrado los días 5, 6 y 14 asociado a un periodo Tp entre 14 y 16 s para los días 5 y 6, mientras que presenta un valor menor de 8s para el día 14 (Fig. 11).

En los meses de Noviembre – Diciembre 2007 los registros de Hs presentan un valor máximo el día 6 de Diciembre con una altura de ~3 m asociada a un Tp entre 16 y 18 s. Por otra parte, se observa que los valores mínimos de Hs registrados en los días 25 y 29 de Noviembre fueron de 0.5 m o menores y se encuentran asociados a periodos Tp entre 12 y 14 s (Fig. 12). En Marzo – Abril 2008 se registro un valor máximo de Hs superior a los 2 m el cual esta asociado a un valor de Tp de 12 s; siguiendo a este se encontraron tres valores de Hs superiores a 1.5 m los cuales se relacionan a un periodo Tp alrededor de los 15 s. En cuanto a las alturas Hs entre 1 y 1.5 m existe un periodo Tp entre los 12 a 18 s (Fig. 13).

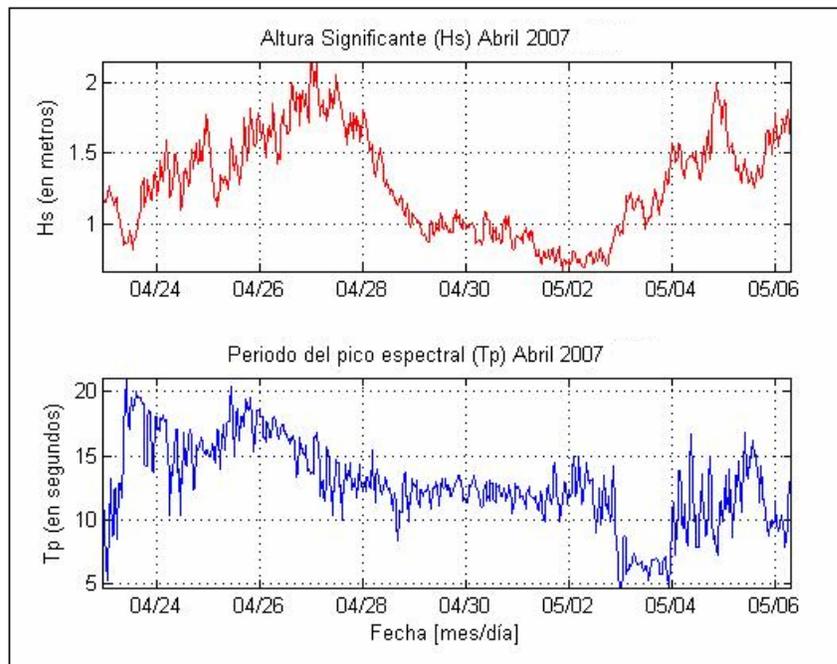


Figura 10. Series de Tiempo de los parámetros de Altura Significante (Hs) y Periodo de Pico Espectral (Tp) para el oleaje correspondiente al mes de Abril 2007.

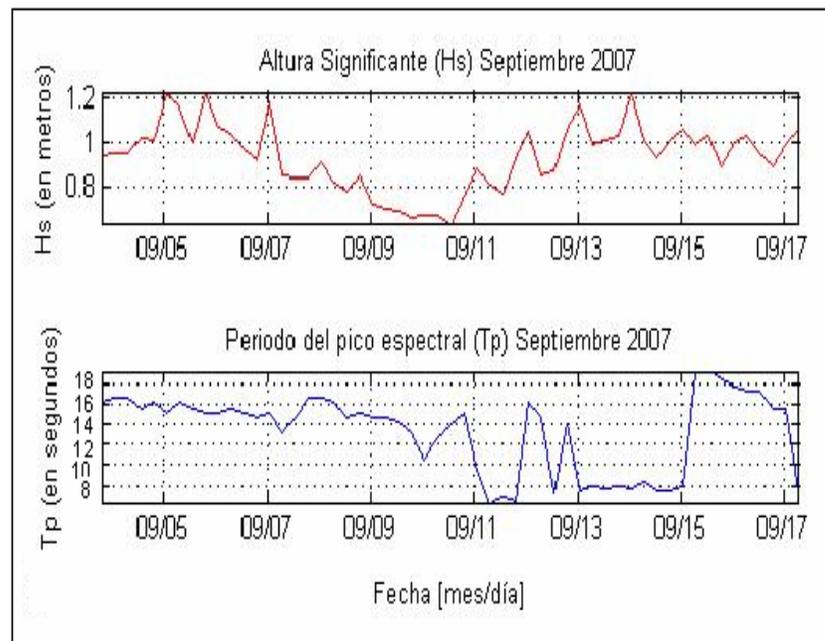


Figura 11. Series de Tiempo de los parámetros de Altura Significante (Hs) y Periodo de Pico Espectral (Tp) para el oleaje correspondiente al mes de Septiembre 2007.

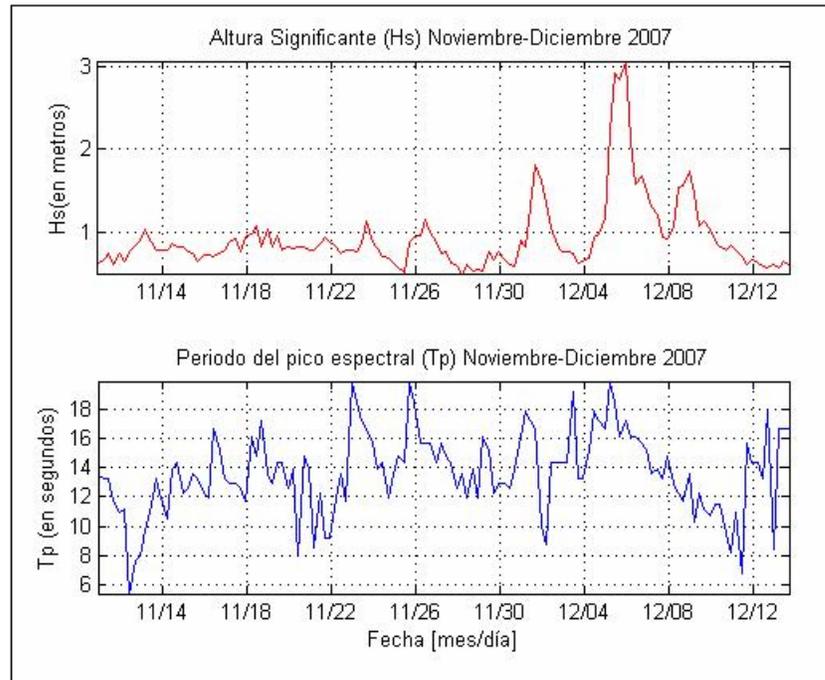


Figura 12. Series de Tiempo de los parámetros de Altura Significante (Hs) y Periodo de Pico Espectral (Tp) para el oleaje correspondiente al mes de Noviembre - Diciembre 2007.

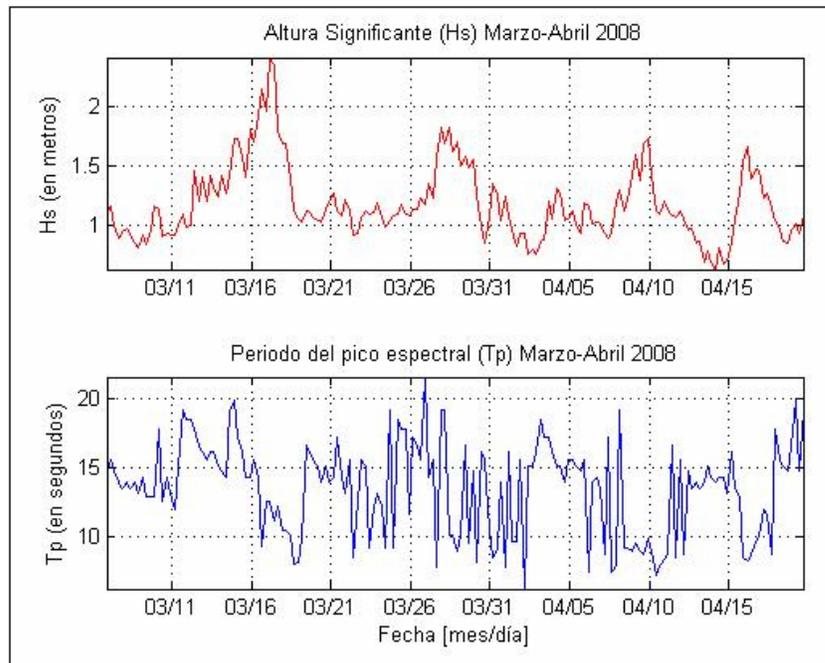


Figura 13. Series de Tiempo de los parámetros de Altura Significante (Hs) y Periodo de Pico Espectral (Tp) para el oleaje correspondiente al mes de Marzo - Abril 2008.

7.2.3. Histogramas de Frecuencia (Hs y Tp)

En los histogramas de frecuencia de altura y periodo distinguimos los porcentajes de ocurrencia de las diferentes alturas significantes (Hs) y periodos de pico espectral del oleaje (Tp), para cada uno de los meses medidos; se obtuvieron 644 datos para el mes de Abril 2007, 56 datos para el mes de Septiembre, 132 datos para Noviembre – Diciembre y 176 datos para los meses de Marzo – Abril. La Figura 14 muestra la información de altura significativa (Hs) para cada uno de los meses muestreados; la gráfica a) se refiere al mes de Abril, la gráfica b) es para el mes de Septiembre, la gráfica c) representa los meses de Noviembre - Diciembre y por ultimo la gráfica d) es para los meses de Marzo – Abril. La Figura 15 muestra los histogramas de Periodo Pico Espectral (Tp) para cada mes de muestreo acomodados en el mismo orden que los histogramas de Hs.

En los histogramas de frecuencia para Hs, observamos que para el mes de Abril (Fig. 14a) la Hs que mas se presento fue entre 0.8 y 1.0 m con aproximadamente 19% del total de los datos, siguiendo la Hs entre 1.4 y 1.6 m con el 18 % de presencia; en el mes de Septiembre de 2007 la Hs que mas se presento fue en el rango de 0.8 - 1.0 m con más con el 45% del total de los datos (Fig. 14b); para los meses de Noviembre - Diciembre de 2007 casi el 45% de las olas registradas presentaron Hs de 0.8 m, siguiendo la Hs de 0.6 m con el 25 % de presencia (Fig. 14c). Por último, el histograma de frecuencia para Marzo - Abril de 2008 mostraron máxima presencia de Hs en el intervalo de 1.0 – 1.2 m con casi el 35% (Fig. 14d).

Por otra parte en los histogramas de frecuencia para Tp, Abril 2007 presento un máximo valor de Tp a los 12 s con el 35 % (Fig. 15a), en el caso Septiembre 2007 el Tp de mayor presencia fue de 16 s con mas del 35%, mientras que encontramos una similitud en los valores registrados para los periodos Tp de 8 y 14 s cada uno se presento con 20 % del total de los datos (Fig. 15b); los datos registrados durante Noviembre – Diciembre 2007 presentaron un valor máximo para un periodo Tp de 14 s con mas del 30 % de los registros (Fig. 15c). Finalmente durante Marzo – Abril 2008 los periodos Tp que más se presentaron fueron de 14 y 16 s con 25% de los datos registrados de oleaje cada uno (Fig. 15d).

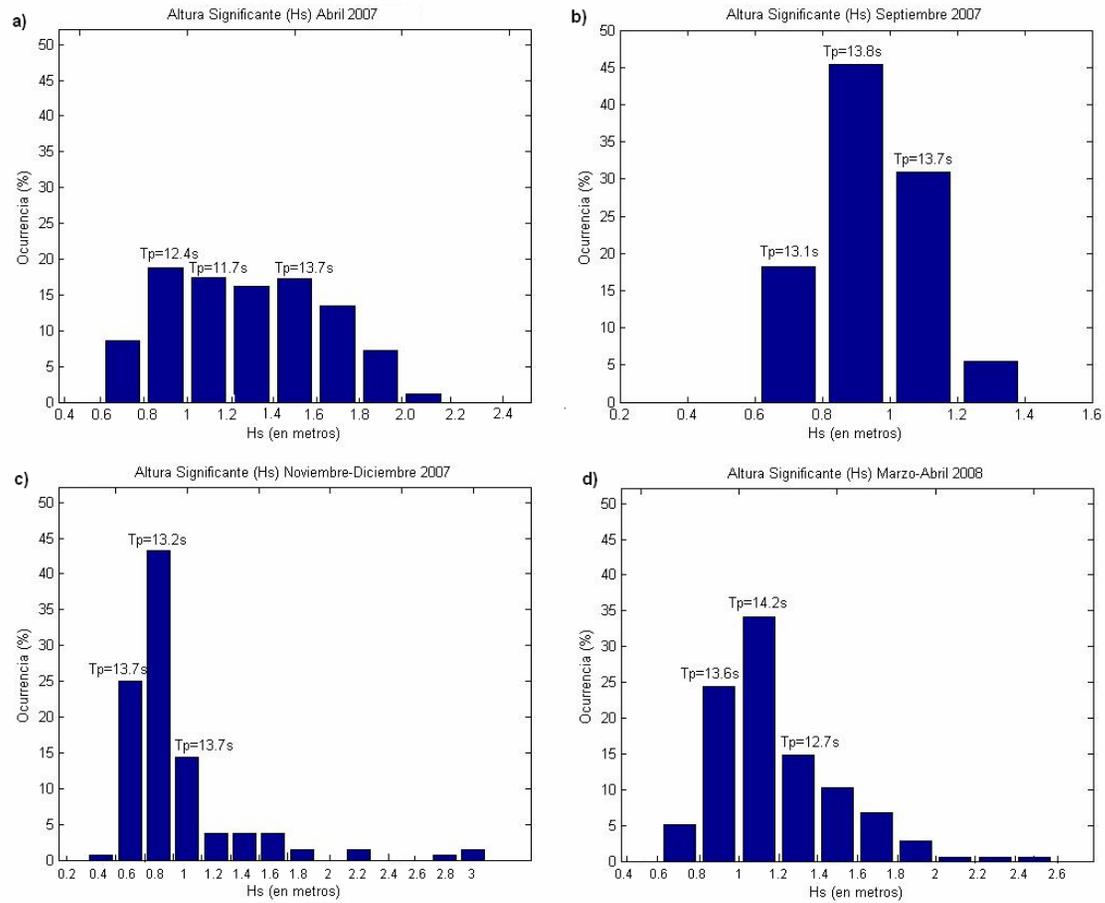


Figura 14. Histograma de frecuencia por porcentaje de ocurrencia para la Altura Significante (Hs). El valor encontrado en la parte superior de las barras corresponde al Periodo Pico Espectral (Tp) asociado a cada Hs. a) Abril 2007, b) Septiembre 2007, c) Noviembre - Diciembre 2007, d) Marzo – Abril 2008.

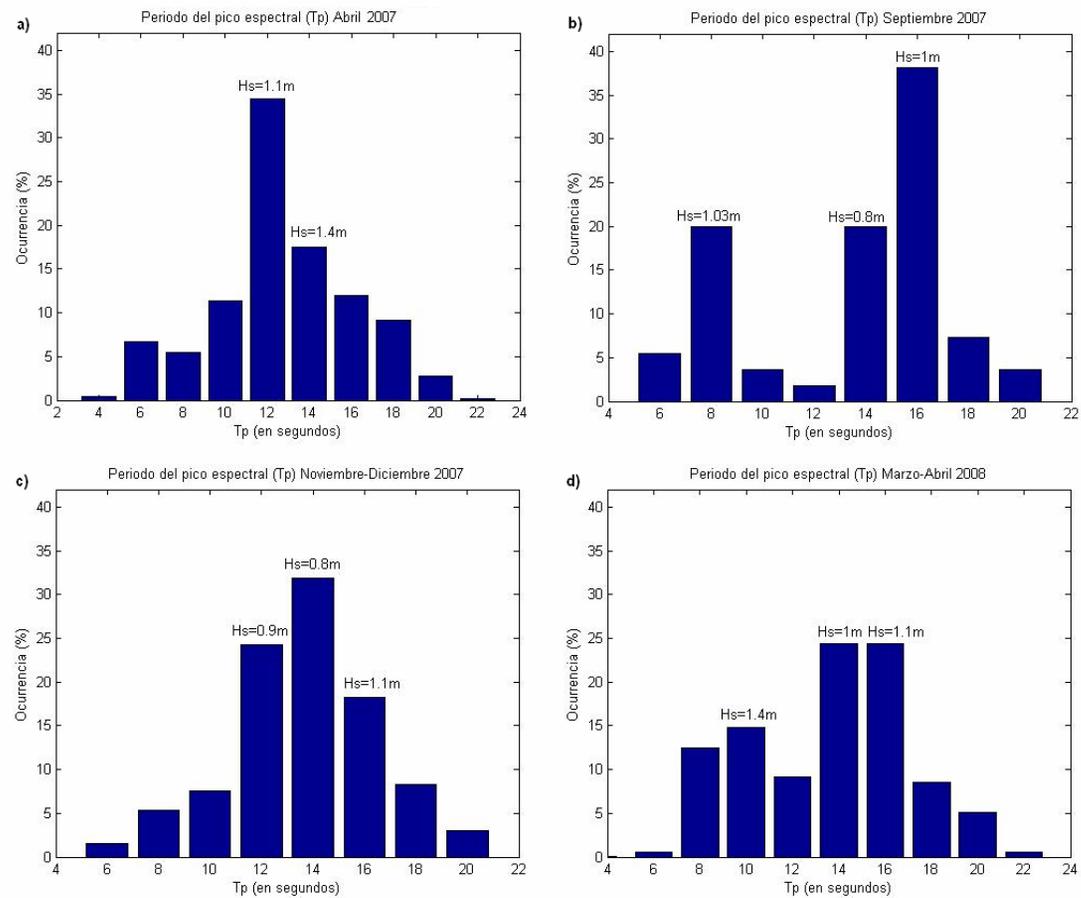


Figura 15. Histograma de frecuencia por porcentaje de ocurrencia para el Periodo Pico Espectral (Tp). El valor encontrado en la parte superior de las barras corresponde a la Altura Significante (Hs) asociado a cada Tp. a) Abril 2007, b) Septiembre 2007, c) Noviembre – Diciembre 2008.

7.2.4. Dirección de Oleaje

Para el análisis estadístico, también se realizaron diagramas de rosas del oleaje para los registros de dirección del S4A con la finalidad de poder visualizar de forma general la dirección de aproximación del oleaje y asociar a cada altura Hs su dirección de arribo para cada uno de los meses estudiados y determinar la dirección de arribo predominante, al agruparse por meses es posible apreciar si hay algún cambio significativo entre cada mes.

Se crearon las gráficas en rosa para el mes de Septiembre 2007 (Fig. 16) y los meses Noviembre – Diciembre 2007 (Fig. 17), se descartaron los registros de dirección de oleaje para los meses Marzo – Abril 2007 debido a incongruencias en las direcciones de arribo. Para septiembre de 2007 el oleaje proviene del SSO con una dirección de 180° - 210° (Fig. 16); en el mes de noviembre de 2007 se tiene una dirección entre los 210° - 240° (Fig. 17), lo cual nos indica un cambio en la dirección la cual ahora predomina al SO.

