



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESTUDIO DE LA REMOCIÓN DE ARENA
EN PLAYAS POR OLEAJE

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A :

MARTIN JIMENEZ ESPINOSA

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

Resumen

1.	Introducción	1
2.	Planteamiento del problema	3
2.1.	Concepción general de la evolución de las playas	3
2.2.	Objetivos del trabajo	7
3.	Selección de información	9
3.1.	Localización y descripción general	9
3.2.	Batimetría	10
3.3.	Características de la arena	11
3.4.	Perfiles de playa	12
3.5.	Características del oleaje	20
3.5.1.	Oleaje en condiciones ordinarias	21
3.5.2.	Oleaje en condiciones extraordinarias	25
3.6.	Planos de oleaje	27
3.7.	Ascenso de marea por viento	28
3.8.	Medición del transporte litoral	29
3.9.	Datos físicos y de oleaje para condiciones ordinarias	31
3.10.	Datos físicos y de oleaje para los huracanes	33
4.	Transporte litoral y transporte perpendicular a la línea de costa, tanto en dirección a la playa como hacia mar adentro (transporte on - off shore .	37

4.1. Introducción	37
4.2. Criterios para el cálculo del transporte litoral y del transporte on - off shore	38
4.2.1. Métodos de la C. F. E.	39
4.2.2. Método de Larras	44
4.2.3. Método del Shore Protection Manual	46
4.2.4. Método de Sunamura (transporte on-off shore)	50
4.3. Cálculo del transporte litoral y del transporte on - off shore	51
4.3.1. Descripción del modelo de cálculo	52
4.3.2. Resultados del oleaje ordinario	53
4.3.3. Resultados de huracanes	56
5. Análisis de resultados y alternativas de solución	60
5.1. Análisis del movimiento de sedimentos durante los ciclones	60
5.2. Análisis del movimiento de sedimentos en condiciones ordinarias	62
5.3. Alternativas de solución	64
6. Conclusiones	68
- Referencias	71
- Apéndice	73
- Planos	
- Figuras	
- Manual de uso del programa para calcular el arrastre litoral y el transporte on-off shore	

RECONOCIMIENTOS

Quisiera agradecer al personal del Instituto de Ingeniería de la UNAM su ayuda y colaboración para la elaboración de este trabajo. Mucha de la información usada en él se elaboró en el Instituto, por lo que agradezco la participación de mis compañeros que directa o indirectamente ayudaron a su conclusión. En especial quiero agradecer al M. en I. Víctor Franco su apoyo e interés, al Dr. Jesús Gracia por los consejos que recibí de él durante la elaboración de mi tesis y al M. en I. Oscar Fuentes por permitirme colaborar en este Instituto.

En forma muy especial quiero agradecer a mi familia el apoyo que me brindaron en todos los aspectos.

RESUMEN

En este trabajo se analiza el movimiento de arena debido al efecto del oleaje. Se considera que este tiene dos componentes: una paralela a la costa llamada arrastre litoral, y otra perpendicular a ella denominada transporte on-off shore. Se describen los criterios utilizados, así como un programa escrito en lenguaje BASIC que sirve para el cálculo del transporte de arena durante un año. Se consideran 2 tipos de oleaje: en condiciones ordinarias y en condiciones extraordinarias. Finalmente se proponen alternativas de solución. El caso que se analiza es el correspondiente a Cancún, Q. Roo.

•

INTRODUCCION

El estudio del movimiento de material en las playas es importante para encontrar medidas que las protejan y se conserven como lugares de valor turístico.

Esto debe realizarse con una representación más racional del comportamiento de las costas, con una información real del clima, y del oleaje durante tormentas y huracanes.

El caso que se estudia en este trabajo sirve como un ejemplo de lo anterior. En septiembre de 1988 el huracán Gilberto literalmente golpeó las costas de la república mexicana en el Caribe y el Golfo, específicamente Quintana Roo (Cancún) y Tamaulipas.

En Cancún provocó daños a lo largo de 20 km de playa, reduciendo notablemente el ancho de la costa en algunos sitios.

Por tal motivo se ha buscado proponer una metodología y criterios

que permitan conocer la evolución de una playa, conociendo sus características físicas y del oleaje.

Este trabajo se ha organizado de la siguiente manera: en el capítulo 2 se hace un planteamiento del problema y se definen los objetivos de la tesis, en el capítulo 3 se hace acopio de la mayor cantidad de información posible, abarcando desde la topografía del lugar hasta las características del oleaje.

En el capítulo 4 se analizan los criterios para calcular el transporte litoral y el transporte on-off shore, se presentan los resultados obtenidos con los diferentes métodos, se explica que hace y como funciona el modelo numérico preparado para manejar toda la información de oleaje así como las características físicas de las playas usando los criterios anteriores.

En el capítulo 5 se hace el análisis de los resultados y se proponen algunas alternativas de solución.

Finalmente las conclusiones se presentan en el capítulo 6. Se anexa un apéndice que contiene el manual de uso del programa de computadora elaborado en los cálculos de transporte.

2.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 CONCEPCION GENERAL DE LA EVOLUCION DE LAS PLAYAS

El transporte de arena en playas es el resultado de las fuerzas que origina principalmente el oleaje, aunque adicionalmente influyen las corrientes marinas, las mareas y el viento.

Para entender como influye el oleaje en el transporte de arena se usará el concepto de "estado de equilibrio de una playa", que es una idealización del comportamiento de los perfiles playeros a través del tiempo.

Los perfiles de equilibrio. En la referencia 1 se admite que no hay una explicación general aceptada para la variación estacional de los perfiles playeros, ni siquiera explicaciones cualitativas serias del fenómeno. Sin embargo, esta teoría ha probado en el laboratorio, bajo condiciones de oleaje constantes, que las playas tienden a adoptar un perfil de equilibrio (ref. 2).

dependiendo exclusivamente de las condiciones de oleaje, de la pendiente inicial y de las características de la arena.

El criterio propuesto por Swart (ref. 2), permite determinar el perfil de equilibrio de una playa, a partir de las condiciones de oleaje, y de las características de la arena.

Si se considera que el oleaje es similar durante varios meses, en teoría, se alcanzará un perfil de equilibrio. Pero como ocurren cambios climáticos, el oleaje también va cambiando, y de esta manera, al variar las condiciones del primer perfil de equilibrio, se irá conformando otro.

Es así como en condiciones de oleaje ordinarias, por ejemplo en la estación de verano, la altura de ola varía en un cierto rango, que en general, moldea playas con pendientes más o menos continuas, o con cambios graduales, y ocurre una sedimentación (ref. 3).

En cambio, en la estación de invierno la altura de ola se incrementa, lo que provoca una erosión en las playas, depositando por lo general esa arena removida en la zona donde rompen las olas o "zona de rompiente", formando una barra longitudinal y paralela a la línea de costa.

A la condición en donde no hay una tendencia definida, ni de depósito ni de erosión sostenidas, se le llama estado de equilibrio de una playa. Esta condición es ideal, pues tal vez la playa no alcance nunca este estado. Sin embargo, esta descripción de la evolución de las playas ayuda a comprender este fenómeno

tan complejo: (Ver figura 1).

Transporte de arena. El transporte de arena total o arrastre playero total tiene relación con el sistema de corrientes próximo a la playa (near shore currents), generado por el oleaje en la zona de aguas poco profundas.

Este sistema tiene dos componentes:

- una corriente paralela a la línea de costa y dirigida en el sentido del oleaje llamada corriente litoral, y

- una corriente hacia mar afuera y más o menos normal a la playa, llamada corriente de resaca (rip current), que llega a una zona mar adentro, formando una acumulación de arena llamada cabeza de la corriente de resaca, la cual puede observarse claramente en fotografías de color aéreas, para regresar a la playa arrastrada por las olas. (Ver figura 2).

El sistema de corrientes próximo a la costa puede definirse por tres dimensiones (ref. 4): 1) espaciamiento entre corrientes de resaca (Y_r), es la dimensión paralela a la costa, 2) la longitud hacia mar adentro de la corriente de resaca medida desde la línea de rompiente (X_r), es la dimensión perpendicular a la costa (offshore), y 3) el ancho de la zona de resaca (X_b) es la dimensión fundamental.

Y_r y X_r pueden relacionarse con X_b de la siguiente manera:

$$Y_r = 4 X_b \quad \text{en un rango de } 1.5 X_b \text{ a } 8.0 X_b$$

$$X_r = 1.7 X_b \quad \text{en un rango de } 1.0 X_b \text{ a } 2.6 X_b.$$

Es así como el sistema se parece a un ciclo. Este ha sido

estudiado por Longuet-Higgins (ref. 5) empleando ecuaciones diferenciales, planteándolas para la zona de resaca (surf zone), desarrollando los conceptos de flujo de momento y evaluando la fuerza cortante total en el fondo arenoso dentro de esta zona.

El transporte de arena dentro de la zona de resaca tiene también dos componentes, una paralela a la costa, que sirve a su vez de alimentación a los depósitos que efectúan las corrientes de resaca hacia mar abierto, llamado arrastre litoral, y otra en dirección perpendicular a la costa llamada transporte on shore - off shore.

El arrastre litoral es el resultante de combinar el transporte en el lecho marino, y la carga de material suspendido, el cual ha sido correlacionado con la componente de flujo de energía a lo largo de la costa (ref. 1).

Las mediciones en campo y en laboratorio han confirmado que el movimiento offshore ocurre durante periodos de relaciones de esbeltez (H_o/L_o) an aguas profundas altos. Este movimiento está caracterizado por un perfil de tormenta con la presencia de una cara de playa erosionada y una barra longitudinal hacia mar adentro (ref. 1).

El movimiento onshore está caracterizado por un perfil de playa "normal" sin ninguna barra.

La descripción anterior se aplicaría en condiciones ordinarias.

En condiciones extraordinarias, como es el caso de un huracán, se deberán tomar en cuenta otros factores, como la

sobre-elevación del nivel medio del mar producido por la marea de viento y la existencia de varias rompientes antes de llegar a la costa.

Otro punto importante a considerar, es que tal vez la arena quede distribuída en una zona de resaca ampliada por un ciclón, al situarse la zona de rompientes a cientos de metros de la costa, y entonces el periodo de recuperación en condiciones ordinarias tardará mucho más tiempo, ya que en dichas condiciones la zona de rompientes se ubica a unos cuantos metros de la costa, en cuyo caso, si hubiesen depósitos de arena dentro de esta zona, el transporte long shore tendría influencia en la recuperación de las playas. Si esto último no pudiera suceder, es posible que el movimiento on shore - off shore, en un largo plazo, sea el principal mecanismo de la recuperación natural de las playas.

Los principales proyectos de Ingeniería de Costas que requieren de un buen conocimiento de estas dos formas de movimiento son: diseño de rompeolas y escolleras, proyectos de recuperación de playas, establecimiento de bocas y la modelación de fenómenos costeros. Los diseños deben estar basados en una representación más racional de la mecánica de la zona de resaca y en una mejor descripción del oleaje, incluyendo las características direccionales.

2.2 OBJETIVOS DEL TRABAJO

Este trabajo tiene como objetivo principal, determinar el

movimiento de la arena en una playa debido a las condiciones del oleaje.

El estudio tiene además la meta de estimar de que forma la misma naturaleza sería capaz de recuperar las condiciones iniciales de la playa dañada por un ciclón, mediante el oleaje de condiciones ordinarias, es decir, el que rige en las diferentes épocas del año. Si esto no ocurriera o se requiriera de mucho tiempo para ello, proponer diferentes soluciones para el restablecimiento de playas.

Para llevar a cabo lo anterior, se tomara como caso concreto el de las playas de Cancún, y se analizara el problema que causó a su paso, el huracán Gilberto, en septiembre de 1988.

El objetivo propuesto es ambicioso, puesto que la recuperación de playas ha sido poco estudiada y los criterios que existen no proporcionan suficiente información como para evaluar una confiable recuperación de playas erosionadas por un oleaje extraordinario.

3.- SELECCION DE INFORMACION

3.1 LOCALIZACION Y DESCRIPCION GENERAL

Cancún está situado al noreste de la península yucateca, frente al mar Caribe, entre las coordenadas $86^{\circ} 44'$ y $86^{\circ} 51'$ W, y $21^{\circ} 01'$ y $21^{\circ} 11'$ N (ref 6). Pertenece al estado de Quintana Roo. En general es una zona de muy poca altura que forma una planicie. Al oeste de Cancún se encuentra una zona de selva densa; un plano de localización se presenta en el apéndice.

Al sureste de la ciudad de Cancún se ubican las lagunas de Nichupte y de Bojórquez que están encerradas por dos barras, al este por una de 12 km de longitud y al norte por otra más pequeña de unos 6 km de longitud aproximadamente. Más arriba de esta última barra se encuentra Puerto Juárez, que esta frente a Bahía de Mujeres e Isla Mujeres.

Cancún es un lugar turístico internacional, teniendo una zona hotelera sobre la barra más larga antes citada. En ella están las siguientes playas: Tortugas, Caracol, Chac-Mool y El Rey; y también están las puntas Cancún y Nizuc. Es en esta barra en donde se centra el problema de recuperación de playas, ya que fue una zona totalmente expuesta al huracán Gilberto.

Clima. Según la clasificación de climas de Köppen modificada por E. Garza (ref. 7), el clima de Cancún es Aw1 (x')(i')g, que es el grupo de climas cálidos húmedos con lluvias en verano y con un porcentaje de lluvia invernal con respecto a la anual (que es de 1 100 mm) mayor del 10.2% y con poca oscilación en su temperatura anual de 26 °C (entre 5 y 7 °C).

3.2 BATIMETRÍA

Para conocer la configuración de la superficie del fondo del mar, se deberá hacer un sondeo batimétrico de detalle. Dicho sondeo puede realizarse por el método de las intersecciones, usando ecosondas a bordo de una lancha por ejemplo, tránsitos y la poligonal de apoyo, cuidando de corregir el efecto de mareas durante el sondeo midiendo aparte los niveles del mar con una regla de mareas. Para mayor información ver en la referencia 3.

En el presente trabajo se usó un estudio batimétrico de la zona de Cancún (ref. 8) en el que se presentan equidistancias de cinco metros, y que van de la batimétrica 0 hasta la -20, complementada con portulanos con lo que se logró dibujar la batimetría hasta la -100.

Estas batimetrías sirven como base para elaborar los planos de rayos de oleaje, como puede verse en el plano 2.

Es necesario hacer levantamientos de las secciones transversales de la playa o perfiles playeros, los cuales permitirán analizar la evolución de las playas, lo cual dada su importancia se discutirá más adelante.

La costa entre Punta Cancún y Punta Nizuc se dividió en 4 zonas, las cuales están limitadas por los siguientes cadenamientos (ver plano 3) :

Zona	Cadenamiento	Longitud
I	10+850 al 12+850	2,000 m
II	12+850 al 15+550	2,700 m
III	15+550 al 18+650	3,100 m
IV	18+650 al 21+950	3,300 m

3.3 CARACTERISTICAS DE LA ARENA

Para conocer las características físicas del material playero, como son la densidad y el diámetro medio, es necesario llevar a cabo una campaña de muestreo a lo largo de la zona en estudio.

En el caso de Cancún se cuenta con un estudio del material playero en la zona de análisis (ref. 8), en ella se llevaron a cabo muestreos del material de playa, abriendo 75 pozos en distintos sitios.

De acuerdo a la zonificación de la barra que va de Punta Cancún a Punta Nizuc se clasificaron las muestras de arena, encontrándose los siguientes resultados:

ZONAS :

	I	II	III	IV	Promedios
D ₅₀ (mm)	.32	.37	.39	.43	.38
D ₅₀ ' (mm)	.34	.41	.42	.46	.41
Ss	2.844	2.827	2.821	2.844	2.834

* Diámetros corregidos con la fórmula de la velocidad de caída para su densidad correspondiente (ref. 9):

$$W_o = 41.865 * [(Ss - 1) * g]^{0.7} * D_{50}'^{1.1}$$

$$Ss = \gamma_m / \gamma_o$$

3.4 PERFILES DE PLAYA

La finalidad de levantar seccionamientos playeros o perfiles de playa en la zona de estudio, es la de estimar el comportamiento de la playa durante el periodo de observación. Es por ello que se aconseja que se cubra un periodo mínimo de un año de mediciones (ref. 10). En la misma referencia se propone la siguiente metodología para el levantamiento de las secciones:

Se obtienen las diferentes cotas del terreno mediante el uso de nivel fijo y estatal, sobre un trazo establecido normal a la playa. utilizando para ello un tránsito que se centra en mojoneras o puntos que definan las poligonales de apovo.

Hay que hacer notar que para el estudio anterior los seccionamientos se llevaban mínimo hasta la batimétrica -2.50.

Posteriormente se lleva a cabo la cuantificación de los materiales con los datos de los levantamientos, por el método de cubicación entre secciones en el que $V=d(A_1-A_2)/L$, es decir, el

volumen es igual a la diferencia de las áreas en dos secciones en campañas consecutivas, entre una longitud unitaria. Para el estudio anterior la cubicación se realizó entre los planos definidos por las cotas 1.00 y -1.00, referidas ambas al nivel de bajamar media inferior (N.B.M.I.).

En este caso, los datos se tomaron de la referencia 11. Las campañas se efectuaron de acuerdo al siguiente calendario:

1 ^a campaña	15 de abril de 1989
2 ^a campaña	19 de mayo de 1989
3 ^a campaña	14 de junio de 1989
4 ^a campaña	18 de septiembre de 1989

Como se puede ver, el periodo de estudio abarca 6 meses, en un frente playero de 12 km, con secciones a cada 100 m.

El análisis de las secciones se realizó de la siguiente manera:

Se dividió la zona transversal en dos partes: la zona arriba del nivel medio del mar (A.N.M.M.) y la zona abajo del nivel medio del mar (a.N.M.M.), finalmente con la suma de las dos se obtuvo la zona total. (Ver figura 3).

Las secciones transversales se llevaron hasta la batimétrica -2.50.

Además se midió el movimiento de la línea de costa, por medio de la línea cero y la línea imaginaria que corresponde al nivel medio del mar.

Este movimiento se calcula con la expresión:

$$Dx = Xj - Xi$$

donde Dx movimiento de playa entre dos campañas de medición, en m.

X distancia entre la línea de la poligonal de apoyo y el nivel medio del mar, en m.

j, i subíndices asociados a campañas de medición consecutivas.

Entonces, la velocidad de corrimiento de la playa, para cada seccionamiento se calcula a partir de la expresión siguiente:

$$V = Dx/DT$$

donde v velocidad de corrimiento de la playa entre dos campañas de medición, en m/día.

DT periodo entre dos campañas de medición $Tj - Ti$, en días.

Los signos negativos (-) y positivos (+) están asociados a un proceso erosivo de depósito de playa por zona.

Los principales resultados son los siguientes:

En cuanto al movimiento de la línea de costa, usando las velocidades medias de corrimiento para cada zona (en m/s), se calcularon los siguientes valores:

Campañas	Zonas			
	I	II	III	IV
1 - 2	-0.07	+0.03	+0.01	-0.05
2 - 3	-0.12	-0.20	0.00	+0.06
3 - 4	+0.01	0.00	-0.03	-0.04

Nota: (+) aumento. (-) disminución.

Entre la campaña 1 y 2 hubo 34 días, entre la 2 y la 3, 25, y entre la 3 y la 4 hubo 94 días.

El volumen aproximado de material en movimiento entre la línea de costa y la rompiente estimada, se obtiene asociando a las velocidades anteriores las características de cada zona:

a) Campañas 1 - 2:

Zona	Vel. (m/per)	Pendiente (m/m)	Espesor (m)	Longitud (m)	Ancho (m)	Volumen (m ³ /per)
I	-2.38	0.06	-0.143	45	2,000	-12,870
II	+1.02	0.06	+0.061	45	2,700	+7,412
III	+0.34	0.03	+0.010	30	3,100	+930
IV	-1.70	0.03	-0.051	30	3,300	-5,049

b) Campañas 2 - 3:

Zona	Vel. (m/per)	Pendiente (m/m)	Espesor (m)	Longitud (m)	Ancho (m)	Volumen (m ³ /per)
I	-3.00	0.06	-0.180	45	2,000	-16,200
II	-5.00	0.06	-0.300	45	2,700	-36,450
III	0.00	0.03	0.000	30	3,100	0
IV	+1.50	0.03	+0.045	30	3,300	+4,455

c) Campañas 3 - 4:

Zona	Vel. (m/per)	Pendiente (m/m)	Espesor (m)	Longitud (m)	Ancho (m)	Volumen (m ³ /per)
I	+0.94	0.06	+0.056	45	2,000	+5,040
II	0.00	0.06	0.000	45	2,700	0
III	-2.82	0.03	-0.085	30	3,100	-7,905
IV	-3.76	0.03	-0.113	30	3,300	-12,187

Volúmenes totales
resultados en m³/periodo

Campañas	Zonas				Periodo (días)
	I	II	III	IV	
1 - 2	-12.870	+7.412	-930	-5.049	34
2 - 3	-16.200	-36.450	0	+4.455	25
3 - 4	+5.040	0	-7.905	-11.187	94
Total	-24.030	-29.038	-6.975	-11.781	153

Otra cuantificación del material en movimiento se puede obtener por el análisis de cubicación:

Áreas A.N.M.M
resultados en m³/m

Campañas	Zonas			
	I	II	III	IV
1 - 2	-35.80	-7.74	+26.21	-169.49
2 - 3	-57.21	-95.37	-16.08	+92.48
3 - 4	+36.24	-0.75	-81.40	-47.19

Áreas a.N.M.M
resultados en m³/m

Campañas	Zonas			
	I	II	III	IV
1 - 2	-27.03	+43.18	-42.67	-6.29
2 - 3	-5.10	-224.91	+16.80	+45.05
3 - 4	-38.31	-78.98	-126.83	-159.03

Estos volúmenes suman todos los seccionamientos de cada zona, por lo que obteniendo un promedio de todas las secciones por zona y multiplicando por la longitud, considerando el tiempo de análisis se llega a:

Volúmenes A.N.M.M.
resultados en m³/período

Zonas					
Campañas	I	II	III	IV	Período (d)
1 - 2	-3,580	-774	+2,621	-16,949	34
2 - 3	-5,720	-9,537	-1,608	-9,248	25
3 - 4	+3,624	-75	-8,140	-4,719	94

Volúmenes a.N.M.M.
resultados en m³/período

Zonas					
Campañas	I	II	III	IV	Período (d)
1 - 2	-2,703	+4,318	-4,267	-629	34
2 - 3	-510	-22,491	+1,680	+4,505	25
3 - 4	-3,831	-7,898	-12,683	-15,903	94

Volúmenes totales
resultados en m³/período

Zonas					
Campañas	I	II	III	IV	Período (d)
1 - 2	-6,283	+3,544	-1,646	-17,578	34
2 - 3	-6,230	-32,028	+72	-4,743	25
3 - 4	-207	-7,973	-20,823	-20,622	94
Total	-12,720	-36,457	-22,397	-42,943	153

Comparación de los resultados (en m³)

Métodos	I	II	III	IV	Período (d)
Línea cero	-24,030	-29,038	-6,975	-11,781	153
cubicación	-12,720	-36,457	-22,397	-42,943	153

Estos resultados aparentemente indican que existe erosión en las playas de Cancún. Hay que anotar que estos perfiles se hicieron hasta la batimétrica -2.5, por lo que es de esperarse que el

material posiblemente salió de estas secciones. en otras palabras. el material "bajo" hasta profundidades mayores que la de 2.5 y por lo tanto no queda registrado en el análisis el material faltante. Es recomendable por lo tanto. que los perfiles playeros se levanten al menos hasta la batimétrica -5. Las observaciones visuales en el sitio no indican una pérdida de playa ni tampoco una recuperación. por lo cual se recomienda considerar los datos de las tablas anteriores como una aproximación.

