



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE
BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

"CORRIENTES LITORALES INDUCIDAS POR OLEAJE
EN LA BAHIA DE TODOS SANTOS, B.C."

TESIS
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
OCEANOLOGO
PRESENTA
MIGUEL ANGEL AHUMADA SEMPOAL

ENSENADA, B.C. DICIEMBRE DE 1993.

RESUMEN

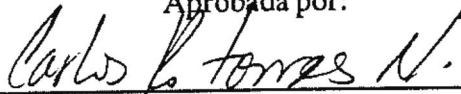
Con parámetros de oleaje obtenidos de diagramas de refracción, se calculó la velocidad de la corriente litoral en la Bahía de Todos Santos, B.C., empleando para ello un modelo teórico-empírico propuesto por Komar, 1975. Se encontró que la corriente al NO (noroeste) de la Bahía, tiene una magnitud promedio de 55.4 cms^{-1} en verano (oleaje del suroeste) y 98.3 cms^{-1} en invierno (oleaje del oeste y del noroeste), en ambas estaciones, la dirección predominante es hacia el Sur. Al centro de la Bahía, la magnitud promedio es de 47.8 cms^{-1} en verano con dirección predominante hacia el Norte, mientras que en invierno durante la incidencia de olas del oeste ($\theta_0 = 244^\circ$ y $\theta_0 = 245^\circ$), y del noroeste ($\theta_0 = 290^\circ$) la dirección predominante es hacia el Norte cambiando hacia el Sur en presencia de olas que llegan de 280° , la magnitud promedio en esta estación es de 110 cms^{-1} .

"CORRIENTES LITORALES INDUCIDAS POR OLEAJE
EN LA BAHIA DE TODOS SANTOS, B.C."

TESIS
QUE PRESENTA:

MIGUEL ANGEL AHUMADA SEMPOAL

Aprobada por:



Presidente del Jurado
M.C. Carlos R. Torres Navarrete.



Sinodal Propietario
M.C. Ruben Castro Valdez.



Sinodal Propietario
Oc. José R. Blanco Betancourt.

DEDICATORIA

Quien merece, suele tener que ver (S.R.)

Sin duda alguna, la presente es dedicada a lo profundo, a lo indescrptible, a mi pequeño hijo y a su progenitora;

Jonathán Ahumada Soto.

Mónica M. Soto López.

Amis padres

Silvestre y María.

Amis hermanos

Silvia, Guadalupe, Rosario, José, Raúl, Erika, Olga, y Brenda.

Eduardo Devesa Laux, Benjamin Jaimes de la Cruz, Mochis Zazueta Urias.

Amis compañeros de área

Antonio Gama C, Griselda Tablero L, y José de Jesús Salas P.

AlClán

Leonardo Alvarez, Ramón Meza, Javier Zavala, Hugo Brodziak, Julio Velazquez, Humberto Hinojosa, Leonardo Arias (GuaySon), Renato Mascorro, Alvaro Lépe, Joel, Victor Hugo y Alejandro Tonatiuh.

Especial a:

Sra. Lupita Mendoza por su gran ayuda en aquellos primeros años (Eternamente agradecido).

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1. Antecedentes	7
2. Area de estudio	9
3. Batimetría	11
4. Estadística de olas en aguas profundas.	12
5. Patrón de refracción para olas del suroeste ($\theta_0 = 230^\circ$, $H_{s_0} = 1$ m, $T_{s_0} = 14$ s)	16
6. Patrón de refracción para olas del suroeste ($\theta_0 = 242^\circ$, $H_{s_0} = 1$ m, $T_{s_0} = 12$ s)	17
7. Patrón de refracción para olas del oeste ($\theta_0 = 244^\circ$, $H_{s_0} = 2$ m, $T_{s_0} = 8$ s)	18
8. Patrón de refracción para olas del oeste ($\theta_0 = 245^\circ$, $H_{s_0} = 2$ m, $T_{s_0} = 10$ s)	19
9. Patrón de refracción para olas del noroeste ($\theta_0 = 280^\circ$, $H_{s_0} = 2$ m, $T_{s_0} = 12$ s)	20
10. Patrón de refracción para olas del noroeste ($\theta_0 = 290^\circ$, $H_{s_0} = 2$ m, $T_{s_0} = 16$ s)	21
11. Corriente litoral debida al oleaje que llega a 230° (verano)	23
12. Corriente litoral debida al oleaje que llega a 242° (verano)	24
13. Corriente litoral debida al oleaje que llega a 244° (invierno)	25
14. Corriente litoral debida al oleaje que llega a 245° (invierno)	26
15. Corriente litoral debida al oleaje que llega a 280° (invierno)	27

16. Corriente litoral debida al oleaje que llega a 290°
(invierno)

28

INDICE

	Página.
1 INTRODUCCION	1
1.1 ANTECEDENTES	2
1.2 OBJETIVO	6
2 ZONA DE ESTUDIO	8
3 METODOLOGIA	10
3.1 INFORMACION DE OLEAJE	10
3.2 OBTENCION DE DIAGRAMAS DE REFRACCION	10
3.3 CALCULO DE ALTURAS Y ANGULOS EN LA ROMPIENTE	13
3.4 CALCULO DE LA CORRIENTE LITORAL	13
4 RESULTADOS Y DISCUSIONES	15
5 CONCLUSIONES	33
6 BIBLIOGRAFIA	34

1 INTRODUCCION

En el pasado se creía que las corrientes de marea y las corrientes oceánicas cercanas a la costa eran las responsables del movimiento litoral de sedimento (Komar, 1976). Actualmente se sabe que la causa principal de este movimiento es la corriente litoral generada por oleaje al romper cerca de la costa, desde entonces se ha desarrollado un especial interés por explicar el mecanismo de generación de esta corriente.

Longuet-Higgins y Stewart (1964) demostraron que la aproximación del oleaje en un cierto ángulo con respecto de la línea de costa, produce un flujo de energía en la dirección de propagación de la ola el cual da origen a un movimiento de agua paralelo a la costa. Por otro lado, Bowen (1969) y Bowen e Inman (1969) realizaron progresos significativos en el estudio de estos mecanismos demostrando teórica y experimentalmente que las variaciones en la altura con que rompen las olas a lo largo de la costa, también produce un movimiento de agua paralelo a la misma. La corriente litoral puede, por lo tanto, producirse por variaciones en la altura de rompiente, por la aproximación del oleaje en un cierto ángulo con respecto de la línea de costa ó por una combinación de ambos casos (Komar, 1975).

Komar (1975) desarrolló un modelo teórico-empírico que combina ambos mecanismos de generación y predice la velocidad de la corriente litoral. Este modelo

es utilizado en el presente estudio para predecir la velocidad de la corriente litoral generada por oleaje que arriba normalmente a la Bahía de Todos Santos, B.C. (BTS), durante las diferentes estaciones del año.

En la BTS no existen suficientes datos de olas medidos para ser considerados en este trabajo. A falta de esta información se emplean estadísticas de oleaje de aguas profundas y por medio de refracción se transportan las olas a la zona deseada dentro de la Bahía. Este método permite calcular los parámetros de oleaje necesarios para aplicar el modelo de Komar (1975).

1.1 ANTECEDENTES

En la BTS sólo dos trabajos han estudiado el comportamiento de la corriente litoral; uno de ellos infiere la dirección de ésta a partir de la distribución de minerales pesados y el otro, aunque utiliza parámetros de oleaje medidos en la zona de rompiente, se limita a una área de estudio muy particular.

Aranda-Manteca (1983) utilizando minerales pesados como trazadores encuentra que al NO (noroeste) de la Bahía, la dirección predominante de la corriente litoral es hacia el Sur, mientras que al centro existe una divergencia con una corriente hacia el Norte y otra hacia el Sur desde el rompeolas hasta la boca del Estero, y al SE (sureste) una corriente predominante que fluye en dirección Norte a partir de Punta

Banda hasta la boca del Estero.

Blanco-Betancourt (1987) utiliza datos de oleaje medidos durante abril de 1985 en la BEPB como información de entrada a dos modelos que predicen la velocidad de la corriente paralela a la playa y compara sus resultados con mediciones obtenidas con correntímetros electromagnéticos, encontrando que la dirección predominante es hacia el Norte.

Otros trabajos cuyos objetivos no fueron la estimación de corrientes, pero que nos dan una idea de su dirección son los siguientes;

O'Brien y Zeevaert (1968) realizaron estudios en la zona de la barra del Estero de Punta Banda (BEPB) con la finalidad de construir una marina, encontrando que la dirección de la corriente litoral es hacia el Norte.

Lizárraga-Arciniega (1976) analiza los movimientos cíclicos de la playa localizada al sur del Puerto de Ensenada y encuentra la existencia de una corriente litoral que fluye de Sur a Norte.

Baca-Chacón (1981) estudió la procedencia de minerales pesados; concluyendo que al NO de la BTS (Punta San Miguel) la corriente litoral fluye predominantemente hacia el Sur hasta la boca del Estero de Punta Banda, con una divergencia a la altura de Playa Hermosa y la Playa Municipal, mientras que al SE (sureste) la corriente

predominante es en dirección a la boca del Estero.

Méndez-Arriaga (1982) estimó la dirección predominante del transporte litoral en base al análisis estadístico de la distribución del tamaño de sedimento; encontrando que la dirección del transporte es de Punta Banda hacia la BEPB, y que a dos kilómetros de la boca del Estero existe una divergencia en dirección Norte hasta la rada portuaria y al Sur hasta la boca del Estero.

Pérez-Higuera y Chee-Barragán (1984) mediante parámetros texturales de sedimentos, en estaciones localizadas en la playa y atrás de la zona de rompiente; infieren que en la parte NO de la BTS la corriente dominante es hacia el Sur, al centro hay una circulación hacia el Norte en la playa, y hacia el Sur atrás de la zona de rompiente, y al SE la corriente dominante en la playa y atrás de la zona de rompiente es en dirección Norte.

González-Ramírez (1985) evaluó la razón y dirección del transporte litoral en una porción de la parte externa de la BEPB; concluyendo que la magnitud del transporte de sedimento es de $300 \text{ m}^3/\text{día}$ en dirección Norte hacia la boca del Estero

Castillón-Alvarez (1988) mediante secciones transversales para determinar el transporte litoral en la playa comprendida entre la boca del Estero de Punta Banda y el Puerto de Ensenada, encuentra que la dirección predominante del transporte es

hacia el Norte.

Jiménez-Pérez (1988) estimó la dirección y volumen del transporte litoral de sedimento por medio de trazadores fluorescentes en la parte externa de la BEPB; encontrando que el volumen del transporte durante abril fue de 17000 m^3 , mientras que para agosto fue de 28000 m^3 , en ambos meses, en dirección Norte.

Torres-Navarrete (1991) calculó la razón y dirección del transporte litoral de sedimento con parámetros de oleaje medidos por medio de un arreglo de sensores en la parte externa de la BEPB con los resultados siguientes; en abril el transporte fue de $384 \text{ m}^3/\text{día}$ en dirección Norte, en agosto de $10.56 \text{ m}^3/\text{día}$ en la misma dirección, y para octubre de $110.4 \text{ m}^3/\text{día}$ en dirección Sur.

Torres-Navarrete y Martínez-Díaz de León (1993) utilizan un año de datos de oleaje obtenidos con un sensor direccional al SE de la BTS para calcular la razón y dirección del transporte litoral, encontrando valores de 400 a $500 \text{ m}^3/\text{día}$ y la dirección de éste fuertemente influenciada por los ángulos de aproximación del oleaje a ésta zona.