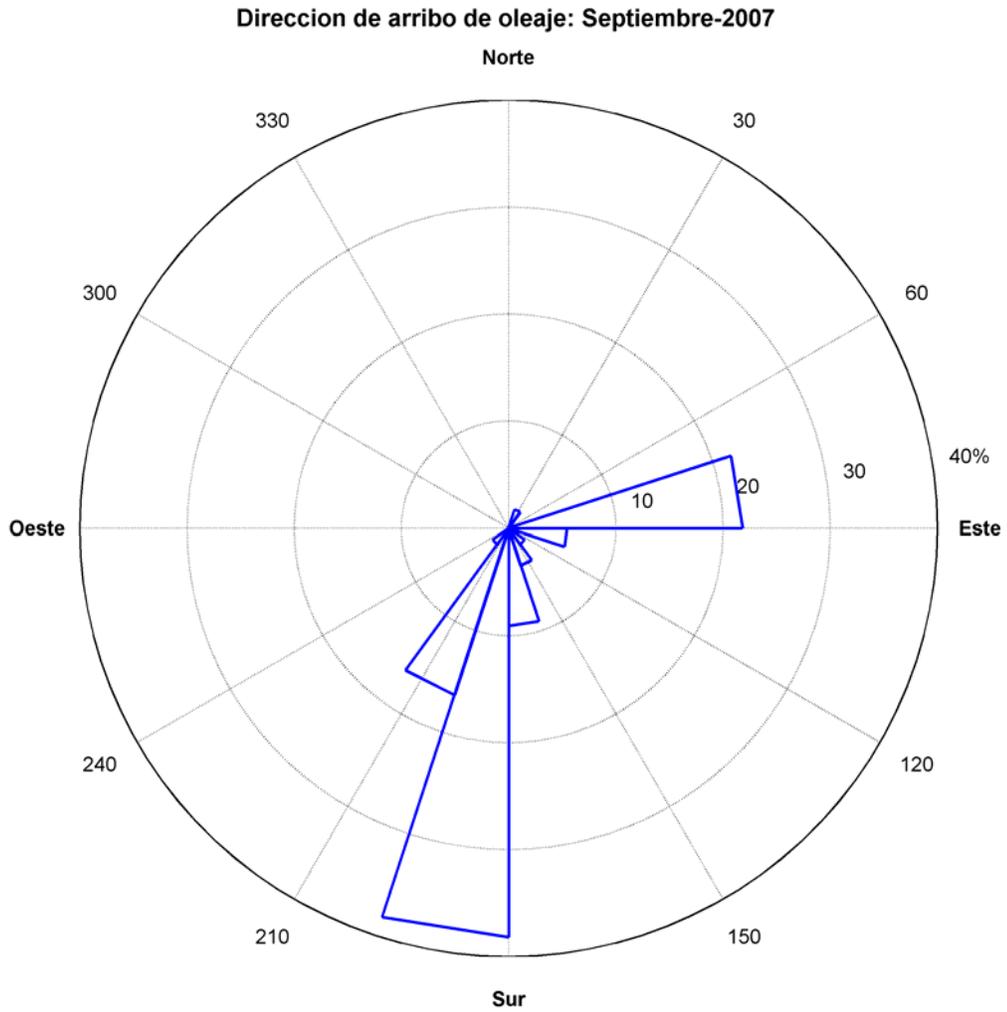


Figura 16. Diagramas de Rosa de oleaje para el mes de Septiembre 2007 que nos indica la predominancia de arribo de oleaje con dirección SOO. El intervalo de clases de los diagramas es de 30°, las barras nos indican las diferentes frecuencias de ocurrencia de Hs presentadas en porcentaje en el interior de las figuras.

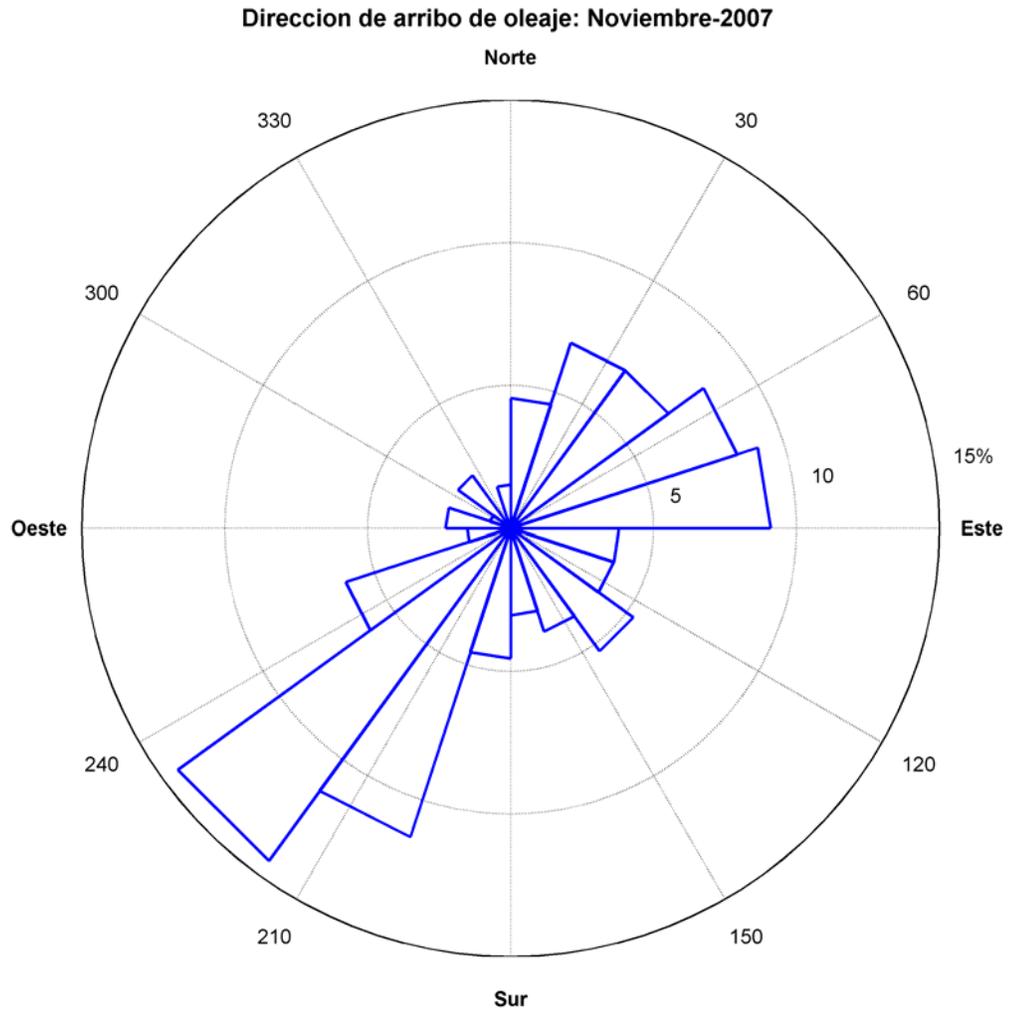


Figura 17. Diagramas de Rosa de oleaje para los meses de Noviembre - Diciembre 2007 que nos indica la predominancia de arribo de oleaje con dirección SOO. El intervalo de clases de los diagramas es de 30°, las barras nos indican las diferentes frecuencias de ocurrencia de Hs presentadas en porcentaje en el interior de las figuras.

7.3. Refracción

El diagrama de refracción se llevó a cabo usando los resultados de estadística general de oleaje anteriormente descrito. Para el oleaje de invierno se considero el valor máximo de altura H_s registrado el cual fue durante Noviembre – Diciembre 2007 de 3.07 m, un periodo de 13.5 s y el un ángulo de aproximación del oleaje se determino de acuerdo a la dirección de arribo mas frecuente la cual fue de 210° . El trazo de las ortogonales fue equidistante con una separación entre ortogonales de 2.2 cm (333 m).

Las ortogonales del oleaje incidente se ven influenciadas por la batimetría, tal y como se muestra en la Figura 18; a partir de las ortogonales generadas se calculó el coeficiente de refracción (K_r) (Tabla V), con lo cual podemos observar en la zona norte una concentración de energía entre las ortogonales 20 – 22 las cuales corresponden al área cercana a Punta Colonet así como en la zona sur entre las ortogonales 1 – 7 las cuales arriban a la saliente de Punta San Telmo. Mientras que en el resto del área de estudio los datos sugieren que la energía del oleaje se disipa entre las ortogonales 7 – 20.

Tabla V. Valores de Coeficiente de Refracción (K_r) obtenidos a partir del software WAVES, con una dirección de arribo de oleaje SSW.

| RAYOS | Kr | RAYOS | Kr |
|--------------|-----------|--------------|-----------|
| 1 – 2 | 1.17 | 11 – 12 | 0.89 |
| 2 – 3 | 1.15 | 12 – 13 | 0.91 |
| 3 – 4 | 1.46 | 13 – 14 | 0.93 |
| 4 – 5 | 1.06 | 14 – 15 | 0.92 |
| 5 – 6 | 1.2 | 15 – 16 | 0.93 |
| 6 – 7 | 1.12 | 16 – 17 | 0.98 |
| 7 – 8 | 0.92 | 17 – 18 | 0.89 |
| 8 – 9 | 0.92 | 18 – 19 | 0.92 |
| 9 – 10 | 0.96 | 19 – 20 | 0.93 |
| 10 - 11 | 0.98 | 20 – 21 | 1.12 |
| | | 21 – 22 | 1.4 |

El software WAVES que se utilizó para llevar a cabo el análisis de refracción permitió generar una base de datos con las características generales del cambio del oleaje al disminuir la profundidad y nos indica la profundidad a la cual rompió la ola (APENDICE B). Las características de oleaje en la zona de rompiente se muestran en la Tabla VI, el oleaje rompe a una profundidad de 5 m con una longitud de onda de 83.35 m y una velocidad de grupo de 5.99 m/s.

Tabla VI. Características del oleaje de rompiente

| PROFUNDIDAD (db) [m] | ALTURA OLA [m] | ANG. CRESTA [°] | LONG. OLA [m] | CELERIDAD [m/s] | VELOC. GRUPO [m/s] |
|-------------------------|-------------------|--------------------|------------------|--------------------|-----------------------|
| 5 | 3.94 | 5.98 | 83.35 | 6.17 | 5.99 |

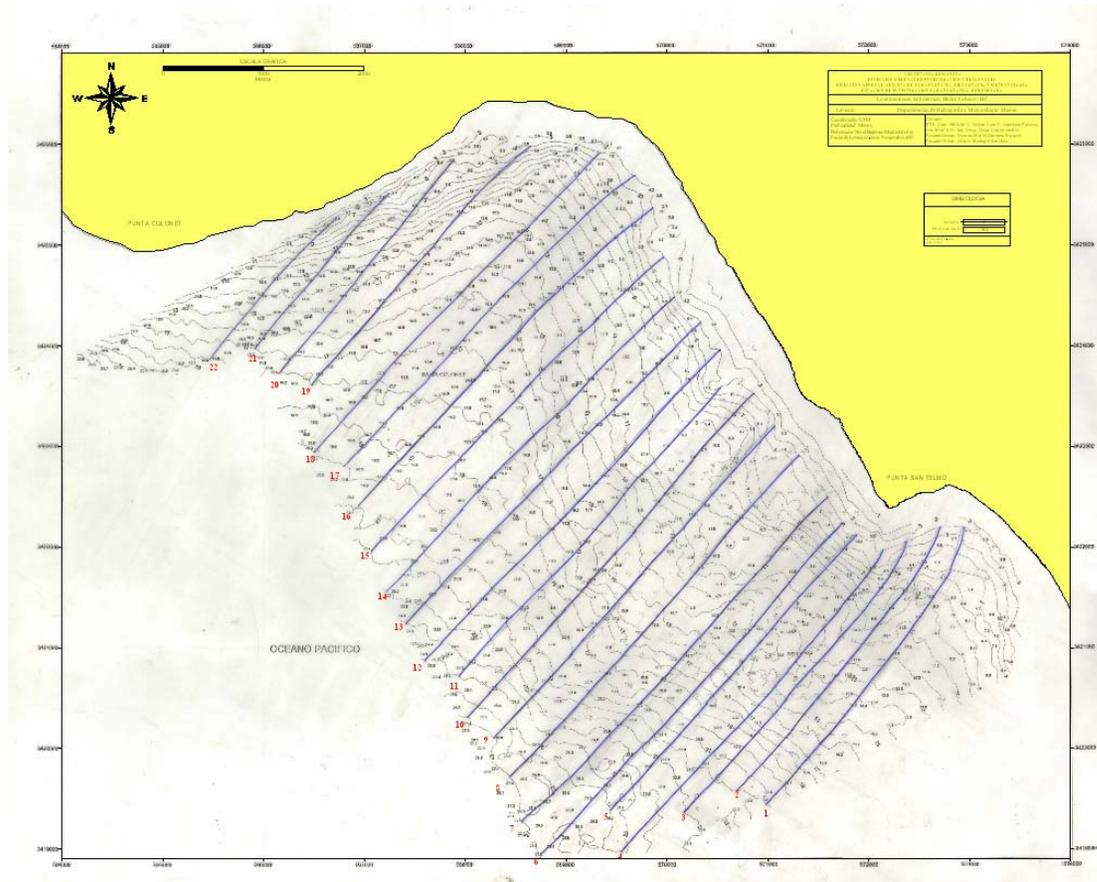


Figura 18. Diagrama de refracción realizado con el programa computacional Waves para una $H = 3.07$ m, $T = 13.5$ s y 210° en donde las líneas azules indican la dirección con la que arriban las ortogonales al área de estudio. El trazo de las ortogonales para ambos casos fue equidistante con una separación entre ortogonales de 4 cm (597 m) con dirección suroeste

7.4. Diseño de la estructura

La estructura propuesta en este trabajo tiene una longitud de 7,380 m y crea un área protegida de 20.133 km², teniendo así un área total muy cercana a la esperada para el complejo portuario que se desea realizar. Para la determinación de la posición de inicio se tomó en cuenta la profundidad ideal del canal para el puerto de altura que se desea construir, mínimo 17 m (Fig. 19).

7.5. Difracción

Se obtuvo la transmisión de la energía hacia el interior del área protegida. El oleaje que arriba al área de estudio tiene un ángulo de aproximación al rompeolas de 103°, a una profundidad de 23 m y con una altura de ola de 2.87 m (Fig. 20).

Se determinó el coeficiente de difracción para evaluar el área de influencia del oleaje difractado teniendo valores mínimos para K' de 0.2 m (Tabla IV). En general, el área protegida presenta una distribución de energía con valores máximos en la punta del rompeolas, los cuales van disminuyendo hacia el interior del cuerpo protegido.

Tabla VII. Altura de oleaje de entrada (H_j), coeficiente de difracciones (K') y valores de altura de ola difractada (H).

| H _j | K' | H | H _j | K' | H |
|----------------|-------|------|----------------|-------|------|
| 2.87 | 0.35 | 1.00 | 2.87 | 0.103 | 0.30 |
| 2.87 | 0.4 | 1.15 | 2.87 | 0.094 | 0.27 |
| 2.87 | 0.44 | 1.26 | 2.87 | 0.09 | 0.26 |
| 2.87 | 0.3 | 0.86 | 2.87 | 0.085 | 0.24 |
| 2.87 | 0.175 | 0.50 | 2.87 | 0.087 | 0.25 |
| 2.87 | 0.15 | 0.43 | 2.87 | 0.07 | 0.20 |
| 2.87 | 0.17 | 0.49 | 2.87 | 0.07 | 0.20 |
| 2.87 | 0.118 | 0.34 | | | |

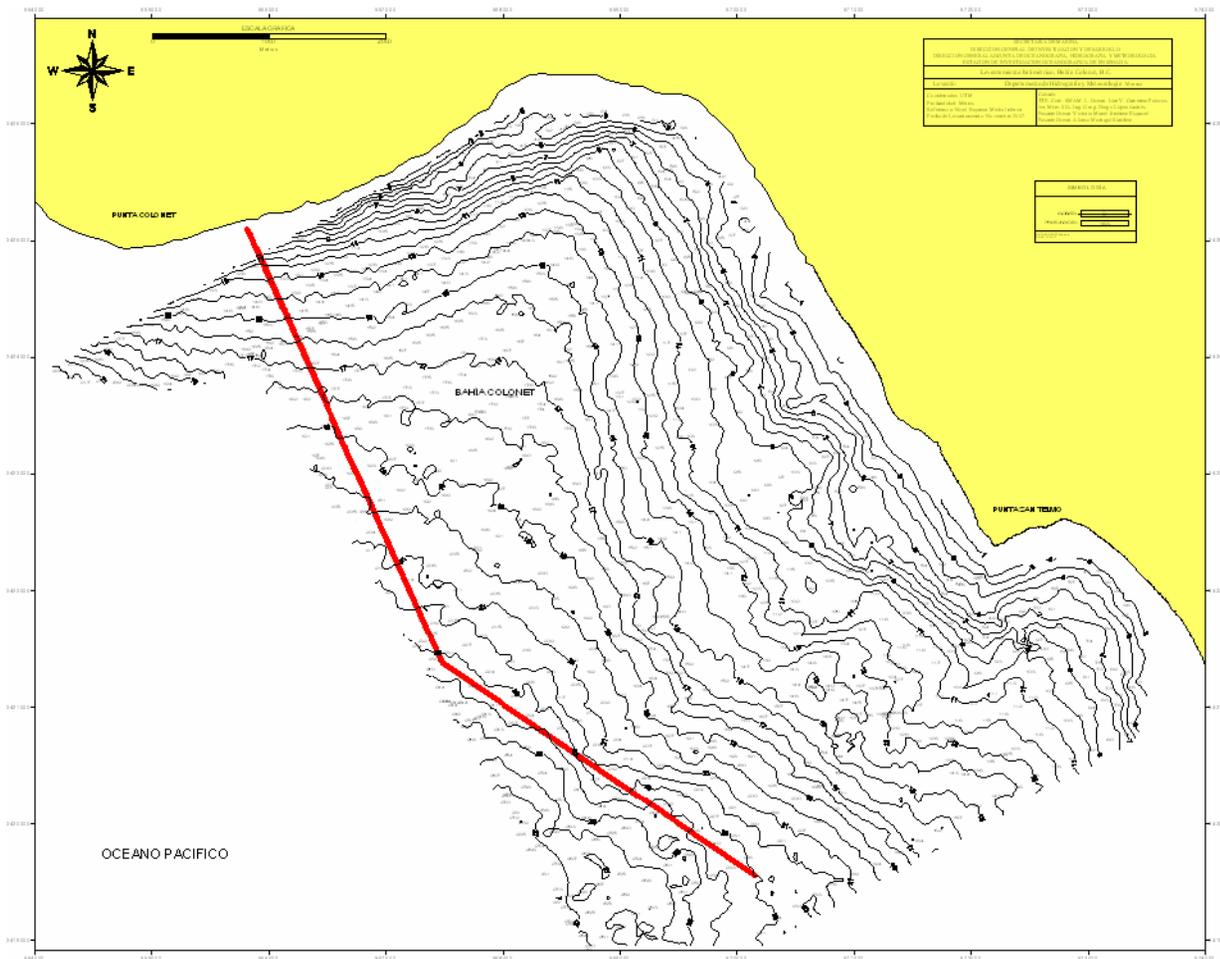


Figura 19. Alineación propuesta para un rompeolas conectado a la costa a una profundidad de 23 m

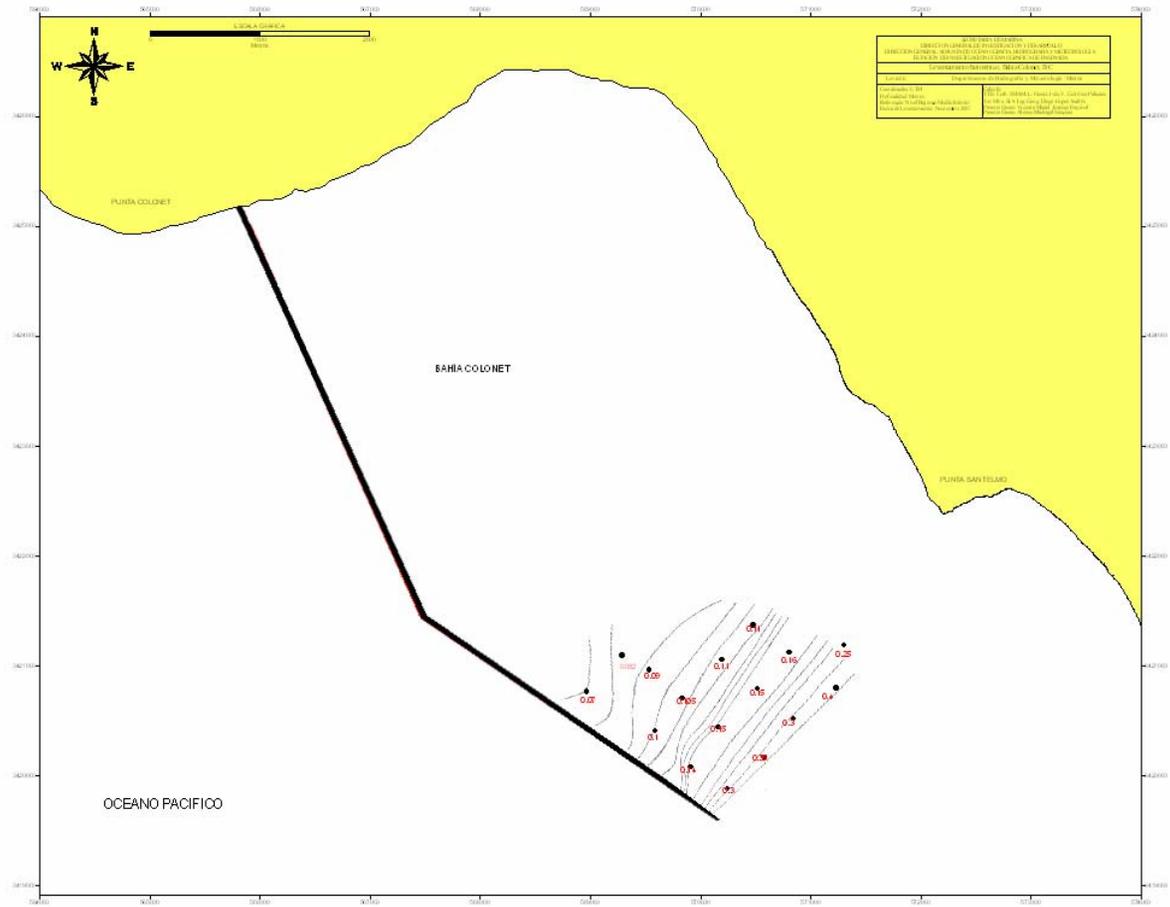


Figura 20. Difracción del oleaje causado por el rompeolas con un ángulo de aproximación de 103° y $H = 2.87$ m.

