



Grupo I+D+i Ing. Hidráulica, Marítima y Medio Ambiental
Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT)

Hidr@m
Hidr@m

MEDIDAS EXPERIMENTALES DE FLUJO CON TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE FONDO. INFLUENCIA DE GRAVAS.

Luis G. Castillo Elsitdié
Juan T. García Bermejo
José M. Carrillo Sánchez

Junio 2015. VIII Seminario RLHE sobre las Líneas Prioritarias
de Investigación de la Red



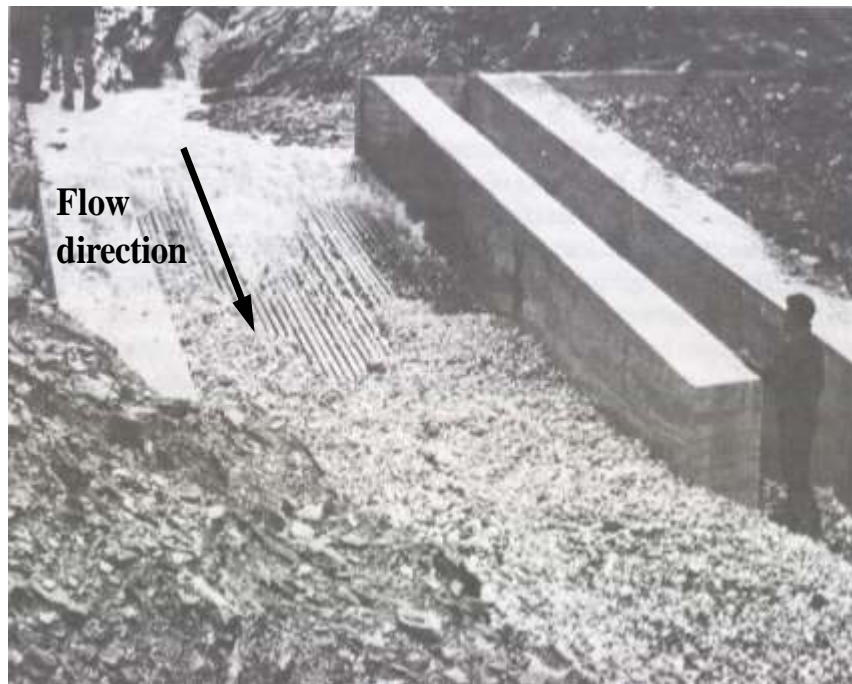


Figura 1. Gravas depositadas sobre sistema de fondo (Ract-Madoux et al. 1955).

- El transporte de sedimentos tiene una influencia notable en el comportamiento de los sistemas de captación de fondo.

- Existen diversos estudios, principalmente de carácter cualitativo y basados en la experiencia, que proponen parámetros para diseño como: la pendiente longitudinal de la reja y el espaciamiento entre barrotes teniendo en cuenta la existencia de materiales granulares (Orth et al. 1954, Drobir 1981, Bouvard 1992).

- Es necesario llevar a cabo estudios experimentales y numéricos para comprobar con los criterios de diseño actuales.



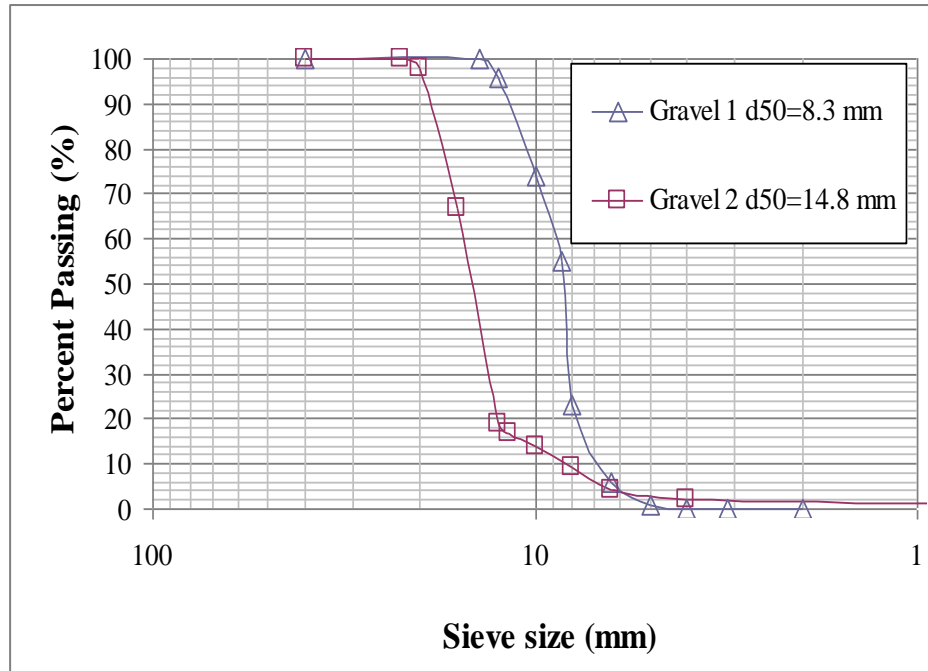
MATERIALES Y MÉTODOS:

A. Ensayos Reja B ($m=0.22$ espaciamiento 8.5 mm) con grava 1 (30 pruebas):

Caudales: 77.0, 114.6, 155.4 l/s/m; pendiente= 0, 10, 20, 30, 33%

B. Ensayos Reja C ($m=0.28$ espaciamiento 11.7 mm) con grava 2 (30 pruebas):

Caudales 114.6, 138.88, 155.4 l/s/m; pendiente= 0, 10, 20, 30, 33%

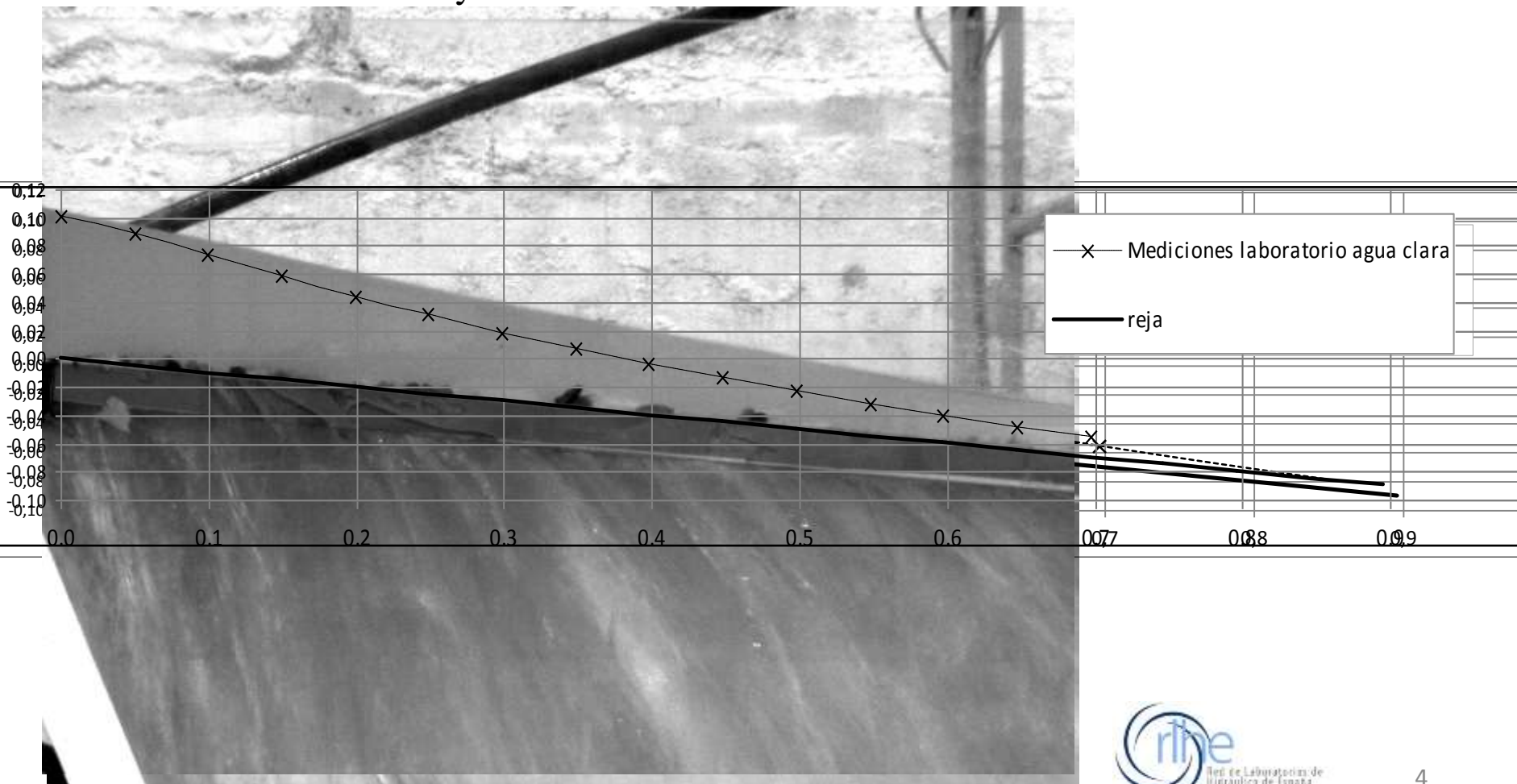




RESULTADOS FLUJO CON GRAVAS:

Vista del inicio y final del ensayo grava 1 caudal 155.4 l/s/m pendiente 10% y reja B (m=0.22)

El índice de huecos disminuye como consecuencia de la obstrucción

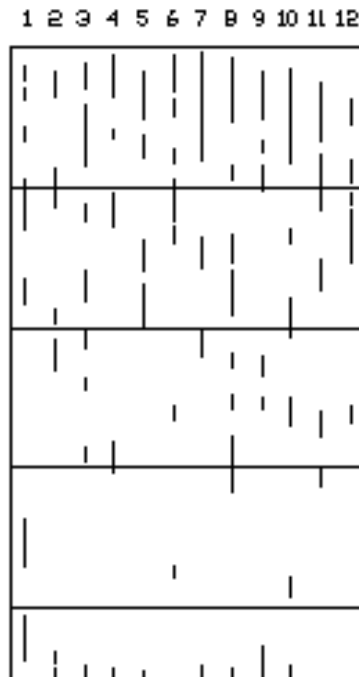




- Índice de huecos efectivo (m')

Reja C ($m=0.28$) $q_1=155.4$ l/sm $i=10\%$ grava 2

m medido = 0.21



$m'=0.178$

Solución numérica de:

$$\frac{dh}{dx} = \frac{0.66m'^{-0.16} \left(\frac{h}{l} \right)^{-0.13} m' 2 \sqrt{h \cos \theta (H_0 - h \cos \theta)}}{3h \cos \theta - 2H_0}$$

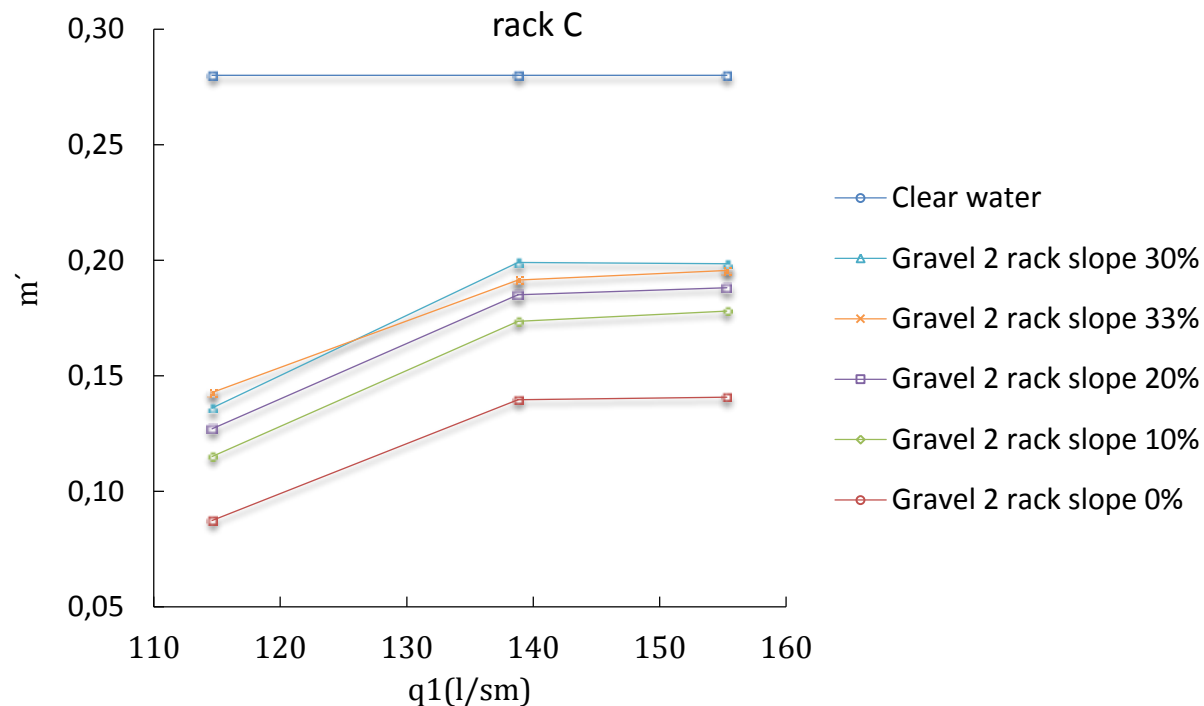
$$\frac{dq}{dx} = -0.66m'^{-0.16} \left(\frac{h}{l} \right)^{-0.13} m' \sqrt{2gh \cos \theta}$$

Valores iniciales:

H_0, h_0, q_2 at $L=0.9$ m



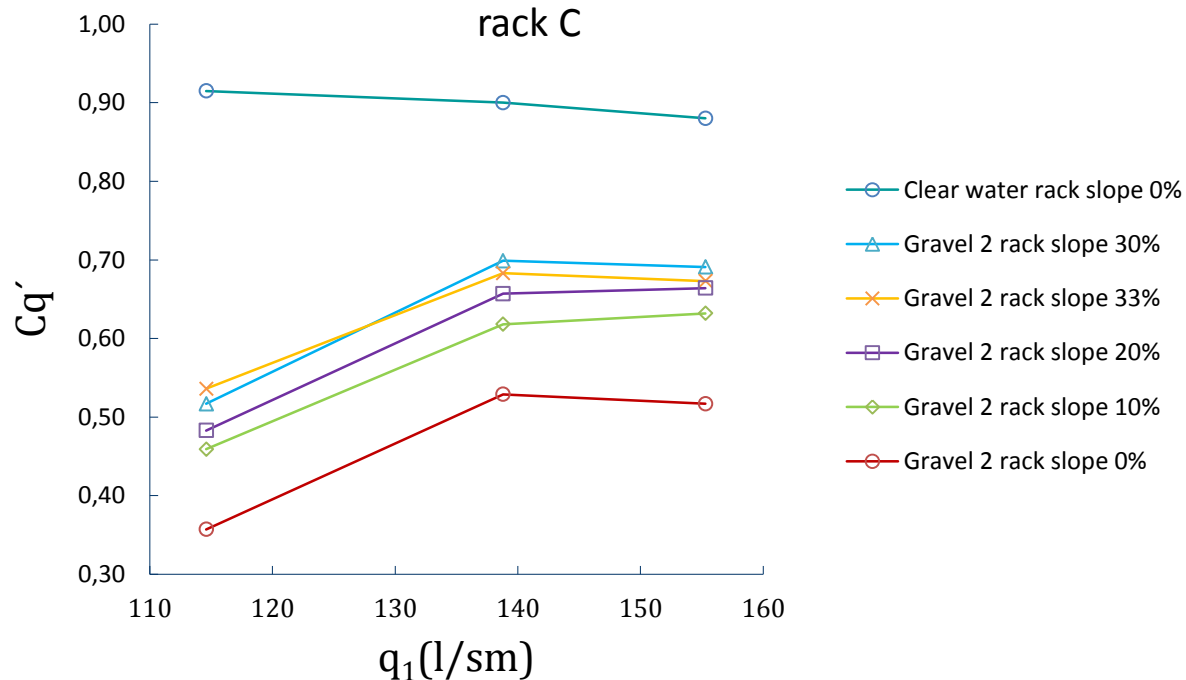
- Índice de huecos efectivo (m')





- Coeficiente de descarga efectivo (C_q')

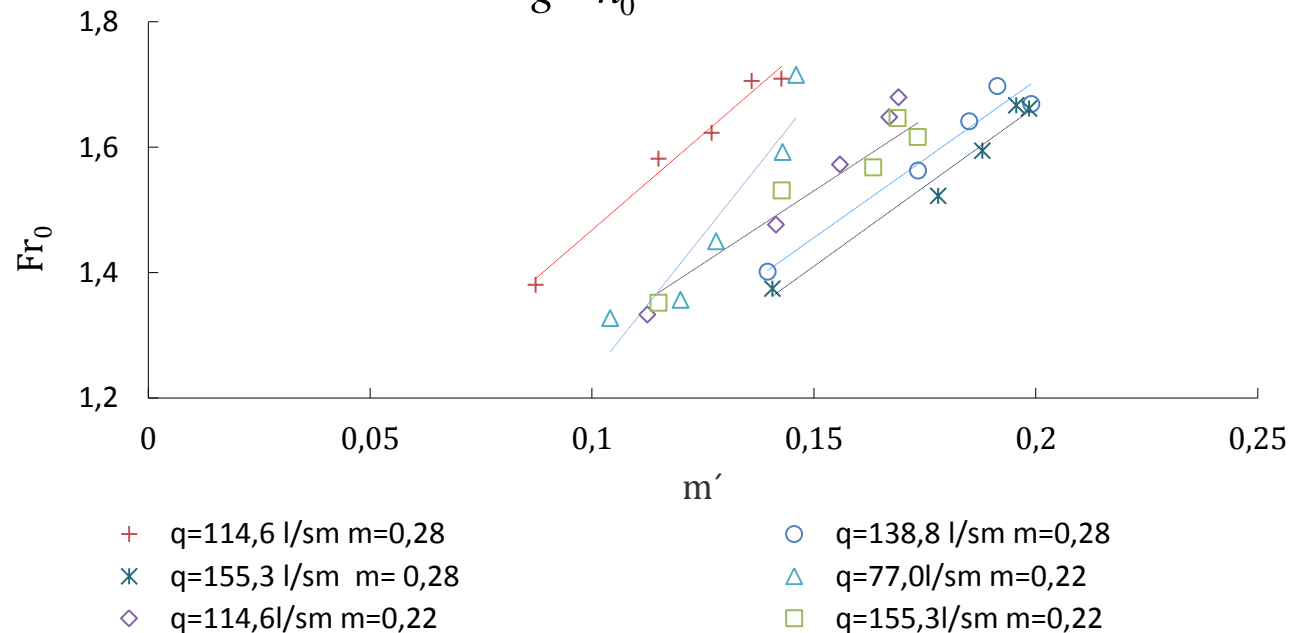
$$C_q' = \frac{m'}{m} \left[0.66 m'^{-0.16} \left(\frac{h}{l} \right)^{-0.13} \right]$$





