

Medición del transporte de sedimentos por olas y corrientes

IGNACIO ALONSO BILBAO

RESUMEN

Se realizaron gran número de pruebas en un canal de oleaje a fin de determinar bajo qué condiciones de oleaje y de flujos unidireccionales tiene lugar el inicio de movimiento de las partículas, así como las distintas morfologías a que dan lugar. Se utilizaron dos muestras de sedimentos de distinto tamaño y densidad procedentes de la playa de Las Canteras.

Puede concluirse que la muestra denominada black ($D = 0.144 \text{ mm}$; $r = 4.38 \text{ gr/cm}^3$) presenta mayor resistencia al transporte que la muestra lo que indica la enorme importancia que tiene la densidad del material en su transporte.

ABSTRACT

Measurement of sediment transport by waves and currents

Great number of runs were carried out on a wave flume to check the conditions of waves and uni-directional flows which determine the threshold of sediment motion, as well as the resultant bedforms. Two sediment samples with different grain size and density from Las Canteras beach were used in the experiments.

It can be concluded that the black sample ($D = 0.144 \text{ mm}$; $r = 4.38 \text{ gr/cm}^3$) is more stable than the white sample ($D = 0.255 \text{ mm}$; $r = 2.74 \text{ gr/cm}^3$), which points out the importance of sediment density in their ability to be transported.

INTRODUCCIÓN

El objeto principal de este trabajo de investigación es la determinación del umbral de movimiento para las partículas are-

nosas situadas en la playa de Las Canteras (Gran Canaria). La elección de este tema se justifica en la enorme acumulación de sedimentos que tiene lugar en la playa, y que se ha estimado en unos $2.500 \text{ m}^3/\text{año}$ (Alonso, 1993). Dado que gran parte de los sedi-

mentos que paulatinamente se acumulan en la playa proceden de los fondos arenosos existentes en la Bahía de El Confital, de donde son arrastrados tanto por el oleaje como por las corrientes, resulta sumamente importante determinar bajo qué condicio-

nes de olas y corrientes estos sedimentos pueden ser transportados hacia la playa.

CUESTIONES PREVIAS

Para abordar un trabajo de estas características, varias son las variables que se deben considerar:

a) Variables sedimentológicas

Una primera cuestión son los aspectos estrictamente sedimentológicos, que hacen referencia al tipo de sedimentos a estudiar.

Dado que los experimentos a realizar son particularmente costosos, sólo pudo aplicarse a dos muestras de sedimentos. Por ello estas muestras debían ser representativas del tipo de sedimentos que queremos considerar.

En la playa de Las Canteras no todas las arenas son iguales, pues difieren tanto en tamaño

como en composición. Respecto al tamaño de los granos, las partículas son más estables cuanto mayores son, pues presentan una mayor resistencia a ser removilizadas tanto por el oleaje como por las corrientes. Es por ello que para estudiar el transporte de los sedimentos, aún cuando tanto las partículas gruesas (del orden de milímetros de diámetro) como las más finas (0.1-0.2 mm de diámetro) se mueven, debe ponerse especial hincapié en las partículas menores que son las más fácilmente transportables. En la playa de Las Canteras es en la zona central donde suele haber arenas de mayor granulometría, por lo que se eligieron dos muestras situadas en los dos extremos de la playa, que son las arenas más finas.

Respecto a la composición de los materiales o, lo que es lo mismo, la naturaleza de los sedimentos, también influye en que puedan ser más o menos transportables. Esto se debe a que cuanto mayor sea la densidad de un grano mayor es la energía necesaria para moverlo. En el extremo meridional de la playa, desde la CICER

hasta los muellitos, los sedimentos están constituidos en más de un 80% por piroxenos y por minerales metálicos (óxidos de Fe-Ti). Estos materiales son los que confieren el color negro tan característico de las arenas de esta zona de la playa, y cuya densidad oscila entre 3.4 y 5.2 gr/cm³, siendo éstos los valores de los piroxenos y los óxidos metálicos respectivamente.

Por el contrario, los sedimentos del extremo norte de la playa están formados en un 50% por fragmentos calcáreos procedentes de la gran cantidad de moluscos, equinodermos, crustáceos y algas calcáreas que tienen su hábitat tanto en la barra como en las inmediaciones de la playa de El Confital. El 50% restante son fundamentalmente fragmentos de rocas procedentes de la erosión de los basaltos de La Isleta y de los acantilados fonolíticos que se extienden por todo el margen oeste de la bahía de El Confital. Tanto los bioclastos como los fragmentos de rocas tienen densidades entre 2 y 2.8 gr/cm³.

b) Variables dinámicas

Otro aspecto fundamental a considerar son los agentes de transporte capaces de removilizar los sedimentos, y básicamente se trata del oleaje y de las corrientes.

