

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

PROPUESTA DE MODIFICACIÓN DE LAS OBRAS EXTERIORES Y AREAS
DE AGUA DEL PUERTO DEL SAUZAL DE RODRÍGUEZ, B.C., PARA
RECIBIR EMBARCACIONES DE ALTURA

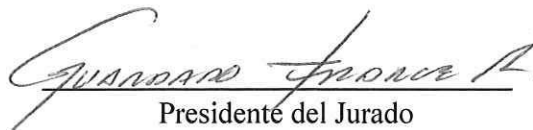
T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
O C E A N O L O G O
PRESENTA
C. EDUARDO ENRIQUEZ GONZALEZ

ENSENADA, BAJA CALIFORNIA, JUNIO DEL 2005.

PROPUESTA DE MODIFICACIÓN DE LAS OBRAS EXTERIORES Y AREAS
DE AGUA DEL PUERTO DEL SAUZAL DE RODRÍGUEZ, B.C., PARA RECIBIR
EMBARCACIONES DE ALTURA

TESIS
QUE PRESENTA
EDUARDO ENRIQUEZ GONZALEZ

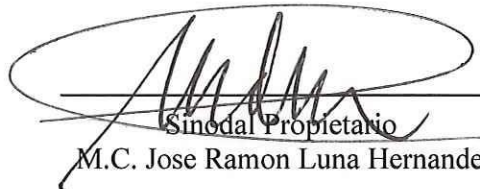
APROBADA POR



Presidente del Jurado
M.C. Rigoberto Guardado France



Sinodal Propietario
Dr. Rafael Hernandez Walls



Sinodal Propietario
M.C. Jose Ramon Luna Hernandez

RESUMEN

El sistema portuario mexicano ha tenido un proceso de restauración, buscando contar con un sistema moderno, eficiente, competitivo y suficiente para apoyar la apertura de la economía (Cuauhtémoc Anda, 1999). La demanda de productos se ha incrementado lo que ha traído consigo la necesidad de aumentar el tamaño de las embarcaciones y por ende algunos puertos han tenido que crecer. El Puerto del Sauzal de Rodríguez B.C., cuyo propósito fue recibir embarcaciones como apoyo al Puerto de Ensenada B.C. tiene hoy en día alta demanda pesquera e industrial por lo que requiere crecer en dimensiones para poder tener mayor competitividad. Este trabajo propone las modificaciones necesarias tanto a las obras exteriores como interiores del Puerto del Sauzal de Rodríguez B.C. para brindar mayor capacidad en el manejo de productos y el ingreso de embarcaciones mayores. Para ello se realizó una revisión de estudios bibliográficos sobre diseño de puertos así como análisis de estadísticas de oleaje presentándose alturas de 1.8 y 5m, direcciones de 300° y 290° y periodos de 11.1 y 14.3 seg para condiciones normales de oleaje y de tormenta respectivamente. Gracias a lo anterior y utilizando la batimetría (escala 1:6756.8) del área marítima del Sauzal que se caracteriza por presentar una pendiente suave, lo que supone una baja energía del oleaje, que aunado a que dicha zona esta protegida por la Isla Todos Santos como por los bajos El Sauzal y San Miguel, resulta ser un lugar idóneo para un desarrollo portuario. Con base en estos estudios se proponen las orientaciones adecuadas de las obras exteriores para lograr la menor perturbación y así evitar la afectación interna del puerto por la acción viento, oleaje, transporte litoral sedimentario y asolvamiento. A la par se realizaron estudios de refracción encontrando que en la punta del rompeolas (el morro) se encontró la altura de ola significativa de 1.342 y 4.549m. con el ángulo de incidencia de 45° y 60°, bajo condiciones normales de oleaje y de tormenta; respectivamente y difracción para condiciones normales y de tormenta. Mientras que para determinar las características y orientación de los canales de navegación y dársenas, se utilizo la guía propuesta por la USACE y PIANC (2000) que consideran el diseño para una embarcación tipo PANAMAX. La propuesta de modificación del puerto presenta un área interna de agua de 1,296,923 m² que permitirá albergar tres embarcaciones de laya antes mencionada y dependiendo la ubicación y diseño del muelle o muelles de atraque puede el puerto albergar hasta cinco embarcaciones de este tipo. El canal de navegación fue diseñado para una sola vía de tráfico con un ancho de 100 m. y la dársena de forma circular con un diámetro de 450m, ambas obras interiores con 18.412 m de profundidad.

AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Ciencias Marinas y a todo el personal que la conforma por haberme abierto los brazos y darme tanto albergue como apoyo y por haber enriquecido mis conocimientos durante mi estancia estudiantil y de egresado.

Al M.C. Rigoberto Gurdado France director de tesis por su apoyo y perseverancia así como su amistad y paciencia durante la realización de la tesis.

A mis sinodales el Dr. Rafael Hernández Walls y al M.C. José Ramón Luna por dedicación y paciencia durante este trabajo.

A mis Papas, hermanos Alfredo y Alicia Enríquez por el apoyo constante que me brindo durante la carrera y toda mi vida así como sus buenos consejos y amistad incondicional. A mi cuñado Daniel Camarillo antes que nada por su amistad y apoyo que junto con mis hermanos y padres forman una parte esencial dentro de mi vida.

A Alejandra Villalobos por ser una persona importante en mi vida que en los últimos años ha compartido parte de su vida conmigo, por su apoyo y paciencia tanto en las buenas como en las malas y al haber aprendido a crecer juntos como amiga y como pareja.

A todos los maestros, compañeros y a cada persona que siempre creyó en mi y que durante la carrera me brindaron su apoyo incondicional y a los que me brindaron esos sabios consejos que me impulsaron a hacer esto posible.

A los Polipos por haberme aguantado durante estos años y los que faltan, comenzando por el terrible seco, homie, jumanji, fox, momo, velo, cerdo, boby, enano, kaboka, ñet, chancro, pelvis, hormiga, los chupis, gina, liz, zaida, geli, a la generación Crudaceos en especial a la familia Chacón y al Gordo Roberto del Castillo, a la generación Orcas en especial a la junta de garañones hiui, pelón, pinki, Isaac y a todos los que se me olviden que saben que siempre estarán dentro de mi corazón y que me brindaron su apoyo y amistad durante la carrera.

.....Muchas Gracias

DEDICATORIA

A mis padres

**Un hombre se forja el camino
Fijándose un punto a donde el quiere llegar
Un hombre es sabio cuando aprende de el y de los demás
Es bueno fijarse un punto pero es mejor saber llegar
Y siempre que se alcance este, otros más vendrán.
Como dicen los montañistas, la cima de una montaña te hace ver a tus
alrededores
Y lo que encuentras son más montañas
Las cuales querrás escalar
Esta vez llegue a la cima de una y observe a mis alrededores
Y me di cuenta que al llegar a la cima de esta montaña
Que como esta hay miles y no hay que conformarnos con subir solo una cima
Sino subir a más para ampliar nuestros horizontes
Ahora estoy en busca de otra montaña al igual que cuando empecé a subir esta
Y estoy seguro que la voy a encontrar y me voy a sentir igual de orgulloso que
ahorita porque la voy a conquistar....**

**Este camino no ha sido fácil pero sin su apoyo y ayuda incondicional hubiera
sido mas difícil, gracias a ustedes por haberme enseñado a siempre seguir
adelante, a querer, a soñar y sobre todo a formar parte de una familia como la
que tengo.**

**Los quiero y les dedico este trabajo a ustedes
Alfredo Enriquez Trejo
M. Guadalupe Gonzalez de Enriquez
Alicia Enriquez G.
Alfredo Enriquez G.**

.....Gracias

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVO	6
3. ANTECEDENTES	6
3.1. Antecedentes Particulares	6
3.2. Antecedentes Generales	8
4. ÁREA DE ESTUDIO	10
4.1. Climatología	10
4.2. Geomorfología	11
4.3. Principales ríos y arroyos cercanos	12
4.4. Batimetría	12
4.5. Ciclo de Mareas	13
5. METODOLOGÍA	14
5.1. Oleaje	14
5.2. Batimetría	15
5.3. Refracción	16
5.4. Orientación y dimensionamiento del rompeolas y espigón	18
5.5. Difracción del Oleaje	18
5.6. Diseño, orientación y profundidad de las áreas de agua	21
5.7. Embarcación de Diseño	22
5.8. Profundidad de los canales	23
5.8.1. Nivel del agua	24
5.8.2. Calado del barco con respecto a la posición estática	25
5.8.3. Movimiento <i>squat</i> de la embarcación	25
5.8.4. Movimiento de la embarcación por oleaje	26
5.8.5. Zona de Protección o Margen de Protección	27
5.9. Ancho del Canal	27
5.10. Dársenas	28
6. RESULTADOS	29
6.1. Oleaje	30
6.2. Batimetría	33
6.3. Refracción del Oleaje	37
6.4. Orientación y dimensionamiento del rompeolas	39
6.5. Difracción del oleaje con respecto al rompeolas	40
6.6. Orientación y dimensionamiento del espigón	45
6.7. Difracción del oleaje con respecto al rompeolas y espigón	46
6.8. Profundidad del canal	51
6.9. Ancho del canal y dimensionamiento de la dársena	52
7. DISCUSIONES	53
8. CONCLUSIONES	60
9. BIBLIOGRAFÍA	61

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1	Figura.1.- Localización del área de estudio.	Pag. 13
Fig. 2	Figura 2.- Vista transversal y longitudinal de una embarcación.	Pag. 22
Fig. 3	Figura 3.- Profundidades que se deben tomar en cuenta para el diseño de un canal.	Pag. 23
Fig. 4	Figura 4.- Direcciones de arribo del oleaje a la Bahía de Todos Santos destacando de manera particular los de la zona del Sauzal de Rodríguez B.C. (Bermúdez, 1999).	Pag. 31
Fig. 5	Figura 5.- Histogramas de frecuencia para las alturas, periodos y direcciones del oleaje (Bermúdez, 1999).	Pag. 32
Fig. 6	Figura 6.- Plano Batimétrico del Sauzal de Rodríguez B.C., que abarca desde Pesquera Zapata a Hotel Las Rosas.	Pag. 33
Fig. 7	Figura 7.- Perfiles de playa en la zona del Sauzal de Rodríguez B.C.	Pag. 34
Fig. 8	Figura 8.- Perfil número 1 localizado al Sur del Puerto del Sauzal de Rodríguez B.C.	Pag. 35
Fig. 9	Figura 9.- Perfil número 2 localizado al Sur del Puerto del Sauzal de Rodríguez que a su vez se encuentra al sur del Perfil número 1.	Pag. 35
Fig. 10	Figura 10.- Perfil número3 localizado al Sur del Puerto del Sauzal de Rodríguez que a su vez se encuentra al sur del Perfil número 1 y 2.	Pag. 36
Fig. 11	Figura 11.- Perfil R frente al rompeolas del Puerto del Sauzal de Rodríguez B.C..	Pag. 36
Fig. 12	Figura 12.- Diagrama de refracción para condiciones normales de oleaje.	Pag. 38
Fig. 13	Figura 13.- Diagrama de refracción para condiciones de oleaje de tormenta.	Pag. 38
Fig. 14	Figura 14.- Orientación y longitud propuesta del rompeolas y el ángulo de incidencia del oleaje al mismo indicando la altura del oleaje para las condiciones normales y de tormenta.	Pag. 39

Fig. 15	Figura 15.- Diagrama y coeficientes de difracción bajo condiciones normales de oleaje en base a la metodología de Wiegel (1962; En: Shore Protection Manual, 1985).	Pag. 41
Fig. 16	Figura 16.- Diagrama de difracción bajo condiciones normales de oleaje y valores de altura de ola ya difractada en base a la metodología de Wiegel (1962; En: Shore Protection Manual, 1985).	Pag. 42
Fig. 17	Figura 17.- Diagrama y coeficientes de difracción bajo condiciones de oleaje de tormenta en base a la metodología de Wiegel (1962; En: Shore Protection Manual, 1985).	Pag. 43
Fig. 18	Figura 18.- Diagrama de difracción, bajo condiciones de oleaje de tormenta, con el valor de la altura de ola ya difractada en base a la metodología de Wiegel (1962; En: Shore Protection Manual, 1985).	Pag. 44
Fig. 19	Figura 19.- Orientación del rompeolas y espigón con la indicación del ángulo de incidencia del oleaje al rompeolas mostrando a su vez las alturas del oleaje para las condiciones de oleaje normales y de tormenta.	Pag. 45
Fig. 20	Figura 20.- Diagrama y coeficientes de difracción en condiciones normales de oleaje en base a la metodología de Johnson (1952; En: Shore Protection Manual, 1985).	Pag. 47
Fig. 21	Figura 21.- Diagrama de difracción con los valores de la altura del oleaje ya difractada bajo condiciones normales de oleaje en base a la metodología de Johnson (1952; En: Shore Protection Manual, 1985).	Pag. 48
Fig. 22	Figura 22.- Diagrama y coeficiente de difracción bajo condiciones de oleaje de tormenta en base a la metodología de Johnson (1952; En: Shore Protection Manual, 1985).	Pag. 49
Fig. 23	Figura 23.- Diagrama de difracción con los valores de la altura del oleaje ya difractada bajo condiciones de oleaje de tormenta en base a la metodología de Johnson (1952; En: Shore Protection Manual, 1985).	Pag. 50
Fig. 24	Figura 24.- Características del canal como las profundidades de diseño.	Pag. 51
Fig. 25	Figura 25.- Características del canal de navegación y de acceso de la propuesta de modificación del Puerto del Sauzal de Rodríguez B.C.	Pag. 52

- Fig. 26 Figura 26.-Dimensiones superficiales de la dársena de la propuesta de modificación del Puerto del Sauzal de Rodríguez B.C. Pag. 53
- Fig. 27 Figura 27.- Propuesta de modificación del Puerto del Sauzal de Rodríguez B.C., donde se muestra el rompeolas, el espigón, el canal de navegación y la dársena, donde D es el diámetro de la dársena, Z la profundidad tanto de la dársena como del canal, y A es el ancho del canal. Pag. 54

LISTA DE TABLAS

Tabla I.-	Tabla I.- Características y dimensiones del Barco Panamax.	Pag. 22
Tabla II.-	Tabla II.- Muestra las profundidades debido al movimiento <i>squat</i> para diferentes condiciones de oleaje.	Pag. 25
Tabla III.-	Tabla III.- Profundidad mínima de seguridad para diferentes tipos de fondo.	Pag. 27
Tabla IV.-	Tabla IV.- Resultados de estadísticas de oleaje para las condiciones normales y de tormenta.	Pag. 30
Tabla V.-	Tabla V.- Pendientes de cada uno de los perfiles realizados como la pendiente promedio para la zona del Sauzal de Rodríguez B.C.	Pag. 37

1. INTRODUCCION.

Un puerto se define como una zona marítimo terrestre que esta protegida de procesos físicos y oceanográficos cuyo propósito es mantener un área de agua tranquilas donde puedan arribar embarcaciones para que puedan realizar maniobras de carga y descarga de mercancías y productos, donde también se le permita el resguardo de las embarcaciones. De manera que un puerto debe ser capaz de proporcionar seguridad en las operaciones como una cantidad de servicios combinados desde el arribo y desembarque hasta el zarpe del mismo.

En los últimos años la demanda de productos se ha incrementado razón por la cual ha habido un aumento en el tamaño de las embarcaciones. Por eso es importante considerar el futuro de los puertos, tanto en su ubicación como en su planeación, para que estos puedan mantener el nivel de servicio que de ellos es demandado. Así, el tamaño de los puertos esta directamente afectado por el tamaño de las embarcaciones, de modo que es necesario observar las características de las embarcaciones que se desean albergar para que los puertos cuenten con las instalaciones necesarias.

Si bien, el ámbito económico es importante para la realización y diseño de un puerto es inminente considerar los factores geológicos, físicos, biológicos, oceanográficos y meteorológicos para el diseño estructural e ingenieril, ya que si un puerto es construido bajo las medidas mínimas que estos requieren no podrían brindar protección y seguridad en la operación de todos los servicios que prestan. Por lo que para el diseño, la orientación y dimensionamiento de las estructuras exteriores de los puertos se debe de considerar la batimetría, estadísticas del oleaje y estudios de refracción y difracción.

De acuerdo a la navegación, existen dos grandes clases de Puertos: (1) los de altura; para embarcaciones en travesía entre puntos nacionales e internacionales, que por lo regular están vinculados con el comercio exterior, y (2) los de cabotaje; para embarcaciones que operan en los litorales, ligados al tráfico interno, es decir al comercio nacional. Sin embargo, por sus instalaciones y servicios los puertos se clasifican en:

- 1.-Comerciales: donde la actividad fundamental es el movimiento de mercancías y el tránsito de pasajeros.
- 2.- Industriales: donde la actividad preponderante es el manejo de productos relacionados con industrias establecidas en la zona del puerto e incluso en ocasiones son terminales pesqueras, vinculadas con la captura y transformación de productos.
- 3.-Turísticos: donde atienden en especial a cruceros recreativos y en marinas a pequeñas embarcaciones como yates y veleros.
- 4.- Mixtos: donde hay una combinación de dos o mas servicios antes mencionados.

En México, por la crisis de los años ochenta, la Marina Mercante tuvo un fuerte rezago en varias de sus áreas fundamentales, donde la calidad y productividad de los servicios fueron inferiores a los estándares internacionales. Debido a esto, el equipamiento de instalaciones portuarias mostraban atrasos importantes, por lo que existía un bajo dinamismo en los volúmenes transportados vía marítima en relación con el tamaño de la economía. Además de que había una gran dispersión de las inversiones en un elevado número de puertos, lo cual se reflejaba en un bajo índice de la utilización de la capacidad instalada, al tiempo que existían puertos cercanos al grado de saturación. Esto llevo a que industriales mexicanos prefirieran utilizar los puertos de Long Beach y Houston y posteriormente trajeran su carga por ferrocarril o autotransporte al país, que utilizar los puertos mexicanos (Rodríguez Ortega y Evelyne Eugenia, en Los Nuevos Puertos Mexicanos, 1999).