Blanco-Betancourt (1993) utiliza el mismo banco de datos que Torres y Martínez (1993) como información de entrada a tres modelos de transporte y compara sus

resultados con volúmenes de perfiles de la misma zona, sus resultados muestran un buen acuerdo con los volúmenes obtenidos de perfiles. Encuentra además que las direcciones del transporte varían según la proveniencia del oleaje.

En la Figura 1, se muestra un resumen gráfico de estos resultados.

1.2 OBJETIVO

En la BTS es la primera ocasión que se hace un estudio de esta naturaleza por lo que puede considerarse éste como una primera aproximación al conocimiento de la velocidad de la corriente litoral generada por oleaje de tormenta.

El objetivo del presente trabajo es cuantificar la velocidad de la corriente litoral generada por oleaje, así como establecer su comportamiento estacional en la Bahía de Todos Santos, B.C.

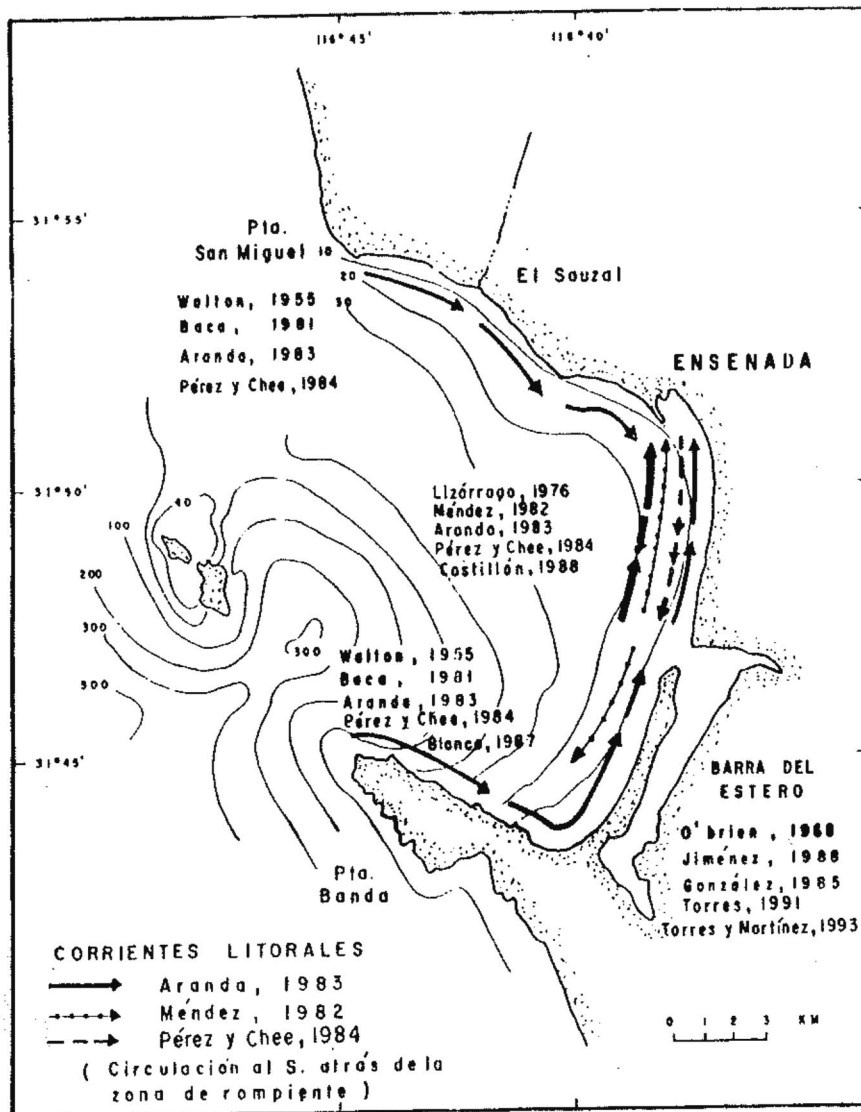


FIGURA 1 - ANTECEDENTES

2 ZONA DE ESTUDIO

La Bahía de Todos Santos se localiza en la península de Baja California, sobre las costa Oeste entre los $31^{\circ}40'$ y $31^{\circ}55'$ de latitud Norte y entre los $116^{\circ}36'$ y $116^{\circ}50'$ de longitud Oeste.

En la Bahía hay dos entradas bien diferenciadas con una división constituida por dos pequeñas islas al Oeste (Figura 2). La entrada al NO de 12 km de ancho, tiene profundidades menores de 50 m y algunos bajos hasta de 6 m a la mitad de la sección. El fondo de la entrada SO de 6 km de ancho, tiene pendientes pronunciadas sobre todo en las cercanías de las islas.

La forma de la Bahía y las características fisiográficas de la costa permiten diferenciar tres zonas (Pérez y Chee, 1984);

Zona noroeste. De Punta San Miguel al cerro de El Vigía, caracterizada por playas arenosas de sedimento grueso y acantilados.

Zona centro. Del Puerto de Ensenada a la boca del Estero de Punta Banda, constituida de una playa ancha arenosa.

Zona sureste. Comprendida desde la boca del Estero hasta la base de Punta Banda; consiste en una barra arenosa que se origina al pie de Punta Banda y se prolonga hasta la entrada del Estero.

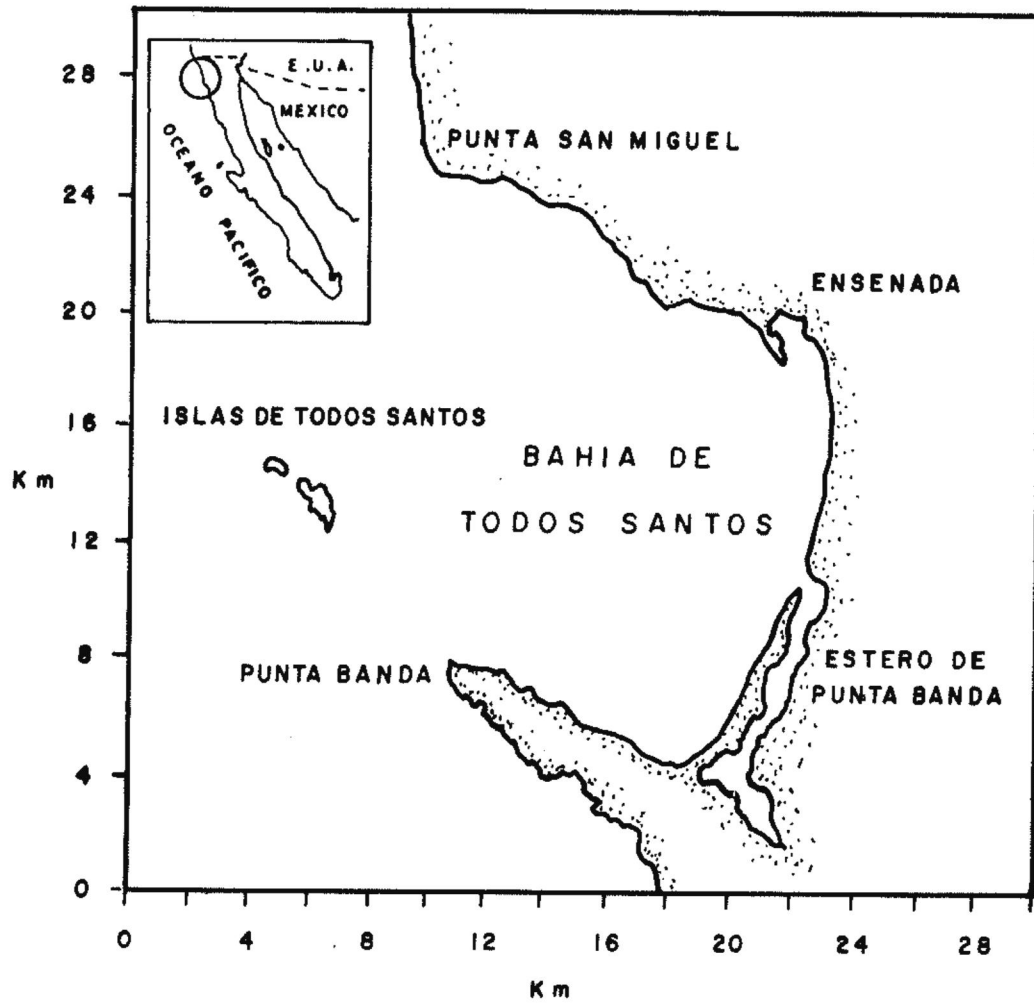


FIG. 2 - AREA DE ESTUDIO .

3 METODOLOGIA

3.1 INFORMACION DE OLEAJE

Para propósitos del estudio se han considerado seis casos de olas que arriban normalmente a la BTS, correspondiendo los primeros dos a oleaje que incide en verano y los casos restantes al oleaje que llega durante la época invernal.

3.2 OBTENCION DE DIAGRAMAS DE REFRACCION

La obtención de los diagramas de refracción se hizo mediante un programa computacional proporcionado por Ulloa-Torres (1989). Este programa es una adaptación del método de Wilson (1966) el cual utiliza para el cálculo de la refracción la siguiente información de entrada:

Una batimetría del área donde se desea conocer el patrón de refracción la cual se presenta en la Figura 3, y datos de olas en aguas profundas (Wiegel, 1993) los cuales se muestran en la Figura 4, esta última, presenta las condiciones predominantes en las diferentes épocas del año (zona de generación, dirección de propagación (θ_0), período (T_{s_0}), y altura (H_{s_0}) significativa en aguas profundas respectivamente).

Con la información anterior y con los resultados del análisis de los diagramas de refracción, se calculan las alturas y ángulos de las olas en la zona de rompiente. Esto se detalla a continuación:

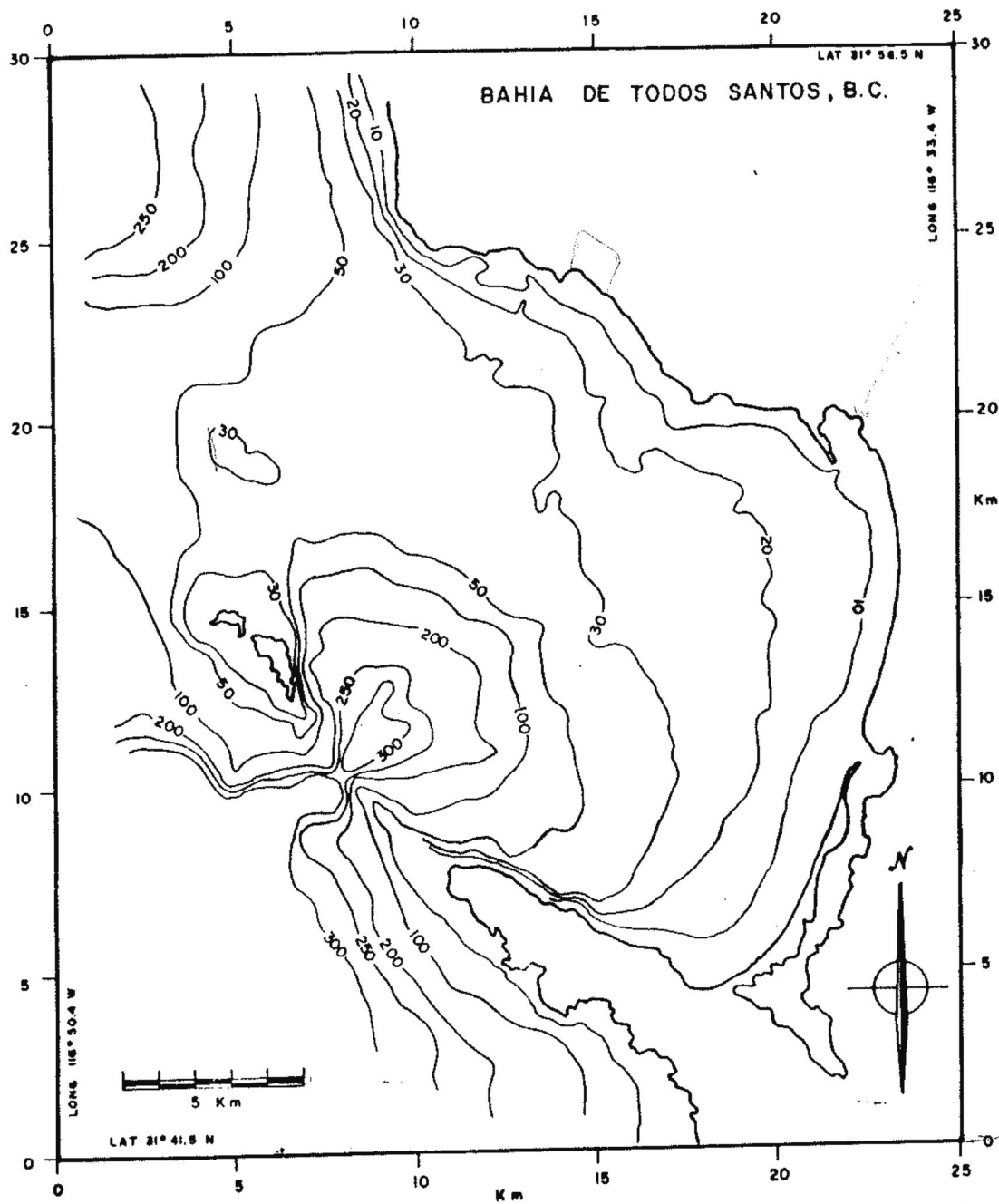
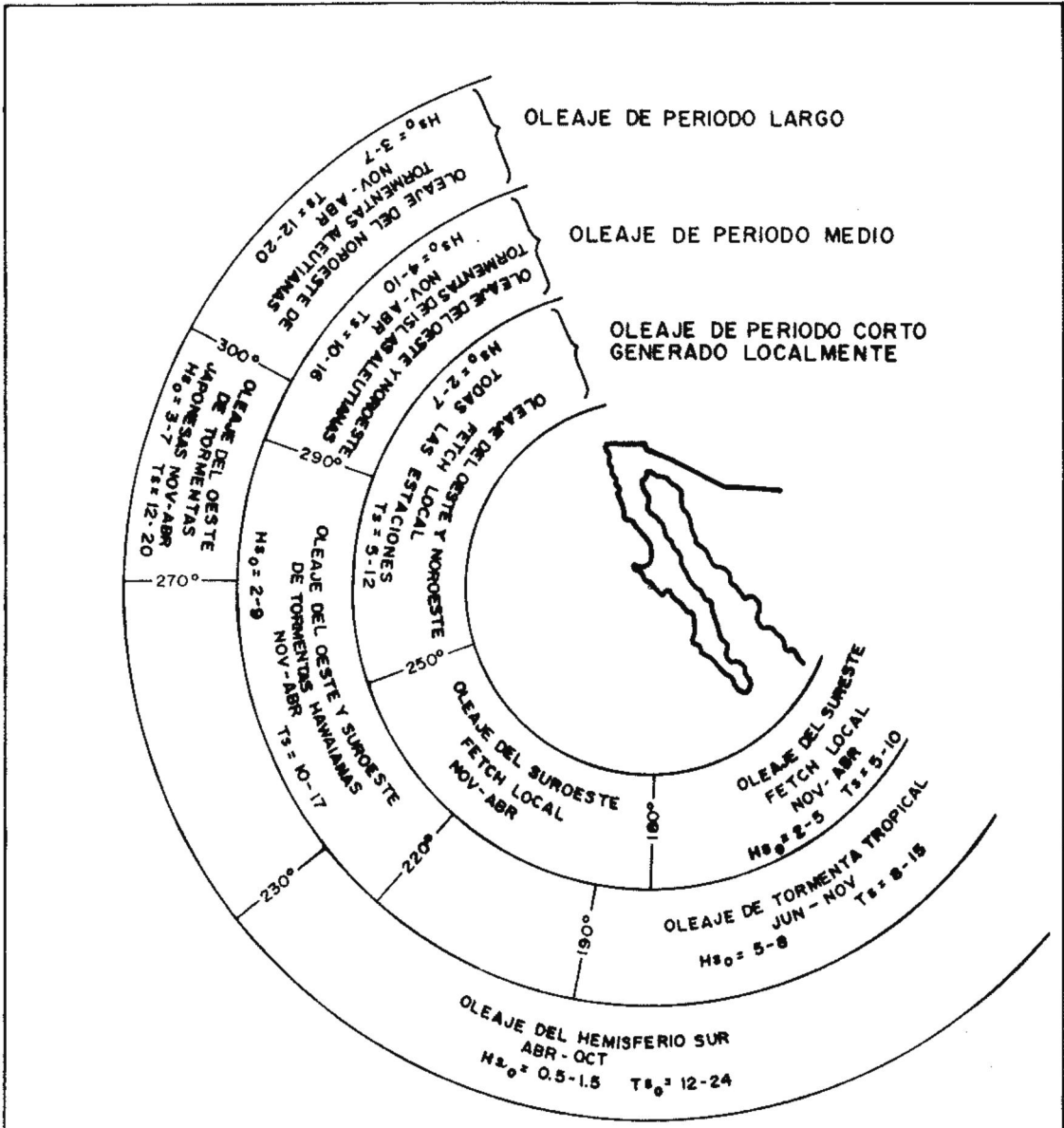


FIGURA 3 - BATIMETRIA (TOMADO DE Ulloa, 1989)



H_{s0} = ALTURA SIGNIFICANTE EN METROS
 T_s = PERIODO SIGNIFICANTE EN SEGUNDOS

FIGURA 4 - CARACTERISTICAS DE OLAS FUERA DE LA BAHIA DE TODOS SANTOS, B.C. (TOMADO DE Wiegel, 1993).

3.3 CALCULO DE ALTURAS Y ANGULOS EN LA ROMPIENTE

La altura significativa de la ola en la rompiente (Hs_b) se calculó mediante la siguiente relación (SPM, 1984):

$$Hs_b = \left(\frac{Hs_0}{3.3(Hs_0/1.56(Ts_0)^2)^{1/3}} \right) \left(\frac{b_0}{b} \right)^{1/3} \quad (1)$$

donde b_0 y b son la distancia entre ortogonales en aguas profundas y en la isobata deseada respectivamente. El término $(b_0/b)^{1/3}$ es el coeficiente de refracción (K_b).

El ángulo que forma la ola al romper cerca de la costa (θ_b), se mide directamente de los diagramas de refracción. Una vez obtenidos éstos parámetros se calculó la velocidad y de la corriente litoral como se describe a continuación:

3.4 CALCULO DE LA CORRIENTE LITORAL

La velocidad de la corriente litoral ó paralela a la costa V_l , se calculó mediante la siguiente relación (Komar, 1975);

$$V_l = \{2.7 U_m \text{ Sen } \theta_b \text{ Cos } \theta_b\} - \{(1.41 \pi / C, \gamma_b^3)(1 + 0.375 \gamma_b^2 - 0.25 \gamma_b^2 \text{ Cos}^2 \theta_b) U_m (\partial Hs_b / \partial Y)\} \quad (2)$$

donde C_f es el coeficiente de arrastre, tomado como 0.017 (Longuet-Higgins, 1970), γ_b es una constante que depende de la altura de la ola y la profundidad en la rompiente, tomada como 0.78 (Komar, 1975) y $\partial H_s / \partial Y$ es el gradiente de alturas de ola paralelo a la playa. U_m es la velocidad orbital máxima de las partículas de la ola bajo la rompiente dada por (Komar, 1975):

$$U_m = (2E_b / \rho_s h_b)^{1/2} \quad (3)$$

donde E_b es la energía de la ola en la rompiente, h_b es la profundidad del agua en la rompiente y ρ_s es la densidad del agua de mar.

El primer término en la ec. (2); representa la velocidad de la corriente litoral generada por el oleaje que se aproxima oblicuamente a la costa, mientras que el segundo, es la corriente litoral debida a las variaciones en las alturas de la ola a lo largo de la costa.

4 RESULTADOS Y DISCUSIONES

La refracción del oleaje que normalmente llega a la BTS del suroeste ($\theta_o = 230^\circ$ y $\theta_o = 242^\circ$) durante los meses de junio a septiembre se presenta en las Figuras 5 y 6. Se observa que la distribución de energía se limita al área comprendida entre la boca del Estero de Punta Banda y Punta San Miguel. Los ángulos que forman las olas al romper cerca de la costa oscilan entre -12° y 18° con altura promedio en la rompiente de 120 cm.

En las Figuras 7 y 8 se muestra la refracción para oleaje invernal que llega a la BTS del oeste ($\theta_o = 244^\circ$ y $\theta_o = 245^\circ$) y en la 9 y 10 del noroeste ($\theta_o = 280^\circ$ y $\theta_o = 290^\circ$). En la rompiente la altura promedio de las olas es de 172 cm y los ángulos que forman con respecto de la línea de costa varían entre -17° y 26.5° . La energía del oleaje que viene del noroeste, se distribuye sobre un área mayor (de la base de la BEPB hasta Punta San Miguel) posiblemente como resultado del efecto de refracción que produce la batimetría entre las Islas de Todos Santos y Punta San Miguel por donde principalmente ingresan a la Bahía estos trenes. Al respecto Ulloa-Torres (1989) y Torres-Navarrete (1991) mencionan que la BTS tiene dos zonas bien definadas en las que los rasgos batimétricos producen una refracción suave (entre las Islas y Punta Banda) y otra muy intensa (entre las Islas y Punta San Miguel) donde las ortogonales experimentan cambios grandes en la dirección.