7.6. Altura de la Estructura

7.6.1. Talud de la Estructura

Las pendientes o taludes en los costados de la estructura generalmente son tan abruptas como sea posible para disminuir la cantidad de material para el núcleo (Rendón, 2006). En el diseño del rompeolas se eligió una pendiente 2:1, ya que pendientes mayores generan deslizamientos y menores aumentan los costos, es por ello que se recomienda esta pendiente (Bermúdez, 1999).

A partir de la ecuación:

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{1}{C}\right)$$

Donde:

C = Pendiente propuesta de la estructura

Se obtuvo el ángulo del talud de la estructura (α) se obtuvo un valor de 26.57°

7.6.2. Run up (R)

A partir de las características de la alineación de la estructura y los factores ambientales de la zona se calculó el valor de Run up del oleaje sobre el lado expuesto del rompeolas (Tabla VIII), este valor se obtuvo considerando una altura de diseño ($H's$) de 3.07 m, un periodo (T) de 13.5 s y una profundidad de diseño (d_s) de 23 m, se calculó un valor de L_o de 284.55 m (Ec. 8), se obtuvo la relación entre la profundidad de diseño y la longitud de ola en aguas profundas (L_o) obteniendo un valor de 0.08083 y basándonos en la Tabla C – 1 de SPM fue posible obtener el valor de la relación H / H'_o de 0.95364. Finalmente se obtiene el valor de H'_o despejando la Ec. 10 el cual fue de 3.22 m.

Con la Fig. 8 se obtuvo un valor para la relación R / H'_o de 0.74, finalmente se despeja la ecuación para calcular el valor de R el cual es de 2.38.

Tabla VIII. Run up del oleaje de diseño sobre el costado expuesto al mar del rompeolas.

| Nivel Hidrográfico | Lo [m] | H'o [m] | H'o/ gT² | R/H'o | R [m] |
|-------------------------------|---------------|----------------|----------------------------|--------------|--------------|
| N.M.M. | 284.55 | 3.22 | 0.0018 | 0.74 | 2.38 |

Finalmente se calculó la altura de la estructura tomando en cuenta ds de 23 m, considerando el valor de Run up y la altura ola obtuvimos un valor 5.45 m y aumentando un 10 % de seguridad para evitar el rebase de la estructura, con lo cual tendremos una altura de 31.3 m aproximadamente, es importante mencionar que la altura de ola que usamos esta referida al nivel de Bajamar Media Inferior.

El valor obtenido para el ángulo del talud de la estructura así como para el run up son las características que debe cumplir la estructura basados en las condiciones de oleaje seleccionado y garantizar que sea eficiente.

La construcción de un rompeolas de roca a esta profundidad elevaría considerablemente los costos debido a la cantidad de material que se necesitaría, por esta razón es recomendable que la construcción sea a base de otro material adecuado para estas condiciones.

8. DISCUSIONES

8.1. Batimetría

De acuerdo con el plano batimétrico (Fig. 9), Bahía Colonet se caracteriza por presentar una plataforma relativamente uniforme por que el cambio de pendiente es muy suave, lo que se ve reflejado en la energía del oleaje la cual es baja en esta zona (Apéndice B), y es una característica óptima para llevar a cabo un desarrollo portuario. De acuerdo a la alineación de la costa, Punta Colonet permite la protección natural de la Bahía y Punta San Telmo permite semicerrar el área protegida por el rompeolas. La forma que tiene la bahía en arco es ideal para la realización del puerto, puesto que la zona norte ofrece una protección natural al área debido a que funciona como una barrera para el oleaje y al mismo tiempo debido a la altura de los cantiles, detiene las corrientes de aire que pudieran llegar a la Bahía, lo que genera condiciones de calma para finalmente hacerse una recta hasta llegar a un quiebre que forma Punta San Telmo, lo cual fue una de las principales características para escoger este sitio para la realización del proyecto.

Uno de los rasgos más sobresalientes que se puede observar en la Bahía, se encuentra en la zona cercana al cantil de Punta Colonet, en donde la profundidad es mayor que en el resto del área, y se observa que los contornos batimétricos son paralelos a la línea de costa hasta los 16 m de profundidad. Por otra parte, determinará la parte final del área potencial para la construcción del complejo y será el pasillo de acceso hacia la zona protegida. Algo que sobresale en las isobatas de la zona costera, es la ausencia de cambio en los contornos batimétricos por la presencia de los arroyos (San Rafael y San Telmo) esto probablemente sea por la periodicidad en temporada de lluvias que prácticamente durante invierno de 2007-2008 fue casi nulo.

8.2. Oleaje

Durante el mes de noviembre (otoño) se registró el valor máximo de altura, a pesar de que en promedio las alturas que se obtuvieron en primavera son ligeramente mayores que las de otoño, esto puede deberse a que en primavera el

oleaje queda con ciertos remanentes de la energía que se presenta durante el invierno, como puede observarse en la Tabla IV.

En febrero los valores de altura máxima, mínima y promedio, son muy similares a los valores del mes de abril; mientras que durante el otoño únicamente aparecen olas de gran altura debido al inminente inicio del invierno. Esta variación estacional en la altura y el periodo del indica que sigue un patrón bien definido, donde Hs aumenta durante el invierno. En esta época alcanza los máximos valores de Hs debido al incremento en las tormentas en el Pacífico nororiental, principalmente durante la temporada noviembre - abril, lo cual genera oleaje de periodo medio y alto (De Dios-Sánchez, 2002).

Cuando se presentan fenómenos meteorológicos como “El Niño”, se incrementan las alturas a lo largo de la costa de Baja California, es más propensa la formación y entrada de tormentas extratropicales sobre las costas de América; estas tormentas extraen su energía del calor existente en un ambiente húmedo, temperaturas del agua de al menos 26.5 °C provocan que la atmosfera sea lo suficientemente inestable como para sostener convección y tormentas. Los centros de baja presión que se generan al sur de Alaska favorece la aparición de tormentas en la región central del Pacífico norte y posteriormente se desplazan sobre las costas de Estados Unidos y el norte de Baja California (González, 1992).

De acuerdo con la NOAA se presentó un evento de El Niño durante 2006 – 2007 el cual comenzó en septiembre de 2006 y finalizó durante enero 2007. Las anomalías en la temperatura de la superficie del mar disminuyeron durante los siguientes meses del año en consecuencia el nivel del mar disminuyo, ya que a medida que la temperatura de las aguas oceánicas aumenta y los mares se hacen menos densos y viceversa. Debido a esto tenemos un valor promedio de Hs mayor durante el mes de abril 2007 que en los siguientes meses muestreados, desde éste mes se desarrolló un evento Niña con temperaturas superficiales en el Océano Pacífico de -2.0°C por debajo del promedio⁴; sin embargo, es importante señalar que el número de datos obtenidos en septiembre es significativamente menor que

⁴ <http://www.ncdc.noaa.gov>

para el resto de los meses muestreados y esto puede afectar los valores extremos y promedio no obteniendo valores confiables de esa época del año.

Una de las características principales de los histogramas de Hs y Tp (Fig. 14 y 15), es su distribución de probabilidad. Puesto que todos los histogramas de Hs describen una distribución de probabilidad teórica del tipo Rayleigh y los histogramas de periodo a una distribución tipo Gaussiana, por lo menos en los meses de Abril 2007 y Noviembre – Diciembre 2007, coincide con lo que predice la teoría lineal del oleaje (Arx, 1976). Para los meses de Septiembre 2007 y Marzo – Abril 2008 el comportamiento de los histogramas de frecuencia para Tp es poco común, debido a que no es posible asociar de manera visual una distribución teórica del oleaje, esto es debido a la combinación del oleaje local (*sea*) con oleaje distante (*swell*), esta incidencia del *swell* hace que el *sea* en ocasiones no se distinga sobresaliendo el oleaje con periodos largos. Esto puede deberse también a que Bahía Colonet es una bahía mucho mas protegida en comparación con otras localidades en la península de Baja California en donde esta situación no es común. De tal manera que se pueden observar periodos de tiempo mucho más largos en los que el viento no es capaz de generar olas que puedan ser fácilmente detectadas por un sensor de presión, lo cual se reflejara como un periodo de calma total.

De acuerdo a los histogramas de Hs, los meses de Marzo – Abril 2008 tienen un valor máximo de frecuencia entre 1 – 1.2 m lo cual coincide con el análisis estadístico aplicado a este trabajo donde se obtuvo un valor de 1.186 m (Fig. 14). Esto nos lleva a pensar que el oleaje dominante en esta zona es producto de las tormentas en el Pacífico Norte, generadas por el cinturón sub-polar de baja presión localizado entre los 60° y 65° de latitud norte, el cual es caracterizado por el flujo zonal (Johnson, 1974 en Gajá, 2004), lo cual genera oleaje de periodo medio y alto (10 – 20 s), con alturas entre 2 – 10 m (Ahumada, 1993). El área de generación del oleaje, el océano Pacífico es la mas extensa de todos los océanos, esto hace que las tormentas tengan un fetch, o área de generación lo suficientemente grande como para generar olas con un amplio espectro de alturas y periodos, dándole a la época de invierno una característica mucha mas variable que al resto de las estaciones del año (De Dios, 2002). Con estos resultados es de esperarse que durante todo el invierno, el oleaje se comporte del mismo modo.

No se conto con datos de oleaje para los meses de verano (junio-agosto), sin embargo el comportamiento del oleaje durante el mes de septiembre tiene remanentes del oleaje de verano. Con base en lo anterior, observamos que el mayor porcentaje de ocurrencia de altura es de 1m en este mes, sin embargo, también hay alturas importantes a considerar que inician desde 0.7 m lo cual nos puede indicar que durante el verano tenemos alturas distintas a el invierno. Este comportamiento típico en el verano se debe a que las tormentas en el hemisferio norte han disminuido en magnitud y frecuencia como resultado de la estabilidad del centro subtropical de alta presión localizado entre los 30° y 35° de latitud norte, el cual esta caracterizado por vientos débiles y cielos despejados (Johnson, 1974 en Gajá, 2004).

Los meses considerados como primavera y otoño (abril y septiembre, respectivamente), son épocas de transición debido a que en otoño los valores de Hs se incrementan, en comparación con los valores de verano, hasta llegar a las alturas máximas en invierno; en sentido inverso, la primavera presenta un decremento en las alturas, que da lugar a los pequeños valores de verano (Martínez y Coria, 1993) con lo que tenemos un ciclo anual típico de oleaje. A finales de primavera las condiciones cambian, es menor la energía del oleaje debido a que el régimen de tormentas se desplaza a las zonas tropicales. Sin embargo, no es posible afirmar que el otoño sea más energético, en términos de Hs, que la primavera, como ocurre en la Bahía de Todos Santos (Martínez y Coria, 1993).

El periodo de mayor frecuencia fue de 15 s, lo que corresponde al oleaje generado en zonas distantes (*swell*) y es el que predomina en la zona del sur de California y la costa oeste de la Península de Baja California (Marichal, 2001). Los valores de Tp obtenidos durante abril y septiembre son ligeramente mayores que los del resto de las estaciones (Tabla IV), esto puede deberse a que es en esa época cuando se presentan los largos periodos asociados al arribo de olas de tormentas del hemisferio sur de acuerdo con (Martínez, 1989).

La dirección de aproximación de oleaje osciló principalmente entre las direcciones SSW y SW durante los meses de septiembre a febrero. De acuerdo con Padilla (1989), la dirección del oleaje en la península durante diciembre y enero proviene en su mayoría del suroeste, esto se puede confirmar con los valores de dirección promedio registrados, sin embargo, es importante considerar que los eventos energéticos importantes en la península están asociados a eventos del noroeste, lo cual se reflejaría en su forzamiento sobre el océano produciendo direcciones surestes de propagación de oleaje (Oropeza, 1998). El comportamiento del oleaje dentro de la Bahía proviene del SO con ángulos de aproximación de 210° a 240° para los meses muestreados, sin embargo es importante mencionar que no se cuenta con datos de invierno, en donde el oleaje se modifica considerablemente en la península de Baja California y existe un cambio en la dirección de arribo hacia el sur como aseveran Cano (2004) y Gajá (2004).

8.3. Refracción

El ángulo de aproximación de oleaje que se utilizó para realizar el análisis de refracción fue el promedio de dirección de oleaje para el mes de noviembre, 32° SW. Se trabajó con los datos de este mes por tener los valores más cercanos a los valores de invierno, lo cual, para fines estructurales es el periodo que más se debe de considerar por el incremento de energía en el oleaje. Los registros de oleaje con los que se trabajó no son de aguas profundas, por lo tanto estos datos ya se encuentran refractados, hay que considerar esto ya que nuestro análisis de refracción considera una altura de ola de 3.07 m en aguas transicionales a someras y no fue calculada su altura equivalente en aguas profundas. Es importante recordar que no se contó con datos del periodo de verano debido a que no hubo muestreos durante ese periodo y estos son necesarios para determinar si existe un cambio en la dirección del oleaje en esta época.

Los estudios de refracción se realizaron por que estos determinan valores importantes sobre las características del oleaje sobre la costa. Es importante mencionar que la refracción tiene una gran influencia en la altura de ola y en la distribución de energía a lo largo de la costa. Con los datos obtenidos a partir del software WAVES fue posible comprobar la relación que existe entre la celeridad de

la ola, la longitud de la ola y la profundidad del agua. Se demuestra que la velocidad de la ola disminuye conforme disminuye la profundidad y a su vez la longitud de onda disminuye proporcionalmente (Cupul - Ávila, 2003) como se observa en las tablas del APENDICE B.

A partir de los resultados del análisis de refracción es posible observar que la barrera que produce Punta Colonet provoca que el oleaje cambie su dirección y disminuya la energía con que incide, el cual llega con cierto ángulo a la costa. La morfología de la costa presenta puntas o salientes, lo que causa la convergencia del oleaje en el área. Este análisis muestra para el área de Punta San Telmo una concentración de ortogonales, lo que nos indica un incremento en la concentración de energía y podemos decir que es una zona de convergencia de acuerdo con los coeficientes de refracción obtenidos (Tabla V) a partir de las ortogonales 1 – 7, así como en la zona de Punta Colonet en las ortogonales 20 - 22 (Fig. 18). En el resto de la bahía hay una zona de divergencia, esto debido a que el ángulo con el que llega el oleaje es prácticamente paralelo a la costa, por lo tanto no hubo gran refracción en esta zona, la baja concentración de las ortogonales en esta área se debe a los rasgos batimétricos que modifican las trayectorias de las ortogonales ya que la morfología de la costa presenta puntas o salientes, ocasionando que la energía del oleaje que llega a la costa sea menor; por otra parte la zona de estudio esta caracterizada por una pendiente suave, de manera que se puede suponer que la energía del oleaje presente para esta zona sea baja, lo que es una característica benéfica y óptima para llevar acabo un desarrollo portuario.

8.4. Orientación de la Estructura

Con respecto al diseño de la estructura se muestra que la configuración de la costa resulta favorable desde el punto de vista técnico para el objetivo del diseño, ya que la configuración de la Bahía y las características del oleaje son adecuadas para la construcción del puerto. Para la orientación y longitud del rompeolas se consideró principalmente el espacio del área que se desea proteger, así como la distribución de la profundidad necesaria para tener un puerto de altura y la dirección del oleaje (Fig. 19). El rompeolas se diseñó con cierto ángulo con respecto a la línea de costa para generar una mayor área, por esta razón no se encuentra

totalmente perpendicular a la costa. El morro del rompeolas estará localizado en la isobata de los 23 m al SW de Punta San Telmo; en lugares con aguas profundas, el volumen de material y los costos puede ser demasiado altos (Rendón, 2006), cabe mencionar que a los 23 m de profundidad la ola en condiciones de invierno no se ha colapsado (Tabla VI) por lo que las olas romperán sobre la estructura. El rompeolas tendrá una longitud de 7.38 km y generara un área protegida de aproximadamente 20.13 km², sin embargo, debido a la falta de datos de profundidad en la parte externa de la bahía, no fue posible posicionar la estructura a una mayor profundidad para obtener el área esperada para el proyecto.

Cualquier estructura de protección colocada frente a la línea de costa y el comportamiento de los factores hidrográficos como oleaje y corrientes, disminuirá el transporte litoral de sedimentos. Las fuentes de abastecimiento de sedimento mas comunes son, el material de las playas adyacentes, el material producido por la erosión del oleaje a la costa expuesta y los materiales sólidos depositados por el acarreo fluvial (Téllez, 2003) y como se mencionó anteriormente, la depositación en las zonas cercanas a los ríos San Rafael y San Telmo no modifica la morfología de la costa y por lo tanto el aporte no es significativo.

8.5. Difracción

Se evaluó el desempeño funcional de la estructura de acuerdo al análisis de difracción (Fig. 20). En el análisis de difracción se obtuvo un valor de altura difractada de 0.2 m a una profundidad de 19 m (Tabla VII), siendo el área protegida muy extensa y es de suponer que en el interior de la zona la altura de ola sea menor a 0.1 m, el cual es el valor óptimo para realizar las maniobras de carga y descarga de contenedores. Con este análisis estamos comprobando que la estructura es eficiente para los fines que se llevarán a cabo en el puerto.

8.6. Altura de la Estructura

Cuando se construyen obras se diseña con la altura significativa ($H_{1/3}$), para tener mayor seguridad en la estructura se utiliza la altura máxima registrada en la

estadística de oleaje la cual fue de 3.07 m; normalmente esta altura no se utiliza debido a que implicaría altos costos de construcción, sin embargo debido a la magnitud del proyecto es necesario garantizar la mayor estabilidad en el rompeolas durante eventos extremos. Para determinar la pendiente de la estructura se emplearon los criterios de Frías (1988) y García – Flores (1988 en Bermúdez, 1999) en donde se recomienda que la sección del rompeolas que recibe el embate del oleaje tenga una pendiente 2:1 por cuestiones de optimización económica y diseño. Con respecto al rebase de la estructura por oleaje esta se diseño para una altura de ola máxima que romperá sobre la estructura de 5.45 m, con lo cual se controla el rebase por el run up del oleaje anual y la estructura tendrá una altura de 31.3 m referida al nivel de Bajamar Media Inferior. Estos cálculos son únicamente para la sección del morro de la estructura, el rompeolas presenta características diferentes a lo largo de la estructura ya que no toda se encuentra situada sobre la isobata de los 23 m. El valor que se obtuvo de altura de la estructura es únicamente una aproximación, sin embargo para llevar a cabo el diseño estructural del rompeolas es necesario tomar en cuenta todos los cambios de profundidad para poder crear una estructura estable.

Es importante señalar que el oleaje no necesariamente se comportará del mismo modo todos los años, es por esta razón que se recomienda contar con una serie de tiempo mucho mas amplia en donde se puedan considerar eventos extremos de tormentas, con estos resultados es posible conocer el patrón estacional de arribo del oleaje para el área de estudio en un ciclo anual.

9. CONCLUSIONES

- La estructura tendrá una longitud de 7.38 km, la cual cumple con la generación de un área protegida con alturas menores de 0.1 m en el área interna para la realización de maniobras de un puerto de altura.
- El rompeolas se localiza a una profundidad de 23 m y la estructura tendrá una altura de 31.3 m aproximadamente en el morro.
- El oleaje en el morro de la estructura tendrá una altura de ola de 2.87 m, un ángulo de incidencia de 103° , una longitud de onda de 185 m.
- La estructura propuesta generará un área de agua protegida de aproximadamente 20.133 km^2 , la cual asemeja al área necesaria para la construcción del Mega puerto.
- El área protegida tendrá las profundidades ideales para un puerto de altura, ya que contará con un canal para navegación de 17 m.
- El oleaje en el área de estudio tiene una dirección SO, con un ángulo promedio de 210° , alturas máximas de 3 m en invierno y una longitud de onda de 284 m.

10. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un estudio similar con datos de oleaje de años anteriores para tener una mejor idea del comportamiento del oleaje en un ciclo mayor y conocer su comportamiento en eventos de tormentas.
- Por razones económicas el diseño del rompeolas no debe hacerse de rocas ya que esto incrementaría el costo de la estructura considerablemente. Existen opciones más viables para profundidades como la que se sugiere en este trabajo, ya sea a base de cajones o celdas de tablestaca metálica.

11. BIBLIOGRAFÍA

- Aldeco, J. (1986) Estudio de refracción del oleaje en la zona de Mazatlán, Sin., y el oleaje máximo generado por el Huracán Olivia (1975). Tesis de Maestría en Ciencias del Mar. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México. Mazatlan, Sin. 160pp.
- Ajas, A. (1984) Análisis de algunas características para la construcción de una marina en el Estero de Punta Banda, B.C. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. UABC. Ensenada, México. 33 pp.
- Ahumada, M. (1993) Corrientes litorales inducidas por oleaje en la Bahía de Todos Santos, B.C. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. UABC. Ensenada, México. 38 pp.
- Arx, V.W. (1976) An introduction to Physical Oceanographic. 3th Ed. Addison Wesley Publishing Company, Massachusetts, U.S.A., 422 pp.
- BANOBRAS (2008) Proyecto Multimodal Bahía Colonet en Baja California. Secretaría de Comunicaciones y Transportes [en línea disponible en http://www.sct.gob.mx/uploads/media/ColonetWWW_02.pdf accesado el 13 de Febrero 2009]
- Bermúdez, R. (1999). Diseño de un rompeolas separado de la costa como alternativa de Protección en la zona de el Sauzal de Rodríguez, B.C. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. UABC. Ensenada, B.C. 61 pp.
- Bravo, L.M. (2009). Caracterización y descripción de los cantiles en Bahía Colonet, Baja California, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. UABC. Ensenada, B.C. 40pp.
- Bruun, P. (1989). *Port Engineering. Vol1 Harbor Planning, Breakwaters and Marine Terminals*. Gulf Publishing Company. 4^{ta} Edición. Houston, Texas. 1461 pp.

- Cano, R. (2004). Análisis Estadístico de Oleaje que arriba a la Bahía de Santa Rosalita, B.C., México abril 2002 – marzo 2003. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. UABC. Ensenada, B.C. 72 pp.
- Cerisola, P. Propuesta Decreto de Punta Colonet. Secretaria de Comercio y Transporte, (n.d.). [en línea disponible en <http://e-mar.sct.gob.mx/fileadmin/biblioteca/propuestadecretopuntacolonet.pdf> accesado el 20 de Marzo 2007]
- Cruz, J.A. (1989) Transporte Litoral durante Inviernos y Verano en la Bahía de Kino, Sonora, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. UABC. Ensenada, B.C. 62pp.
- Cupul, L.A., Ávila, G.E. (2003) Manual de Prácticas de Laboratorio de Proceso Costeros. Área de geología. Facultad de Ciencias Marinas. UABC. Ensenada, B.C.
- De Dios, D. (2002) Climatología de la altura significativa del oleaje frente a la costa Pacífico de Baja California a partir de datos del altímetro a bordo del Satélite ERS-2. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. UABC. Ensenada, B.C. 66 pp.
- De la Rosa, T. (2004) Punta Colonet, mega puerto en la mira. Transporte Siglo XXI. La primer revista de negocios en la industria del transporte. Ed. 5:63 [en línea disponible en <http://www.transportesxxi.com/revista/63/6312txt.htm> accesado el 5 de junio 2007]
- Enríquez, C. (2005). Propuesta de modificación de las obras exteriores y áreas de agua del puerto del Sauzal de Rodríguez, B.C., para recibir embarcaciones de altura. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. UABC. Ensenada, B.C. 61 pp.

- Frías, A. y Moreno, G. (1988) Ingeniería de Costas. Asociación Mexicana de Ingeniería Portuaria, A.C. México. 324 pp.
- Gajá, S. (2004) Estadística de oleaje en dos localidades dentro de la Bahía de Todos Santos, B.C., y su uso para la extrapolación de datos de oleaje de aguas profundas al interior de la Bahía. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. UABC. Ensenada, B.C. 63pp.
- Gastil, R., Phillips, R., Allison, E. (1975) Reconnaissance Geology of the State of Baja California. The Geological Society of America, INC. U.S.A. 154 pp.
- González, A. (1992) Reevaluación de los estudios utilizados para el diseño del Puerto de Ensenada, B.C. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. UABC. Ensenada, B.C. 126 pp.
- González, A. y Azcona A. (2008) Programa Nacional de Desarrollo 2007 – 2030. Coordinación General de Puertos y Marina Mercante. Dirección General de Puertos. Dirección de Desarrollo Portuario. Secretaria de Comunicaciones y Transporte. [en línea disponible en <http://e-mar.sct.gob.mx/fileadmin/PNDP2008/doc/pndp/pndp-sac.pdf> accesado el 17 de Febrero 2009]
- González, J.E. (1985) Transporte Litoral en la barra del Estero de Punta Banda, B.C., para el mes de Abril de 1985. Tesis de Licenciatura. Escuela Superior de Ciencias Marinas. UABC. Ensenada, B.C. 32pp.
- Guillén, J. V. (1998) Estudio de las características oceanográficas frente al rompeolas del Puerto de Ensenada, B.C.; para el diseño de un deflector de oleaje. Tesis de Ingeniería. Escuela de Ingeniería. UABC. Ensenada, B.C. 89 pp.
- Hernández, F. (1983) Puertos. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 543 pp.

- Herrejón, L. (1979). *Estructuras Marítimas*. Editorial Limusa. México, D.F. 119 pp.
- Komar, P. D. (1998). *Beach processes and sedimentation*. 2^{da} edición. Edit. Prentice Hall; New Jersey. 544 pp.
- Macdonel, G., Pindter, J., Herrejón, L., Pizá, J., López, H. (2000) *Ingeniería Marítima y Portuaria*. 1^{ra} edición. Editorial Alfaomega. México, D.F. 629pp.
- Marichal, A.E. (2001) *Análisis estadístico el oleaje medido frente a las costas de Rosarito B.C. de 1994 a 1998*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. UABC. Ensenada, B.C. 70pp.
- Martínez, P. (1981) *Dirección del Transporte Litoral en la Costa Oeste del Estado de Baja California*. Tesis de Licenciatura. Escuela Superior de Ciencias Marinas. UABC. Ensenada, B.C.
- Martínez, A., Nava, C. y Ocampo, F. (1989) *Estadística de oleaje en la Bahía de Todos Santos, B.C., de septiembre de 1986 a agosto de 1987*. *Ciencias Marinas*, 19(2): 203 – 216.
- Martínez, A. y Coria, P. (1993) *Distribución de probabilidad de altura de oleaje dentro de la Bahía de Todos Santos, B.C., México*. *Ciencias Marinas*, 19(2): 203 – 216.
- National Climatic Data Center (2008) *Climate of 2007 El Niño / Southern Oscillation (ENSO)*. NOAA Satellite and Information Service. U.S. Department of Commerce [en línea disponible en <http://www.ncdc.noaa.gov/oa/climate/research/2007/ann/enso-monitoring.html> accesado el 4 de Marzo 2009]
- Oropeza, F. (1998) *Descripción del clima del oleaje para las costas Mexicanas del Océano Pacífico en los Estados de Baja California, Colima, Michoacán y Guerrero*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. UABC. Ensenada, B.C. 219pp.

- Padilla, R. (1989) Potencia y dirección del oleaje en la costa noroeste de la Península de Baja California y su aprovechamiento. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. UABC. Ensenada, B.C. 58pp.
- Ramírez, R. (2006) Pacto de Integridad. Proyecto Bahía Colonet 2006. Secretaria de Comunicaciones y Transportes. [en línea disponible en <http://cgpmm.sct.gob.mx/fileadmin/biblioteca/pdf/informetransparenciamexicanacolonet.pdf> accesado el 17 de agosto 2007]
- Rendón, C.S. (2006) Diseño de un rompeolas para generación de un área recreativa en la costa de Ensenada, B.C., México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. UABC. Ensenada, B.C. 65pp.
- Ruiz, J, Z. Flores, L. Fragoso y J. Cornejo (1999). Estudio experimental para validar la formula de Van Der Meer en el diseño de rompeolas. Ingeniería Hidráulica en México. Vol. XIV, N. 1:43-49 IPN. México.
- Sciortino, J. A. (1996) Construcción y mantenimiento de puertos y desembarcaderos para buques pesqueros. Colección FAO Departamento de Pesca [en línea disponible en www.fao.org/docrep/003/v5270s/v5270s03.htm accesado el 13 de febrero 2009]
- Téllez, G. (2003) Diseño preliminar de un rompeolas sumergido separado de la costa y su impacto potencial frente a los cantiles marinos de punta morro, Ensenada, B.C., México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. UABC. Ensenada, B.C. 72pp.
- Thompson, J., L. D. Ward, W. Domurat, D, Pirie y J. G. Oliver (1995). General design process for coastal projects. Shore & Beach N.63 Vol.1 12-16 pp.
- Torres, G. (1982). Algunas propiedades químicas indicadoras de eventos de surgencias costeras y de la Contracorriente de California en un área cercana

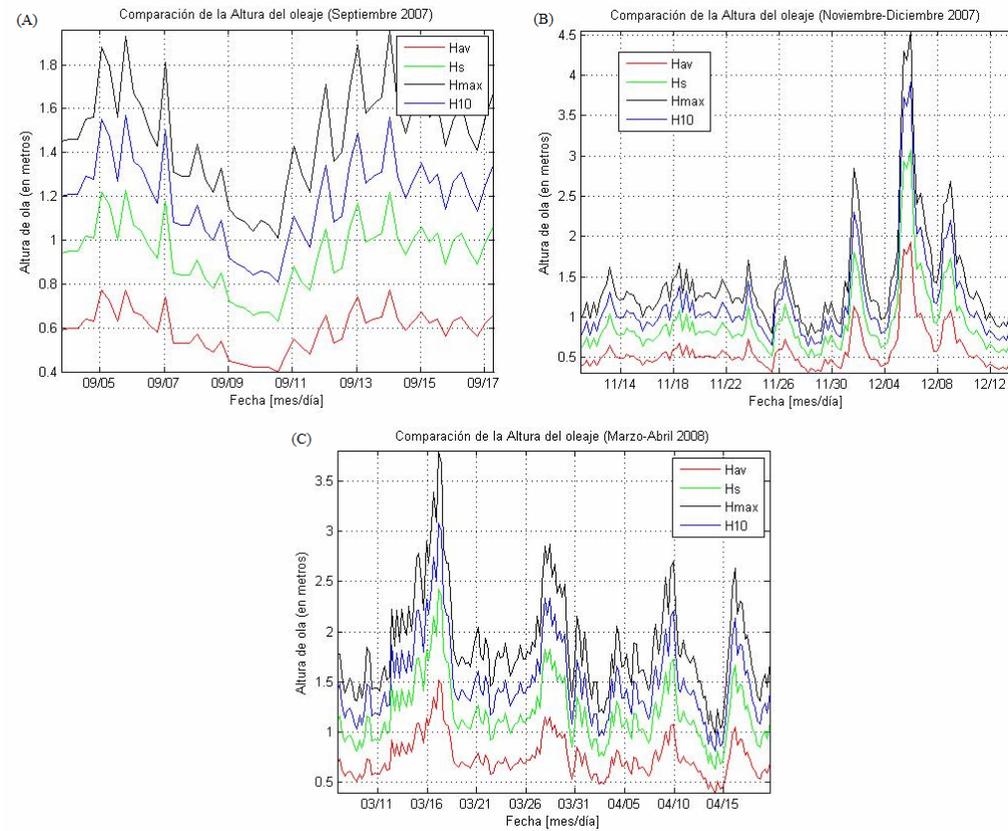
a Punta Colonet, Baja California. Tesis de Licenciatura. Escuela Superior de Ciencias Marinas. UABC. Ensenada, B.C. 73pp.

USACE. (1984). Shore Protection Manual. Vols. 1 and 2. Coastal Engineering Research Center; U.S. Army Corps of Engineers; Washington, D.C.; 633pp.

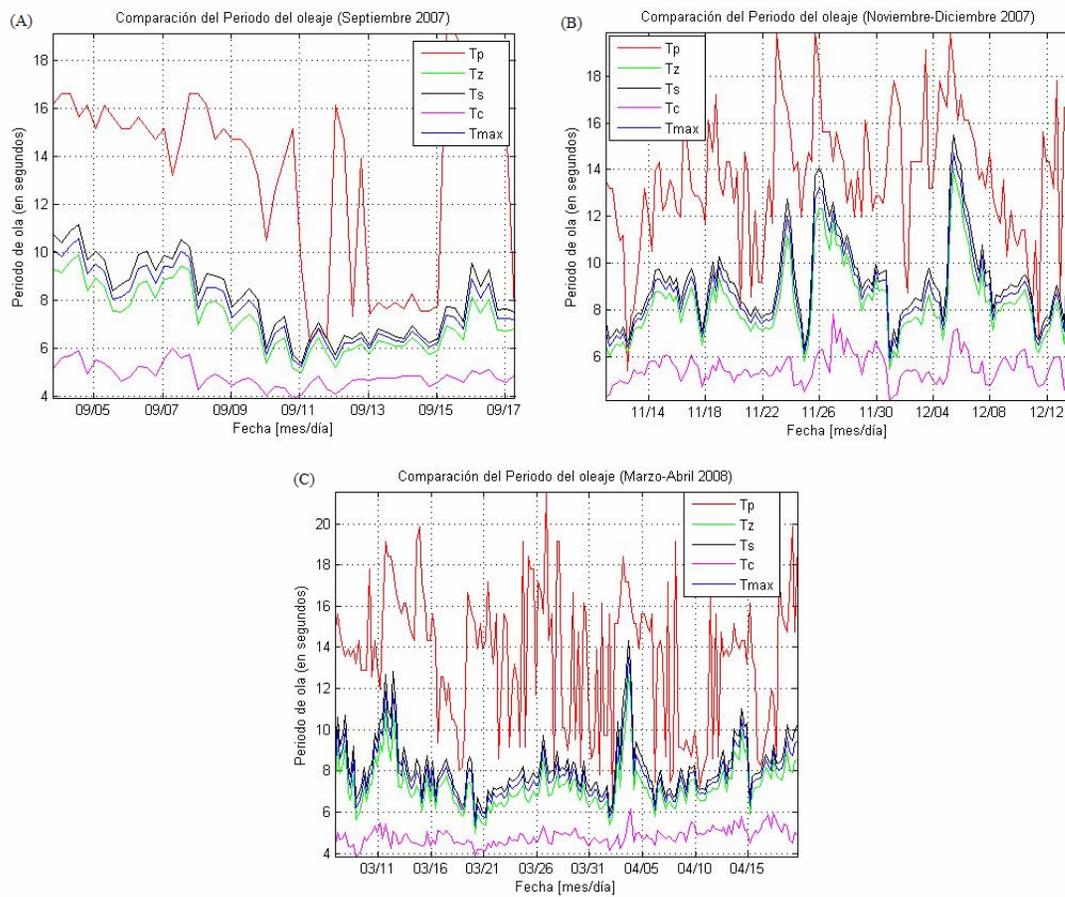
Wales, J. y Sanger L. (2007). Bahía Colonet. Wikipedia Enciclopedia. [en línea disponible en http://es.wikipedia.org/wiki/Bah%C3%ADa_Colonet accesado el 20 de marzo de 2007]

APÉNDICE A: Oleaje

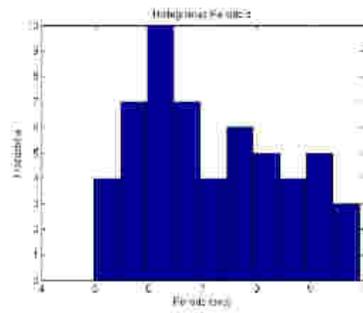
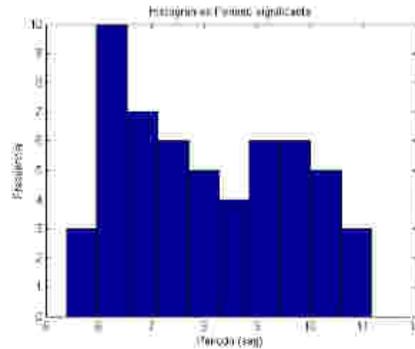
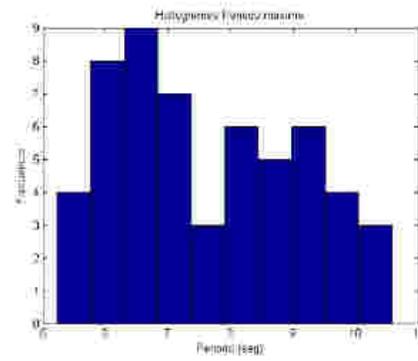
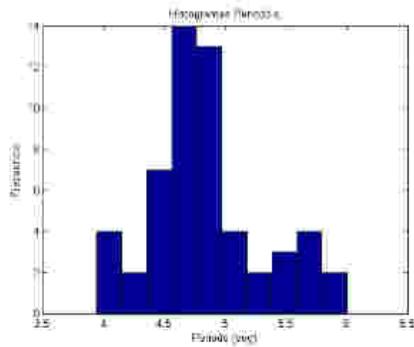
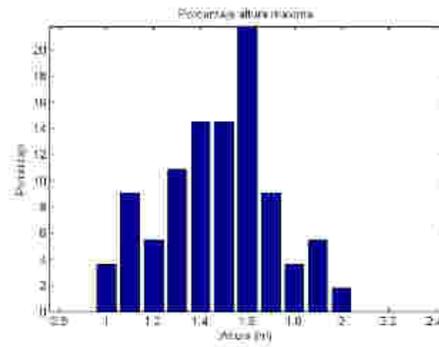
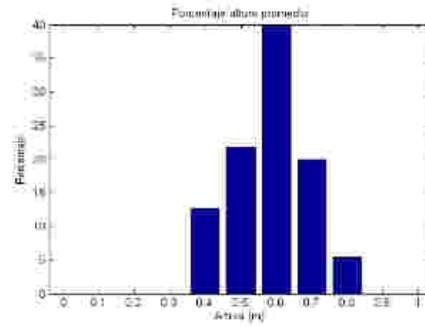
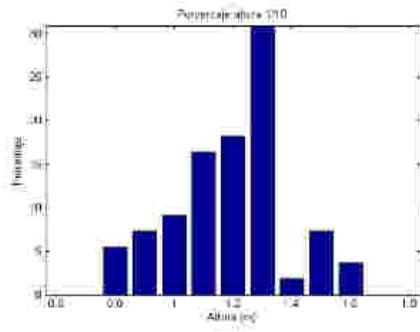
Estadística de Oleaje. Comparación de Alturas