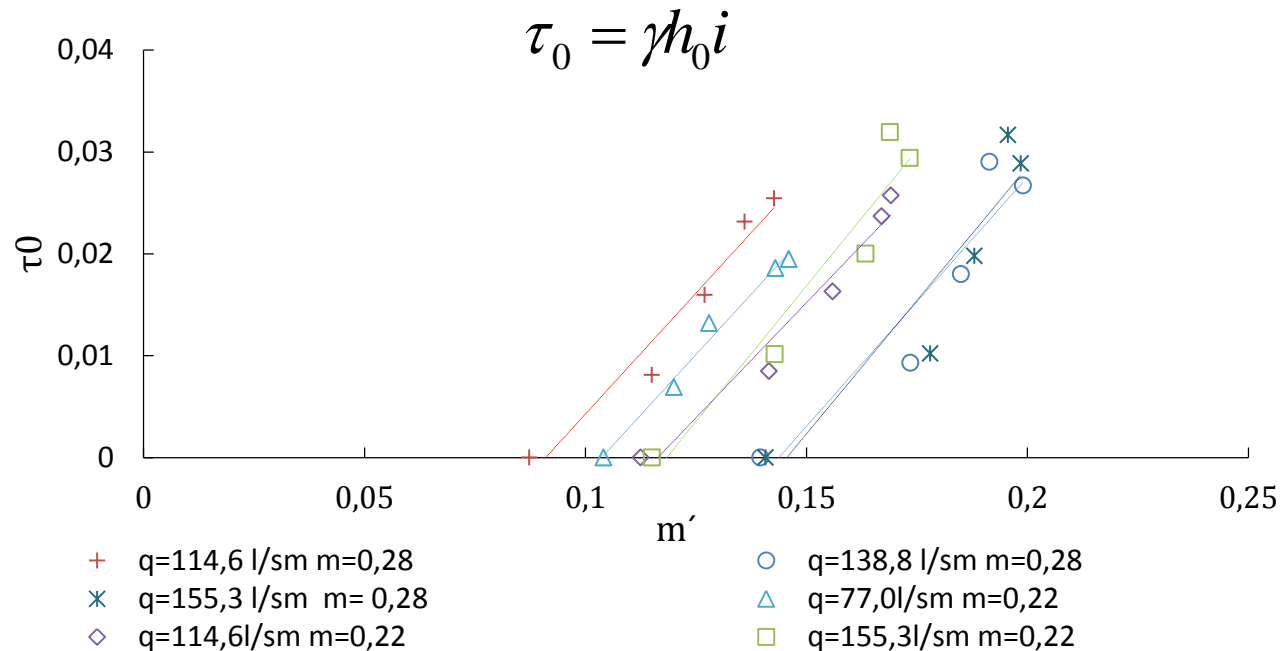
- Correlación entre índice de huecos efectivo (m') y número de Froude al inicio de la reja (Fr_0)

$$Fr_0 = \frac{q_1}{g^{1/2} h_0^{3/2}}$$



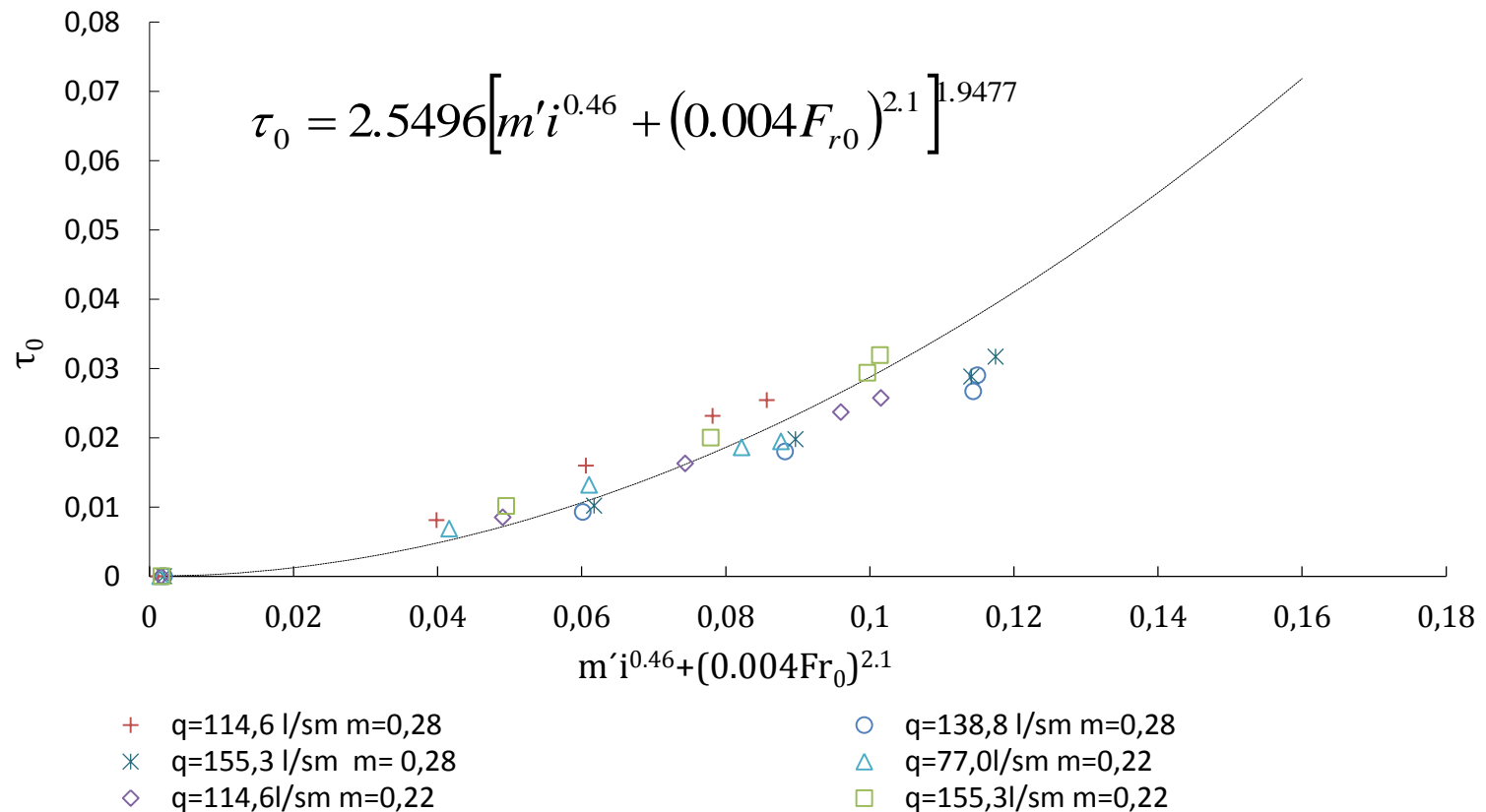


- Correlación entre el índice de huecos efectivo (m') y la tensión de corte al inicio de la reja (τ_0)