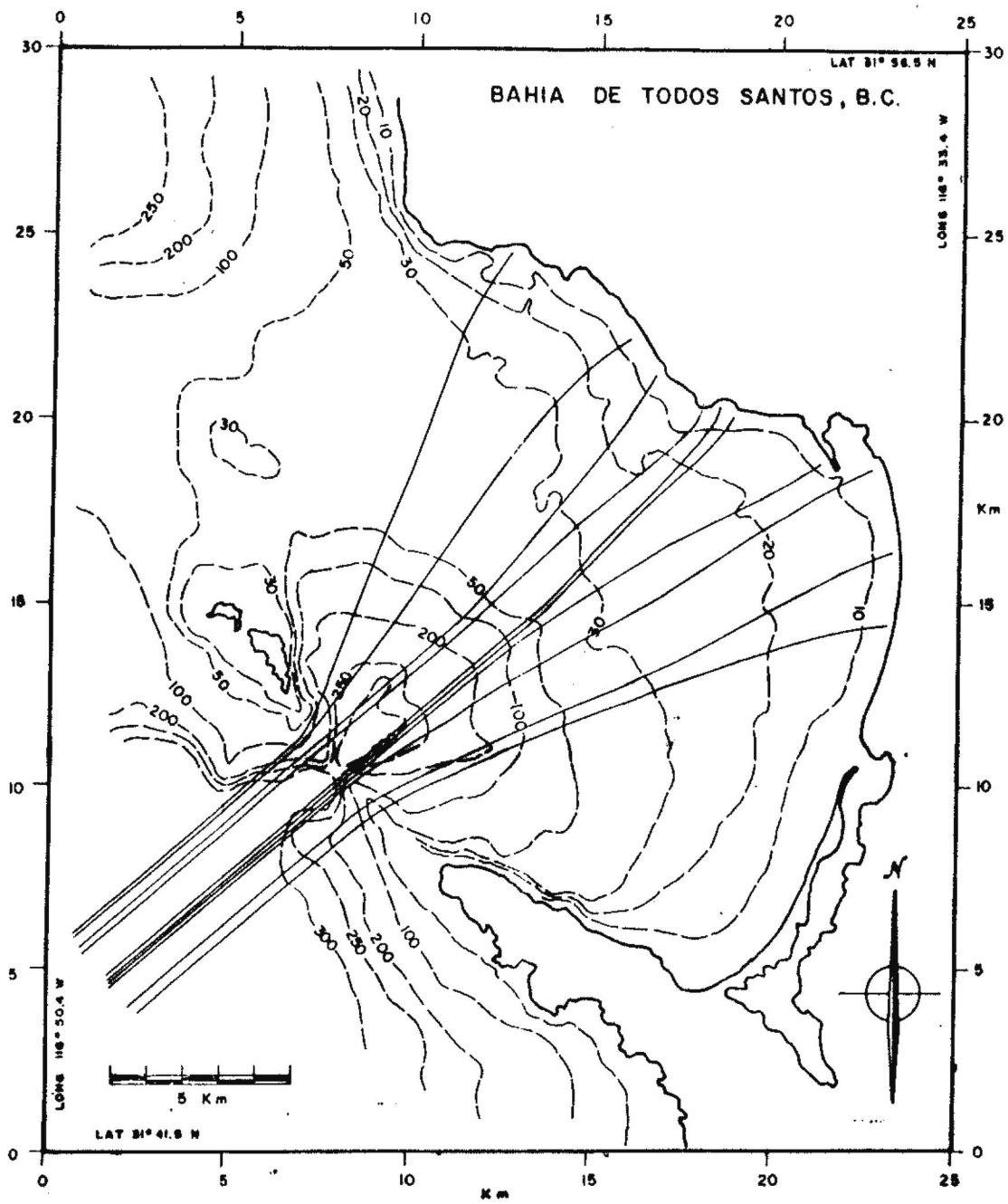


Figura 5. Patrón de refracción para olas del suroeste ($\theta_0 = 230^\circ$, $H_{s0} = 1$ m, $T_{s0} = 14$ s)

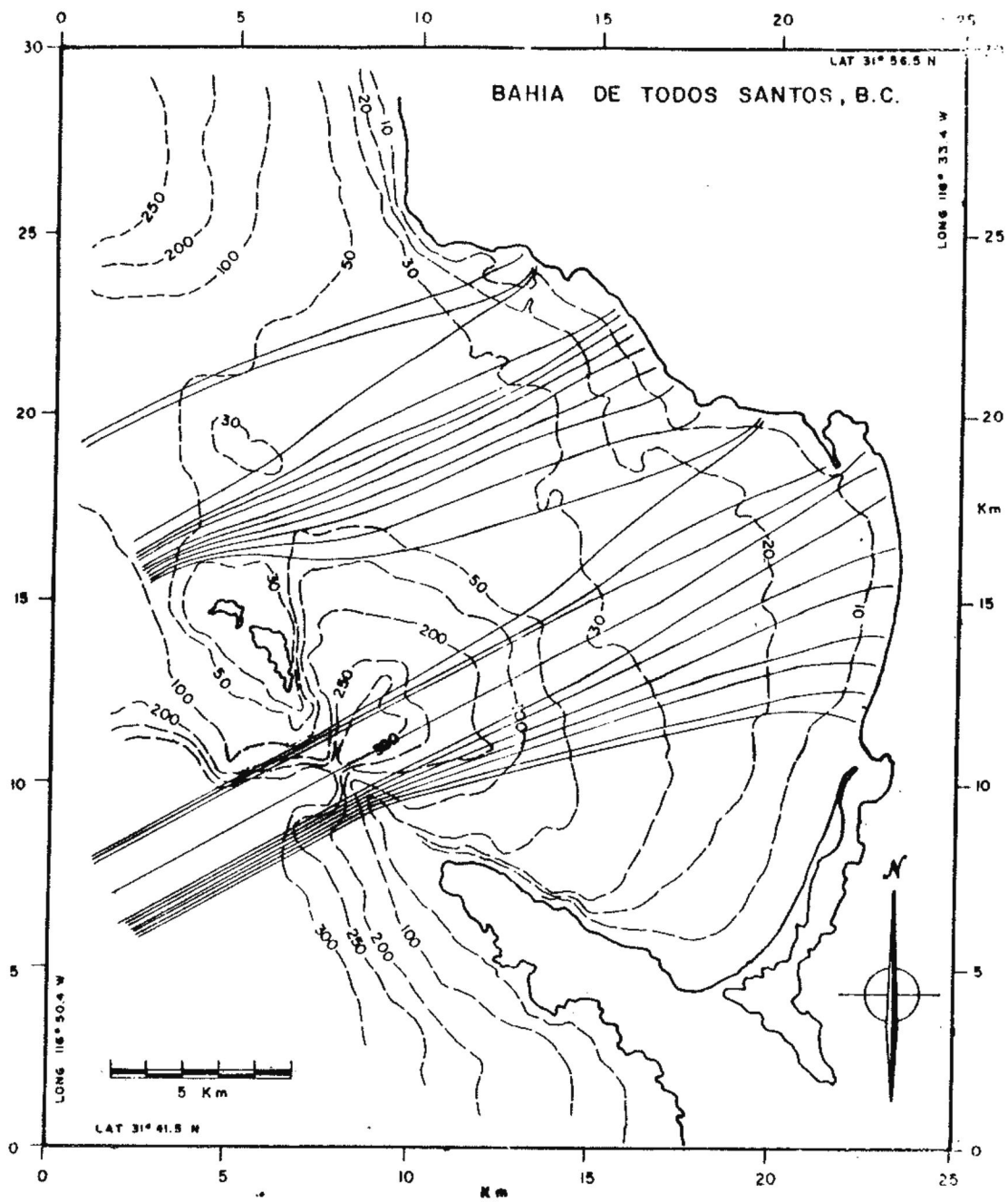


Figura 6. Patrón de refracción para olas del suroeste ($\theta_0 = 242^\circ$, $H_{s0} = 1$ m, $T_{s0} = 12$ s)

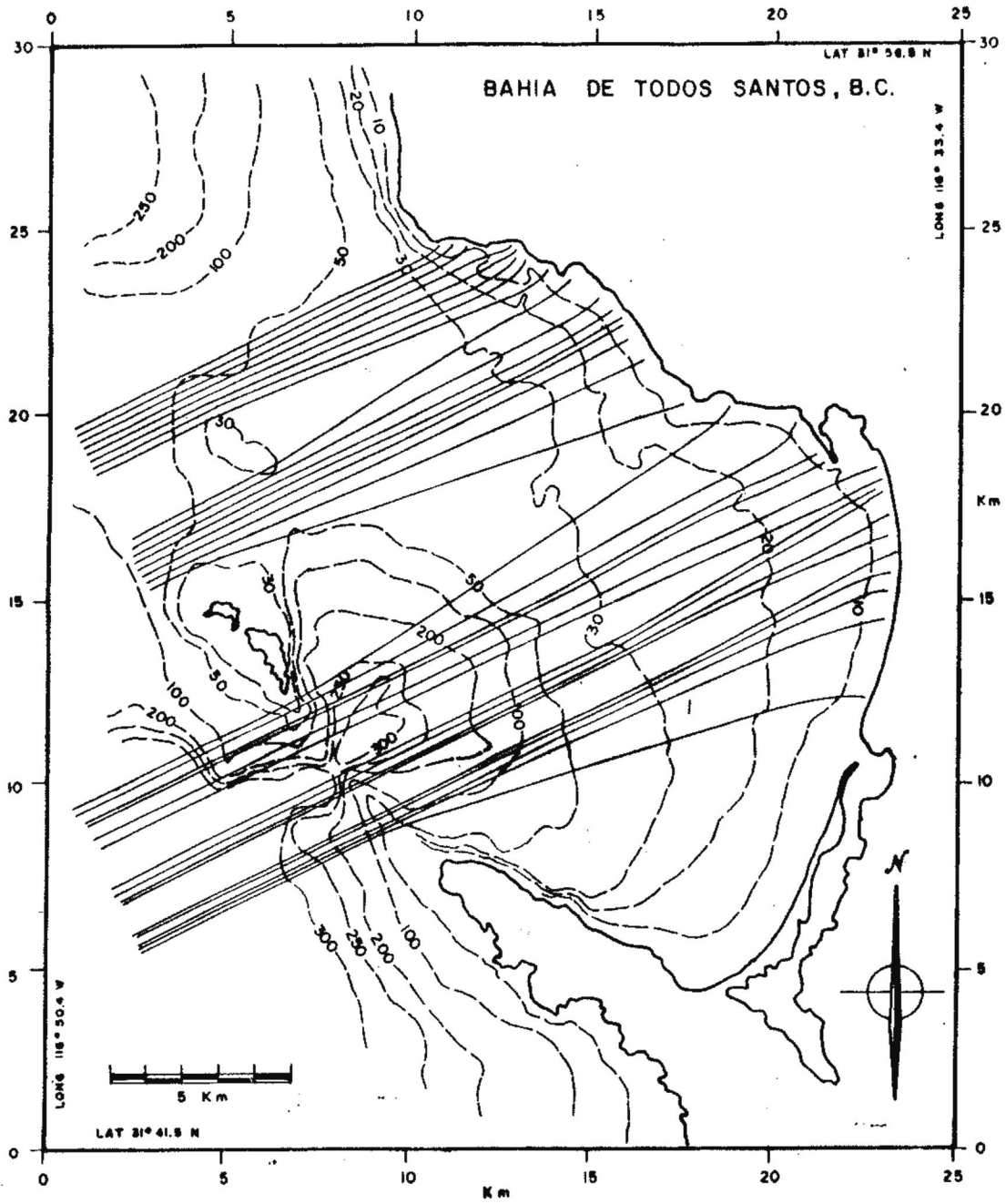


Figura 7. Patrón de refracción para olas del oeste ($\theta_0 = 244^\circ$, $H_{s_0} = 2 \text{ m}$, $T_{s_0} = 8 \text{ s}$)