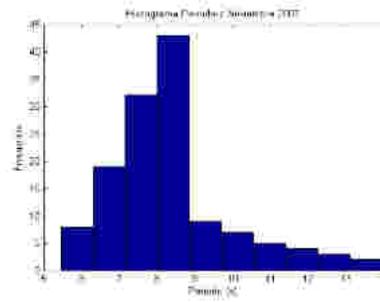
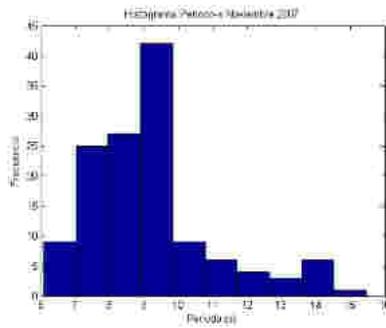
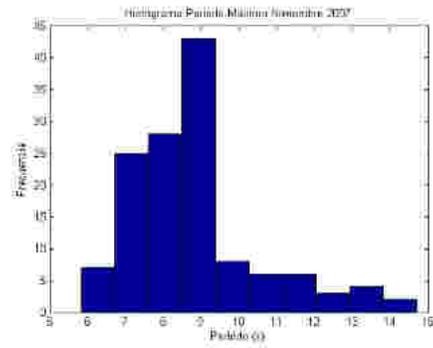
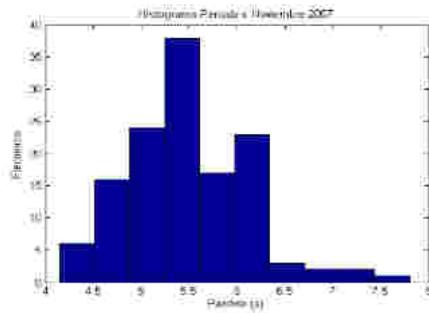
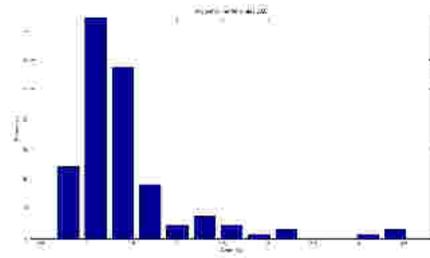
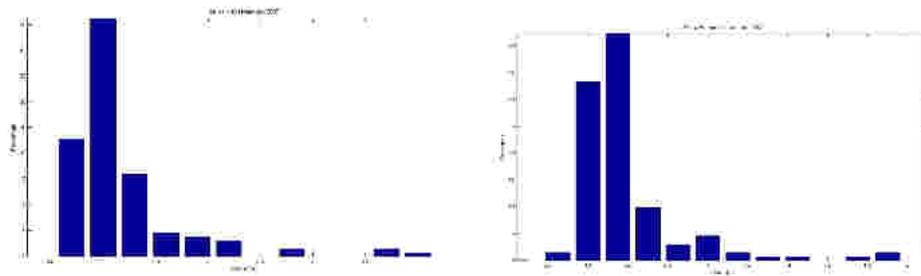
Estadística de Oleaje. Comparación de Periodos



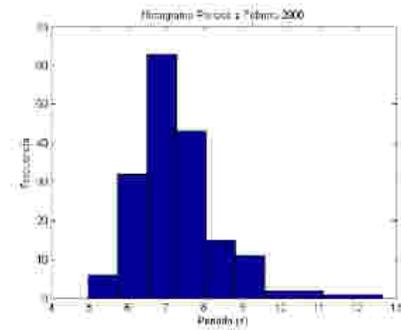
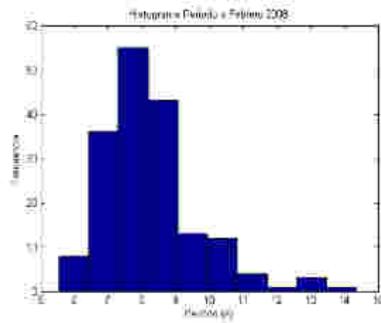
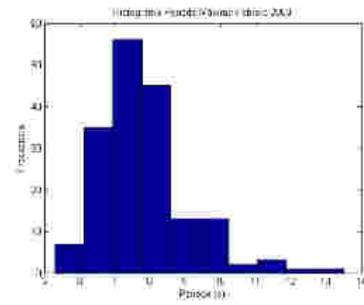
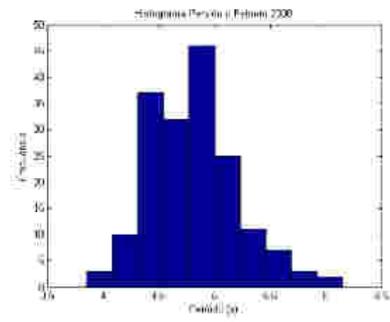
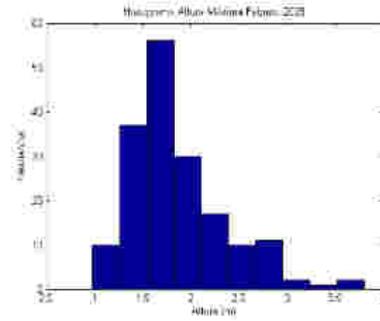
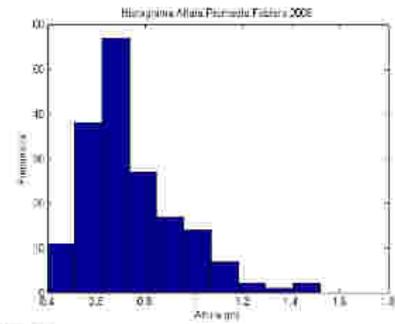
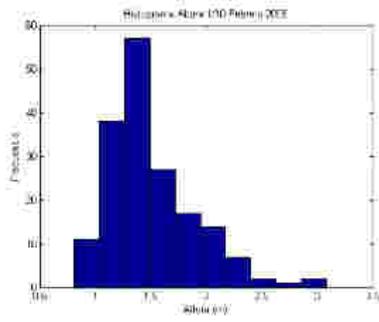
Histogramas Septiembre 2007



Histograma Noviembre – Diciembre 2007



Histograma Marzo – Abril 2007



APÉNDICE B: Refracción

| RAYO 1 | | | | | | | | | |
|----------|---------------|------------|------------|-------------|-----------|-----------|--------------|-------------------|------------|
| ISOBATA | DIST. ISOBATA | COTANGENTE | ALTURA OLA | ANG. CRESTA | LONG. OLA | CELERIDAD | VELOC. GRUPO | ENERGIA | FUERZA OLA |
| | m | | m | grados | m | m/s | m/s | Nm/m ² | Nm/m |
| 200 | | | 3.07 | 21 | 287.08 | 21.17 | 10.59 | 1207.57 | 12788.17 |
| 200 - 21 | | 270 | 2.9 | 12.97 | 179.65 | 13.25 | 11.36 | 1077.53 | 12240.74 |
| 21 - 20 | 270 | 270 | 2.92 | 12.7048 | 176.02 | 12.98 | 11.21 | 1092.45 | 12246.36 |
| 20 - 19 | 120 | 120 | 2.94 | 12.43 | 171.24 | 12.7 | 11.05 | 1107.46 | 12237.43 |
| 19 - 18 | 105 | 105 | 2.96 | 12.14 | 168.31 | 12.41 | 10.87 | 1122.58 | 12202.44 |
| 18 - 17 | 135 | 135 | 2.98 | 11.84 | 164.21 | 12.11 | 10.69 | 1137.8 | 12163.08 |
| 17 - 16 | 195 | 195 | 3.01 | 11.79 | 159.93 | 11.79 | 10.48 | 1160.83 | 12165.5 |
| 16 - 15 | 285 | 285 | 3.04 | 11.45 | 155.45 | 11.46 | 10.26 | 1184.08 | 12148.66 |
| 15 - 14 | 300 | 300 | 3.07 | 11.11 | 150.77 | 11.12 | 10.03 | 1207.57 | 12111.93 |
| 14 - 13 | 210 | 210 | 3.11 | 10.74 | 145.84 | 10.76 | 9.78 | 1239.24 | 12119.77 |
| 13 - 012 | 330 | 330 | 3.15 | 10.35 | 140.66 | 10.37 | 9.5 | 1271.32 | 12077.54 |
| 12 - 011 | 240 | 240 | 3.2 | 9.96 | 135.19 | 9.97 | 9.2 | 1312 | 12070.4 |
| 11 - 010 | 345 | 345 | 3.26 | 9.53 | 129.39 | 9.54 | 8.87 | 1361.66 | 12077.92 |
| 010 - 9 | 195 | 195 | 3.32 | 9.07 | 123.22 | 9.09 | 8.51 | 1412.25 | 12018.25 |
| 9 8 | 142.5 | 142.5 | 3.4 | 8.58 | 116.61 | 8.6 | 8.11 | 1481.13 | 12011.96 |
| 8 7 | 135 | 135 | 3.5 | 8.04 | 109.49 | 8.07 | 7.67 | 1569.53 | 12038.3 |
| 7 6 | 127.5 | 127.5 | 3.61 | 7.47 | 101.75 | 7.5 | 7.18 | 1669.74 | 11988.73 |
| 6 5 | 112.5 | 112.5 | 3.76 | 6.85 | 93.23 | 6.88 | 6.63 | 1811.38 | 12009.45 |
| 5 4 | 112.5 | 112.5 | 3.95 | 6.14 | 83.7 | 6.17 | 5.99 | 1999.07 | 11974.43 |

| RAYO 2 | | | | | | | | | |
|---------|---------------|------------|------------|-------------|-----------|-----------|--------------|-------------------|------------|
| ISOBATA | DIST. ISOBATA | COTANGENTE | ALTURA OLA | ANG. CRESTA | LONG. OLA | CELERIDAD | VELOC. GRUPO | ENERGIA | FUERZA OLA |
| | m | | m | grados | m | m/s | m/s | Nm/m ² | Nm/m |
| 200 | | | 3.07 | 21 | 287.08 | 21.17 | 10.59 | 1207.57 | 12788.17 |
| 200 22 | 195 | 195 | 2.88 | 13.28 | 182.2 | 13.5 | 11.47 | 1062.72 | 12189.4 |
| 22 21 | 195 | 195 | 2.9 | 13.02 | 178.73 | 13.24 | 11.33 | 1948.78 | 22079.68 |
| 21 20 | 180 | 180 | 2.92 | 12.75 | 175.12 | 12.97 | 11.18 | 1092.48 | 12213.59 |
| 20 19 | 135 | 135 | 2.94 | 12.46 | 171.36 | 12.69 | 11.02 | 1107.46 | 12204.21 |
| 19 18 | 105 | 105 | 2.96 | 12.11 | 167.46 | 12.4 | 10.85 | 1122.58 | 12179.99 |
| 18 17 | 97.5 | 97.5 | 2.98 | 11.81 | 163.39 | 12.1 | 10.67 | 1137.8 | 12140.33 |
| 17 16 | 97.5 | 97.5 | 3.01 | 11.5 | 159.13 | 11.79 | 10.47 | 1160.83 | 12153.89 |
| 16 15 | 202.5 | 202.5 | 3.04 | 11.17 | 154.69 | 11.46 | 10.25 | 1184.08 | 12136.82 |
| 15 14 | 225 | 225 | 3.07 | 10.82 | 150.03 | 11.11 | 10.02 | 1207.57 | 12099.85 |
| 14 13 | 240 | 240 | 3.11 | 10.47 | 145.13 | 10.75 | 9.76 | 1239.24 | 12094.98 |
| 13 12 | 202.5 | 202.5 | 3.15 | 10.1 | 139.98 | 10.37 | 9.49 | 1271.32 | 12064.83 |
| 12 11 | 240 | 240 | 3.2 | 9.69 | 134.54 | 9.97 | 9.19 | 1312 | 12057.28 |
| 11 10 | 255 | 255 | 3.26 | 9.27 | 128.78 | 9.54 | 8.86 | 1361.66 | 12064.31 |
| 10 9 | 435 | 435 | 3.32 | 8.82 | 122.64 | 9.08 | 8.5 | 1412.25 | 12004.13 |
| 9 8 | 45 | 45 | 3.4 | 8.34 | 116.06 | 8.6 | 8.11 | 1481.13 | 12011.96 |
| 8 7 | 277.5 | 277.5 | 3.5 | 7.83 | 108.98 | 8.07 | 7.66 | 1569.53 | 12022.6 |
| 7 6 | 120 | 120 | 3.61 | 7.27 | 101.28 | 7.5 | 7.17 | 1669.74 | 11972.04 |
| 6 5 | 270 | 270 | 3.76 | 6.75 | 92.81 | 6.87 | 6.62 | 1811.38 | 11991.34 |
| 5 4 | 97.5 | 97.5 | 3.95 | 5.96 | 83.32 | 6.17 | 5.99 | 1999.07 | 11974.43 |

| RAYO 3 | | | | | | | | | |
|---------|---------------|------------|------------|-------------|-----------|-----------|--------------|-------------------|------------|
| ISOBATA | DIST. ISOBATA | COTANGENTE | ALTURA OLA | ANG. CRESTA | LONG. OLA | CELERIDAD | VELOC. GRUPO | ENERGIA | FUERZA OLA |
| | m | | m | grados | m | m/s | m/s | Nm/m ² | Nm/m |
| 200 | | | 3.07 | 21 | 287.08 | 21.17 | 10.59 | 1207.57 | 12788.17 |
| 200 23 | 480 | 480 | 2.87 | 13.52 | 185.54 | 13.74 | 11.59 | 1055.35 | 12231.51 |
| 23 22 | 480 | 480 | 2.88 | 13.27 | 182.2 | 13.5 | 11.47 | 1062.72 | 12189.4 |
| 22 21 | 270 | 270 | 2.9 | 13 | 178.73 | 13.24 | 11.33 | 1077.53 | 12208.41 |
| 21 20 | 172.5 | 172.5 | 2.92 | 12.74 | 175.12 | 12.97 | 11.18 | 1092.45 | 12213.59 |
| 20 19 | 142.5 | 142.5 | 2.94 | 12.45 | 171.36 | 12.69 | 11.02 | 1107.46 | 12204.21 |
| 19 18 | 75 | 75 | 2.97 | 12.15 | 167.46 | 12.4 | 10.85 | 1130.18 | 12262.45 |
| 18 17 | 52.5 | 52.5 | 2.99 | 11.85 | 163.38 | 12.1 | 10.67 | 1145.45 | 12221.95 |
| 17 16 | 157.5 | 157.5 | 3.02 | 11.54 | 159.13 | 11.79 | 10.47 | 1168.55 | 12234.72 |
| 16 15 | 105 | 105 | 3.05 | 11.21 | 154.69 | 11.46 | 10.24 | 1191.88 | 12216.77 |
| 15 14 | 112.5 | 112.5 | 3.08 | 10.86 | 150.03 | 11.11 | 10.02 | 1215.45 | 12178.81 |
| 14 13 | 150 | 150 | 3.12 | 10.5 | 145.13 | 10.75 | 9.76 | 1247.22 | 12172.87 |
| 13 12 | 307.5 | 307.5 | 3.16 | 10.12 | 139.98 | 10.37 | 9.49 | 1279.41 | 12141.6 |
| 12 11 | 390 | 390 | 3.21 | 9.72 | 134.54 | 9.97 | 9.19 | 1320.21 | 12132.73 |
| 11 10 | 255 | 255 | 3.27 | 9.3 | 128.78 | 9.54 | 8.86 | 1370.03 | 12138.47 |
| 10 9 | 90 | 90 | 3.33 | 8.84 | 122.64 | 9.08 | 8.5 | 1420.77 | 12076.55 |
| 9 8 | 120 | 120 | 3.41 | 8.36 | 116.06 | 8.6 | 8.11 | 1489.85 | 12082.68 |
| 8 7 | 105 | 105 | 3.5 | 7.84 | 108.98 | 8.07 | 7.66 | 1578.51 | 12091.39 |
| 7 6 | 120 | 120 | 3.62 | 7.28 | 101.28 | 7.5 | 7.17 | 1679 | 12038.43 |
| 6 5 | 300 | 300 | 3.77 | 6.66 | 92.81 | 6.87 | 6.62 | 1821.03 | 12055.22 |
| 5 4 | 105 | 105 | 3.96 | 5.97 | 83.32 | 6.17 | 5.99 | 2009.21 | 12035.17 |

| RAYO 4 | | | | | | | | | |
|---------|---------------|------------|------------|-------------|-----------|-----------|--------------|-------------------|------------|
| ISOBATA | DIST. ISOBATA | COTANGENTE | ALTURA OLA | ANG. CRESTA | LONG. OLA | CELERIDAD | VELOC. GRUPO | ENERGIA | FUERZA OLA |
| | m | | m | grados | m | m/s | m/s | Nm/m ² | Nm/m |
| 200 | | | 3.07 | 21 | 284.55 | 21.08 | 10.54 | 1207.57 | 12729.79 |
| 200 26 | 90 | 90 | 2.83 | 14.22 | 194.88 | 14.44 | 11.91 | 1026.14 | 12221.33 |
| 26 25 | 90 | 90 | 2.84 | 13.99 | 191.88 | 14.21 | 11.81 | 1033.41 | 12204.57 |
| 25 24 | 427.5 | 427.5 | 2.86 | 13.75 | 188.77 | 13.98 | 11.7 | 1048.01 | 12261.62 |
| 24 23 | 322.5 | 322.5 | 2.87 | 13.51 | 185.54 | 13.74 | 11.59 | 1055.35 | 12231.51 |
| 23 22 | 345 | 345 | 2.88 | 13.27 | 182.2 | 13.5 | 11.47 | 1062.72 | 12189.4 |
| 22 21 | 150 | 150 | 2.9 | 13.01 | 178.73 | 13.24 | 11.33 | 1077.53 | 12208.41 |
| 21 20 | 180 | 180 | 2.92 | 12.74 | 175.12 | 12.97 | 11.18 | 1092.45 | 12213.59 |
| 20 19 | 180 | 180 | 2.94 | 12.45 | 171.36 | 12.69 | 11.02 | 1107.46 | 12204.21 |
| 19 18 | 90 | 90 | 2.97 | 12.16 | 167.46 | 12.4 | 10.85 | 1122.58 | 12179.99 |
| 18 17 | 67.5 | 67.5 | 2.99 | 11.86 | 163.39 | 12.1 | 10.67 | 1145.45 | 12221.95 |
| 17 16 | 142.5 | 142.5 | 3.02 | 11.55 | 159.13 | 11.79 | 10.47 | 1168.55 | 12234.72 |
| 16 15 | 112.5 | 112.5 | 3.05 | 11.22 | 154.69 | 11.46 | 10.25 | 1191.88 | 12216.77 |
| 15 14 | 135 | 135 | 3.08 | 10.87 | 150.03 | 11.11 | 10.02 | 1215.45 | 12178.81 |
| 14 13 | 330 | 330 | 3.12 | 10.51 | 145.13 | 10.75 | 9.76 | 1247.22 | 12172.87 |
| 13 12 | 420 | 420 | 3.16 | 10.13 | 139.98 | 10.37 | 9.49 | 1279.41 | 12141.6 |
| 12 11 | 330 | 330 | 3.21 | 9.74 | 134.54 | 9.97 | 9.19 | 1320.21 | 12132.73 |
| 11 10 | 120 | 120 | 3.27 | 9.32 | 128.78 | 9.54 | 8.86 | 1370.03 | 12138.47 |
| 10 9 | 82.5 | 82.5 | 3.33 | 8.87 | 122.64 | 9.08 | 8.5 | 1420.77 | 12076.55 |
| 9 8 | 82.5 | 82.5 | 3.41 | 8.38 | 116.06 | 8.6 | 8.11 | 1489.85 | 12082.68 |
| 8 7 | 52.5 | 52.5 | 3.51 | 7.82 | 108.98 | 8.07 | 7.66 | 1578.51 | 12091.39 |
| 7 6 | 60 | 60 | 3.62 | 7.29 | 101.28 | 7.5 | 7.17 | 1679 | 12038.43 |
| 6 5 | 52.5 | 52.5 | 3.77 | 6.68 | 92.81 | 6.87 | 6.62 | 1821.03 | 12055.22 |
| 5 4 | 195 | 195 | 3.96 | 5.99 | 83.32 | 6.17 | 5.99 | 2009.21 | 12035.17 |

