

Capítulo IV

Análisis de Resultados

IV. Análisis de Resultados

IV.1 Velocidades registradas

IV.1.1 Velocidades de inicio de arrastre: PIV

Como se mencionó en la sección III.2.3, a partir de las imágenes capturadas por la cámara del PIV, se obtienen los mapas de velocidades correspondientes. Tras una revisión de las imágenes de cada prueba, se eligieron aquellas en las que se observaba el inicio de arrastre, como se ejemplifica en las siguientes figuras: en la Figura IV-1 se presenta un fondo plano y en la Figura IV-2 fondo con rizos, la imagen 1 corresponde al instante en que los granos aún no se encuentran en movimiento y la imagen 2 aparecen desprendidos de la cama, en esta segunda imagen se observan por primera vez en movimiento los granos, por lo que se consideró que esa imagen correspondía al inicio de arrastre. Una vez encontrada esta imagen, utilizando el procesador del equipo (FlowManager), se generó el mapa de velocidades correspondiente (Figura IV-3), del cual se tomaron los valores de las velocidades en dirección del flujo (u) del área que ocupaban los granos, para de esta manera obtener un promedio que correspondiera a la velocidad de inicio de arrastre. Las velocidades obtenidas se muestran en la Tabla IV-1.

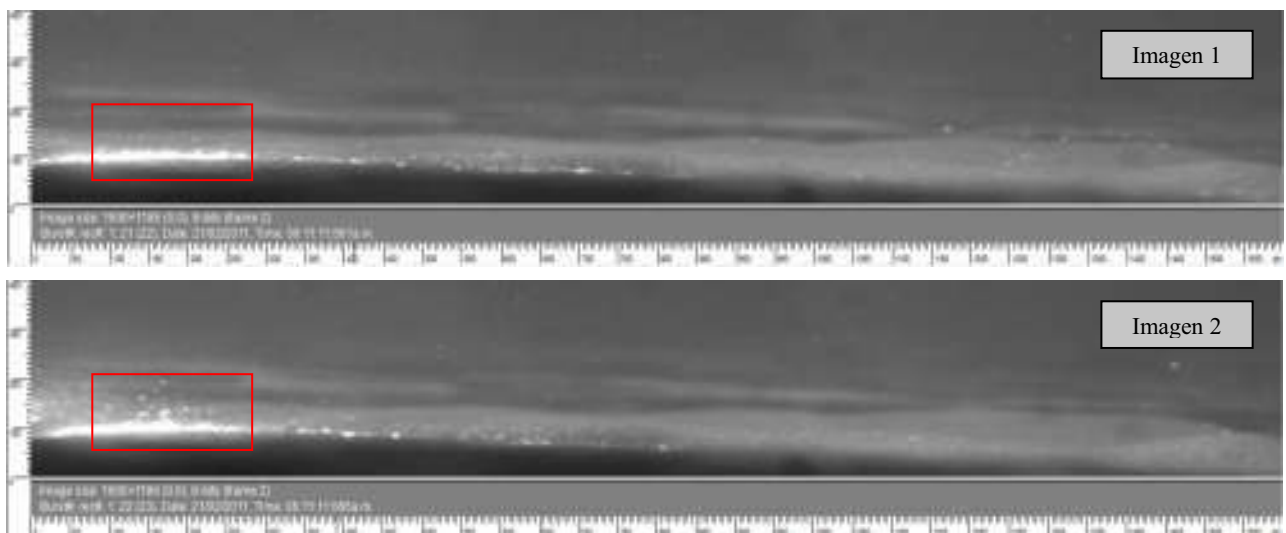


Figura IV-1 Ensayo: Akumal, $T = 1.4$ s, cama plana

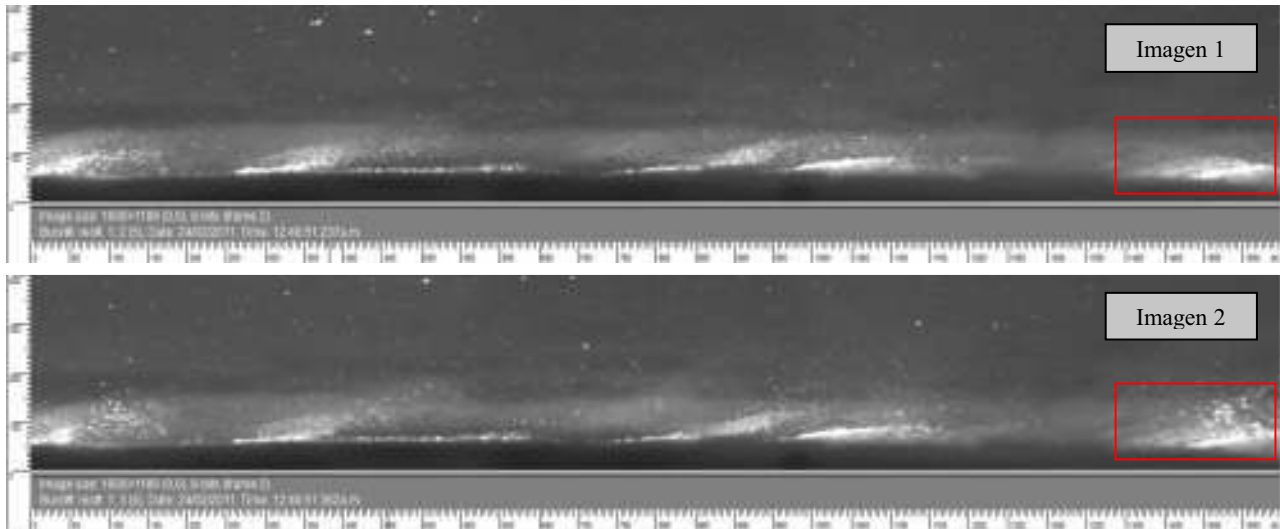


Figura IV-2 Ensayo: Chelem, $T = 1.0$ s, cama con rizos

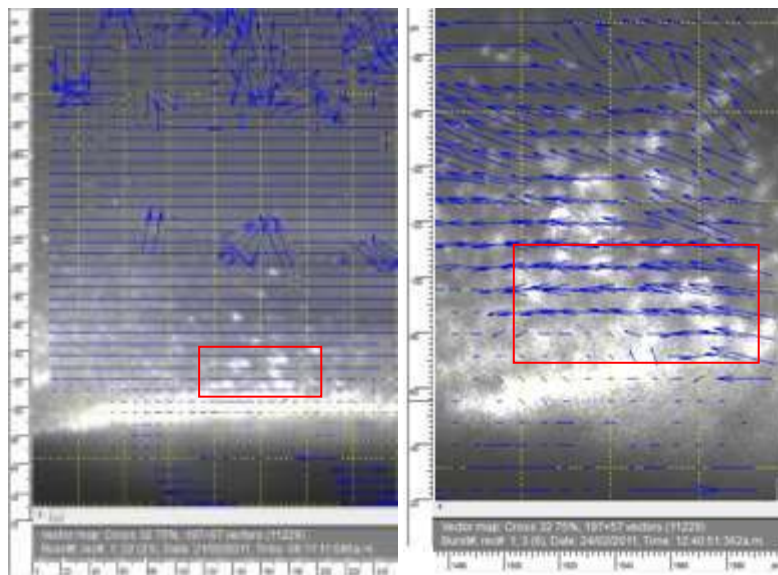


Figura IV-3 Mapas de velocidades para los cúmulos detectados en movimiento

Velocidades (u_{cr}) en mm/s							
Muestra		T s					
		1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
