

Ingeniería

Revista de la Universidad de Costa Rica
ENERO/DICIEMBRE 2000 - VOLUMEN 10 - Nº 1 y 2



LA ESTABILIDAD DE LA PENÍNSULA DE PUNTARENAS SEGÚN IMÁGENES AÉREAS

Luis M. Murillo B. ¹

Resumen

Se estudia el potencial de transporte de sedimentos a lo largo de la Península de Puntarenas, usando fotos aéreas con una resolución aproximada de pocos metros. Se usan las variaciones del brillo de las imágenes, una vez leídas por un lector óptico y procesadas con el paquete BILKO de la UNESCO, para analizar la longitud de las olas y su capacidad de transporte de sedimentos. El límite de movilidad de los sedimentos se determina usando la metodología de Komar y Miller (1975). Las variables hidrodinámicas del oleaje, lo mismo que su refracción y deformación, se determinan usando la teoría lineal de Airy y expansiones de Padé de las ecuaciones propuestas por Nielsen (1983) de uso común en la ingeniería costera moderna. La profundidad se toma de las cartas náuticas corregidas por la altura mareal que se computa mediante procedimientos armónicos. Para tal efecto, se desarrollan procedimientos ejecutables en hojas de cálculo con despliegues gráficos inmediatos.

Summary

Sediment Transport Capacity along the Puntarenas spit is studied using aerial photographs with a meter resolution. The technique uses differences in light intensity as read by an image processing software (BILKO) to compute wavelength at a known depth. This is accomplished using linear Airy wave theory. Sediment threshold mobility is computed using Komar and Miller (1975). Linear wave deformation, including refraction and shoaling, is computed using polynomial expansions similar to Niensens (1983). Depth correction due to long wave penetration is computed using 7 harmonic component analysis to estimate tidal range at the site. All is done using separate modules executed in spreadsheets, which permits rapid graphic output and verification of results.

1. INTRODUCCIÓN

Una de las inquietudes más importantes de la población puntarenense es saber si su península será lavada por el mar o no y cómo predecir este fenómeno. Comúnmente es posible observar variaciones en el nivel de las arenas en las playas de varios metros y es importante saber el porqué y cómo se mueven estos sedimentos para efectos de construcción, planificación y diseño costeros. Históricamente se recuerdan eventos desastrosos en la angostura de Puntarenas que obligaron al Ministerio de Obras Públicas y Transportes de Costa Rica (MOPT), a colocar cascajo protector a lo largo de la zona. Recientemente se observan lavados cerca de los hoteles de la playa, así como, erosión diferenciada, sedimentación de los muelles y facilidades portuarias a lo largo de la península. Murillo (1997b) presenta información reciente sobre el flujo litoral y el

oleaje incidente en Puntarenas. Usando esta información y las imágenes procesadas con BILKO (Edwards A.J., 1998), es posible estimar la estabilidad de la península y su posible evolución futura para efectos ingenieriles.

2. EL ANÁLISIS DE LAS ALTURAS MAREALES Y LAS CORRIENTES

Las mareas en la zona han sido estudiadas por Murillo (1997b), mediante métodos armónicos de hasta 29 componentes. La tabla No. 1 presenta los resultados de un análisis hecho luego de filtrar la señal para eliminar las frecuencias muy altas (como las olas) y las muy bajas con periodos de varios días. Las alturas de marea se calcularon de los valores promedio de las alturas medidas del transductor de presión del Instrumento Woods Hole Instrument Systems SP 2100 y se procesaron luego armónicamente mediante los procedimientos armónicos clásicos de

eliminaciones por sumatorias adecuadas. Los componentes predecibles astronómicamente, de las alturas y las corrientes se pueden calcular usando métodos armónicos (Murillo 1993, 1994, 1998a). Los valores V de las alturas ($V = h$) y los componentes de las corrientes ($V = C_x, C_y$) se pueden calcular teóricamente mediante

$$V(t) = H_{ref} + \sum fH_i \cos(\omega_i t + g_i) \quad (1)$$

en donde H_{ref} es el valor de referencia (0.0 para las corrientes, nivel de Sicigias para las alturas), f es el factor nodal, H_i son los componentes armónicos para las alturas o las corrientes, ω_i son las velocidades y g_i las fases armónicas. La sumatoria de lo anterior se extiende desde "1" a "n", con "n" entre "5" y "29", dependiendo del caso. Comúnmente se encuentra que el análisis con siete componentes es suficientemente preciso para los efectos prácticos más comunes de la ingeniería costera. De forma adicional se determinaron los valores residuales como las diferencias entre los valores medidos directamente y los valores calculados teóricamente mediante esta metodología armónica.

Se realizaron, de forma inmediata, análisis espectrales armónicos y no armónicos, de todos los parámetros medidos mientras que los análisis finales se realizaron en el laboratorio de forma diferida. Los detalles de estos procedimientos se encuentran en Murillo 1994, 1997a y 1997b.

Las corrientes se midieron en el extremo Sur del muelle viejo y, adicionalmente, para efectos comparativos, se hicieron mediciones desde un bote, a unos 100 m del extremo sur del Muelle Nacional de Puntarenas tal y como existió en 1996. En estas mediciones extraordinarias flotantes se usaron sensores electromagnéticos ALEC ACM 200 PD.