Si se quisiera comparar estos resultados con los que arrojan los cálculos de transporte litoral. habría que hacer las siguientes consideraciones: la medición entre las campañas 1 y 2. es representativa de la estación de primavera. por lo que sólo se tendría que multiplicar por un factor de $90/34=2.6$.

En cuanto a la estación de verano. se tomarán a las mediciones entre las campañas 3 y 4. por lo que se usará un factor de $90/94=1$.

Los resultados que se emplearan son los correspondientes al método de cubicación:

Zona I

Estación	Volumen/periodo	Factor	Volumen/trimestre
Primavera	-6.283	2.6	-16.336
Verano	-207	1	-207

Zona II

Estación	Volumen/periodo	Factor	Volumen/trimestre
Primavera	+3.544	2.6	+9.214
Verano	-7.973	1	-7.973

Zona III

Estación	Volumen/periodo	Factor	Volumen/trimestre
Primavera	-1,646	2.6	-4,280
Verano	-20,823	1	-20,823

Zona IV

Estación	Volumen/periodo	Factor	Volumen/trimestre
Primavera	-17,578	2.6	-45,705
Verano	-20,622	1	-20,622

Resumen de los perfiles playeros (m³)

Zonas

Estaciones	I	II	III	IV
Primavera	-16,336	+9,214	-4,280	-45,705
Verano	-207	-7,973	-20,823	-20,622

Pendientes. De todo el conjunto de perfiles (alrededor de 400), se determinaron los perfiles medios que pudieran representar a cada zona (ver fig. 4). De ellos se obtuvieron las pendientes medias que se usarán en el cálculo del transporte litoral y on - off shore para condiciones ordinarias :

Zonas

	I	II	III	IV
Pendiente	0.06	0.06	0.03	0.03

y para condiciones extraordinarias :

Zonas

	I	II	III	IV
Pendiente	0.022	0.024	0.025	0.019

3.5 CARACTERISTICAS DEL OLEAJE

La obtención de las características del oleaje, como son alturas, períodos, direcciones, tiempos de acción, etc., se pueden obtener de los estudios realizados en campo y en gabinete (ref. 12).

Lo ideal es llevar cabo estudios de campo, realizando mediciones directas, usando estaciones oceanográficas, que miden y registran automáticamente las características del oleaje. Se recomienda que estos estudios duren por lo menos 1 año (ref. 10).

Si no se dispone de los equipos de medición, o bien, se requieren los datos en corto tiempo para estimar las características del oleaje, se puede realizar un análisis teórico, usando las diferentes fuentes de información de oleaje estadístico, como son: el "Atlas of sea and swell charts" (sea se refiere al oleaje local y swell al distante), editadas por la U. S. Navy Oceanographic Office, en Washington, D. C., y que fueron procesadas aquí en México por la Dirección General de Obras Marítimas de la Secretaría de Comunicaciones y Transporte (ver en la fig. 5 zonas de información del sea and swell para la República Mexicana).

Otra fuente de información es el "Summary of Synoptic Meteorological Observations", S.S.M.O., editada por la U.S. Naval Weather Service Command, National Technical Information Service, U.S. Department of Commerce, 1974.

También existe el "Ocean Wave Statistics" (1967) del Laboratorio Nacional de Física, del ministerio de Tecnología de la Gran Bretaña, y que se basa en las observaciones de barcos en todo el

mundo. Esta fuente reporta la dirección, el período y las alturas de ola en diferentes épocas del año (ver en la fig. 6. zonificación ocean wave statistics).

3.5.1. OLEAJE EN CONDICIONES ORDINARIAS

En este trabajo se consideró que los datos del O. W. eran los más adecuados para ser usados en el cálculo del transporte litoral, ya que se presentan con sus periodos respectivos lo que facilita dicho cálculo. Por lo tanto esta información será empleada para determinar las condiciones de oleaje en condiciones ordinarias. En la fig. 6 se indica la zona que corresponde al área de Cancún para emplear el O.W.

Tiempo de acción del oleaje ordinario. A continuación se presentan los tiempos de acción de los distintos oleajes obtenidos del O. W. S. Estos se ordenan por rangos de oleaje, v de periodos, por dirección y por estaciones. Los tiempos de acción están en días.

Primavera Calmas o períodos intermedios 6.21

Período (s)	Alturas (m)								
	0.25	0.375	0.75	1.25	1.75	2.25	2.75	3.25	Total
NE 5	.75	2.82	3.95	1.69	0	0.19	0.09	0.09	9.58
7	.09	0.09	1.13	0.75	0.09	0	0	0	2.15
9	0	0	0.28	0.19	0.09	0	0.09	0	0.65
11	0.19	0	0.09	0	0	0	0	0	0.28
Total	1.03	2.91	5.45	2.63	0.18	0.19	0.18	0.09	12.66

Periodo		Alturas (m)								
(s)	0.25	0.375	0.75	1.25	1.75	2.25	2.75	3.25	Total	
E	5	1.88	6.02	6.58	1.88	0.19	0.19	0.19	0	16.93
	7	0	0	2.07	3.01	0.56	0	0.19	0	5.83
	9	0	0	0.56	1.13	1.32	0	0	0	3.01
	11	0	0.19	0.19	0	0.19	0	0	0	.57
Total		1.88	6.21	0.40	6.02	2.26	0.19	0.38	0	26.34

Periodo		Alturas (m)								
(s)	0.25	0.375	0.75	1.25	1.75	2.25	2.75	3.25	Total	
SE	5	0.75	4.04	7.81	1.98	0	0	0	0	29.16
	7	0.19	0.19	1.88	2.35	1.22	0.38	0.09	0	6.30
	9	0	0.09	0.09	0.85	0.47	0	0.09	0	1.59
	11	0	0.09	0.18	0.28	0.09	0.47	0	0.09	1.39
Total		0.94	4.50	9.96	5.46	1.78	0.85	0.18	0.19	23.86

Periodo		Alturas (m)								
(s)	0.25	0.375	0.75	1.25	1.75	2.25	2.75	3.25	Total	
S	5	0.19	2.07	1.32	0.56	0	0	0	0	4.14
	7	0	0	1.32	0.56	0	0.19	0	0	2.07
	9	0	0	0	0.38	0	0.19	0	0	0.57
	11	0	0	0.19	0.38	0	0.75	0	0	1.32
Total		0.19	2.07	2.83	1.88	0	1.13	0	0	8.10

Verano Calmas o periodos intermedios 14.60

Periodo		Alturas (m)								
(s)	0.25	0.375	0.75	1.25	1.75	2.25	2.75	3.25	Total	
NE	5	1.22	2.69	1.91	0.43	0	0	0	0	6.25
	7	0.09	0.09	0.09	0.09	0	0	0	0	0.36
	9	0.17	0	0	0	0	0	0	0	0.17
	11	0	0.17	0	0.09	0	0	0	0	0.26
Total		1.48	2.95	2	0.61	0	0	0	0	7.04

Periodo		Alturas (m)								
(s)	0.25	0.375	0.75	1.25	1.75	2.25	2.75	3.25	Total	
E	5	5.91	10.94	9.03	1.91	0.17	0.35	0	0	28.31
	7	0	0.35	1.74	1.91	0.52	0.35	0	0	4.87
	9	0	0	0	0	0.17	0	0	0	0.17
	11	0.34	0	0.34	0.17	0	0	0	0	0.85
Total		6.25	11.29	11.11	3.99	0.86	0.70	0	0	34.20

Periodo		Alturas (m)								
(s)	0.25	0.375	0.75	1.25	1.75	2.25	2.75	3.25	Total	
SE	5	3.04	2.43	4.43	1.56	0	0	0	0	11.46
	7	0	0.52	0.96	1.74	0.52	0.17	0.09	0	4
	9	0	0	0.09	0.17	0.17	0	0	0	0.43
	11	0.27	0	0.26	0.17	0	0	0	0	0.70
Total		3.31	2.95	5.74	3.64	0.69	0.17	0.09	0	16.59

Periodo		Alturas (m)								
(s)	0.25	0.375	0.75	1.25	1.75	2.25	2.75	3.25	Total	
S	5	0.52	2.78	1.04	1.04	0	0	0	0	5.38
	7	0	0.52	0.35	0	0.17	0	0	0	1.04
	9	0	0.17	0.35	0	0.17	0.17	0	0.17	1.03
	11	0	0.34	0.17	0	0.17	0	0	0	0.68
Total		0.52	3.81	1.91	1.04	0.51	0.17	0	0.17	8.13

Otoño Calmas o periodos intermedios 5.82

Periodo		Alturas (m)								
(s)	0.25	0.375	0.75	1.25	1.75	2.25	2.75	3.25	Total	
NE	5	1.72	4.30	4.63	1.94	0.54	0.11	0	0	13.24
	7	0.11	0.54	1.29	2.26	1.61	0.86	0	0.11	6.78
	9	0	0	0	0.11	0.22	0.32	0.54	0	1.19
	11	0	0.54	0.22	0.11	0.22	0.32	0.44	0	1.85
Total		1.83	5.38	6.14	4.42	2.59	1.61	0.98	0.11	23.06

Periodo		Alturas (m)							
(s)	0.25	0.375	0.75	1.25	1.75	2.25	2.75	3.25	Total
E	5	2.37	5.81	8.17	2.37	0.43	0	0	19.15
	7	0	1.08	1.51	3.01	0.86	0.65	0.22	7.55
	9	0	0.22	0	0.43	0.86	0.43	0	2.16
	11	0	0	0	0.22	0.22	0.22	0	1.09
Total	2.37	7.11	9.68	6.03	2.37	1.30	0.22	0.87	29.95

Periodo		Alturas (m)							
(s)	0.25	0.375	0.75	1.25	1.75	2.25	2.75	3.25	Total
SE	5	1.08	1.83	2.37	1.72	0.11	0	0	7.11
	7	0	0.11	0.22	0.54	0.43	0.11	0.22	1.74
	9	0.11	0	0	0	0.22	0.22	0.11	0.74
	11	0	0.22	0	0	0	0	0.11	0.44
Total	1.19	2.16	2.59	2.26	0.76	0.33	0.44	0.33	10.06

Periodo		Alturas (m)							
(s)	0.25	0.375	0.75	1.25	1.75	2.25	2.75	3.25	Total
S	5	0.86	0.65	0.22	0.22	0.22	0	0	2.17
	7	0	0.43	0	0	0	0	0	0.43
	9	0	0	0.22	0	0	0	0	0.22
	11	0	0	0	0.22	0	0	0	0.22
Total	0.86	1.08	0.44	0.44	0.22	0	0	0	3.04

Invierno Calmas o periodos intermedios 6.21

Periodo		Alturas (m)							
(s)	0.25	0.375	0.75	1.25	1.75	2.25	2.75	3.25	Total
NE	5	1.70	2.50	3.90	1.80	0	0.10	0	10
	7	0.10	0.10	1	1	0.70	0.30	0	3.20
	9	0.10	0.10	0.20	0.30	0.80	0.20	0	1.80
	11	0.10	0	0	0	0.10	0	0.10	0.30
Total	2	2.70	5.10	3.10	1.60	0.60	0.10	0.10	15.30

Periodo		Alturas (m)								
(s)	0.25	0.375	0.75	1.25	1.75	2.25	2.75	3.25	Total	
E	5	1.80	4	6	2.20	0.80	0.20	0	0	15
	7	0.40	0	2.40	1.60	1	1	0	0.20	6.80
	9	0	0	0.40	1.40	0	0	0.20	0	2
	11	0	0.20	0	0	0.20	0	0.20	0	0.40
Total		2.20	4.20	8.80	5.20	2	1.20	0.40	0.20	24.40

Periodo		Alturas (m)								
(s)	0.25	0.375	0.75	1.25	1.75	2.25	2.75	3.25	Total	
SE	5	0.60	1.10	2.50	0.80	0.30	0	0	0	5.30
	7	0.20	0.30	0.70	2.20	0.50	0.40	0	0	4.30
	9	0	0	1.10	1	0.20	0.10	0.10	0	2.50
	11	0	0.20	0.10	0.10	0	0	0	0	0.40
Total		0.80	1.60	4.40	4.10	1	0.50	0.10	0	12.50

Periodo		Alturas (m)								
(s)	0.25	0.375	0.75	1.25	1.75	2.25	2.75	3.25	Total	
S	5	0.40	0.60	1.20	0.40	0	0	0	0	2.60
	7	0.20	0.20	0.60	0.80	0	0	0	0	1.80
	9	0	0	0.20	0.20	0	0	0	0	0.40
	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total		0.60	0.80	2	1.40	0	0	0	0	4.80

3.5.2. OLEAJE EN CONDICIONES EXTRAORDINARIAS

Se analizaron 3 ciclones históricos, correspondientes a periodos de retorno (T_r) distintos, por medio del método Estadístico (ref. 12),

Para emplear el método se necesita de:

- Conocer la latitud del sitio analizado (Φ).
- determinar la probabilidad de que ocurra un ciclón cualquiera

en la zona.

- seleccionar el periodo de retorno por analizar y calcular la probabilidad de que ese ciclón sobrepase el índice de presión medio (\bar{P}_0).

- calcular el índice de presión del ciclón (P_0), el radio máximo de viento (R) y el índice de energía asociado al ciclón (E).

- finalmente se calculan $\bar{H}_{1/3}$ y $\bar{T}_{1/3}$.

Las ecuaciones a usar son las siguientes:

$$P(\alpha) = -\frac{1}{P(Y)} \log_e \left[\frac{Tr - 1}{Tr} \right]$$

$$\bar{P}_0 = 1028.14 - 1.685 \Phi$$

$$\overline{SP}_0 = 54.24 - 1.017 \Phi$$

$$P_0 = \bar{P}_0 + \alpha \overline{SP}_0$$

$$R = 0.0006574 e^{0.01155 P_0}$$

$$E = 962.7097 (1013.25 - P_0)^{1.1667} R^{0.667} (\text{sen } \Phi)^{-0.9333} \times$$

$$\times \left[1 + \frac{0.418 Vd}{(1013.25 - P_0)^{1/2}} \right]$$

$$\bar{H}_{1/3} = 0.0051 E^{0.518}$$

$$\bar{T}_{1/3} = 0.2768 E^{0.261}$$

A continuación se presentan los resultados del método:

Método estadístico

ciclón/fecha	Hora	Dirección	Po (mb)	Hs (m)	Ts (seg)	Tr años
Gilberto 14-sep.-88	12:00	73° NE	675.17	12.46	14.10	80
Beulah 17-sep.-67	18:00	26° SE	751.69	5.94	9.71	5.3
Allen 7-ags.-80	12:00	81° NE	686.42	8.87	11.73	17

3.6. PLANOS DE RAYOS DE OLEAJE

Los rayos de oleaje se obtuvieron de la ref. 13. Con ellos se determinaron en la zona de aguas poco profundas, la dirección y la altura de las olas para cada oleaje analizado. Para hacer el análisis es necesario trazar las ortogonales (o rayos) del oleaje, que son curvas perpendiculares a las crestas de las olas. El trazo se apoyó en un conjunto de ortogonales con una equidistancia prefijada. Entre menor sea la equidistancia, mayores serán la precisión y el tiempo requeridos para el trazo. El efecto de difracción no se considera para este caso. Se podría incluir si se extendiera la zona de estudio hasta Bahía de Mujeres, para tomar en cuenta el posible efecto de Isla Mujeres. Para este caso en particular, se tomó una equidistancia de 500 m entre rayos, y se analizaron las siguientes direcciones: este, sureste, noreste y sur, con periodos de 5, 7, 9 y 11 s.

Para el caso de los huracanes Gilberto, Allen y Beulah, se

analizaron en la dirección sureste, con periodos de 15, 17 y 12s, respectivamente, y considerando también sobreelevaciones por marea de viento.

Hay que apuntar que los planos fueron elaborados mediante un programa de computadora del Instituto de Ingeniería de la UNAM y como ejemplo de ellos se muestra el que aparece en el plano 6.

3.7. ASCENSO DE MAREAS POR VIENTO

De la ref. 12 se presenta una breve descripción de la metodología empleada en el cálculo de dicho ascenso:

- Empleando el índice de presión P de la ecuación

$$P_o = \bar{P}_o + \alpha \overline{SP}_o$$

- se determina el valor de la depresión (Δp) como

$$\Delta p = (1013.25 - P_o)$$

- se calcula el radio de máximo viento con

$$R = 0.0006574 e^{0.01155P_o}$$

- expresando R en millas náuticas y con el valor de Δp , se usa la gráfica de la fig. 3.51 de la ref. 10 para determinar el índice de ascenso S_i (en pies).

- se calcula la velocidad del viento formativo U (m/seg) con la ecuación

$$U = 7.26 (\bar{H}_{1/3})^{0.4}$$

- se determina el ángulo ψ que forma la dirección del oleaje con la playa y, con el valor de U (en millas/h) y de ψ empleando la figura 3.54 de la ref 10, se determina el factor F_M .

- el ascenso de la marea por viento S_p (pies) se determina con

$$S_p = S_i \text{ (FM)}$$

A continuación se presentan los correspondientes a los ciclones empleados en este trabajo.

Ciclón	Ascenso de marea por viento (m)
Gilberto	3.15
Beulah	1.86
Allen	0.86

3.8. MEDICION DEL TRANSPORTE LITORAL

Como apoyo a los resultados teóricos es necesario realizar mediciones en campo del arrastre litoral, para acercarse más a la realidad. Existen 3 métodos diferentes para llevarla a cabo: espigones de prueba, trazadores (fluorescentes o radiactivos), y por fosas de prueba (ref. 10).

Así se tiene que en el caso del primero se mide físicamente el transporte de sedimentos retenido mediante seccionamientos playeros.

El método de trazadores se describe posteriormente.

Las fosas se utilizan cuando se desea conocer cuantitativamente el transporte en la zona exterior de la playa, mediante fosas de dimensiones conocidas, las cuales se llenarán con los depósitos del transporte.

Los datos de mediciones para este trabajo se tomaron de la referencia 14, donde se empleó el método de los "trazadores fluorescentes", que brevemente consiste en lo siguiente :

- se determinó el tipo de material trazador, que en este caso se trató de arena nativa del lugar, y el material de marcado, que fué pintura flourescente de tipo comercial.
- se determinó el área de muestreo.
- se inyectaron las arenas flourescentes por medio de bolsas de plástico que se cortan en los sitios de interés (el estrán, y las zonas de derrame y de rompiente), al mismo tiempo.
- se hizo un muestreo por medio del sistema de tarjetas cubiertas con vaselina y con área de impresión conocida.
- se determinaron los siguientes parámetros playeros: perfiles de playa, medición de corrientes, oleaje (altura, período y ángulo de incidencia poco antes de la zona de rompientes), vientos y granulometría.
- se analizaron las muestras, es decir, se hizo un conteo de los granos flourescentes por medio de una lámpara de rayos ultravioleta, un contador manual y un vidrio reticulado.
- se determinó el transporte litoral (cantidad y dirección) por medio de los planos de dispersión del material (curvas de isopletras), y se efectuó el mismo cálculo por medio de fórmulas tradicionales.

El área en estudio se llevó a cabo en 4 sitios, las cuales se pueden observar en el plano 3, y se llevaron a cabo del 12 al 21 de enero de 1990.

Los resultados fueron los siguientes:

SITIOS				
MÉTODOS	I	II	III	IV
Isopleetas	81	46	30	61
Fórmula 1	56	27	37	96
Fórmula 2	821	852	1.264	1.176

Notas:

1.- Resultados en m³/ día.

2.- Fórmula 1: $Q_s = K \cdot g \cdot T \cdot H^2 \cdot \text{sen}(2 \cdot \alpha) \cdot t$

3.- Fórmula 2: $\frac{1}{16} \cdot w \cdot H_B^2 \cdot L_B / T \cdot \text{sen}(2 \cdot \alpha) \cdot t$

Hay que recordar que estos resultados son válidos para las condiciones del momento del muestreo.

3.9. DATOS FISICOS Y DE OLAJE EN CONDICIONES ORDINARIAS

Con base en los planos de rayos de oleaje calculados para cada período se tiene lo siguiente:

Coefficientes de refracción

Zonas	Período de 6 s			
	Sur	Sureste	Este	Noreste
I	.695	.970	.917	.666
II	.618	.980	.916	.548
III	.527	.952	.984	.565
IV	.375	.930	.962	.563

Período de 8 s

Zonas	Sur	Sureste	Este	Noreste
I	.660	1.029	.889	.603
II	.614	1.038	.892	.514
III	.615	.979	.996	.497
IV	.465	.883	.922	.451

Período de 10 s

Zonas	Sur	Sureste	Este	Noreste
I	.618	.954	.764	.473
II	.603	.957	.863	.239
III	.627	.880	.979	.313
IV	.497	.870	.855	.433

Período de 12 s

Zonas	Sur	Sureste	Este	Noreste
I	.731	.978	.777	.401
II	.608	.959	.932	.422
III	.778	.866	.975	.370
IV	.513	.897	.845	.590

Ángulos en rompiente

Período de 6 s

Zonas	Sur	Sureste	Este	Noreste
I	28.9	6.9	-11	-33.7
II	26.8	10.4	-8.6	-36.4
III	29.9	13.1	-11.9	-38.5
IV	29.9	9	-8.3	-29.1

Periodo de 8 s

Zonas	Sur	Sureste	Este	Noreste
I	23.9	8.4	-7.6	-16.9
II	25.7	12.4	-7.3	-15.8
III	28.5	9.3	-6.4	-21.1
IV	22.5	13.7	-2.9	-16.2

Periodo de 10 s

Zonas	Sur	Sureste	Este	Noreste
I	14.8	9.0	-7.0	-2.0
II	14.4	13.4	-6.5	-14.9
III	15	14.0	-4.6	-13.8
IV	13.1	6.1	-2.4	-9.1

Periodo de 12 s

Zonas	Sur	Sureste	Este	Noreste
I	20.8	10.0	-7.4	-13.3
II	26.0	10.6	-7.1	-12.7
III	26.8	14.8	-2.7	-14.1
IV	15.9	5.3	-2.4	-7.8

3.10. DATOS FISICOS Y DE OLEAJE PARA LOS HURACANES

Con base en los planos de rayos de oleaje calculados para cada huracán, y tomando en cuenta las sobreelevaciones por marea, se tiene lo siguiente:

Datos del ciclón Gilberto
con sobreelevación de 3.15 m

Zonas :

	I	II	III	IV
$\alpha_b(x)$	11	10.1	9.6	8
Kr	.980	.951	.905	.879
Ks	.93	.94	.96	.97

Altura significativa: 12.46 m

Periodo significativa: 15.09 s

Longitud de ola: 355.5 m

Zonas :

	I	II	II	IV
Hs' (m)	12.2	11.8	11.3	11.0
Hm (m)	7.6	7.4	7.0	6.8
Hsb (m)	12.4	12.0	11.5	11.1
Hmb (m)	8.7	9.0	8.7	8.0
Db (m)	17.0	15.7	14.9	15.1
Dmb (m)	11.5	11.3	10.8	10.5
Xr (m)	1062.0	747.3	708.2	942.4
Lb (m)	185.0	178.5	174.3	175.4

Estos cálculos se obtuvieron con las fórmulas presentadas en el capítulo IV.