Akumal	Cama Plana	82.30	157.50	91.28	-106.71	208.67	205.07
	Rizos	-123.50	140.02	-88.70	129.63	-127.69	-116.10
Puerto Morelos	Cama Plana	70.08	116.81	-169.98	-246.74	-134.25	-105.87
	Rizos	83.35	-106.34	112.90	-237.96	-182.66	-216.36
Sian ka'an	Cama Plana	-63.26	134.20	164.51	-191.08	-115.11	106.93
	Rizos	172.79	122.60	-125.90	80.11	-141.02	-142.07
Isla Mujeres	Cama Plana	-67.59	138.75	80.09	141.66	128.24	190.91
	Rizos	-56.29	-67.64	-135.83	-77.24	-71.53	-99.79
Pto. E	Cama Plana	-94.09	94.84	100.36	-107.53	-150.09	167.61
	Rizos	70.36	-95.52	-95.14	-89.77	-103.77	-105.06
Pto. 10	Cama Plana	62.12	87.62	-103.13	-123.46	-146.62	-124.83
	Rizos	60.88	-83.58		83.36	-82.42	-86.88
Holbox	Cama Plana	-49.29	141.26	-107.83	-152.66	-176.09	119.45
	Rizos		105.75		-91.75	-113.28	-106.02
Chelem	Cama Plana	50.92	-102.91	-135.37	-120.07	-204.18	-154.01
	Rizos	72.30	71.18	-130.22	-70.81	80.79	-250.09
Bahía Tortugas	Cama Plana	51.60	92.80	-168.24	-118.25	178.40	-137.55
	Rizos		83.71	-82.07	70.69	-65.47	101.77

Tabla IV-1 Velocidades registradas con el PIV

Los resultados excluyen la muestra de Pto. F (Cancún) debido a que bajo las condiciones de oleaje ensayadas no se observó ningún movimiento, de la misma manera ocurre en el caso de las celdas sombreadas de la

Tabla IV-1, en las que no se captó algún movimiento definido de los granos. Las velocidades con valores negativos indican que el inicio de movimiento se dio en sentido contrario al flujo. Para el análisis que se realiza en el presente trabajo, sólo se utilizaron valores absolutos de las velocidades, ya que el objetivo es evaluar la condición en la cual el sedimento se pone en movimiento.