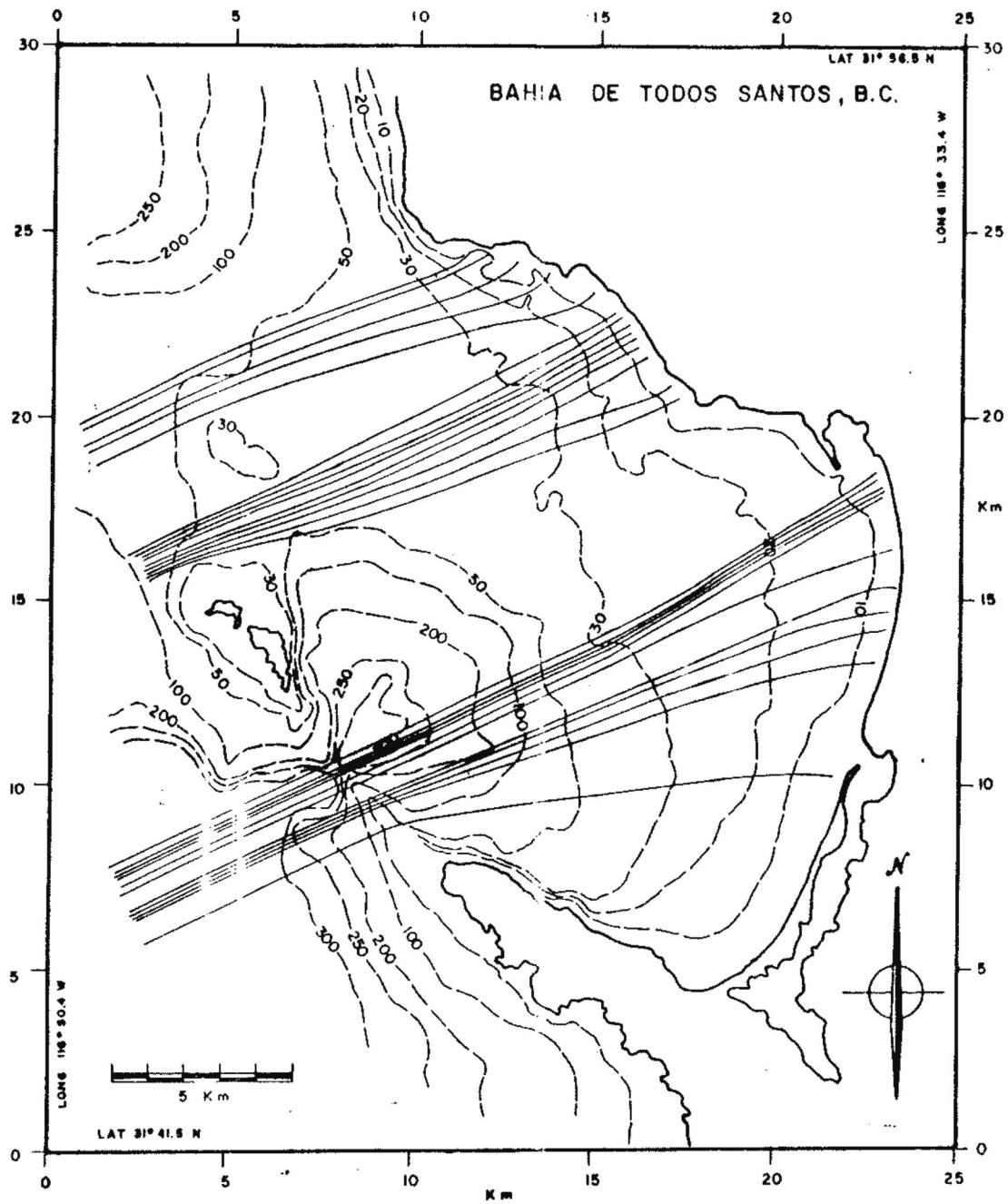


Figura 8. Patrón de refracción para olas del oeste ($\theta_0 = 245^\circ$, $H_{s0} = 2$ m, $T_{s0} = 10$ s)

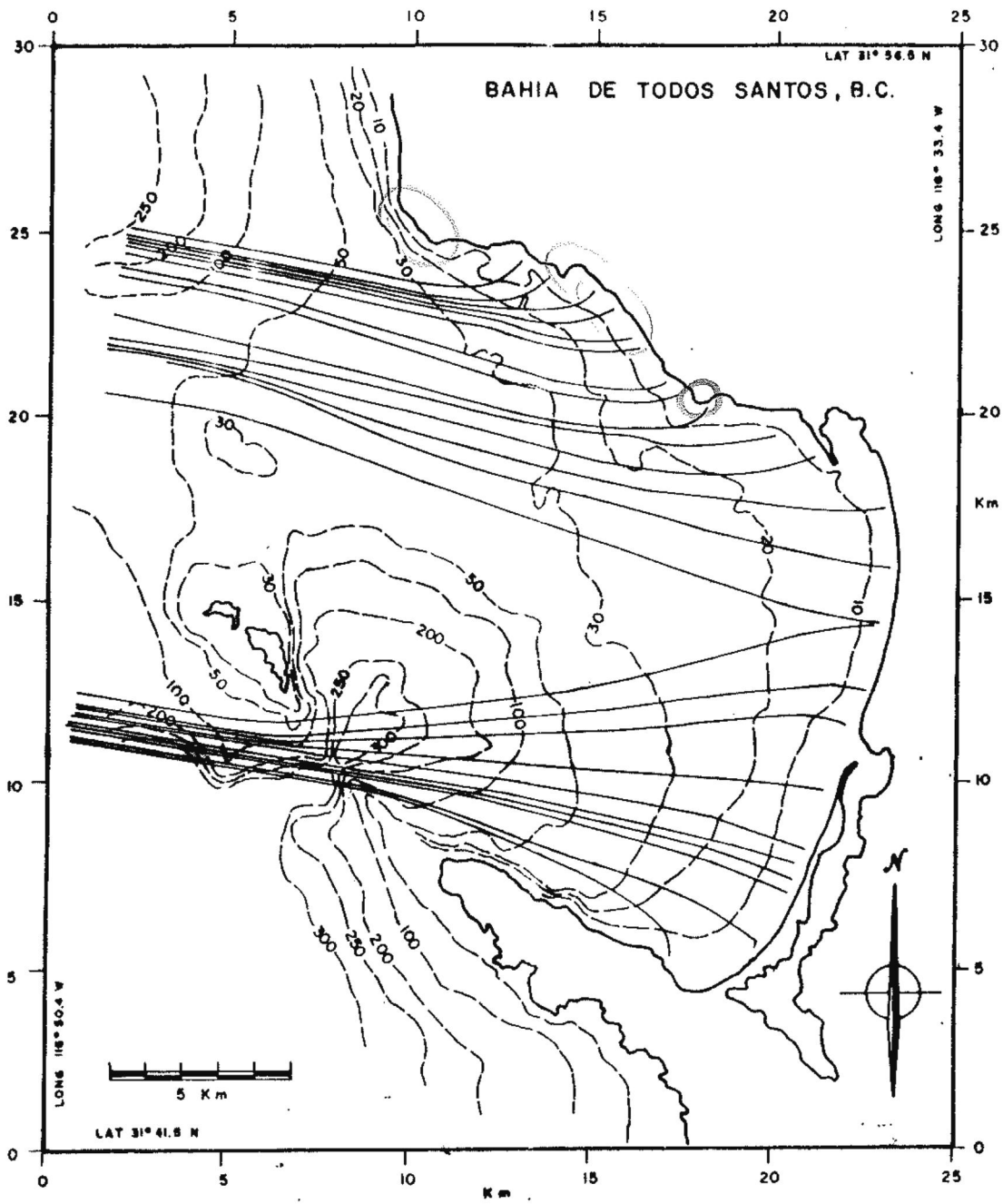


Figura 9. Patrón de refracción para olas del noroeste ($\theta_0 = 280^\circ$, $H_{s0} = 2$ m, $T_{s0} = 12$)

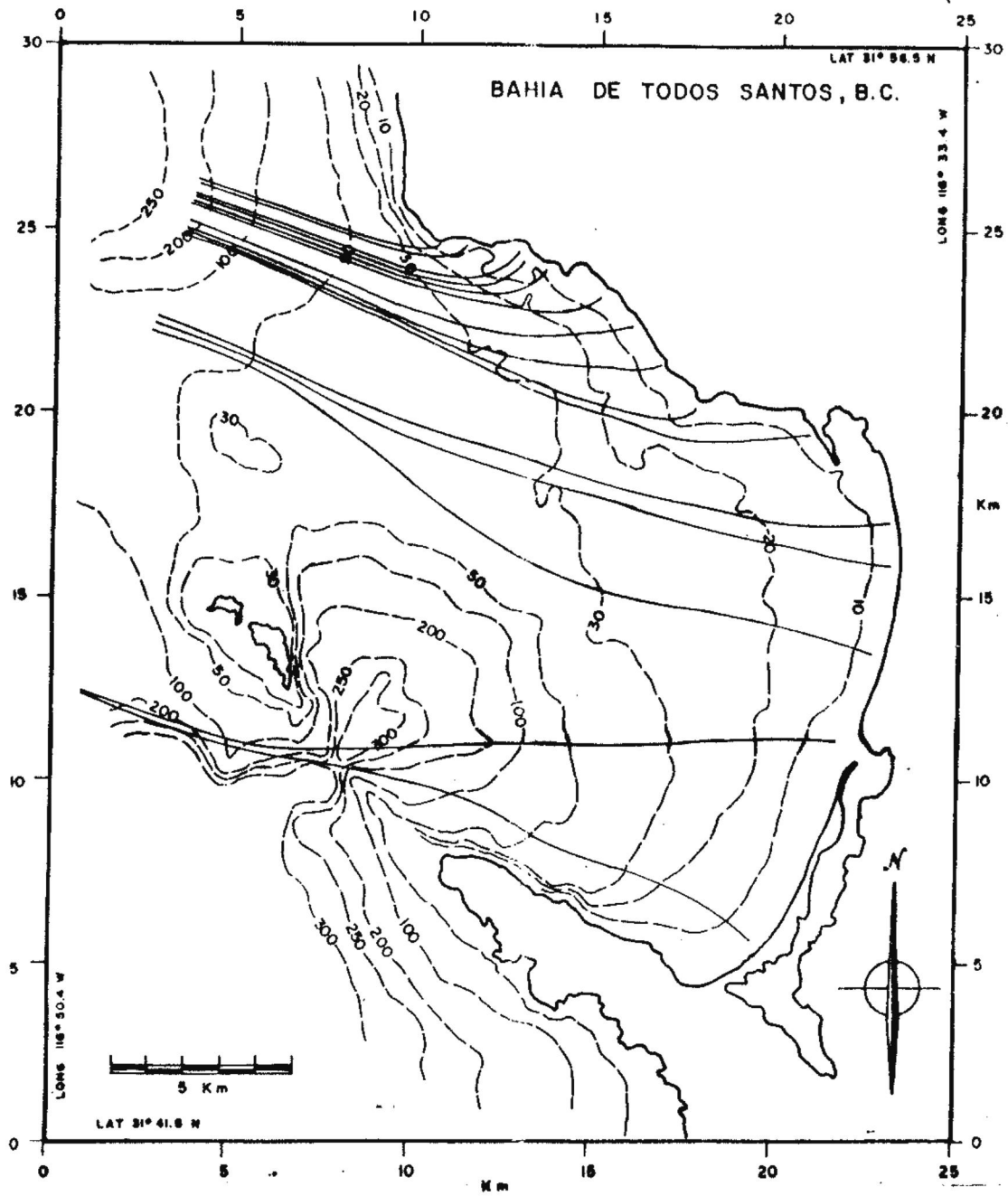


Figura 10. Patrón de refracción para olas del noroeste ($\theta_0 = 290^\circ$, $H_{s0} = 2$ m, $T_{s0} = 16$ s)

ZONA NOROESTE

Al noroeste de la BTS el comportamiento de la corriente a lo largo de la costa varía con las condiciones de olas imperantes, observándose en Punta Morro una divergencia cuando el tren de olas llega de 242° (Figura 12) y convergencia para olas con dirección de 230° (Figura 11), esta última, también se observa cuando del noroeste arriban olas de 280° (Figura 15). En las proximidades del Puerto del Sauzal el comportamiento es irregular en presencia de olas del oeste (Figuras 13 y 14) manteniéndose constante (hacia el S) con oleaje del noroeste (Figuras 15 y 16) y suroeste de 242° e invirtiéndose hacia el N cuando el tren de olas tiene una dirección de 230° . Sin embargo, la dirección S predomina durante ambas estaciones del año. Lo anterior coincide con lo reportado en estudios precedentes (Figura 1), los cuales infieren este comportamiento a partir de parámetros sedimentarios. La magnitud promedio de la corriente predominante en verano (oleaje del suroeste) es de 55.4 cms^{-1} , mientras que para invierno es de 98.3 cms^{-1} (oleaje del oeste y noroeste).