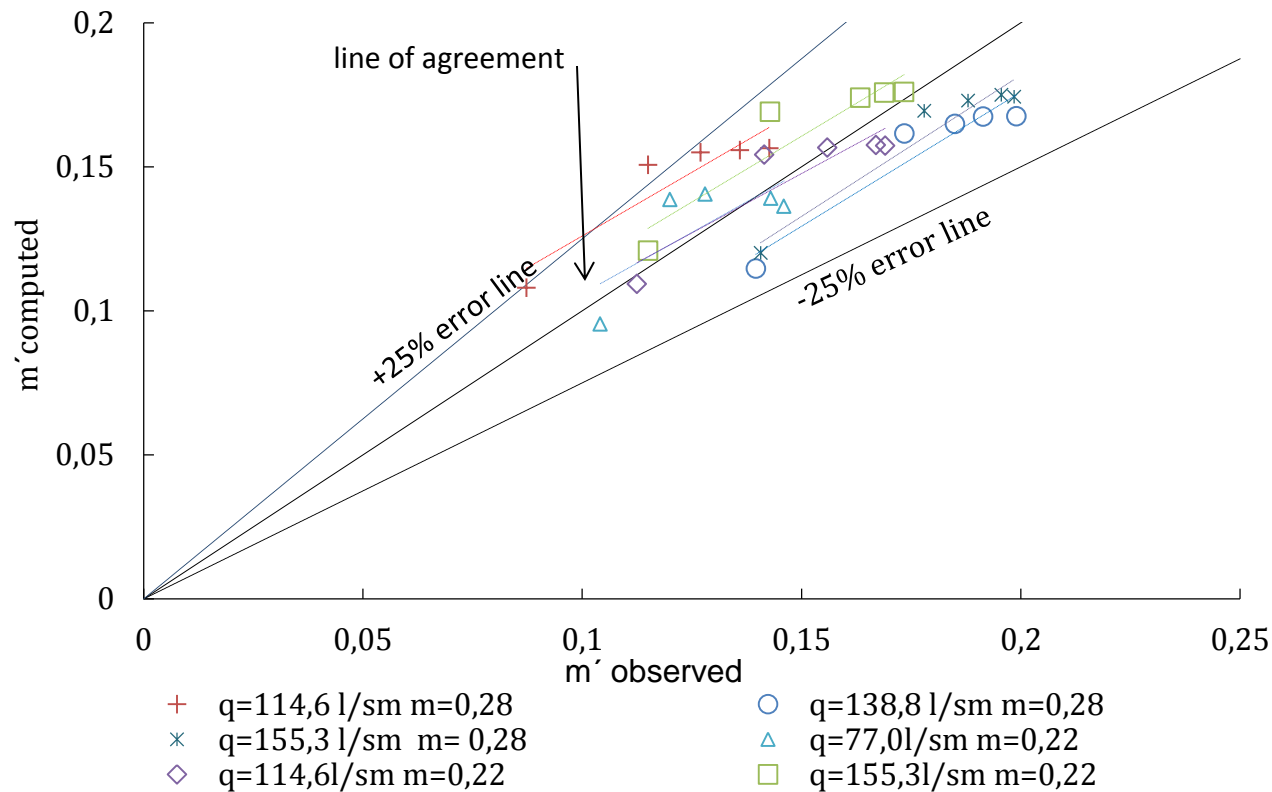


- Ajuste propuesto



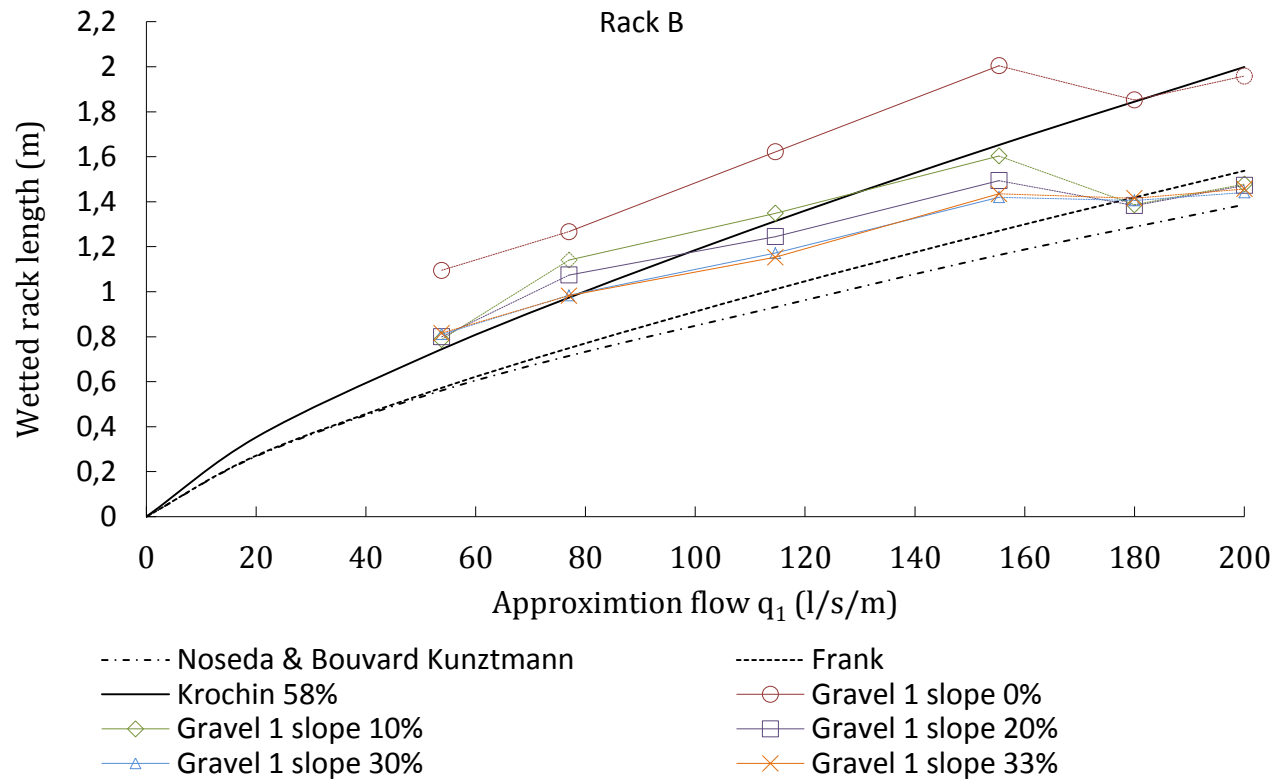


- Comparación entre valores observados y calculados



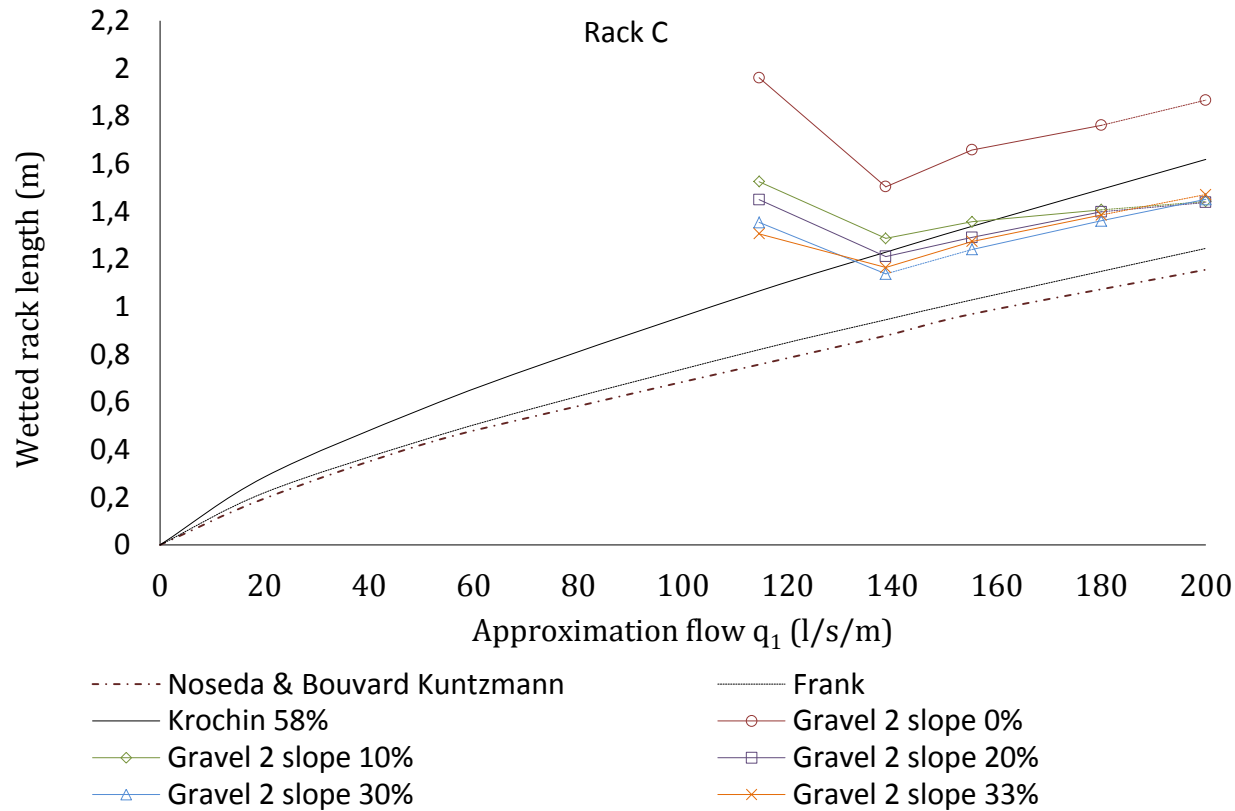


- Longitud de reja mojada observada y calculada:





- Longitud de reja mojada observada y calculada:

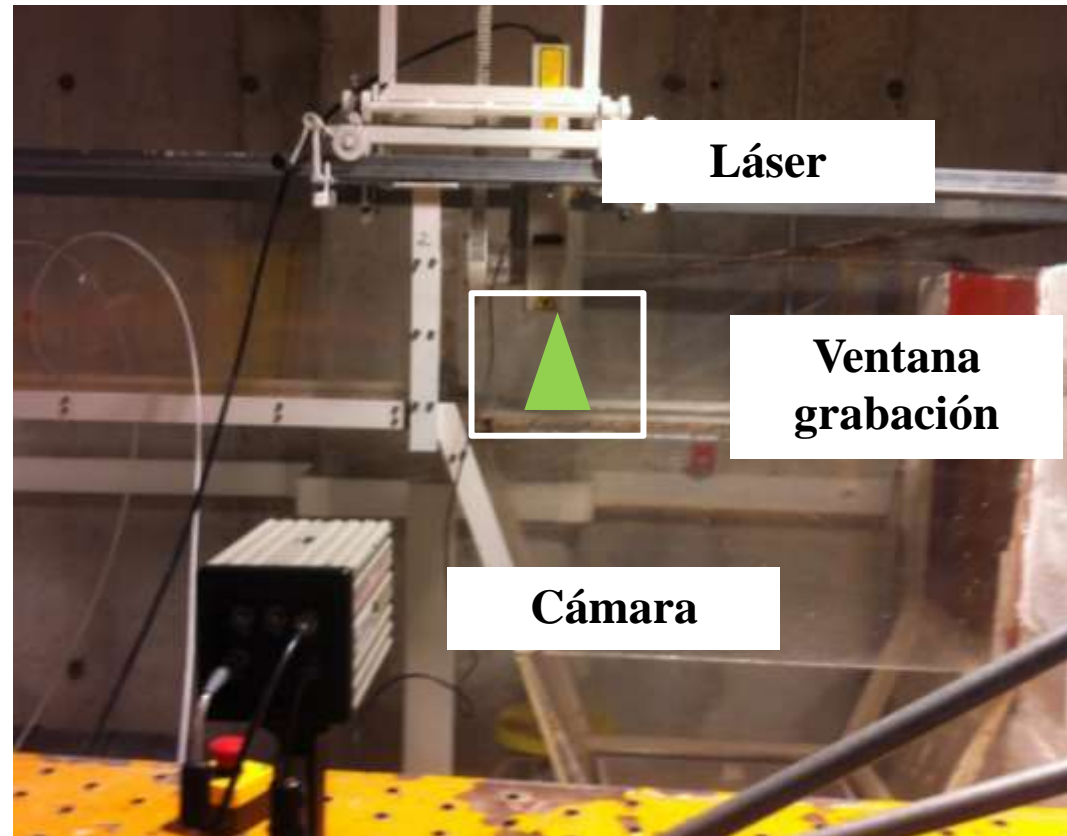




- ES NECESARIO LLEVAR A CABO ESTUDIOS EXPERIMENTALES PARA CUANTIFICAR LA INFLUENCIA DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN LOS SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE FONDO
- SE PROPONE UN AJUSTE POTENCIAL PARA CALCULAR LA INFLUENCIA DE LOS MATERIALES CUYO DIÁMETRO ES SUPERIOR AL ESPACIO ENTRE BARROTES
- EL INCREMENTO DE LA LONGITUD DE REJA NECESARIO PARA TENER EN CUENTA EL FENÓMENO DE OCLUSIÓN EQUIVALE A LA LONGITUD DE KROCHIN CON UN COEFICIENTE DE OBSTRUCCIÓN DEL 58%

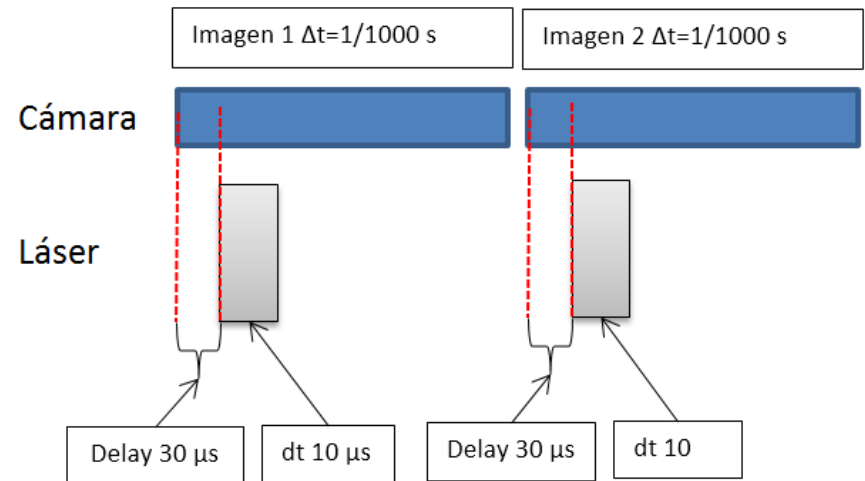
EQUIPO P.I.V. CEDEX

- Cámara (Motion Pro HS-3):
 - Distancia focal: 75 mm
 - Apertura del objetivo $D_a=1.8$
 - Resolución 520x520 pixeles
 - 8 bits \rightarrow 255 tonalidades
 - Distancia cámara : 1.2 m \rightarrow Ventana 16.1x16.1 cm
- Láser (OxfordLasers):
 - Delay= hasta 150 μ s
 - Duración destello hasta 10 μ s
 - Ancho del haz= 5.5 mm
 - Pico de potencia: 200 watts
 - Wavelength: 808 nm



CONFIGURACIÓN ADOPTADA MEDICIONES P.I.V.

- Características ensayo:
 - Velocidad máxima flujo: de 1.8 m/s
- Adoptamos:
 - $\Delta t = 1/1.000 \text{ s} = 1 \text{ ms}$
 - Delay láser = $30 \mu\text{s}$
 - Laser pulse: $10 \mu\text{s}$
 - $\Delta x \text{ máximo} \approx 1.8 \text{ m/s} \times 0.001 \text{ s} = 0.18 \text{ cm}$
 - $\text{Cm/pixel} = 16.1/520 \approx 0.031$
- Partículas sembradas tienen un tamaño de 100 micras que, sin considerar la superficie que las rodea debidas al reflejo de la luz láser, ocupan 1/3 de pixel.





- Particularidad Modelo Rejas UPCT:

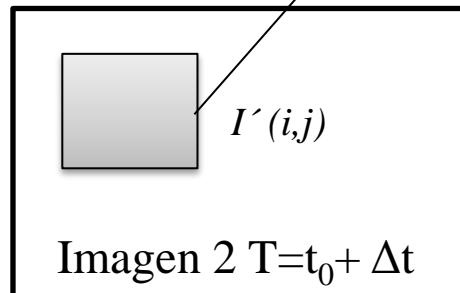
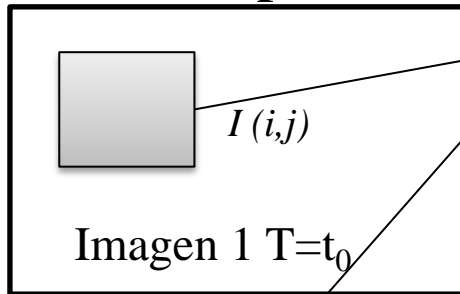
Volumen de agua superior a los $60 \text{ m}^3 \rightarrow$ Necesidad de sembrado localizado para alcanzar densidades de partículas suficientes.

Factor que condiciona la duración del ensayo notablemente



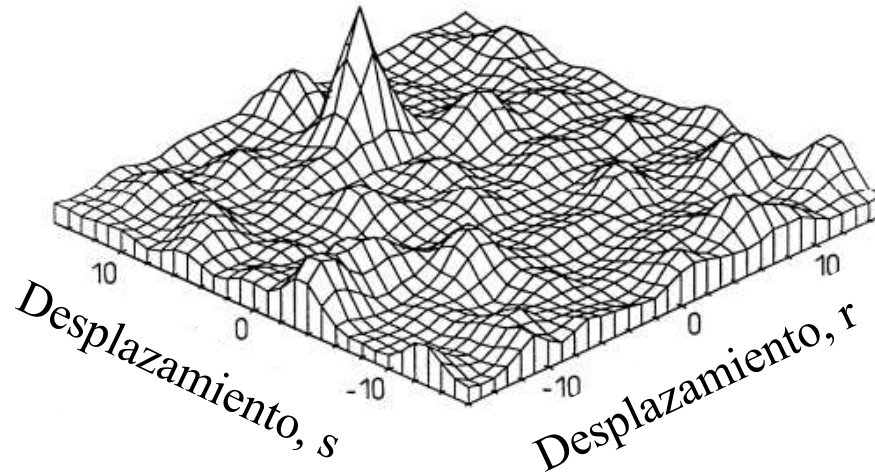
Tratamiento de pares de imágenes

Correlación cruzada directa (DCC) con una pasada para subventanas de 32x32 pixel:



$$C(r,s) = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [I(i,j) - \bar{I}] [I'(i+r, j+s) - \bar{I}']$$