Por largo tiempo los Puertos mexicanos habían permanecido en un atraso de los adelantos tecnológicos y del mejoramiento de los métodos operativos. Pero a la luz de la economía y la apertura de mercados, los sistemas de comunicación y los medios de transporte han cobrado mayor relevancia. En los puertos, el manejo de mercancías es parte del desarrollo moderno el cual exige una integración logística y un transporte multimodal funcional que agilicen el intercambio de un país con sus socios del exterior. Por ello en México a partir de 1991 se establecieron las bases para la inversión directa estadounidense y canadiense en instalaciones y servicios portuarios.

Desde 1994 el sistema portuario mexicano ha tenido un profundo proceso de restauración, buscando contar con un sistema moderno y eficiente; competitivo en calidad y precio y suficiente para apoyar la apertura de la economía mexicana (Cuahutemoc Anda, 1999).

Los puertos mexicanos son puntos clave de la actividad comercial con el exterior, ya que a través de ellos transita el 85% del volumen total de exportaciones y el 67% de las importaciones. Diversas e importantes mercancías como productos pétreos, materias primas además de movimiento de pasajeros, requieren de los servicios portuarios.

Una de las estrategias de mercado más importantes dentro del ámbito portuario es la posición geográfica. México se encuentra bien ubicado en relación a otros países del mundo y además ocupa el tercer lugar a nivel mundial en longitud de litorales.

México cuenta con 107 puertos, de los cuales el 45% se encuentran en el litoral del Pacífico y el resto en las costas del Golfo de México y el Caribe; 64 son de altura, 46 tienen actividad pesquera, 38 turística 19 petrolera y 42 comercial. La movilización de carga y pasajeros se lleva a cabo fundamentalmente en 26 Puertos comerciales, turísticos e industriales y 10 terminales especializadas. Por eso es importante tener

puertos con características ideales tanto de abrigo como de maniobra para ser eficientes y competitivos ya que por nuestros puertos circula una cantidad de mercancías de aproximadamente 142 millones de toneladas.

Dentro de nuestro país, el puerto de Ensenada, B.C. es uno de los mas importantes en el Pacífico, y comenzó a operar al comercio oficialmente en 1877. Inicialmente las cargas que se manejaban eran víveres y enseres provenientes del interior del país y algunas importaciones del oriente. Posteriormente en las décadas de los veinte y treinta del siglo pasado se tuvo un flujo de embarcaciones norteamericanas que aprovecharon la cercanía de Ensenada. Así comenzó el desarrollo y crecimiento del puerto, el cual fue considerado como uno de los principales puertos pesqueros entre los años cincuenta y finales de los ochenta; época en la que se dio un auge pesquero. En 1990 se comenzaron a mover contenedores por el puerto y para 1994 el Puerto de Ensenada inicio su modernización adaptándose a los requerimientos del comercio marítimo internacional, conservando el legado de su herencia con múltiple vocación (comercial, pesquero y turístico).

Sin embargo, debido la gran demanda que presenta en los últimos años el Puerto de Ensenada B.C., como también al no poder tener el espacio para el abastecimiento total; ha incrementado su tráfico de embarcaciones, su capacidad en los contenedores, su transporte de carga y descarga; lo que lo a llevado, en su momento, a que haya sido calificado como uno de los primeros en su genero (González V.A., 1992).

Dado lo anterior en la década de los ochenta se construyó el Puerto del Sauzal de Rodríguez B.C., cuyo propósito fue recibir embarcaciones dedicadas a la pesca como apoyo al Puerto de Ensenada ya que el Puerto del Sauzal de Rodríguez B.C. contaba con un frigorífico de 3,000 toneladas.

Gracias a esto, los puertos adyacentes al de Ensenada B.C., tales como el Puerto del Sauzal de Rodríguez B.C. han tratado de incrementar sus dimensiones para así lograr tener un mayor abastecimiento al que presentan actualmente, ya que estos puertos son de gran importancia geográfica y económica por su influencia en el flujo y tráfico de mercancías y productos.

Actualmente el Puerto del Sauzal de Rodríguez B.C. es considerado de servicio pesquero e industrial ya que tiene una terminal de exportación de productos pétreos y una terminal de Cementos Apasco. Además, el Puerto del Sauzal de Rodríguez B.C. manifiesta una tendencia al crecimiento por la gran demanda de los productos pétreos que se tiene en la zona de California EUA. Por lo anterior y considerando que dicha demanda no puede abastecer el Puerto de Ensenada B.C., el Puerto del Sauzal de Rodríguez B.C. requiere incrementar sus dimensiones.

El propósito de este trabajo es proponer con base a los parámetros oceanográficos y meteorológicos las modificaciones pertinentes tanto a las obras exteriores (rompeolas y espigón) como a las interiores (canal de acceso y dársena) para dar una mayor capacidad al Puerto del Sauzal de Rodríguez B.C.

2. OBJETIVO

Realizar una propuesta de rediseño del Puerto del Sauzal de Rodríguez B.C. incluyendo obras de protección exteriores (rompeolas y espigón) e interiores u áreas de agua (canal de acceso, canal de navegación y dársenas), con el fin de permitir el arribo de embarcaciones mayores.

3. ANTECEDENTES.

Existe poca información acerca de la zona del Puerto del Sauzal de Rodríguez B.C., ya que son pocos los estudios y a su vez no todos los estudios han sido reportados. No obstante se realizó tanto un análisis bibliográfico como una serie de encuestas con personal que labora actualmente en el Puerto con el fin de recopilar la mayor cantidad de información. Los datos, estudios e información obtenida fue la siguiente:

3.1. Antecedentes Particulares

El Puerto del Sauzal de Rodríguez B.C. localizado en la parte norte de la Península de Baja California México, fue diseñado y construido en 1980, durante la Administración del Lic. José López Portillo para servir como un Puerto Pesquero (Roberto Bustamante en El desarrollo costero de México, 1833).

Catastro de Infraestructura portuaria e Industrial Pesquera (1988) describe al Puerto del Sauzal de Rodríguez B.C., con rompeolas y espigon como obras exteriores, para actividades pesqueras e industriales, ya que este ultimo servicio presenta una terminal para la exportación de material pétreo.

Guardado France (1990) menciona que el Sauzal de Rodríguez B.C. contaba hasta antes de 1982 con tan solo un atracadero para las embarcaciones pero que a partir del desarrollo del Puerto se han venido suscitando una serie de problemas en la franja costera, específicamente al extremo sur de dicho poblado, en los cuales se reflejan un retroceso de la línea de costa que ha impulsado el desarrollo de obras de protección. Además el mismo autor establece una razón promedio de retroceso de la línea de costa de 2m por año de 1959 a 1985, y encontrando una razón máxima de 3m por año. Asimismo menciona que el problema de retroceso en la zona se ve agudizado por el efecto de la infraestructura portuaria del Sauzal de Rodríguez.

Medina Enríquez (1993) analizó el efecto erosivo de las obras exteriores del Puerto del Sauzal de Rodríguez B.C. en los cantiles de la zona y concluye que la difracción del oleaje ocasionada por el rompeolas incide directamente sobre los cantiles, acelerando su proceso erosivo.

López Luna (1990) estudió la corriente superficial detrás de la rompiente en las playas del Sauzal y Pesquera Zapata, por medio de la utilización de rodamina, y concluyó que dicha corriente tiene un desplazamiento de Noroeste a Sureste.

Espinoza Díaz (1990) encontró que una isobata de 20m de forma circular que se encuentra frente a Punta El Sauzal, junto con el contorno batimétrico de los 10m, cambia la trayectoria de las ortogonales hacia la costa.

Así mismo existen varios estudios de la Bahía de Todos Santos los cuales presentan a su vez características relacionadas a esta zona del Sauzal y nos pueden servir como referencia dentro de los cuales encontramos los siguientes:

3.2. Antecedentes Generales.

Cruz Colin y Cupul Magaña (1997) realizaron un estudio sobre el balance sedimentario en la Bahía de Todos Santos B.C. donde reportan una razón de retroceso de 0.97m /año, siendo los cantiles en la zona de San Miguel y parte del Sauzal con más alta razón de retroceso en la Bahía de Todos Santos.

González Villagran (1992) propuso las variables (topográficas, batimétricas, oceanográficas y meteorológicas) involucradas en la planeación, diseño y construcción del Puerto de Ensenada y concluyó que debido al comportamiento de los fenómenos oceanográficos que gobiernan en la Bahía estos presentan diferentes intensidades, las cuales son: alta en condiciones de invierno y baja en condiciones de verano. Por lo que recomienda que para una mejor funcionalidad del puerto es necesario tomar en cuenta periodos más largos de información, destacando principalmente la altura significativa y el periodo bajo condiciones de tormenta.

Aranda Manteca (1983) determinó la dirección de la corriente litoral en la Bahía de Todos Santos, con minerales pesados como trazadores de la corriente efectuando un patrón detallado de donde concluye que para la zona del Sauzal la corriente va en dirección Sureste.

Baca (1981) en base a parámetros texturales, indicó que en el Sur de la Bahía; es decir en la zona de Punta Banda la corriente litoral es hacia el Norte de la Bahía, mientras que en el Noroeste de la Bahía; es decir en la zona de Punta San Miguel es hacia el Sur.

Ramos Olvera (1993) afirma que en la zona de El Sauzal de Rodríguez B.C. se presentan una serie de cantiles que se encuentran en estado activo, lo que representa una continua erosión y aporte de material sedimentario al sistema litoral.

O'Brien y Zeervaert (1968) y González (1980), utilizaron datos de dirección y periodo del oleaje para realizar diagramas de refracción a partir de observaciones realizadas desde embarcaciones; siendo los primeros quienes elaboraron diagramas de refracción en el intervalo de direcciones de 237° a 305° para periodos de 5, 8 y 15 segundos.

Padilla Hernández (1993) realizó un trabajo en la zona de Rosarito B.C., en el que estudia la potencia y dirección del oleaje en la costa Noroeste de la Península de Baja California, donde las direcciones de arribo se alternan entre Suroeste y Noroeste. No obstante, encontró que el oleaje más energético proviene del Noroeste.

Ulloa Torres (1989) menciona que la Bahía de Ensenada B.C. presenta una zona de refracción intensa en la región somera ubicada entre las islas de Todos Santos y punta San Miguel y dentro de los principales rasgos batimétricos que modifican las trayectorias de las ortogonales en esta zona son: el bajo San Miguel y el bajo ubicado frente a Punta El Sauzal.

Miranda-Vera (1985) reportó que el oleaje que se presenta, en orden de frecuencia dentro de la Bahía, proviene principalmente del Noroeste y del Oeste, cuya altura significativa es del orden de 3.0m y la altura media de 1.8m.

El Centro de Investigación y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) basados en las tablas de predicción de mareas publicadas por el Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), obtuvo los planos de mareas para Ensenada, donde la marea pleamar máxima registrada es de 1.47m mientras que la mínima registrada es de -2.902m.

Plaza Flores (1979) realizó un estudio de cambios geomorfológicos en la playa de San Miguel donde describió la máxima elevación del mar de 2.60m para la Bahía de Todos Santos B.C.

4. AREA DE ESTUDIO.

El poblado de El Sauzal de Rodríguez esta aproximadamente a 10 Km. al norte de la ciudad y Puerto de Ensenada B.C. y esta localizado entre los $31^{\circ}53'25''$ y $31^{\circ}53'4''$ de latitud Norte y los $116^{\circ}32'39''$ y $116^{\circ}41'27''$ de longitud Oeste (Figura 1).

El Puerto del Sauzal de Rodríguez B.C. cuenta con un rompeolas y un espigón de enrocamiento. El rompeolas es paralelo a la línea de costa en dirección suroeste con una longitud de 624m. El espigón en forma de "L" contra asolves, normal a la línea de costa en dirección suroeste, presenta una longitud de 440m. En cuanto a las obras interiores del puerto, estas están constituidas por áreas marítimas en las que se encuentran el canal de acceso y la dársena, el canal de acceso tiene una longitud de 240m, un ancho de plantilla de 70m y una profundidad útil de 5m, la dársena tiene una extensión total de 6.7 hectáreas y una profundidad útil del área en operación de 5m.

Las características predominantes de esta zona son las siguientes:

4.1. Climatología.

El área se encuentra dentro de la zona templada mediterránea del Pacífico Norte y bajo la influencia del anticiclónico del Pacífico Septentrional, por lo que esta sometida a la acción de los vientos del Oeste – Noroeste de las latitudes medias. De acuerdo a la clasificación de Copen el clima predominante es árido – templado.

La temperatura media anual del ambiente en la Bahía de Ensenada es de 16.6°C, mientras que las temperaturas promedio anuales fluctúan entre los 11°C y los 21°C (González, 1992). De acuerdo a la INEGI (1984) la isoterma media anual para la región es de 16°C.

El régimen de lluvias es invernal con un promedio anual de 300mm, presentándose la mayor cantidad de lluvias en diciembre y enero. La precipitación media mensual es de 20 a 25 mm en todo el Estado (INEGI, 1984).

4.2. Geomorfología.

La zona del Sauzal esta asentada sobre terrazas de origen marino, constituidas por depósitos sedimentarios Post – Batolíticos del Cuaternario (Gastil, 1971 en: Ramos–Olvera, 1993). Además presenta playas angostas (entre 2 y 4 m en marea baja), con material que pueden ser clastos desde 0.1 m hasta 1.2 m, aunque se encuentran zonados, bien clasificados según sea el caso y bien redondeados en general (Ramos –Olvera, 1993).

De manera que la zona del Sauzal se encuentra asentada sobre roca sedimentaria del Cenozoico Cuaternario constituida por una intercalación de arenas y gravas depositadas en un ambiente continental. Las arenas son de grano medio a grueso y su grado de redondez va de subangulado a subredondeado, localmente presentan estratificación cruzada. Las gravas son polimícticas y su grado de redondez es variable; el tamaño varía de guijarros a guijones. Las características que presenta esta unidad permite la obtención de materiales para la construcción (arena- grava).

Al norte y al sur del área del Sauzal se encuentra una unidad de rocas sedimentarias del Mesozoico Cretácico superior. Esta unidad esta constituida por areniscas depositadas en un ambiente marino; sus componentes terrígenos son de grano

medio, principalmente consiste en cuarzo, feldespato, micas y fragmentos de rocas. Estos sedimentos se depositaron en ambientes que variaban de continentales, plataforma y talud con líneas de costa fluctuantes, que fueron aportados por la erosión de rocas intrusivas, sedimentarias y metamórficas, y su área de afloramiento se localiza en el margen costero del Océano- Pacífico. En esta zona se presentan derrumbes y deslizamientos de cantiles, debido a la presencia de procesos marinos y sub-aéreos y la combinación de ambos, así como por la homogeneidad litológica (Ramos-Olvera, 1993).

4.3. Principales ríos y arroyos cercanos.

Existe al norte de la zona de estudio, corrientes intermitentes que desembocan hacia el mar como los arroyos San Miguel y Santa Anita. Se estima que el volumen anual de escorrentía es de 0 a 15 mm (0 – 5 %) (Secretaría de Programación y Presupuesto-INEGI, 1980), y cabe destacar que el arroyo Santa Anita, conocido también como el Arroyo El Sauzal, desemboca directamente en la dársena del Puerto del Sauzal de Rodríguez B.C..

4.4. Batimetría.

En general el 75% de la Bahía de Todos Santos B. C. presenta una profundidad menor a los 50 m y el 25% restante forma parte de un cañón submarino entre Punta Banda y las Islas de Todos Santos B.C. donde se presentan profundidades mayores a los 300m. La bahía presenta dos entradas, una por la parte norte con profundidades menores a los 50 m entre Punta San Miguel y las Islas Todos Santos B. C. y otra por la parte sur entre la Isla grande y Punta Banda. A partir de la isobata de los 56.73m de profundidad la batimetría presenta un cambio marcado y significativo, convirtiéndose en un acantilado cuyas isobatas presentan forma de abanico, alcanzando profundidades

mayores de 350m. Esta zona se localiza a 14.7 Km. de distancia al suroeste del puerto de El Sauzal (Secretaria de Marina, 1964). La batimetría frente al Puerto del Sauzal de Rodríguez B.C. se caracteriza por una pendiente suave con profundidades de 10 a 30 m dirección mar adentro con una distancia aproximada de 3 Km.

El Puerto El Sauzal presenta de forma general profundidades de hasta 6m en el canal de acceso y las menores profundidades se presentan en las áreas marginales del Puerto.

4.5. Ciclo de mareas.

La marea en esta zona es de tipo mixto con un rango medio de 1.601m, siendo el nivel máximo alcanzado de 1.433m y el mínimo de 1.493m, ambos con respecto al nivel medio del mar (González, 1992).

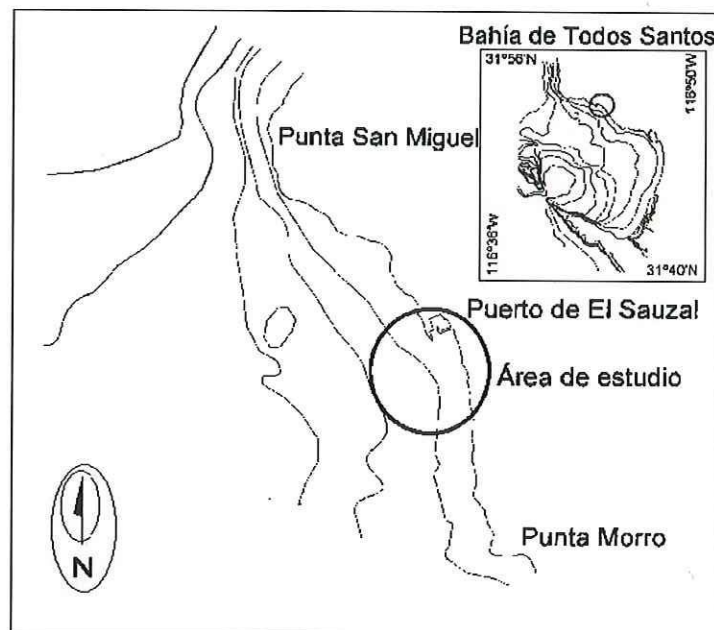


Figura.1.- Localización del área de estudio.