IV.1.2 Alturas y periodos de ola

Como se mencionó en el capítulo anterior, las condiciones de generación de oleaje fueron: altura de 15 cm y periodos de 1.0, 1.2, 1.5, 1.6, 1.8 y 2.0 s. Debido al funcionamiento del equipo mecánico y a las posibles perturbaciones producidas por el cambio en el nivel del fondo, se determinaron las alturas medias de ola y los periodos medios presentes en cada ensayo con los registros de los sensores de nivel, siendo de especial interés los valores obtenidos del sensor 2, que se encontraba al final de la rampa, los cuales fueron utilizados para análisis posteriores debido a su cercanía con la muestra. De dichos valores se observa que el valor del periodo es prácticamente el establecido, pero en cuanto a la altura de ola, se encuentran valores menores a los 15 cm, entre 10 y 13 cm, observando que, en general, el valor aumenta con el periodo. Los valores se presentan en la Tabla A2 - 1, en la Figura IV-4 se muestra, a manera de ejemplo, uno de los registros graficados.

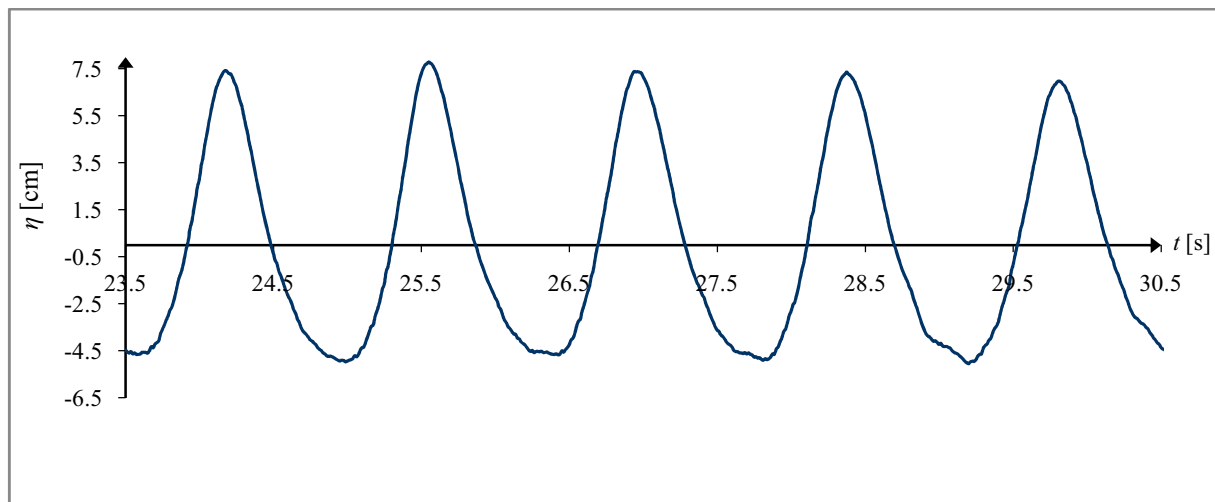


Figura IV-4 Valores correspondientes al sensor 2 para el ensayo de Chelem, $T = 1.4$ s

IV.1.3 Velocidades: Vectrinos

El programa para el análisis de las señales registrada por los Vectrinos arroja los valores de las componentes de las velocidades cada 0.02 s. Estos registros fueron procesados en un programa que calcula el valor de velocidad máxima ($U_{m\acute{a}x}$), mínima ($U_{m\acute{i}n}$), media (U_{med}) y cuadrática media (U_{rms}), en la dirección del flujo. Los resultados se presentan en el Anexo 2, Tabla A2 - 2.

Posteriormente se verificó que las señales de oleaje fueran semejantes a las calculadas con teoría lineal (ver Anexo 1) y de esa forma simplificar el análisis del flujo, como se describe a continuación:

Se representaron gráficamente los valores correspondientes a las velocidades en dirección del flujo registradas por los Vectrinos en el mismo plano que los valores obtenidos con teoría lineal utilizando la ecuación 76 del Anexo 1. Para estos cálculos se emplearon los valores de altura de ola y periodo mostrados en la Tabla A2 - 1, un intervalo de tiempo igual al del registro de los Vectrinos (0.02 s), una profundidad de 0.295 cm (profundidad a la que se ubica el registro del Vectrino) y un valor de la gravedad de 9.81 m/s^2 . Para poder visualizar las mediciones de ambos Vectrinos en la misma fase de la onda del flujo, la señal registrada por el del Vectrino 2 se desfasó, debido a la distancia que había respecto al Vectrino 1. Para dos periodos de ola diferentes, en la Figura IV-5 se muestran segmentos de dos registros de dos diferentes ensayos.