| RAYO 5 | | | | | | | | | |
|---------|---------------|------------|------------|-------------|-----------|-----------|--------------|-------------------|------------|
| ISOBATA | DIST. ISOBATA | COTANGENTE | ALTURA OLA | ANG. CRESTA | LONG. OLA | CELERIDAD | VELOC. GRUPO | ENERGIA | FUERZA OLA |
| | m | | m | grados | m | m/s | m/s | Nm/m ² | Nm/m |
| 200 | | | 3.07 | 21 | 284.55 | 21.08 | 10.54 | 1207.57 | 12729.79 |
| 200 26 | 382.5 | 382.5 | 2.83 | 14.22 | 194.88 | 14.44 | 11.91 | 1026.14 | 12221.33 |
| 26 25 | 382.5 | 382.5 | 2.84 | 13.99 | 191.88 | 14.21 | 11.81 | 1033.41 | 12204.57 |
| 25 24 | 105 | 105 | 2.86 | 13.75 | 188.77 | 13.98 | 11.7 | 1048.01 | 12261.72 |
| 24 23 | 255 | 255 | 2.87 | 13.5 | 185.54 | 13.74 | 11.59 | 1055.35 | 12231.51 |
| 23 22 | 180 | 180 | 2.88 | 13.25 | 182.2 | 13.5 | 11.47 | 1062.72 | 12189.4 |
| 22 21 | 127.5 | 127.5 | 2.9 | 12.99 | 178.73 | 13.24 | 11.33 | 1077.53 | 12208.41 |
| 21 20 | 165 | 165 | 2.92 | 12.72 | 175.12 | 12.97 | 11.18 | 1092.45 | 12213.59 |
| 20 19 | 195 | 195 | 2.94 | 12.43 | 171.36 | 12.69 | 11.02 | 1107.46 | 12204.21 |
| 19 18 | 157.5 | 157.5 | 2.96 | 12.13 | 167.46 | 12.4 | 10.85 | 1122.58 | 12179.99 |
| 18 17 | 90 | 90 | 2.98 | 11.82 | 163.39 | 12.1 | 10.67 | 1137.8 | 12140.33 |
| 17 16 | 135 | 135 | 3.01 | 11.51 | 159.13 | 11.79 | 10.47 | 1160.83 | 12153.89 |
| 16 15 | 195 | 195 | 3.04 | 11.18 | 154.69 | 11.46 | 10.25 | 1184.08 | 12136.82 |
| 15 14 | 375 | 375 | 3.07 | 10.83 | 150.03 | 11.11 | 10.02 | 1207.57 | 12099.85 |
| 14 13 | 165 | 165 | 3.11 | 10.47 | 145.13 | 10.75 | 9.76 | 1239.24 | 12094.98 |
| 13 12 | 345 | 345 | 3.15 | 10.09 | 139.98 | 10.37 | 9.49 | 1271.32 | 12064.83 |
| 12 11 | 247.5 | 247.5 | 3.2 | 9.69 | 134.54 | 9.97 | 9.19 | 1312 | 12057.28 |
| 11 10 | 120 | 120 | 3.26 | 9.27 | 128.78 | 9.54 | 8.86 | 1361.66 | 12064.31 |
| 10 9 | 60 | 60 | 3.32 | 8.82 | 122.64 | 9.08 | 8.5 | 1412.25 | 12004.13 |
| 9 8 | 60 | 60 | 3.4 | 8.34 | 116.06 | 8.6 | 8.11 | 1481.13 | 12011.96 |
| 8 7 | 60 | 60 | 3.5 | 7.82 | 108.98 | 8.07 | 7.66 | 1569.53 | 12022.6 |
| 7 6 | 60 | 60 | 3.61 | 7.26 | 101.28 | 7.5 | 7.17 | 1669.74 | 11972.04 |
| 6 5 | 60 | 60 | 3.76 | 6.64 | 92.81 | 6.87 | 6.62 | 1811.38 | 11991.34 |
| 5 4 | 60 | 60 | 3.95 | 5.95 | 83.32 | 6.17 | 5.99 | 1999.07 | 11974.43 |

| RAYO 6 | | | | | | | | | |
|---------|---------------|------------|------------|-------------|-----------|-----------|--------------|-------------------|------------|
| ISOBATA | DIST. ISOBATA | COTANGENTE | ALTURA OLA | ANG. CRESTA | LONG. OLA | CELERIDAD | VELOC. GRUPO | ENERGIA | FUERZA OLA |
| | m | | m | grados | m | m/s | m/s | Nm/m ² | Nm/m |
| 200 | | | 3.07 | 21 | 284.55 | 21.08 | 10.54 | 1207.57 | 12729.79 |
| 200 27 | 810 | 810 | 2.82 | 14.43 | 197.79 | 14.65 | 12 | 1018.9 | 12226.8 |
| 27 26 | 810 | 810 | 2.82 | 14.21 | 194.88 | 14.44 | 11.91 | 1018.9 | 12135.1 |
| 26 25 | 270 | 270 | 2.83 | 13.98 | 191.88 | 14.21 | 11.81 | 1026.14 | 12118.71 |
| 25 24 | 90 | 90 | 2.84 | 13.74 | 188.77 | 13.98 | 11.7 | 1033.41 | 12090.9 |
| 24 23 | 187.5 | 187.5 | 2.85 | 13.49 | 185.54 | 13.74 | 11.59 | 1040.7 | 12061.71 |
| 23 22 | 165 | 165 | 2.86 | 13.24 | 182.2 | 13.5 | 11.47 | 1048.01 | 12020.67 |
| 22 21 | 165 | 165 | 2.88 | 12.98 | 178.73 | 13.24 | 11.33 | 1062.72 | 12040.62 |
| 21 20 | 195 | 195 | 2.9 | 12.72 | 175.12 | 12.97 | 11.18 | 1077.53 | 12046.79 |
| 20 19 | 195 | 195 | 2.92 | 12.42 | 171.36 | 12.69 | 11.02 | 1092.45 | 12038.8 |
| 19 18 | 135 | 135 | 2.94 | 12.12 | 167.46 | 12.4 | 10.85 | 1107.46 | 12015.94 |
| 18 17 | 127.5 | 127.5 | 2.96 | 11.81 | 163.39 | 12.1 | 10.67 | 1122.58 | 11977.93 |
| 17 16 | 105 | 105 | 2.99 | 11.5 | 159.13 | 11.79 | 10.47 | 1145.45 | 11992.86 |
| 16 15 | 165 | 165 | 3.02 | 11.17 | 154.69 | 11.46 | 10.25 | 1168.55 | 11977.64 |
| 15 14 | 390 | 390 | 3.05 | 10.82 | 150.03 | 11.11 | 10.02 | 1191.88 | 11942.64 |
| 14 13 | 375 | 375 | 3.09 | 10.46 | 145.13 | 10.75 | 9.76 | 1223.35 | 11939.9 |
| 13 12 | 180 | 180 | 3.13 | 10.08 | 139.98 | 10.37 | 9.49 | 1255.23 | 11912.13 |
| 12 11 | 240 | 240 | 3.18 | 9.68 | 134.54 | 9.97 | 9.19 | 1295.65 | 11907.02 |
| 11 10 | 120 | 120 | 3.24 | 9.26 | 128.78 | 9.54 | 8.86 | 1345.01 | 11916.79 |
| 10 9 | 60 | 60 | 3.3 | 8.81 | 122.64 | 9.08 | 8.5 | 1395.28 | 11859.88 |
| 9 8 | 45 | 45 | 3.38 | 8.33 | 116.06 | 8.6 | 8.11 | 1463.75 | 11871.01 |
| 8 7 | 60 | 60 | 3.48 | 7.81 | 108.98 | 8.07 | 7.66 | 1551.65 | 11885.64 |
| 7 6 | 60 | 60 | 3.6 | 7.25 | 101.28 | 7.5 | 7.17 | 1660.5 | 11905.79 |
| 6 5 | 105 | 105 | 3.75 | 6.63 | 92.81 | 6.87 | 6.62 | 1801.76 | 11927.65 |
| 5 4 | 105 | 105 | 3.94 | 5.95 | 83.32 | 6.17 | 5.99 | 1801.76 | 11927.65 |

| RAYO 7 | | | | | | | | | |
|---------|---------------|------------|------------|-------------|-----------|-----------|--------------|-------------------|------------|
| ISOBATA | DIST. ISOBATA | COTANGENTE | ALTURA OLA | ANG. CRESTA | LONG. OLA | CELERIDAD | VELOC. GRUPO | ENERGIA | FUERZA OLA |
| | m | | m | grados | m | m/s | m/s | Nm/m ² | Nm/m |
| 200 | | | 3.07 | 21 | 284.55 | 21.08 | 10.54 | 1207.57 | 12729.79 |
| 200 27 | 630 | 630 | 2.82 | 14.43 | 197.79 | 14.65 | 12 | 1018.9 | 12226.8 |
| 27 26 | 630 | 630 | 2.82 | 14.22 | 194.88 | 14.44 | 11.91 | 1018.9 | 12135.1 |
| 26 25 | 232.5 | 232.5 | 2.83 | 13.99 | 191.88 | 14.21 | 11.81 | 1026.14 | 12118.71 |
| 25 24 | 337.5 | 337.5 | 2.84 | 13.75 | 188.77 | 13.98 | 11.7 | 1033.41 | 12090.9 |
| 24 23 | 195 | 195 | 2.85 | 13.5 | 185.54 | 13.74 | 11.59 | 1040.7 | 12061.71 |
| 23 22 | 157.5 | 157.5 | 2.86 | 13.25 | 182.2 | 13.5 | 11.47 | 1048.01 | 12020.67 |
| 22 21 | 120 | 120 | 2.88 | 12.99 | 178.73 | 13.24 | 11.33 | 1062.72 | 12040.62 |
| 21 20 | 120 | 120 | 2.9 | 12.72 | 175.12 | 12.97 | 11.18 | 1077.53 | 12046.79 |
| 20 19 | 195 | 195 | 2.92 | 12.44 | 171.36 | 12.69 | 11.02 | 1092.45 | 12038.8 |
| 19 18 | 142.5 | 142.5 | 2.94 | 12.14 | 167.46 | 12.4 | 10.85 | 1107.46 | 12015.94 |
| 18 17 | 112.5 | 112.5 | 2.96 | 11.83 | 163.39 | 12.1 | 10.67 | 1122.58 | 11977.93 |
| 17 16 | 120 | 120 | 2.99 | 11.53 | 159.13 | 11.79 | 10.47 | 1145.45 | 11992.86 |
| 16 15 | 127.5 | 127.5 | 3.02 | 11.21 | 154.69 | 11.46 | 10.25 | 1168.55 | 11977.64 |
| 15 14 | 570 | 570 | 3.05 | 10.86 | 150.03 | 11.11 | 10.02 | 1191.88 | 11942.64 |
| 14 13 | 105 | 105 | 3.09 | 10.5 | 145.13 | 10.75 | 9.76 | 1223.35 | 11939.9 |
| 13 12 | 120 | 120 | 3.13 | 10.12 | 139.98 | 10.37 | 9.49 | 1255.23 | 11912.13 |
| 12 11 | 225 | 225 | 3.18 | 9.73 | 134.54 | 9.97 | 9.19 | 1295.65 | 11907.02 |
| 11 10 | 90 | 90 | 3.24 | 9.31 | 128.78 | 9.54 | 8.86 | 1345.01 | 11916.79 |
| 10 9 | 75 | 75 | 3.3 | 8.85 | 122.64 | 9.08 | 8.5 | 1395.28 | 11859.88 |
| 9 8 | 90 | 90 | 3.38 | 8.37 | 116.06 | 8.6 | 8.11 | 1463.75 | 11871.01 |
| 8 7 | 45 | 45 | 3.47 | 7.85 | 108.98 | 8.07 | 7.66 | 1542.74 | 11817.39 |
| 7 6 | 75 | 75 | 3.59 | 7.3 | 101.28 | 7.5 | 7.17 | 1651.29 | 11839.75 |
| 6 5 | 195 | 195 | 3.73 | 6.68 | 92.81 | 6.87 | 6.62 | 1782.59 | 11800.75 |
| 5 4 | 142.5 | 142.5 | 3.92 | 5.99 | 83.32 | 6.17 | 5.99 | 1968.82 | 11723.23 |

| RAYO 8 | | | | | | | | | |
|---------|---------------|------------|------------|-------------|-----------|-----------|--------------|-------------------|------------|
| ISOBATA | DIST. ISOBATA | COTANGENTE | ALTURA OLA | ANG. CRESTA | LONG. OLA | CELERIDAD | VELOC. GRUPO | ENERGIA | FUERZA OLA |
| | m | | m | grados | m | m/s | m/s | Nm/m ² | Nm/m |
| 200 | | | 3.07 | 21 | 284.55 | 21.08 | 10.54 | 1207.57 | 12729.79 |
| 200 27 | 240 | 240 | 2.82 | 14.43 | 197.79 | 14.65 | 12 | 1018.9 | 12226.8 |
| 27 26 | 240 | 240 | 2.82 | 14.23 | 194.88 | 14.44 | 11.91 | 1018.9 | 12135.1 |
| 26 25 | 195 | 195 | 2.83 | 14 | 191.88 | 14.21 | 11.81 | 1026.14 | 12118.71 |
| 25 24 | 270 | 270 | 2.84 | 13.76 | 188.77 | 13.98 | 11.7 | 1033.41 | 12090.9 |
| 24 23 | 90 | 90 | 2.85 | 13.52 | 185.54 | 13.74 | 11.59 | 1040.7 | 12061.71 |
| 23 22 | 240 | 240 | 2.86 | 13.28 | 182.2 | 13.5 | 11.47 | 1048.01 | 12020.67 |
| 22 21 | 135 | 135 | 2.88 | 13.02 | 178.73 | 13.24 | 11.33 | 1062.72 | 12040.62 |
| 21 20 | 225 | 225 | 2.9 | 12.75 | 175.12 | 12.97 | 11.18 | 1077.53 | 12046.79 |
| 20 19 | 150 | 150 | 2.92 | 12.46 | 171.36 | 12.69 | 11.02 | 1092.45 | 12038.8 |
| 19 18 | 135 | 135 | 2.94 | 12.17 | 167.46 | 12.4 | 10.85 | 1107.46 | 12015.94 |
| 18 17 | 120 | 120 | 2.96 | 11.87 | 163.39 | 12.1 | 10.67 | 1122.58 | 11977.93 |
| 17 16 | 135 | 135 | 2.99 | 11.56 | 159.13 | 11.79 | 10.47 | 1145.45 | 11992.86 |
| 16 15 | 330 | 330 | 3.02 | 11.23 | 154.69 | 11.46 | 10.25 | 1168.55 | 11977.64 |
| 15 14 | 150 | 150 | 3.05 | 10.88 | 150.03 | 11.11 | 10.02 | 1191.88 | 11942.64 |
| 14 13 | 165 | 165 | 3.09 | 10.52 | 145.13 | 10.75 | 9.76 | 1223.35 | 11939.9 |
| 13 12 | 150 | 150 | 3.13 | 10.14 | 139.98 | 10.37 | 9.49 | 1255.23 | 11912.13 |
| 12 11 | 150 | 150 | 3.18 | 9.74 | 134.54 | 9.97 | 9.19 | 1295.65 | 11907.02 |
| 11 10 | 510 | 510 | 3.24 | 9.32 | 128.78 | 9.54 | 8.86 | 1345.01 | 11916.79 |
| 10 9 | 60 | 60 | 3.3 | 8.87 | 122.64 | 9.08 | 8.5 | 1395.28 | 11859.88 |
| 9 8 | 75 | 75 | 3.38 | 8.39 | 116.06 | 8.6 | 8.11 | 1463.75 | 11871.01 |
| 8 7 | 90 | 90 | 3.47 | 7.87 | 108.98 | 8.07 | 7.66 | 1542.74 | 11817.39 |
| 7 6 | 150 | 150 | 3.59 | 7.3 | 101.28 | 7.5 | 7.17 | 1651.29 | 11839.75 |
| 6 5 | 442.5 | 442.5 | 3.73 | 6.68 | 92.81 | 6.87 | 6.62 | 1782.59 | 11800.75 |
| 5 4 | 120 | 120 | 3.92 | 5.99 | 83.32 | 6.17 | 5.99 | 1968.82 | 11793.23 |

| RAYO 9 | | | | | | | | | |
|---------|---------------|------------|------------|-------------|-----------|-----------|--------------|-------------------|------------|
| ISOBATA | DIST. ISOBATA | COTANGENTE | ALTURA OLA | ANG. CRESTA | LONG. OLA | CELERIDAD | VELOC. GRUPO | ENERGIA | FUERZA OLA |
| | m | | m | grados | m | m/s | m/s | Nm/m ² | Nm/m |
| 200 | | | 3.07 | 21 | 284.55 | 21.08 | 10.54 | 1207.57 | 12729.79 |
| 200 27 | 150 | 150 | 2.82 | 14.44 | 197.79 | 14.65 | 12 | 1018.9 | 12226.8 |
| 27 26 | 150 | 150 | 2.82 | 14.23 | 194.88 | 14.44 | 11.91 | 1018.9 | 12135.1 |
| 26 25 | 150 | 150 | 2.83 | 14 | 191.88 | 14.21 | 11.81 | 1026.14 | 12118.71 |
| 25 24 | 165 | 165 | 2.84 | 13.76 | 188.77 | 13.98 | 11.7 | 1033.41 | 12090.9 |
| 24 23 | 75 | 75 | 2.85 | 13.52 | 185.54 | 13.74 | 11.59 | 1040.7 | 12061.71 |
| 23 22 | 90 | 90 | 2.86 | 13.28 | 182.2 | 13.5 | 11.47 | 1048.01 | 12020.67 |
| 22 21 | 180 | 180 | 2.88 | 13.03 | 178.73 | 13.24 | 11.33 | 1062.72 | 12040.62 |
| 21 20 | 270 | 270 | 2.9 | 12.76 | 175.12 | 12.97 | 11.18 | 1077.53 | 12046.79 |
| 20 19 | 352.5 | 352.5 | 2.92 | 12.48 | 171.36 | 12.69 | 11.02 | 1092.45 | 12038.8 |
| 19 18 | 165 | 165 | 2.94 | 12.18 | 167.46 | 12.4 | 10.85 | 1107.46 | 12015.94 |
| 18 17 | 75 | 75 | 2.96 | 11.87 | 163.39 | 12.1 | 10.67 | 1122.58 | 11977.93 |
| 17 16 | 135 | 135 | 2.99 | 11.57 | 159.13 | 11.79 | 10.47 | 1145.45 | 11992.86 |
| 16 15 | 135 | 135 | 3.02 | 11.24 | 154.69 | 11.46 | 10.25 | 1168.55 | 11977.64 |
| 15 14 | 292.5 | 292.5 | 3.05 | 10.89 | 150.03 | 11.11 | 10.02 | 1191.88 | 11942.64 |
| 14 13 | 390 | 390 | 3.09 | 10.53 | 145.13 | 10.75 | 9.76 | 1223.35 | 11939.9 |
| 13 12 | 180 | 180 | 3.13 | 10.15 | 139.98 | 10.37 | 9.49 | 1255.23 | 11912.13 |
| 12 11 | 180 | 180 | 3.18 | 9.75 | 134.54 | 9.97 | 9.19 | 1295.65 | 11907.02 |
| 11 10 | 120 | 120 | 3.24 | 9.33 | 128.78 | 9.54 | 8.86 | 1345.01 | 11916.14 |
| 10 9 | 135 | 135 | 3.3 | 8.87 | 122.64 | 9.08 | 8.5 | 1395.28 | 11859.88 |
| 9 8 | 330 | 330 | 3.38 | 8.39 | 116.06 | 8.6 | 8.11 | 1463.35 | 11871.01 |
| 8 7 | 240 | 240 | 3.47 | 7.87 | 108.98 | 8.07 | 7.66 | 1542.74 | 11817.39 |
| 7 6 | 60 | 60 | 3.59 | 7.3 | 101.28 | 7.5 | 7.17 | 1651.29 | 11839.75 |
| 6 5 | 165 | 165 | 3.73 | 6.69 | 92.81 | 6.87 | 6.62 | 1782.59 | 11800.75 |
| 5 4 | 45 | 45 | 3.92 | 6 | 83.32 | 6.17 | 5.99 | 1968.82 | 11793.23 |