5. METODOLOGIA.

Se realizó una revisión de estudios y análisis de datos y metodologías que deben de ser consideradas para este estudio para que a partir de estas se pueda tanto ver y prever el funcionamiento eficaz como para comprobar que dicho diseño sea funcional. La información recopilada que se analizó para el diseño de un puerto fue la siguiente:

5.1. Oleaje.

Uno de los factores mas importantes para el diseño de estructuras marítimas que se utilizan en la zona costera es el oleaje.

Los valores estadísticos del oleaje empleados fueron proporcionados por el National Data Buoy Center (NDBC) a través del Coastal Data Information Program (CDIP). Dicho programa se compone de una red de boyas superficiales ancladas en la costa Oeste del Pacífico Norte. De estas boyas se emplearon los datos que corresponden a la boya número 46024, que opera desde 1987 en la Bahía de Monterey. EUA, que se encuentra ubicada a los $36^{\circ} 45'1''$ de latitud Norte y a los $122^{\circ} 24'27''$ de longitud Oeste; donde existe una profundidad de 1920.2m.

Los datos que se utilizaron de la boya, para aguas profundas, son registrados cada 20 minutos y comprenden de enero de 1992 a noviembre de 1997 (Bermúdez, 1999), y son:

Altura significativa (H_s)

Periodo promedio (T_p)

Dirección promedio del oleaje. (D_p)

Los datos obtenidos se trasladaron a aguas profundas fuera de la Bahía Todos Santos para efecto de llevar acabo la refracción bajo condiciones normales y de tormenta.

5.2. Batimetría.

La batimetría del área de estudio se realizó con el Ecosonda Garmin modelo GPSMAP168 Sounder, y las mediciones, a partir de la isobata de los 20m, se tomaron a cada metro en dirección a la costa. Cada punto medido fue posicionado con el GPS del ecosonda, el cuál ubica los puntos en coordenadas geográficas.

Los datos registrados por la ecosonda fueron procesados en el programa Excel versión 2000 donde se cambiaron las coordenadas geográficas (latitud y longitud en grados) a coordenadas UTM (latitud y longitud en metros), y a su vez, se llevó a cabo la corrección por marea con respecto al Nivel Medio del Mar (NMM) para el día y hora en que se efectuaron la toma de datos.

Los datos registrados y procesados se graficaron con el programa Surfer 7.0. para obtener un mapa con isobatas. Este mapa se sobrepuso a una fotografía aérea georeferenciada con el fin de trabajar las mismas coordenadas Posteriormente se digitalizó la línea de costa, utilizando fotografías aéreas (INEGI, 1993) y el programa AUTOCAD versión 2000.

Así, se obtuvo un plano batimétrico a escala 1:6756.8, con intervalo de 1 m de profundidad entre cada isobata, dicho plano se utilizó para realizar la refracción del oleaje y determinar la orientación de las estructuras externas e internas, como también para obtener la pendiente de la playa en la zona de estudio.

5.3. Refracción.

La refracción se realizó con los datos obtenidos de las estadísticas del oleaje y la batimetría de la zona, utilizando la metodología que se propone en el Shore Protection Manual (1985), la cual esta basada en el método grafico de refracción por batimetría, también conocido como el Método de las ortogonales, donde se aplican los principios de la Ley de Snell.

Para la realización de a refracción, para las dos condiciones de oleaje, primero se calculó la longitud de onda para aguas profundas (1) y la profundidad donde la ola siente fondo (2) a partir de las siguientes formulas:

$$Lo = 1.56 T^2 \quad (1)$$

$$1.56 = \frac{g}{2\Pi}$$

Donde:

Lo = longitud de onda en aguas profundas.

T = periodo.

g = gravedad

y

$$d = \frac{Lo}{2} \quad (2)$$

Donde:

d = profundidad.

Con los datos obtenidos, en el plano batimétrico y con ayuda de la plantilla de refracción (Shore Protection Manual, 1985) se realizó la refracción trazando las ortogonales de aguas profundas hacia aguas someras.

La altura significativa y el ángulo de aproximación del oleaje se calculó a partir de las siguientes formulas:

$$H = \left[\sqrt{\left(\frac{Co}{C}\right)\left(\frac{1}{n}\right)\left(\frac{1}{2}\right)} \right] \left(\sqrt{\frac{bo}{b}} \right) (Ho) \quad (3)$$

Donde:

H = altura de la ola en aguas someras.

Ho = altura de la ola en aguas profundas.

$$\sqrt{\left(\frac{Co}{C}\right)\left(\frac{1}{n}\right)\left(\frac{1}{2}\right)} = Ks = \text{Coeficiente de someramiento.}$$

$$\sqrt{\frac{bo}{b}} = Kr = \text{Coeficiente de refracción.}$$

y

$$\alpha = \text{sen}^{-1} (\text{sen } \alpha_0) \quad (4)$$

α = ángulo de incidencia en aguas someras

α_0 = ángulo de incidencia en aguas profundas.

De manera que con los datos obtenidos se orientaron y dimensionaron las estructuras exteriores de protección; es decir al rompeolas y al espigón.

5.4. Orientación y dimensionamiento del rompeolas y del espigón.

La orientación se propuso considerando el ángulo de incidencia del oleaje bajo las condiciones de tormenta y condiciones normales; proponiendo un área de agua mínima para poder albergar embarcaciones de tercera generación dentro del puerto. Y a su vez utilizando plantillas de difracción del Shore Protection Manual (1985) para poder obtener la mayor área de agua en calma dentro del Puerto.

5.5. Difracción del oleaje.

La difracción del oleaje se realizó para las dos condiciones de oleaje con la información obtenida tanto de la refracción del oleaje como de la orientación y dimensionamiento de las estructuras exteriores, al utilizar la metodología del Shore Protection Manual (1985).

La difracción se realizó por dos métodos. El primer se basa en una estructura de protección permeable empleando los diagramas de Wiegel (1962; En: Shore Protection Manual, 1985). Dichos diagramas están formados por los ángulos de incidencia de oleaje respecto a la punta de la estructura.

Para la realización de la difracción por este método se calculo la longitud de onda para la profundidad donde se encuentra la punta de la estructura a partir de las siguientes formulas:

$$\frac{ds}{Lo} = X \quad (5)$$

Donde:

ds = profundidad donde se encuentra la punta del rompeolas

Lo = longitud de onda en aguas profundas

X = valor de tablas de oleaje del Shore Protection Manual (1985)

y

$$\frac{d}{L} = Y \quad \dots \text{ donde } \quad L = \frac{d}{Y} \quad (6)$$

Donde:

L = longitud de aguas someras

d = profundidad donde se encuentra la punta del rompeolas

Y = valor de tablas de oleaje del Shore Protection Manual (1985) para
calcular L y obtener el valor de la longitud de la ola de aguas someras.

Los datos anteriores se emplearon para escalar la plantilla de difracción a la misma escala del plano batimétrico. Posteriormente se realizó la difracción y así se obtuvo el comportamiento del oleaje después de difractarse con la estructura, la cual redujo su altura en la zona interna de la estructura. De manera que para obtener la altura del oleaje dentro de la estructura se utilizó la siguiente formula:

$$H = k H' \quad (7)$$

Donde:

H = altura de ola difractada

K = coeficiente de difracción

H' = altura de la ola en la punta del rompeolas.

El segundo método se basa en dos estructuras de protección o dos puntas permeables empleando los diagramas de Johnson (1952; En: Shore Protection Manual, 1985). En este método se hace una relación de la longitud de punta a punta de las estructuras entre la longitud de onda para la profundidad donde se encuentra la punta de la estructura de protección, que en este caso es el morro del rompeolas a partir de la siguiente formula:

$$\frac{B}{L} = X \quad (8)$$

Donde:

B = distancia de la punta del rompeolas a la punta del espigon.

L = longitud de onda de la ola de diseño en la punta del rompeolas.

X = valor de diagramas o plantillas de difracción de Johnson (1952; En: Shore Protection Manual, 1985), con la que se lleva a cabo la difracción.

En este método también se tuvo que poner la plantilla a la misma escala que el plano batimétrico.

Una vez realizado el diagrama de difracción y obteniendo tanto el comportamiento de oleaje al difractarse con las dos estructuras como la reducción de su altura, se calcularon las alturas de la ola ya difractada a partir de la siguiente formula:

$$H = k H' \quad (9)$$

Donde:

H = altura de ola difractada

K = coeficiente de difracción

H' = altura de la ola en la punta del rompeolas.

5.6. Diseño, orientación y profundidad de las áreas de agua.

Dentro de las áreas de agua u obras interiores es importante considerar el canal de acceso al puerto, el cual comienza fuera del área de influencia del mismo puerto, es decir en mar abierto.

El canal de navegación comienza en el área donde ya se tiene influencia de las estructura y donde ya es considerada como la zona semi protegida, por lo que dicho canal se interna hasta llegar a las dársenas o a las zonas protegidas donde la acción del viento generador del oleaje no es un factor significativo y permiten realizar las maniobras necesarias.

Las dársenas son la sección del canal de navegación usadas para mover embarcaciones grandes dentro o fuera del atracadero que también son utilizadas para realizar maniobras de las embarcaciones.

5.7. Embarcación de diseño.

Para el diseño y profundidad de las obras internas es importante considerar una embarcación de diseño, en este caso la embarcación utilizada fue el Barco Panamax o también conocido como de Tercera Generación.

La importancia de la embarcación de diseño, como ya se mencionó, es para establecer las dimensiones requeridas de los canales y dársenas (Figura 2). Esta embarcación, tipo Panamax, es una de las convencionales para el diseño de puertos aunque en la actualidad los nuevos puertos tienen las características para poder albergar embarcaciones con dimensiones mayores a la propuesta.

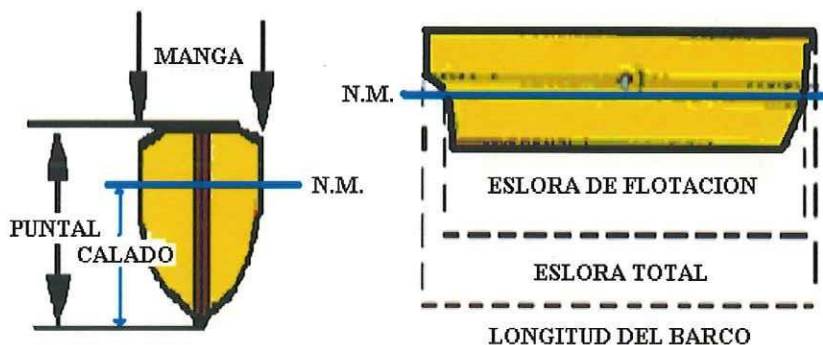


Figura 2.- Vista transversal y longitudinal de una embarcación.

Las características de la embarcación que se requieren para el rediseño de las obras interiores del Puerto del Sauzal de Rodríguez B.C. se presentan en la siguiente tabla.

Tabla I.- Características y dimensiones del Barco Panamax.

Dimensiones del barco	Clasificación	Dimensiones en metros
Manga	T	13
Calado	B	32.25
Longitud	L	250

5.8. Profundidad de los canales.

La profundidad de los canales se determinó de acuerdo a los procedimientos de la USACE y PIANC (2000); ambos procedimientos son similares entre si debido a que toman en cuenta las mismas características como se muestra en la figura 3. Además determinan la profundidad de diseño en base a:



Figura 3.- Profundidades que se deben tomar en cuenta para el diseño de un canal.

Además USACE y PIANC (2000) determinan la profundidad de diseño por:

1. La posición estática del barco con respecto a la vertical
2. La marea alta relativa al dato registrado de la marea para esa zona
3. La corrección por agua dulce la cual en este caso no se va a tomar en cuenta debido a que se realizara únicamente para agua salada o de mar.
4. El movimiento *squat* de la embarcación.
5. El movimiento de la embarcación inducido por el oleaje.
6. La zona de protección o margen de protección.

La profundidad total requerida de los canales esta basada en la adición de todos factores anteriores. Sin embargo ambas organizaciones mencionan que los canales pueden ser dragados a mayores profundidades considerando lo siguiente:

- 7 El mantenimiento de los canales debido a los asolves sedimentarios y
8. El dragado por las irregularidades presentes en el fondo del canal.

Sin embargo, para este trabajo no se tomaron en cuenta estos dos últimos factores, ya que estos solo son considerados cuando el puerto esta operando y este presenta un aporte sedimentario significativo con respecto al tiempo.

5.8.1. Nivel del agua.

El nivel del agua empleado para definir la profundidad de los canales por lo general es el nivel de bajamar inferior, sin embargo, en este caso se realizó con el NMM ya que el puerto podrá recibir embarcación en cualquier horario sin importar que nivel de marea este presente.

5.8.2. Calado del barco con respecto a la posición estática.

El calado del barco de diseño tomando en cuenta la posición estática con respecto a la vertical y a los movimientos generados por la disminución de la velocidad o por factores como el viento y oleaje generan una profundidad que debe tenerse a consideración para el diseño de los canales. La profundidad para el calado del barco Panamax en agua de mar es de 11.6 m (USACE, 2000; En: DNAOEUSNA, 2000).

5.8.3. Movimiento *squat* de la embarcación.

La profundidad adicional del canal para compensar el movimiento *squat* de la embarcación Panamax para tráfico de una vía va de uno a tres pies de profundidad aproximadamente (Huval, 1993; En: DNAOEUSNA, 2000). La guía del PIANC (2000) muestra una tabla donde propone esta profundidad para condiciones de agua en calma, condiciones con oleaje de un metro o menores y para oleaje mayor a un metro, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla II.- Muestra las profundidades debido al movimiento *squat* para diferentes condiciones de oleaje.

Condiciones	Profundidad de la Guía PIANC
Agua en Calma, sin oleaje	1.1 a 1.15 metros
Canal con oleaje de 1 metro o menor	1.3 metros
Canal con oleaje mayor a 1 metro	1.5 metros

En este caso se consideró las condiciones de canal con oleaje mayor a un metro.

5.8.4. Movimiento de la embarcación por oleaje.

Una de las metas para la USACE (2000) es establecer una profundidad del canal de diseño para poder transitar con la mínima probabilidad de tener un contacto con el fondo, ya que el movimiento y maniobrabilidad de las embarcaciones en presencia del oleaje es muy complicado. Por lo que la guía de la USACE (2000) predice las maniobras del barco en presencia de oleaje a partir de la siguiente formula, al considerar:

- Altura del oleaje, periodo del oleaje, longitud del oleaje y la dirección relativa del barco con respecto al frente del oleaje o dirección del oleaje.
- Longitud, ancho y velocidad de la embarcación.
- Balanceo natural de la embarcación, clavado vertical de la embarcación producido por el movimiento y Periodos altos
- Profundidad del canal
- Dirección relativa del barco con respecto a Velocidad de la corriente de los vientos.
- Técnica del Piloto

$$Z_{max} = 1.2 H_s \quad (10)$$

Donde:

Z_{max} = profundidad en la que pudiera tener afectación la embarcación en presencia de oleaje

1.2 = constante adimensional obtenido por los factores antes mencionados

H_s = altura significativa del oleaje

De manera que, la profundidad en la que pudiera tener afectación la embarcación en presencia de oleaje se adicionó a los factores antes mencionados para obtener así la profundidad total del diseño del canal.

5.8.5. Zona de protección o margen de protección.

La zona de protección o margen de protección se determinó al considerar el tipo de fondo que presenta el canal. La PIANC (2000) da recomendaciones para el margen de protección (ver Tabla III).

Tabla III.- Profundidad mínima de seguridad para diferentes tipos de fondo.

Tipo de Fondo	Profundidad Mínima de Seguridad
Lodos	0.09 a 0.33 m
Arenas	0.15 a 0.5 m
Rocoso y Duro	0.33 a 1.0 m

Para este caso se empleó el fondo tipo rocoso y duro ya que el fondo aunque es arenoso, este se vuelve rocoso. Finalmente esta profundidad se contempla junto con las anteriores para determinar la profundidad del canal.

5.9. Ancho del canal.

El diseño del ancho del canal para embarcaciones Panamax fue obtenido de la guía de la PIANC (2000), en la que el ancho de canal, para este tipo de embarcaciones, va de 300 a 500 pies; es decir de 99 a 150 metros cuyas dimensiones son dependientes de las características presentes en la zona.

La guía de la PIANC (2000) recomienda, para este tipo de embarcaciones, tener una anchura del canal de 300 pies; es decir 99 metros. La que se puede estimar para secciones que no presentan curvaturas a partir de la siguiente formula:

$$W = 3.0 B \quad (11)$$

Donde:

W = ancho del canal

3.0 = número adimensional determinado por la PIANC (2000) obtenido para un canal con trafico de una vía y con una corriente opuesta que va de 0 a 0.75 kts.

B = ancho del barco

5.10. Dársenas.

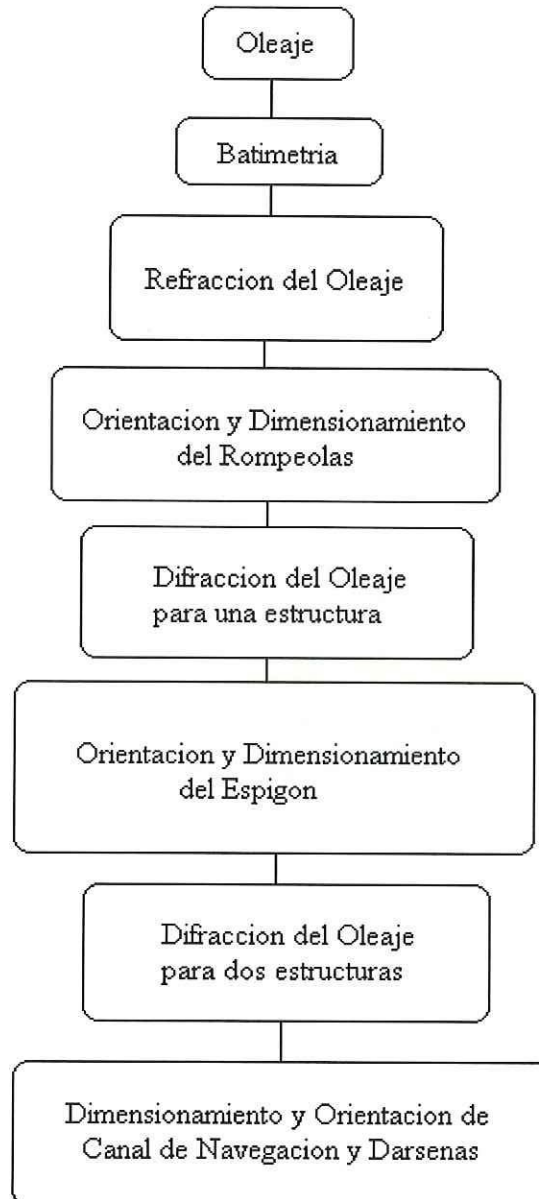
Las dársenas son las zonas de maniobras de las embarcaciones y por lo general se encuentran al final de los canales. En la mayoría de los puertos es donde las embarcaciones pueden ser ayudadas por remolcadores para llevar acabo sus maniobras.