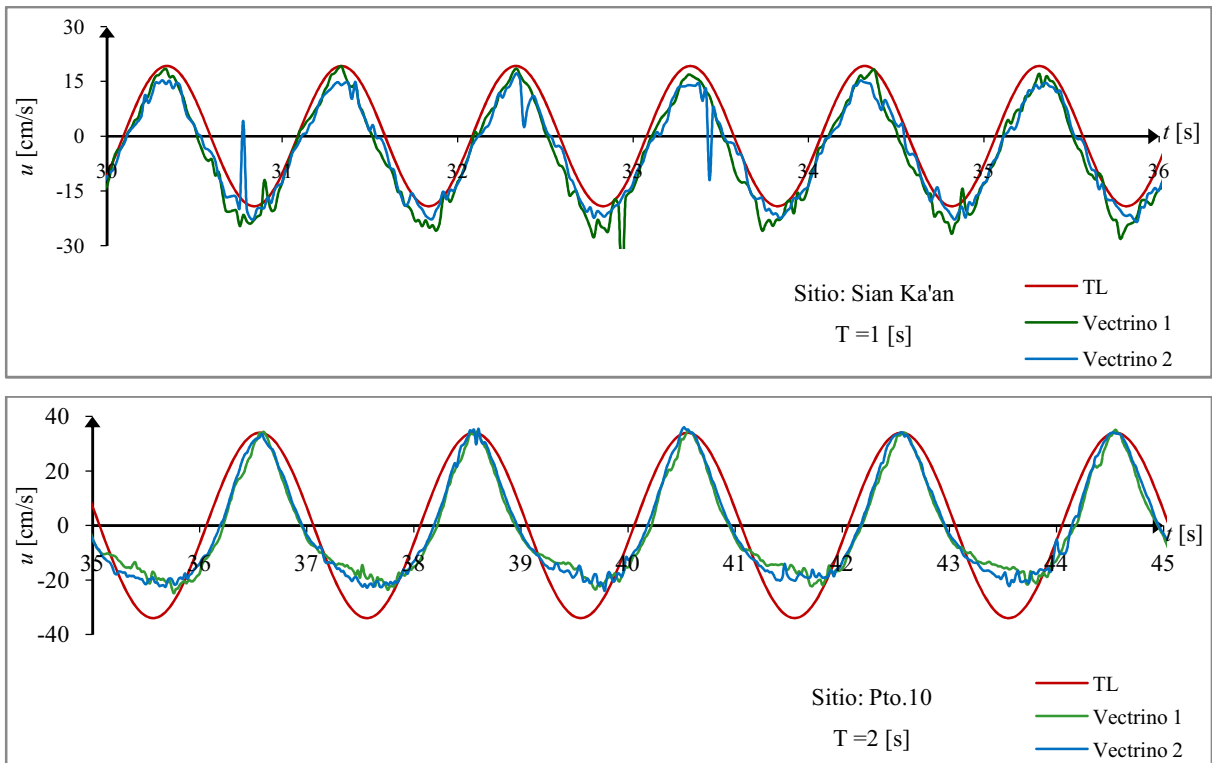


Figura IV-5

En las gráficas anteriores se observa que para el periodo de 1 s los registros se aproximan aceptablemente a un comportamiento lineal, aunque en el caso de los valores mínimos las velocidades teóricas quedan ligeramente por debajo de los registrados. Conforme el periodo aumenta los valles se

vuelven más amplios, siendo menores que los valores proporcionados por la teoría lineal, sin embargo también se observa que para el periodo más largo de los ensayados (2 s), los valores máximos presentan resultados adecuados. Por ello se acepta que el comportamiento es lineal y que el uso de los valores máximos de las velocidades es adecuado. Se comprueba también, que con el aumento del periodo existe un aumento en la velocidad en el fondo.

Posteriormente se analizó la variación entre el registro de los Vectrino respecto a la velocidad que se obtiene en el fondo utilizando teoría lineal. En la Figura IV-6 se muestra gráficamente la comparación de dichos valores, para los mismos casos ejemplificados. De dicha comparación se concluye que para el menor de los periodos utilizados, la velocidad en el fondo es igual a la velocidad registrada por los Vectrinos, y al aumentar el periodo, son ligeramente menores en las crestas y en el caso de los valles, como ya se mencionó, varían considerablemente, como se observa para el periodo más grande. De esta manera se aceptó también el uso de los valores máximos medidos con los Vectrinos como los valores máximos de las velocidades en el fondo, tomando como valor final el promedio de ambos para tener una mejor aproximación.