El cuadro No. 1 muestra los resultados del análisis armónico sobre las alturas de marea, usando datos del mes de febrero a principios de abril de 1997, tomados cada quince minutos y blanqueados para disminuir el ruido en las frecuencias turbulentas. Como se espera el análisis coincide con los trabajos anteriores (Murillo, L.M., 1993, 1994 y 1998a). Se nota una fuerte dominancia de los primeros siete armónicos. Con la estructura armónica de 29 armónicos se logran excelentes predicciones en las alturas con un error total de sólo un 1%. Con siete armónicos este porcentaje se acerca a un error del 7%, en dependencia del tipo y cantidad de filtrado inicial. Se notó que los valores residuales, aunque menores, si poseen estructura armónica no astronómica con período aproximado de días. Los valores residuales también tienen frecuencias cortas y pequeños maremotos (Murillo 1998c).

El análisis de corrientes se muestra en Murillo 1997b y 1998a, donde aparecen las velocidades, energías y fases de los primeros siete armónicos para las componentes de la velocidad Este-Oeste y Norte-Sur. La figura No. 2, del reporte No. 4, en Murillo 1997b, muestra el registro de velocidades totales medidas con sus residuales (es decir la diferencia entre valores predichos y valores medidos) para los días del 58 al 93 del año 1997 (conteo Juliano). La figura No. 3, de la misma publicación, muestra el espectro total y el residual del análisis armónico de corrientes. En Murillo 1997b, también se muestra la covariancia entre las mediciones de corriente en ambos puntos y su correlación con la altura mareal predicha numéricamente con 7 armónicos. En Murillo 1997b, se señala la existencia de un sesgo en la corriente que a veces tiende a adelantar en el punto externo AL (covariancia positiva) con respecto al punto interno SP. Este vórtice rotativo se nota también en los diagramas de corriente polar. La corriente cerca de la playa está dominada según Murillo 1997b, por el flujo hacia el oeste en una proporción de 7 a 1 en ciertos puntos cercanos al muelle. La estación en el extremo sur del muelle viejo tenía un fuerte alineamiento en dirección aproximada de 240°. Esta

dominancia direccional se sospecha que varía hacia el Este, disminuyendo el ángulo azimutal de tal forma que cerca del eje del Golfo de Nicoya, el flujo axial hacia el Sur sea dominante.

En la playa existe un flujo paralelo a esta y dominado por la corriente de marea (Murillo, 1997b), las elipses de corriente son degeneradas axialmente y no tienen eje menor, como se espera por estar cerca de la costa. Sin embargo, las estaciones que están lejos de la costa, muestran la presencia de un eje menor significativo, orientado hacia el Sur, con las corrientes de marea saliente y entrante axiales, de similar, y menor magnitud (Murillo, 1998a).

3. FLUJO LITORAL Y POTENCIAL DE TRANSPORTE LITORAL

De la narrativa anterior se puede concluir que, en ausencia de oleaje incidente mayor, el flujo de sedimentos dominante en la playa debe ser generalmente hacia el oeste, a lo largo de la península. Esto debido a que la corriente de marea domina el arrastre de los sedimentos de cama y los suspendidos. Así, es normal que zonas cercanas al inicio de la península (Hotel Fiesta) y cerca de la Angostura sufran una creciente erosión sedimentaria. De igual manera las zonas localizadas al este del muelle viejo, pueden sufrir sedimentación y, debido a la complejidad del campo de corrientes que está constantemente cambiando en esta zona, estos sedimentos han de depositarse de forma variable e inestable. De hecho los bajos que se observan al este del muelle, antes de alcanzar el flujo axial entre la Punta de Puntarenas y la Península de Nicoya, deben ser en consecuencia cambiantes e inestables. Por otro lado, si el oleaje incidente es fuerte la dirección del transporte de sedimentos puede variar dependiendo de la refracción y dirección del mismo.

4. UN CASO PARTICULAR ANALIZADO EN DETALLE PARA PUNTARENAS

Puntarenas representa una formación sedimentaria arenosa de aproximadamente 9 km de longitud en el interior del Golfo de Nicoya, Costa Rica. Allí existen mareas máximas de 3 m, con frecuentes brisas marinas y olas locales de dirección variable aunque casi nunca paralelas a la playa y olas mayores externas provenientes sur en su mayoría, y originadas en el mar abierto. Aquí se discute un análisis de transporte de sedimentos de playa originado en el oleaje fotografiado en diciembre 1996. Los resultados se aplican solamente para este tipo de olas. Sin embargo, si existieran más fotografías de otras épocas, el análisis puede repetirse para el régimen de olas presentes y los resultados pueden diferir enormemente. Las fotos usadas aquí se tomaron en diciembre de 1996 y poseen una escala de 1 en 35.000, éstas son primero leídas por un lector óptico Cannon Modelo FB 320P, a una resolución de 300 dpi. Las fotos usadas se muestran en las figuras No. 1 y No. 2 (PUNTGA.BMP y PUNTGB.BMP).

Los datos sobre olas y sus amplitudes comunes se tomaron de Murillo 1997b. Las profundidades se toman de las cartas náuticas existentes en el Instituto Geográfico Costarricense y se corrigen por la marea que se predice para el momento en que se toma la fotografía.

El oleaje incidente en Puntarenas viene generalmente del sur (Murillo 1997b). Si las olas chocan con la costa haciendo un ángulo de 90°, sin corriente, el sedimento no se mueve. Las olas solamente levantan el grano de arena y lo depositan en el mismo lugar. En el caso de las corrientes, pueden transportar el sedimento suspendido por las olas. Hay pues, dos aspectos en el transporte que son fundamentales en este modelo y que se discuten más profundamente en Murillo: 1990, 1996. El primer aspecto consiste en que el oleaje debe ser capaz de suspender el grano y mantenerlo en esta forma. Además, se puede cuantificar usando los procedimientos experimentales de Komar y

Miller (1975). En el segundo, debe existir un medio de transporte de los sedimentos suspendidos. El transporte máscico provocado por las olas es posible debido a no linealidades en el flujo de agua generado por las mismas, sin embargo, es conocido que esto sólo ocurre en escalas comparadas con la longitud de ola y no, con aquellas de kilómetros como ocurre en Puntarenas.

Es más probable, como se discute en Murillo 1990, que el transporte sea determinado por la corriente media que en este caso es generada por la marea. Así pues, si la corriente de marea es simétrica, es decir si va primero en una dirección durante la primera mitad del período de marea y luego, en sentido contrario, en la otra mitad del período; la playa será homogénea, y se transportará igual cantidad de sedimentos en uno y otro sentido. En el caso de Puntarenas se sabe que cerca de la playa la corriente, aunque es paralela a la costa, no es simétrica y el flujo hacia el oeste domina (Murillo 1997b y 1998a). Esto acoplado a inhomogeneidades en el terreno creadas por quiebraolas, anomalías geomorfológicas u otros objetos creados por el hombre o la naturaleza, determinará el transporte neto de sedimentos.

Para evaluar la iniciación del transporte debido al oleaje según Komar y Miller (1975) debemos conocer el período de la ola incidente. Para esto se puede usar la ecuación siguiente derivada de la teoría lineal del oleaje de Airy:

$$T = \sqrt{2\pi \cdot th(2\pi D/L) / gL} \quad (2)$$

La longitud del oleaje L se obtiene del análisis del brillo de las fotos usando BILKO. La profundidad corregida D se obtiene del cálculo armónico de las mareas y las cartas náuticas.

La hoja de cálculo TLDPLM.XLS, presentada en la figura No. 3, muestra los cálculos hechos usando la ecuación 2. Nótese que con este gráfico el experimentador puede jugar con las posibilidades de estimación del período, si

se sabe la longitud del oleaje para una profundidad corregida y conocida.

5. EL INICIO DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS Y LA EXISTENCIA DE LA EROSIÓN EN PUNTARENAS

Según Komar y Miller (1975) y su teoría del Límite de Movilidad, si ciertos valores de corriente máxima u_m son excedidos por el flujo causado por la ola en el fondo a una profundidad D , el sedimento arenoso será suspendido. De lo contrario, la arena no se mueve, el sedimento no se transporta y no hay erosión. Los resultados de velocidad límite (Límite de Movilidad) de Komar y Miller (1975) se muestran en la figura No. 4.

Murillo (1997b) midió amplitudes de olas máximas H_{max} de hasta 2 m durante 1996. El valor más como H_x , sin embargo, fue de 0.5 m durante todo el año. Así pues, aquí asumiremos una ola con una amplitud de medio metro y se determinará lo que le sucede al sedimento de la playa cuando esta ola llega.

El valor de la velocidad debido a la ola en el fondo, se puede estimar usando la teoría de Airy. A una profundidad D , para una ola con una amplitud H , una longitud L , y un período T la velocidad está dada por:

$$u_m = \frac{\pi H}{Tsh(2\pi D/L)} \quad (3)$$

El procedimiento consiste en evaluar la velocidad límite requerida de la figura No. 4 o su representación numérica. Luego se usan los datos de las olas para evaluar si la velocidad que existe es mayor o menor que este valor. Si la velocidad de la ola es inferior al valor límite requerido por Komar y Miller (1975) entonces no hay movimiento ni erosión del sedimento.

La información sobre estos cálculos de la longitud de las olas es presentada en el cuadro

No. 2. Para un régimen de oleaje incidente dado con valores de D, H, L, T conocidos, es posible estimar si un grano de arena con diámetro medio D_i será suspendido por la ola y transportado por la corriente o no. De esta forma, se puede estimar si hay o no erosión en la playa puntarenense. Si se conocen los parámetros del oleaje sólo para un determinado sitio, el oleaje se puede propagar mediante métodos explícitos y expansiones de Padé, tal como se discute en Murillo 1998b.

La evaluación de la longitud aplicable a las olas mostradas en las figuras No. 1 y No. 2 se muestran en los cuadros No. 2 y No. 3. Las evaluaciones se refieren a olas menores típicas del verano. Olas grandes son frecuentes durante el invierno y poseen amplitudes de un metro y más aunque muy rara vez exceden los dos metros. Durante el verano las olas de 0.5 metros se refractan para llegar a la costa con amplitudes de quebrantamiento de 0.7 a 1 m. Estos cálculos se pueden hacer en hojas de cálculo como se explica en Murillo, 1998b.

Los análisis fueron hechos con BILKO sobre cortes escogidos para representar el oleaje incidente. En la figura No. 1 también se notan olas algo mayores superpuestas a las olas comunes cuyo análisis se muestra en el cuadro No. 4.

Una vez leídas las imágenes, estas se estudian para fijar los campos de olas existentes, los cuales se notan en las variaciones del brillo reflejado por la superficie del mar cuando el sol incide a un ángulo no perpendicular. Si se analiza la intensidad de cada píxel, se conoce la escala de la foto, y su posición, se puede estimar su longitud, la cual se estima como la longitud media de las "ondas de brillantez" de la imagen. El cuadro No. 2 muestra la evaluación para la figura No. 1 y el campo de oleaje que se mueve en dirección $300^\circ W$ es el ancho, Y es la altura de la foto en pixels. Estos se reducen a metros conociendo la escala de la foto que en la figura No. 1 es de $1 \text{ cm} = 350 \text{ m}$. $Px1, Py2$ son el origen del corte y $Px2$ y $Py2$ el fin. Una vez escogido el

corte calculamos su ángulo Θ que será la dirección de propagación de las olas. "Pos" representa la posición en píxeles en la foto, "Diff" es la diferencia de píxeles de un máximo de brillantez a otro. La distancia medida es la media que también se da en píxeles y en metros. Del análisis se infiere una longitud media aproximada de 16 metros para esas olas.

De forma similar se evalúa la figura No. 2 en el cuadro No. 3. Aquí también se realiza un estudio estadístico para información general. Los estimados de marea dan una profundidad efectiva de 12 m. El tamaño del grano es de 0.025 mm (arena fina).

Debido a que se sospecha un campo de olas mayor superpuesto en la figura No. 1, se repite el análisis para un corte apropiado y así resolver este campo adicional de olas. Los resultados se muestran en el cuadro No. 4 que de hecho confirman olas de 28 m propagándose a 292° . Las evaluaciones de la velocidad presente en los campos de olas se estima en el cuadro No. 5.

De la figura No. 1 se estima que los períodos aplicables para estas longitudes y profundidades son cerca de 3 segundos, lo cual da una velocidad límite de 10 cm/s aproximadamente deducida de la figura No. 3. En cada caso se calculan velocidades máximas en el fondo de 0.32 y 0.7 cm/s que son definitivamente inferiores. Sin embargo, las olas mayores con amplitudes de 3 m y período de 10, son posibles durante el año (Murillo, 1997b). La inspección de la figura No.4 indica que el valor límite para el movimiento de las arenas finas es cerca de 18 cm/s . La evaluación de la velocidad de la ola en el fondo se muestra en el cuadro No. 5 como un caso hipotético, con velocidad máxima en el fondo de 100 cm/s . Estas olas mayores si erosionarían definitivamente.

El análisis inmediato y rápido de otros casos similares con fotos aéreas existentes es desde luego posible.

En las fotografías se notan nubes de arena suspendida cerca de la punta de Puntarenas. Esto evidencia que se han presentado olas mayores que han levantado y transportado el sedimento, aunque las fotos no las muestren.

La única forma de dilucidar este asunto es mediante la toma constante y evaluación de fotografías con la metodología presentada aquí. Lo que puede dar origen a estudios evolutivos de la península y a la predicción y tratamiento de las emergencias futuras.

La evaluación cuantitativa del transporte, es decir, la evaluación de cantidades de arena que se mueven y depositan en cada sección de la península, se debe realizar con modelos hidrodinámicos más completos de la ingeniería moderna, como los propuestos en Murillo, 1990, con la evaluación del campo turbulento y la deformación del oleaje. Sin embargo, el método presentado nos da una luz que puede guiar las evaluaciones ingenieriles posteriores para un desarrollo futuro de la Península de Puntarenas.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1]. Edwards A.J., Applications of Satellite and Airborne Image Data to Coastal Management, UNESCO, Place de Fontenoy, Paris. 1998
- [2]. Komar, P. D. and M.C. Miller. *Sediment threshold under oscillatory waves*. Proc. 14 th Conf. Coastal Eng., 756-775, 1975.
- [3]. Murillo B., L. M., *Modelling the Shoaling of Navigational Channels due to the Combined Action of Waves and Current*. Disertación para el Doctorado en Ingeniería, Universidad de Rhode Island (URI), 319 pl. 1990
- [4]. Murillo B., L. M., *La predicción continua de las mareas para las costas de Costa Rica para los años 1991-2000. Tecnología en Marcha*, Vol. 11(4) ITCR (Instituto Tecnológico de Costa Rica). 1993.
- [5]. Murillo B., L. M., *Periodicidades escondidas en las mareas de Puerto Moreno*. Tec. En Marcha Vol. 12 (3). 1994
- [6]. Murillo B., L., M., *Modelling Channel Shoaling due to Waves and Current in the Coastal Environment*, COPEDEC IV: Proceedings of the 4-th International Conference On Coastal and Port Engineering, Río de Janeiro, Brazil: pp.1628-1651., 1996
- [7]. Murillo B., L. M., *Ondas Estacionarias en el Pacífico Tico y sus Aplicaciones a la Ingeniería de Costas: Tec.en Marcha* . Vol 13(1). 1997a
- [8]. Murillo B., L.,M. *Reportes del Estado del Mar: Olas Mareas y Corrientes, Alineamiento, Fuerzas de Atraque*. Puerto Nacional de Puntarenas, Costa Rica. No.1,2,3,4,5,6 y Final. Ministerio de Obras Públicas y Transportes, División de Obras Portuarias y Fluviales MOPT, Instituto de Puertos del Pacífico INCOP y la Vicerectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica. 1997b
- [9]. Murillo B., L., M., *La Predicción de las Corrientes y Mareas en el Muelle Nacional de Puntarenas*. . Ingeniería. 7(2): 51-69. 1998a
- [10]. Murillo-B., L. M., *Análisis Estructural de una Marina*. Ingeniería. 7(2): 71-102, 1998b.
- [11]. Murillo-B., L. M., Propagación de un maremoto por el Golfo de Nicoya, Top. Meter. Ocean., (en publicación). 1998c
- [12]. Nielsen P. *Analytical determination of nearshore wave height variation due to refraction shoaling and friction*. Coastal Engineering, 6(1983) 233-251. 1983.

7. ACERCA DEL AUTOR

¹ PhD, Programa de Investigaciones en Ingeniería Costera y Naval, Sedes de Puntarenas, Limón y la Escuela de Física, Univ. de Costa Rica

Cuadro No. 1

Análisis Armónico de Alturas: Muelle Nacional de Puntarenas.

Muestreo cada: 15 minutos

Período medido: (Días): 69

Componente	Velocidad (m/s)	Amplitud (m)	Fase (grad.)	Kappa (grad.)	Zeta (grad.)	o/o de Energía	
1	M ₂	28,984	0,508	218,25	48,59	294,23	0,385, %
2	N ₂	28,44	0,353	329,28	159,62	238,88	0,267, %
3	S ₂	30	0,159	338,5	168,84	38,5	0,120, %
4	K ₁	15,041	0,053	90,04	5,21	57,15	0,040, %
5	K ₂	30,082	0,043	348,24	178,58	102,47	0,033, %
6	O ₁	13,943	0,028	43,12	318,29	152,01	0,021, %
7	M ₄	57,968	0,02	13,12	33,8	165,07	0,015, %
8	MSf	1,016	0,02	302,09	302,09	286,1	0,015, %
9	NU ₂	28,513	0,019	522,46	352,8	60,79	0,014, %
10	P ₁	14,959	0,017	113,52	28,69	206,37	0,013, %
11	L ₂	29,528	0,014	282,71	113,05	336,44	0,011, %
12	2N ₂	27,895	0,013	449,35	279,69	192,57	0,010, %
13	MU ₂	27,968	0,012	458,01	288,35	189,96	0,009, %
14	MN ₄	57,424	0,011	254,54	275,22	240,12	0,008, %
15	MS ₄	58,984	0,011	118,89	139,57	254,86	0,008, %
16	T ₂	29,959	0,009	333,69	164,03	83,65	0,007, %
17	MK ₃	44,025	0,006	242,34	347,85	285,43	0,005, %
18	Q ₁	13,399	0,005	198,41	113,58	140,93	0,004, %
19	M ₈	115,936	0,004	291,55	332,91	235,45	0,003, %
20	LAM ₂	29,456	0,004	274,05	104,39	347,67	0,003, %
21	S ₆	90	0,002	211,84	62,86	31,84	0,002, %
22	M ₁	14,497	0,002	246,58	161,75	32,01	0,002, %
23	J ₁	15,585	0,002	294,75	209,92	68,21	0,002, %
24	M ₆	86,952	0,001	234,74	85,76	102,66	0,001, %
25	S ₄	60	0,001	304,67	325,35	64,68	0,001, %
26	OO ₁	16,139	0,001	136,96	52,13	142,24	0,001, %
27	RHO ₁	13,472	0,001	177,43	92,6	108,68	0,001, %
28	R ₂	30,041	0,001	343,31	173,65	173,36	0,001, %
29	2Q ₁	12,854	0,001	353,7	268,87	129,84	0,001, %
			Et=1,32				E _{TOT} = 1,0, %
Altura Mareal Media (RMS):			1,332	metros			
M ₄ :	M ₂	=	0,04				
M ₆ :	M ₂	=	0,002				
Fase relativa de	M ₄ , MS ₄ , MN ₄ :		63	78	293,00		

Cuadro No. 2

Análisis de la Figura No. 1: Puntga3.bmp

W= 2392 20,3 cm 118,1 pixels/cm
 Y= 2684 22,8 cm 117,9 pixels/cm
 escala 35000 1 350 m/cm

desde px1= py1= hasta px2= py2=
 1875 1874 1943 1994
 DY= DX= DY/DX= ángulo * † 60,46 °
 120 68 1,764706 Az= 300 °

Pos.	Diff
3	
8	5
18	10
25	7
28	3
33	5
43	10
48	5
53	5
57	4
62	5
71	9
75	4
80	5
83	3
88	5
91	3
94	3
101	7
105	4
112	7

media= 5,5 pixels
 16,2 metros

[4] *Manejo de Datos* de *Manejo de Datos* en *Manejo de Datos* Tecnológico de Costa Rica

Cuadro No. 3
Análisis de la Figura No. 2 : Puntgb3.bmp

W= 2488 21,06 118,1 pixels/cm
 Y= 2596 21,98 118,1 pixels/cm
 escala 35000 1 350 m/cm

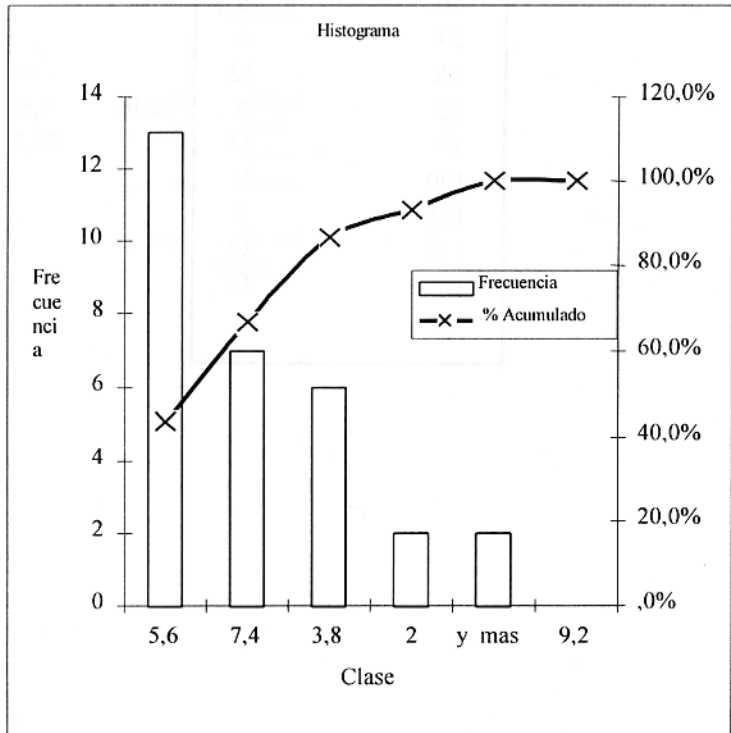
hasta

desde px1= py1= px2= py2=
 1884 2180 2038 2286

DY= DX= DY/DX= ángulo * † 34,54 °
 106 154 0,688312 Az= 325 °

Pos	Dif	clase	Frec.	acumulado	clase	Frec.	Acumulado
6		2	2	6,67%	5,6	13	43,33%
10	4	3,8	6	26,67%	7,4	7	66,67%
14	4	5,6	13	70,00%	3,8	6	86,67%
18	4	7,4	7	93,33%	2	2	93,33%
22	4	9,2	0	93,33%	y mas	2	100,00%
25	3	y mas	2	100,00%	9,2	0	100,00%
30	5						
36	6						
47	11						
52	5						
58	6						
64	6						
67	3						
78	11						
81	3						
84	3						
91	7						
95	4						
100	5						
104	4						
107	3						
111	4						
117	6						
123	6						
126	3						
130	4						
132	2						
137	5						
139	2						
145	6						
149	4						

media= 4,8 pixels
 14,1 metros



Cuadro No. 4
Análisis adicional de la Figura No. 1 : Puntga3.bmp

	W= 239	20,3	118,	pixels/c	
	Y= 268	22,8	117,	pixels/c	
escala	3500	cm	1	9	350m/c
	0				m
				hasta	
desde	px1=	py1=	px2=	py2=	
	2120	1764	2068	1632	
	DY	DX=	DY/DX	ángulo →	68,50
	=132	-52	2,53846		° 292
			2		°

Pos.	Diff
4	
13	9
21	8
32	11
44	12
50	6
54	4
66	12
75	9
89	14
100	11
108	8
118	10
128	10

media = 9,5 pixels
 = 28,3 metros

Cuadro No. 5

Estimación de la velocidad de la ola en el fondo del mar debida a la ola incidente.

$$u_m = \frac{\pi H}{T \sinh\left(\frac{2\pi D}{L}\right)}$$

Caso A: Fig. No. 1

H=	0,5 m	H=	0,5 m
L=	16,2 m	L=	30,0 m
T=	3,0 s	T=	3,0 s
D=	12,0 m	D=	12,0 m

Um= 0,010 m/s
1,00 cm/s

Um= 0,085 m/s
8,54 cm/s

Caso B: Fig. No. 2

H=	0,5 m
L=	14,0 m
T=	3,0 s
D=	12,0 m

Um= 0,005 m/s
0,48 cm/s

Caso hipotético

H=	3,0 m
L=	90,0 m
T=	10,0 s
D=	12,0 m

Um= 1,003 m/s
100,3

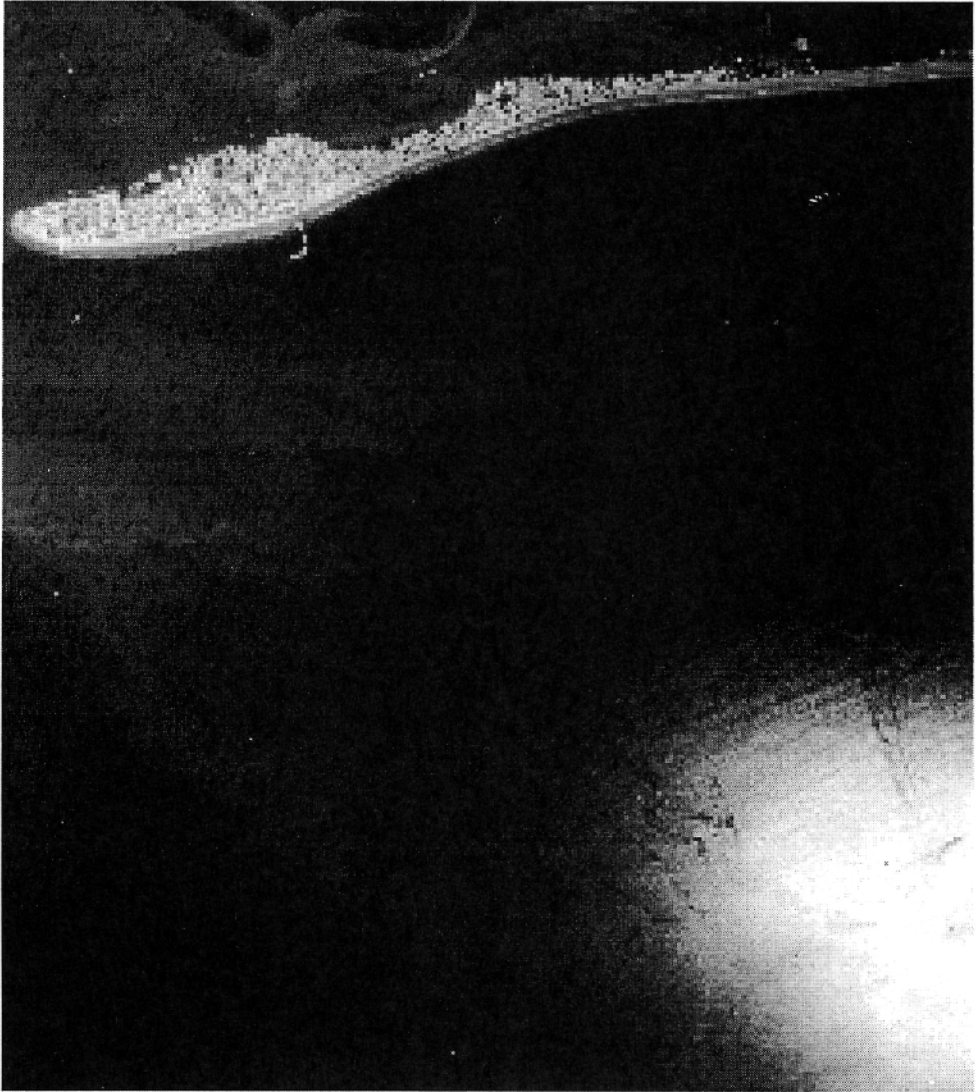


Figura No. 1
Puntga0.bmp: Fotografía aérea de la playa de Punta Arenas durante 1/12/1996, con el oleaje
incidente de 300° .

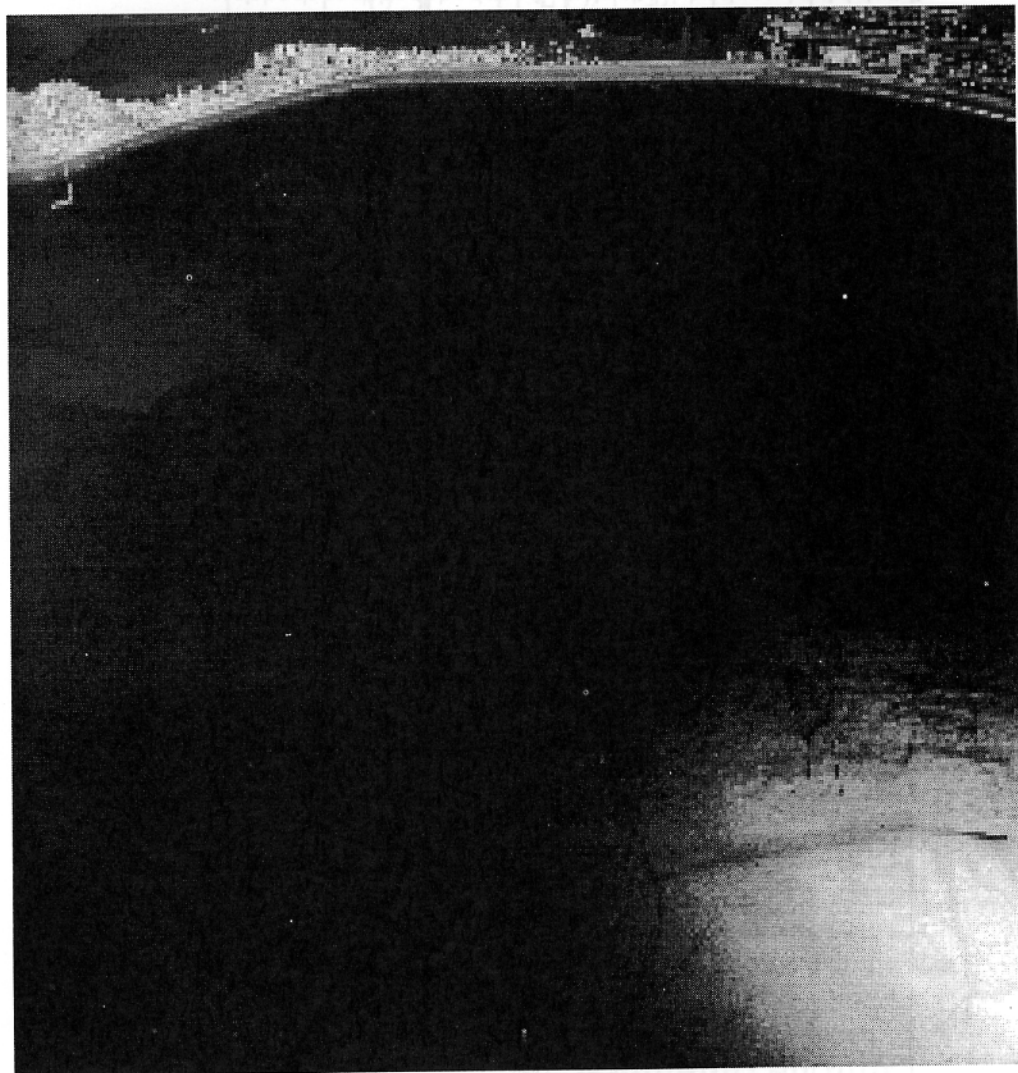


Figure No. 2

Puntgb0.bmp: Fotografía aérea de la playa de Puntarenas durante 5/12/1996, con el oleaje incidente de 325°.