ZONA CENTRO

El comportamiento de la corriente litoral, al centro de la BTS, es similar para oleaje del suroeste (Figura 11 y 12), oeste (Figura 13 y 14), y noroeste de 290° (Figura 16). La dirección predominante es hacia el N aun cuando existen por lo menos dos

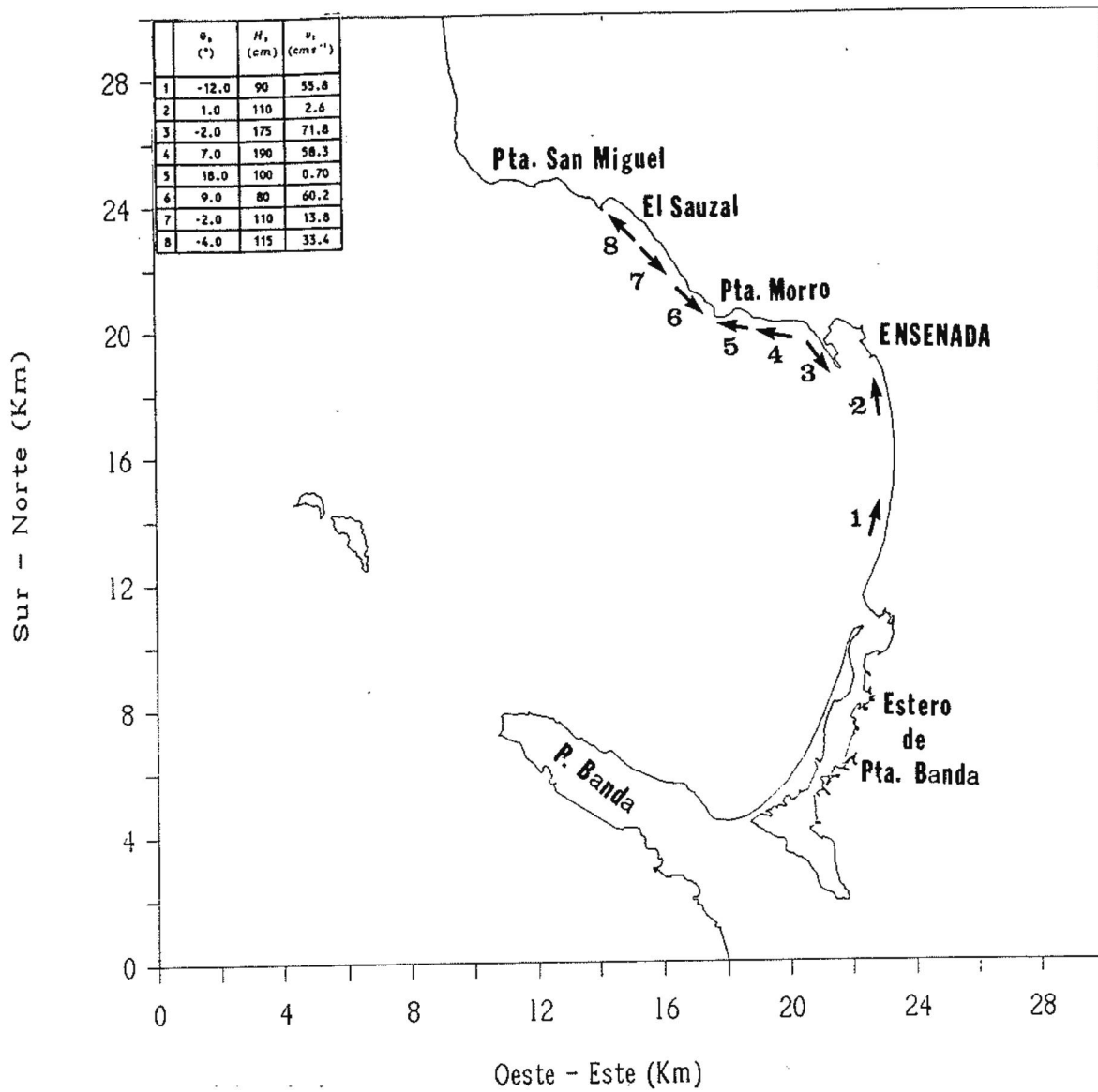


Figura 11. Corriente litoral debida al oleaje que llega a 230° (verano)

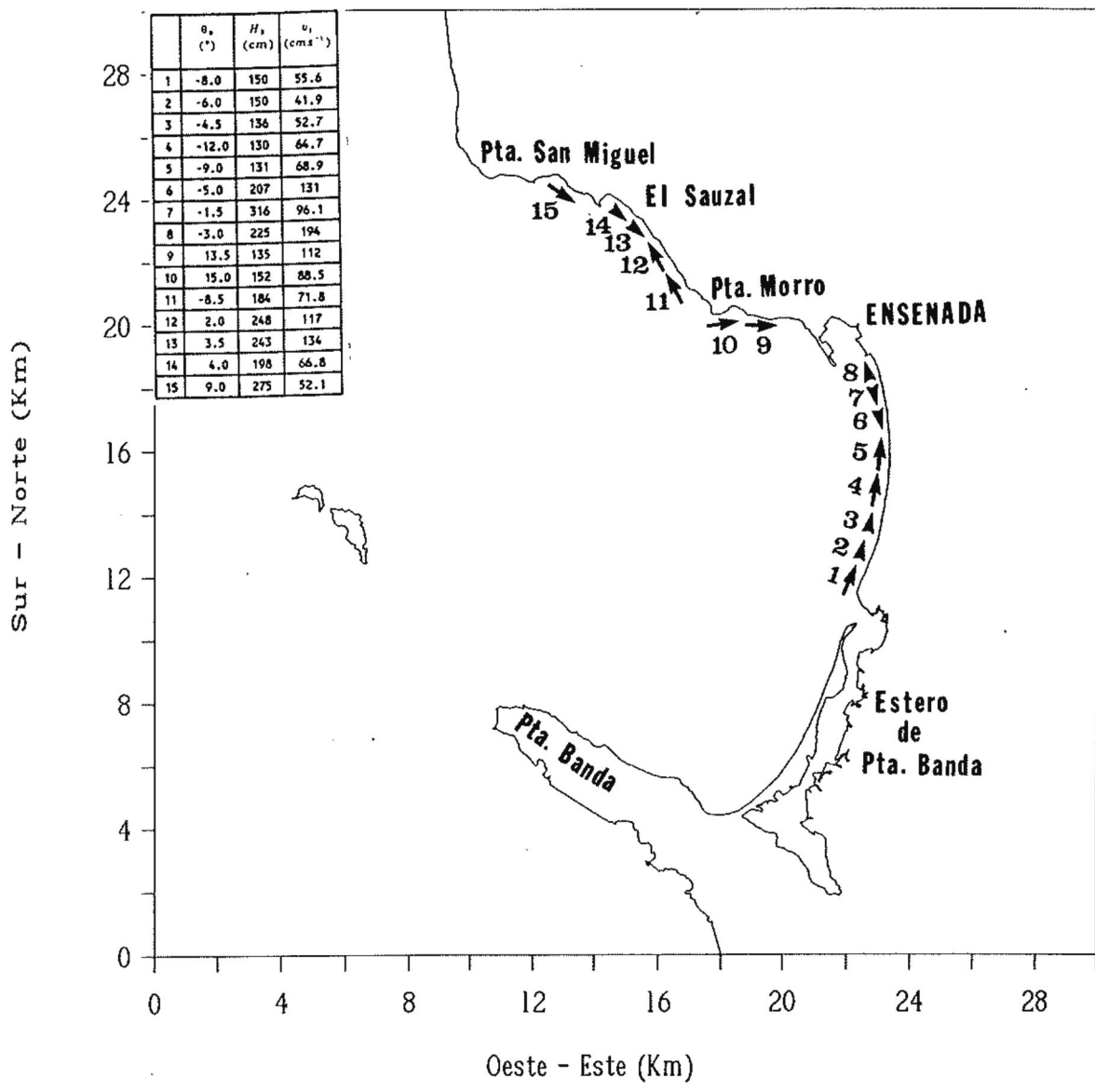


Figura 12. Corriente litoral debida al oleaje que llega a 242° (verano)

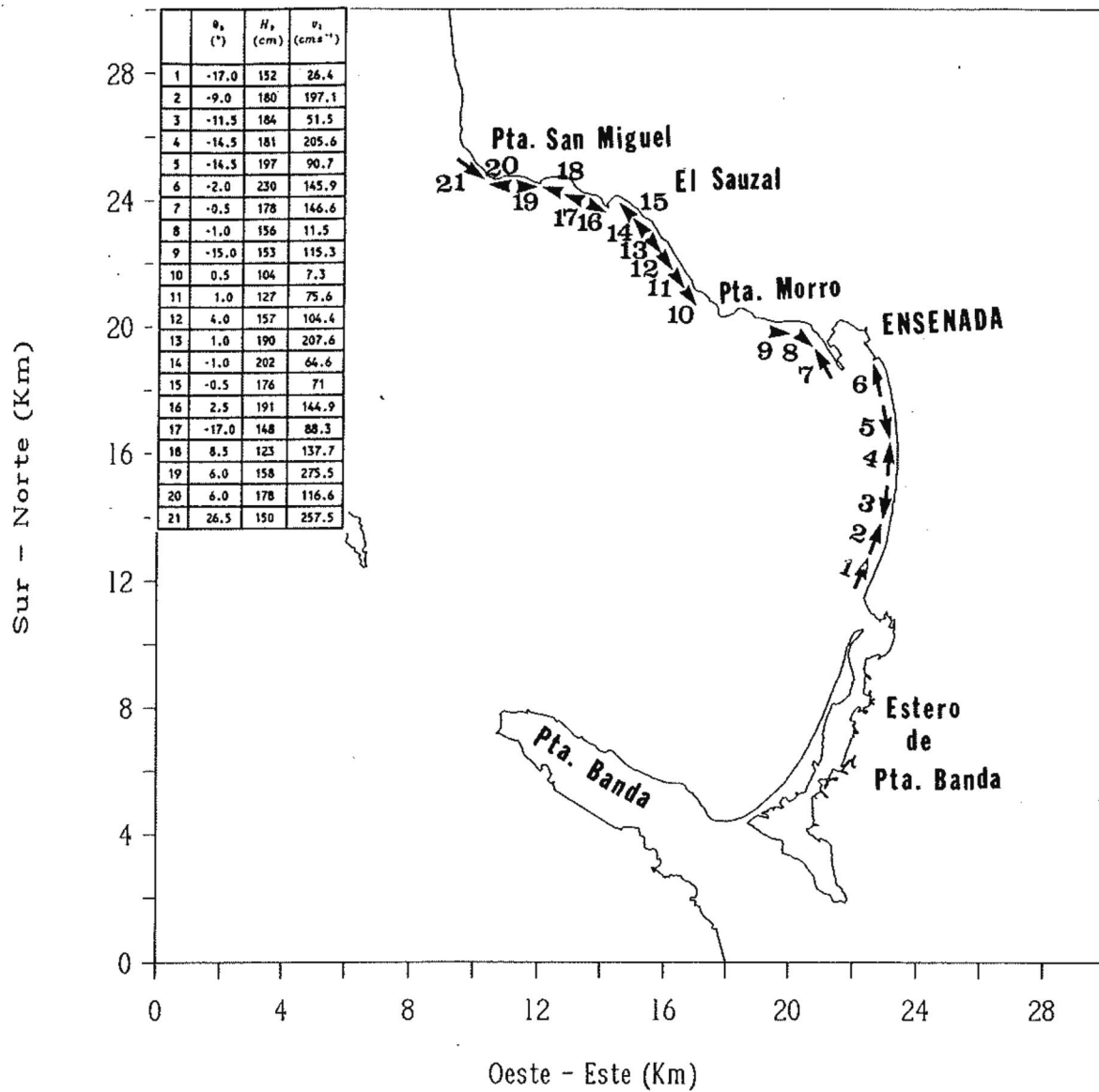


Figura 13. Corriente litoral debida al oleaje que llega a 244° (invierno)