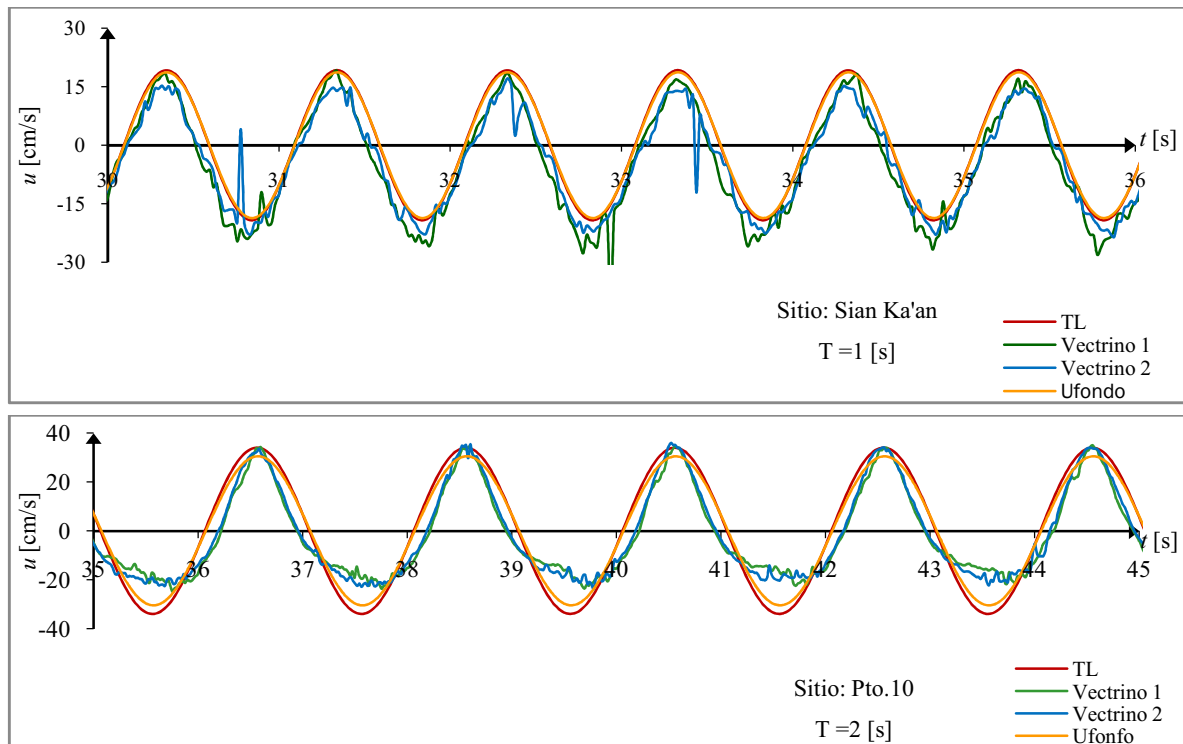


Figura IV-6

Comparando estos valores con los obtenidos por el PIV se observa que en ningún caso se presenta el inicio de arrastre con la velocidad máxima, positiva ni negativa, por lo que se determina que el inicio de arrastre no ocurre con la velocidad máxima del flujo, sino que comienza con velocidades menores, cuyo valor, al igual que el de la velocidad máxima, varía con el periodo.

IV.2 Estimación del esfuerzo cortante

Utilizando la metodología presentada en la sección II.3.1, se presentan en la Tabla A2 - 3 los resultados obtenidos del esfuerzo cortante en el fondo, del parámetro de Shields y del diámetro adimensional para cada ensayo, tomando para cada caso las respectivas consideraciones debidas al tipo de fondo que presentaba la cama de arena y los valores registrados de los granos con ayuda del PIV.

A partir de estos valores, se ubicaron los puntos en el diagrama de propuesto por Soulsby, basado en el trabajo de Shields (Figura IV-7). Se presentan diferenciadas en color las muestras del estado de Quintana Roo con las de Yucatán y Campeche.

En general se observa un comportamiento similar al propuesto por la curva, pero con una dispersión vertical, debido a que este valor depende las velocidades obtenidas del PIV, por lo que influyen las variables propias de dichos valores.

Por otro lado, la curva queda por debajo de los puntos graficados en la mayoría de los casos, lo que implica que se tuvieron velocidades de inicio de arrastre mayores a las que se determinan en el diagrama y por lo tanto, el esfuerzo crítico es mayor, obteniendo una sobreestimación de los valores que esulta conservadora para el cálculo del transporte de sedimentos. Dicho comportamiento se observa también en los puntos experimentales presentados por Soulsby (1997) bajo la misma curva, en la Figura II-7. En el caso de la muestra con el diámetro mayor (Bahía Tortugas, Campeche), los valores quedan claramente por debajo de la curva y alejados de los demás puntos. Esto se atribuye a que su diámetro d_{50} es considerablemente mayor al de las otras muestras, a la forma de los granos, que es aplanada (como se observa en la

Figura III-5), y a que es una mezcla de fragmentos de concha y de aportes fluviales de materiales terrígenos (las demás muestras son únicamente de origen biogénico).

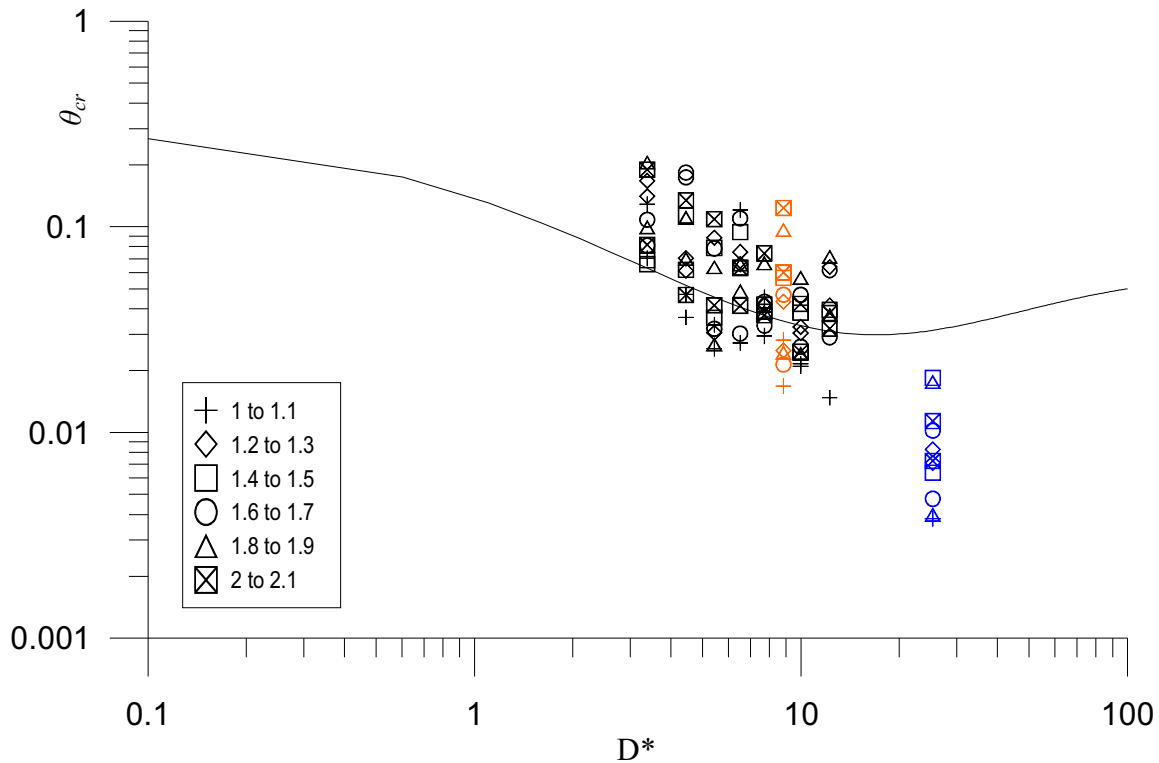


Figura IV-7 Esfuerzo cortante crítico. Los símbolos en color negro representan las muestras del estado de Quintana Roo, en color rojo la de Yucatán (Chelem) y en azul la de Campeche (Bahía Tortugas).

El trabajo realizado por Shields para corrientes fue ampliado por Soulsby para oleaje, pero la curva no considera de forma directa el valor del periodo del oleaje. En la Figura IV-7 se identificaron con diferentes símbolos los puntos de acuerdo al periodo que pertenecen, de lo cual se infiere una tendencia del parámetro de Shields a aumentar cuando el periodo aumenta, si esto ocurre, se espera que de igual manera, la velocidad crítica lo haga, lo cual puede determinarse en un análisis del periodo, o alguna otra condición hidrodinámica dependiente de él, y las velocidades críticas, como se presenta en la sección IV.4.

Otro diámetro que puede resultar representativo en el caso de los sedimentos, es el diámetro nominal ($d_N = \sqrt[3]{abc}$) que relaciona los ejes a , b y c que tendría un elipsoide con la forma de la partícula para obtener el diámetro de una esfera de mismo volumen. Utilizando los valores promedios de los diámetros nominales de las muestras (del Valle, 2010), se representan gráficamente en la Figura IV-8 los resultados obtenidos.

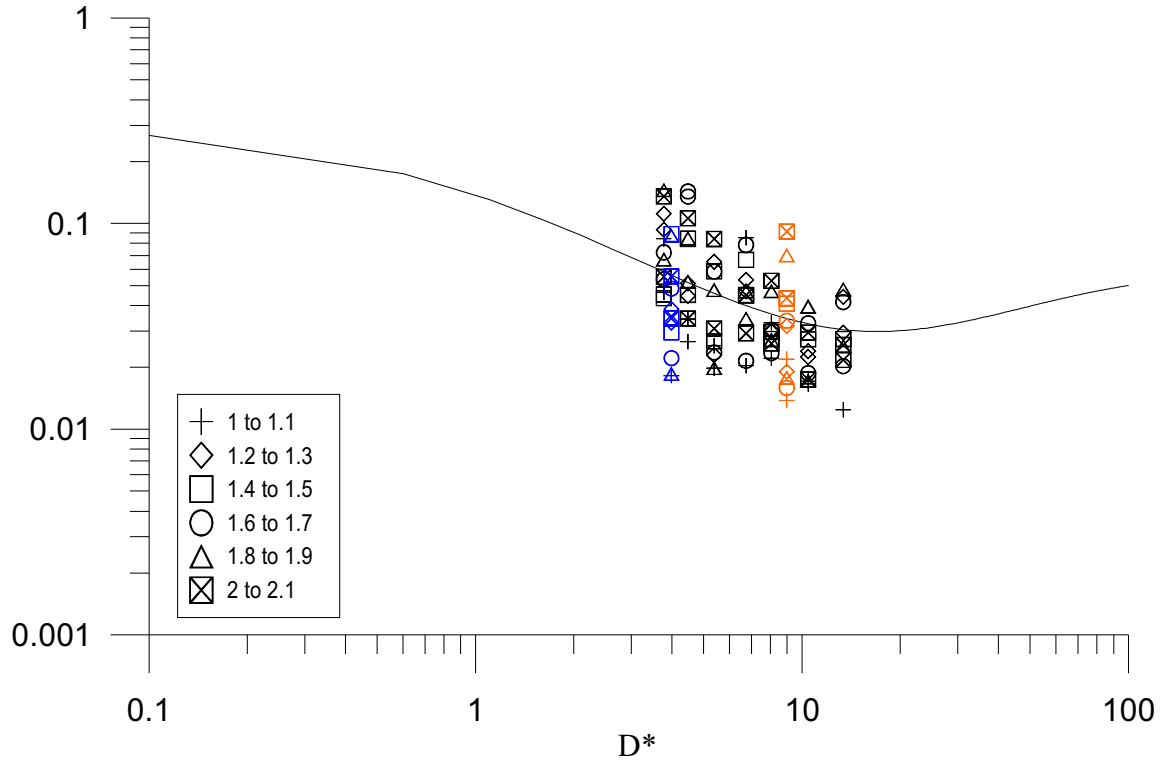


Figura IV-8 Esfuerzo cortante crítico, utilizando el diámetro nominal de las muestras. Los símbolos en color negro representan las muestras del estado de Quintana Roo, en color rojo la de Yucatán (Chelem) y en azul la de Campeche (Bahía Tortugas).