| RAYO 10 | | | | | | | | | |
|---------|---------------|------------|------------|-------------|-----------|-----------|--------------|-------------------|------------|
| ISOBATA | DIST. ISOBATA | COTANGENTE | ALTURA OLA | ANG. CRESTA | LONG. OLA | CELERIDAD | VELOC. GRUPO | ENERGIA | FUERZA OLA |
| | m | | m | grados | m | m/s | m/s | Nm/m ² | Nm/m |
| 200 | | | 3.07 | 21 | 284.55 | 21.08 | 10.54 | 1207.57 | 12729.79 |
| 200 27 | 135 | 135 | 2.82 | 14.44 | 197.79 | 14.65 | 12 | 1018.9 | 12226.8 |
| 27 26 | 135 | 135 | 2.82 | 14.23 | 194.88 | 14.44 | 11.91 | 1018.9 | 12135.1 |
| 26 25 | 255 | 255 | 2.83 | 14 | 191.88 | 14.21 | 11.81 | 1026.14 | 12118.71 |
| 25 24 | 135 | 135 | 2.84 | 13.76 | 188.77 | 13.98 | 11.7 | 1033.41 | 12090.9 |
| 24 23 | 165 | 165 | 2.85 | 13.51 | 185.54 | 13.74 | 11.59 | 1040.7 | 12061.71 |
| 23 22 | 105 | 105 | 2.86 | 13.26 | 182.2 | 13.5 | 11.47 | 1048.01 | 12020.67 |
| 22 21 | 135 | 135 | 2.88 | 13 | 178.73 | 13.24 | 11.33 | 1062.72 | 12040.62 |
| 21 20 | 345 | 345 | 2.9 | 12.73 | 175.12 | 12.97 | 11.18 | 1077.53 | 12046.79 |
| 20 19 | 232.5 | 232.5 | 2.92 | 12.16 | 171.36 | 12.69 | 11.02 | 1092.45 | 12038.8 |
| 19 18 | 135 | 135 | 2.94 | 11.85 | 167.46 | 12.4 | 10.85 | 1107.46 | 12015.94 |
| 18 17 | 67.5 | 67.5 | 2.96 | 11.55 | 163.39 | 12.1 | 10.67 | 1122.58 | 11977.93 |
| 17 16 | 52.5 | 52.5 | 2.99 | 11.22 | 159.13 | 11.79 | 10.47 | 1145.45 | 11992.86 |
| 16 15 | 360 | 360 | 3.02 | 10.9 | 154.69 | 11.46 | 10.25 | 1168.55 | 11977.64 |
| 15 14 | 285 | 285 | 3.05 | 10.56 | 150.03 | 11.11 | 10.02 | 1191.88 | 11942.64 |
| 14 13 | 165 | 165 | 3.08 | 10.21 | 145.13 | 10.75 | 9.76 | 1215.45 | 11862.79 |
| 13 12 | 180 | 180 | 3.13 | 9.84 | 139.98 | 10.37 | 9.49 | 1255.23 | 11912.13 |
| 12 11 | 150 | 150 | 3.17 | 9.45 | 134.54 | 9.97 | 9.19 | 1287.52 | 11832.31 |
| 11 10 | 82.5 | 82.5 | 3.23 | 9.02 | 128.78 | 9.54 | 8.86 | 1336.72 | 11843.34 |
| 10 9 | 705 | 705 | 3.3 | 8.6 | 122.64 | 9.08 | 8.5 | 1395.28 | 11859.88 |
| 9 8 | 157.5 | 157.5 | 3.37 | 8.1 | 116.06 | 8.6 | 8.11 | 1455.1 | 11800.86 |
| 8 7 | 75 | 75 | 3.47 | 7.64 | 108.98 | 8.07 | 7.66 | 1542.74 | 11817.39 |
| 7 6 | 105 | 105 | 3.58 | 7.08 | 101.28 | 7.5 | 7.17 | 1642.1 | 11773.86 |
| 6 5 | 90 | 90 | 3.73 | 6.48 | 92.81 | 6.87 | 6.62 | 1782.59 | 11800.75 |
| 5 4 | 90 | 90 | 3.9 | 5.81 | 83.32 | 6.17 | 5.99 | 1968.82 | 11793.23 |

| RAYO 11 | | | | | | | | | |
|----------|---------------|------------|------------|-------------|-----------|-----------|--------------|-------------------|------------|
| ISOBATA | DIST. ISOBATA | COTANGENTE | ALTURA OLA | ANG. CRESTA | LONG. OLA | CELERIDAD | VELOC. GRUPO | ENERGIA | FUERZA OLA |
| | m | | m | grados | m | m/s | m/s | Nm/m ² | Nm/m |
| 200 | | | 3.07 | 21 | 284.55 | 21.08 | 10.54 | 1207.57 | 12727.79 |
| 200 - 25 | 181 | 181 | 2.84 | 13.99 | 191.88 | 14.21 | 11.81 | 1033.41 | 12204.57 |
| 25 - 24 | 181 | 181 | 2.86 | 13.76 | 188.77 | 13.98 | 11.70 | 1048.01 | 12261.72 |
| 24 - 23 | 325 | 325 | 2.87 | 13.51 | 185.54 | 13.74 | 11.59 | 1055.35 | 12231.51 |
| 23 - 22 | 227 | 227 | 2.88 | 13.27 | 182.20 | 13.50 | 11.47 | 1062.72 | 12189.40 |
| 22 - 21 | 242 | 242 | 2.90 | 13.01 | 178.73 | 13.24 | 11.33 | 1077.53 | 12208.41 |
| 21 - 20 | 242 | 242 | 2.92 | 12.74 | 175.12 | 12.97 | 11.18 | 1092.45 | 12213.59 |
| 20 - 19 | 181 | 181 | 2.94 | 12.46 | 171.36 | 12.69 | 11.02 | 1107.46 | 12204.21 |
| 19 - 18 | 189 | 189 | 2.97 | 12.17 | 167.46 | 12.46 | 10.85 | 1130.18 | 12262.45 |
| 18 - 17 | 234 | 234 | 2.99 | 11.86 | 163.39 | 12.10 | 10.67 | 1145.45 | 12221.95 |
| 17 - 16 | 197 | 197 | 3.02 | 11.55 | 159.13 | 11.79 | 10.47 | 1168.55 | 12234.72 |
| 16 - 15 | 212 | 212 | 3.05 | 11.22 | 154.69 | 11.46 | 10.25 | 1191.88 | 12216.77 |
| 15 - 14 | 250 | 250 | 3.08 | 10.87 | 150.03 | 11.11 | 10.02 | 1215.45 | 12178.81 |
| 14 - 13 | 121 | 121 | 3.12 | 10.51 | 145.13 | 10.75 | 9.76 | 1247.22 | 12172.87 |
| 13 - 12 | 106 | 106 | 3.16 | 10.13 | 139.98 | 10.37 | 9.49 | 1279.41 | 12141.60 |
| 12 - 11 | 129 | 129 | 3.21 | 9.74 | 134.54 | 9.97 | 9.19 | 1320.21 | 12132.73 |
| 11 - 10 | 114 | 114 | 3.27 | 9.32 | 128.78 | 9.54 | 8.86 | 1370.03 | 12138.47 |
| 10 - 9 | 477 | 477 | 3.33 | 8.87 | 122.64 | 9.08 | 8.50 | 1420.77 | 12076.55 |
| 9 - 8 | 151.5 | 151.5 | 3.41 | 8.39 | 116.06 | 8.60 | 8.11 | 1489.85 | 12082.68 |
| 8 - 7 | 91 | 91 | 3.51 | 7.87 | 108.98 | 8.07 | 7.66 | 1578.51 | 12091.39 |
| 7 - 6 | 83 | 83 | 3.62 | 7.31 | 101.28 | 7.50 | 7.17 | 1679 | 12038.43 |
| 6 - 5 | 45 | 45 | 3.77 | 6.69 | 92.81 | 6.87 | 6.62 | 1821.03 | 12055.22 |
| 5 - 4 | 38 | 38 | 3.96 | 6.00 | 83.32 | 6.17 | 5.99 | 2009.21 | 12035.17 |

| RAYO 12 | | | | | | | | | |
|----------|---------------|------------|------------|-------------|-----------|-----------|--------------|-------------------|------------|
| ISOBATA | DIST. ISOBATA | COTANGENTE | ALTURA OLA | ANG. CRESTA | LONG. OLA | CELERIDAD | VELOC. GRUPO | ENERGIA | FUERZA OLA |
| | m | | m | grados | m | m/s | m/s | Nm/m ² | Nm/m |
| 200 | | | 3.07 | 21 | 284.55 | 21.08 | 10.54 | 1207.57 | 12727.79 |
| 200 - 25 | 212 | 212 | 2.83 | 13.99 | 191.88 | 14.21 | 11.81 | 1026.14 | 12118.71 |
| 25 - 24 | 212 | 212 | 2.84 | 13.76 | 188.77 | 13.98 | 11.70 | 1033.41 | 12090.90 |
| 24 - 23 | 181 | 181 | 2.85 | 13.52 | 185.54 | 13.74 | 11.59 | 1040.70 | 12061.71 |
| 23 - 22 | 227 | 227 | 2.86 | 13.28 | 182.20 | 13.50 | 11.47 | 1048.01 | 12020.67 |
| 22 - 21 | 325 | 325 | 2.88 | 13.02 | 178.73 | 13.24 | 11.33 | 1062.72 | 12040.62 |
| 21 - 20 | 348 | 348 | 2.90 | 12.75 | 175.12 | 12.97 | 11.18 | 1077.53 | 12046.79 |
| 20 - 19 | 303 | 303 | 2.92 | 12.47 | 171.36 | 12.69 | 11.02 | 1092.45 | 12038.80 |
| 19 - 18 | 181 | 181 | 2.94 | 12.17 | 167.46 | 12.40 | 10.85 | 1107.46 | 12015.94 |
| 18 - 17 | 166 | 166 | 2.96 | 11.86 | 163.39 | 12.10 | 10.67 | 1122.58 | 11977.93 |
| 17 - 16 | 75 | 75 | 2.99 | 11.56 | 159.13 | 11.79 | 10.47 | 1145.45 | 11992.86 |
| 16 - 15 | 181 | 181 | 3.02 | 11.23 | 154.69 | 11.46 | 10.25 | 1168.55 | 11977.64 |
| 15 - 14 | 242 | 242 | 3.05 | 10.88 | 150.03 | 11.11 | 10.02 | 1191.88 | 11942.64 |
| 14 - 13 | 197 | 197 | 3.09 | 10.52 | 145.13 | 10.75 | 9.76 | 1223.35 | 11939.90 |
| 13 - 12 | 113 | 113 | 3.13 | 10.14 | 139.98 | 10.37 | 9.49 | 1255.23 | 11912.13 |
| 12 - 11 | 136 | 136 | 3.18 | 9.75 | 134.54 | 9.97 | 9.19 | 1295.65 | 11907.02 |
| 11 - 10 | 144 | 144 | 3.24 | 9.33 | 128.78 | 9.54 | 8.86 | 1345.01 | 11916.79 |
| 10 - 9 | 303 | 303 | 3.30 | 8.88 | 122.64 | 9.08 | 8.50 | 1395.28 | 11859.88 |
| 9 - 8 | 190 | 190 | 3.38 | 8.40 | 116.06 | 8.60 | 8.11 | 1463.75 | 11871.01 |
| 8 - 7 | 91 | 91 | 3.47 | 7.88 | 108.98 | 8.07 | 7.66 | 1542.74 | 11817.39 |
| 7 - 6 | 166 | 166 | 3.59 | 7.31 | 101.28 | 7.50 | 7.17 | 1651.29 | 11839.75 |
| 6 - 5 | 91 | 91 | 3.73 | 6.69 | 92.81 | 6.87 | 6.62 | 1782.59 | 11800.75 |
| 5 - 4 | 136 | 136 | 3.92 | 6.00 | 83.32 | 6.17 | 5.99 | 1968.82 | 11793.23 |

| RAYO 13 | | | | | | | | | |
|---------|---------------|------------|------------|-------------|-----------|-----------|--------------|-------------------|------------|
| ISOBATA | DIST. ISOBATA | COTANGENTE | ALTURA OLA | ANG. CRESTA | LONG. OLA | CELERIDAD | VELOC. GRUPO | ENERGIA | FUERZA OLA |
| | m | | m | grados | m | m/s | m/s | Nm/m ² | Nm/m |
| 200 | | | 3.07 | 21 | 284.55 | 21.08 | 10.54 | 1207.57 | 12729.79 |
| 200-24 | 217.5 | 217.5 | 2.86 | 13.76 | 188.77 | 13.98 | 11.7 | 1048.01 | 12261.72 |
| 24-23 | 217.5 | 217.5 | 2.87 | 13.51 | 185.54 | 13.74 | 11.59 | 1055.35 | 12231.51 |
| 23-22 | 232.5 | 232.5 | 2.88 | 13.27 | 182.2 | 13.5 | 11.47 | 1062.72 | 12189.4 |
| 22-21 | 315 | 315 | 2.9 | 13.01 | 178.73 | 13.24 | 11.33 | 1077.53 | 12208.41 |
| 21-20 | 315 | 315 | 2.92 | 12.74 | 175.12 | 12.97 | 11.18 | 1092.45 | 12213.59 |
| 20-19 | 360 | 360 | 2.94 | 12.45 | 171.36 | 12.69 | 11.02 | 1107.46 | 12204.21 |
| 19-18 | 225 | 225 | 2.97 | 12.16 | 167.46 | 12.4 | 10.85 | 1130.18 | 12262.45 |
| 18-17 | 240 | 240 | 2.99 | 11.87 | 163.39 | 12.1 | 10.67 | 1145.45 | 12221.95 |
| 17-16 | 155 | 155 | 3.02 | 11.56 | 159.13 | 11.79 | 10.47 | 1168.55 | 12234.72 |
| 16-15 | 225 | 225 | 3.05 | 11.23 | 154.69 | 11.46 | 10.25 | 1191.88 | 12216.77 |
| 15-14 | 172.5 | 172.5 | 3.08 | 10.88 | 150.03 | 11.11 | 10.02 | 1215.45 | 12178.81 |
| 14-13 | 150 | 150 | 3.12 | 10.52 | 145.13 | 10.75 | 9.76 | 1247.22 | 12172.87 |
| 13-12 | 210 | 210 | 3.16 | 10.14 | 139.98 | 10.37 | 9.49 | 1279.41 | 12141.6 |
| 12-11 | 165 | 165 | 3.21 | 9.74 | 134.54 | 9.97 | 9.19 | 1320.21 | 12132.73 |
| 11-10 | 450 | 450 | 3.27 | 9.31 | 128.78 | 9.74 | 8.86 | 1370.03 | 12138.47 |
| 10-9 | 172.5 | 172.5 | 3.33 | 8.85 | 122.64 | 9.08 | 8.5 | 1422.77 | 12076.55 |
| 9-8 | 157.5 | 157.5 | 3.41 | 8.37 | 116.06 | 8.6 | 8.11 | 1489.85 | 12082.68 |
| 8-7 | 97.5 | 97.5 | 3.51 | 7.85 | 108.98 | 8.07 | 7.66 | 1578.51 | 12091.39 |
| 7-6 | 67.5 | 67.5 | 3.62 | 7.29 | 101.28 | 7.5 | 7.17 | 1679 | 12038.43 |
| 6-5 | 52.5 | 52.5 | 3.77 | 6.67 | 92.81 | 6.87 | 6.62 | 1821.03 | 12055.22 |
| 5-4 | 45 | 45 | 3.96 | 5.98 | 83.32 | 6.17 | 5.99 | 2009.21 | 12035.17 |

| RAYO 14 | | | | | | | | | |
|---------|---------------|------------|------------|-------------|-----------|-----------|--------------|-------------------|------------|
| ISOBATA | DIST. ISOBATA | COTANGENTE | ALTURA OLA | ANG. CRESTA | LONG. OLA | CELERIDAD | VELOC. GRUPO | ENERGIA | FUERZA OLA |
| | m | | m | grados | m | m/s | m/s | Nm/m ² | Nm/m |
| 200 | | | 3.07 | 21 | 284.55 | 21.08 | 10.54 | 1207.57 | 12727.79 |
| 200-23 | 348 | 348 | 2.85 | 13.52 | 185.54 | 13.74 | 11.59 | 1040.70 | 12061.71 |
| 23-22 | 348 | 348 | 2.86 | 13.27 | 182.20 | 13.50 | 11.47 | 1048.01 | 12020.67 |
| 22-21 | 197 | 197 | 2.88 | 13.01 | 178.73 | 13.24 | 11.33 | 1062.72 | 12040.62 |
| 21-20 | 310 | 310 | 2.90 | 12.74 | 175.12 | 12.97 | 11.18 | 1077.53 | 12046.79 |
| 20-19 | 484 | 484 | 2.92 | 12.46 | 171.36 | 12.69 | 11.02 | 1092.45 | 12038.80 |
| 19-18 | 545 | 545 | 2.94 | 12.16 | 167.46 | 12.40 | 10.85 | 1107.46 | 12015.94 |
| 18-17 | 310 | 310 | 2.96 | 11.85 | 163.39 | 12.10 | 10.67 | 1122.58 | 11977.93 |
| 17-16 | 212 | 212 | 2.99 | 11.54 | 159.13 | 11.79 | 10.47 | 1145.45 | 11992.86 |
| 16-15 | 121 | 121 | 3.02 | 11.21 | 154.69 | 11.46 | 10.25 | 1168.55 | 11977.64 |
| 15-14 | 152 | 152 | 3.05 | 10.86 | 150.03 | 11.11 | 10.02 | 1191.88 | 11942.64 |
| 14-13 | 288 | 288 | 3.09 | 10.50 | 145.13 | 10.75 | 9.76 | 1223.35 | 11939.90 |
| 13-12 | 129 | 129 | 3.13 | 10.12 | 139.98 | 10.37 | 9.49 | 1255.23 | 11912.13 |
| 12-11 | 318 | 318 | 3.18 | 9.73 | 134.54 | 9.97 | 9.19 | 1295.65 | 11907.02 |
| 11-10 | 197 | 197 | 3.24 | 9.31 | 128.78 | 9.54 | 8.86 | 1345.01 | 11916.79 |
| 10-9 | 159 | 159 | 3.30 | 8.86 | 122.64 | 9.08 | 8.50 | 1395.28 | 11859.88 |
| 9-8 | 121 | 121 | 3.38 | 8.38 | 116.06 | 8.60 | 8.11 | 1463.75 | 11871.01 |
| 8-7 | 76 | 76 | 3.47 | 7.86 | 108.98 | 8.07 | 7.66 | 1542.74 | 11817.39 |
| 7-6 | 68 | 68 | 3.59 | 7.30 | 101.28 | 7.50 | 7.17 | 1651.29 | 11839.75 |
| 6-5 | 61 | 61 | 3.73 | 6.68 | 92.81 | 6.87 | 6.62 | 1782.59 | 11800.75 |
| 5-4 | 83 | 83 | 3.92 | 5.99 | 83.32 | 6.17 | 5.99 | 1968.82 | 11793.23 |

| RAYO 15 | | | | | | | | | |
|----------|---------------|------------|------------|-------------|-----------|-----------|--------------|-------------------|------------|
| ISOBATA | DIST. ISOBATA | COTANGENTE | ALTURA OLA | ANG. CRESTA | LONG. OLA | CELERIDAD | VELOC. GRUPO | ENERGIA | FUERZA OLA |
| | m | | m | grados | m | m/s | m/s | Nm/m ² | Nm/m |
| 200 | | | 3.07 | 21.00 | 284.55 | 21.08 | 10.54 | 1207.57 | 12727.79 |
| 200 - 22 | 364 | 364 | 2.86 | 13.28 | 182.20 | 13.50 | 11.47 | 1048.01 | 12020.67 |
| 22 - 21 | 364 | 364 | 2.88 | 13.02 | 178.73 | 13.24 | 11.33 | 1062.72 | 12040.62 |
| 21 - 20 | 440 | 440 | 2.90 | 12.75 | 175.12 | 12.97 | 11.18 | 1077.53 | 12046.79 |
| 20 - 19 | 523 | 523 | 2.92 | 12.47 | 171.36 | 12.69 | 11.02 | 1092.45 | 12038.80 |
| 19 - 18 | 515 | 515 | 2.94 | 12.18 | 167.46 | 12.40 | 10.85 | 1107.46 | 12015.94 |
| 18 - 17 | 303 | 303 | 2.96 | 11.88 | 163.39 | 12.10 | 10.67 | 1122.58 | 11977.93 |
| 17 - 16 | 212 | 212 | 2.99 | 11.57 | 159.13 | 11.79 | 10.47 | 1145.45 | 11992.86 |
| 16 - 15 | 121 | 121 | 3.02 | 11.24 | 154.69 | 11.46 | 10.25 | 1168.55 | 11977.64 |
| 15 - 14 | 364 | 364 | 3.05 | 10.89 | 150.03 | 11.11 | 10.02 | 1191.88 | 11942.64 |
| 14 - 13 | 288 | 288 | 3.09 | 10.53 | 145.13 | 10.75 | 9.76 | 1223.35 | 11939.90 |
| 13 - 12 | 174 | 174 | 3.13 | 10.15 | 139.98 | 10.37 | 9.49 | 1255.23 | 11912.13 |
| 12 - 11 | 144 | 144 | 3.18 | 9.75 | 134.54 | 9.97 | 9.19 | 1295.65 | 11907.02 |
| 11 - 10 | 121 | 121 | 3.24 | 9.33 | 128.78 | 9.54 | 8.86 | 1345.01 | 11916.79 |
| 10 - 9 | 129 | 129 | 3.30 | 8.88 | 122.64 | 9.08 | 8.50 | 1395.28 | 11859.88 |
| 9 - 8 | 136 | 136 | 3.38 | 8.40 | 116.06 | 8.60 | 8.11 | 1463.75 | 11871.01 |
| 8 - 7 | 98 | 98 | 3.47 | 7.88 | 108.98 | 8.07 | 7.66 | 1542.74 | 11817.39 |
| 7 - 6 | 76 | 76 | 3.59 | 7.31 | 101.28 | 7.50 | 7.17 | 1651.29 | 11839.75 |
| 6 - 5 | 76 | 76 | 3.73 | 6.69 | 92.81 | 6.87 | 6.62 | 1782.59 | 11800.75 |
| 5 - 4 | 76 | 76 | 3.92 | 6.00 | 83.32 | 6.17 | 5.99 | 1968.82 | 11793.23 |