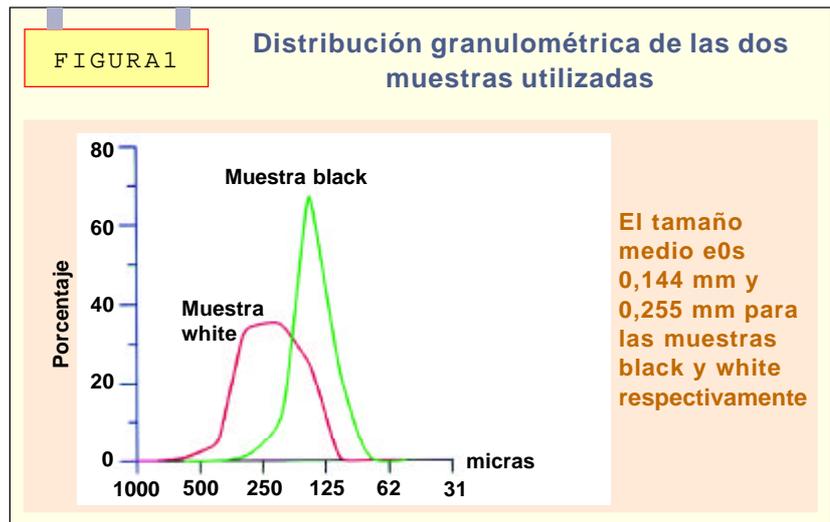
Respecto al oleaje, éste está muy afectado por la barrera natural que supone *la barra*. Esta formación rocosa de naturaleza calcarenítica (Pérez Torrado y Mangas, 1994) queda completamente emergida durante la bajamar, por lo que el oleaje sólo puede pasar por las bocanas o pasos existentes entre los dis-



Playa de Las Canteras.

tintos fragmentos de esta formación rocosa. Durante la pleamar, y particularmente en ocasiones de fuertes mareas meteorológicas, el oleaje pasa por encima de *la barra*, donde rompe parcialmente disipando así gran parte de su energía. Sólo en la zona meridional de la playa, donde no existe ninguna barra, el oleaje incide directamente sobre la playa, y es por tanto donde tiene una mayor capacidad de transporte de los sedimentos. Este transporte es preferentemente en dirección perpendicular a la línea de costa, de modo que en épocas de oleaje muy energético la arena es transportada hacia el mar, mientras que en situaciones de calma los sedimentos son removilizados hacia la orilla.

En relación a las corrientes, cabe distinguir entre las corrientes generadas por la marea y aquellas generadas por el oleaje. Las primeras están condicionadas por *la barra*, pues durante el flujo y el refluo de la marea tiene que entrar y salir por las bocanas una enorme cantidad de agua, de modo que se produce una aceleración de la velocidad de la corriente. Sin embargo, en lo que respecta al transporte de los sedimentos, son las corrientes inducidas por el oleaje las que tienen mayor importancia. Alonso y Vilas (1996) han demostrado que la acumulación de sedimentos que durante el otoño-invierno tiene lugar en la zona más resguardada de la playa se corresponde con una erosión neta en la zona más expuesta, y viceversa durante la primavera-verano. Ello evidencia la existencia de un considerable transporte de material sólido a lo largo de la playa estrechamente vinculado al clima marítimo de la zona.



MATERIAL Y MÉTODOS

a) Las muestras

Para tener en cuenta las variables sedimentológicas antes comentadas se tomaron dos muestras de la playa, que se denominaron *black* y *white* en función de su coloración. La muestra *black* se tomó en el sector denominado playa de Guanarteme en la zona de la calle Lepanto, mientras que la muestra *white* corresponde a la zona meridional de la playa a la altura de la

calle Tenerife. La distribución granulométrica obtenida mediante tamizaje en seco para ambas muestras se presenta en la figura 1, donde puede observarse que la muestra *black* es muy homogénea y bastante fina, pues prácticamente todos sus granos corresponden a tamaños entre 80 y 250 micras. Por el contrario, la muestra *white* presenta una distribución más amplia de tamaños, que oscilan desde las 100 micras los menores hasta algo más de 0.5 mm los mayores.

Por lo que respecta a la densidad de las muestras, se calcu-



Vista aérea del litoral de Las Canteras.

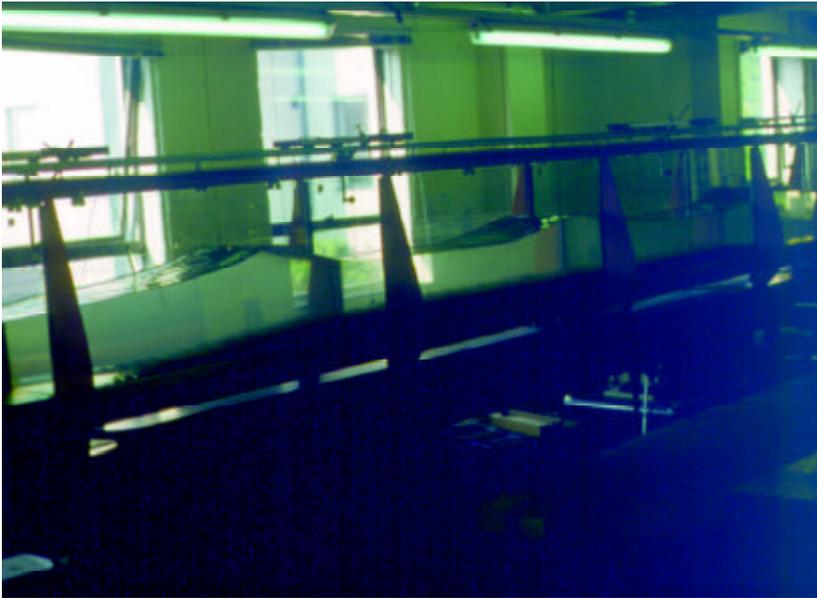


FIGURA 2: Fotografía del canal utilizado con olas sobre la muestra *white*.