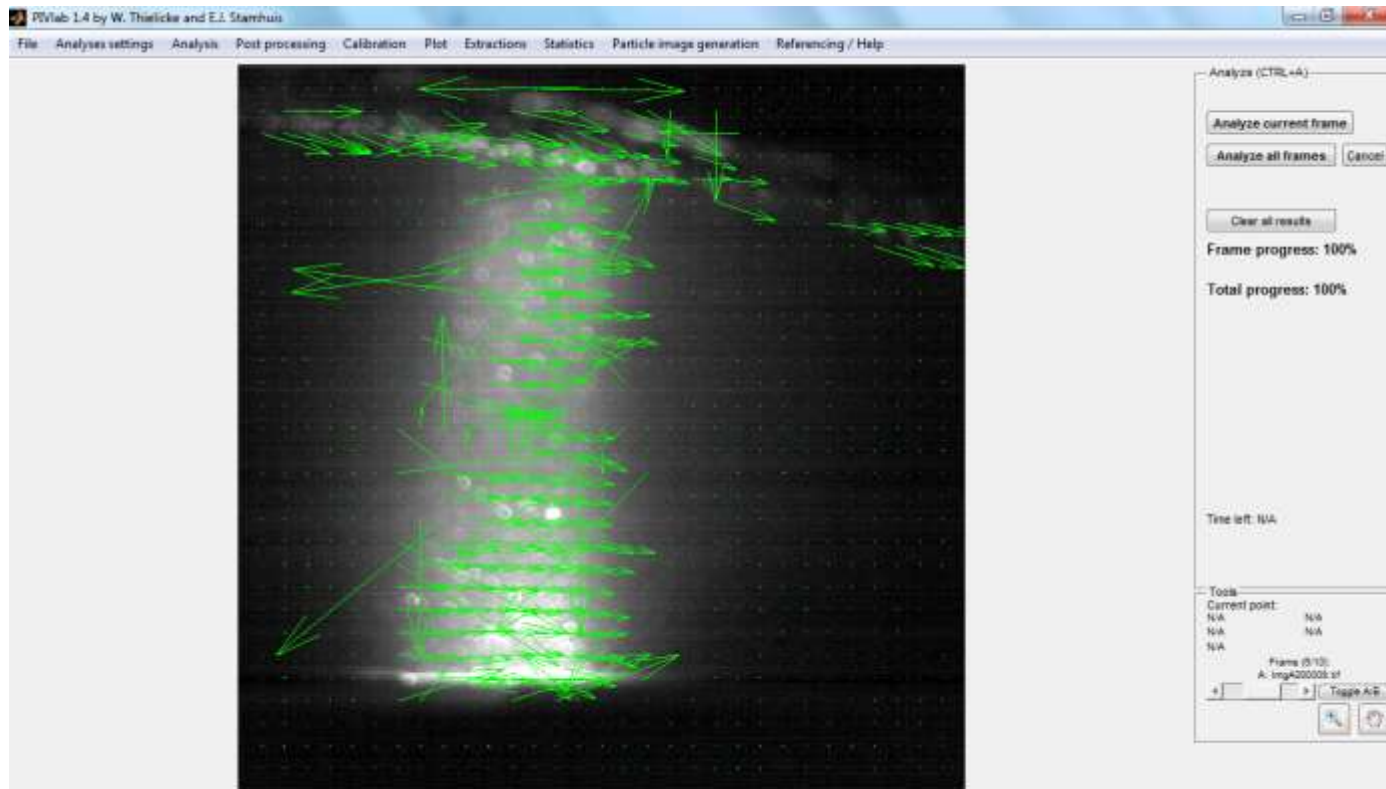
+ ajuste del pico a nivel sub-pixel con interpolación de Gauss 3 puntos



Donde: I, I' = matrices de intensidad de color; M, N ancho y alto ventanas de 32x32 pixel;

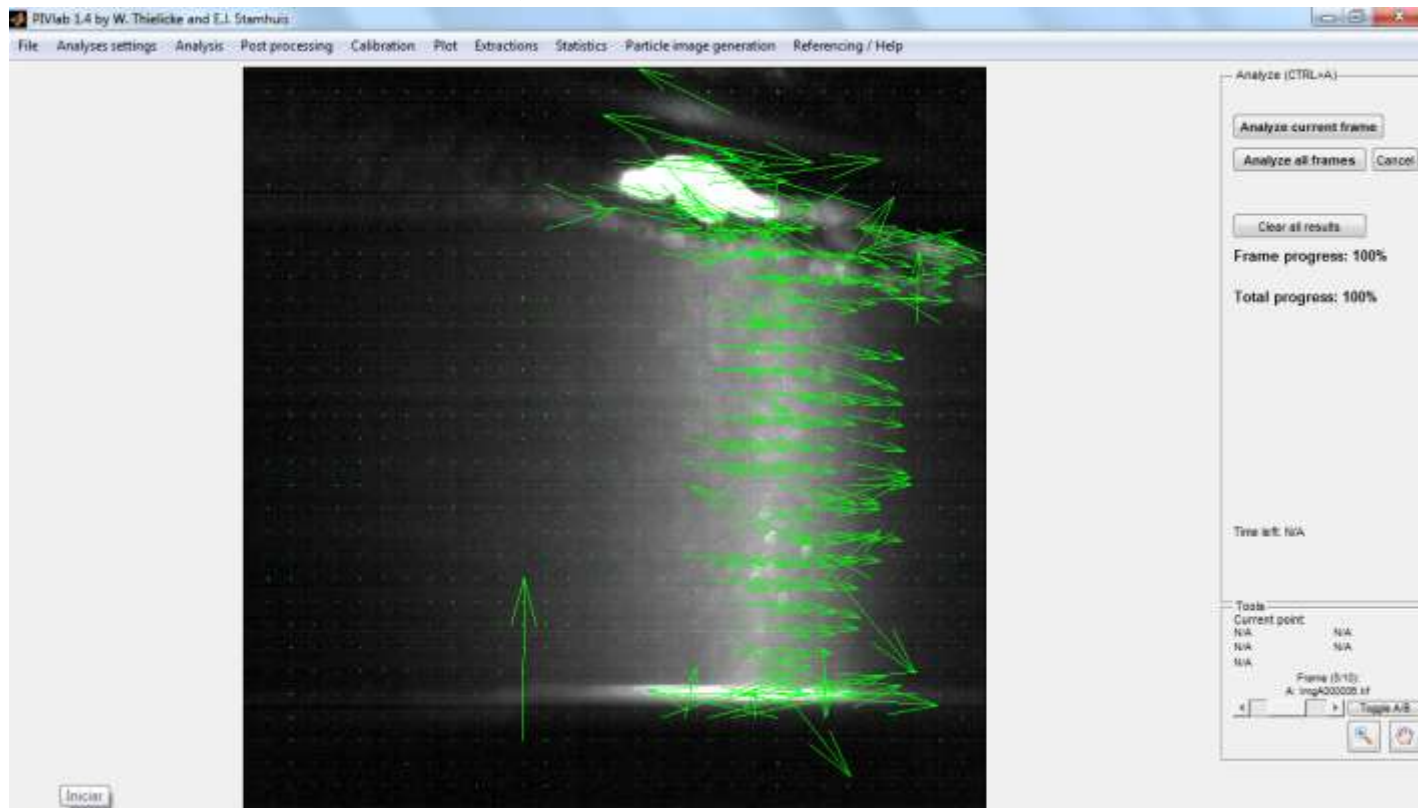


Vista correlación cruzada software uso libre PIV_lab (sobre Matlab)