Como se observa en la Figura IV-8, al utilizar el valor del diámetro nominal, los valores se ajustan de mejor a la curva, quedando dispersos de manera simétrica en sentido vertical, y, en el caso de Bahía Tortugas, los puntos presentan el mismo comportamiento que las demás muestras. Esto indica que el valor del esfuerzo cortante crítico resulta muy sensible al valor del diámetro que se utilice para su cálculo, por lo tanto, una adecuada selección del valor representativo del diámetro de la muestra basada en un análisis morfológico de las partículas es lo más conveniente. En el caso de Bahía Tortugas, como se mencionó, las partículas tienen una forma aplanada, por lo que resultó más adecuado el uso del diámetro nominal respecto al d_{50} .

IV.3 Comparación con resultados previos

Además de presentar los resultados en el diagrama anterior, se representaron gráficamente los resultados obtenidos sobre el nomograma realizado por van Rijn (1989), donde relaciona el periodo de la ola con la velocidad de crítica en el fondo, presentando curvas para diferentes valores de diámetros (Figura IV-9). Para graficar los puntos experimentales se tienen rangos de diámetros, diferenciados por

diferentes símbolos. A diferencia del trabajo de Soulsby, van Rijn toma en cuenta de forma directa el valor del periodo que presenta el oleaje bajo el cual se sometieron las muestras, observándose en sus curvas para diferentes valores de diámetros, que la velocidad crítica aumenta con el periodo de la ola, coincidiendo con lo determinado de la Figura IV-7.

Debido a que las curvas inician en un periodo de 4 s y a que en el estudio realizado se tienen periodos menores, se continuaron las curvas con la tendencia observada para poder ubicarlos. Como se observa en los resultados representados gráficamente en diferentes colores, correspondientes a los valores obtenidos por el PIV, se tienen velocidades que muestran aproximadamente el mismo orden de dispersión que los resultados reportados por van Rijn.

Con los resultados obtenidos en este trabajo, como ocurre en la expresiones propuestas por Komar y Miller (1974), se observa que para un mismo periodo, la velocidad crítica que pone movimiento los granos será mayor si el diámetro aumenta, pues requiere un mayor esfuerzo para hacerlo, y para un mismo valor del diámetro, si el periodo aumenta, la velocidad también lo hará. En general, en los trabajos experimentales sobre sedimentos se obtienen resultados con grandes dispersiones, como puede observarse en los trabajos realizados que relacionan el parámetro de Shields crítico con características de los sedimentos (Camenen, 2007).