ló mediante botellas de densidad de acuerdo con el método descrito en Vickers (1983). La medida se efectuó tres veces por muestra, y el valor promedio obtenido fue 4.38 gr/cm^3 para la muestra *black* y 2.74 gr/cm^3 para la muestra *white*.

b) Los medios

Los experimentos para la medición del transporte de los sedimentos se realizaron en un canal de 10 m de largo, 30 cm de ancho y 40 cm de alto existente en el School of Ocean Sciences de la Universidad de Wales (Reino Unido). Este canal (figura 2) está equipado con un generador de olas donde la amplitud y periodo de las olas puede ser regulada a voluntad del usuario. Igualmente cuenta con una bomba que permite la circulación del agua a lo largo del canal, lo que permite generar corrientes de distinta velocidad, en función del flujo de agua que pasa por una determinada sección del canal. Cada muestra fue dispuesta en una capa lo más plana posible en la zona

central del canal, con un espesor de unos 4-5 cm y a lo largo de 2-2.5 m, variando ligeramente según se utilizaba una u otra muestra. En todos los casos se formó una suave rampa en ambos extremos desde el fondo de acero del canal hasta la zona plana de la muestra.

Las medidas de altura de ola se hacían por medio de 4 sensores colocados a la largo del canal según se propaga la ola. El primero de ellos se colocó sobre el fondo de acero del canal antes de que la ola llegase a la muestra, el segundo y tercero sobre la muestra de arena, y el último nuevamente sobre el fondo de acero del canal. La distancia de cada medidor respecto al émbolo que generaba las olas era de 2.8, 4, 5.8 y 7 metros respectivamente. Al final del canal se colocó un filtro que amortiguase las olas, de modo que absorbiese su energía y no se reflejasen nuevamente sobre el canal, viajando en sentido contrario a las olas generadas por el émbolo. Cada sensor registraba instantáneamente la altura del nivel del agua, y estaba conectado mediante un potenciómetro al ordenador. De este modo se podía determinar la amplitud de ola a en cada uno de los cuatro sensores, y a partir de ella la velocidad de la onda junto al lecho U_o y el diámetro orbital d_o . Tanto la altura del agua en el canal como el periodo de ola T se mantuvieron fijos e iguales a 23 cm y 1.27 s respectivamente durante los distintos tests.

Para las medidas de corrientes se utilizaron cuatro microhélices, que a través de un medidor de flujo también estaban conectadas al ordenador. Las medidas que se obtenían en este caso

eran de velocidad de la corriente en cm/s para cada microhélice, y como éstas se colocaron en la vertical, era posible determinar el perfil de velocidad del fluido sobre el sedimento.

RESULTADOS EXPERIMENTALES

Dado que se disponía de dos muestras (*white* y *black*) y se quería medir el transporte de cada una de ellas bajo dos agentes distintos (olas y corrientes), se realizaron cuatro casos distintos, y en cada uno de ellos gran cantidad de tests diferentes según variaba la altura de ola o la velocidad de la corriente.

a) Olas, muestra *black*

Se realizaron un total de 22 tests diferentes, en los que se varió la amplitud de ola entre 0.3 y 4.2 cm. La tabla 1 muestra los datos de aquellos tests que determinaron el inicio de movimiento de las partículas.

La variación de la amplitud a entre los distintos sensores para cada test se debe a la alteración que supone en la propagación de la ola la existencia de la capa de sedimentos sobre el fondo.

El inicio de movimiento empezó en el test WB7, en que los granos menores se desplazaban unos 6 mm hacia delante coincidiendo con el paso de la cresta de la ola, y unos 5 mm hacia atrás en el paso del seno de la ola. Había por tanto un mínimo transporte neto hacia delante, pero sólo en aquellas partícu-

las aisladas que quedaron sobre el lecho de acero del canal, mientras que en la capa de sedimentos no se observó movimiento alguno.

Esto no ocurre hasta el test WB8, en que algunas partículas situadas en la cresta de las mínimas irregularidades existentes en la capa de sedimentos empiezan a moverse adelante y atrás con el paso de las olas. En este caso no hay desplazamiento neto de partículas.

En el test WB11 se aprecia un transporte neto en la dirección de avance de las olas para aquellos granos de arena situa-

dos sobre el fondo de acero del canal, mientras que en el test WB12 ya empezaron a formarse pequeños ripples sobre la capa de sedimentos. Estos se desarrollaron tras 35 minutos de olas y a partir de las pequeñas irregularidades ya existentes en el lecho de sedimentos, pues éste no era completamente plano. Los ripples eran perfectamente simétricos, bi-dimensionales, con una longitud de onda de 3.5-4 cm y apenas 7 mm de altura.