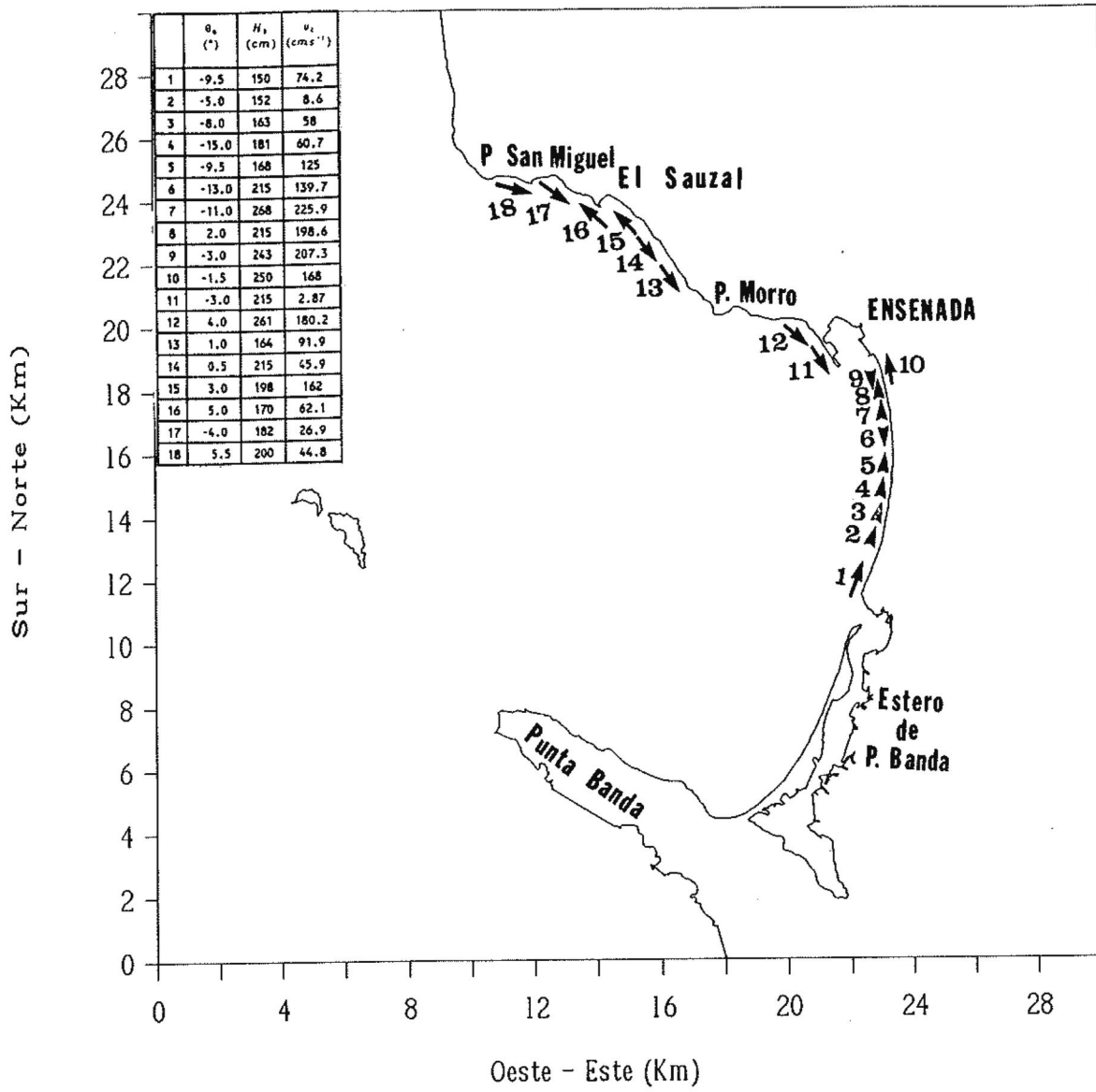


Figura 14. Corriente litoral debida al oleaje que llega a 245° (invierno)

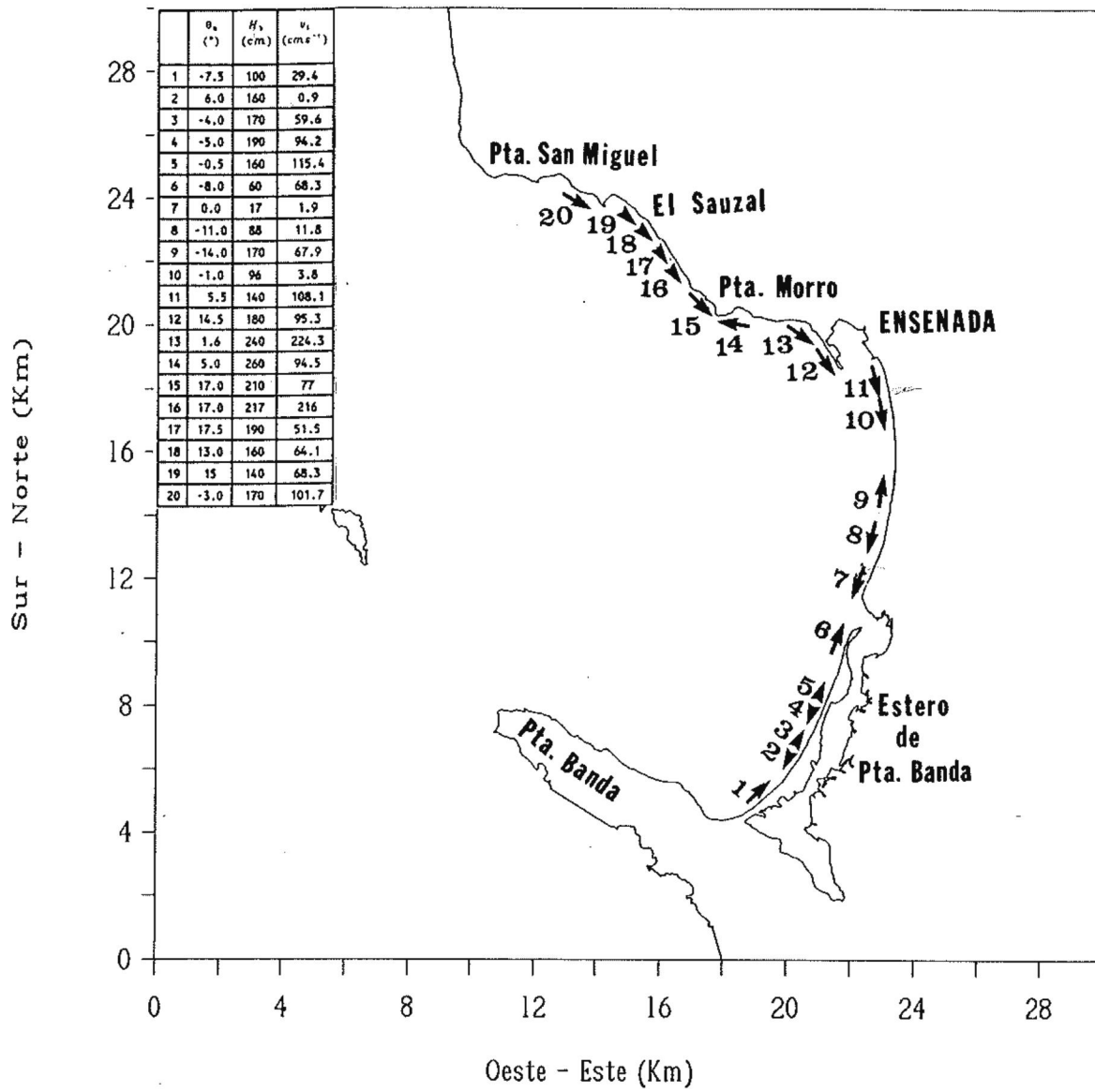


Figura 15. Corriente litoral debida al oleaje que llega a 280° (invierno)

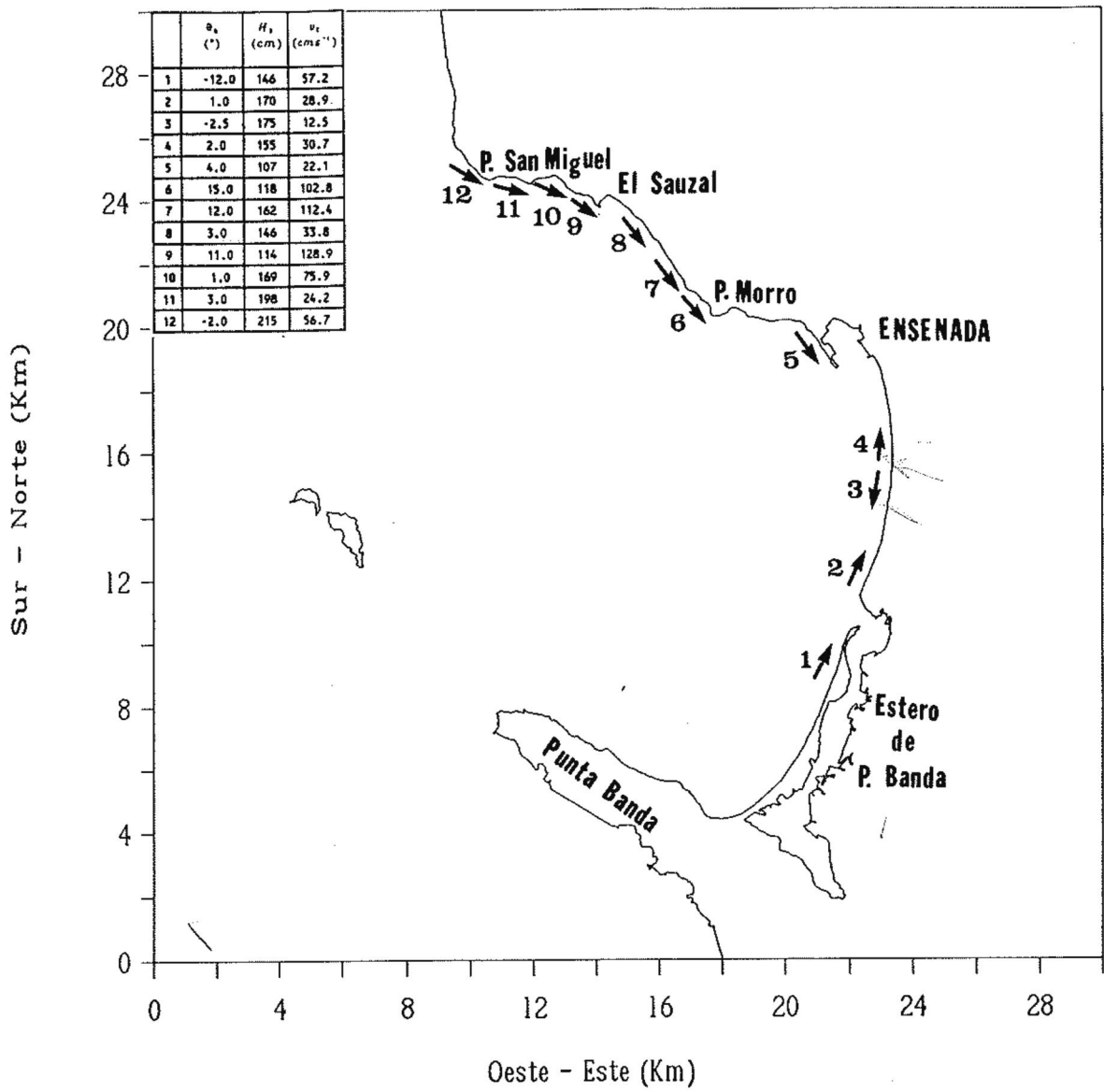


Figura 16. Corriente litoral debida al oleaje que llega a 290° (invierno)

divergencias localizadas aproximadamente tres km al norte de la boca del Estero de Punta Banda y a un km al sur del Puerto de Ensenada, esta última, descrita por Baca-Chacón (1981) a la altura de Playa Hermosa.

Durante la incidencia de olas de 280° (Figura 15) al norte de la boca del Estero de Punta Banda continua observándose una divergencia en la corriente, sin embargo, la dirección predominante es hacia el S. Este cambio de sentido posiblemente sea una respuesta a la dirección de incidencia del oleaje que arriba de 280° no observándose éste cuando de la misma área de generación (Hemisferio Norte) llegan olas de 290° (Figura 16).

En esta zona la magnitud promedio de la corriente generada por oleaje del suroeste (verano) es de 47.8 cms^{-1} , mientras que oleaje del oeste y noroeste (invierno) produce una corriente de 110 cms^{-1} .

Los trabajos realizados por Baca-Chacón (1981), Méndez-Arriaga (1982), Aranda-Manteca (1983), Pérez-Higuera y Chee-Barragán (1984), y Castellón-Alvarez (1988) mencionan que en la zona centro de la BTS la corriente es en dirección N predominantemente, sin embargo, los resultados de este estudio indican lo contrario cuando el oleaje proviene de 280° . Este hecho es sobresaliente puesto que este tipo de oleaje es el más frecuente, aunque debe tenerse en cuenta que en el presente trabajo

no se han considerado olas de período corto que pueden provocar fuertes corrientes litorales (Silvester, 1979 cit. por Torres-Navarrete, 1991) las cuales pueden interactuar con las producidas por oleaje de tormenta.

ZONA SURESTE

Para olas del suroeste y del oeste, los diagramas de refracción no proporcionan información para el área comprendida desde la boca hacia la base de la barra del Estero de Punta Banda, por lo que no se presentan velocidades para esta zona. Sin embargo, Torres-Navarrete (comunicación personal) con mediciones de correntímetros electromagnéticos encuentra magnitudes promedio de 60 cms^{-1} en dirección N predominante.

Durante el arribo de olas del noroeste la magnitud promedio de la corriente paralela a la BEPB es de 65.9 cms^{-1} en dirección N predominantemente. La dirección de ésta coincide con los trabajos reportados (O'Brien y Zeevaert, 1968; Aranda-Manteca, 1983; González-Ramírez, 1985; Blanco-Betancourt, 1987; Jiménez-Pérez, 1988; Torres-Navarrete, 1991; y Torres y Martínez, 1993).

En resumen, el comportamiento estacional de la corriente a lo largo de la costa parece estar regido en primera instancia por las características propias de cada tren de olas que al ingresar a la BTS con distinta dirección y período se refractan de manera

diferente (Figuras 5, 6, 7, 8, 9 y 10). Por otro lado, y como consecuencia de este efecto, la fuerza debida al gradiente de alturas en la rompiente juega un papel importante en la generación de la corriente, en ambas estaciones del año, aun cuando en algunos casos (en presencia de olas que vienen de 242° , 244° y 280°) se suma a ésta la fuerza consecuente del ángulo con que rompen las olas cerca de la costa.

En lo que respecta a los resultados de magnitud, estos son congruentes con lo esperado pues tomando cuenta que durante el invierno las olas se caracterizan por un alto nivel energético (oleaje destructivo) las corrientes generadas por éstas deben por lo tanto ser de mayor magnitud que en el verano, estación durante la cual las olas son de menor energía (oleaje constructivo).

Las predicciones del modelo de Komar (1975) suponen una fisiografía de la costa constituida por una playa de contornos rectos y paralelos, característica ausente en algunas áreas al NO de la BTS. Por otra parte, Ajas-Pérez de Lebrija (1985) y Ulloa-Torres (1989) mencionan que una posible sobreestimación en los resultados puede ser provocada por el uso mismo de la teoría lineal, al emplear datos medidos en estaciones lejanas extrapolados por refracción al lugar de interés. El método de refracción supone que no hay disipación de energía debido a la fricción con el fondo y ausencia de percolación; consecuentemente la energía de las olas es mayor que la real.

Utilizar métodos computacionales para simular la refracción, produce una sobreestimación del 8 % en los cálculos a partir de parámetros de olas obtenidos con esta técnica (González-Calvillo y Cruz-Falcón, 1985). En base a lo anterior se recomienda corroborar estos resultados con mediciones directas, pues actualmente la BTS carece de un estudio sistemático del comportamiento de la corriente litoral y de características de oleaje en la zona de rompiente.

5 CONCLUSIONES

→ La dirección predominante de la corriente litoral al NO de la BTS es hacia el S con magnitud promedio de 55.4 cms^{-1} en verano y 98.3 cms^{-1} en invierno.

Al centro de la Bahía la dirección predominante es hacia el N en presencia de olas del suroeste, oeste y noroeste con dirección de 290° . Oleaje de 280° produce una corriente en dirección S predominantemente. La magnitud promedio en verano es de 47.8 cms^{-1} y en invierno de 110 cms^{-1} .

En invierno oleaje del noroeste genera una corriente paralela a la BEPB que fluye predominantemente hacia el N con magnitud promedio de 65.9 cms^{-1} .

6 BIBLIOGRAFIA

- Ajas-Pérez de Lebrija, A. (1985). Análisis de algunas características para la construcción de una marina en el Estero de Punta Banda, B.C., Tesis Profesional, UABC, Fac. de C. Marinas, pp. 1-45.
- Aranda-Manteca, F. (1983). Estudio de los minerales pesados como trazadores de la corriente litoral en la Bahía de Todos Santos, B.C., Tesis Profesional, UABC, Fac. de C. Marinas, pp. 1-78.
- Baca-Chacón, C. (1981). Procedencia de los minerales pesados en la Bahía de Todos Santos, B.C., Tesis Profesional, UABC, Fac. de C. Marinas, pp. 1-40.
- Blanco-Betancourt, J.R. (1987). Comparación de dos modelos de predicción de la corriente a lo largo de la playa, con datos reales obtenidos en la barra del Estero de Punta Banda, B.C., Tesis Profesional, UABC, Fac. de C. Marinas, pp. 1-36.
- Blanco-Betancourt, J.R. (1993). Comparación de las predicciones de tres modelos de transporte de sedimento contra datos de campo en la barra del Estero de Punta Banda, B.C., Trabajo Terminal, UABC, Esc. de Ing. Ens., pp. 20.
- Bowen, A.J., (1969). Rip Currents; 1 Theoretical investigations. *Journal of Geophysical Research*, 74:5467-5478.

- Bowen, A.J. and Inman, D.L. (1969). Rip Currents; 2 Laboratory and Field observations. *Journal of Geophysical Research*, 74:5479-5490.
- Castillón-Alvarez, R.C. (1988). Transporte de sedimento y su efecto sobre el perfil de playa en la Bahía de Todos Santos, B.C. Mex., Tesis Profesional, UABC, Fac. de C. Marinas, pp. 1-38.
- Galvin, C.J. (1990). Importance of Longshore Transport. *Shore and Beach*, 52(1):31-32.
- González-Calvillo, A. (1980). Estabilidad y habilidad natural de autodragado de la boca del Estero de Punta Banda, B.C., Tesis Profesional, UABC, Fac. de C. Marinas, pp. 1-36.
- González-Calvillo, A. y Cruz-Falcón, A. (1985). Verificación de un modelo de refracción y su influencia en la estimación del transporte litoral. *Ciencias Marinas*, 11(1):29-37.
- González-Ramírez, J. (1985). Transporte Litoral en la barra del Estero de Punta Banda, B.C., Curso de Titulación, UABC, Fac. de C. Marinas, pp. 1-32.

- Jiménez-Pérez, M. (1988). Determinación del transporte litoral por medio de trazadores fluorescentes en la parte externa de la barra del Estero de Punta Banda, B.C., Tesis Profesional, UABC, Fac. de C. Marinas, pp. 1-47.
- Komar, P.D. (1971). Nearshore Cell Circulation and the Formation of Giant Cusps. *Geological Society of American Bulletin*, 82:2643-2650.
- Komar, P.D. (1975). Nearshore Currents generated by obliquely incident waves and longshore variation in breaker height. In: *Proceedings of the Symposium on Nearshore Sediment Dynamics*. Ed. J.R. Hails and A. Carr, Wiley, London. p. 17-45.
- Komar, P.D. (1976). *Beach Processes and Sedimentation*. Prentice Hall Inc., pp. 425.
- Komar, P.D. and Inman, D.L. (1970). Longshore Sand Transport on Beaches. *Journal of Geophysical Research*, 75(30):5914-5927.
- Lanfredi, N.W. and Schmidt, S.A. (1983). Currents Generated by Wave. *Shore and Beach*, 35(4):40-42.
- Lizárraga-Arciniega, R. (1976). Estudios de los movimientos cíclicos de la playa en la Bahía de Todos Santos, B.C., *Ciencias Marinas*, 3(1):30-50.

- Longuet-Higgins, M.S.(1970). Longshore Currents Generated by Obliquely Incident Sea Waves (part 1 and part 2). *Journal of Geophysical Research*, 75(33):6778-6801.
- Longuet-Higgins, M.S and Stewart, R.W. (1964) Radiation stress in water waves, a physical discussion with applications, *Deep Sea Research* 11:529-563.
- Méndez-Arriaga, M.(1982). Determinación del transporte litoral predominante en la Bahía de Todos Santos, B.C., Tesis Profesional, UABC, Fac. de C. Marinas, pp. 1-30.
- O'Brien, M.P. and Zeevaert, L. (1968). Design of a small tidal inlet . *Am. Soc. Civil Eng., Proc. Coastal Eng. Conf.*, 11:1242-1257.
- Pérez-Higuera, R. y Chee-Barragán, A. (1984). Transporte de sedimentos en la Bahía de Todos Santos, B.C., *Ciencias Marinas*, 10(3):31-52.
- Reddy, B.S.R., Venkatata, R.G., Durga, P.N. (1979). Wave Conditions and Wave induced Longshore Currents in the nearshore zone of Krishnapatnam. *Indian Journal of Marine Sciences*, 8:61-67.
- SPM, U. S. Army Coastal Engineering Research Center (1984). *Shore Protection Manual*. Department of the Army Corps of Engineers, 1:4-96.

Thornton, E.B., (1970). Variations of Longshore Current across the surf zone. Proc. 12th Conf. Engng. Washington, pp. 291-308.

Torres-Navarrete C.R. (1991). Transporte Litoral en una zona de la Bahía de Todos Santos, B.C., México durante abril, agosto, y octubre de 1985. Ciencias Marinas, 17(3):59-71.

Torres-Navarrete C.R. y Martínez-Díaz de León A. (1993). Longshore Sand Transport Southeast of Bahía de Todos Santos, B.C., Journal of Waterways Port Coastal and Ocean Engineering. ASCE. 119(5):580-585.

Ulloa-Torres, M.J. (1989). Refracción Lineal de Oleaje en el Puerto de Ensenada, B.C., Tesis Profesional, UABC, Fac. de C. Marinas, pp.48.

Wiegel, R. L. (1993). Dana Point Harbor. Shore and Beach, 61(3):37-55.