| RAYO 16 | | | | | | | | | |
|---------|---------------|------------|------------|-------------|-----------|-----------|--------------|-------------------|------------|
| ISOBATA | DIST. ISOBATA | COTANGENTE | ALTURA OLA | ANG. CRESTA | LONG. OLA | CELERIDAD | VELOC. GRUPO | ENERGIA | FUERZA OLA |
| | m | | m | grados | m | m/s | m/s | Nm/m ² | Nm/m |
| 200 | | | 3.07 | 21 | 284.55 | 21.08 | 10.54 | 1207.57 | 12729.79 |
| 200 21 | 322.5 | 322.5 | 2.9 | 13.02 | 178.73 | 13.24 | 11.33 | 1077.53 | 12208.41 |
| 21 20 | 322.5 | 322.5 | 2.92 | 12.75 | 175.12 | 12.97 | 11.18 | 1077.53 | 12213.59 |
| 20 19 | 232.5 | 232.5 | 2.94 | 12.46 | 171.36 | 12.69 | 11.02 | 1107.46 | 12204.21 |
| 19 18 | 765 | 765 | 2.97 | 12.17 | 167.46 | 12.4 | 10.85 | 1130.18 | 12262.45 |
| 18 17 | 540 | 540 | 2.99 | 11.86 | 163.39 | 12.1 | 10.67 | 1145.45 | 12221.95 |
| 17 16 | 480 | 480 | 3.02 | 11.55 | 159.13 | 11.79 | 10.47 | 1168.55 | 12234.72 |
| 16 15 | 195 | 195 | 3.05 | 11.22 | 154.69 | 11.46 | 10.25 | 1191.88 | 12216.77 |
| 15 14 | 157.5 | 157.5 | 3.08 | 10.87 | 150.03 | 11.11 | 10.02 | 1215.45 | 12178.81 |
| 14 13 | 240 | 240 | 3.12 | 10.51 | 145.13 | 10.75 | 9.76 | 1247.22 | 12171.87 |
| 13 12 | 142.5 | 142.5 | 3.16 | 10.13 | 139.98 | 10.37 | 9.49 | 1279.41 | 12141.6 |
| 12 11 | 142.5 | 142.5 | 3.21 | 9.73 | 134.54 | 9.97 | 9.19 | 1320.21 | 12132.73 |
| 11 10 | 165 | 165 | 3.27 | 9.31 | 128.78 | 9.54 | 8.86 | 1370.03 | 12138.47 |
| 10 9 | 105 | 105 | 3.33 | 8.85 | 122.64 | 9.08 | 8.5 | 1420.77 | 12076.55 |
| 9 8 | 105 | 105 | 3.41 | 8.37 | 116.06 | 8.6 | 8.11 | 1489.85 | 12082.68 |
| 8 7 | 112.5 | 112.5 | 3.51 | 7.85 | 108.98 | 8.07 | 7.66 | 1578.51 | 12091.39 |
| 7 6 | 172.5 | 172.5 | 3.62 | 7.29 | 101.28 | 7.5 | 7.17 | 1679 | 12038.43 |
| 6 5 | 127.5 | 127.5 | 3.77 | 6.67 | 92.81 | 6.87 | 6.62 | 1821.03 | 12055.22 |
| 5 4 | 120 | 120 | 3.96 | 5.98 | 83.32 | 6.17 | 5.99 | 2009.21 | 12035.17 |

| RAYO 17 | | | | | | | | | |
|----------|---------------|------------|------------|-------------|-----------|-----------|--------------|-------------------|------------|
| ISOBATA | DIST. ISOBATA | COTANGENTE | ALTURA OLA | ANG. CRESTA | LONG. OLA | CELERIDAD | VELOC. GRUPO | ENERGIA | FUERZA OLA |
| | m | | m | grados | m | m/s | m/s | Nm/m ² | Nm/m |
| 200 | | | 3.07 | 21 | 284.55 | 21.08 | 10.54 | 1207.57 | 12727.79 |
| 200 - 20 | 272 | 272 | 2.90 | 12.75 | 175.12 | 12.97 | 11.18 | 1077.53 | 12046.79 |
| 20 - 19 | 272 | 272 | 2.92 | 12.47 | 171.36 | 12.69 | 11.02 | 1092.45 | 12038.80 |
| 19 - 18 | 636 | 636 | 2.94 | 12.18 | 167.46 | 12.40 | 10.85 | 1107.46 | 12015.94 |
| 18 - 17 | 575 | 575 | 2.96 | 11.87 | 163.39 | 12.10 | 10.67 | 1122.58 | 11977.93 |
| 17 - 16 | 575 | 575 | 2.99 | 11.56 | 159.13 | 11.79 | 10.47 | 1145.45 | 11992.86 |
| 16 - 15 | 366 | 366 | 3.02 | 11.23 | 154.69 | 11.46 | 10.25 | 1168.55 | 11977.64 |
| 15 - 14 | 288 | 288 | 3.05 | 10.88 | 150.03 | 11.11 | 10.02 | 1191.88 | 11942.64 |
| 14 - 13 | 167 | 167 | 3.09 | 10.52 | 145.13 | 10.75 | 9.76 | 1223.35 | 11939.90 |
| 13 - 12 | 152 | 152 | 3.13 | 10.14 | 139.98 | 10.37 | 9.49 | 1255.23 | 11912.13 |
| 12 - 11 | 136 | 136 | 3.18 | 9.74 | 134.54 | 9.97 | 9.19 | 1295.65 | 11907.02 |
| 11 - 10 | 121 | 121 | 3.24 | 9.32 | 128.78 | 9.54 | 8.86 | 1345.01 | 11916.79 |
| 10 - 9 | 159 | 159 | 3.30 | 8.87 | 122.64 | 9.08 | 8.50 | 1395.28 | 11859.58 |
| 9 - 8 | 121 | 121 | 3.38 | 8.39 | 116.06 | 8.60 | 8.11 | 1463.75 | 11871.01 |
| 8 - 7 | 91 | 91 | 3.47 | 7.87 | 108.98 | 8.07 | 7.66 | 1542.74 | 11817.39 |
| 7 - 6 | 91 | 91 | 3.59 | 7.31 | 101.28 | 7.50 | 7.17 | 1651.29 | 11839.75 |
| 6 - 5 | 182 | 182 | 3.73 | 6.69 | 92.81 | 6.87 | 6.62 | 1782.59 | 11800.75 |
| 5 - 4 | 174 | 174 | 3.92 | 6.00 | 83.32 | 6.17 | 5.99 | 1968.82 | 11793.23 |

| RAYO 18 | | | | | | | | | |
|----------|---------------|------------|------------|-------------|-----------|-----------|--------------|-------------------|------------|
| ISOBATA | DIST. ISOBATA | COTANGENTE | ALTURA OLA | ANG. CRESTA | LONG. OLA | CELERIDAD | VELOC. GRUPO | ENERGIA | FUERZA OLA |
| | m | | m | grados | m | m/s | m/s | Nm/m ² | Nm/m |
| 200 | | | 3.07 | 21 | 284.55 | 21.08 | 10.54 | 1207.57 | 12727.79 |
| 200 - 20 | 272 | 272 | 2.90 | 12.75 | 175.12 | 12.97 | 11.18 | 1077.53 | 12046.79 |
| 20 - 19 | 272 | 272 | 2.92 | 12.47 | 171.36 | 12.69 | 11.02 | 1092.45 | 12038.80 |
| 19 - 18 | 568 | 568 | 2.94 | 12.18 | 167.46 | 12.40 | 10.85 | 1107.46 | 12015.94 |
| 18 - 17 | 333 | 333 | 2.96 | 11.87 | 163.39 | 12.10 | 10.67 | 1122.58 | 11977.63 |
| 17 - 16 | 682 | 682 | 2.99 | 11.56 | 159.13 | 11.79 | 10.47 | 1145.45 | 11992.86 |
| 16 - 15 | 394 | 394 | 3.02 | 11.23 | 154.69 | 11.46 | 10.25 | 1168.55 | 11977.64 |
| 15 - 14 | 364 | 364 | 3.05 | 10.88 | 150.03 | 11.11 | 10.02 | 1191.88 | 11942.64 |
| 14 - 13 | 167 | 167 | 3.09 | 10.52 | 145.13 | 10.75 | 9.76 | 1223.35 | 11939.90 |
| 13 - 12 | 136 | 136 | 3.13 | 10.14 | 139.98 | 10.37 | 9.49 | 1255.23 | 11912.13 |
| 12 - 11 | 152 | 152 | 3.18 | 9.74 | 134.54 | 9.97 | 9.19 | 1295.65 | 11907.02 |
| 11 - 10 | 152 | 152 | 3.24 | 9.32 | 128.78 | 9.54 | 8.86 | 1345.01 | 11916.79 |
| 10 - 9 | 114 | 114 | 3.30 | 8.87 | 122.64 | 9.08 | 8.50 | 1395.28 | 11859.88 |
| 9 - 8 | 152 | 152 | 3.38 | 8.39 | 116.06 | 8.60 | 8.11 | 1463.75 | 11871.01 |
| 8 - 7 | 129 | 129 | 3.47 | 7.87 | 108.98 | 8.07 | 7.66 | 1542.74 | 11817.39 |
| 7 - 6 | 68 | 68 | 3.59 | 7.31 | 101.28 | 7.50 | 7.17 | 1651.29 | 11839.75 |
| 6 - 5 | 76 | 76 | 3.73 | 6.69 | 92.81 | 6.87 | 6.62 | 1782.59 | 11800.75 |
| 5 - 4 | 76 | 76 | 3.92 | 6.00 | 83.32 | 6.17 | 5.99 | 1968.82 | 11793.23 |

| RAYO 19 | | | | | | | | | |
|---------|---------------|------------|------------|-------------|-----------|-----------|--------------|-------------------|------------|
| ISOBATA | DIST. ISOBATA | COTANGENTE | ALTURA OLA | ANG. CRESTA | LONG. OLA | CELERIDAD | VELOC. GRUPO | ENERGIA | FUERZA OLA |
| | m | | m | grados | m | m/s | m/s | Nm/m ² | Nm/m |
| 200 | | | 3.07 | 21 | 284.55 | 21.08 | 10.54 | 1207.57 | 12729.79 |
| 200 19 | 262.5 | 262.5 | 2.94 | 12.47 | 171.36 | 12.69 | 11.02 | 1107.46 | 12204.21 |
| 19 18 | 262.5 | 262.5 | 2.97 | 12.17 | 167.46 | 12.4 | 10.85 | 1130.18 | 12262.45 |
| 18 17 | 315 | 315 | 2.99 | 11.87 | 163.39 | 12.1 | 10.67 | 1145.45 | 12221.95 |
| 17 16 | 300 | 300 | 3.02 | 11.57 | 159.13 | 11.79 | 10.47 | 1168.55 | 12234.72 |
| 16 15 | 435 | 435 | 3.05 | 11.24 | 154.69 | 11.46 | 10.25 | 1191.88 | 12216.77 |
| 15 14 | 420 | 420 | 3.08 | 10.89 | 150.03 | 11.11 | 10.02 | 1215.45 | 12178.81 |
| 14 13 | 405 | 405 | 3.12 | 10.53 | 145.13 | 10.75 | 9.76 | 1247.22 | 12172.87 |
| 13 12 | 345 | 345 | 3.16 | 10.45 | 139.98 | 10.37 | 9.49 | 1279.41 | 12141.6 |
| 12 11 | 180 | 180 | 3.21 | 9.75 | 134.54 | 9.97 | 9.19 | 1320.21 | 12132.73 |
| 11 10 | 90 | 90 | 3.27 | 9.33 | 128.78 | 9.54 | 8.86 | 1370.03 | 12138.47 |
| 10 9 | 75 | 75 | 3.33 | 8.87 | 122.64 | 9.08 | 8.5 | 1420.77 | 12076.55 |
| 9 8 | 82.5 | 82.5 | 3.41 | 8.39 | 116.06 | 8.6 | 8.11 | 1489.85 | 12082.68 |
| 8 7 | 60 | 60 | 3.51 | 7.87 | 108.98 | 8.07 | 7.66 | 1578.51 | 12021.39 |
| 7 6 | 112.5 | 112.5 | 3.62 | 7.3 | 101.28 | 7.5 | 7.17 | 1679 | 12038.45 |
| 6 5 | 75 | 75 | 3.77 | 6.68 | 92.81 | 6.87 | 6.62 | 1281.03 | 12055.22 |
| 5 4 | 60 | 60 | 3.96 | 5.99 | 83.32 | 6.17 | 5.99 | 2009.21 | 12035.17 |

| RAYO 20 | | | | | | | | | |
|---------|---------------|------------|------------|-------------|-----------|-----------|--------------|-------------------|------------|
| ISOBATA | DIST. ISOBATA | COTANGENTE | ALTURA OLA | ANG. CRESTA | LONG. OLA | CELERIDAD | VELOC. GRUPO | ENERGIA | FUERZA OLA |
| | m | | m | grados | m | m/s | m/s | Nm/m ² | Nm/m |
| 200 | | | 3.07 | 21 | 284.55 | 21.08 | 10.54 | 1207.57 | 12729.79 |
| 200 18 | 180 | 180 | 2.96 | 12.18 | 167.46 | 12.4 | 10.85 | 1122.58 | 12179.99 |
| 18 17 | 180 | 180 | 2.98 | 11.88 | 163.39 | 12.1 | 10.67 | 1137.8 | 12140.33 |
| 17 16 | 300 | 300 | 3.01 | 11.57 | 159.13 | 11.79 | 10.47 | 1160.83 | 12153.89 |
| 16 15 | 262.5 | 262.5 | 3.04 | 11.24 | 154.69 | 11.46 | 10.25 | 1184.08 | 12136.82 |
| 15 14 | 360 | 360 | 3.07 | 10.89 | 150.03 | 11.11 | 10.02 | 1207.57 | 12099.85 |
| 14 13 | 255 | 255 | 3.11 | 10.53 | 145.13 | 10.75 | 9.76 | 1239.24 | 12094.98 |
| 13 12 | 165 | 165 | 3.15 | 10.15 | 139.98 | 10.37 | 9.49 | 1271.32 | 12064.83 |
| 12 11 | 180 | 180 | 3.2 | 9.75 | 134.54 | 9.97 | 9.19 | 1312 | 12057.28 |
| 11 10 | 75 | 75 | 3.26 | 9.34 | 128.78 | 9.54 | 8.86 | 1361.66 | 12064.31 |
| 10 9 | 90 | 90 | 3.32 | 8.89 | 122.64 | 9.08 | 8.5 | 1412.25 | 12004.13 |
| 9 8 | 60 | 60 | 3.4 | 8.41 | 116.6 | 8.6 | 8.11 | 1481.13 | 12011.96 |
| 8 7 | 195 | 195 | 3.5 | 7.89 | 108.98 | 8.07 | 7.66 | 1569.53 | 12022.6 |
| 7 6 | 75 | 75 | 3.61 | 7.33 | 101.28 | 7.5 | 7.17 | 1669.74 | 11972.04 |
| 6 5 | 315 | 315 | 3.76 | 6.71 | 92.81 | 6.87 | 6.62 | 1811.38 | 11991.34 |
| 5 4 | 45 | 45 | 3.95 | 6.02 | 83.32 | 6.17 | 5.99 | 1999.07 | 11974.43 |

| RAYO 21 | | | | | | | | | |
|---------|---------------|------------|------------|-------------|-----------|-----------|--------------|-------------------|------------|
| ISOBATA | DIST. ISOBATA | COTANGENTE | ALTURA OLA | ANG. CRESTA | LONG. OLA | CELERIDAD | VELOC. GRUPO | ENERGIA | FUERZA OLA |
| | m | | m | grados | m | m/s | m/s | Nm/m ² | Nm/m |
| 200 | | | 3.07 | 21 | 284.55 | 21.08 | 10.54 | 1207.57 | 12729.79 |
| 200 17 | 210 | 210 | 2.98 | 11.88 | 163.39 | 12.1 | 10.67 | 1137.8 | 12140.33 |
| 17 16 | 210 | 210 | 3.01 | 11.56 | 159.13 | 11.79 | 10.47 | 1160.83 | 12153.89 |
| 16 15 | 225 | 225 | 3.04 | 11.24 | 156.69 | 11.46 | 10.25 | 1184.08 | 12136.82 |
| 15 14 | 285 | 285 | 3.07 | 10.89 | 150.03 | 11.11 | 10.02 | 1207.57 | 12099.85 |
| 14 13 | 255 | 255 | 3.11 | 10.53 | 145.13 | 10.75 | 9.76 | 1239.24 | 12094.98 |
| 13 12 | 210 | 210 | 3.15 | 10.15 | 139.98 | 10.37 | 9.49 | 1271.32 | 12064.83 |
| 12 11 | 105 | 105 | 3.2 | 9.75 | 134.54 | 9.97 | 9.19 | 1312 | 12057.28 |
| 11 10 | 150 | 150 | 3.26 | 9.33 | 128.78 | 9.54 | 8.86 | 1361.66 | 12064.31 |
| 10 9 | 120 | 120 | 3.32 | 8.87 | 122.64 | 9.08 | 8.5 | 1412.25 | 12004.13 |
| 9 8 | 60 | 60 | 3.4 | 8.4 | 116.06 | 8.6 | 8.11 | 1481.13 | 12011.96 |
| 8 7 | 60 | 60 | 3.5 | 7.88 | 108.98 | 8.07 | 7.66 | 1569.53 | 12022.6 |
| 7 6 | 45 | 45 | 3.61 | 7.31 | 101.28 | 7.5 | 7.17 | 1669.74 | 11972.04 |
| 6 5 | 90 | 90 | 3.76 | 6.7 | 92.81 | 6.87 | 6.62 | 1811.38 | 11991.34 |
| 5 4 | 45 | 45 | 3.95 | 6.01 | 83.32 | 6.17 | 5.99 | 1999.07 | 11974.43 |

| RAYO 22 | | | | | | | | | |
|---------|---------------|------------|------------|-------------|-----------|-----------|--------------|-------------------|------------|
| ISOBATA | DIST. ISOBATA | COTANGENTE | ALTURA OLA | ANG. CRESTA | LONG. OLA | CELERIDAD | VELOC. GRUPO | ENERGIA | FUERZA OLA |
| | m | | m | grados | m | m/s | m/s | Nm/m ² | Nm/m |
| 200 | | | 3.07 | 21 | 284.55 | 21.08 | 10.54 | 1207.57 | 12729.79 |
| 200 18 | 187.5 | 187.5 | 2.96 | 12.18 | 167.46 | 12.4 | 10.85 | 1122.58 | 12179.99 |
| 18 17 | 187.5 | 187.5 | 2.98 | 11.87 | 163.39 | 12.1 | 10.67 | 1137.8 | 12140.33 |
| 17 16 | 135 | 135 | 3.01 | 11.56 | 159.13 | 11.79 | 10.47 | 1160.83 | 12153.89 |
| 16 15 | 225 | 225 | 3.04 | 11.23 | 154.69 | 11.46 | 10.25 | 1184.08 | 12136.82 |
| 15 14 | 225 | 225 | 3.07 | 10.88 | 150.03 | 11.11 | 10.02 | 1207.57 | 12099.85 |
| 14 13 | 232.5 | 232.5 | 3.11 | 10.52 | 145.13 | 10.75 | 9.76 | 1239.24 | 12094.98 |
| 13 12 | 150 | 150 | 3.15 | 10.14 | 139.98 | 10.37 | 9.49 | 1271.32 | 12064.83 |
| 12 11 | 75 | 75 | 3.2 | 9.74 | 134.54 | 9.97 | 9.19 | 1312 | 12057.28 |
| 11 10 | 90 | 90 | 3.26 | 9.31 | 128.78 | 9.54 | 8.86 | 1361.66 | 12064.31 |
| 10 9 | 120 | 120 | 3.32 | 8.85 | 122.64 | 9.08 | 8.5 | 1412.25 | 12004.13 |
| 9 8 | 60 | 60 | 3.4 | 8.37 | 116.06 | 8.6 | 8.11 | 1481.13 | 12011.96 |
| 8 7 | 30 | 30 | 3.5 | 7.85 | 108.98 | 8.07 | 7.66 | 1569.53 | 12022.6 |
| 7 6 | 45 | 45 | 3.61 | 7.28 | 101.28 | 7.5 | 7.17 | 1669.74 | 11972.04 |
| 6 5 | 30 | 30 | 3.76 | 6.67 | 92.81 | 6.87 | 6.62 | 1811.38 | 11991.34 |
| 5 4 | 75 | 75 | 3.95 | 5.98 | 83.32 | 6.17 | 5.99 | 1999.07 | 11974.43 |