Por el contrario, en el test WB17 los ripples se desarrollaron con mucha mayor rapidez, pues a los 6 minutos de empezar a generarse olas ya

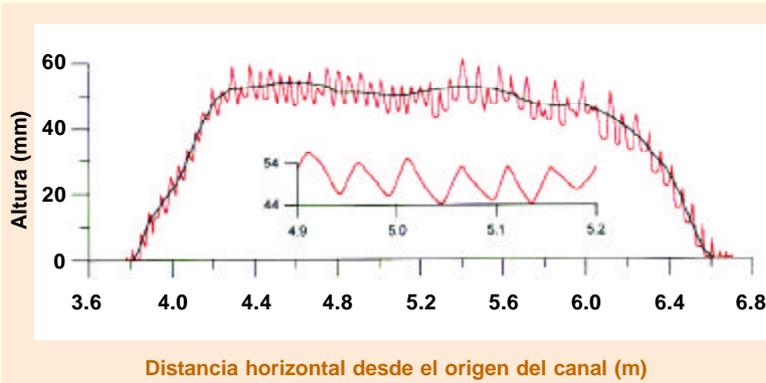
TABLA 1

Muestra *Black*

Test	Sensor	a (cm)	U_0 (cm/s)	d_0 (cm)	Observaciones
WB7	1	1,61	8,49	3,43	Inicio de movimiento adelante y atrás sobre lecho de acero
	2	1,60	8,43	3,41	
	3	1,60	8,43	3,40	
	4	1,57	8,25	3,33	
WB8	1	1,82	9,57	3,95	Ídem en las pequeñas ondulaciones
	2	1,81	9,56	3,88	
	3	1,79	9,44	3,85	
	4	1,77	9,33	3,78	
WB11	1	2,34	12,32	5,00	Transporte neto hacia delante en el lecho de acero
	2	2,43	12,80	5,19	
	3	2,27	11,94	4,84	
	4	2,30	12,14	4,92	
WB12	1	2,49	13,14	5,34	Inicio de ripples 2D en las pequeñas irregularidades existentes
	2	2,64	13,93	5,66	
	3	2,42	12,75	5,18	
	4	2,49	13,16	5,35	
WB14	1	3,00	15,71	6,31	Transporte neto hacia delante (sólo granos carbonatados y opacos pequeños)
	2	3,10	16,30	6,56	
	3	2,85	14,94	6,05	
	4	3,10	16,29	6,56	
WB17	1	3,37	17,75	7,18	Rápido desarrollo de ripples
	2	3,52	18,53	7,49	
	3	3,30	17,53	7,09	
	4	3,45	18,16	7,35	

FIGURA 3

Perfil del lecho de sedimentos antes y después del test WB17



Nótese en el detalle la leve asimetría de los ripples.

cubrían unos 30 cm de longitud del canal; a los 10 minutos abarcaban 63 cm y tras 28 minutos cubrían 2 metros. Inicialmente se trataba de ripples 2D, simétricos, y con una separación media de 4.5 cm entre crestas, así como un desnivel de 8 mm entre cresta y seno. Sin embargo, al cabo de una hora de olas sobre el canal los ripples habían evolucionado, de modo que muchos eran ligeramente 3D y con una cierta asimetría. También las dimensiones cambiaron, pues la longitud de onda era de 6-7 cm y la altura de 10 mm. La figura 3 muestra cómo quedó la capa de sedimentos tras 75 minutos de olas, así como un detalle de los ripples formados.

TABLA 2

Muestra *White*

Test	Sensor	a (cm)	U_0 (cm/s)	d_0 (cm)	Observaciones
LECHO PLANO					
WW2	1	1,26	6,62	2,68	Inicio de movimiento adelante y atrás
	2	1,53	8,05	3,26	
	3	1,29	6,79	2,75	
	4	1,60	8,44	3,42	
WW5	1	2,02	10,66	4,33	Transporte neto hacia delante
	2	2,28	12,02	4,89	
	3	2,00	10,55	4,29	
	4	2,20	11,63	4,73	
WW7	1	2,54	13,38	5,44	Movimiento general de los granos
	2	2,77	14,37	5,95	
	3	2,49	13,12	5,33	
	4	2,70	14,26	5,79	
WW11	1	3,29	17,44	7,11	Inicio de ripples 2D
	2	3,47	18,38	7,49	
	3	3,14	16,83	6,86	
	4	3,42	18,13	7,39	
WW13	1	3,84	20,35	8,29	Importante migración de los ripples
	2	3,67	16,46	7,93	
	3	3,47	18,40	7,50	
	4	3,85	20,41	8,32	
LECHO PLANO Y PARTE CON RIPPLES					
WW14	1	0,76	4,01	1,62	Movimiento en la cresta de los ripples; nada en el lecho plano
	2	1,04	5,46	2,20	
	3	0,81	4,23	1,70	
	4	0,99	5,21	2,10	

b) Olas, muestra *white*

En este caso se retiró del canal la capa de sedimentos constituida por la muestra *black* y se preparó análogamente la muestra *white*. Se realizaron 13 tests variando la amplitud de la ola para determinar bajo qué condiciones se iniciaba el transporte de las partículas en un lecho totalmente plano, así como 6 test más donde parte del lecho era plano y el resto tenía morfologías de ripples. La tabla 2 muestra los resultados de algunos de estos tests.