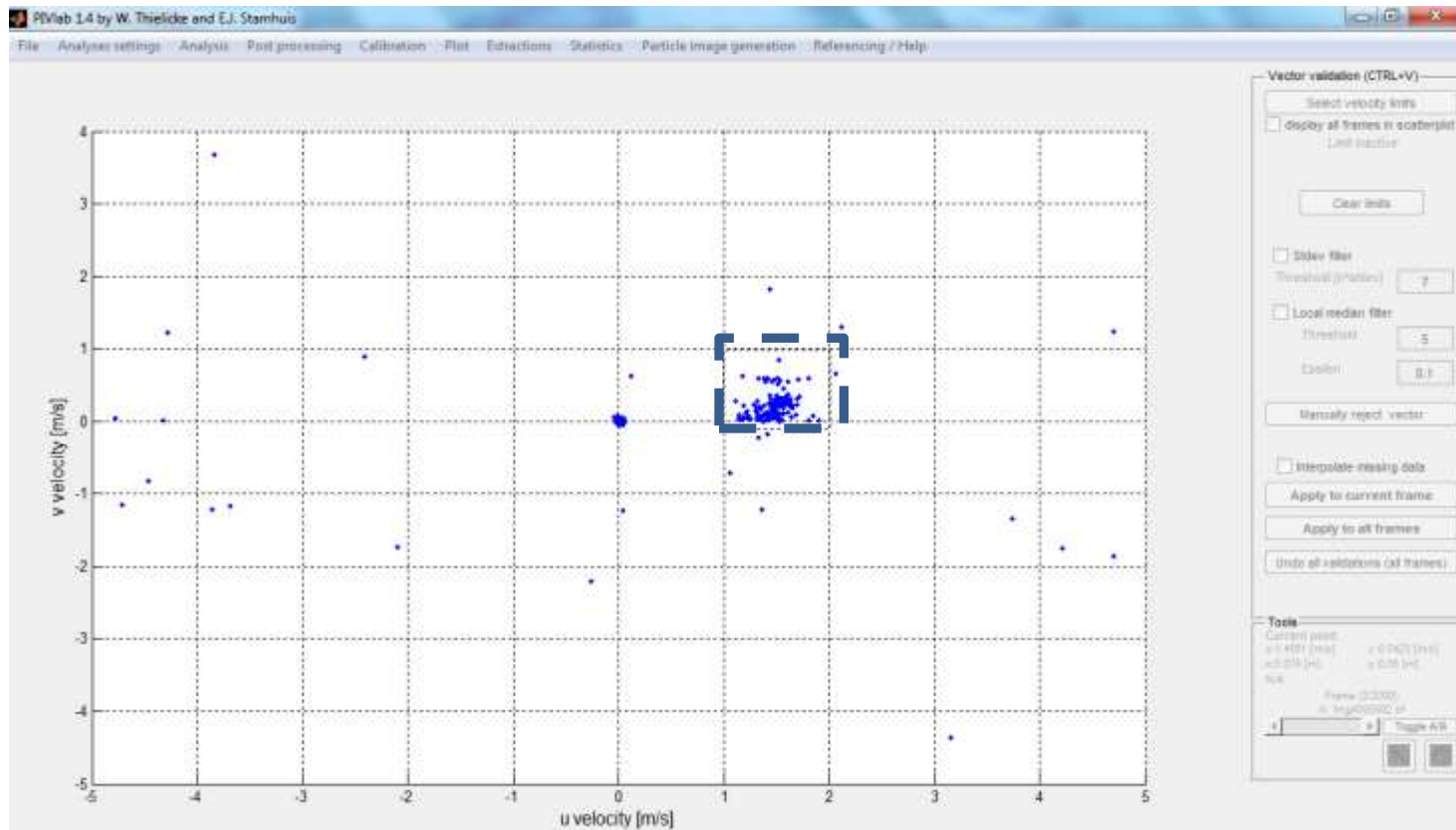


Vista correlación cruzada software uso libre PIV_lab (sobre Matlab)