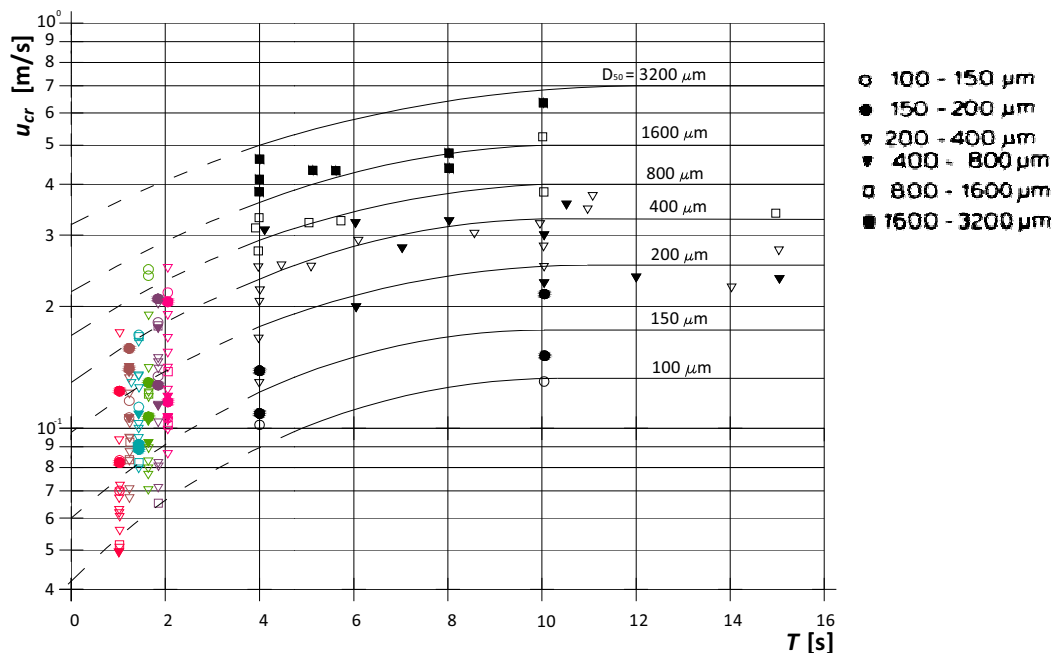


Figura IV-9 Velocidades críticas para diferentes periodos y diámetros

IV.4 Curva propuesta

Con la finalidad de determinar una relación entre las velocidades de inicio de arrastre de los granos y las características hidrodinámicas del flujo que puedan ser medidas experimentalmente, se buscó un ajuste matemático entre las velocidades medidas por el PIV y las velocidades máximas en el fondo, las cuales, como se mencionó, se asumen iguales a las medidas por los Vectrinos. Utilizando el programa CurveExpert Professional se buscó el mejor ajuste para los puntos, de los cuales se eligió el que generara una mejor correlación y que su forma matemática fuera sencilla matemáticamente (lineal, logarítmica, exponencial, etc.). La mejor correlación fue la obtenida para un ajuste lineal de la forma $y = a + b*x$. Además, se muestran las bandas de confianza al 95% (indican que un punto tiene el 95% de probabilidad de caer dentro de ellas), las bandas de probabilidad, también al 95% (indican que el 95% de los puntos graficados quedan dentro de ellas) y la expresión del ajuste.

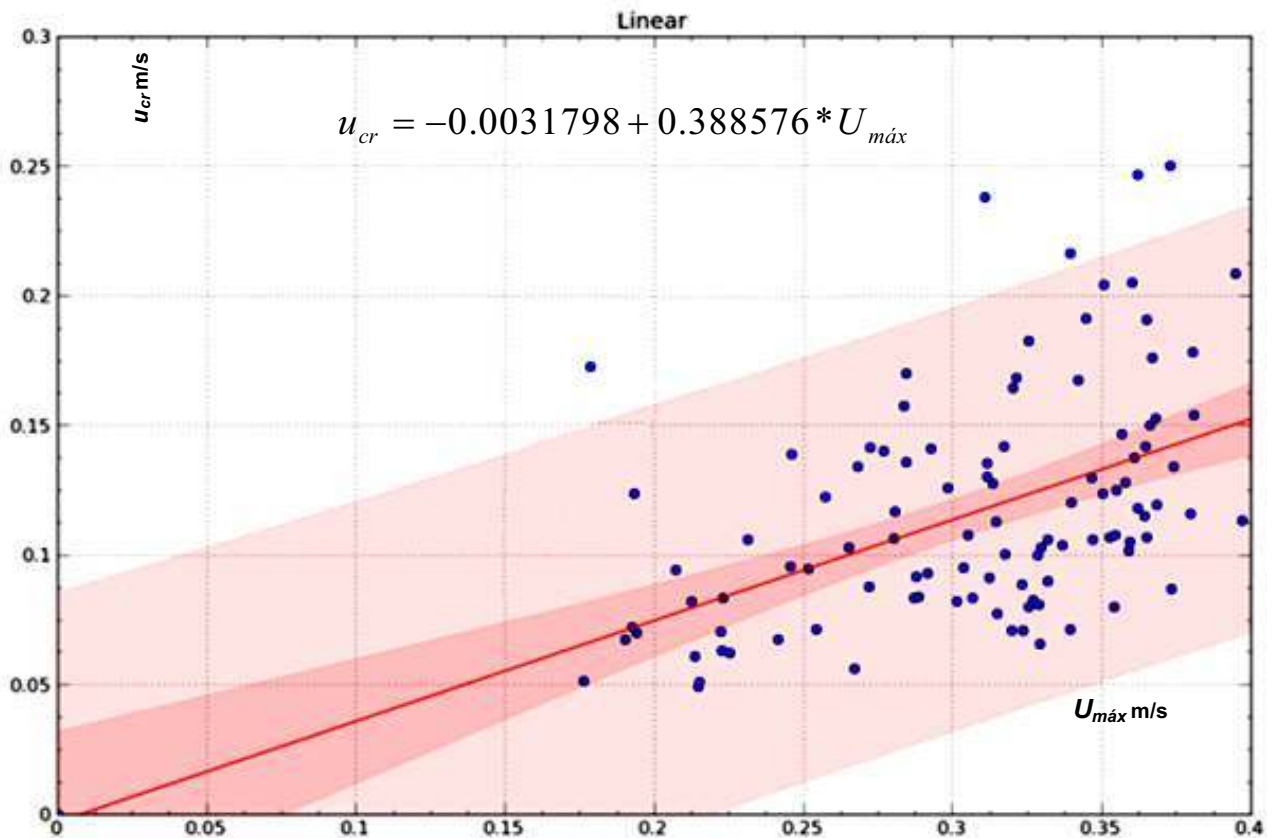


Figura IV-10 Curva de ajuste

De la curva obtenida se observa que se tiene una correlación muy baja, lo que implica que el ajuste encuentra una relación limitada entre las variables, pero debe tomarse en cuenta la variabilidad en la obtención de las velocidades registradas por el PIV, por lo que no puede concluirse que no existe una relación de la velocidad de inicio de arrastre con las condiciones del flujo, representadas por la velocidad máxima. El comportamiento que se deduce es que entre mayor sea la velocidad en el fondo, también lo será la de inicio de arrastre.