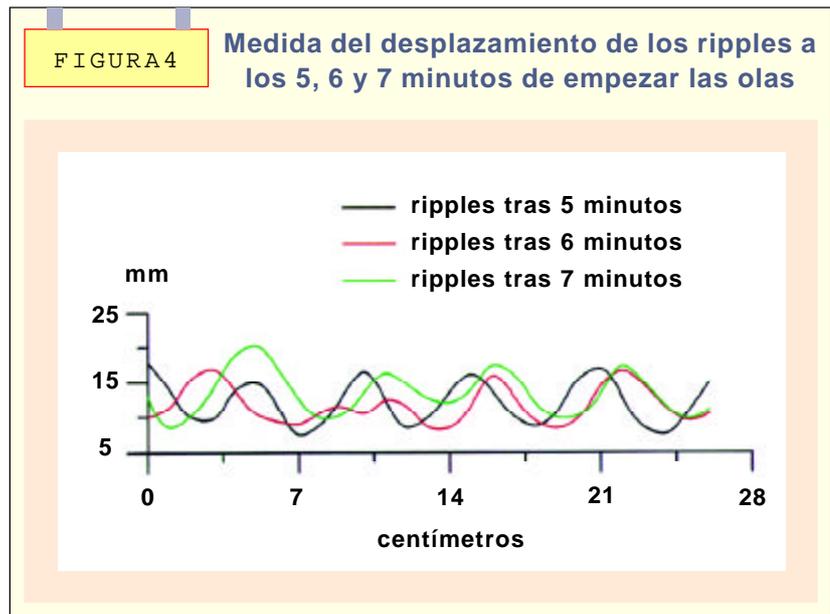
En el test WW2 se observaron desplazamientos de determinados granos en trayectorias cerradas adelante y atrás coincidiendo con el paso de cada ola. Aun cuando este movimiento era minoritario, sí quedó de manifiesto que tenía lugar preferentemente en las partículas carbonatadas. Sin embargo, en el test WW5 las trayectorias de las partículas no son cerradas,

existiendo un desplazamiento neto en el sentido de avance de las olas de 25-40 cm/mto, mientras que en el test WW7 este movimiento se hace generalizado a todas las partículas, que avanzaban a razón de 34-42 cm/mto.

Conforme se aumenta la amplitud de la ola en los sucesivos test se observa una mayor velocidad de avance, que ya en el test WW11 alcanza los 95-103 cm/mto. No obstante, lo característico de este test es que durante su transcurso se desarrollan los primeros ripples, que son típicamente 2D, simétricos, de longitud de onda media de 4.5-5.5 cm y altura 8-10 mm.

En el test WW13 la formación de ripples es particularmente rápida, pues en apenas 3.5 minutos todo el lecho adquiere esta morfología ondulada. Al igual que en el caso anterior, se trata de ripples 2D simétricos, pero en este caso presentan la particularidad de migrar rápidamente. La figura 4 ilustra este desplazamiento para un tramo concreto del canal, donde se dibujó la forma de los ripples a través de la pared de cristal a los 5, 6 y 7 minutos de empezar a generarse las olas. Esta migración de los ripples conlleva un importante transporte de sedimentos, que queda de manifiesto en la figura 5. En ella se observa claramente que entre el perfil inicial (línea negra) y el resultante tras 40 minutos de olas (línea roja) hay zonas que han experimentado una acumulación considerable, mientras otras se han erosionado.

Por último, el test WW14 muestra cómo olas de amplitud muy pequeña (aproximadamente 0.9 cm) son capaces de removilizar sedimentos que se



encuentren en la cresta de los ripples, mientras que para poner en movimiento granos sobre un lecho plano es preciso contar con olas de amplitud bastante mayor (1.4 cm, test WW2)

c) Corrientes, muestra *black*

Se efectuaron 11 test distintos, en los que se midió la velocidad del flujo sobre la muestra, utilizando tres microhélices

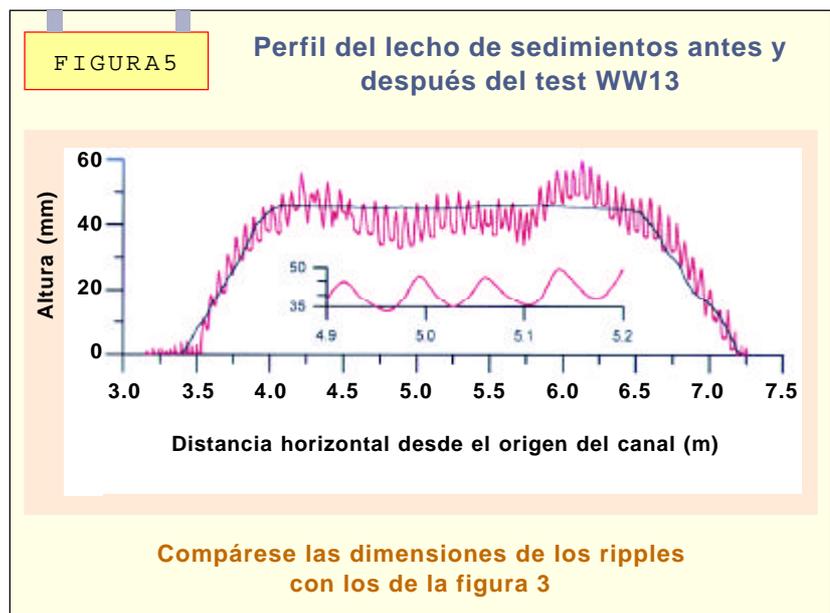
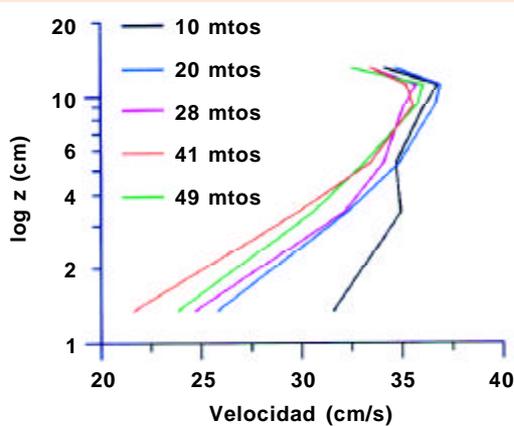