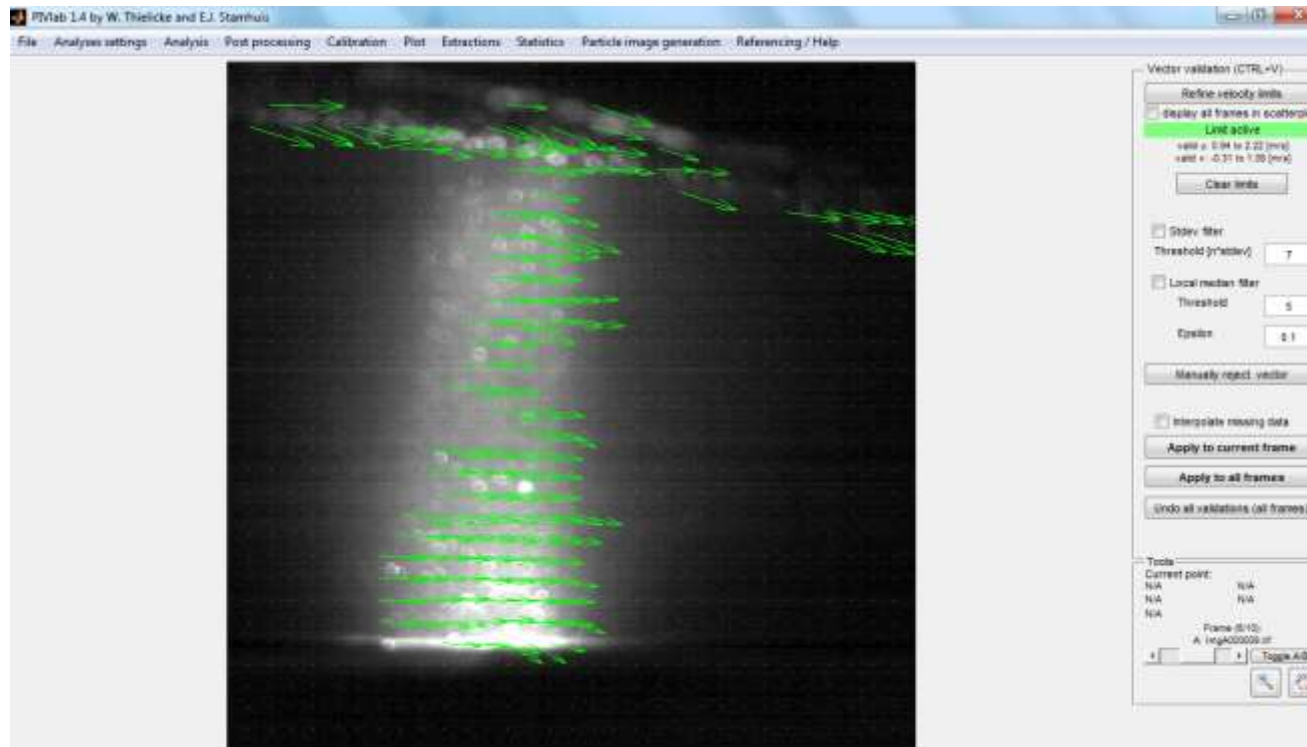


Filtrado por valores de velocidad esperados



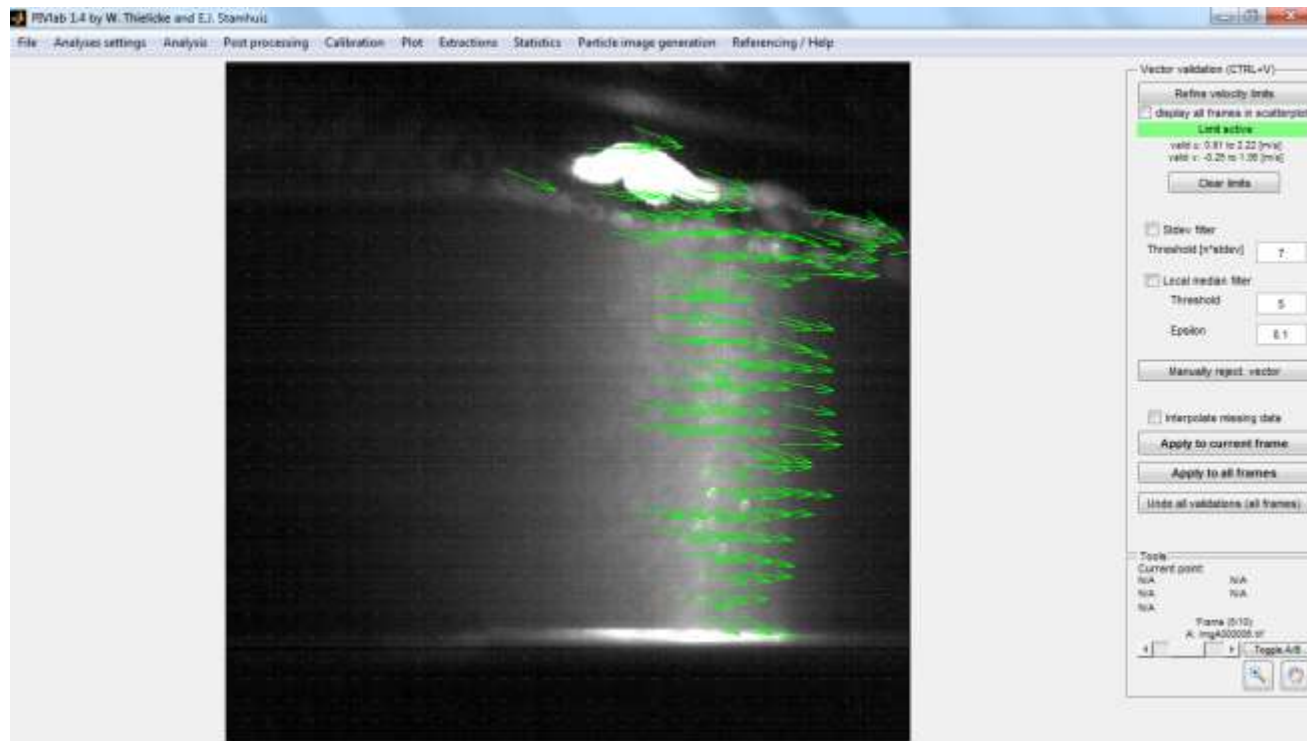


Vista resultado campo bidimensional de velocidades

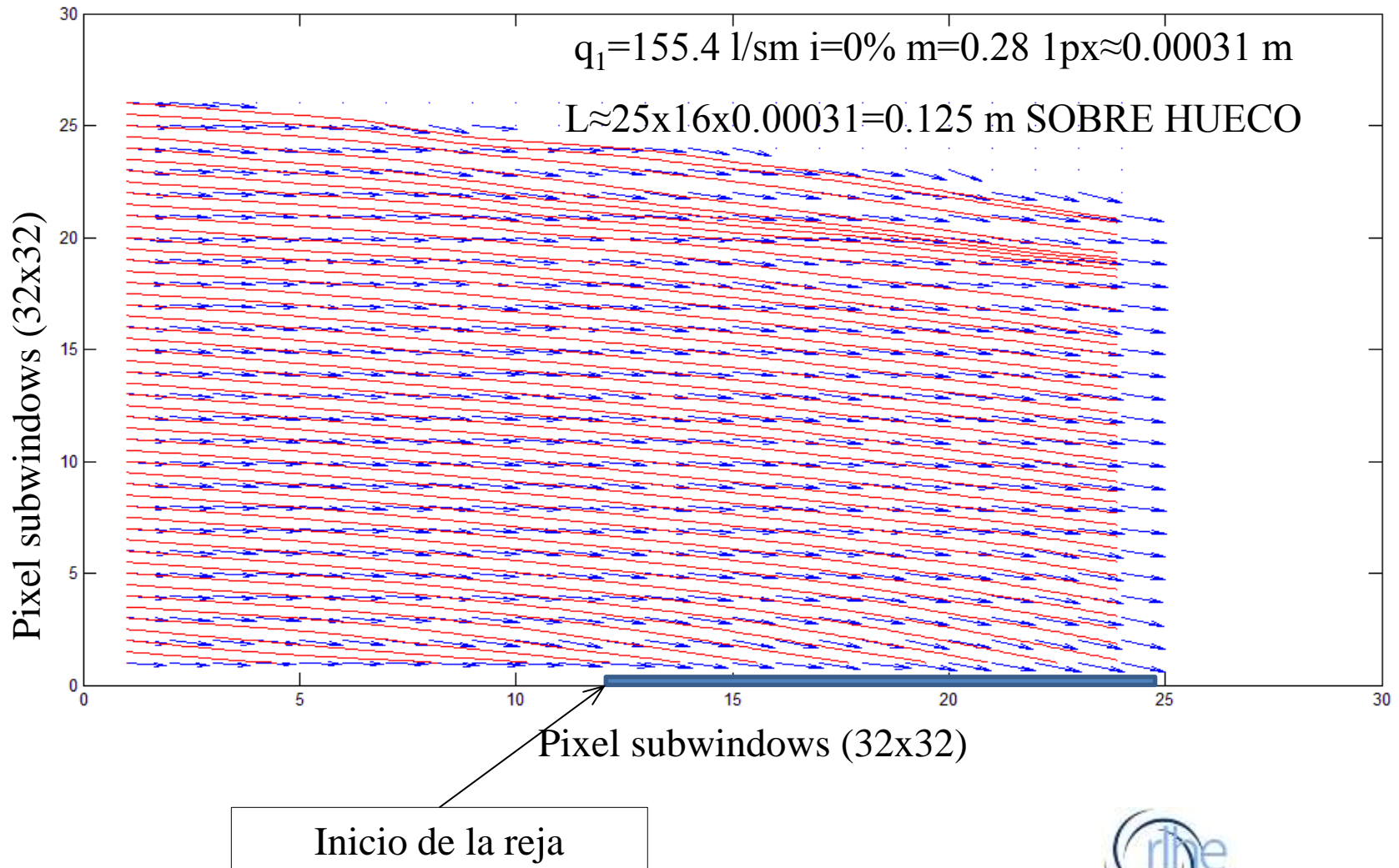




Vista resultado campo bidimensional de velocidades

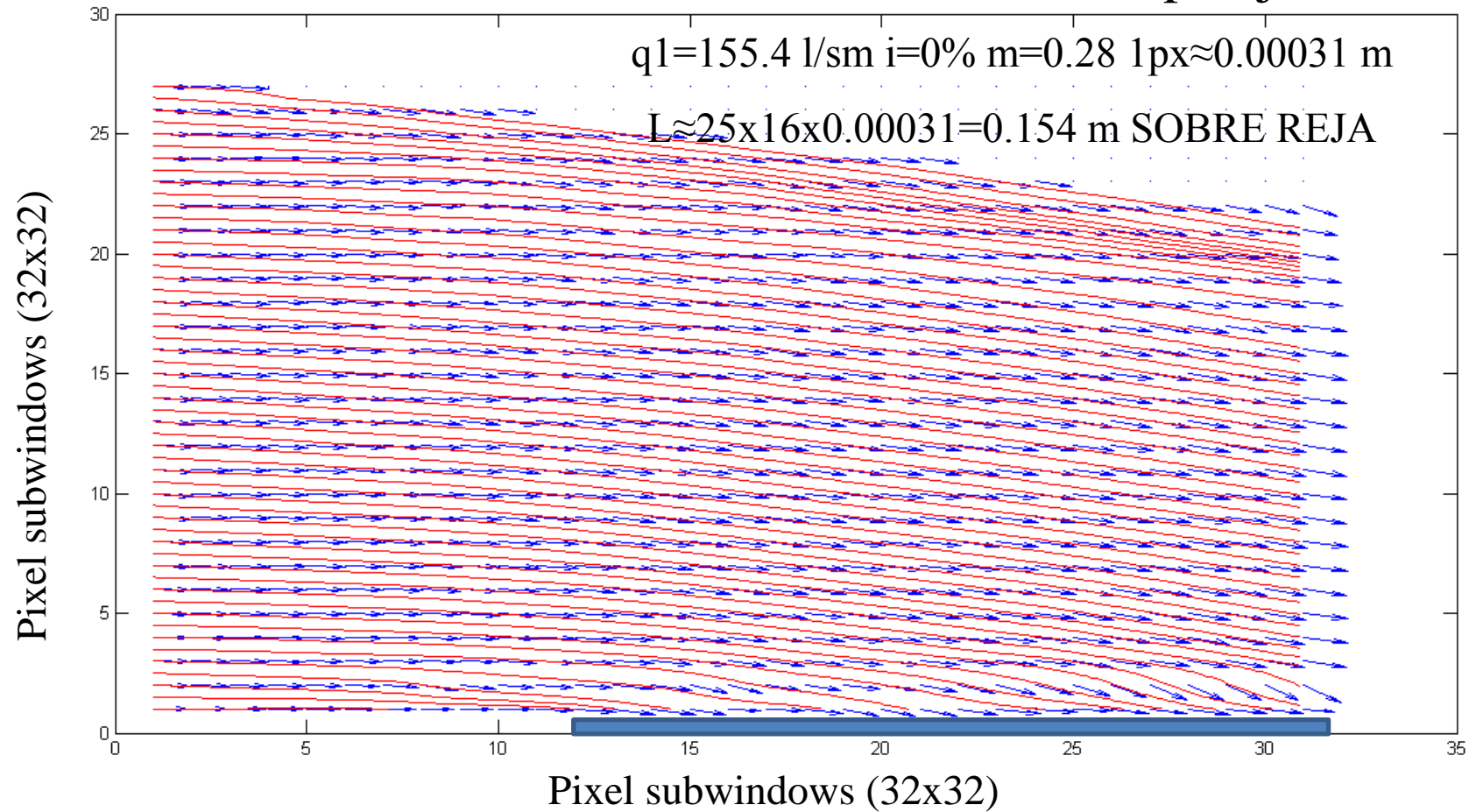


Trazado l.d.c. con datos calculados con 4.000 parejas de imágenes





Trazado l.d.c. con datos calculados con 4.000 parejas de imágenes





CONSIDERACIONES MEDICIONES P.I.V.

Tamaño total partículas (incluyendo difracción) 2-4 píxeles para evitar errores debido a pixel-locking y bias, con menor tamaño, e incremento de error de medida a mayor tamaño.

$$d_{\tau} \cong \left(M_0^2 d_p^2 + d_s^2 + d_a^2 \right)^{1/2}$$

$$d_s = 2.44(1 + M_0) f^{\#} \lambda$$

$$f^{\#} = f / D_a$$

$$M_0 = Z_0 / z_0$$

$$\frac{1}{Z_0} + \frac{1}{z_0} = \frac{1}{f}$$

Donde: d_{τ} = diámetro de la partícula incluyendo difracciones, aberración del objetivo; d_a = diámetro de la partícula aberrada; D_a = diámetro de la apertura de las lentes; d_s = diámetro límite de la partícula debido a la difracción; λ = longitud de onda de la luz $\approx 0.532 \mu\text{m}$; $f^{\#}$ =número de apertura de las lentes; f = distancia focal; M_0 = magnificación lateral; z_0 = distancia de la lente al plano de medición; Z_0 = distancia lente al plano de la imagen



CONSIDERACIONES MEDICIONES P.I.V.

Densidad de partículas, $cp \approx 0.01- 0.1$ partículas por pixel cuadrado para obtener una medición de calidad

Tamaño de ventana de interrogación en relación al número de píxeles de desplazamiento

$$|\Delta X| < \frac{1}{4} D_I$$

Minimizar partículas que salen de nuestro plano de medición en dirección perpendicular

$$|\Delta z| < \frac{1}{4} \Delta z_0$$

Donde: $\Delta \mathbf{X}$ = vector desplazamiento en el dominio de la imagen; $\mathbf{D_I}$ = ancho de la ventana de interrogación; Δz = desplazamiento out-of-plane; Δz_0 = espesor de la luz láser



CONSIDERACIONES MEDICIONES P.I.V.

Cumplimiento teorema del muestreo a escala espacial (ancho ventana de interrogación) y **temporal** (tasa de muestreo en función de fenómeno a registrar→ ¿turbulencia? Escala de tiempo de Kolmogorov).

Aleatoriedad del error: mediciones separadas al menos dos veces la escala temporal completa (que las mismas partículas abandonen la ventana de interrogación)

$$T = l/U$$

Número de muestras representativas que cumpla con prueba t-student para 95%

$$2 \frac{\text{var}\{\tilde{u}\}^{1/2}}{U} \approx N_F^{-1/2}$$

Donde: T=escala temporal; l= ancho ventana interrogación; U= velocidad del flujo;
var{u}= varianza del vector velocidad medido;



Grupo I+D+i Ing. Hidráulica, Marítima y Medio Ambiental
Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT)



GRACIAS

**Junio 2015. VIII Seminario RLHE sobre las Líneas
Prioritarias de Investigación de la Red**