Datos del ciclón Allen

con sobreelevación de 1.86 m

Zonas :

	I	II	III	IV
$\alpha_b(x)$	15.7	15.2	12.5	10.8
Kr	.852	.867	.808	.719
Ks	.92	.92	.94	.98

Altura significativa: 8.87 m

Período significativa: 11.73 s

Longitud de ola: 214.8 m

Zonas :

	I	II	III	IV
Hs' (m)	7.6	7.7	7.2	6.4
Hm (m)	4.7	4.8	4.5	4.0
Hsb (m)	7.6	7.8	7.2	6.4
Hmb (m)	5.4	5.7	5.4	4.7
Db (m)	10.5	10.2	9.4	8.7
Dmb (m)	7.1	7.2	6.8	6.1
Xr (m)	653.5	485.0	449.3	543.8
Lb (m)	112.8	111.4	107.6	103.7

Datos del ciclón Beulah

con sobreelevación de 0.86 m

Zonas :

	I	II	III	IV
$\alpha_b(x)$	13.3	17.3	8.9	11.3
Kr	.879	.861	.785	.721
Ks	.92	.93	.96	.99

Altura significativa: 5.94 m

Período significativa: 9.71 s

Longitud de ola: 147.2 m

Zonas :

	I	II	III	IV
Hs' (m)	5.2	5.1	4.7	4.3
Hm (m)	3.3	3.2	2.9	2.7
Hsb (m)	5.3	5.2	4.7	4.3
Hmb (m)	3.7	3.8	3.6	3.2
Db (m)	7.2	6.7	6.1	5.8
Dmb (m)	4.9	4.8	4.5	4.1
Xr (m)	450.9	321.1	290.5	363.8
Lb (m)	77.5	75.2	71.9	70.3

4.- TRANSPORTE LITORAL Y TRANSPORTE PERPENDICULAR A LA LINEA DE COSTA. TANTO EN DIRECCION A LA PLAYA COMO HACIA MAR ADENTRO

4.1. INTRODUCCION

El cálculo del transporte litoral, tiene como objetivo definir las cantidades de arena que en condiciones normales y extraordinarias de oleaje, se mueven a lo largo de la costa. Con ello es posible evaluar la posible recuperación natural de las playas, o bien, diseñar el posible relleno artificial y las obras de protección. También es importante para seleccionar el tipo y tamaño del equipo de dragado.

Como se verá más adelante, existe una gran dispersión en los resultados que arrojan los distintos métodos utilizados, que dentro de los estudios de este tipo se considera "normal", dado el tipo de problema. Por esto el criterio del ingeniero debe estar lo suficientemente desarrollado como para decidir que valor del transporte litoral es el que conviene, con ayuda, claro, de los estudios de campo (medición del arrastre litoral, perfiles

plaveros, etc.) para evaluar el transporte más abegado a la realidad en el sitio de estudio.

Por otro lado, la razón de calcular el transporte on-shore off-shore, es para tomar en cuenta el movimiento de arena en la dirección perpendicular a la costa, tanto hacia tierra como hacia mar adentro, y aunque los criterios de cálculo son escasos, y en su mayoría se obtuvieron en laboratorio, se llevó a cabo esta cuantificación de material erosionado con base en el método de la ref. 15, y así poder determinar la importancia de este arrastre en el fenómeno de erosión de playas por oleaje.

4.2. CRITERIOS PARA EL CALCULO DEL TRANSPORTE LITORAL Y DEL TRANSPORTE ON - OFF SHORE

Los parámetros que se necesitan calcular antes de aplicar los criterios del transporte litoral, son los siguientes.

Cálculo de las condiciones en rompiente. La altura de ola en rompiente (H_r) puede ser calculada utilizando las curvas propuestas por Goda (ref. 3), donde:

$$\frac{H_r}{H'_0} = f\left(\frac{H'_0}{L_0} \cdot S\right) \quad (4.1)$$

donde S es la pendiente de la playa y por lo tanto H_r depende de la pendiente y de las características de la ola en aguas profundas junto con el efecto de refracción ($H'_0 = K_r \cdot H_0$).

Con base en estas consideraciones, para calcular estos parámetros se usó el criterio de Horikawa (ref. 16):

$$H_B = H'_0 \cdot S_0^{1/5} \left[\frac{H'_0}{L_0} \right]^{-1/4} \quad (4.2)$$

$$D_B = \frac{H_B}{\left[1.1 S_o \left(\frac{H_o'}{L_o} \right) \right]^{-1.12}} \quad (4.3)$$

donde

- H_B Altura en rompiente (m)
- D_B profundidad en rompiente (m)
- H_{o'} altura de ola poco antes de la rompiente (H_o*K_r)
- L_o longitud de la ola (m)
- S_o Pendiente de la playa

A continuación se describirán los métodos utilizados para el cálculo del transporte litoral.

4.2.1. METODOS DE LA C. F. E.

Consideran que el arrastre litoral es el arrastre integral de material costero producido entre la batimétrica cero y la rompiente. para un oleaje dado. Al arrastre de material que el oleaje produce dentro y fuera de la zona de rompiente o de resaca. se le llama arrastre plavero total (ref. 5).

Se indica además que en general las fórmulas dan resultados aproximados: por tal motivo no es recomendable usar estas fórmulas para calcular "arrastre promedio" en un año o lapsos parecidos.

Se resalta también el caso de que en condiciones normales. es lógico considerar que a profundidades mayores que la de rompiente. el fondo marino debería permanecer constante. Sin embargo. todo parece indicar que por lo menos durante las

tormentas esto no sucede, va que, de acuerdo con la teoría del oleaje, las partículas de agua describen trayectorias cerradas, por lo que la arena no podría ser realmente transportada a profundidades mayores. Pero la velocidad orbital puede ser suficientemente grande como para sobrepasar a la velocidad límite de fondo ($V_l = 4.7 D_{50}^{0.28} d^x$); y si se le agregan las fuertes variaciones de la presión en el fondo cuando pasan las olas, puede ponerse en suspensión cantidades considerables de arena, aún sin ser transportada. Esto ocurre principalmente en las proximidades de obras que funcionan como barreras impermeables que reflejan al oleaje. En la misma referencia se propone un método aproximado para determinar la profundidad del fondo marino.

Estas fórmulas se pueden obtener de la manera siguiente.

De la relación entre la velocidad de caída de una partícula v la velocidad media de la corriente se tiene que:

$$\left[\frac{V_f}{V} \right]^2 = \left[\frac{C_f}{C_c} \right]^2 = \frac{(SS - 1)gD}{R S} \quad (4.4)$$

donde

V_f velocidad uniforme de caída de una partícula.

V velocidad media.

C_f coeficiente de la velocidad de caída uniforme de una partícula.

C_c coeficiente de la velocidad inicial o incipiente de una partícula.

SS peso específico del material.

- g aceleración de la gravedad.
- D diámetro de la partícula.
- R radio hidráulico
- s pendiente hidráulica.

Si se obtiene una función de arrastre ψ asociada con la capacidad de la corriente de poner en suspensión y arrastrar al material de fondo, se tiene que:

$$\psi = \left[\frac{V_f C_c}{V C_f} \right]^2 = \frac{(Ss - 1)gD}{R S} \quad (4.5)$$

Se considera que los granos de fondo quedan momentáneamente en suspensión, cuando la acción de la turbulencia los sustenta, para que tarde o temprano regresen al fondo si cesa dicha acción.

Se deduce entonces que el acarreo del material se produce en una reducida capa de fondo, con espesor de unas cuantas veces el diámetro de los granos. También que las velocidades horizontales, con la que los granos son empujados por la corriente son la magnitud de V_f , ya que se acepta que la velocidad al esfuerzo cortante ($U_* = \sqrt{gRS}$) es igual a las "fluctuaciones" de la velocidad media V , en los sentidos del escurrimiento y el normal a ella (u y v). Esto es, $U_* = u = v$.

Entonces el movimiento tiene lugar a partir de que U_* iguala o sobrepasa a V_f .

Si el espesor de la capa se designa como $\varepsilon = C_F D$, donde C_F es un factor de reducción del diámetro para obtener el espesor, entonces el "gasto" en donde se mueven los granos valdrá: $C_F D V_f$.

Y si el porcentaje de granos es muy grande entonces el gasto de

material sólido será:

$$q_B = C_F D V_f \quad (4.6)$$

también

$$q_B = C_F C_f \sqrt{(S_s - 1)gD^3} \quad (4.7)$$

Podemos hallar otra relación ϕ , llamada de gasto sólido

$$\phi = C_F C_f = \frac{q_B}{\sqrt{(S_s - 1)gD^3}} \quad (4.8)$$

Varios investigadores han comprobado experimentalmente una relación entre ϕ y ψ .

Sin embargo, con este criterio se valúa únicamente el arrastre de fondo y no se tiene en cuenta al gasto sólido de partículas en suspensión; no obstante, puede decirse que el monto de ese gasto de material en suspensión es mucho menor que el acarreo en el fondo.

Ahora bien, se sabe que el gasto sólido del acarreo litoral depende de la energía del oleaje ($Q = \alpha E_T^n$), encontrándose una relación entre ϕ y ψ en la fórmula anterior:

$$\frac{Q_b}{\psi} = K_o \left[\frac{E_T}{\phi} \right]^{3/2} Sp \quad (4.9)$$

donde

Sp pendiente de la playa

K_o constante.

Se puede calcular a ϕ en términos de las características del material y del oleaje, y a ψ en función de ambas y de la pendiente Sp . Por lo tanto, de todas estas investigaciones se llegó a fórmulas de este tipo:

$$Q_L = K_o \rho g L_b (H_b^2/T) \text{ sen } (2\alpha_b) \quad (4.10)$$

donde

- ρ peso específico del material
- L_b longitud de ola en rompiente
- H_b altura de ola en rompiente
- α_b ángulo de incidencia de la ola en rompiente.

Y si L_b/T es la celeridad en rompiente y $c = \sqrt{gD}$ en aguas someras, la anterior fórmula puede escribirse como:

$$Q_L = K_o \rho g H_b^2 \sqrt{gD_b} \text{ sen } (\alpha_b) \quad (4.11)$$

Debe aclararse que no obstante que las fórmulas propuestas figuran entre las más modernas, sólo son válidas para las condiciones en que se llevaron a cabo los experimentos.

Las fórmulas usadas en el cálculo del transporte litoral son:

$$QL_1 = \frac{6930}{SS - 1} (\overline{H_b})^2 \sqrt{g D_b} \text{ sen } (2 \alpha_b) \quad (4.12)$$

y también

$$QL_2 = \left[10000 \log \left(\frac{0.00146}{D_{50}} \right) \right] (\overline{H_b})^2 T \text{ sen}(\alpha_b) \text{ cos}(\alpha_b) \quad (4.13)$$

$$\text{si } 0.0001 \text{ m} < D_{50} < 0.001 \text{ m}$$

donde

- QL_1 y QL_2 Transporte litoral ($m^3/\text{día}$)
- $\overline{H_b}$ altura media de la ola en la rompiente (m) ($H_s/1.6$)
- $H_s = H_o * K_r$ (K_r coeficiente de refracción)
- g aceleración de la gravedad (m/seg^2)
- D_b profundidad en rompiente (m)
- α_b ángulo de incidencia del oleaje en la zona de

rompiente

Ss densidad relativa del material

T período significativo (s)

D₅₀ diámetro representativo del material (m)

4.2.2. METODO DE LARRAS

Los estudios de J. Larras y R. Bonefille (ref. 10) llevados a cabo en el año de 1965, en laboratorio utilizando arenas de 0.16 a 4 mm de diámetro, con alturas de olas de 2.6 a 14 cm. y periodos de 0.8 a 1.76 segundos, obtuvieron:

$$Q = f(\gamma_o, D) \frac{H}{T} \operatorname{sen}\left(\frac{7}{4} \alpha\right) \quad (4.14)$$

donde

$f(\gamma_o, D)$ es una función de la relación de esbeltez de la ola y del diámetro medio de los granos calculándose con la ec.:

$$f(\gamma_o, D) = 0.00175 \left(3500 \frac{D}{D^4 + 2} \right) \left(\frac{11 - \gamma_o}{10} \right) \quad (4.15)$$

D en mm

γ_o en por ciento.

A esta ecuación se le conocen algunas fórmulas que son variaciones o que parten de lo propuesto por Larras, como la de G. Savaga de Saint y G. Vincent, que combinadas se transforman en:

$$Q_s = K (\gamma_o, D) g H^2 T \operatorname{sen}\left(\frac{7}{4} \alpha\right) \quad (4.16)$$

O en la del Laboratorio Central de Hidráulica de Francia:

$$Q = H^2 T f(\alpha) t \left(\frac{K g}{C} \right) \quad (4.17)$$

donde

- Q volumen de sedimentos transportados (m³)
- H altura de ola (m)
- T periodo de la ola (s)
- α oblicuidad del oleaje con la línea de rompiente (grados)
- t tiempo de acción del oleaje
- g aceleración de la gravedad (m/s²)
- C relación de esbeltez (H/L > 1 %)
- L longitud de la ola (m)
- K = 3×10^{-6} para arenas de 0.2 mm de diámetro
- K = 4.5×10^{-6} para arenas de 0.3 mm de diámetro
- K = 1.8×10^{-6} para arenas de diámetro mayor de 0.3 mm
- D diámetro medio (mm)
- $f(\alpha) = \text{sen}(2\alpha)$

Finalmente, se usó en el cálculo la siguiente fórmula:

$$Q_s = 1.56 K_s^2 K_r^2 \frac{H T^3}{\sqrt{D}} \text{sen} \left[\frac{7}{4} \alpha \right] \quad (4.18)$$

donde: Q_s : gasto sólido ($m^3/día$)

K_s : coeficiente de fondo

K_r : coeficiente de refracción

H : altura en aguas profundas de la ola incidente (m)

T : período de la ola incidente (s)

D : diámetro medio del material de la playa (mm)

α : ángulo de incidencia del frente de ola con la línea de rompientes (grados)

Cálculo de coeficientes K_r y K_s

$$K_r = \sqrt{\frac{b_o}{b}} \quad (4.19)$$

$$K_s = \sqrt{\frac{L_o}{L}} \quad (4.20)$$

$$H_o = H K_r$$

$$K_s = H/H_o$$

$$H = H_o K_r K_s$$

donde

b_o ancho entre dos rayos de oleaje en aguas profundas

b ancho entre dos rayos de oleaje en aguas someras

L_o longitud de ola en aguas profundas

L longitud de ola en aguas someras

H_o altura de oleaje en aguas profundas

H altura de oleaje en aguas someras

4.2.3. METODO DEL SHORE PROTECTION MANUAL

Está basado en la hipótesis de que el transporte promedio de acarreo litoral Q depende de la componente, a lo largo de la costa, del flujo de energía en la zona de resaca (ref. 9). El

flujo de energía en la zona de resaca, se obtiene usando la teoría de ondas de amplitud finita, y evaluando la relación de flujo de energía en la rompiente. El flujo de energía por unidad de longitud de cresta de ola, o su equivalente, el promedio al cual la energía de ola es transmitida a través de un plano, de unidad de ancho perpendicular a la dirección del avance de la ola es:

$$\bar{P} = \bar{E} C_g = \frac{\rho g}{8} H^2 C_g \quad (4.21)$$

donde

- \bar{P} fuerza de ola
- \bar{E} energía específica o densidad de energía
- C_g velocidad de grupo.

Si las crestas de la ola forman un ángulo α con la línea de costa, el flujo de energía en la dirección del avance de la ola por unidad de longitud de playa es

$$\bar{P} \cos \alpha = \frac{\rho g}{8} H^2 C_g \cos \alpha \quad (4.22)$$

La componente litoral está dada por

$$P_l = \bar{P} \cos \alpha \sin \alpha = \frac{\rho g}{8} H^2 C_g \cos \alpha \sin \alpha \quad (4.23)$$

o, como $\cos \alpha \sin \alpha = 1/2 \sin 2\alpha$

$$P_l = \frac{\rho g}{16} H^2 C_g \sin 2\alpha \quad (4.24)$$

La aproximación para P_l en la línea de rompiente será

$$P_{l\delta} = \frac{\rho g}{16} H_\delta^2 C_\delta \sin 2\alpha_\delta \quad (4.25)$$

Por la teoría lineal, en aguas poco profundas, $C_g \cong C$ y

$$P_{l\delta} = \frac{\rho g}{16} H_\delta^2 C_\delta \sin 2\alpha_\delta \quad (4.26)$$

donde H_δ y α_δ son la altura y dirección de ola y C_δ es la

velocidad de ola ($C = \frac{gT}{2\pi} \tanh \left[\frac{2\pi D}{L} \right]$) evaluada en una profundidad igual a $1.28 H_s$.

La ec. (4.25) es valida unicamente si hay un tren de olas sencillo con un período y una altura. Sin embargo, la mayoría de las condiciones de oleaje oceánicas, son caracterizadas por una variedad de alturas de oleaje con una distribución del tipo Rayleigh. Para esta distribución, la altura a usar en la ec. (4.25) es la raíz cuadrada de la altura. No obstante, la mayoría de la información sobre oleaje se presenta como alturas significantes, que es como se usan normalmente, por lo tanto al ser sustituida en esta ecuación la altura de ola significativa, se obtiene:

$$P_{ts} = \frac{\rho g}{16} H_{s\delta}^2 C_{g\delta} \sin 2\alpha_\delta \quad (4.27)$$

El valor de P_{ts} calculado usando la altura de ola significativa, es aproximadamente el doble del valor del flujo de energía, para alturas de ola sinusoidales con una distribución Rayleigh.

El flujo de energía del cálculo de transporte litoral promedio está basado en la relación empírica entre la componente litoral del flujo de energía de la ola entrando a la zona de resaca, y el peso sumergido de la arena removida. Ambas tienen unidades de fuerza por unidad de tiempo, esto es

$$I_l = K P_{ts} \quad (4.28)$$

donde I_l es el transporte promedio del peso sumergido (fuerza/tiempo), K un coeficiente adimensional, y P_{ts} el factor de flujo de energía litoral (fuerza/tiempo).

Q puede ser substituida por I_L usando

$$I_L = (\rho_s - \rho) g a' Q \quad (4.29)$$

donde

ρ_s densidad de la arena

ρ densidad del agua

g aceleración de la gravedad

a' volumen de sólidos/volumen total (calculado por la porosidad de la arena)

con lo cual se obtiene

$$Q = \frac{K}{(\rho_s - \rho) g a'} P_{LS} \quad (4.30)$$

Mediciones de campo de Q y P_{LS} fueron analizadas por varios investigadores, proponiéndose la siguiente relación:

$$Q \left(\frac{m^3}{año} \right) = 1290 \left(\frac{m^3}{N-año} \right) P_{LS} \left(\frac{J}{m-s} \right) \quad (4.31)$$

donde las dimensiones están dadas en paréntesis. Se puede notar que la constante también tiene dimensiones.

En la referencia 9 se estima que este método tiene un margen de error del 50%.

En este trabajo se usó la fórmula que emplea como datos de oleaje a H_{SB} y a α_b .

$$Q_{SP} = 1290 * 0.0884 \rho g^{3/2} H_{SB}^{5/2} \text{sen}(2\alpha_b) \quad (4.32)$$

donde

Q_{SP} Transporte litoral ($m^3/año$)

H_{SB} altura significativa de la ola en rompiente (m)

ρ densidad del agua de mar ($1025 \text{ kg}_m/m^3$)

g : aceleración de la gravedad (m/seg^2)

α : ángulo de incidencia del oleaje en la zona de rompiente

4.2.4. METODO DE SUNAMURA (transporte on - off shore)

El método se basa en los trabajos de Sunamura y en la teoría de los perfiles de equilibrio (ref. 17), en la que se presenta una relación entre el parámetro de Ursell (Ur) y la intensidad de flujo ψ' para pruebas en canales de laboratorio con fondo plano:

$$Ur = \frac{H L^2}{h^3} \quad (4.33)$$

$$\psi' = \frac{(d_0 \sigma)^2}{sgd} \quad (4.34)$$

siendo

$$d_0 = H/\sinh(2\pi h/L)$$

$$\sigma = 2\pi/T$$

H : altura del oleaje

L : longitud de ola

h : profundidad

T : período del oleaje

s : peso específico sumergido de la arena

g : aceleración de la gravedad

d : diámetro representativo de la arena

Para la condición crítica se tiene que :

$$\frac{(\psi')_c}{(Ur)_B^{0.9}} = \frac{Cs^{1.5}}{22.5 s (\tan \beta)^{0.16}} \quad (4.35)$$

La ecuación para calcular el transporte on shore - off shore es:

$$\frac{q}{W_o d} = (-1.15 E-7) Ur^{0.2} \psi' (\psi' - \psi'_c) \quad (4.36)$$

donde

q transporte unitario "on (+)" u "off shore (-)" en la zona de rompiente, en unidades de volumen.

W_o velocidad de caída de las partículas de diámetro representativo.

$$\psi'_c = K Ur^{0.9}$$

tan β pendiente de la playa

Cs Coeficiente que vale entre 4 y 8 para pruebas de laboratorio y 18 para playas naturales, siendo

$$K = \frac{3.39}{s (\tan \beta)^{16}} \quad \text{sí } d < 0.0006 \text{ m y } Ho/Lo < 0.01 \quad (4.37)$$

$$K = \frac{1}{s (\tan \beta)^{16}} \quad \text{sí } d \geq 0.0006 \text{ m y } Ho/Lo \geq 0.01 \quad (4.38)$$

Los datos para calcular ψ' y Ur deben determinarse en la zona de rompiente.

4.3. CALCULO DEL TRANSPORTE LITORAL Y DEL TRANSPORTE ON - OFF SHORE

El objetivo del programa es el de efectuar una simulación anual

de transporte litoral y transporte on-off shore. partiendo de los datos de oleaje generados de la fuente de información "Ocean Waves Statistics". Los resultados se presentan para cada estación climática y también por año.

El cálculo se realizó mediante un programa en lenguaje BASIC, el cual se presenta en el apéndice.

4.3.1. DESCRIPCION DEL MODELO DE CALCULO

El cálculo se realiza tomando en cuenta la división de la playa en 4 zonas y las características de cada zona (como son la pendiente y el diámetro medio del material).

La duración del oleaje se determina para las 4 estaciones del año, 4 direcciones, 4 periodos y para 8 alturas de oleaje, es decir, se manejan 512 conjuntos de cálculos por cada una de las 5 fórmulas que contiene el programa.

Otros parámetros empleados son los coeficientes de refracción y ángulos entre el el frente de ola y la costa, los cuales se tienen para cada zona, por cada dirección y por cada período.

El manejo de esta información se hace por medio de archivos con extensión ".DAT" los cuales se presentan a continuación:

- | | |
|---------------------------------|-------------|
| 1.- Pendientes | SLOPE.DAT |
| 2.- Diámetros medios | DIAM.DAT |
| 3.- Diámetros medios corregidos | DIAMCO.DAT |
| 4.- Coeficientes de refracción | COEFREF.DAT |
| 5.- Ángulos en rompiente | ANGREF.DAT |

6.- Periodos de ola PERIODO.DAT

7.- Alturas de ola ALTURAS.DAT

8.- Tiempo de acción del oleaje ACCION.DAT

Para el caso del transporte neto se hace una sola variación en las líneas 2190. 2220. 2230 y 2300 del programa antes indicado, usando el valor absoluto del resultado de la fórmula.

4.3.2. RESULTADOS DEL OLEAJE ORDINARIO

(resultados en m³. + dirección norte. - dirección sur)

Primera fórmula de la C. F. E.

ZONAS

Estación	I	II	III	IV
Primavera	86.903	145.342	98.843	57.120
Verano	244	37.302	4.373	12.121
Otoño	-171.399	-122.539	-101.885	-63.506
Invierno	75.608	22.977	-47.502	-18.896
Anual	-159.859	37.129	-46.171	-12.896

Segunda fórmula de la C. F. E.

ZONAS

Estación	I	II	III	IV
Primavera	173.650	224.364	172.203	89.239
Verano	12.919	57.473	21.158	22.738
Otoño	-292.735	-201.268	-150.176	-96.124
Invierno	-107.218	-29.074	-51.252	-20.411
Anual	-213.385	51.496	-8.067	-4.558

Fórmula de Larras

ZONAS

Estación	I	II	III	IV
Primavera	11.950	13.390	15.996	7.349
Verano	3.413	4.640	5.332	2.607
Otoño	-11.397	-9.064	-7.596	-6.108
Invierno	-1.586	1.196	423	37
Anual	2.380	10.063	14.155	3.886

Fórmula del Shore Protection Manual

ZONAS

Estación	I	II	III	IV
Primavera	33.243	78.356	50.147	31.653
Verano	-6.163	21.220	-9.012	3.039
Otoño	-94.625	-54.598	-78.627	-39.033
Invierno	-55.168	-16.449	-54.943	-20.447
Anual	-122.713	28.529	-92.433	-24.787

Transporte on -off shore. El programa arroja los resultados en m³ por ancho de playa, por lo que para obtener el volumen total de arena removida deben multiplicarse estos valores por el ancho de playa correspondiente.

En el cálculo de este transporte se usó un valor del coeficiente Cs de 30, pues se tuvo que calibrar el modelo de modo que hubiera un cierto equilibrio en los resultados anuales. sin embargo, en la literatura actual sólo existen valores de Cs que han arrojado pruebas de laboratorio y no existen recomendaciones para playas naturales.

Los resultados se muestran en las dos tablas siguientes:
 (resultados en m³/m. + transporte on shore. - transporte off shore)

ZONAS

Estación	I	II	III	IV
Primavera	-74	-59	-22	-6
Verano	-24	-12	5	16
Otoño	-61	-50	-19	-10
Invierno	-52	-40	-13	-3
Anual	-211	-162	-49	-2

(resultados en m³. + transporte on shore. - transporte off shore)

ZONAS

Estación	I	II	III	IV
Primavera	-148.000	-159.300	-68.200	-19.800
Verano	-48.000	-32.400	+15.500	+52.800
Otoño	-122.000	-135.000	-58.900	-33.000
Invierno	-104.000	-108.000	-40.300	-9.900
Anual	-422.000	-434.700	-151.900	-9.900

Comentarios. Los criterios de la C. F. E. y el del Shore Protection Manual arrojan resultados similares. tanto en volúmenes como en direcciones.

El criterio de Larras difiere de los demás tanto en volumen como en dirección. Este es el menor transporte litoral que arrojan los criterios.

En primavera y en verano la dirección del transporte litoral en todos los criterios es hacia el norte.

En otoño e invierno la dirección del transporte litoral es prácticamente en todos los criterios hacia el sur.

En los resultados anuales de todos los criterios salvo el de Larras, se observa que la dirección del transporte es, para las zonas 1,3 y 4 hacia el norte, y en la 2 hacia el sur.

El transporte litoral anual para las zonas 2,3 y 4 no pasa de 50,000 m³.

En el transporte on-off shore para la estación del verano se tienen valores pequeños, por lo que puede pensarse que por la aproximación del método existe una recuperación de las playas.

En los resultados anuales del transporte off shore, se tiene que es mayor en las zonas 1 y 2, más bajo en la zona 3 y casi nulo en la zona 4.

4.3.3. RESULTADOS DE HURACANES

Debido a la trayectoria que siguió el huracán el transporte litoral es en dirección de sur a norte.

Ciclón: Gilberto Con sobreelevación de 3.15 m

(resultados en m³)

	Zonas				
	I	II	III	IV	Prom.
C.F.E. (1)	285,369	278,118	240,872	170,463	243,706
C.F.E. (2)	342,762	297,384	259,066	171,276	267,622
Larras	8,915	7,246	6,398	4,897	6,864
S. P. M.	480,089	410,513	345,400	269,148	376,288

Transporte on - off shore. El transporte on-off shore resultó para las huracanes en dirección contraria a la costa, es decir, se trata sólo de transporte off shore.

Transporte off shore : huracán Gilberto.

	I	II	III	IV
Transporte (m /m)	13.155	14.788	13.988	12.027
Longitud de zona (m)	2,000	2,700	3,100	3,300
Volumen (m ³)	26,310	39,928	43,363	39,689
			Σvol (m ³)	149,290

También en los huracanes Allen y Beulah la dirección del transporte litoral es de sur a norte, y sólo hubo transporte off shore.

Ciclón: Allen Con sobreelevación de 1.86m

(resultados en m³)

Zonas :

	I	II	III	IV	Prom.
C.F.E. (1)	117,939	132,656	96,790	60,190	101,894
C.F.E. (2)	140,252	137,685	101,931	61,418	110,322
Larras	3,084	2,814	2,119	1,500	2,379
S. P. M.	201,206	204,137	142,946	93,006	160,324

Transporte off shore: huracán Allen

	I	II	III	IV
Transporte (m^3/m)	4.777	5.627	5.239	4.029
Longitud de zona (m)	2.000	2.700	3.100	3.300
Volumen (m^3)	9.554	15.193	16.241	13.296
	$\Sigma vol (m^3)$			54.284

Ciclón: Beulah Con sobreelevación de 0.86m

(resultados en m^3)

	Zonas				
	I	II	III	IV	Prom.
C.F.E. (1)	40,022	54,635	24,638	23,496	35,698
C.F.E. (2)	47,432	57,418	26,514	24,178	38,886
Larras	1,066	1,207	569	606	862
S. P. M.	68,607	82,621	35,303	35,880	55,603

Transporte off shore: huracán Beulah

	I	II	III	IV
Transporte (m^3/m)	2.164	2.360	2.158	1.646
Longitud de zona (m)	2,000	2,700	3,100	3,300
Volumen (m^3)	4,328	6,372	6,690	5,432
	$\Sigma vol (m^3)$			22.822

Comentarios. El tiempo de acción de los huracanes se tomó de 6 horas.

Se observa que el método de Larras es el único que difiere de todos los criterios, quedando por debajo de los demás.

Si se toman en cuenta todos los criterios, exceptuando al de Larras, el huracan Gilberto produjo un arrastre litoral que va de los 250,000 m³ hasta cerca de los 400,000 m³. Y su transporte off shore es de 150,000 m³.

Para el huracan Allen se produjo un arrastre litoral que va de los 100,000 m³ hasta los 160,000 m³. Y su transporte off shore es de 55,000 m³.

Y para el huracan Beulah se produjo un arrastre litoral que va de los 35,000 m³ hasta los 55,000 m³. Y su transporte off shore es de alrededor de 20,000 m³.

Como puede observarse no hay mucha variación en los resultados del arrastre litoral, tanto en las 4 zonas, como en los criterios usados para cada huracán.

El transporte off shore es siempre menor que el transporte litoral aproximadamente en un 45 %.

5.- ANALISIS DE RESULTADOS Y ALTERNATIVAS DE SOLUCION

5.1. ANALISIS DEL MOVIMIENTO DE SEDIMENTOS DURANTE LOS CICLONES

La obtención de los volúmenes de arena transportados o removidos durante la ocurrencia de algún ciclón, se dificulta al hacerlo con la metodología actual de evaluación de transporte litoral y transporte on-off shore, pues no son los únicos factores que intervienen en el fenómeno de remoción.

Debería de tomarse en cuenta el efecto de la marea de viento, que en el caso del huracán Gilberto fue de 3 metros. Este consiste en poner en suspensión la arena y después de unas horas, al volver a recuperar el mar su nivel anterior, se produce una remoción de todo el material suspendido a profundidades mayores.

Otro factor que no se toma en cuenta es el de la erosión debida al viento.

La metodología aquí presentada permite obtener en forma aproximada el posible volumen removido durante la ocurrencia de los ciclones Gilberto, Allen y Beulah.

Si tomamos el promedio de todos los criterios de arrastre litoral, exceptuando el de Larras, y si se considera que es posible sumar el efecto de el arrastre litoral con el de transporte off shore, se tiene un transporte como lo muestra la tabla siguiente:

Huracanes

	Gilberto	Allen	Beulah
Arrastre l.	295,872	124,180	43,396
T. on-off	149,290	54,284	22,822
Balance	445,162	178,464	66,218

De la tabla se observa que lo que pudo haber movido el huracán Gilberto en las playas de Cancún está cerca de los 500,000 m³.

De un reciente estudio del Instituto de Ingeniería (ref. 16) se propone un volumen removido de 700,000 m³ mediante la teoría de perfiles de equilibrio y de recientes datos de la zona de Cancún.

Lo que mueve el huracán Allen representa el 40 % de lo removido por Gilberto.

Y lo que mueve el huracán Beulah es el 15 % de lo que movió Gilberto.

La magnitud de Gilberto comparada contra los demás huracanes

resulta mucho mayor y pone de relieve la importancia de su estudio para implantar medidas de protección en las playas del Caribe.

5.2. ANALISIS DEL MOVIMIENTO DE SEDIMENTOS EN CONDICIONES ORDINARIAS

De los resultados del capítulo anterior podemos resumir los transportes litoral y on-off shore en las siguientes tablas:

Resultados anuales y por zona:

(resultados en m^3)

Arrastre litoral: + dirección norte. - dirección sur.

Transporte on-off shore: + on shore. - off shore.

ZONAS

Métodos:	I	II	III	IV
C. F. E. (1)	-159.859	37.129	-46.171	-12.896
C. F. E. (2)	-213.385	51.496	-8.067	-4.558
Larras	2.380	10.063	14.155	3.886
S. P. M.	-122.713	28.529	-92.433	-24.787
On - off	-422.000	-434.700	-151.900	-9.900

Un promedio anual se presenta en la siguiente tabla:

Métodos

Transporte	C. F. E. (1)	C. F. E. (2)	Larras	S. P. M.	On-Off
Litoral	64,014	69,377	7,621	67,116	-255,375

Si se considera un volumen de 500,000 m³ en el caso del huracán Gilberto, 150,000 m³ para el ciclón Allen y de 50,000 para el ciclón Beulah (ver inciso 4.3.3), como el volumen de arena a recuperar en Cancún, entonces se tendrían los siguientes tiempos en que tardaría en lograrse esta recuperación natural (suponiendo que la arena exista) analizando todos los criterios, excepto el de on-off shore pues indica erosión únicamente:

Tiempo en años

Métodos

Ciclones	C. F. E. (1)	C. F. E. (2)	Larras	S. P. M.
Gilberto	7.8	7.2	65.6	7.4
Allen	2.3	2.2	19.7	2.2
Beulah	0.8	0.7	6.6	0.7

Comentarios. De lo anterior se puede decir que:

- 1) El período de recuperación es muy largo en el caso del huracán Gilberto, por lo que se recomendaría tomar medidas a corto plazo, como es la recuperación artificial de las playas.
- 2) Para los otros ciclones, aparte de ser mucho más cortos los períodos de recuperación se supone que los daños causados a las playas son mucho menores, por lo que sólo se recomienda construir obras de protección para evitar la posible erosión de ciclones futuros.
- 3) El criterio de Larras es el que arroja un transporte mucho menor que el de los demás criterios y difiere en el sentido del

transporte (de sur a norte). Sin embargo es el que se parece más a los resultados que arrojan las mediciones de campo (ver inciso 3.8).

4) Los otros 3 criterios se asemejan tanto en magnitud como en dirección, siendo más fuerte el transporte litoral en la zona 1 y mucho menor en la zona 4 lo que podría significar que el material, por moverse de norte a sur, se encuentra concentrado en la zona 4, es decir, en Punta Nizuc, lo cual se comprueba de las fotografías aéreas que se han tomado antes y después de ocurrido el huracán Gilberto, pues en ellas se observa que la única zona que ha mostrado una recuperación notable es la zona 4.

5) El transporte on-off shore es muy grande como para tomarse su valor como el real: lo interesante es que concuerda con los demás métodos en que la zona que menos se erosiona es la 4.

5.3. ALTERNATIVAS DE SOLUCION

Para proteger las playas de la erosión, o bien para aprovechar el transporte litoral y estabilizarlas, se puede hacer uso de espigones que retienen el transporte, o de rompeolas que pueden crear zonas de calmas relativa, donde los sedimentos pueden depositarse.

Si no hubiere el transporte litoral necesario para la recuperación natural de las playas, se puede llevar a cabo una alimentación artificial, la cual tiene las siguientes modalidades

(ref. 10):

- alimentación directa, realizada mediante el suministro de material dragado, en zonas erosionadas
- alimentación directa, mediante el suministro de material, en las zonas erosionadas con alimentación intermitente para que así el oleaje lo extienda posteriormente, de manera paulatina al resto de la zona
- colocación directa del relleno en todas las zonas a proteger
- "by passing", usada en comunicaciones y entradas, para conservar el equilibrio costero.

Espigones. Es el método más común usado para la preservación de playas (ref. 5) Los espigones (ref. 3) se utilizan para proteger a las playas contra la acción erosiva de las corrientes litorales y del oleaje, o mantenerlas cuando éstas se forman artificialmente, para protección de la costa o para atractivo turístico.

Los espigones son pequeñas barreras que se construyen a lo largo de la costa, y pueden ser:

- perpendiculares a la costa (ver fig. 7), van desde el pie de las dunas hasta una batimétrica entre -2.00 y -4.00 m; estas obras producen una acumulación de sedimentos de un lado y una erosión en el otro, por lo que es necesario colocar una serie de espigones o "batería de espigones" comenzando por la zona que se localiza aguas abajo del sentido del transporte dominante

- formando un ángulo con la línea de costa, cuando el oleaje reinante y dominante generalmente llega de una sola dirección
- separados de la costa y paralelos a ella, desplantándolos a una profundidad entre -2.00 y -4.00 m. para propiciar la formación de tómbolos.

Los espigones no detienen las erosiones debidas a las corrientes de retorno o a las corrientes normales a la costa. Estas por lo general provocan fuertes erosiones en las extremidades de la obra y en ocasiones su destrucción (ref. 10).

Rompeolas. La función principal de un rompeolas es proteger una zona en especial de la acción directa del oleaje (ref. 18). Esta protección puede ser completa o parcial. La protección total se necesitaría cuando se desee dar abrigo completo a un puerto del embate de las olas; en este caso se trataría de un rompeolas que emerge de la superficie del mar.

En la protección parcial, los rompeolas ya no tienen que emerger del agua como en el caso anterior, y se les denomina rompeolas sumergidos.

Un rompeolas sumergido es una barrera, natural o artificial, cuya cresta queda por debajo del nivel de reposo del agua (ver figura 8). Este tipo de rompeolas disipa o absorbe parte de la energía de las olas que llegan a él, ocasionando así que éstas rompan prematuramente: de la energía que no alcanza a mitigarse, una porción se refleja y el resto se transmite en la dirección de

avance de las olas. Puesto que la energía transmitida es menor que la incidente, la altura del oleaje que se forma después de la estructura suele ser menor.

Cuanto menos inmerso se encuentre el rompeolas, mayor es la energía que le resta al oleaje incidente. Debe construirse en sitios donde el rango de mareas sea relativamente pequeño.

Puede colocarse frente a la línea de costa para formar un obstáculo a las corrientes normales a ésta y así evitar la erosión de las playas. Si se encuentran colocadas muy cerca de la costa se pueden producir formaciones de arena entre la costa y el rompeolas llamadas tómbolos (ver fig. 8).

Relleno artificial. El problema que surge al escoger un relleno como solución a la recuperación de una playa, es el de diseñar las características de tal relleno, de modo que su colocación en realidad ayude a recuperar un ancho de playa perdido y no suceda que al paso del tiempo vuelva a reducirse el ancho de la playa debido al efecto del oleaje.

Un criterio para diseñar el relleno es el de los perfiles de equilibrio (ver inciso 2.1). Con la información del oleaje en condiciones ordinarias se procede a calcular su perfil de equilibrio. Después puede suponerse que el relleno adoptará también este perfil (ref. 19), por lo que quedará paralelo al perfil de playa sin rellenar (ver figura 9). De esta manera puede tenerse un ancho de playa con un volumen de arena específico.

pudiéndose seleccionar el ancho de playa deseado con su volumen correspondiente.

CONCLUSIONES

1) Del análisis de perfiles playeros se desprende que el material está en movimiento de una zona a otra y posiblemente saliera del área de estudio que queda delimitada por la batimétrica -2.50. Se recomienda ampliar esta área hasta la batimétrica -5.00.

2) Los resultados correspondientes al movimiento de la línea de costa indican que existe una erosión durante la etapa en estudio (de abril a septiembre de 1989) siendo las zonas I y II las más dañadas, siguiendo la zona IV y la menos dañada la zona III.

3) El volumen que movió el huracán Gilberto oscila entre los 500.000 m³ según lo estimado en este trabajo, aunque pudiera incrementarse este valor usando otros criterios, como el descrito

en el inciso 5.1, hasta los 700.000 m³.

4) Para el ciclón Allen se tiene un volumen removido de 150,000 m³ y para el Beulah 50,000 m³ y sus períodos de recuperación oscilan entre los 2 años para el primero, y menos de 1 año para el último.

5) La recuperación natural para el caso del huracán Gilberto tiene períodos largos en todos los criterios analizados, entre 7 años en promedio, por lo que se recomienda efectuar la recuperación de las playas por medios artificiales.

6) El criterio de Larras es el que produce los resultados más desfavorables en cuanto a arrastre litoral, sin embargo es el que más se parece a las mediciones de campo.

7) Los otros 3 criterios se asemejan mucho y describen la situación general de Cancún, pues muestran que la zona menos dañada es la IV y que la dirección del transporte litoral es de norte a sur, por lo que se esperaría que esta zona fuera la más recuperada de las 4, que es lo que está pasando realmente en campo.

8) El programa de cálculo propuesto puede ser aplicado en cualquier otro sitio en el que se desee conocer el transporte de

arena, siguiendo la metodología aquí propuesta, o bien empleando otras fórmulas de transporte litoral u on - off shore.

9) Se observa que para tener un concenso en los criterios de transporte de sedimentos se necesita de mayores investigaciones en este campo y de una mejor información de campo que ayude a representar la situación real del fenómeno.

REFERENCIAS

- 1.- Dean, R. G.: "Heuristic Models of Sand Transport in the Surf Zone", de la conferencia de Ingeniería Dinámica en la zona costera, Sydney, N.S.W. Australia, 1973.
- 2.- Swart, H. D.: "Off Shore Sediment Transport and Equilibrium Beach Profiles", Delft hydraulics laboratory, publ. no. 131, december 1974.
- 3.- C.F.E.: "Manual de Obras Civiles. Hidráulica Marítima". CFE, México, 1983.
- 4.- Sasaki. Tamio y Horikawa, Kiyoshi: "Nearshore Current System On a Gently Stopping Bottom", Coastal Engineering in Japan, vol. 18, 1975.
- 5.- Sánchez Bribiesca, José Luis: "Manual de Hidráulica Marítima Elemental", C.F.E., México 1987.
- 6.- Plano topográfico 1,50,000 de Cancún.
- 7.- Plano de climas de Cancún.
- 8.- Estudios básicos para la rehabilitación de la zona playera, Cancún II, llevado a cabo por CONSULTEC. 1989.
- 9.- U. S. Army Corps of Engineers: "Shore Protection Manual", 1984, volumen I, Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, Mississippi.
- 10.- Frías V., Armando y Moreno C., Gonzalo: "Ingeniería de Costas", LIMUSA, 1988 p. 106.
- 11.- Camargo H., Jaime, Jiménez E., Martín y Sánchez, E., Leopoldo: "Evolución de las Playas de Cancún, Q. Roo". Instituto

de Ingeniería, UNAM, 1990.

12.- Gracia Sánchez, Jesús, et al: "Determinación de las Características del Oleaje Para las Playas de Cancún (Primer Informe)", Instituto de Ingeniería, UNAM, 1990.

13.- Osnaya R., J., Fuentes M., G. E., Jiménez E., M., Sánchez E., L., Peña P., T. C., Caamaño R., V.: "Cálculo de Refracción del Oleaje en Cancún Q. Roo", Instituto de Ingeniería de la UNAM, 1990.

14.- Instituto de Ingeniería: "Segunda Campana de Trazadores Fluorescentes, Cancún Q. Roo", IMASA para la UNAM, marzo de 1990.

15.- Gracia Sánchez, Jesús y Fuentes Mariles, Oscar A.: "El Transporte on Off Shore y la Evolución de Playas", ponencia para el XIV Congreso Latinoamericano de Hidráulica a celebrarse en Montevideo, Uruguay.

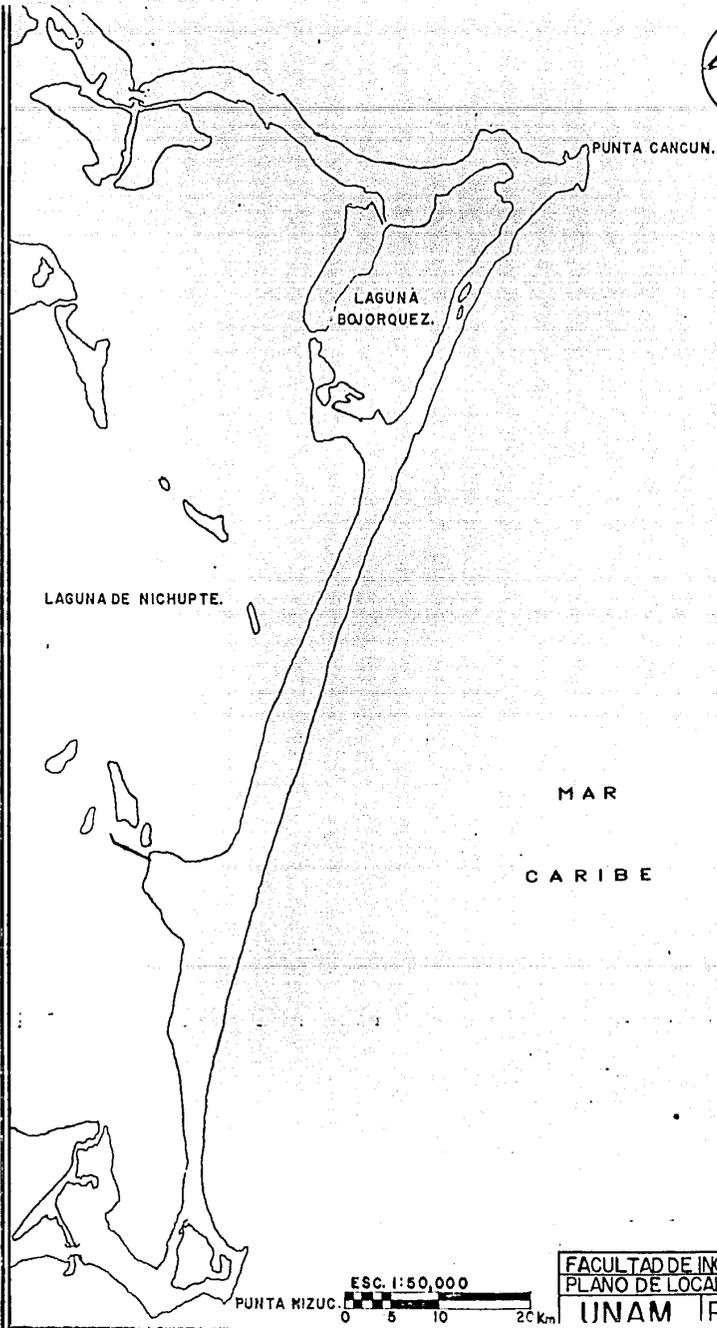
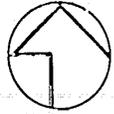
16.- Gracia S. J., Jiménez E., Martín: "Estudio del Comportamiento de la Arena en las Playas de Cancún Q. Roo". informe del Instituto de Ingeniería, UNAM, para FONATUR.

17.- Horikawa, K., "Nearshore Dynamics and Coastal Processes", University of Tokio Press, Japan 1988.

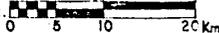
18.- García F., Manuel, "Rompeolas Sumergidos", Series del Instituto de Ingeniería no. 511, UNAM 1988.

19.- Gracia S., J., Jiménez E., M., Sánchez E., L.: "La Restitución Artificial de Playas en Cancún Q. Roo" informe del Instituto de Ingeniería, UNAM, agosto 1990.

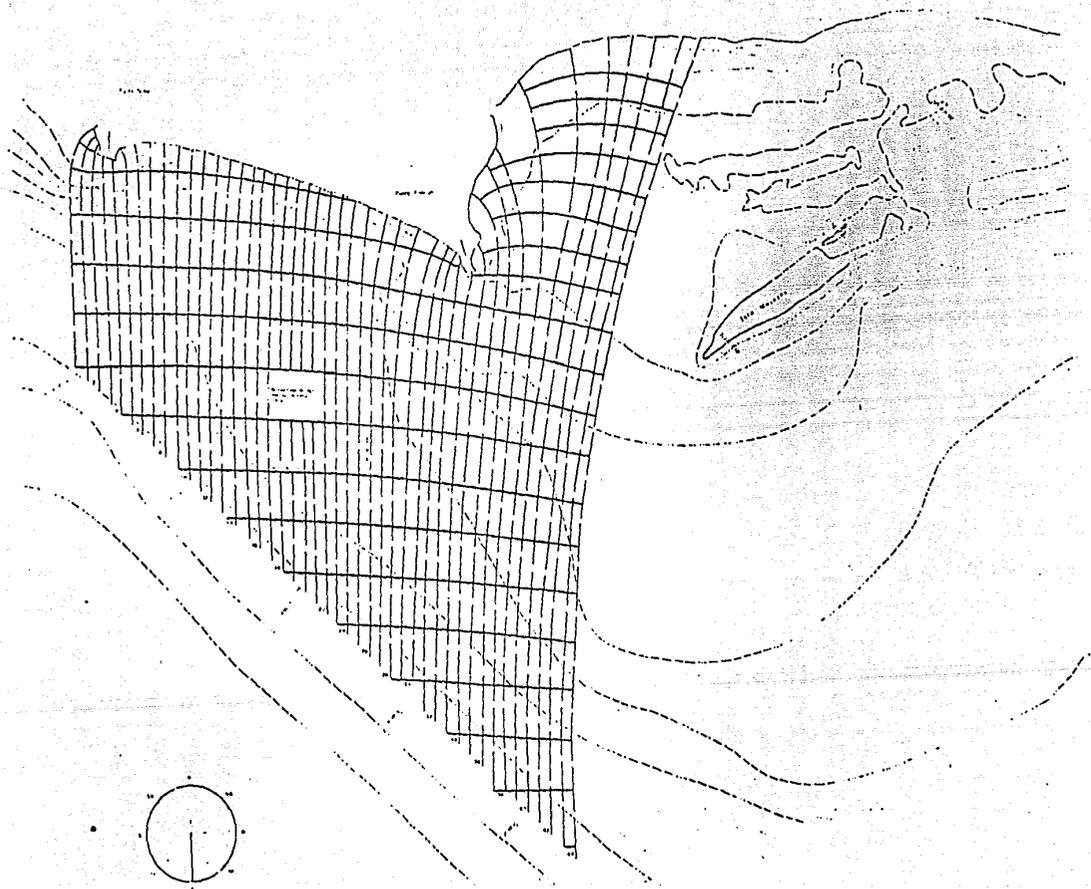
APENDICE



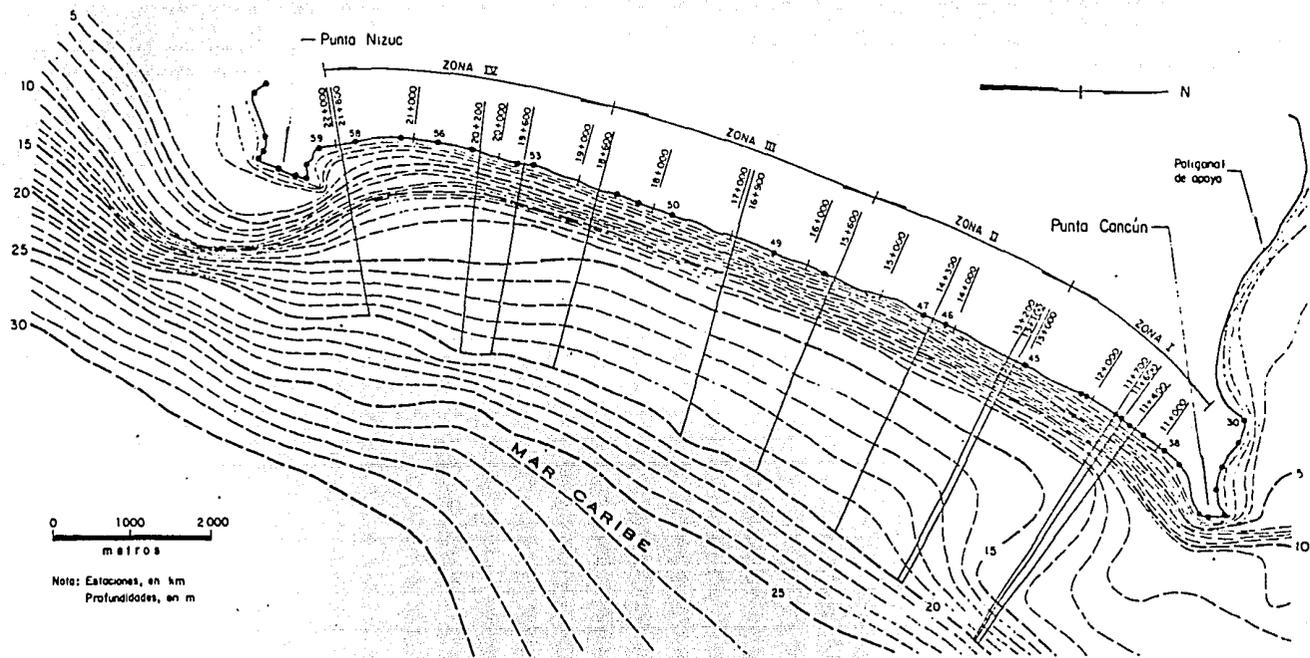
ESC. 1:50,000



FACULTAD DE INGENIERIA.
PLANO DE LOCALIZACION.
UNAM | PI Δ 1



Plano 2: Rayos de oleaje



Plano 3: Batimetría. zonas y cadenamientos

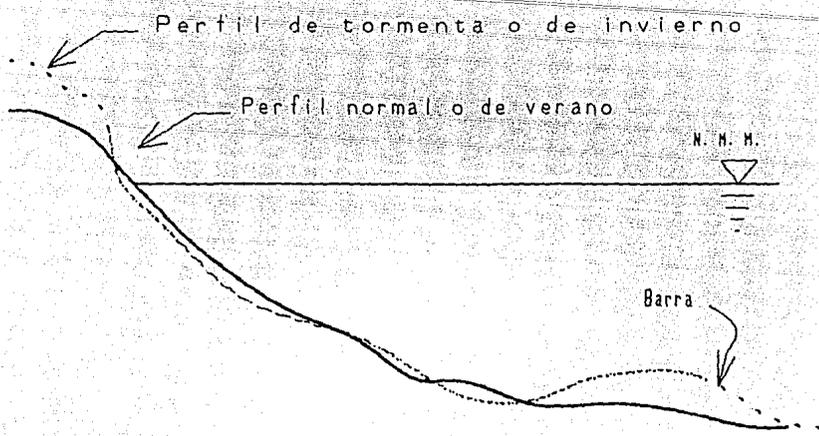


Fig. 1: Perfiles playeros

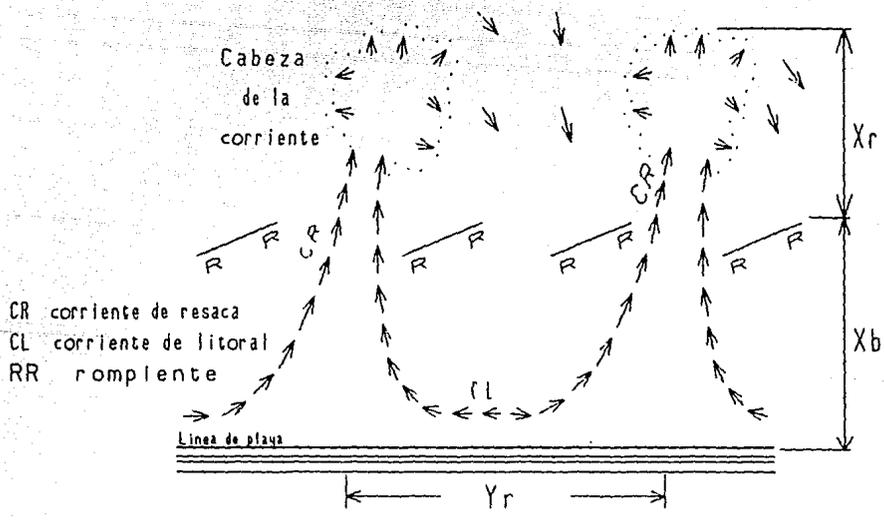
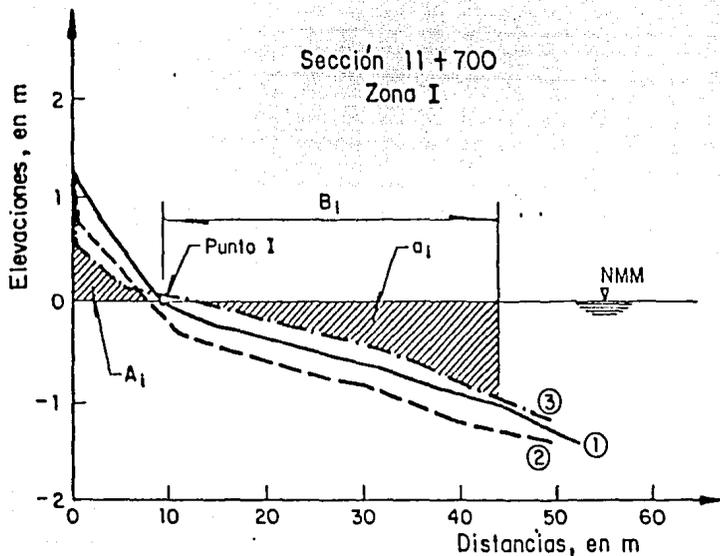


Fig. 2: Corrientes marinas



Inicio de las campañas de medición (fechas)

① 890415, ② 890519, ③ 890614

B_1 : Ancho de playa medio de la zona, medido apartir del punto I, (corresponde al cruce del seccionamiento ① con el NMM); en m

A_i, a_i : Areas arriba (ANMM) y abajo (aNMM) del nivel medio del mar, respectivamente; en m^2

Ejemplo: Estación 11+700; $B = 35$ m

Parte Areas, en m^2 (*)

	①	②	③
A_i (ANMM)	6.63	4.25	2.89
a_i (aNMM)	18.02	26.86	13.09

(*) Obtenidas con planímetro

Fig. 3: Seccionamiento playero

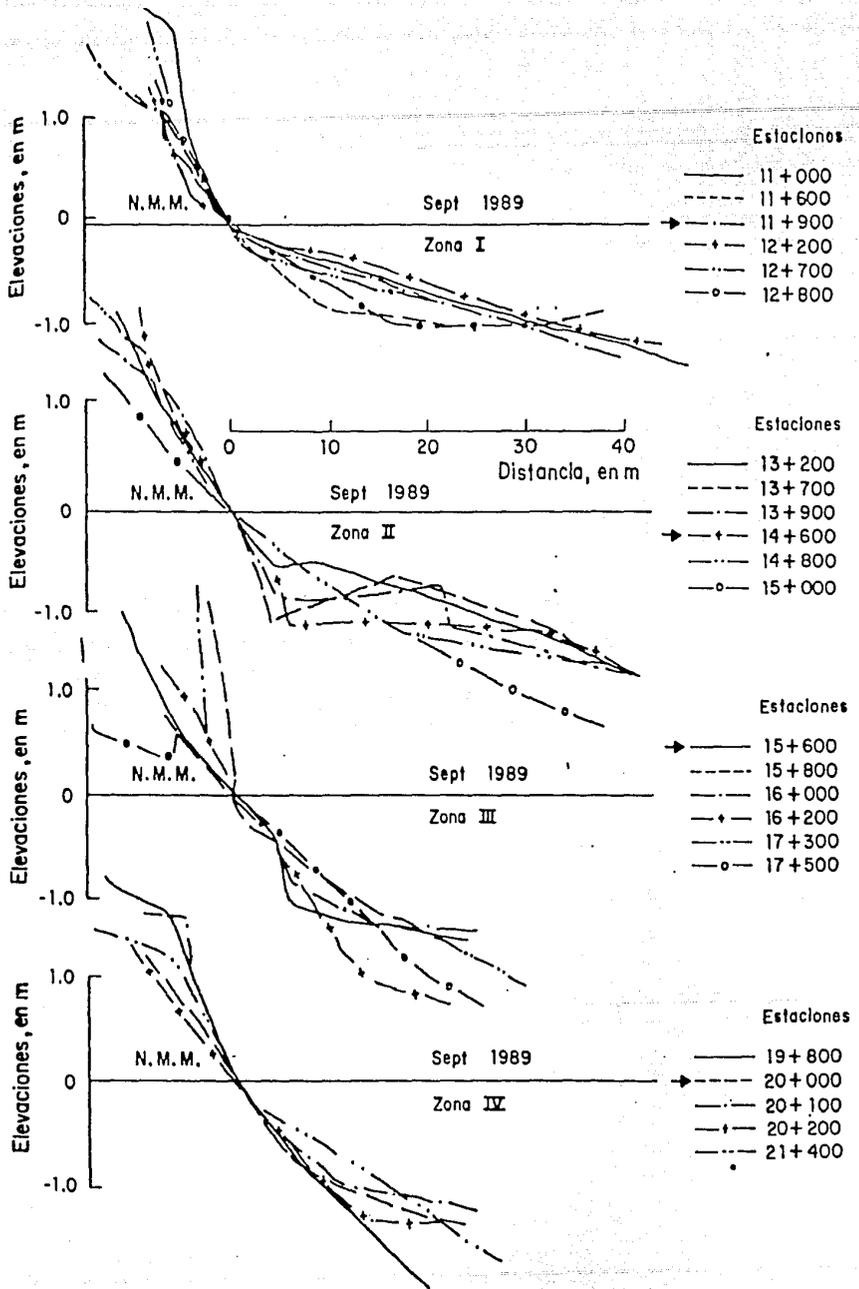


Fig. 4: Perfiles representativos

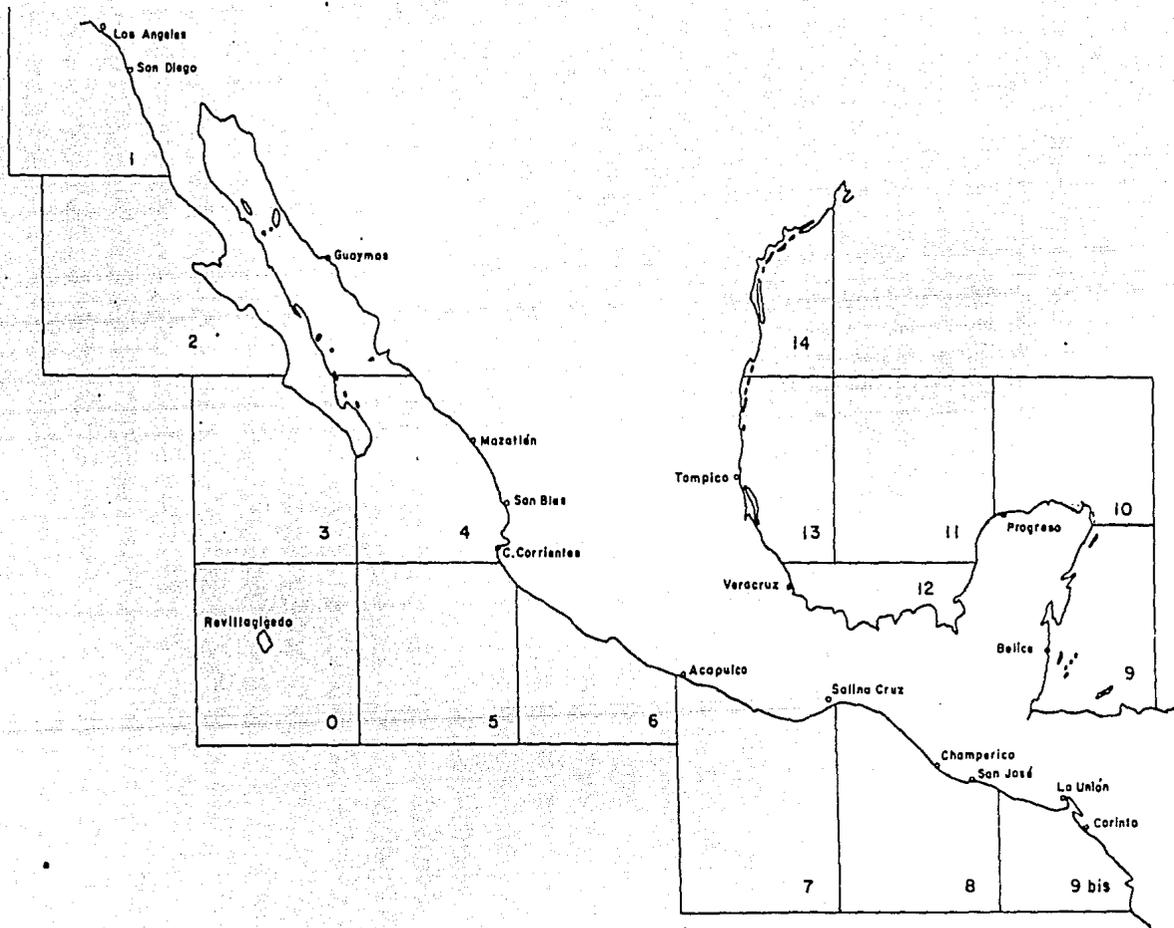


Fig. 5: Zonas de información del Sea & Swell
para la República Mexicana

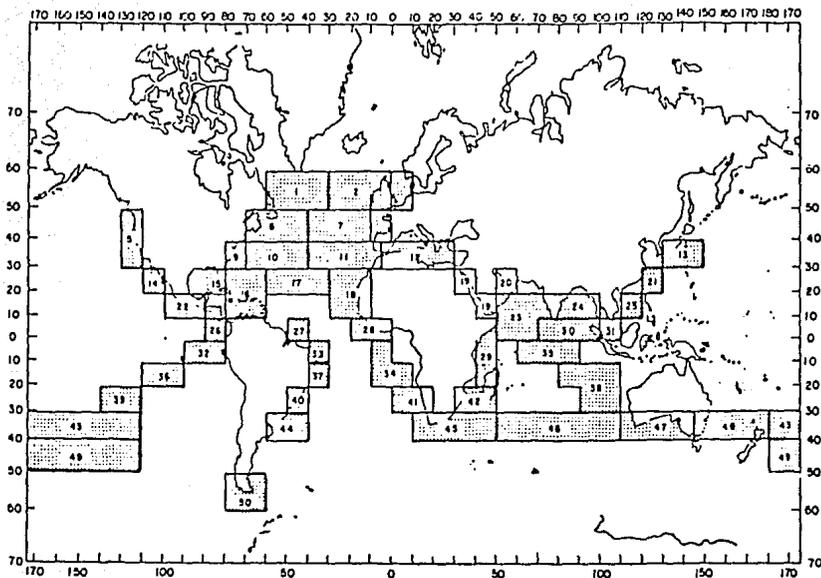


Fig. 6: Zonas de información del Ocean Waves Statistics
para el mundo

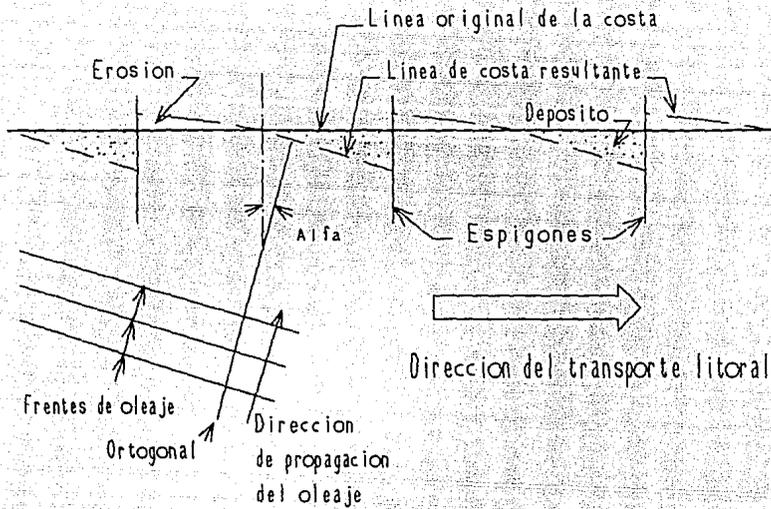


Fig. 7a: Modificaciones que sufre la linea de costa por la presencia de un sistema de espigones

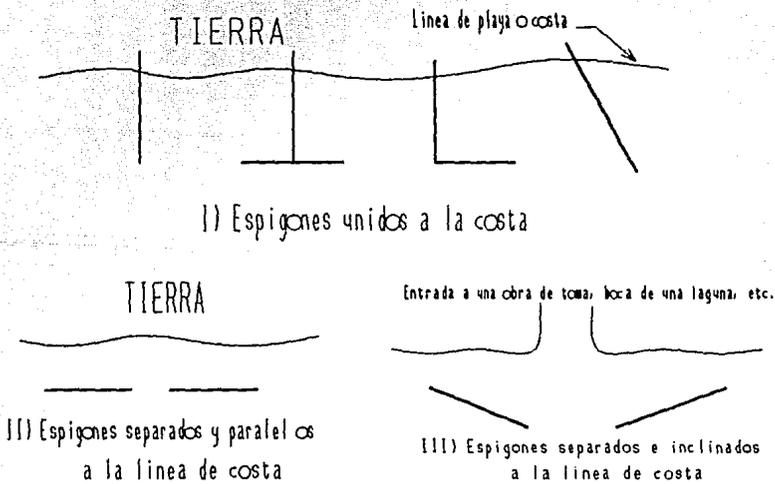


Fig. 7b: Diferentes tipos de espigones

Playa protegida

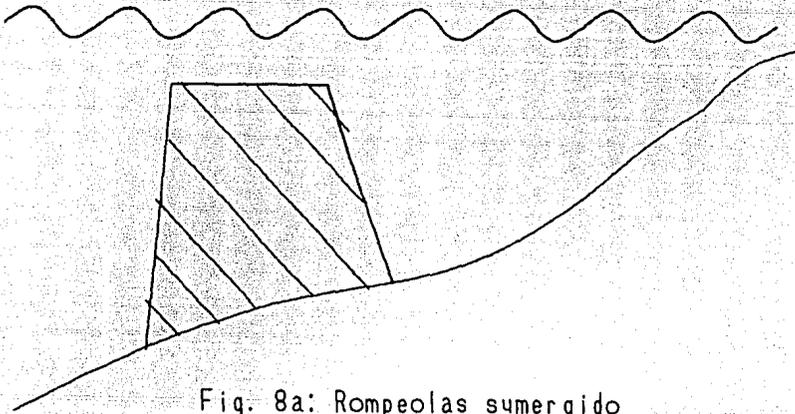


Fig. 8a: Rompeolas sumergido

TIERRA

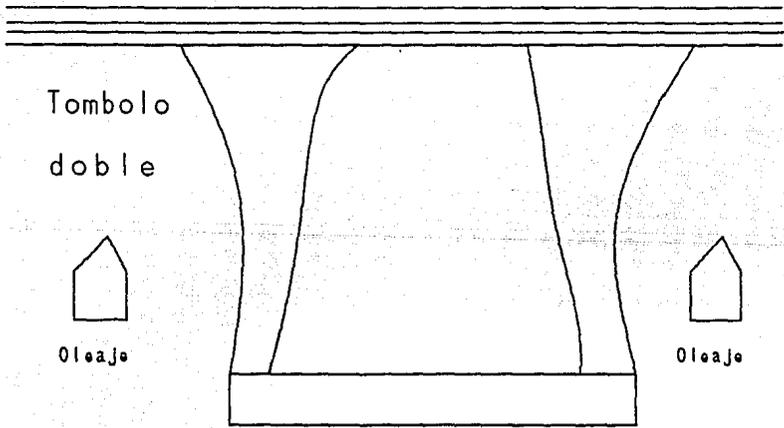


Fig. 8b: Rompeolas separado

Manual De Uso Del Programa Para Calcular El Arrastre Litoral v El
Transporte On - Off Shore

I) Definición de variables.

Variables de entrada

- CS coeficiente para el transporte on - off shore. se recomienda un valor de 18 para playas naturales (adimensional).
- SS densidad específica sumergida promedio.
- S0(I) pendiente media en cada zona (adimensional).
- DM(I) diámetro D_{50} de la arena por zona. en m.
- DMC(I) diámetro D_{50} de la arena corregido para usarse en las fórmulas de transporte por su densidad diferente a la del cuarzo. por zona, en m.
- KR(I,K,L) coeficientes de refracción en la batimétrica -2.00, por zona, por dirección y por período.
- AR(I,K,L) ángulos entre el frente de ola y la costa, etc. en grados.
- T(L) período de ola. en s.
- H(M) alturas de ola. en m.
- TD(J,K,L,M) tiempos de acción del oleaje por estación, por dirección, por período y por altura de ola. en días.

Variables de salida:

- KS(I,K,L) coeficientes shoaling por zona. por dirección y por período.

V(1,I,J,K,L)-V(5,I,J,K,L) volúmenes acumulados por cada
fórmula, zona, estación, dirección y período.

VL(1,I,J,K)-VL(5,I,J,K) volúmenes acumulados por período.

VD(N,1,J)-VD(N,4,J) volúmenes acumulados por fórmula, por
zona y por estación.

CONT1#-CONT5# volúmenes acumulados anuales y por zona.

A

```
DO 10 I=1,N  
  DO 10 J=1,N  
    DO 10 K=1,N  
      DO 10 L=1,N  
        A(I,J,K,L)=A(I,J,K,L)  
        + A(I,J,K,L)  
      + A(I,J,K,L)  
    + A(I,J,K,L)  
  + A(I,J,K,L)  
+ A(I,J,K,L)
```

1

```
U(I,J,K,L)=U(I,J,K,L)+  
  + A(I,J,K,L)  
+ A(I,J,K,L)  
+ A(I,J,K,L)  
+ A(I,J,K,L)  
+ A(I,J,K,L)
```

L

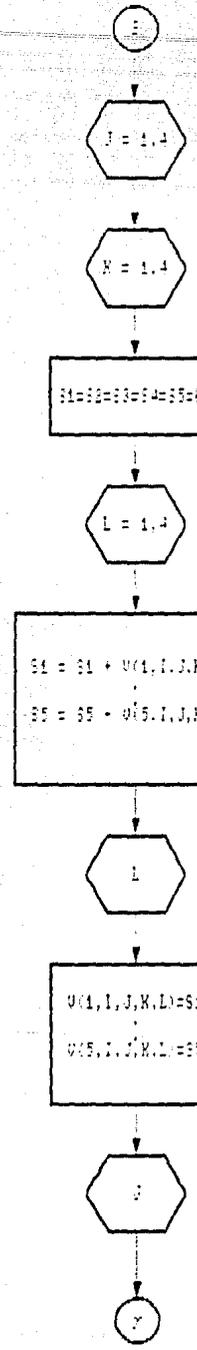
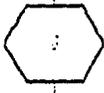
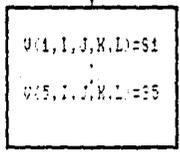
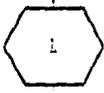
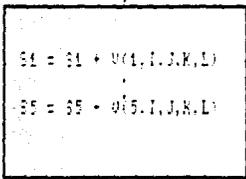
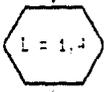
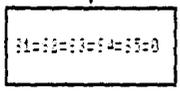
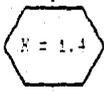
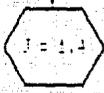
K

J

I

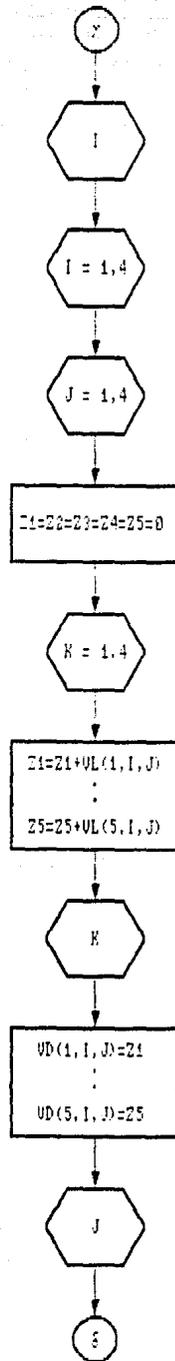
I = 1,4

B





UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO





III) Lectura de datos.

Las variables de entrada son introducidas por medio de un programa llamado ESC-DAT.BAS, al cual se tiene acceso por medio de un menú. Este programa se hace necesario, ya que crea los archivos de datos (con extensión ".DAT") y los ordena para que el programa de transporte litoral los tome en ese mismo orden. A continuación se muestra un listado de este programa.

```
10 '          Programa capturador de datos
15 '
20 CLS : KEY OFF
25 DIM H(10)
30 CLS
35 LOCATE 1.25 : PRINT "1.- Periodos"
40 LOCATE 3.25 : PRINT "2.- Longitudes en rompiente"
45 LOCATE 5.25 : PRINT "3.- Alturas de ola"
50 LOCATE 7.25 : PRINT "4.- Pendientes de playa"
55 LOCATE 9.25 : PRINT "5.- Diámetros medios en metros"
60 LOCATE 11.25 : PRINT "6.- Diámetros medios corregidos en metros"
65 LOCATE 13.25 : PRINT "7.- Coeficientes de refraccion"
70 LOCATE 15.25 : PRINT "8.- Ángulos en rompiente"
75 LOCATE 17.25 : PRINT "9.- Tiempo de acción"
80 LOCATE 19.25 : PRINT "0.- Salir"
85 LOCATE 21.25 : PRINT "Que opción prefieres"
90 A$=INKEY$:IF A$="" THEN 90
95 A=VAL(A$)
100 ON A GOTO 125,175,220,270,320,365,410,525,640,105
105 CLOSE
107 CLS
108 PRINT "  PROCESO TERMINADO..."
110 SYSTEM
115 STOP
```

```
120 REM                ESCRITURA DE DATOS
125 CLS
130                    OPEN "O",1,"PERIODO.DAT"
135 FOR L=1 TO 4
140 LOCATE 9,30
145 PRINT "PERIODO ";L
150 INPUT "PERIODO= ";T
155 PRINT#1,T
160 CLS
165 NEXT L
170 GOTO 30
175 CLS
180                    OPEN "O",2,"LONGROMP.DAT"
185 FOR L=1 TO 4
190 LOCATE 9,30
195 PRINT "PERIODO ";L
200 INPUT "LONG. EN ROMP.= ";LB
205 PRINT#2,LB
208 CLS
210 NEXT L
215 GOTO 30
220 CLS
225                    OPEN "O",3,"ALTURAS.DAT"
230 FOR M=1 TO 8
235 LOCATE 9,30
240 PRINT "ALTURA NUM. : ";M
245 INPUT "H= ";H(M)
250 PRINT#3,H(M)
253 CLS
255 NEXT M
260 GOTO 30
265 CLS
270 CLS
275                    OPEN "O",4,"SLOPE.DAT"
280 FOR I=1 TO 4
```

```
285 LOCATE 9,30
290 PRINT "ZONA : ";I
295 INPUT "S0 = ";S0
300 PRINT#4,S0
308 CLS
310 NEXT I
315 GOTO 30
320 CLS
325          OPEN "O",5,"DIAM.DAT"
330 FOR I=1 TO 4
335 LOCATE 9,30
340 PRINT "ZONA : ";I
345 INPUT "DM = ";DM
350 PRINT#5,DM
353 CLS
355 NEXT I
360 GOTO 30
365 CLS
370          OPEN "O",6,"DIAMCO.DAT"
375 FOR I=1 TO 4
380 LOCATE 9,30
385 PRINT "ZONA : ";I
390 INPUT "DMC = ";DMC
395 PRINT#6,DMC
397 CLS
400 NEXT I
405 GOTO 30
410 CLS
415          OPEN "O",7,"COEFREF.DAT"
420 FOR I=1 TO 4
425 LOCATE 9,30
430 PRINT "ZONA ";I
435 FOR K=1 TO 4
440 IF K=1 THEN K$="NORESTE" ELSE 450
445 GOTO 475
```

```
450 IF K=2 THEN K$="ESTE " ELSE 460
455 GOTO 475
460 IF K=3 THEN K$="SURESTE" ELSE 470
465 GOTO 475
470 K$="SUR "
475 LOCATE 10,30
480 PRINT "DIRECCION ";K$
485 FOR L=1 TO 4
490 LOCATE 11,30
495 PRINT "PERIODO ";L
500 INPUT "COEFICIENTE DE REFRACCION ",KR
505 PRINT#7,KR
508 LOCATE 12,1 :PRINT "
510 NEXT L
515 NEXT K
520 NEXT I
523 GOTO 30
525 CLS
530 OPEN "O",8,"ANGREF.DAT"
535 FOR I=1 TO 4
540 LOCATE 9,30
545 PRINT "ZONA ";I
550 FOR K=1 TO 4
555 IF K=1 THEN K$="NORESTE" ELSE 565
560 GOTO 590
565 IF K=2 THEN K$="ESTE " ELSE 575
570 GOTO 590
575 IF K=3 THEN K$="SURESTE" ELSE 585
580 GOTO 590
585 K$="SUR "
590 LOCATE 10,30
595 PRINT "DIRECCION ";K$
600 FOR L=1 TO 4
605 LOCATE 11,30
610 PRINT "PERIODO ";L
```

```
615 INPUT "ANGULO ".AR
620 PRINT#8,AR
623 LOCATE 12.1 :PRINT "
625 NEXT L
630 NEXT K
635 NEXT I
638 GOTO 30
640 CLS
645 OPEN "O".9,"ACCION.DAT"
650 FOR J=1 TO 4
655 LOCATE 1,30
660 PRINT "ESTACION : ";J
665 FOR K=1 TO 4
670 LOCATE 2,30
675 PRINT "DIRECCION : ";K
680 FOR L=1 TO 4
685 LOCATE 3,30
690 PRINT "PERIODO : ";L
695 FOR M=1 TO 8
700 LOCATE 4,30
705 PRINT "ALTURA : ";M
710 INPUT "TIEMPO DE ACCION= ",TD
715 PRINT#9,TD
718 LOCATE 5.1 :PRINT "
720 NEXT M
725 NEXT L
730 NEXT K
735 NEXT J
755 GOTO 30
```

IV) Listado del programa principal:

```
10 '          CALCULO DEL TRANSPORTE LITORAL
20 '          (TLITDET.BAS)
30 '
35 CLS
40 LPRINT TAB(30):"Resultados del arrastre litoral"
50 LPRINT TAB(20):"Proyecto Cancún".DATES
60 LPRINT:LPRINT
70 HORAINICIOS=TIMES
80 '
90 ' No Imprime datos
100 ' No imprime matrices - V - . - VL - y resultados fórmulas
110 ' Si muestra rastreo del cálculo
120 ' Calcula y no imprime Ks's.
130 ' No pone datos en pantalla
140 '
150 CLS : KEY OFF
160 DEFINT I,J,M
170 DIM S0(4), KR(4, 4, 4), AR(4, 4, 4), DM(4), T(4), H(10),
DMC(4)
180 DIM TD(4, 4, 5, 10), V(5, 4, 5, 4, 5), VL(5, 4, 5, 4), VD(5,
4, 5), LB(4)
190 REM      ENTRADA DE DATOS POR ARCHIVOS
200          OPEN "I", 1, "A:SLOPE.DAT "
210          OPEN "I", 2, "A:DIAM.DAT"
220          OPEN "I", 3, "A:DIAMCO.DAT"
230 'LPRINT
240 'LPRINT "Zona          Pendiente          Diám.          Diám.
corr."
250 FOR I = 1 TO 4
260   INPUT #1, S0(I)
270   INPUT #2, DM(I)
280   INPUT #3, DMC(I)
```

```

290 'LPRINT I,S0(I),DM(I),DMC(I)
300 NEXT I
310 OPEN "I", 4, "A:COEFREF.DAT"
320 OPEN "I", 5, "A:ANGREF.DAT" '330 'LPRINT "Zona
Direc Perodo Coef. refr. Ang.
340 FOR I = 1 TO 4
350 FOR K = 1 TO 4
360 FOR L = 1 TO 4
370 INPUT #4, KR(I, K, L)
380 INPUT #5, AR(I, K, L)
390 'LPRINT I,K,L,KR(I,K,L),AR(I, K, L)
400 NEXT L
410 NEXT K
420 NEXT I
430 OPEN "I", 6, "A:PERIODO.DAT"
440 'LPRINT "# periodo Perodo "
450 FOR L = 1 TO 4
460 INPUT #6, T(L)
470 'LPRINT L,T(L)
480 NEXT L
490 CLOSE
500 OPEN "I", 7, "A:ALTURAS.DAT"
510 FOR M = 1 TO 8'FOR M=1 TO 10
520 INPUT #7, H(M)
530 NEXT M
540 OPEN "I", 8, "A:ACCION.DAT"
550 'LPRINT TAB(10);"Periodos de acción :"
560 'LPRINT "ESTACION","DIRECCION","PERIODO","ALTURA","TIEMPO"
570 FOR J = 1 TO 4
580 FOR K = 1 TO 4
590 FOR L = 1 TO 4
600 FOR M = 1 TO 8
610 INPUT #8, TD(J, K, L, M)
620 'LPRINT J,K,L,M,TD(J,K,L,M)
630 NEXT M

```

```

640     NEXT L
650     NEXT K
660     NEXT J
670     CLOSE
680     REM INICIO DEL CALCULO
690     G = 9.81#
700     PI = 3.141592654#
710     SS = 1.834
720     CS = 30
730     ' PRINT TAB(10); "Volúmenes acumulados por cada 8 alturas"
740     'LPRINT TAB(10); "Volúmenes acumulados por cada 8 alturas"
750     LOCATE 1,10 : PRINT "INICIO DE CALCULO "
760     FOR I = 1 TO 4
770         LOCATE 2, 25: PRINT "I = "; I
780         FOR J = 1 TO 4
790             LOCATE 3, 25: PRINT "J = "; J
800             FOR K = 1 TO 4
810                 LOCATE 4, 25: PRINT "K = "; K
820                 FOR L = 1 TO 4
830                     LOCATE 5, 25: PRINT "L = "; L
840                     ACC1 = 0: ACC2 = 0: ACC3 = 0: ACC4 = 0: ACC5 = 0
850                     FOR M = 1 TO 8
860                         LOCATE 6, 25: PRINT "M = "; M
870                         LO = (G * T(L) ^ 2) / (2 * PI)
880                         ' KS = S0(I) ^ (1 / 5) * (H(M) / LO) ^ (-1 / 4) /
KR(I, K, L)
890                         KS=1/(3.3*(H(M)*KR(I, K, L)/LO)^(1/3))
900                         KS(I, K, L) = KS
910                         IF TD(J,K,L,M) = 0 THEN 920 ELSE GOSUB 2100 :GOTO
970
920                             Q1=0
930                             Q2=0
940                             Q3=0
950                             Q4=0
960                             Q5=0

```

```

970         ACC1 = ACC1 + Q1
980         ACC2 = ACC2 + Q2
990         ACC3 = ACC3 + Q3
1000        ACC4 = ACC4 + Q4
1010        ACC5 = ACC5 + Q5
1020        NEXT M
1030        V(1, I, J, K, L) = ACC1
1040        V(2, I, J, K, L) = ACC2
1050        V(3, I, J, K, L) = ACC3
1060        V(4, I, J, K, L) = ACC4
1070        V(5, I, J, K, L) = ACC5
80         PRINT I; J; K; L;
1090        PRINT USING "#####."; V(1, I, J, K, L); V(2, I,
J, K, L); V(3, I, J, K, L); V(4, I, J, K, L); V(5, I, J, K, L)
1100        LPRINT I; J; K; L;
1110        LPRINT USING "#####."; V(1, I, J, K, L); V(2, I,
J, K, L); V(3, I, J, K, L); V(4, I, J, K, L); V(5, I, J, K, L)
1120        NEXT L
1130        NEXT K
1140        NEXT J
1150 NEXT I
1160 REM SEGUNDA ETAPA
1170 ' PRINT TAB(10); "Volúmenes acumulados por periodos"
1180 'LPRINT TAB(10); "Volúmenes acumulados por periodos"
1190 FOR I = 1 TO 4
1200   FOR J = 1 TO 4
1210     FOR K = 1 TO 4
1220       S1 = 0: S2 = 0: S3 = 0: S4 = 0: S5 = 0
1230       FOR L = 1 TO 4
1240         S1 = S1 + V(1, I, J, K, L)
1250         S2 = S2 + V(2, I, J, K, L)
1260         S3 = S3 + V(3, I, J, K, L)
1270         S4 = S4 + V(4, I, J, K, L)
1280         S5 = S5 + V(5, I, J, K, L)
1290       NEXT L

```

```

1300     VL(1, I, J, K) = S1
1310     VL(2, I, J, K) = S2
1320     VL(3, I, J, K) = S3
1330     VL(4, I, J, K) = S4
1340     VL(5, I, J, K) = S5
1350     ' PRINT I; J; K;
1360     'PRINT USING "#####,"; VL(1, I, J, K); VL(2, I, J,
K); VL(3, I, J, K); VL(4, I, J, K); VL(5, I, J, K)
1370     'LPRINT I; J; K;
1380     'LPRINT USING "#####,"; VL(1, I, J, K); VL(2, I, J,
K); VL(3, I, J, k); VL(4, I, J, K); VL(5, I, J, K)
1390     NEXT K
1400     NEXT J
1410     NEXT I
1420     REM ETAPA TRES
1430     FOR I = 1 TO 4
1440         FOR J = 1 TO 4
1450             Z1 = 0: Z2 = 0: Z3 = 0: Z4 = 0: Z5 = 0
1460             FOR K = 1 TO 4
1470                 Z1 = Z1 + VL(1, I, J, K)
1480                 Z2 = Z2 + VL(2, I, J, K)
1490                 Z3 = Z3 + VL(3, I, J, K)
1500                 Z4 = Z4 + VL(4, I, J, K)
1510                 Z5 = Z5 + VL(5, I, J, K)
1520             NEXT K
1530             VD(1, I, J) = Z1
1540             VD(2, I, J) = Z2
1550             VD(3, I, J) = Z3
1560             VD(4, I, J) = Z4
1570             VD(5, I, J) = Z5
1580         NEXT J
1590     NEXT I
1600     REM ETAPA DE PRESENTACION EN PANTALLA
1610     FOR N = 1 TO 5
1620     CONT1# = 0: CONT2# = 0: CONT3# = 0: CONT4# = 0: CONT5# = 0

```

```

1630 PRINT "FORMULA= ": N
1640 FOR J = 1 TO 4
1650 PRINT USING "          #####.": VD(N, 1, J): VD(N, 2, J):
VD(N, 3, J): VD(N, 4, J)
1660 CONT1# = CONT1# + VD(N, 1, J)
1670 CONT2# = CONT2# + VD(N, 2, J)
1680 CONT3# = CONT3# + VD(N, 3, J)
1690 CONT4# = CONT4# + VD(N, 4, J)
1700 NEXT J
1710 PRINT
1720 PRINT USING "          #####.": CONT1#: CONT2#: CONT3#:
CONT4#
1730 PRINT
1740 NEXT N
1750 REM ETAPA DE IMPRESION
1760 FOR N = 1 TO 5
1770 CONT1# = 0: CONT2# = 0: CONT3# = 0: CONT4# = 0: CONT5# = 0
1780 LPRINT TAB(10):"FORMULA= ": N
1790 FOR J = 1 TO 4
1800 LPRINT USING "          #####.": VD(N, 1, J): VD(N, 2,
J): VD(N, 3, J):
1810 CONT1# = CONT1# + VD(N, 1, J)
1820 CONT2# = CONT2# + VD(N, 2, J)
1830 CONT3# = CONT3# + VD(N, 3, J)
1840 CONT4# = CONT4# + VD(N, 4, J)
1850 NEXT J
1860 LPRINT
1870 LPRINT USING "          #####.": CONT1#: CONT2#: CONT3#:
CONT4#
1880 LPRINT
1890 NEXT N
1900 OPEN "o". 1, "Coefshog.dat"
1910 'LPRINT "Zona","Direc.", "Periodo", "Coef. shoaling";"
Coef.shoaling^2"
1920 FOR I = 1 TO 4

```

```

1930 FOR K = 1 TO 4
1940 FOR L = 1 TO 4
1950 PRINT #1,I,K,L,KS(I,K,L)
1960 'LPRINT I,K,L,KS(I,K,L), KS(I, K, L)^2
1970 NEXT L
1980 NEXT K
1990 NEXT I
1995 LPRINT : LPRINT TAB(25);"Cs= ";CS : LPRINT
1997 LPRINT "S1=";S0(1),"S2=";S0(2),"S3=";S0(3),"S4=";S0(4)
1998 LPRINT
2000 LPRINT :LPRINT TAB(5);"Hora de inicio : ";HORAINICIOS,"Hora
de término : ";T
2010 CLOSE : CLEAR : SYSTEM
2020 REM GASTOS DE PRUEBA
2030 ' O1 = 2 * TD(J, K, L, M) * KR(I, K, L) * AR(I, K, L)
2040 ' O2 = 3 * TD(J, K, L, M) * KR(I, K, L) * AR(I, K, L)
2050 ' O3 = 4 * TD(J, K, L, M) * KR(I, K, L) * AR(I, K, L)
2060 ' O4 = 5 * TD(J, K, L, M) * KR(I, K, L) * AR(I, K, L)
2070 ' O5 = 6 * TD(J, K, L, M) * KR(I, K, L) * AR(I, K, L)
2080 RETURN
2090 ' Subrutina de fórmulas
2100 HSP = H(M) * KR(I, K, L)
2110 HM = HSP / 1.6
2120 HB = HSP * SO(I) ^ (1 / 5) * (HSP / LO) ^ (-1 / 4)
2130 DB = HB / (1.1 * SO(I) ^ (1 / 6) * (H(M) / LO) ^ (-1 / 12))
2140 HMB = HM * SO(I) ^ (1 / 5) * (HM / LO) ^ (-1 / 4)
2150 DMB = HMB / (1.1 * SO(I) ^ (1 / 6) * (H(M) / LO) ^ (-1 /
12))
2160 XR = DB / SO(I)
2170 TETAB = AR(I, K, L) * 2 * PI / 360
2180 OA = 6930 / SS * HMB ^ 2 * (G * DMB) ^ .5 * SIN(2 * TETAB)
2190 O1 = OA * TD(J, K, L, M)
2200 LNT# = LOG(.00146 / DMC(I)) / LOG(10)
2210 OB = 10000 * LNT# * (HMB ^ 2) * T(L) * SIN(TETAB) *
COS(TETAB)

```

```

2220 Q2 = QB * TD(J, K, L, M)
2230 Q3 = KS ^ 2 * KR(I, K, L) ^ 2 * H(M) * T(L) ^ 3 * 1.56 /
(DMC(I) * 1000) ^ 0.5 * SIN(2 * TETAB) * TD(J,K,L,M)
2240 ' GAMA = 100 * H(M) / L0 ' GAMA en
porciento
2250 ' DK = 00175 * 3500 * ((11 - GAMA) / 10) * ((DMC(I) * 1000)
/ ((DMC(I) * 1000) ^ 4 + 2))
2260 ' QC = DK * HB / T(L) * SIN(7 * TETAB / 4)
2270 ' Q3 = QC * 86400# * TD(J,K,L,M)
2280 'PRINT "Q1 = ";Q1,"Q3 = ";Q3
2290 PLS = .0884 * 1025 * (G ^ (3 / 2)) * (HSP ^ (5 / 2)) * SIN(2
* TETAB)
2300 Q4 = 3.534 * PLS * TD(J, K, L, M)
2310 GOSUB 2430
2320 ARG = 2 * PI * DB / LB
2330 SENH = (EXP(ARG) - EXP(-ARG)) / 2
2340 D0 = HB / SENH
2350 SIG = 2 * PI / T(L)
2360 UR = HB * LB ^ 2 / DB ^ 3
2370 PSI = (D0 * SIG) ^ 2 / (SS * G * DM(I))
2380 P20 = UR ^ .9 * CS ^ 1.5 / (22.5 * SS * SO(I) ^ .16)
2390 W0 = 41.865 * (SS * G) ^ .7 * DM(I) ^ 1.1
2400 RES = -1.15E-07 * UR ^ .2 * PSI * (PSI - P20) * W0 * DM(I)
2410 Q5 = RES * 86400# * TD(J, K, L, M) * COS(ABS(TETAB))
2420 RETURN
2430 ' Subrutina para el cálculo de longitudes de ola en
rompiente
2440 '
2450 LI = 1
2460 LS = 100
2470 LP = (LI + LS) / 2
2480 A = 2 * PI * DB / LP
2490 S = (EXP(A) - EXP(-A)) / 2
2500 C = (EXP(A) + EXP(-A)) / 2
2510 Z = S / C

```

2520 F = LP - LO * Z

2530 IF ABS(F) < .1 THEN LB = LP: RETURN

2540 IF SGN(F)=1 THEN LS=LP : GOTO 2470 ELSE LI=LP: GOTO 2470

Al estar corriendo el programa principal se presenta un rastreo del mismo en pantalla. Al mismo tiempo se van imprimiendo los resultados parciales que resultan de ir acumulando los volúmenes de arena, y finalmente aparece impresa una tabla con los resultados por fórmulas, por zona, por estación y anuales.

Resultados del arrastre litoral
 Proyecto Cancún 09-01-1990

Zona	Pendiente	Diám.	Diám. corr.		
1	.06	.00032	.00034		
2	.06	.00038	.00041		
3	.03	.00039	.00042		
4	.03	.00043	.00046		
Zona	Direc.	Periodo	Coef. refr.	Ang. romp.	
1	1	1	.666	-33.7	
1	1	2	.603	-16.9	
1	1	3	.473	-2	
1	1	4	.401	-13.3	
1	2	1	.917	-11	
1	2	2	.889	-7.6	
1	2	3	.764	-7	
1	2	4	.777	-7.4	
1	2	1	.97	6.9	
1	3	1	1.029	8.3999999	
1	3	2	.954	9	
1	3	3	.978	10	
1	3	4	.695	28.9	
1	4	1	.66	23.9	
1	4	2	.618	14.8	
1	4	3	.731	20.8	
1	4	4	.548	-36.4	
1	1	1	.514	-15.8	
2	1	2	.239	-14.9	
2	1	3	.422	-12.7	
2	1	4	.916	-8.6000001	
2	2	1	.892	-7.3	
2	2	2	.863	-6.5	
2	2	3	.932	-7.1	
2	2	4	.98	10.4	
2	3	1	1.038	12.4	
2	3	2	.957	13.4	
2	3	3	.959	10.6	
2	3	4	.618	26.8	
2	4	1	.614	25.7	
2	4	2	.603	14.4	
2	4	3	.608	26	
2	4	4	.565	-38.5	
2	1	1	.497	-21.1	
3	1	2	.313	-13.8	
3	1	3	.37	-14.1	
3	1	4	.984	-11.9	
3	2	1	.996	-6.4	
3	2	2	.979	-4.6	
3	2	3	.975	-2.7	
3	2	4	.952	13.1	
3	3	1	.979	9.3	
3	3	2	.88	14	
3	3	3	.866	14.8	
3	3	4	.527	29.9	
3	4	1	.615	28.5	
3	4	2	.627	15	
3	4	3	.778	26.8	
3	4	4	.563	-29.1	
4	1	1	.451	-16.2	
4	1	2			

4	1	3	.433	-9.100001
4	1	4	.59	-7.8
4	2	1	.962	-8.3
4	2	2	.922	-2.9
4	2	3	.855	-2.4
4	2	4	.845	-2.4
4	3	1	.93	9
4	3	2	.883	13.7
4	3	3	.87	6.1
4	3	4	.897	5.3
4	4	1	.375	29.9
4	4	2	.465	22.5
4	4	3	.497	13.1
4	4	4	.513	15.9

periodo Periodo

1	5
2	7
3	9
4	11

Periodos de acción :

ESTACION	DIRECCION	PERIODO	ALTURA	TIEMPO
1	1	1	1	.75
1	1	1	2	2.88
1	1	1	3	4.05
1	1	1	4	1.73
1	1	1	5	0
1	1	1	6	.18
1	1	1	7	.11
1	1	1	8	.11
1	1	2	1	9.000001E-02
1	1	2	2	.08
1	1	2	3	1.16
1	1	2	4	.73
1	1	2	5	.04
1	1	2	6	0
1	1	2	7	0
1	1	2	8	0
1	1	3	1	0
1	1	3	2	0
1	1	3	3	.3
1	1	3	4	.19
1	1	3	5	9.000001E-02
1	1	3	6	0
1	1	3	7	.08
1	1	3	8	0
1	1	4	1	.21
1	1	4	2	0
1	1	4	3	.08
1	1	4	4	0
1	1	4	5	0
1	1	4	6	0
1	1	4	7	0
1	1	4	8	0
1	1	1	1	1.89
1	2	1	2	5.87
1	2	1	3	6.27
1	2	1	4	1.76
1	2	1	5	.16
1	2	1	6	.18
1	2	1	7	.18
1	2	1	8	0
1	2	1	1	0
1	2	2	2	0
1	2	2	3	1.97
1	2	2	4	2.84
1	2	2	5	.51

1	2	2	7	0
1	2	2	8	.17
1	2	3	1	0
1	2	3	2	0
1	2	3	3	0
1	2	3	4	.52
1	2	3	5	1.04
1	2	3	6	1.23
1	2	3	7	0
1	2	3	8	0
1	2	4	1	0
1	2	4	2	.18
1	2	4	3	.18
1	2	4	4	0
1	2	4	5	.17
1	2	4	6	0
1	2	4	7	0
1	2	4	8	0
1	3	1	1	.78
1	3	1	2	4.22
1	3	1	3	8.15
1	3	1	4	2.03
1	3	1	5	0
1	3	1	6	0
1	3	1	7	0
1	3	1	8	0
1	3	2	1	.19
1	3	2	2	.2
1	3	2	3	1.98
1	3	2	4	2.47
1	3	2	5	1.29
1	3	2	6	.4
1	3	2	7	9.000001E-02
1	3	2	8	0
1	3	3	1	0
1	3	3	2	.11
1	3	3	3	.1
1	3	3	4	.88
1	3	3	5	.5
1	3	3	6	0
1	3	3	7	.08
1	3	3	8	0
1	3	4	1	0
1	3	4	2	.18
1	3	4	3	.19
1	3	4	4	.31
1	3	4	5	.11
1	3	4	6	.51
1	3	4	7	0
1	3	4	8	.21
1	4	1	1	.22
1	4	1	2	2.45
1	4	1	3	.56
1	4	1	4	.67
1	4	1	5	0
1	4	1	6	0
1	4	1	7	0
1	4	1	8	0
1	4	2	1	0
1	4	2	2	0
1	4	2	3	1.53
1	4	2	4	.65
1	4	2	5	0
1	4	2	6	.22
1	4	2	7	0

1	4	2	8	0
1	4	3	1	0
1	4	3	2	0
1	4	3	3	0
1	4	3	4	.44
1	4	3	5	0
1	4	3	6	.22
1	4	3	7	0
1	4	3	8	0
1	4	4	1	0
1	4	4	2	0
1	4	4	3	.22
1	4	4	4	.44
1	4	4	5	0
1	4	4	6	.91
1	4	4	7	0
1	4	4	8	0
2	1	1	1	1.37
2	1	1	2	3.02
2	1	1	3	2.11
2	1	1	4	.46
2	1	1	5	0
2	1	1	6	0
2	1	1	7	0
2	1	1	8	0
2	1	2	1	9.000001E-02
2	1	2	2	.08
2	1	2	3	.08
2	1	2	4	.04
2	1	2	5	0
2	1	2	6	0
2	1	2	7	0
2	1	2	8	0
2	1	3	1	.19
2	1	3	2	0
2	1	3	3	0
2	1	3	4	0
2	1	3	5	0
2	1	3	6	0
2	1	3	7	0
2	1	3	8	0
2	1	4	1	0
2	1	4	2	.18
2	1	4	3	0
2	1	4	4	.1
2	1	4	5	0
2	1	4	6	0
2	1	4	7	0
2	1	4	8	0
2	2	1	1	5.44
2	2	1	2	10.03
2	2	1	3	8.15
2	2	1	4	1.69
2	2	1	5	.14
2	2	1	6	.34
2	2	1	7	0
2	2	1	8	0
2	2	2	1	0
2	2	2	2	.27
2	2	2	3	1.56
2	2	2	4	1.68
2	2	2	5	.44
2	2	2	6	.28
2	2	2	7	0
2	2	2	8	0
2	2	3	1	0

N	3	3	0	0
N	3	3	3	0
N	3	3	4	0
N	3	3	5	.13
N	3	3	6	0
N	3	3	7	0
N	3	3	8	0
N	4	1	1	.29
N	4	2	2	0
N	4	3	3	.33
N	4	4	4	.16
N	4	4	5	0
N	4	4	6	0
N	4	4	7	0
N	4	4	8	0
N	3	1	1	3.49
N	3	1	2	2.8
N	3	3	3	5.12
N	3	1	4	1.78
N	3	1	5	0
N	3	1	6	0
N	3	1	7	0
N	3	1	8	0
N	3	2	1	0
N	3	2	2	.6
N	3	2	3	1.2
N	3	2	4	2
N	3	2	5	.61
N	3	2	6	.2
N	3	2	7	9.000001E-02
N	3	3	8	0
N	3	3	1	0
N	3	3	2	0
N	3	3	3	.1
N	3	3	4	.2
N	3	3	5	.19
N	3	3	6	0
N	3	3	7	0
N	3	3	8	0
N	3	4	1	.22
N	3	4	2	0
N	3	4	3	.32
N	3	4	4	.2
N	3	4	5	0
N	3	4	6	0
N	3	4	7	0
N	3	4	8	0
N	4	1	1	.66
N	4	1	2	3.44
N	4	1	3	1.29
N	4	1	4	1.31
N	4	1	5	0
N	4	1	6	0
N	4	1	7	0
N	4	1	8	0
N	4	2	1	0
N	4	2	2	.66
N	4	2	3	.41
N	4	2	4	0
N	4	2	5	.22
N	4	2	6	0
N	4	2	7	0
N	4	2	8	0
N	4	3	1	0
N	4	3	2	.22
N	4	3	3	.44

2	4	3	4	0
2	4	3	5	.22
2	4	3	6	.22
2	4	3	7	0
2	4	3	8	.22
2	4	4	1	0
2	4	4	2	.44
2	4	4	3	.22
2	4	4	4	0
2	4	4	5	.2
2	4	4	6	0
2	4	4	7	0
2	4	4	8	0
3	1	1	1	1.79
3	1	1	2	4.47
3	1	1	3	4.8
3	1	1	4	2.01
3	1	1	5	.51
3	1	1	6	.11
3	1	1	7	0
3	1	1	8	0
3	1	2	1	.11
3	1	2	2	.55
3	1	2	3	1.33
3	1	2	4	2.33
3	1	2	5	1.65
3	1	2	6	.86
3	1	2	7	0
3	1	2	8	.11
3	1	3	1	0
3	1	3	2	0
3	1	3	3	0
3	1	3	4	.11
3	1	3	5	.22
3	1	3	6	.32
3	1	3	7	.54
3	1	3	8	0
3	1	4	1	0
3	1	4	2	.55
3	1	4	3	.21
3	1	4	4	.12
3	1	4	5	.21
3	1	4	6	.29
3	1	4	7	.43
3	1	4	8	0
3	2	1	1	2.33
3	2	1	2	5.61
3	2	1	3	7.7
3	2	1	4	2.21
3	2	1	5	.39
3	2	1	6	0
3	2	1	7	0
3	2	1	8	0
3	2	2	1	0
3	2	2	2	.97
3	2	2	3	1.44
3	2	2	4	2.81
3	2	2	5	.8
3	2	2	6	.59
3	2	2	7	.2
3	2	2	8	.18
3	2	3	1	0
3	2	3	2	.18
3	2	3	3	0
3	2	3	4	.36
3	2	3	5	.79

1	2	3	6	.37
0	2	3	7	0
0	2	3	8	.18
0	2	4	1	0
0	2	4	2	0
0	2	4	3	0
0	2	4	4	.21
0	2	4	5	.2
0	2	4	6	.18
0	2	4	7	0
0	2	4	8	.37
0	3	1	1	1.16
0	3	1	2	1.96
0	3	1	3	2.58
0	3	1	4	1.82
0	3	1	5	9.000001E-02
0	3	1	6	0
0	3	1	7	0
0	3	1	8	0
0	3	2	1	0
0	3	2	2	.12
0	3	2	3	.24
0	3	2	4	.57
0	3	2	5	.46
0	3	2	6	.11
0	3	2	7	.22
0	3	2	8	.11
0	3	3	1	.11
0	3	3	2	0
0	3	3	3	0
0	3	3	4	0
0	3	3	5	.23
0	3	3	6	0
0	3	3	7	.21
0	3	3	8	.22
0	3	4	1	0
0	3	4	2	.24
0	3	4	3	0
0	3	4	4	0
0	3	4	5	0
0	3	4	6	0
0	3	4	7	.11
0	3	4	8	.12
0	4	1	1	0
0	4	1	2	1.09
0	4	1	3	.78
0	4	1	4	.26
0	4	1	5	.22
0	4	1	6	.22
0	4	1	7	0
0	4	1	8	0
0	4	2	1	0
0	4	2	2	0
0	4	2	3	.52
0	4	2	4	0
0	4	2	5	0
0	4	2	6	0
0	4	2	7	0
0	4	2	8	0
0	4	3	1	0
0	4	3	2	0
0	4	3	3	0
0	4	3	4	.25
0	4	3	5	0
0	4	3	6	0
0	4	3	7	0

4	4	4	4	0
4	4	4	1	0
4	4	4	2	0
4	4	4	3	0
4	4	4	4	0
4	4	4	5	.24
4	4	4	6	0
4	4	4	7	0
4	4	4	8	0
4	1	1	1	1.75
4	1	1	2	2.55
4	1	1	3	4.01
4	1	1	4	1.86
4	1	1	5	0
4	1	1	6	.11
4	1	1	7	0
4	1	1	8	0
4	1	2	1	.11
4	1	2	2	9.000001E-02
4	1	2	3	1.01
4	1	2	4	.99
4	1	2	5	.68
4	1	2	6	.27
4	1	2	7	0
4	1	2	8	.11
4	1	3	1	.1
4	1	3	2	.11
4	1	3	3	.21
4	1	3	4	.32
4	1	3	5	.82
4	1	3	6	.19
4	1	3	7	0
4	1	3	8	0
4	1	4	1	.12
4	1	4	2	0
4	1	4	3	0
4	1	4	4	0
4	1	4	5	.08
4	1	4	6	0
4	1	4	7	.08
4	1	4	8	0
4	2	1	1	1.76
4	2	1	2	3.82
4	2	1	3	5.55
4	2	1	4	2.01
4	2	1	5	.73
4	2	1	6	.21
4	2	1	7	0
4	2	1	8	0
4	2	2	1	.37
4	2	2	2	0
4	2	2	3	2.21
4	2	2	4	1.43
4	2	2	5	.92
4	2	2	6	.92
4	2	2	7	0
4	2	2	8	.36
4	2	3	1	0
4	2	3	2	0
4	2	3	3	.36
4	2	3	4	1.27
4	2	3	5	0
4	2	3	6	0
4	2	3	7	.18
4	2	3	8	0
4	3	4	1	0

4	2	4	4	.19
4	2	4	4	0
4	2	4	4	0
4	2	4	5	.17
4	2	4	6	0
4	2	4	7	.18
4	2	4	8	0
4	3	1	1	.63
4	3	1	2	1.57
4	3	1	3	2.69
4	3	1	4	.83
4	3	1	5	.31
4	3	1	6	0
4	3	1	7	0
4	3	1	8	0
4	3	2	1	.21
4	3	2	2	.32
4	3	2	3	.75
4	3	2	4	2.33
4	3	2	5	.53
4	3	2	6	.42
4	3	2	7	0
4	3	2	8	0
4	3	3	1	0
4	3	3	2	0
4	3	3	3	1.15
4	3	3	4	1.07
4	3	3	5	.21
4	3	3	6	.11
4	3	3	7	0
4	3	3	8	.11
4	3	4	1	0
4	3	4	2	.2
4	3	4	3	.11
4	3	4	4	0
4	3	4	5	0
4	3	4	6	0
4	3	4	7	0
4	3	4	8	0
4	4	1	1	.47
4	4	1	2	.72
4	4	1	3	1.37
4	4	1	4	.46
4	4	1	5	0
4	4	1	6	0
4	4	1	7	0
4	4	1	8	0
4	4	2	1	.22
4	4	2	2	.25
4	4	2	3	.68
4	4	2	4	.91
4	4	2	5	0
4	4	2	6	0
4	4	2	7	0
4	4	2	8	0
4	4	3	1	0
4	4	3	2	.22
4	4	3	3	.22
4	4	3	4	0
4	4	3	5	0
4	4	3	6	0
4	4	3	7	0
4	4	3	8	0
4	4	4	1	0
4	4	4	2	0
4	4	4	3	0

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

4		4		4		0
4		4		4		5
4		4		4		6
4		4		4		7
4		4		4		8

Volúmenes acumulados por cada 8 alturas

1	1	1	1	-43,088	-60,106	-1,640	-33,234	-1
1	1	1	2	-7,532	-15,343	-862	-3,110	-0
1	1	1	3	-536	-1,205	-81	-195	-0
1	1	1	4	-151	-682	-292	-20	2
1	1	2	1	-38,735	-51,699	-1,615	-32,546	-5
1	1	2	2	-31,198	-49,190	-1,941	-19,452	-10
1	1	2	3	-19,536	-38,486	-2,344	-8,565	-8
1	1	2	4	-3,078	-7,406	-979	-1,059	-0
1	1	3	1	23,525	33,221	1,062	17,190	-7
1	1	3	2	62,415	89,554	3,159	44,885	-17
1	1	3	3	23,724	42,033	2,400	12,498	-7
1	1	3	4	54,123	96,545	6,249	28,542	-13
1	1	4	1	9,133	14,690	577	5,569	0
1	1	4	2	18,034	32,636	1,538	9,160	-1
1	1	4	3	8,376	16,729	894	3,559	-1
1	1	4	4	58,028	121,895	8,784	23,237	-8
1	2	1	1	-13,104	-22,891	-1,035	-7,018	1
1	2	1	2	-493	-1,113	-99	-183	0
1	2	1	3	-6	-28	-14	-1	1
1	2	1	4	-449	-1,580	-339	-85	1
1	2	2	1	-43,843	-63,145	-2,417	-32,959	-3
1	2	2	2	-23,418	-36,779	-1,470	-14,661	-7
1	2	2	3	-1,352	-2,497	-119	-640	-1
1	2	2	4	-2,234	-6,365	-1,286	-601	1
1	2	3	1	17,564	24,896	873	12,949	-4
1	2	3	2	39,933	58,205	2,189	28,250	-11
1	2	3	3	6,340	11,598	701	3,156	-2
1	2	3	4	5,117	13,066	2,305	1,630	-0
1	2	4	1	17,450	27,519	1,009	10,841	0
1	2	4	2	6,054	11,442	720	2,961	0
1	2	4	3	19,905	35,458	1,687	10,191	-2
1	2	4	4	8,845	22,505	3,569	2,851	1
1	3	1	1	-45,832	-69,426	-2,208	-30,223	-0
1	3	1	2	-56,302	-94,093	-3,212	-31,030	-7
1	3	1	3	-2,539	-4,901	-181	-1,086	-3
1	3	1	4	-13,332	-33,638	-2,783	-3,950	2
1	3	2	1	-39,026	-55,125	-1,811	-28,930	-5
1	3	2	2	-51,713	-74,389	-2,491	-37,198	-14
1	3	2	3	-22,642	-38,802	-1,693	-12,244	-8
1	3	2	4	-25,981	-47,405	-2,458	-12,826	-9
1	3	3	1	13,608	18,143	531	10,887	-3
1	3	3	2	30,362	38,092	952	26,499	-7
1	3	3	3	29,270	41,300	1,266	20,968	-6
1	3	3	4	19,701	31,972	1,805	11,730	-3
1	3	4	1	14,168	18,435	429	11,700	-1
1	3	4	2	1,851	4,168	305	653	0
1	3	4	3	1,872	4,306	316	637	-0
1	3	4	4	7,970	17,687	1,361	2,902	-1
1	4	1	1	-32,762	-50,741	-1,657	-20,755	-0
1	4	1	2	-25,220	-42,114	-1,487	-14,113	-3
1	4	1	3	-1,642	-3,684	-222	-574	-1
1	4	1	4	-1,984	-4,929	-405	-597	0
1	4	2	1	-39,530	-51,671	-1,442	-33,095	-6
1	4	2	2	-53,434	-73,905	-2,256	-40,665	-14
1	4	2	3	-12,122	-23,476	-1,485	-5,649	-4
1	4	2	4	-8,710	-16,886	-1,167	-3,962	-2
1	4	3	1	11,096	14,680	424	9,072	-3
1	4	3	2	42,153	60,808	2,163	29,953	-11
1	4	3	3	30,959	55,369	3,611	16,784	-8
1	4	3	4	949	2,979	879	225	1

1	4	4	1	8,598	13,693	470	5,189	-0
1	4	4	2	11,373	22,192	1,239	5,028	-0
1	4	4	3	2,266	5,550	513	717	-0
1	4	4	4	0	0	0	0	0
2	1	1	1	-30,931	-40,456	-1,192	-21,119	1
2	1	1	2	-5,259	-9,912	-598	-1,965	1
2	1	1	3	-1,062	-2,686	-211	-252	1
2	1	1	4	-159	-615	-273	-22	2
2	1	2	1	-30,514	-35,509	-1,159	-25,621	-3
2	1	2	2	-30,184	-41,425	-1,707	-18,859	-9
2	1	2	3	-22,828	-37,444	-2,335	-10,801	-9
2	1	2	4	-4,158	-8,143	-1,091	-1,603	-0
2	1	3	1	35,703	43,771	1,460	26,256	-6
2	1	3	2	92,070	114,756	4,224	66,572	-16
2	1	3	3	34,820	53,702	3,202	18,380	-6
2	1	3	4	55,159	86,385	5,662	28,734	-12
2	1	4	1	6,970	10,211	428	3,950	1
2	1	4	2	16,615	26,925	1,342	8,067	-0
2	1	4	3	7,802	13,705	769	3,265	-1
2	1	4	4	48,756	95,645	7,426	17,400	-4
2	2	1	1	-9,407	-15,408	-752	-4,460	2
2	2	1	2	-344	-719	-69	-116	0
2	2	1	3	-11	-62	-36	-1	1
2	2	1	4	-474	-1,424	-316	-93	1
2	2	2	1	-34,538	-43,371	-1,735	-25,946	-1
2	2	2	2	-22,657	-30,973	-1,293	-14,214	-7
2	2	2	3	-1,580	-2,429	-119	-806	-1
2	2	2	4	-3,018	-6,998	-1,434	-909	1
2	2	3	1	26,656	32,802	1,200	19,777	-2
2	2	3	2	58,907	74,585	2,927	41,899	-10
2	2	3	3	9,305	14,818	935	4,642	-2
2	2	3	4	5,215	11,691	2,162	1,641	1
2	2	4	1	13,318	19,129	747	7,689	1
2	2	4	2	5,577	9,439	628	2,607	1
2	2	4	3	18,540	29,049	1,450	9,347	-2
2	2	4	4	7,431	17,658	3,017	2,135	2
2	3	1	1	-32,900	-46,730	-1,604	-19,206	2
2	3	1	2	-39,309	-60,789	-2,226	-19,607	-3
2	3	1	3	-5,029	-10,931	-472	-1,404	1
2	3	1	4	-14,054	-30,319	-2,599	-4,299	3
2	3	2	1	-30,744	-37,862	-1,300	-22,774	-4
2	3	2	2	-50,032	-62,646	-2,191	-36,065	-13
2	3	2	3	-26,458	-37,751	-1,687	-15,439	-9
2	3	2	4	-35,090	-52,121	-2,739	-19,408	-11
2	3	3	1	20,652	23,904	729	16,628	-3
2	3	3	2	44,787	48,811	1,273	39,302	-6
2	3	3	3	42,959	52,766	1,689	30,834	-6
2	3	3	4	20,078	28,608	1,693	11,809	-3
2	3	4	1	10,813	12,814	317	8,298	-0
2	3	4	2	1,705	3,439	266	575	0
2	3	4	3	1,743	3,528	272	584	-0
2	3	4	4	6,697	13,878	1,151	2,173	-1
2	4	1	1	-23,518	-34,153	-1,204	-13,189	2
2	4	1	2	-17,609	-27,208	-1,031	-8,918	-1
2	4	1	3	-3,252	-8,215	-580	-743	3
2	4	1	4	-2,092	-4,442	-378	-650	1
2	4	2	1	-31,141	-35,490	-1,035	-26,053	-4
2	4	2	2	-51,697	-62,238	-1,984	-39,426	-13
2	4	2	3	-14,165	-22,840	-1,479	-7,123	-5
2	4	2	4	-11,764	-18,566	-1,301	-5,996	-3
2	4	3	1	16,839	19,342	583	13,856	-2
2	4	3	2	62,180	77,921	2,892	44,425	-11
2	4	3	3	45,438	70,740	4,818	24,682	-7
2	4	3	4	967	2,665	819	227	1
2	4	4	1	6,562	9,490	348	3,680	0
2	4	4	2	10,478	18,309	1,061	4,438	0

2	4	4	3	2,111	4,547	441	658	0
2	4	4	4	0	0	0	0	0
3	1	1	1	-25,028	-32,118	-1,251	-23,251	2
3	1	1	2	-4,742	-8,982	-724	-2,316	1
3	1	1	3	-1,230	-2,790	-279	-461	1
3	1	1	4	-103	-413	-249	-18	2
3	1	2	1	-35,679	-40,113	-1,720	-41,819	-0
3	1	2	2	-24,440	-31,939	-1,717	-21,838	-5
3	1	2	3	-15,397	-23,906	-1,940	-10,522	-5
3	1	2	4	-1,300	-2,485	-439	-688	0
3	1	3	1	31,495	38,739	1,726	30,362	-1
3	1	3	2	46,999	59,426	2,935	43,733	-7
3	1	3	3	29,208	36,658	2,946	15,517	-2
3	1	3	4	46,617	75,279	6,905	30,413	-4
3	1	4	1	4,159	6,419	367	2,848	1
3	1	4	2	13,398	21,534	1,425	8,692	0
3	1	4	3	6,527	11,213	830	3,735	-0
3	1	4	4	59,234	105,135	10,412	32,920	-3
3	2	1	1	-7,612	-12,232	-789	-4,910	2
3	2	1	2	-311	-651	-83	-136	0
3	2	1	3	-13	-64	-48	-1	1
3	2	1	4	-306	-957	-289	-74	1
3	2	2	1	-40,384	-48,994	-2,574	-42,350	2
3	2	2	2	-18,345	-23,880	-1,300	-16,459	-4
3	2	2	3	-1,066	-1,551	-99	-786	-0
3	2	2	4	-944	-2,136	-577	-391	2
3	2	3	1	23,515	29,031	1,418	22,870	1
3	2	3	2	30,070	38,624	2,034	27,525	-4
3	2	3	3	6,202	10,115	860	3,919	-1
3	2	3	4	4,407	10,188	2,546	1,737	2
3	2	4	1	7,947	12,026	641	5,544	2
3	2	4	2	4,498	7,550	667	2,809	1
3	2	4	3	15,510	23,767	1,566	10,696	-0
3	2	4	4	9,029	19,411	4,230	4,039	2
3	3	1	1	-26,622	-37,099	-1,684	-21,145	3
3	3	1	2	-35,445	-55,087	-2,696	-23,108	1
3	3	1	3	-5,824	-11,354	-623	-2,570	0
3	3	1	4	-9,065	-20,388	-2,374	-3,409	4
3	3	2	1	-35,948	-42,772	-1,929	-37,173	-1
3	3	2	2	-40,511	-48,300	-2,204	-41,761	-8
3	3	2	3	-17,846	-24,102	-1,401	-15,040	-6
3	3	2	4	-10,975	-15,907	-1,103	-8,335	-7
3	3	3	1	18,219	21,156	862	19,229	-1
3	3	3	2	22,863	25,277	885	25,819	-3
3	3	3	3	28,633	36,019	1,554	26,032	-3
3	3	3	4	16,968	24,930	1,994	12,499	-1
3	3	4	1	6,452	8,056	272	5,983	0
3	3	4	2	1,375	2,750	283	620	0
3	3	4	3	1,458	2,886	293	669	0
3	3	4	4	8,136	15,255	1,613	4,111	-1
3	4	1	1	-19,030	-27,114	-1,264	-14,520	2
3	4	1	2	-15,877	-24,656	-1,248	-10,510	1
3	4	1	3	-3,766	-8,534	-765	-1,359	2
3	4	1	4	-1,349	-2,987	-345	-515	1
3	4	2	1	-36,411	-40,092	-1,535	-42,525	-1
3	4	2	2	-41,859	-47,986	-1,996	-45,653	-8
3	4	2	3	-9,554	-14,583	-1,229	-6,939	-3
3	4	2	4	-3,679	-5,666	-524	-2,575	-2
3	4	3	1	14,855	17,118	689	16,023	-1
3	4	3	2	31,741	40,351	2,010	29,184	-4
3	4	3	3	30,286	48,288	4,432	20,838	-2
3	4	3	4	817	2,323	964	240	1
3	4	4	1	3,916	5,966	299	2,653	1
3	4	4	2	8,449	14,643	1,149	4,771	1
3	4	4	3	1,766	3,720	476	753	0
3	4	4	4	0	0	0	0	0

4	1	1	1	-21,626	15,833	1,038	20,101	2
4	1	1	2	-3,153	-5,742	-485	-1,449	2
4	1	1	3	-1,523	-2,937	-277	-700	1
4	1	1	4	-140	-439	-252	-32	2
4	1	2	1	-24,210	-25,447	-1,129	-27,978	1
4	1	2	2	-9,645	-12,028	-675	-8,213	-4
4	1	2	3	-6,251	-9,466	-810	-3,925	-3
4	1	2	4	-884	-1,653	-308	-428	1
4	1	3	1	21,098	24,268	1,119	20,045	-0
4	1	3	2	55,881	68,081	3,526	48,749	-4
4	1	3	3	10,225	15,036	1,248	6,788	-2
4	1	3	4	18,544	27,396	2,575	12,367	-4
4	1	4	1	2,198	3,572	223	1,216	2
4	1	4	2	6,688	11,065	791	3,643	1
4	1	4	3	3,728	6,477	514	1,845	0
4	1	4	4	17,762	34,164	3,738	7,609	1
4	2	1	1	-6,595	-9,838	-655	-4,245	3
4	2	1	2	-206	-416	-56	-85	0
4	2	1	3	-16	-65	-48	-2	1
4	2	1	4	-417	-1,017	-293	-135	1
4	2	2	1	-27,403	-31,080	-1,690	-28,334	4
4	2	2	2	-7,240	-8,993	-511	-6,190	-3
4	2	2	3	-433	-614	-41	-293	-0
4	2	2	4	-642	-1,420	-405	-243	3
4	2	3	1	15,752	18,187	919	15,099	2
4	2	3	2	35,752	44,249	2,443	30,682	-2
4	2	3	3	2,733	4,149	364	1,714	-1
4	2	3	4	1,753	3,708	950	706	2
4	2	4	1	4,199	6,691	389	2,368	3
4	2	4	2	2,245	3,879	370	1,177	1
4	2	4	3	8,859	13,729	969	5,283	1
4	2	4	4	2,707	6,307	1,519	934	3
4	3	1	1	-23,067	-29,838	-1,397	-18,281	4
4	3	1	2	-23,567	-35,212	-1,806	-14,459	2
4	3	1	3	-7,216	-11,545	-619	-3,900	-1
4	3	1	4	-12,374	-21,657	-2,405	-6,229	2
4	3	2	1	-24,393	-27,133	-1,266	-24,870	1
4	3	2	2	-15,988	-18,190	-867	-15,705	-6
4	3	2	3	-7,245	-9,544	-585	-5,611	-4
4	3	2	4	-7,462	-10,578	-774	-5,182	-5
4	3	3	1	12,205	13,253	559	12,695	0
4	3	3	2	27,183	28,958	1,063	28,780	-2
4	3	3	3	12,615	14,774	658	11,388	-3
4	3	3	4	6,750	9,073	744	5,083	-1
4	3	4	1	3,409	4,482	165	2,556	1
4	3	4	2	686	1,413	157	260	0
4	3	4	3	833	1,667	182	330	0
4	3	4	4	2,440	4,957	579	950	0
4	4	1	1	-16,489	-21,807	-1,048	-12,554	3
4	4	1	2	-10,557	-15,760	-836	-6,577	1
4	4	1	3	-4,666	-8,677	-760	-2,062	2
4	4	1	4	-1,842	-3,173	-350	-942	1
4	4	2	1	-24,707	-25,433	-1,008	-28,451	-1
4	4	2	2	-16,520	-18,071	-785	-17,169	-6
4	4	2	3	-3,879	-5,774	-513	-2,589	-2
4	4	2	4	-2,502	-3,768	-368	-1,601	-1
4	4	3	1	9,951	10,724	447	10,578	-0
4	4	3	2	37,739	46,228	2,414	32,531	-3
4	4	3	3	13,344	19,807	1,878	9,116	-1
4	4	3	4	325	845	360	98	1
4	4	4	1	2,069	3,320	181	1,133	1
4	4	4	2	4,217	7,524	638	2,000	2
4	4	4	3	1,008	2,149	295	372	1
4	4	4	4	0	0	0	0	0

Volumenes acumulados por periodos

1 1 1 -51,308 -77,325 -2,875 -26,552 0

1	1	2	-92,547	-146,782	-6,879	-61,622	-22
1	1	3	163,789	261,353	12,871	103,116	-43
1	1	4	93,571	185,950	11,794	41,526	-10
1	2	1	-14,053	-25,611	-1,486	-7,287	3
1	2	2	-70,848	-108,786	-5,293	-48,860	-10
1	2	3	68,955	107,765	6,068	45,985	-16
1	2	4	52,253	96,924	6,984	26,844	-1
1	3	1	-118,005	-202,058	-8,383	-66,289	-9
1	3	2	-139,363	-215,721	-8,454	-91,197	-36
1	3	3	92,941	129,506	4,554	70,084	-19
1	3	4	25,860	44,596	2,411	15,893	-2
1	4	1	-61,608	-101,467	-3,771	-36,040	-3
1	4	2	-113,796	-165,939	-6,350	-83,371	-26
1	4	3	85,156	133,835	7,071	56,034	-22
1	4	4	22,237	41,395	2,222	10,934	-1
2	1	1	-37,411	-53,670	-2,274	-23,358	5
2	1	2	-87,683	-122,521	-6,292	-56,883	-22
2	1	3	217,752	298,615	14,748	139,941	-39
2	1	4	80,143	146,486	9,964	32,682	-5
2	2	1	-10,236	-17,612	-1,173	-4,669	5
2	2	2	-61,793	-83,771	-4,581	-41,877	-6
2	2	3	100,083	133,897	7,224	67,960	-14
2	2	4	44,867	75,276	5,842	21,779	3
2	3	1	-91,293	-148,768	-6,901	-44,516	3
2	3	2	-142,324	-190,380	-7,917	-93,686	-37
2	3	3	128,476	154,089	5,384	98,574	-18
2	3	4	20,958	33,659	2,006	11,631	-1
2	4	1	-46,470	-74,018	-3,193	-23,500	5
2	4	2	-108,766	-139,134	-5,799	-78,598	-25
2	4	3	125,424	170,669	9,112	83,190	-19
2	4	4	19,151	32,346	1,870	8,766	1
3	1	1	-31,103	-44,305	-2,503	-26,045	5
3	1	2	-76,816	-98,444	-5,816	-74,867	-11
3	1	3	148,319	210,102	14,511	120,025	-14
3	1	4	83,318	144,302	13,034	48,195	-2
3	2	1	-8,241	-13,905	-1,209	-5,121	4
3	2	2	-60,739	-76,561	-4,551	-59,986	-0
3	2	3	64,194	87,958	6,859	56,051	-3
3	2	4	36,983	62,753	7,104	23,088	4
3	3	1	-76,955	-123,928	-7,377	-50,231	8
3	3	2	-105,279	-131,081	-6,637	-102,308	-21
3	3	3	86,683	107,381	5,294	83,579	-7
3	3	4	17,422	28,948	2,462	11,383	0
3	4	1	-40,023	-63,291	-3,623	-26,905	6
3	4	2	-91,504	-108,327	-5,283	-97,691	-14
3	4	3	77,699	108,080	8,095	66,285	-6
3	4	4	14,131	24,330	1,924	8,177	2
4	1	1	-26,503	-34,850	-2,052	-22,282	6
4	1	2	-40,991	-48,594	-2,922	-40,544	-6
4	1	3	105,749	134,781	8,468	87,949	-11
4	1	4	30,375	55,278	5,266	14,314	4
4	2	1	-7,235	-11,337	-1,050	-4,467	5
4	2	2	-35,718	-42,108	-2,647	-35,060	4
4	2	3	55,991	70,292	4,677	48,201	1
4	2	4	18,010	30,607	3,247	9,762	9
4	3	1	-66,223	-98,251	-6,226	-42,869	8
4	3	2	-55,088	-65,445	-3,492	-51,368	-14
4	3	3	58,753	66,058	3,023	57,945	-6
4	3	4	7,368	12,520	1,083	4,096	2
4	4	1	-33,553	-49,418	-2,994	-22,134	7
4	4	2	-47,608	-53,047	-2,673	-49,809	-9
4	4	3	61,359	77,604	5,098	52,323	-3
4	4	4	7,295	12,993	1,114	3,505	4

1) 1a. FORMULA DE LA C.F.E.

Z O N A S :

ESTACION	I	II	III	IV
PRIMAVERA	113,505	172,800	123,719	68,630
VERANO	36,307	72,920	32,197	31,047
OTONO	-138,566	-84,182	-78,130	-55,190
INVIERNO	-68,011	-10,662	-39,697	-12,508
ANUAL	-56,765	150,877	38,089	31,979

2) 2a. FORMULA DE LA C.F.E.

Z O N A S :

ESTACION	I	II	III	IV
PRIMAVERA	223,185	268,910	211,656	106,616
VERANO	70,292	107,790	60,244	47,455
OTONO	-243,677	-151,400	-118,680	-85,118
INVIERNO	-92,175	-10,138	-39,207	-11,867
ANUAL	-42,375	215,162	114,013	57,086

3) FORMULA DE LARRAS

ESTACION	Z O N A S :			
	I	II	III	IV
PRIMAVERA	14,910	16,146	19,227	8,760
VERANO	6,272	7,312	8,204	4,227
OTONO	-9,872	-7,428	-6,257	-5,611
INVIERNO	-827	1,991	1,113	545
ANUAL	10,483	18,021	22,286	7,920

4) FORMULA DEL SHORE PROTECTION MANUAL

ESTACION	Z O N A S :			
	I	II	III	IV
PRIMAVERA	46,461	92,382	67,309	39,436
VERANO	16,682	43,193	14,033	18,437
OTONO	-71,510	-27,997	-57,577	-32,195
INVIERNO	-52,443	-10,142	-50,134	-16,116
ANUAL	-60,810	97,435	-26,370	9,562

5) FORMULA DE TRANSPORTE ON - OFF SHORE

Z O N A S :

ESTACION	I	II	III	IV
PRIMAVERA	-76	-60	-22	-5
VERANO	-24	-12	6	18
OTONO	-66	-53	-20	-11
INVIERNO	-52	-39	-12	-2
ANUAL	-217	-165	-48	1

Zona	Direc.	Periodo	Coef. shoaling	Coef.shoaling^2
1	1	1	.7946513	.6314706
1	1	2	1.027971	1.056725
1	1	3	1.317941	1.736969
1	1	4	1.591848	2.533981
1	2	1	.7142961	.5102189
1	2	2	.9032046	.8157785
1	2	3	1.123273	1.261742
1	2	4	1.276859	1.630368
1	3	1	.7010421	.49146
1	3	2	.8602306	.7399966
1	3	3	1.043118	1.088096
1	3	4	1.182597	1.398536
1	4	1	.7834412	.6137801
1	4	2	.9974828	.994972
1	4	3	1.205555	1.453362
1	4	4	1.303099	1.698066
2	1	1	.8480234	.7191437
2	1	2	1.084174	1.175433
2	1	3	1.654692	2.738005
2	1	4	1.564993	2.449202
2	2	1	.7145559	.5105901
2	2	2	.9021908	.8139483
2	2	3	1.078564	1.163301
2	2	4	1.201742	1.444183
2	3	1	.6986495	.4881111
2	3	2	.8577371	.735713
2	3	3	1.042027	1.085821
2	3	4	1.190356	1.416948
2	4	1	.814714	.6637588
2	4	2	1.021795	1.044066
2	4	3	1.215469	1.477365
2	4	4	1.385634	1.919982
3	1	1	.8394314	.7046452
3	1	2	1.096397	1.202087
3	1	3	1.512406	2.287371
3	1	4	1.635119	2.673612
3	2	1	.6977016	.4867875
3	2	2	.8696281	.756253
3	2	3	1.034163	1.069492
3	2	4	1.183809	1.401403
3	3	1	.7054329	.4976356
3	3	2	.8746329	.7649828
3	3	3	1.071574	1.148271
3	3	4	1.231527	1.516658
3	4	1	.8591411	.7381235
3	4	2	1.021241	1.042934
3	4	3	1.199759	1.439421
3	4	4	1.276311	1.628971
4	1	1	.8404242	.7063128
4	1	2	1.132473	1.282495
4	1	3	1.357335	1.842358
4	1	4	1.399584	1.958837
4	2	1	.7029801	.4941811
4	2	2	.8922976	.796195
4	2	3	1.081918	1.170546
4	2	4	1.241646	1.541683

4	3	1	.7109521	.5054529
4	3	2	.9052456	.8194696
4	3	3	1.075664	1.157053
4	3	4	1.217173	1.48151
4	4	1	.9623306	.9260801
4	4	2	1.120992	1.256622
4	4	3	1.296376	1.68059
4	4	4	1.466371	2.150245

Hora de inicio : 17:26:10 Hora de término : 17:46:32