FIGURA 6

Sucesivos perfiles de velocidad para el test CB



El brusco descenso que tiene lugar a 13 cm es debido al rozamiento del aire sobre la superficie

a distintas alturas que cada 2 minutos se cambiaban de posición. De este modo se obtuvo un perfil con 6 puntos para cada test.

El test CB16 resultó especialmente llamativo por ser en el que empezaron a desarrollarse ripples, aun cuando el inicio de movimiento de los granos se produjo a velocidades menores. La figura 6 muestra sucesivos perfiles de velocidad realizados durante este test. Al inicio del test la superficie del lecho era completa-

mente plana, pero transcurridos apenas 2.5 minutos empezaron a desarrollarse ripples en varios puntos de la superficie. Estos ripples se iban desarrollando paulatinamente de modo que se extendieron por toda la superficie. A los 10 minutos aún estaban muy lejos de la zona donde las microhélices medían la velocidad, y por tanto su efecto no se manifiesta en el perfil. Por el contrario, ya en el minuto 20 y sucesivos todo el lecho está cubierto de ripples, por lo que la

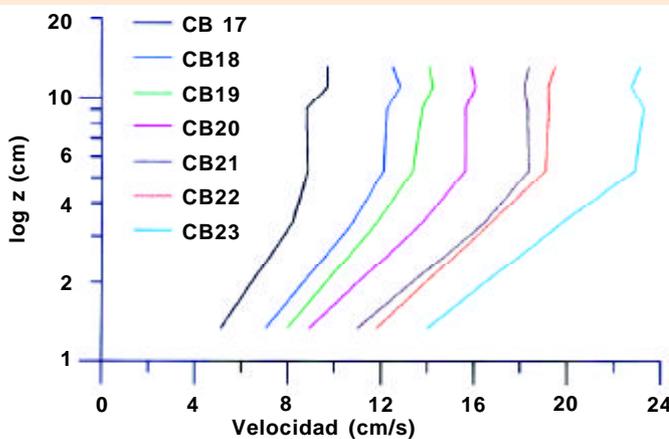
rugosidad es mayor, y en consecuencia la velocidad disminuye en la proximidad del fondo que oscila entre 22 y 26 cm/s, frente a los 32 cm/s en ausencia de ripples (figura 6). Los ripples formados al final del test eran claramente asimétricos como corresponde a ripples generados por corrientes unidireccionales, con una longitud de onda entre 7 y 9 cm y una altura de 12 mm.

Parte del lecho generado en CB16 fue alisado y el resto se mantuvo cubierto de ripples. La figura 7 muestra los perfiles de velocidad medidos en los test posteriores (CB17 a CB23), en los que se fue aumentando gradualmente la velocidad del flujo. El efecto que estas corrientes originó se esquematiza a continuación:

- CB17 á Sin movimiento.
- CB18 á Mínimas oscilaciones en la parte alta de los mayores ripples.
- CB19 á Pequeños avances de algunos granos en la cresta de los mayores ripples.
- CB20 á El movimiento es mayor en los ripples de mayor pendiente.
- CB21 á Leves movimientos en todos los ripples. En la zona plana algunos granos empiezan a oscilar.
- CB22 á Aumenta el movimiento en los ripples inducido por el flujo generado en ripples aguas arriba. En la zona plana sin cambios.
- CB23 á En los ripples el movimiento es generalizado. En la zona plana hay leves desplazamientos de los granos menores.