Las dimensiones de las dársenas como los canales de navegación se calculan de acuerdo al tamaño de la embarcación que en este caso, como ya se ha mencionado, es la de tipo Panamax.

La guía de la PIANC propone para el diseño de las dársenas medidas mínimas en su diámetro de 1.5 a 2.0 veces la longitud del barco. Sin embargo, la dimensión de la dársena depende de factores presentes dentro del puerto como por ejemplo del viento y la circulación interna.

6. RESULTADOS.

Con el fin de abordar los resultados de manera práctica, después de haber realizado un análisis preliminar de datos e información bibliográfica para poder obtener todas las herramientas necesarias para poder llevar a cabo este trabajo se generaron los siguientes resultados y se decidió integrarlos de la siguiente manera:



6.1. Oleaje.

Se obtuvo el intervalo del ángulo de arribo del oleaje entre los 240° hasta los 300° azimutales, de las cuales las direcciones de arribo mas predominantes fueron las de 280°, 285°, 290°, 295° y 300° las que se originan en latitudes altas. Además estas se presentan durante todo el año aunque con mayor frecuencia e intensidad en invierno y primavera. En otras palabras el oleaje que llega a la Bahía de Ensenada B.C. proviene del suroeste (SO) y noroeste (NO) creando un abanico de arribo de oleaje como lo muestra la Figura 4.

La altura máxima del oleaje registrada fue de 7.4 m, mientras que la altura mínima registrada fue de 0.4m, siendo la de mayor frecuencia la de 1.8 m de altura. En cuanto al periodo el máximo registrado fue de 20 segundos, mientras que el mínimo registrado fue de 4.8 segundos y siendo el de mayor frecuencia el de 11.1 segundos.

A partir de lo anterior se obtuvieron los resultados de las estadísticas del oleaje para condiciones normales y condiciones de tormenta como se muestra en la siguiente tabla. (Datos obtenidos de Bermúdez, 1999).

Tabla IV.- Resultados de estadísticas de oleaje para las condiciones normales y de tormenta.

Parámetros	Condiciones Normales	Condiciones de tormenta
Dirección del oleaje	300°	290°
Altura significativa del oleaje	1.8 metros	5.0 metros
Periodo	11.1 segundos	14.3 segundos

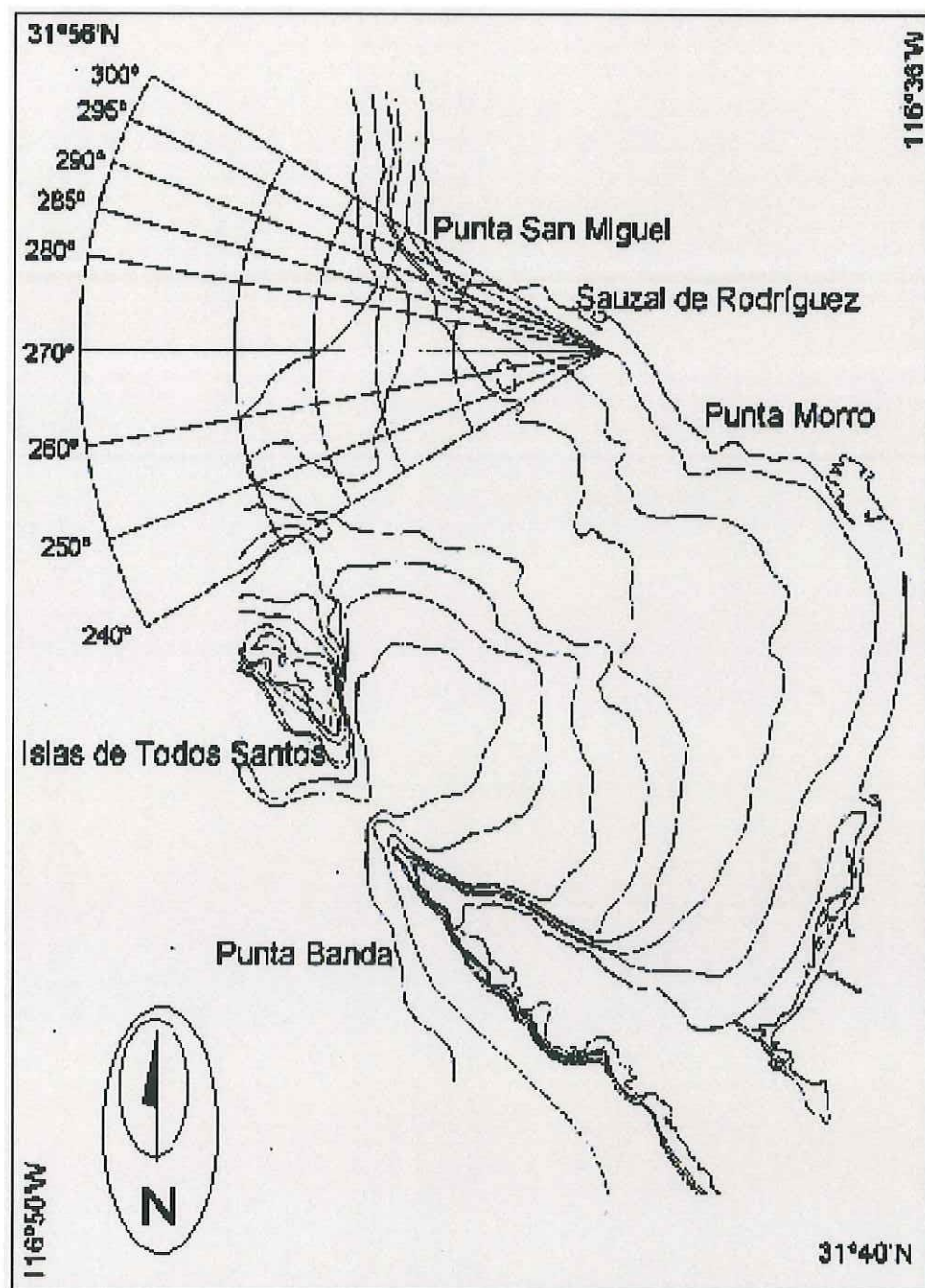


Figura 4.- Direcciones de arribo del oleaje a la Bahía de Todos Santos destacando de manera particular los de la zona del Sauzal de Rodríguez B.C. (Bermúdez, 1999).

En la Figura 5 se muestran los histogramas de frecuencia del periodo, dirección y altura del oleaje (Bermúdez, 1999).

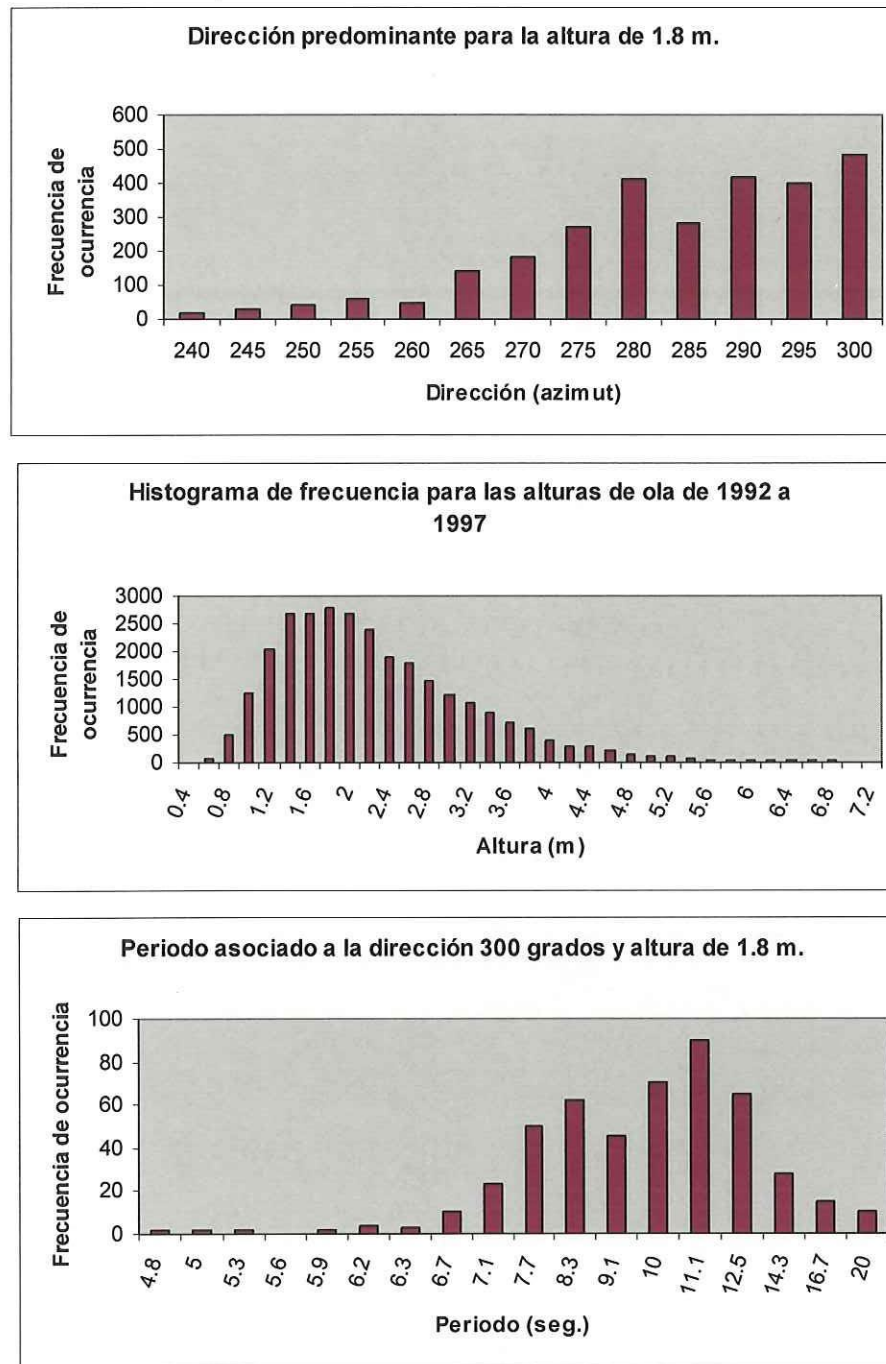


Figura 5.- Histogramas de frecuencia para las alturas, periodos y direcciones del oleaje (Bermúdez, 1999).

6.2. Batimetría.

Se realizó un plano batimétrico, a una escala 1:6756, de la zona de estudio que comprende de la Pesquera Zapata hasta el hotel las rosas, desde la isobata de los 20m hacia la línea de costa (Figura. 6).

De acuerdo al plano batimétrico, la zona representada se caracteriza por una plataforma muy uniforme con pendientes de 1:100, donde no existen bajos, barras o canales, excepto cerca de la entrada al Puerto del Sauzal de Rodríguez B.C., donde se aprecia una lengüeta en forma elíptica entre la isobata de los 7 y 8m (ver figura 6).

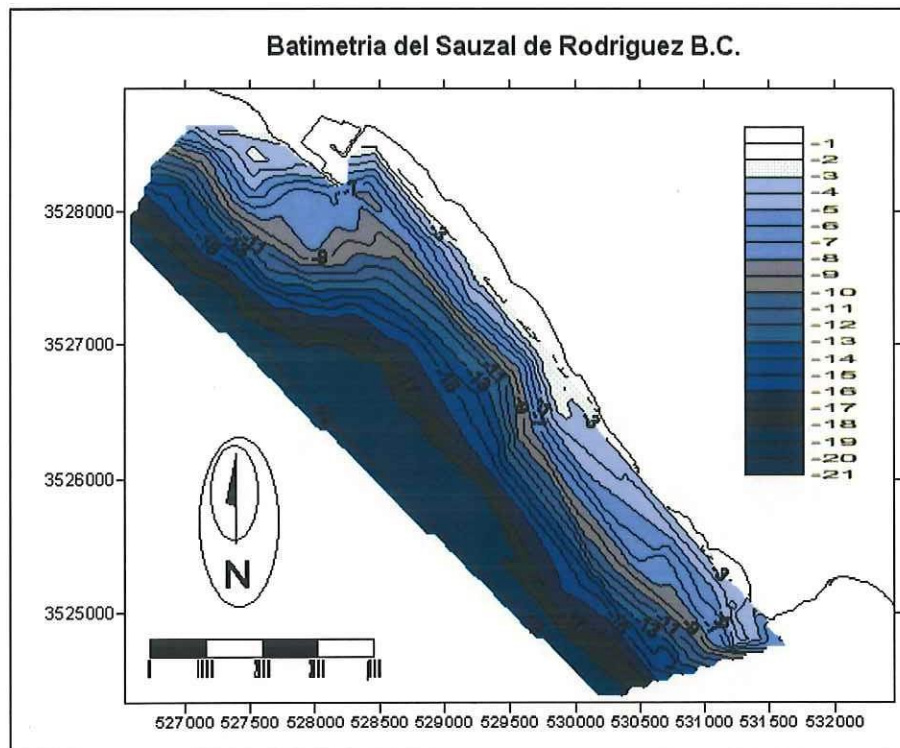


Figura 6.- Plano Batimétrico del Sauzal de Rodríguez B.C., que abarca desde Pesquera Zapata a Hotel Las Rosas.

Con la ayuda del plano batimétrico y a partir del NMM por la presencia de cantiles se realizaron cuatro perfiles de playa, tres al sur del espigón del Puerto del Sauzal de Rodríguez B.C. y uno enfrente al rompeolas del mismo puerto como se muestra en la figura 5, 6, 7, 8 y 9.

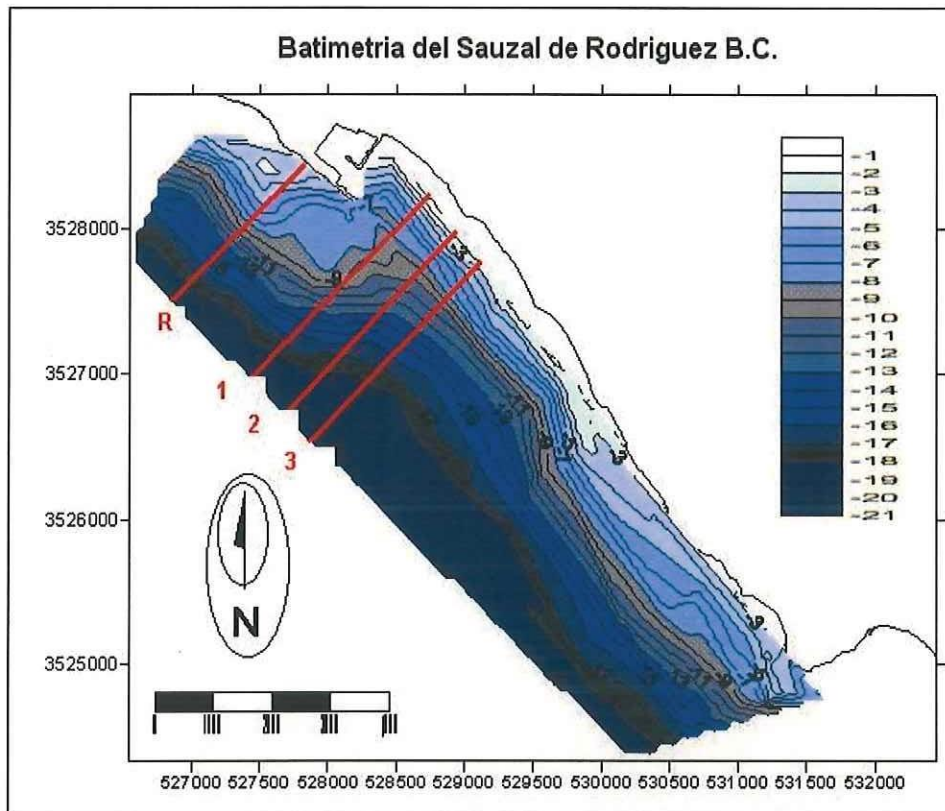


Figura 7.- Perfiles de playa en la zona del Sauzal de Rodríguez B.C.

A partir de cada perfil se obtuvo la pendiente de la costa como se muestra en la siguiente tabla, donde se puede apreciar que mientras nos alejamos del espigón del Puerto del Sauzal de Rodríguez B.C., es decir en los perfil 1 y 3 la pendiente comienza a aumentar gradualmente aunque el cambio no sea significativo ya que la diferencia es de 0.002° del perfil 1 al 2 y de 0.001° del perfil 2 al 3 siendo la diferente total de 0.003° del perfil 1 al 3, lo que no demuestra grandes cambios batimétricos, mientras que el perfil R

presenta la mayor pendiente como se muestra en la tabla V. De manera que en promedio la pendiente de la zona es de 0.01° .

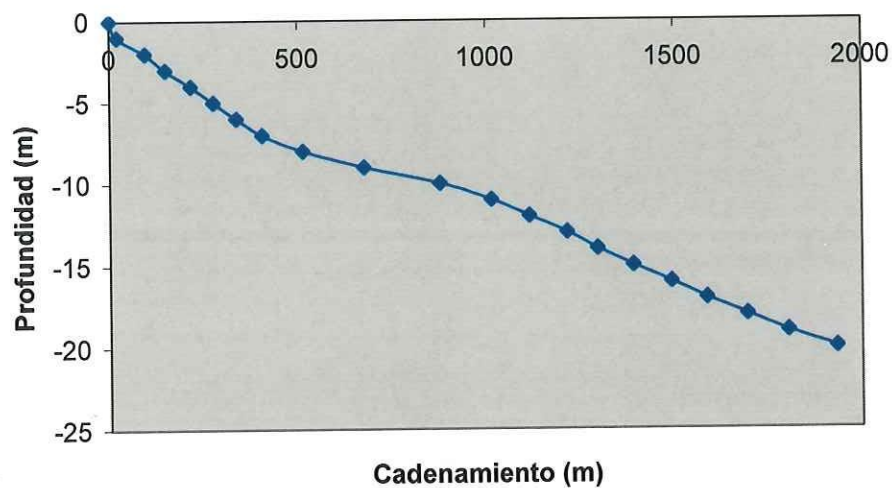


Figura 8.- Perfil número 1 localizado al Sur del Puerto del Sauzal de Rodríguez B.C.