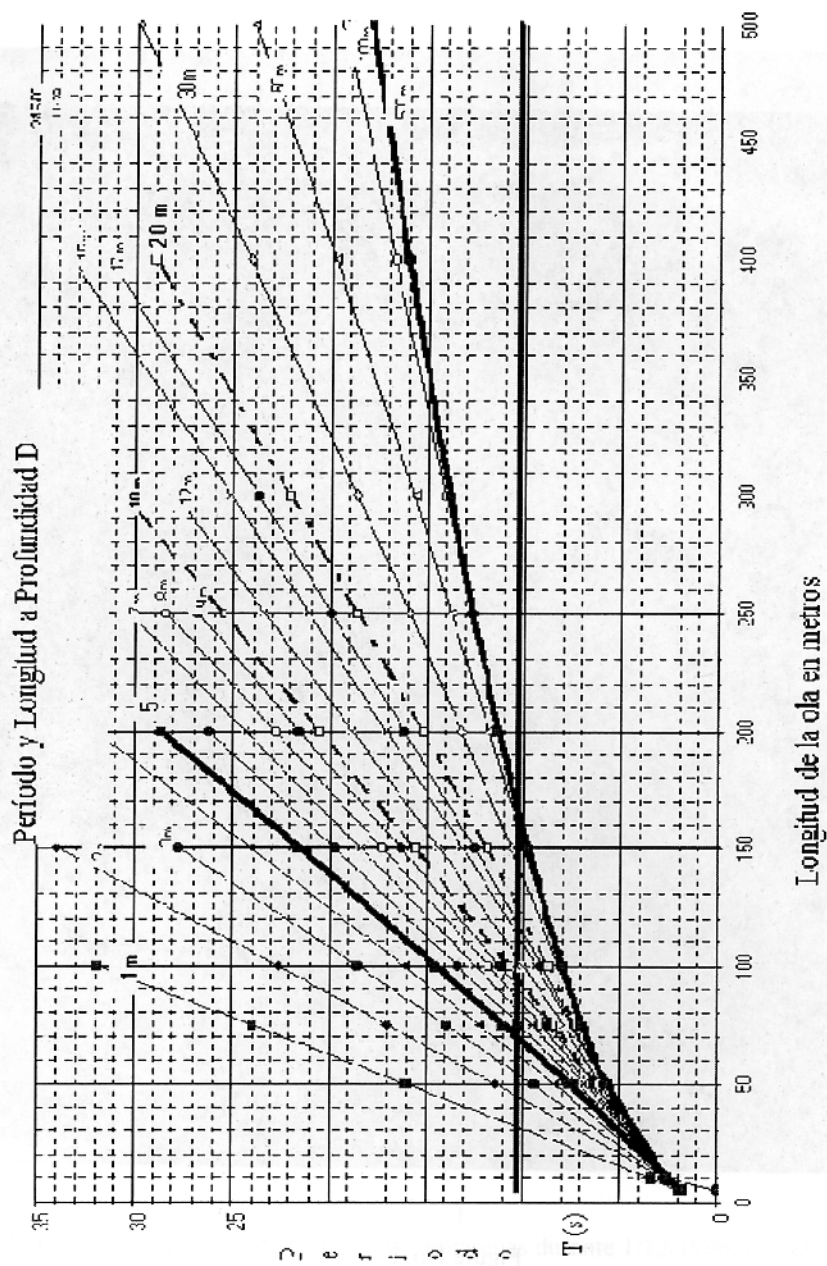


Figura No. 3: El período de la ola T en función de la longitud L y de la profundidad del mar corregida D.

Velocidad Límite en cm/s

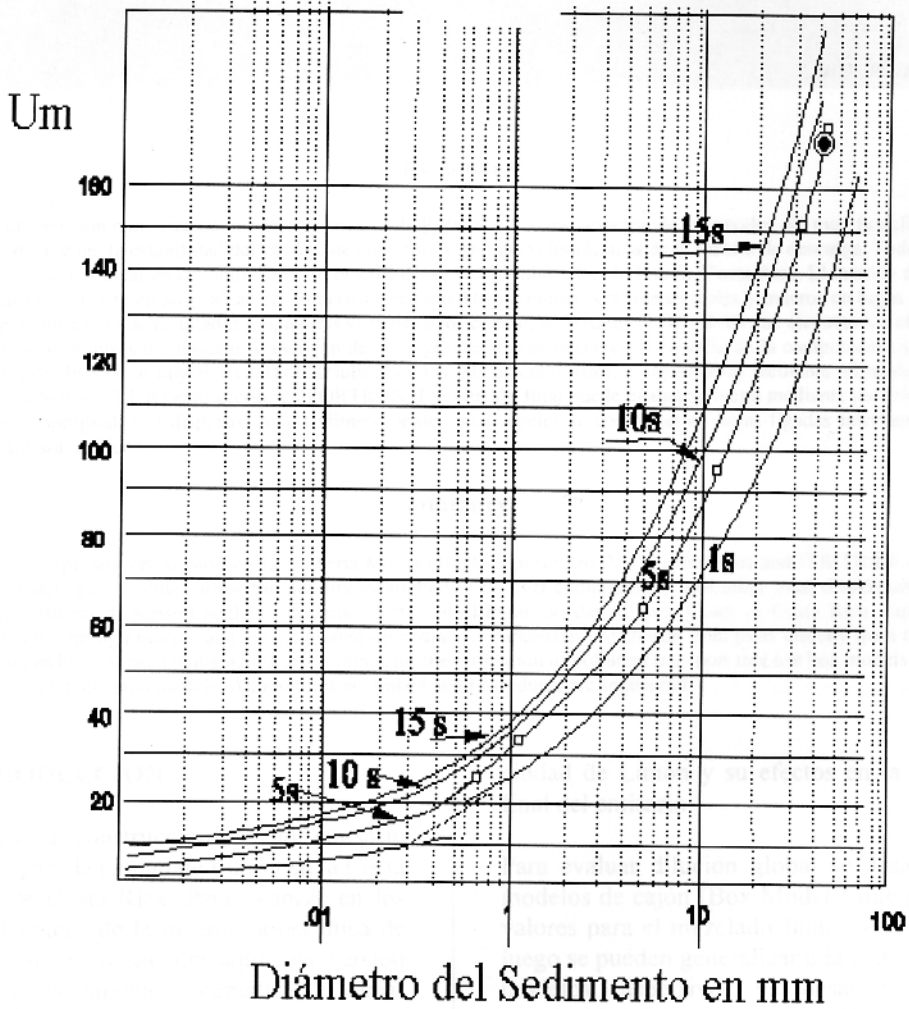


Figura No. 4:

Límite de movilidad en la velocidad de flujo de la ola en el fondo requerida para iniciar el movimiento de un grano de sedimento arenoso con un tamaño de grano medio D ; según Komar y Miller 1975.