FIGURA 7

Perfil de velocidad para los test CB17 a CB23



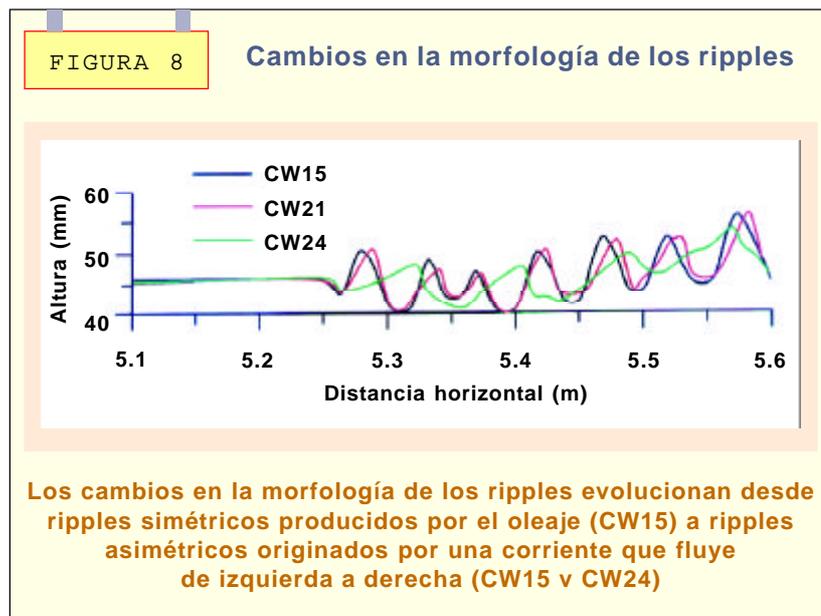
Progresivo aumento del transporte conforme aumenta la velocidad

d) Corrientes, muestra *white*

Se realizaron 12 tests con el lecho plano para determinar bajo qué intensidad de flujo los sedimentos empezaban a moverse, y a cuál se empezaban a formar ripples. Además se efectuaron otros 9 tests con lecho mixto (parte plano y parte cubierto de ripples). En este caso se trataba de unos ripples generados por olas de la misma amplitud que en el test WW13 (ver apartado olas, muestra *white*), a fin de determinar cómo ripples de oleaje, perfectamente simétricos, evolucionan a ripples de corrientes con una clara asimetría.

La figura 8 muestra una parte del lecho, donde el perfil del test CW15 es justo tras generar los ripples mediante olas. En el test CW21 se detecta que ciertos granos aislados situados en la parte del lecho plano empiezan a desplazarse rodando por el fondo, mientras que en la parte de ripples el movimiento es bastante mayor. Básicamente consiste en que los granos ascienden hasta la cresta del ripple empujados por la corriente, de modo que se pierde la simetría inicial, pero los ripples resultantes mantienen aún la misma longitud de onda.

El test CW24 es el que determina el inicio de movimiento general de las partículas en el lecho plano, y el efecto que tiene sobre los ripples es total. La morfología resultante no se parece en nada a la preexistente, pues los ripples son ahora marcadamente asimétricos, con unas dimensiones completamente distintas, y además se empla-



zan en sitios distintos que aquellos de los que derivan. Esto se debe no sólo al transporte de granos que suben hasta la cresta empujados por la corriente y caen por la pendiente opuesta, sino al propio desplazamiento de los ripples en sí mismos, que migran a unos 3 mm/mto. Además, esta migración no es homogénea, pues aquellos ripples de mayor tamaño se mueven más lentamente que los menores.

DISCUSIÓN

Varias son las cuestiones que cabe discutir de los resultados obtenidos. Por lo que respecta al inicio de movimiento de las partículas, se ha contrastado el criterio para el umbral de movimiento de Komar y Miller (1974), establecido por la relación

$$U_0^2 / (\sigma g D) = 0.21 (d_0 / D)^{1/2}$$

para $D < 0.5$ mm

donde U_0 es la velocidad de onda junto al lecho; σ es la densidad

relativa = $(r_s - r) / r$ [r_s = densidad del sedimento; r = densidad del fluido]; g es la aceleración de la gravedad; D es el diámetro medio del sedimento y d_0 es el diámetro orbital.

Según dichos autores, cuando el primer término de la ecuación es mayor que el segundo es cuando debe producirse el inicio del movimiento. De acuerdo con los datos experimentales obtenidos, esto ocurriría en los tests WB13 y WW5 según se utilizase la muestra *black* o *white* respectivamente, mientras que en realidad el inicio de movimiento adelante y atrás se observó en los tests WB7 y WW2, correspondiendo con valores de a , U_0 y d_0 menores de los teóricamente esperados. Dicho de otro modo, el coeficiente de proporcionalidad que Komar y Miller (1974) establecieron en 0.21 sería de 0.10 y 0.13 según se utilizase la muestra *black* o *white* respectivamente. Estos valores están en mucha mejor consonancia con el valor de 0.11 dado posteriormente por los mismos autores (Komar y Miller, 1975).

TABLA 3

Amplitud de onda y valor de intensidad de la corriente U_u

	OLAS (a , cm)		CORRIENTES (U_u , cm/s)	
	BLACK	WHITE	BLACK	WHITE
Inicio de movimientos aislados	1.80	1.42	23	18
Movimiento general	3.20	2.92	27	27
Inicio formación de ripples	3.7	3.33	35.5	32

Por lo que respecta al inicio de movimiento bajo flujos unidireccionales, los resultados aquí expuestos indican que el inicio de movimiento en lecho plano empieza cuando la velocidad de la corriente por encima de la capa límite es $U_u = 23$ cm/s para la muestra *black* (test CB23, figura 7) y $U_u = 17.9$ cm/s para la muestra *white* (test CW21). Ello confirma la enorme importancia que tiene la densidad de los granos en que puedan o no ser movilizados (Kuhnle y Soutard, 1990), pues debe tenerse en cuenta que la muestra *black* es bastante menor que la *white*

(144 y 255 μ respectivamente).