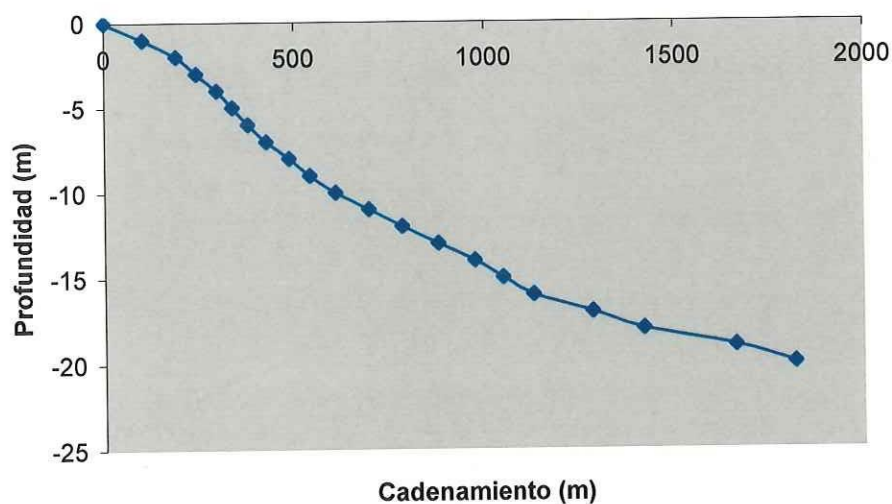


Figura 9.- Perfil número 2 localizado al Sur del Puerto del Sauzal de Rodríguez que a su vez se encuentra al sur del Perfil número 1.

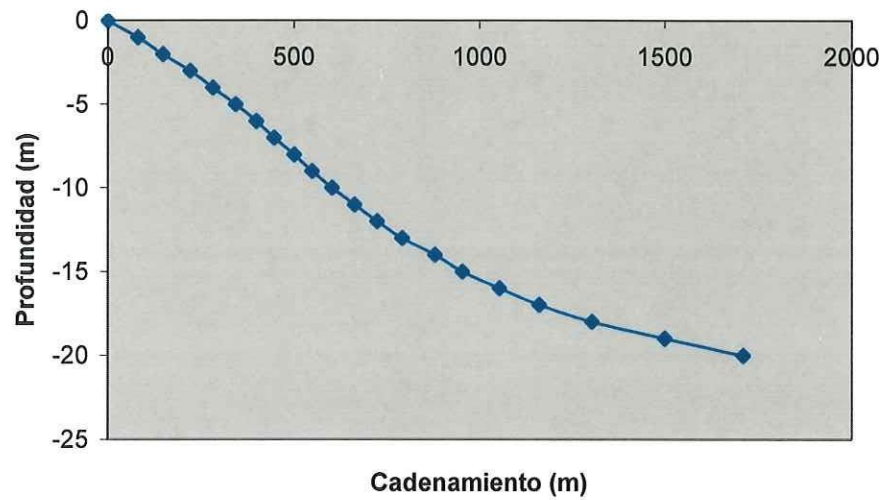


Figura 10.- Perfil número3 localizado al Sur del Puerto del Sauzal de Rodríguez que a su vez se encuentra al sur del Perfil número 1 y 2.

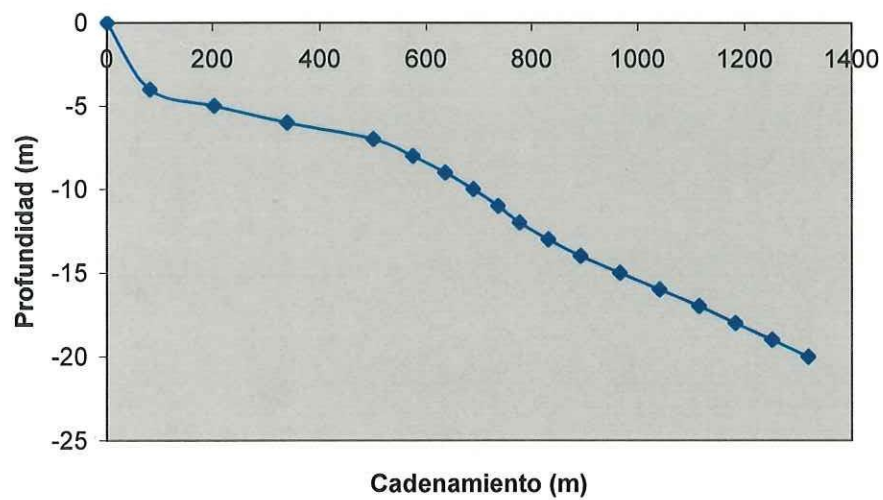


Figura 11.- Perfil R frente al rompeolas del Puerto del Sauzal de Rodríguez B.C..

Tabla V.- Pendientes de cada uno de los perfiles realizados como la pendiente promedio para la zona del Sauzal de Rodríguez B.C.

Perfiles de Playa	Pendientes en Grados
Perfil 1	0.009574°
Perfil 2	0.0117632°
Perfil 3	0.012941134°
Perfil R	0.01423457°
Promedio	0.012128275°

6.3. Refracción del oleaje.

El análisis de refracción para condiciones normales (ver figura 12) se obtuvo a partir de la isobata de 96m, mientras que para las condiciones de tormenta (ver figura 13) se obtuvo a partir de la isobata de 160m. Para lo cual se utilizó el portulano de la Bahía de Ensenada B.C., y posteriormente se trasladó al plano batimétrico de la zona del Sauzal de Rodríguez B.C., ya que a estas profundidades la ola, en condiciones normales y de tormenta, comienza a sentir fondo.

Del análisis de refracción para condiciones de tormenta se obtuvo un ángulo de aproximación de 290° , y una altura y periodo de ola de 5 m y 14.3 segundos, respectivamente y al igual que para las condiciones normales, en las condiciones de tormenta se observó que la altura del oleaje se incrementa frente a Punta San Miguel y decrece conforme se acerca al área del Sauzal, apreciándose como a partir de la isobata de los 30m el frente de ola sufre cambios drásticos que ocasionan que modifiquen su trayectoria y dirección debidos a los efectos batimétricos.

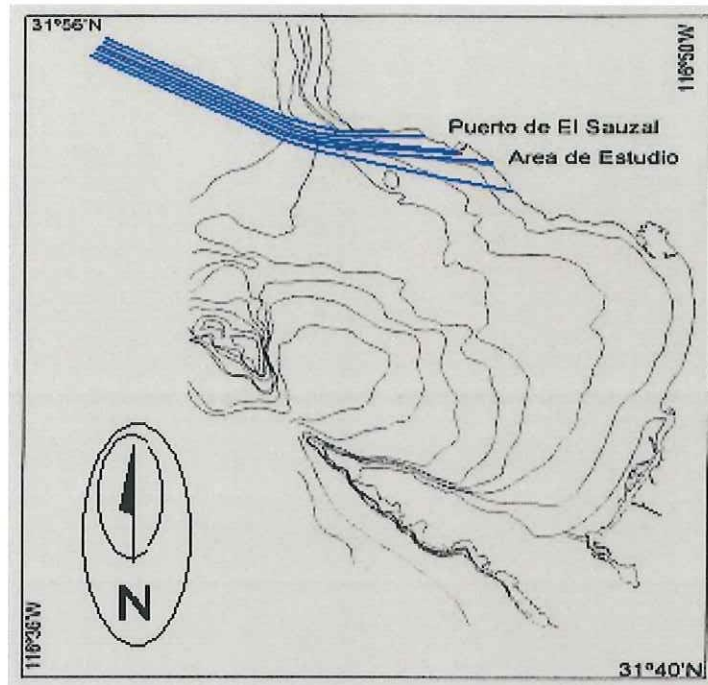


Figura 12.- Diagrama de refracción para condiciones normales de oleaje.

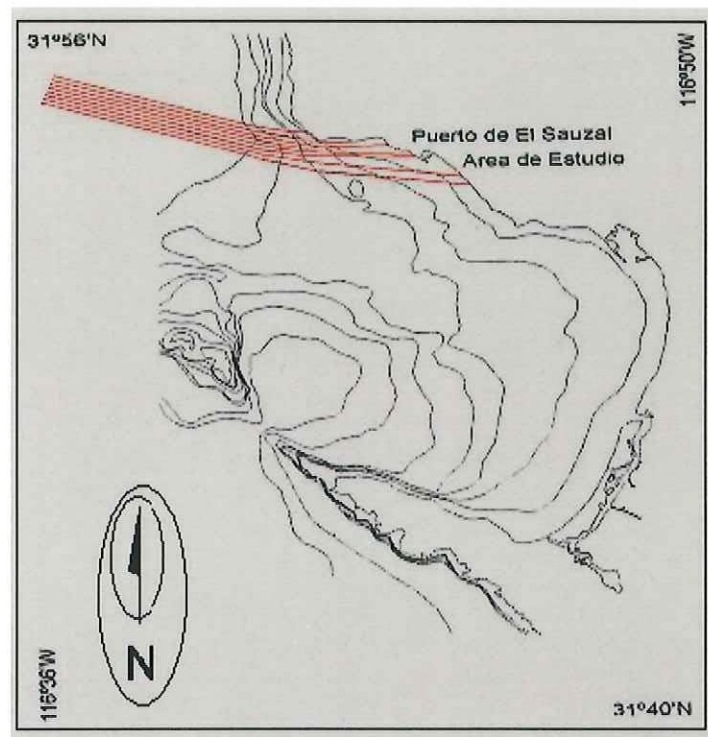


Figura 13.- Diagrama de refracción para condiciones de oleaje de tormenta.

6.4. Orientación y dimensionamiento del rompeolas.

Una vez analizados los diagramas de refracción para las dos condiciones de oleaje se propuso la longitud y orientación del rompeolas, la longitud propuesta es de 1,626m., coincidiendo con la isobata de 20m.

Con base a lo anterior se traslado el oleaje de aguas profundas a aguas someras a la isobata de los 20m en la punta del rompeolas (el morro). Obteniendo para condiciones normales de oleaje una altura de ola $H_s = 1.342\text{m.}$, con un ángulo de incidencia de 45° mientras que para condiciones de tormenta se obtuvo una altura de ola de $H_s = 4.549\text{m.}$, con un ángulo de incidencia de 60° como se observar en la figura 14.

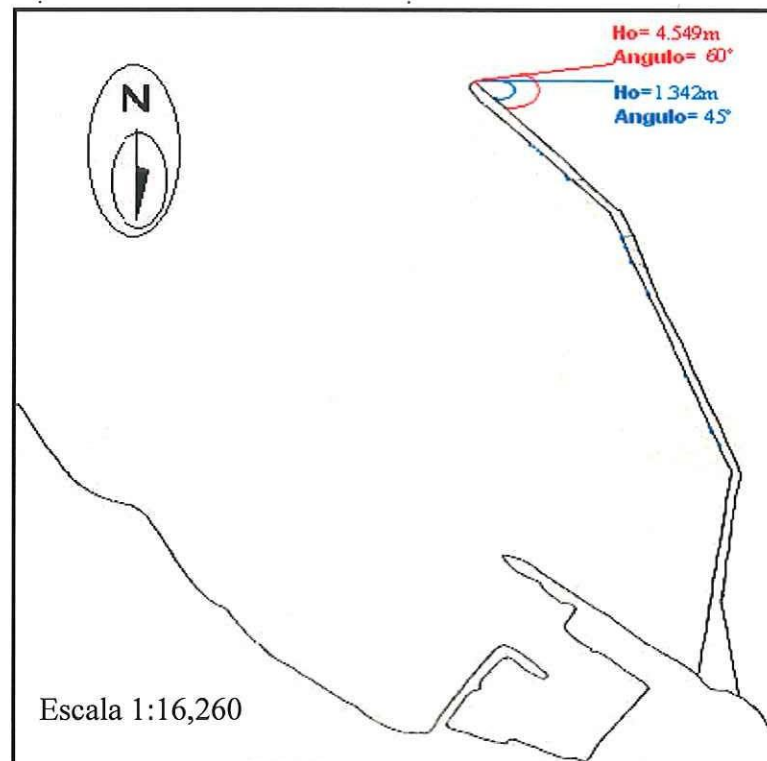


Figura 14.- Orientación y longitud propuesta del rompeolas y el ángulo de incidencia del oleaje al mismo indicando la altura del oleaje para las condiciones normales y de tormenta.

En la figura anterior se observa la orientación y longitud del rompeolas propuesto el cual se definió considerando la altura y el ángulo de incidencia del oleaje con respecto al rompeolas, la batimetría y la dirección de la corriente litoral que de acuerdo a Baca (1981) en esta zona del Noroeste de la Bahía de Todos Santos la corriente va en dirección Sur, es decir se considero lo anterior para tener un área de resguardo donde presente la menor afectación posible de oleaje y transporte sedimentario, y así a partir del, diseño se realizaron los diagramas de difracción para tener una mejor visión del efecto que tendrá el rompeolas con respecto al oleaje.

6.5. Difracción del oleaje con respecto al rompeolas.

El análisis de difracción del oleaje para condiciones normales se presenta en la figura 15, donde se puede apreciar como cambia la trayectoria del frente de ola, en un gradiente de coeficiente de difracción (k) de 1.05 fuera del puerto y de 0.30 y 0.07 en la entrada e interior del puerto, respectivamente. Cabe mencionar que se utilizó para este caso la plantilla de 45° (Wiegel, 1962 en Shore Protection Manual, 1992.).

En la figura 16 podemos observar las alturas de la ola ya difractada, donde la altura de la ola es menor a 1 m. y conforme se va internando en el puerto va decreciendo y modificando su trayectoria hasta llegar a una altura de 0.09m

Para el caso de las condiciones de tormenta se utilizo la plantilla de 60° (Wiegel, 1962 en Shore Protection Manual, 1992.) generando un diagrama y coeficientes de difracción como se muestra en la figura 17.

En esta figura 17 se aprecia como se va modificando la trayectoria del frente de ola en cuanto toca la punta del rompeolas registrándose un coeficiente de difracción (k) de 1.05 y conforme se interna va disminuyendo el coeficiente de difracción (k) a 0.50.

En esta zona la ola no perturbaría la parte interna del puerto, ya que a partir de este punto, la ola va decreciendo gradualmente los coeficientes hasta llegar a la parte mas interna del puerto donde el coeficiente de difracción (k) es 0.07.

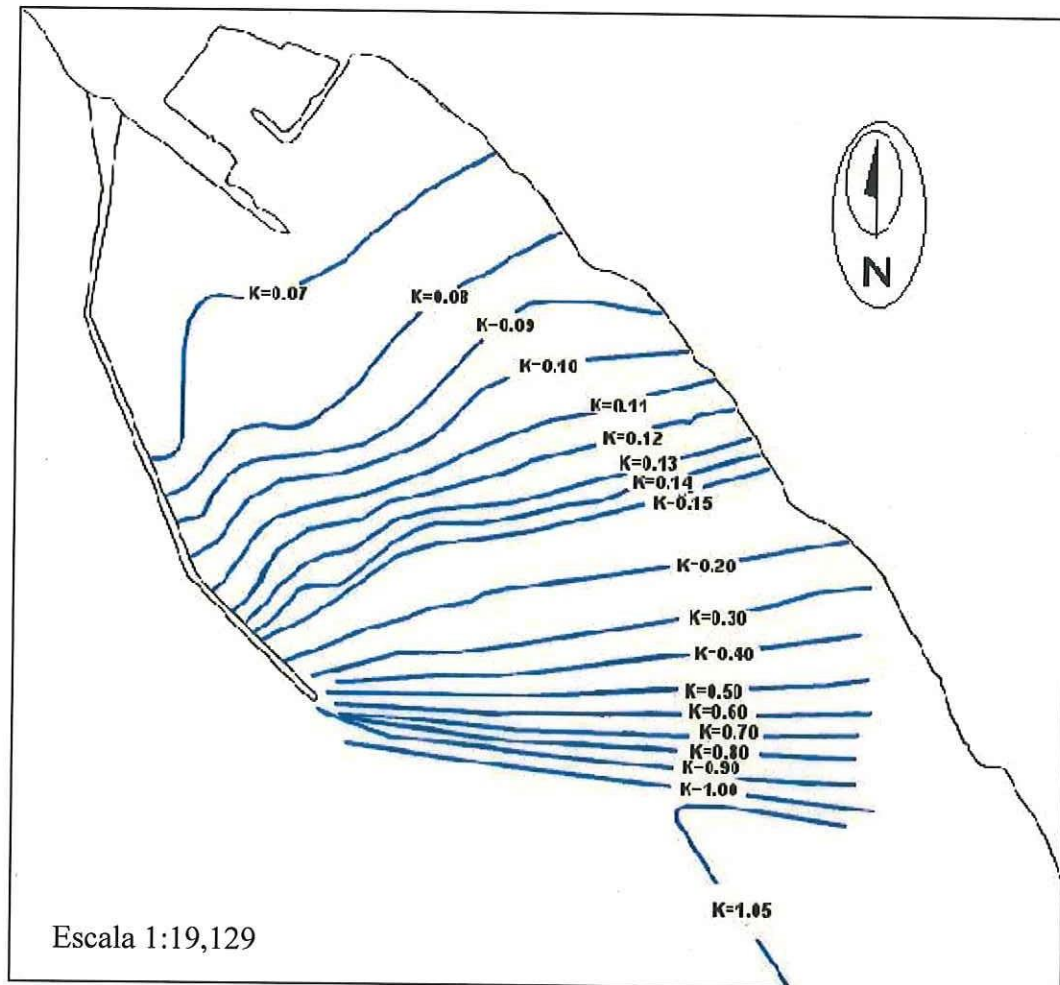


Figura 15.- Diagrama y coeficientes de difracción bajo condiciones normales de oleaje en base a la metodología de Wiegel (1962; En: Shore Protection Manual, 1985).

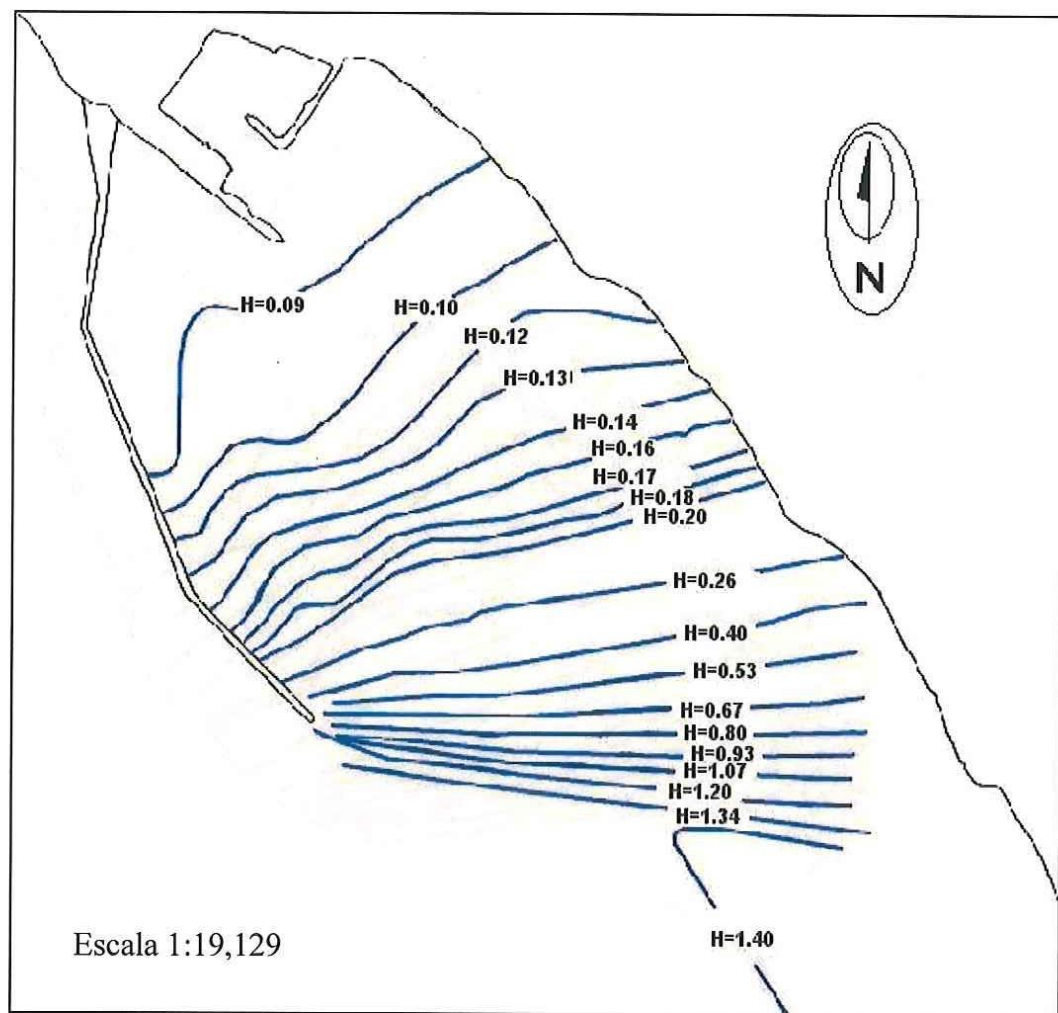


Figura 16.- Diagrama de difracción bajo condiciones normales de oleaje y valores de altura de ola ya difractada en base a la metodología de Wiegel (1962; En: Shore Protection Manual, 1985).

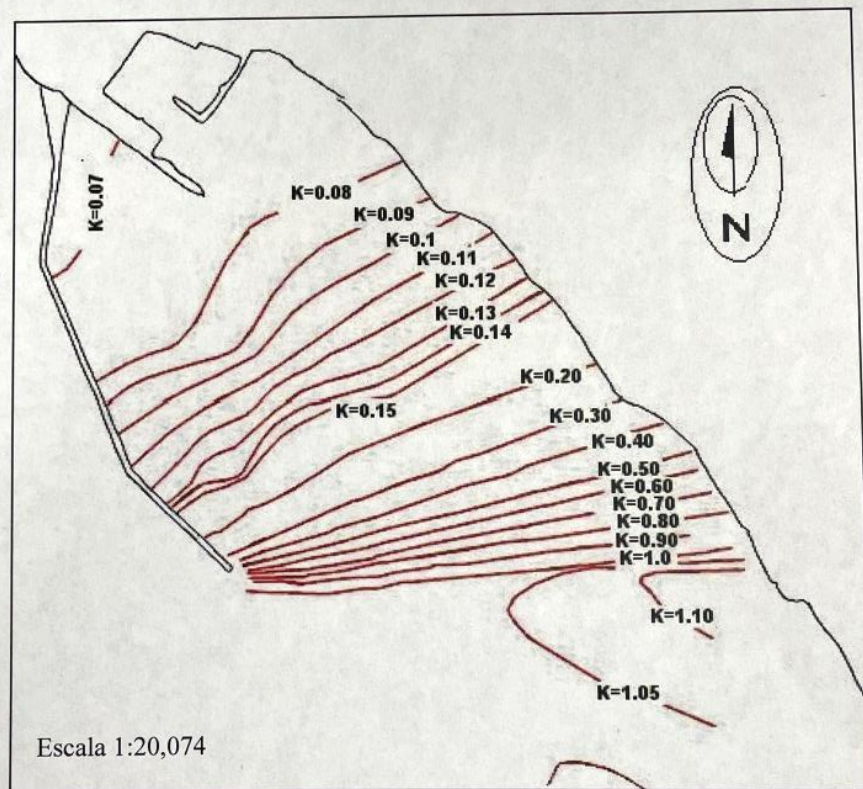


Figura 17.- Diagrama y coeficientes de difracción bajo condiciones de oleaje de tormenta en base a la metodología de Wiegél (1962; En: Shore Protection Manual, 1985).

En la figura 18 podemos apreciar las alturas de la ola ya difractada, donde la altura de la máxima ola registrada (H_s) fue de 4.54m en el morro, y esta va decreciendo conforme se va difractando hacia el interior de la zona protegida, llegando al interior del puerto donde presenta una altura de 0.32m siendo esta la mínima altura del oleaje ya difractado.

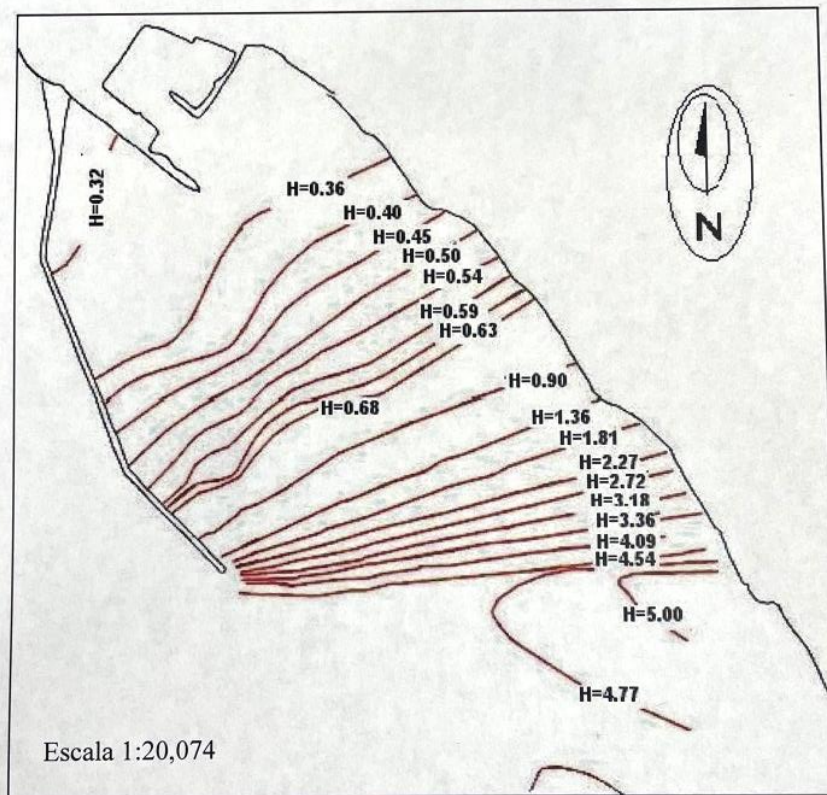


Figura 18.- Diagrama de difracción, bajo condiciones de oleaje de tormenta, con el valor de la altura de ola ya difractada en base a la metodología de Wiegel (1962; En: Shore Protection Manual, 1985).

A partir de las figuras 16 y 18 se observa que la ola difractada tiene influencia detrás de la estructura, por lo que se puede generar una corriente interna la cual puede aportar sedimento, aunque las alturas del oleaje internas son menores a un metro.

6.6. Orientación y dimensionamiento del Espigón.

Una vez analizados los diagramas de difracción de Wiegel se propone orientar un espigón, de 1,060m perpendicular a la costa como se muestra en la figura 19, para proteger el interior del puerto y así evitar que se asolve.

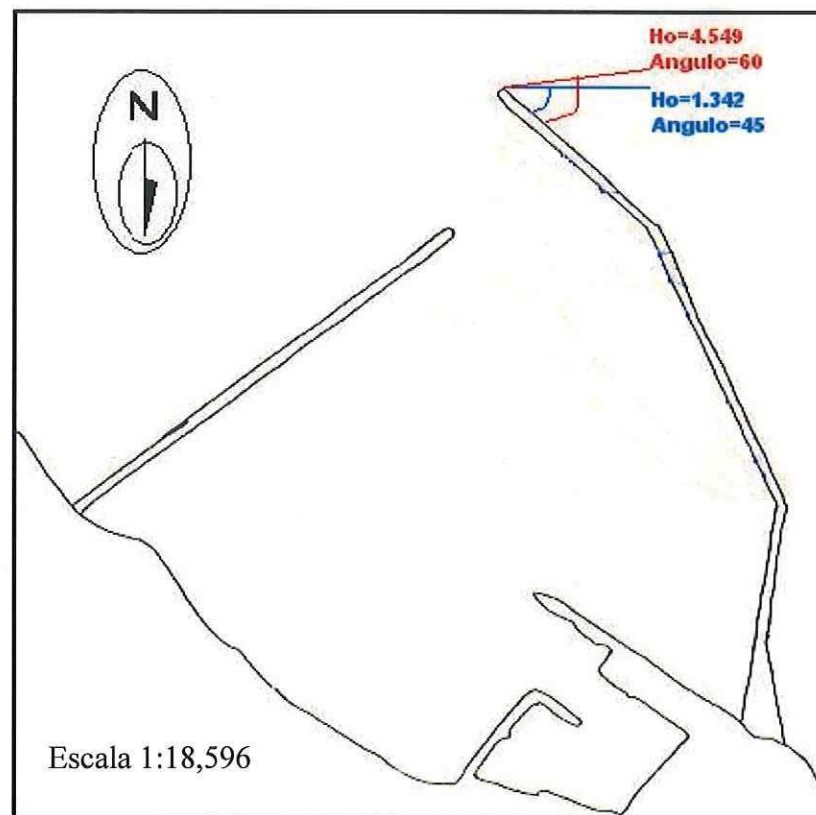


Figura 19.- Orientación del rompeolas y espigón con la indicación del ángulo de incidencia del oleaje al rompeolas mostrando a su vez las alturas del oleaje para las condiciones de oleaje normales y de tormenta.

6.7. Difracción del oleaje con respecto al rompeolas y espigon

Una vez orientadas las estructuras de protección del puerto se prosiguió a la realización de los diagramas de difracción para dos estructuras o puntas permeables en base a las plantillas de Jonson (1952; En: Shore Protection Manual, 1992), para poder visualizar el efecto que tiene el oleaje al difractarse con las dos estructuras. De manera que para las condiciones normales se utilizó la plantilla No.1.64 (Jonhson, 1952 en Shore Protection Manual, 1992) con líneas de igual coeficiente de difracción para bocas de 2.5 longitud de onda, como se muestra en la figura 20, donde se observan los coeficientes de difracción (k) que van de 0.8 en la parte interna del rompeolas al 1 y 1.2 en la parte media de la boca del puerto, reduciéndose hasta el coeficiente de difracción (k) 0.2 en el interior del puerto, y de este hacia el interior va decreciendo hasta llegar a cero. Cabe mencionar que el oleaje solamente afecta la franja paralela interior al rompeolas del puerto.

En la figura 21 se aprecian las alturas de ola ya difractadas (H_s) que van de 0.8m. en la parte interna del puerto frente al rompeolas a 1.4 y 1.61m. en la parte media de la boca del puerto y hasta reducirse a 0.26m. en el interior del puerto. Cabe mencionar que el oleaje solamente afecta una franja interior paralela al rompeolas del puerto.

Para las condiciones de tormenta se utilizó la plantilla No. 1.63 (Jonhson, 1952 en Shore Protection Manual, 1992) con líneas de igual coeficiente de difracción para bocas de 2.0 longitud de onda, como se muestra en la figura 22. En la cual se pueden apreciar los coeficientes de difracción (k) desde 1 en la parte interna del rompeolas en la entrada del puerto a 0.2 al interior y conforme se acerca a la costa de cero.

En la figura 23 se pueden apreciar las alturas de ola ya difractada (H_s) que van de 4.54m. en la boca del puerto a 0.90m en la parte interna del puerto.

Por ultimo para ambas condiciones de oleaje la altura de la ola va disminuyendo conforme se va internando al puerto, es decir se tienen olas de 1m de altura en la boca del puerto, donde se encuentra la entrada al canal, y la cual es considerada como la zona de afectación del oleaje y por ende la de mayor movimiento. Al interior del puerto se presentan alturas de oleaje menores a 1m, decreciendo gradualmente a alturas de 0.20m en el canal interno e incluso llegando a cero conforme se acercan a la costa.

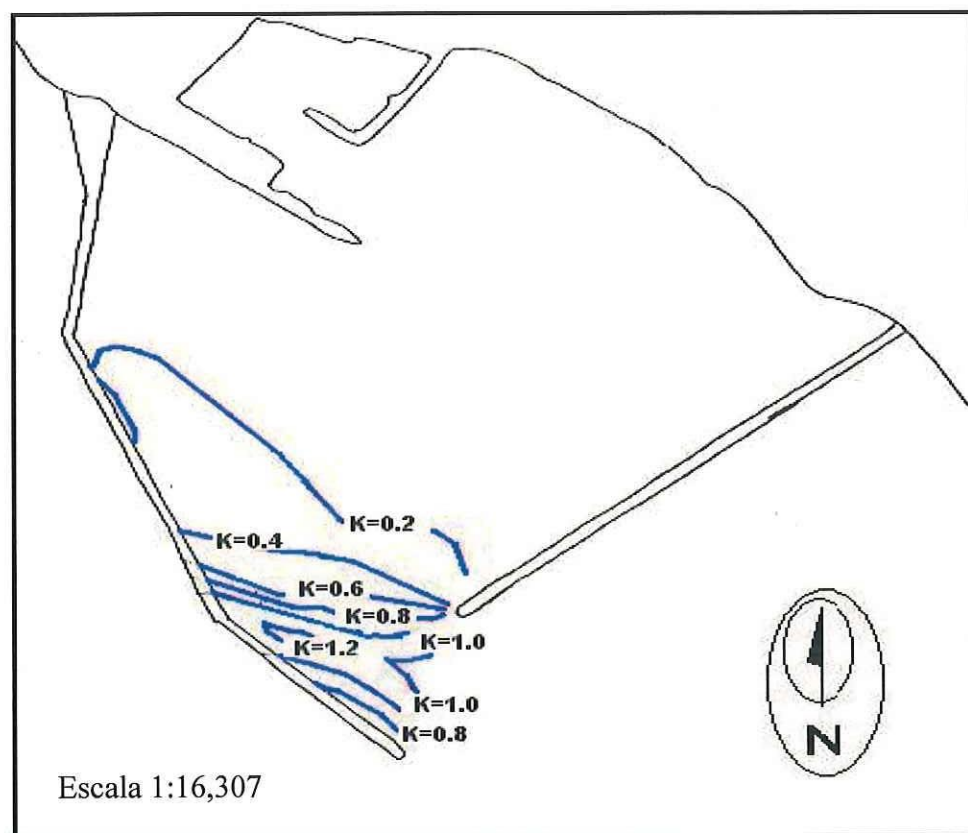


Figura 20.- Diagrama y coeficientes de difracción en condiciones normales de oleaje en base a la metodología de Johnson (1952; En: Shore Protection Manual, 1985).

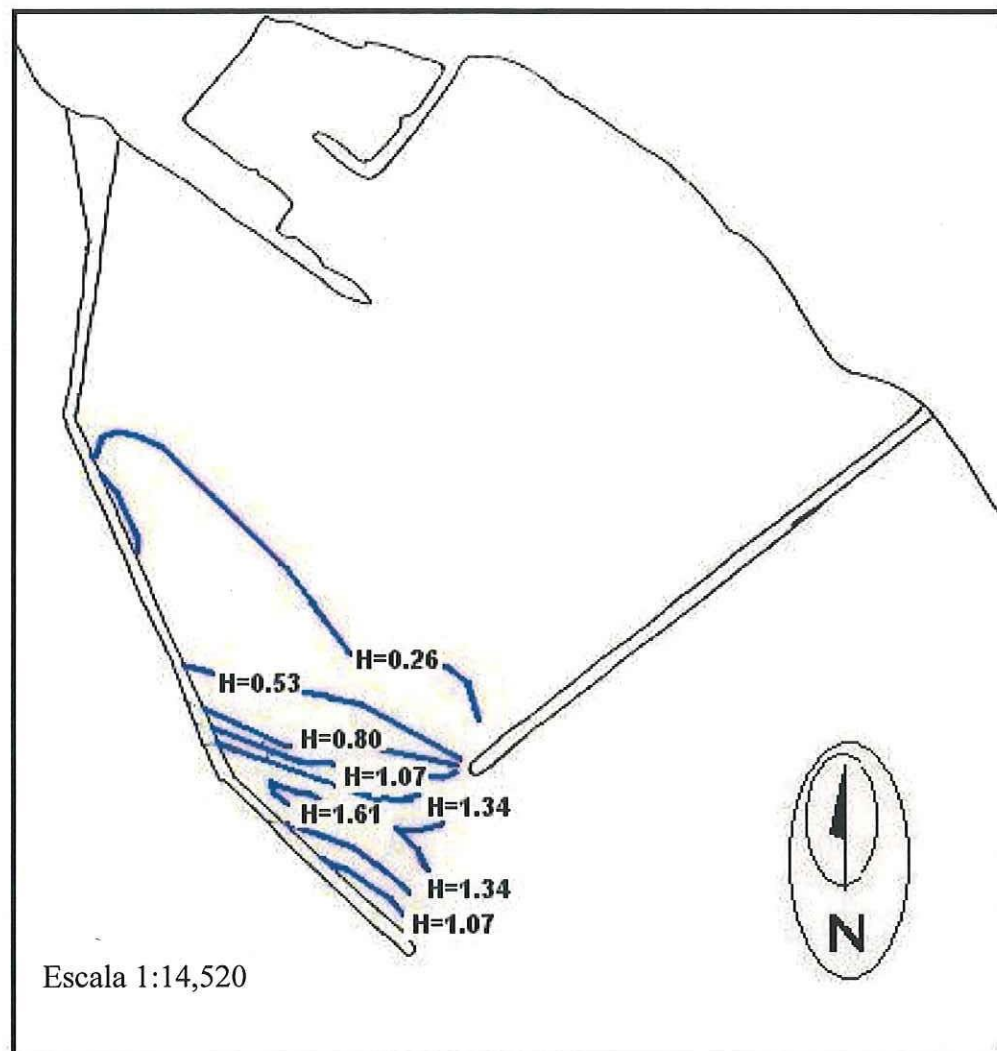


Figura 21.- Diagrama de difracción con los valores de la altura del oleaje ya difractada bajo condiciones normales de oleaje en base a la metodología de Johnson (1952; En: Shore Protection Manual, 1985).

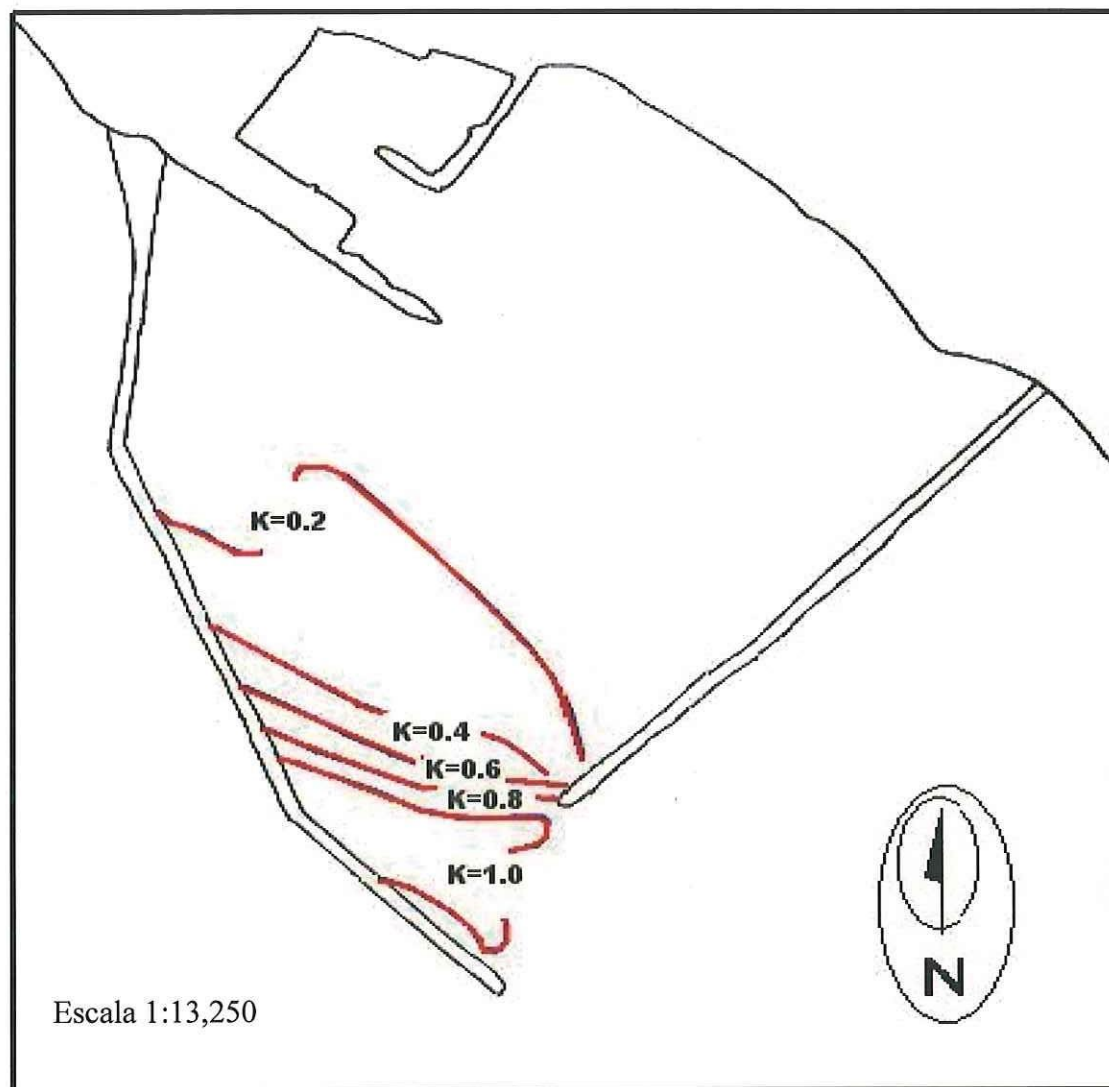


Figura 22.- Diagrama y coeficiente de difracción bajo condiciones de oleaje de tormenta en base a la metodología de Johnson (1952; En: Shore Protection Manual, 1985).

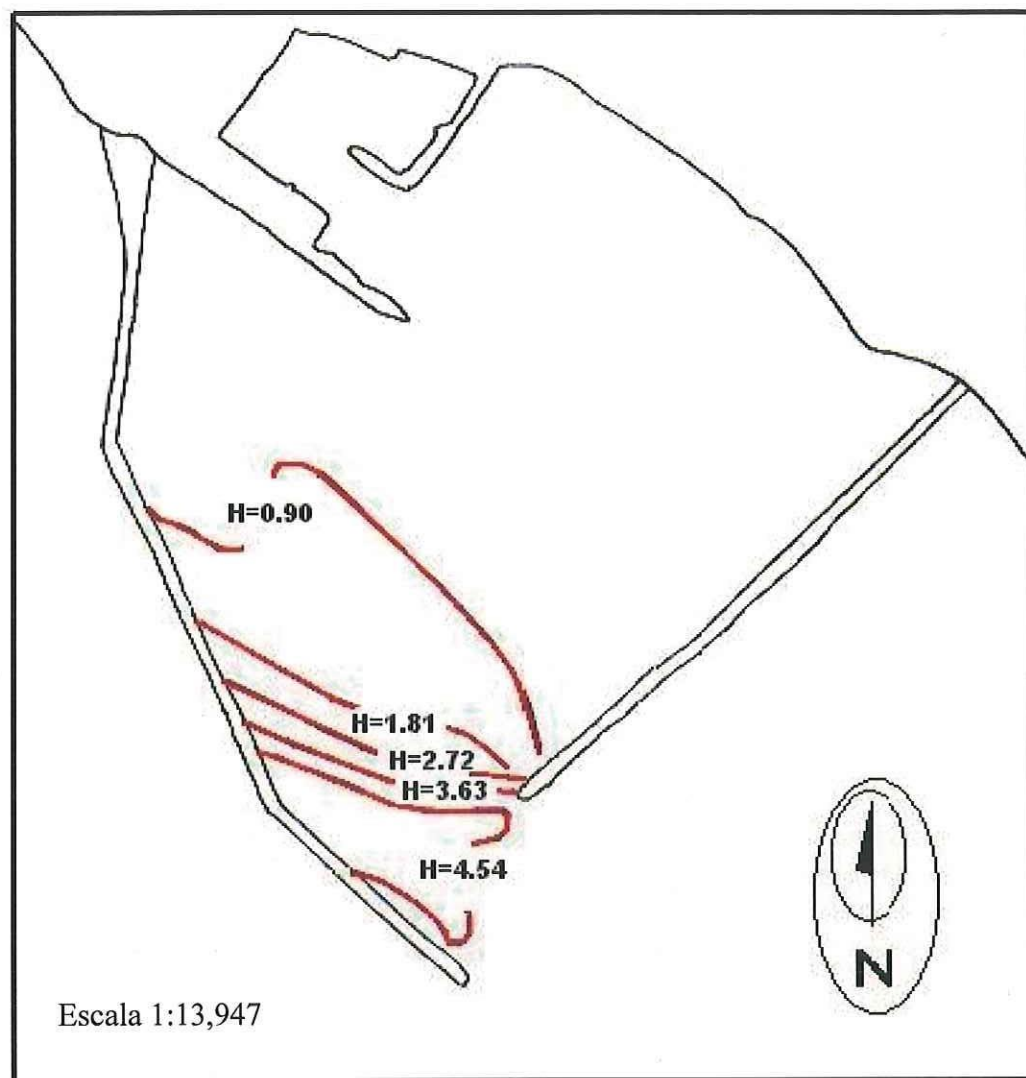


Figura 23.- Diagrama de difracción con los valores de la altura del oleaje ya difractada bajo condiciones de oleaje de tormenta en base a la metodología de Johnson (1952; En: Shore Protection Manual, 1985).

6.8. Profundidad del Canal

De acuerdo a los estudios realizados por la USACE y la PIANC (2000; En: DNAOEUSNA, 2000) se determinó la profundidad tanto de los canales de navegación como de las dársenas, obteniendo la profundidad de la posición estática del barco en base a la guía del USACE (2000) para embarcaciones Panamax (con carga y con dimensiones de 13m. de puntal) una profundidad de 11.6m de calado. Asimismo, la profundidad a la que llega el barco resultado del movimiento causado por la acción del oleaje bajo condiciones normales, estimada a partir de la ecuación (10), fue de 1.61m, mientras que la profundidad a la que llega el barco por acción del movimiento *squat* para canales con oleaje de 1m o menor es de 1.3m y la profundidad de la zona de seguridad considerando un fondo duro es de 1m (PIANC, 2000). En la siguiente figura podemos observar las características del canal de manera general e individual representando cada profundidad.

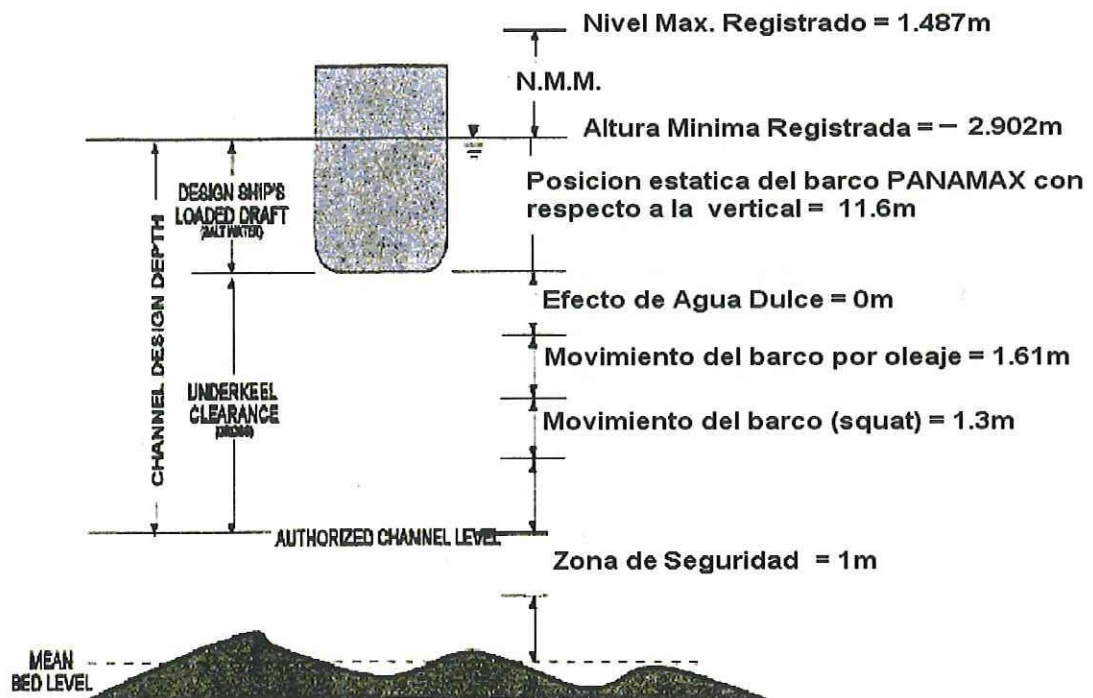


Figura 24.- Características del canal como las profundidades de diseño.

Respecto a la figura 24 podemos determinar que el canal tendrá una profundidad de 15.51m durante marea baja y 19.89m durante marea alta, por lo que el puerto podrá albergar embarcaciones de tipo Panamax; siendo la profundidad real en relación al NMM de 18.412m.

6.9. Ancho del canal y dimensionamiento de la Dársena.

El ancho del canal fue diseñado para una sola vía de tráfico y con secciones sin curvaturas mayores a los 90° tomando en cuenta a la embarcación de diseño tipo Panamax, cuyas dimensiones son de $T = 13\text{m}$, $B = 32.25$ y $L = 250\text{m}$.

Para este caso, a partir de la ecuación (11) se obtuvo un ancho de canal de 96.75m. Sin embargo se consideraron 100m como se muestra en la figura 25.

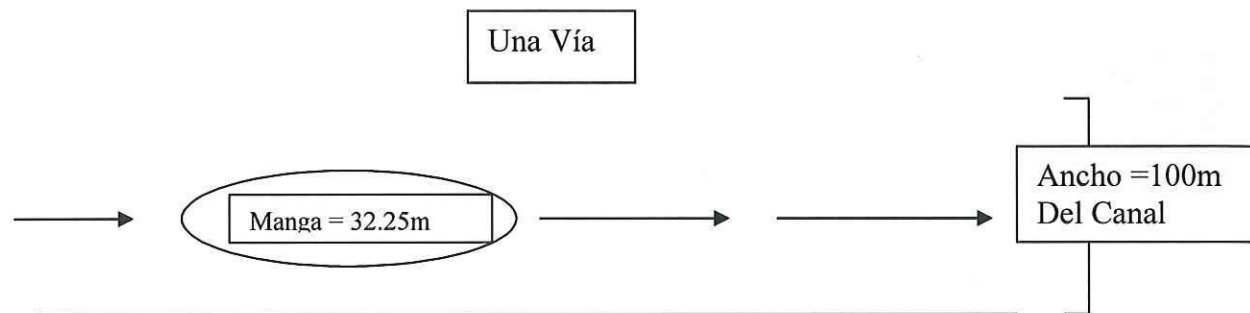


Figura 25.- Características del canal de navegación y de acceso de la propuesta de modificación del Puerto del Sauzal de Rodríguez B.C.

El diámetro de la dársena fue obtenido de la relación $L * 1.5$ obtenida de la guía de la PIANC (2000) donde se consideró la longitud de la embarcación de diseño que para este caso fue de 450m cuya profundidad de la dársena es de 18.412m respecto al N.M.M. como se muestra en la siguiente figura.

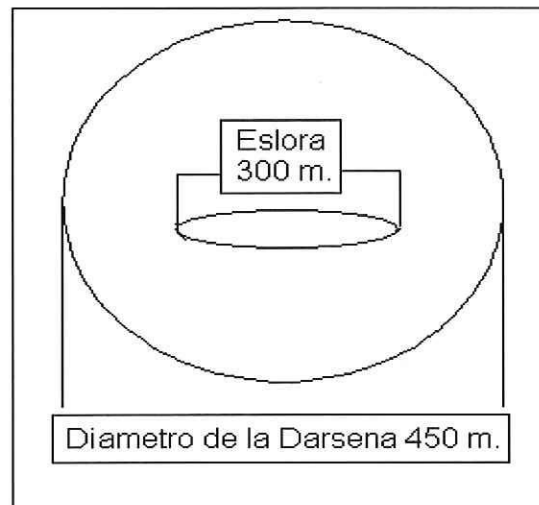


Figura 26.-Dimensiones superficiales de la dársena de la propuesta de modificación del Puerto del Sauzal de Rodríguez B.C.

La figura 27 muestra la propuesta de modificación del Puerto del Sauzal de Rodríguez B.C., con la orientación y dimensionamiento del canal de navegación así como la ubicación y dimensionamiento de la dársena; cuyas características del canal de navegación son de 100m de ancho y una profundidad de 18.412m y la dársena cuenta con un diámetro de 450m y una profundidad de 18.412m. Así también en la figura 27 se observan las obras exteriores donde el rompeolas paralelo a la costa presenta una longitud de 1,626 m, y el espigón perpendicular a la costa presenta una longitud de 1,060 m., protegiendo entre ambas estructuras exteriores un área de 1,296,923 m².

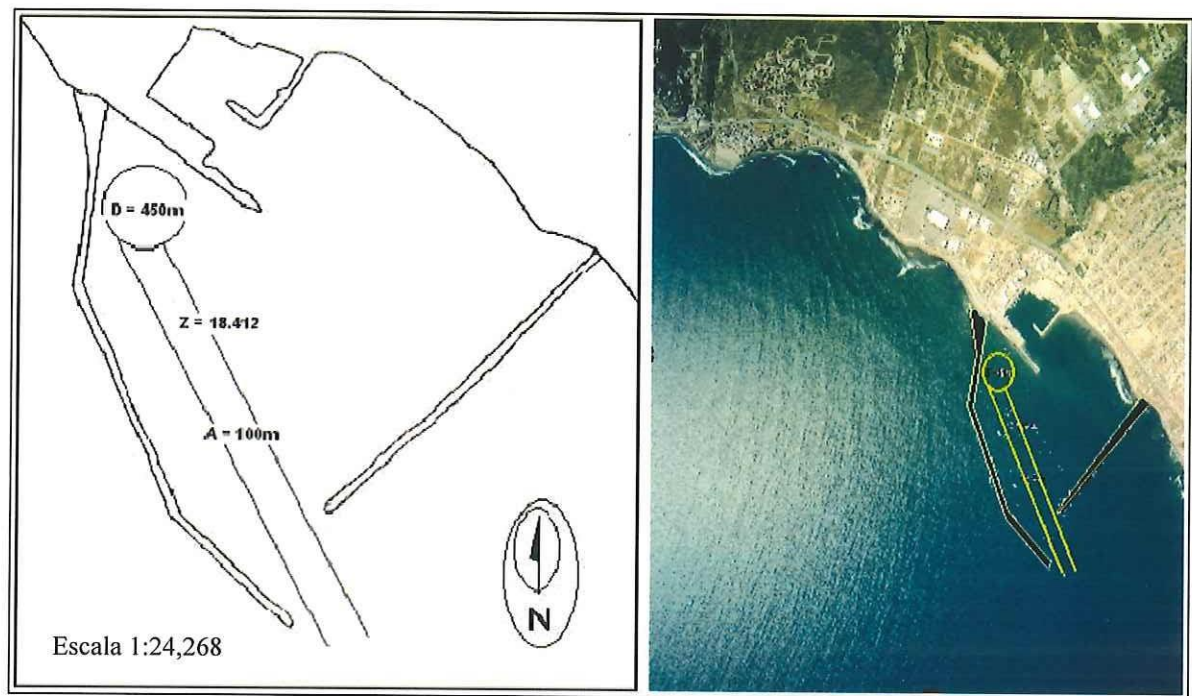


Figura 27.- Propuesta de modificación del Puerto del Sauzal de Rodríguez B.C., donde se muestra el rompeolas, el espigón, el canal de navegación y la dársena, donde D es el diámetro de la dársena, Z la profundidad tanto de la dársena como del canal, y A es el ancho del canal.

7. DISCUSIONES

Los datos de oleaje (Tp, Hs y Wd) que se utilizaron en este estudio y que fueron analizados por Bermúdez (1999) se obtuvieron de la boya No. 46024 que se encuentra anclada en la Bahía de Monterrey, California Posteriormente estos datos fueron corroborados con lo reportado por Ulloa Torres (1989), O' Brien y Zeervaert (1968), Padilla Hernández (1993) y Miranda Vera (1985).

Todos los datos reportados que resultan ser predominantes para la zona de estudio se encuentran dentro del intervalo de periodo, que va de 5 a 15seg, y a su vez obteniendo la mayor frecuencia a los 11.1 seg., mientras que el oleaje para esta zona de estudio proviene del Suroeste y Noroeste, siendo las de mayor intensidad las del Noroeste, las cuales son consideradas como de condiciones de invierno o de tormenta. De manera que la dirección del oleaje varia de 237° a 305°, con alturas de ola predominantes entre 1.8 y 3.0 m durante todo el año.

Al realizar una comparación de lo reportado por Bermúdez (1999) con los datos de la boya No. 029 anclada en Point Reyes, California se concluyó que los datos que registran las boyas son confiables ya que al ser trasladados a la Bahía de Todos Santos se obtienen resultados muy similares en lo que respecta a los parámetros de dirección y periodo de oleaje. No obstante, para el caso de las alturas de ola se observó una variación con tendencia a su disminución respecto a lo reportado por Bermúdez (1999), probablemente debido a que la boya No. 029 esta alejada con mayor distancia de la costa o bien que el periodo que comprende cada uno de los registros de las boyas difiere entre si e incluso también el procesamiento de los datos puede cambiar dependiendo de la persona que los analiza. Sin embargo las alturas de ola estuvieron dentro de los intervalos reportados por otros autores (Ulloa Torres, 1989; O' Brien y Zeervaert, 1968; Padilla Hernández, 1993; y Miranda Vera, 1985).

7. DISCUSIONES

Los datos de oleaje (Tp, Hs y Wd) que se utilizaron en este estudio y que fueron analizados por Bermúdez (1999) se obtuvieron de la boya No. 46024 que se encuentra anclada en la Bahía de Monterrey, California Posteriormente estos datos fueron corroborados con lo reportado por Ulloa Torres (1989), O' Brien y Zeervaert (1968), Padilla Hernández (1993) y Miranda Vera (1985).

Todos los datos reportados que resultan ser predominantes para la zona de estudio se encuentran dentro del intervalo de periodo, que va de 5 a 15seg, y a su vez obteniendo la mayor frecuencia a los 11.1 seg., mientras que el oleaje para esta zona de estudio proviene del Suroeste y Noroeste, siendo las de mayor intensidad las del Noroeste, las cuales son consideradas como de condiciones de invierno o de tormenta. De manera que la dirección del oleaje varia de 237° a 305°, con alturas de ola predominantes entre 1.8 y 3.0 m durante todo el año.

Al realizar una comparación de lo reportado por Bermúdez (1999) con los datos de la boya No. 029 anclada en Point Reyes, California se concluyó que los datos que registran las boyas son confiables ya que al ser trasladados a la Bahía de Todos Santos se obtienen resultados muy similares en lo que respecta a los parámetros de dirección y periodo de oleaje. No obstante, para el caso de las alturas de ola se observó una variación con tendencia a su disminución respecto a lo reportado por Bermúdez (1999), probablemente debido a que la boya No. 029 esta alejada con mayor distancia de la costa o bien que el periodo que comprende cada uno de los registros de las boyas difiere entre si e incluso también el procesamiento de los datos puede cambiar dependiendo de la persona que los analiza. Sin embargo las alturas de ola estuvieron dentro de los intervalos reportados por otros autores (Ulloa Torres, 1989; O' Brien y Zeervaert, 1968; Padilla Hernández, 1993; y Miranda Vera, 1985).

Cabe recalcar que entre menor afectación presente el oleaje, por cambios en la batimetría como por la presencia de barreras físicas como islas, el oleaje registrado será de mejor calidad y de mayor confiabilidad, ya que el oleaje debe de registrarse cuando llega franco a la boya sin haber presentado cambio alguno.

Por otro lado de acuerdo al plano batimétrico (Figura 4) la zona del Sauzal de Rodríguez, esta caracterizada por una pendiente suave (ver Figura 5 y Tabla IV). De manera que se puede suponer que la energía del oleaje presente para esta zona sea baja, lo que es una característica benéfica y optima para llevar acabo un desarrollo portuario ya que las condiciones de calma dentro del puerto serian las mas adecuadas pero además la zona de estudio se encuentra protegida por el efecto isla; es decir, el oleaje no llega de manera franca al Sauzal de Rodríguez por chocar previamente con la Isla Todos Santos. Dicho choque provoca que el oleaje cambie su dirección y disminuya su energía, creando así un área de sombra e incluso del análisis de refracción del oleaje (como se muestra en las figuras 12 y 13) podemos apreciar que a partir de la isobata de los 30m se presenta un cambio abrupto en la dirección de las ortogonales, a lo que se le puede atribuir la presencia de un bajo en esta zona, coincidiendo con lo reportado por Espinoza Díaz (1990). Así mismo para la zona de San Miguel se aprecia una concentración de ortogonales lo que nos indica un incrementó en la concentración de energía para dicha zona; lo anterior debido a los rasgos batimétricos que modifican las trayectorias de las ortogonales y lo que coincide con lo reportado por Ulloa Torres (1989).

De manera que la presencia de los bajos El Sauzal y San Miguel modifican las direcciones del oleaje protegiendo aun más la zona de estudio como se apreció en el análisis de la refracción del oleaje (Figura 12 y 13). Así pues, la zona del Sauzal resulta estar protegida y por ello enfrente del rompeolas del Puerto del Sauzal de Rodríguez B.C. se aprecia una baja intensidad del oleaje observando así la separación entre las

ortogonales, lo cual nos indica que la energía del oleaje es baja, mientras que para zonas de alta energía se aprecian rayos muy pegados y con alta concentración de estos.

El análisis de difracción del oleaje se puede comparar en base a los dos métodos empleados. En el primer, al considerar únicamente al rompeolas, se puede apreciar que hay un cambio en la altura de la ola debido a que el frente de ola cuando llega a chocar con la punta de esta estructura, la ola se difracta y modifica su trayectoria conforme va internándose al puerto, reduciendo gradualmente la altura de la ola conforme esta se interna hasta llegar a la altura de 0.09m en condiciones normales y 0.32m en condiciones de tormenta (como se observa en las figuras 16 y 18). En el segundo, al considerar rompeolas y espigón, se aprecia que ya no sucede lo mismo, es decir ahora el área de afectación es menor debido a que la ola solo afecta una franja pegada al rompeolas, generando así un oleaje de 0.2m para condiciones normales y de 0.9m para condiciones de tormenta. Esto, probablemente debido a que en esta zona exista la mayor dinámica dentro del puerto ya que es la zona de acceso y por tal motivo es considerada como la zona más activa respecto al oleaje y otros movimientos.

Por otra parte, es importante mencionar que el espigón fue propuesto como obra exterior para evitar el transporte sedimentario hacia el interior del puerto, ya que en la zona de estudio la corriente litoral y el transporte sedimentario va hacia el Sureste e incluso al observar el comportamiento de la difracción del oleaje, se puede apreciar la generación de una corriente hacia el interior del puerto la cual puede transportar sedimento y por ello se propuso que el espigón funcionará como trampa de sedimento y barrera para que el puerto no se asolve.

Para la orientación y dimensionamiento de las estructuras del puerto se realizaron pruebas preliminares de diferentes diseños donde la más segura por la menor afectación interna fue la que se muestra en la figura 27. El rompeolas se diseñó al considerar el transporte litoral sedimentario proveniente del arroyo San Miguel, cuya dirección es de

Noroeste a Sureste, ya que este es una fuente sedimentaria importante de la zona. Por ello la orientación del rompeolas es de diferentes ángulos sin que quedase perpendicular a la línea de costa para que así no se perturbará el transporte litoral.

En este diseño propuesto (Figura 27) no se presenta tanto movimiento ni oleaje considerado alto e incluso se encuentra dentro de los estándares de oleaje, los cuales de acuerdo a Macdonel Martínez (2000) las alturas de ola en el interior del puerto deben de ser menores a 2m para maniobras, durante invierno o temporadas de tormentas, cuando se sabe que las alturas de las olas son mayores a las del resto del año. Por otro lado para el tipo de embarcaciones de diseño, Panamax, para maniobras sin riesgo y peligro se considera una altura de ola de 0.75m así estando la propuesta del puerto dentro de lo permisible.

Respecto a las estructuras internas o áreas de agua su diseño se basó en una embarcación tercera generación conocido como Barco Panamax (ver dimensiones en tabla 1), por lo que se tuvieron que considerar las características batimétricas, tipo de fondo y ciclos de mareas, basándose principalmente respecto a la altura mínima registrada (NBMI) para determinar la profundidad requerida para la navegación interna y maniobras dentro del puerto. En base a lo anterior y a las zonas de seguridad en la vertical del canal se contempló las profundidades a las cuales puede tener afectación la embarcación debido a movimientos generados por oleaje, vientos y *squat* obteniendo así una profundidad de 18.41m. De modo que por cuestiones económicas de dragado esta profundidad, 18.41m, puede ser modificada hasta azolvarse a una profundidad de 15.5m sin considerar la marea baja y de 14.5m sin considerar la profundidad de seguridad.

En este caso no se considera la profundidad por agua dulce ya que el puerto se encuentra en zona costera con influencia de agua oceánica sin presencia de agua dulce la cual pueda modificar la densidad y boyancia del barco.

Además el diseño de obras internas o áreas de agua se realizó para un tráfico de una vía, ya que así supone tener menos afectación en la profundidad del canal y por otro lado se pueden evitar movimientos de la embarcación a causa de otras embarcaciones, por ejemplo este tipo de embarcaciones al estar con carga presentan mayor superficie por lo que el viento las puede mover con mayor facilidad y así provocar un choque con otra embarcación si el canal fuese de dos vías.

Los barcos podrán entrar al puerto a una velocidad máxima de 3.5 nudos disminuyendo su velocidad a 0.75 nudos, lo que es recomendando para barcos con contenedores. Esta propuesta de modificación del puerto fue diseñado para este tipo de embarcaciones cuyo calado es de 11.6m con carga de 50,000 a 60,000 toneladas. Cabe mencionar que la Administración Portuaria Integral de Ensenada presenta un canal de 12m de profundidad el cual tiene problemas en el acceso y en las maniobras ya que la profundidad con la que cuenta, para este tipo de embarcaciones, no es la requerida. Por lo que esta propuesta de modificación del puerto puede ser a su vez de ayuda al Puerto de Ensenada B.C.

8. CONCLUSIONES

Con base al estudio del clima del oleaje y para la zona de estudio se encontró bajo condiciones normales de oleaje una altura significativa de 1.342 m. con un ángulo de incidencia de 45° en el morro; es decir en la punta del rompeolas, mientras que para las condiciones de tormenta la altura significativa fue de 4.549 m. con un ángulo de incidencia de 60° en el mismo morro, el cual se caracteriza por estar ubicado en la isobata de los 20m de profundidad con respecto al Nivel Medio del Mar.

Las estructuras exteriores de protección fueron diseñadas y orientadas, en base a condiciones normales de oleaje como de tormenta, en el caso del rompeolas presenta una longitud de 1626 m y el espigón de 1060 m ambos fueron diseñados y orientados para lograr la menor perturbación y así evitar afectación interna, por la acción del oleaje, en el puerto.

La propuesta de modificación del Puerto del Sauzal de Rodríguez B.C. (ver figura 27) presenta un área interna de agua de 1296923 m² que permitirá albergar tres embarcaciones tipo Panamax y dependiendo la ubicación y diseño del muelle o muelles de atraque puede el puerto albergar hasta cinco embarcaciones tipo Panamax.

El diseño de las obras interiores o áreas de agua, es decir del canal de navegación y de la dársena, se obtuvo bajo condiciones normales de oleaje, una profundidad de 18.412m con respecto al nivel medio del mar en base a una embarcación tipo Panamax. Además el canal de navegación fue diseñado para una sola vía de tráfico con un ancho de 100 m. y la dársena de forma circular presenta un diámetro de 450m.

La modificación del puerto propuesto está diseñado para poder albergar embarcaciones ante cualquier condición de la marea ya que la marea no modifica significativamente las profundidades tanto del canal como de la dársena ya que esta propuesta de modificación se realizó a partir de nivel de bajamar mínimo registrado.

9. BIBLIOGRAFÍA

- 1.- Anda Gutiérrez C., 1999. Los Nuevos Puertos Mexicanos, Noriega Editores. México D.F. 364pp.
- 2.- Aranda, Manteca .F.J. (1983). Estudio de Minerales pesados como trazadores de la corriente Litoral en la Bahía de Todos Santos, B.C. Tesis de Licenciatura F.C.M.-UABC. Ensenada B.C México.
- 3.- Baca, Chacon.H. (1981). Presencia de minerales pesados en la Bahía de Todos Santos B.C. Tesis de Licenciatura F.C.M.-UABC Ensenada B.C. México.
- 4.- Bustamante Ahumada, R. El desarrollo Costero de México. Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística (Fundada en 1833). Academia del Desarrollo Costero. 436pp.
- 5.- Cruz Colin. M.E, Cupul Magaña.L.A (1997). Erosión y aporte sedimentario de los Cantiles Marinos de la Bahía de Todos Santos B.C. en el periodo 1970-1991. Ciencias Marinas. Vol. 23(3):303-315 pp.
- 6.- Espinoza Díaz, F., 1990. Análisis de funcionalidad del Puerto del Sauzal de Rodríguez B.C., Pregunta problema, Facultad de Ciencias Marinas, Ensenada B.C.
- 7.- González Villagran.A.(1992). Reevaluación de los estudios utilizados para el diseño del puerto de Ensenada B.C. Tesis de Licenciatura. F.C.M. –UABC 126pp
- 8.- Guardado France, R. 1990. Sobre los Cantiles del Sauzal de Rodríguez, B.C. , México. Resúmenes VIII Congreso Nacional de Oceanografía.
- 9.- Hernández de Labra, F. 1983. Puertos. México. Universidad Autónoma de México. 551pp.
- 10.- Institute for Water Resources,U.S.Army Corps of Engineers. 2000. Deep-Draft Navigation Channel Design: A Comparison of U.S. and International Practice. Alexandria U.S.A. 47 pp.

- 11.- López Luna, M.G., 1990. Cuantificación del volumen de sedimento transportado por la corriente litoral en las playas del Sauzal y Pesquera Zapata, ubicadas en la zona Norte de la Bahía de Todos Santos, B.C. México. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Marinas, Ensenada B.C.
- 12.- Medina Espinoza.P.(1993) Anteproyecto de un modelo hidráulico del Puerto del Sauzal de Rodríguez B.C.. Tesis de Licenciatura F.C.M-UABC 126 pp
- 13.- Ordoño C.J. (1988). Catastro de infraestructura portuaria e industrial pesquera 1ra. edición Ed. Secretaria de Pesca. México D.F. 380 pp
- 14.- Padilla Hernández, 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, Ensenada B.C.
- 15.- Ramos Olvera.R.(1993) Cantiles del Sauzal de Rodríguez: Perfiles, procesos y problemas. Tesis de Licenciatura F.C.M-UABC 35 pp
- 16.- Ulloa Torres, M.J., 1989. Refracción lineal del oleaje en el Puerto de Ensenada. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Marinas, Ensenada B.C.
- 17.- U.S. Army, 1985. Shore protection Manual. Department of the Army, U.S. Army Corps of Engineers. Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi, USA