CONCLUSIONES

La realización de estos tests ha permitido comparar las características físicas y el comportamiento hidrodinámico de dos tipos de sedimentos existentes en la playa de Las Canteras. La tabla 3 sintetiza lo expuesto previamente, indicando qué amplitud de onda a y qué valor de intensidad de la corriente U_u son necesarios para establecer el ini-

cio de movimiento de granos aislados, el movimiento general de partículas, y cuándo comienzan a formarse ripples. De esta tabla se puede concluir que la denominada como muestra *black* presenta una mayor resistencia al transporte que la muestra *white*, con la única excepción de la formación de ripples por efecto de las olas, donde es necesaria una menor amplitud de ola.

No obstante, a la hora de establecer qué altura de ola o qué velocidad de corriente pueden transportar la arena de/hacia la playa, debe considerarse que la naturaleza dista mucho de comportarse como un laboratorio, pues lo habitual es que los sedimentos estén sometidos al efecto conjunto de olas y corrientes, así como a otros factores que no se han considerado, como la morfología del fondo irregulares o la pendiente de la playa. Además, el tipo de oleaje existente en la naturaleza es irrepetible en condiciones de laboratorio, pues incluso los mayores canales existentes (unos 100 m de largo por 3-4 m de ancho y 5-6 m de profundidad) sólo permiten reproducir olas de periodos $T \leq 6$ s, cuando el oleaje medio en Canarias tiene periodos $T \gg 10$ s.

GLOSARIO

- **BIOCLASTO:** material procedente de la estructura de organismos animales o vegetales, tanto rota como entera. Generalmente se corresponde con fragmentos calcáreos.
- **CALCARENITA:** roca sedimentaria compuesta en más de un 50% por partículas de carbonato cálcico (preferentemente en forma de calcita) de tamaño arena (de 62.5 micras a 2 mm).
- **MAREAS METEOROLÓGICAS:** oscilaciones del nivel del mar producidas por la existencia de altas o bajas presiones en la atmósfera, que determinan respectivamente bajamares o pleamares.
- **MOVIMIENTO GENERAL DE LAS PARTÍCULAS:** situación que se alcanza cuando toda una lámina de sedimentos se desplaza uniformemente a escasos mm del fondo.
- **RIPPLE:** comunmente denominados «ondas de arena», son ondulaciones en los sedimentos producidos por efecto de olas y/o corrientes. Son característicos de sedimentos no cohesivos de tamaño arena.

BIBLIOGRAFÍA

- **Alonso, I.** 1993: *Procesos sedimentarios en la playa de Las Canteras (Gran Canaria)*. Tesis Doctoral, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. 333 pp.
- **Alonso, I. y Vilas, F.** 1996: "Variabilidad sedimentaria en la playa de Las Canteras (Gran Canaria)". *Geogaceta*, 20(2), 428-430.
- **Komar, P.D. y Miller, M.C.** 1974: "Sediment threshold under oscillatory water waves". *Proc. 14th Conf. Coastal Eng.*, 756-775.
- **Komar, P.D. y Miller, M.C.** 1975: "The initiation of oscillatory ripple marks and the development of plane-bed at high shear stresses under waves". *J. Sed. Petrol.*, 45(3), 697-703.
- **Kuhnle, R.A. y Southard, J. B.** 1990: "Flume experiments on the transport of heavy minerals in gravel-bed streams". *J. Sed. Petrol.*, 60(5), 687-696.
- **Pérez Torrado, F.J. y Mangas, J.** 1994: "Origen y evolución geológica de la barra de Las Canteras (Las Palmas de Gran Canaria)", *Vector Plus*, núm. 1, págs. 4-13.
- **Vickers, B.** 1983: *Laboratory work in soil mechanics* Granada Publ. (2^a ed), 170 pp.

BIOGRAFÍA

IGNACIO ALONSO BILBAO

Licenciado en Ciencias del Mar por la Universidad de Las Palmas Gran Canaria en 1987, empezó su andadura profesional como becario de FPI y profesor ayudante hasta que en 1993 presentó la tesis doctoral titulada "Procesos sedimentarios en la playa de Las Canteras (Gran Canaria)". Desde entonces su investigación ha estado relacionada con el tema genérico del transporte de sedimentos. Es autor de diversos artículos de investigación publicados en revistas nacionales e internacionales, así como investigador principal de distintos proyectos de investigación. En la actualidad es profesor titular de universidad adscrito al Departamento de

Física de la ULPGC, donde imparte docencia en la Facultad de Ciencias del Mar. El autor agradece al Dr. Garry Reid el enorme apoyo logístico que le prestó durante la estancia que pasó en el School of Ocean Sciences de la Universidad de Wales donde realizó esta investigación.

Dirección:

Edificio de Ciencias Básicas, Campus Universitario de Tafira, 35017 - Las Palmas.
Tlf: 928454480
fax: 928452922
e-mail: ignacio.alonso@física.ulpgc.es

Este trabajo ha sido patrocinado por:

AYUNTAMIENTO DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA