

## **DETERMINACIÓN DEL CAMPO DE VELOCIDADES EN UN REACTOR**

**Lanza Verónica**

*Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas - Ciudad Universitaria, Ruta Nacional nº 168, Santa Fe,  
Argentina.*

**Área temática:** Ingeniería

**Sub-área:** Recursos Hídricos

**Grupo:** X

**Palabras claves:** reactor, velocidad, Flowtracker.

### **INTRODUCCIÓN**

El estudio en campo del transporte de sedimentos fluviales en condiciones de flujo turbulento, es una tarea compleja debido a las diversas escalas espaciales en que se presentan las variables características de los cauces aluviales. Por este motivo, se ha diseñado, construido y puesto en funcionamiento un reactor cilíndrico de mezcla completa, que permite realizar ensayos de laboratorio en condiciones controladas y así poder obtener mediciones de variables con mayor facilidad que las registradas en trabajos de campo en el río Salado cercano a la localidad de Esperanza. El empleo de reactores para el estudio de flujos turbulentos con sedimentos finos ha sido documentado con amplitud en Ives and Bohle (1977), Coufort et al. (2005), Kumar et al. (2010), entre otros.

El reactor consiste en un tubo cilíndrico de acrílico transparente de 0.4 cm de espesor, 19.5 cm diámetro (D) y 39.5 cm de altura (H) que se apoya sobre una base de acrílico de 31 cm de diámetro. Para generar el movimiento rotacional, se cuenta con dos paletas de acero de 10 y 14 cm de longitud (d) las cuales se fijan al eje del motor mediante un tornillo de ajuste. El motor es trifásico de marca Siemens con una potencia de 0.25 HP regulado por un convertidor compacto de compensación automática cuya alimentación es monofásica y con una frecuencia de salida de hasta 400 Hz. Este permite asignar al motor la frecuencia requerida por el usuario. A partir de la regulación de la frecuencia del motor es posible variar la velocidad de rotación de la paleta y de esa forma lograr las condiciones hidrodinámicas deseadas.

El equipo permite la generación de flujos turbulentos dentro de un volumen de control, caracterizados por variables típicas como por ejemplo velocidad angular ( $\omega$ ), gradiente de velocidad (G), número de Reynolds (Re), velocidad de corte ( $u^*$ ), entre otras, específicas de corrientes naturales de interés (Lanza & Zenclussen, 2015).

### **OBJETIVOS**

Determinar y verificar el campo de velocidades del reactor para representar la dinámica de transporte de sedimentos bajo condiciones de turbulencia características del río Salado en período de crecida. Los resultados obtenidos permitirán abrir diversas líneas de estudio: la relación entre turbiedad y concentración de sedimentos, la distribución de diversos tamaños de flóculos, la interacción entre el trazador fluorescente Amidorodamina G y los sedimentos, entre otras, que permitirán comprender el fenómeno de dispersión de constituyentes en corrientes naturales en general.

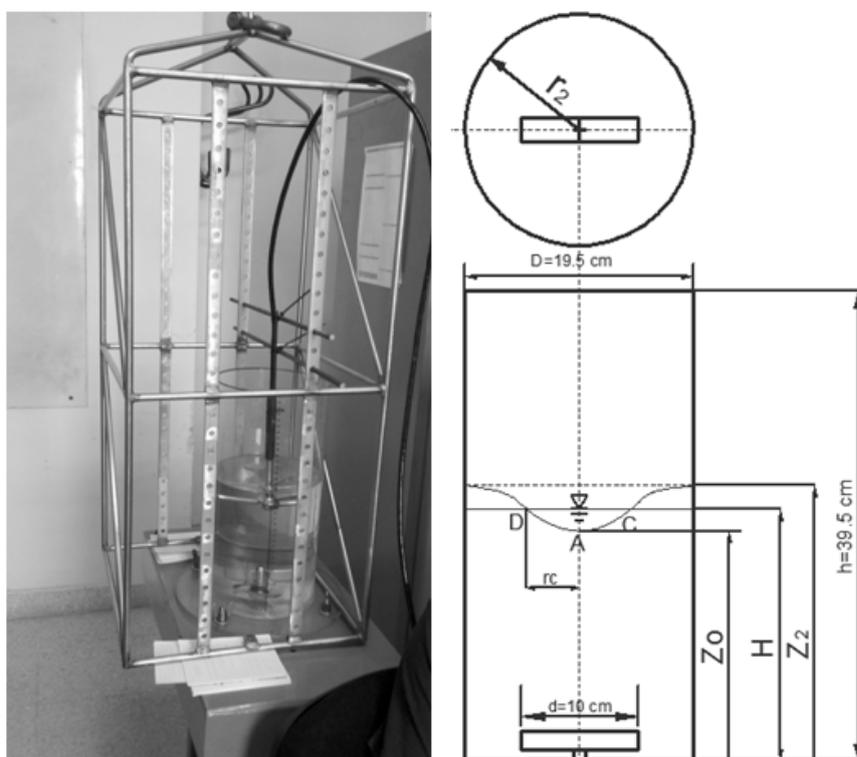
Proyecto: CAI+D 2011 Transporte de sedimentos finos en ambientes fluviales. Análisis, mediciones, floculación y simulación numérica. Director: Alfredo Trento. - Director de práctica de investigación: Alfredo Trento. Co-director de práctica de investigación: Lucas Palman.

## METODOLOGÍA

### Determinación del campo de velocidades

Para la determinación de velocidades dentro del reactor se realizaron mediciones con un equipo *FlowTracker* (Sontek) de tecnología acústica *Doppler* que permite registrar velocidades puntuales de corriente en 2D. Consta de un emisor acústico (que envía pulsos) y dos receptores que reciben las señales reflejadas en el medio y las transforman en velocidad de la corriente (Sontek, 2009).

Se colocó el *FlowTracker* sobre un soporte que garantizaba la verticalidad dentro del reactor sujetado a una barra graduada al centímetro. Dicha barra se podía desplazar en forma horizontal a lo largo del radio del reactor ( $r_2$ ). Se trabajó en un rango de revoluciones por minuto (N) comprendidas entre 100 y 200 rpm (**Figura 1**).



**Figura 1:** Reactor con equipo *FlowTracker* sujeto a bastidor (izquierda) y esquema representativo (derecha).

Se realizaron mediciones de velocidad radial ( $V_r$ ) y tangencial ( $V_t$ ) en distintos radios ( $r$ ): 7.5, 8, 8.5, 9, 9.5 y 9.7 cm y sobre cinco planos establecidos a diferentes alturas ( $Z$ ): 10, 12, 15 y 18 cm medidas desde la base del reactor.

Según Nagata (1975), la porción central del reactor (DAC, en **Figura 1**), rota a una velocidad angular constante ( $\omega$ ), sin gradiente de velocidad. Esto significa que el líquido se mueve como un cilindro sólido de radio  $r_c$ . En base a esto, se calcularon los valores de velocidad tangencial ( $V_t'$ ) utilizando las siguientes **Ecuaciones 1 y 2**:

$$\text{Si } r \leq r_c \quad V_t' = r \omega \quad (1)$$

$$\text{Si } r \geq r_c \quad V_t' = \frac{\omega r_c^2}{r} \quad (2)$$

Donde el valor de  $r_c$ , se determinó siguiendo dos metodologías:

1. Utilizando las siguientes **Ecuaciones 3 y 4**:

$$k = \frac{2g}{\omega^2} (Z_2 - Z_0) \quad (3)$$

$$r_c = \sqrt{r_2 \left( r_2 - \sqrt{r_2^2 - k} \right)} \quad (4)$$

donde:  $k$  es un parámetro de cálculo [ $m^2$ ];  $g$  es la aceleración de la gravedad ( $9.8 \text{ m/seg}^2$ );  $\omega = \frac{N \pi}{30} \left[ \frac{\text{rad}}{\text{seg}} \right]$ ;  $Z_2$  es la altura de agua medida sobre la pared del cilindro para una determinada  $\omega$  [ $m$ ];  $Z_0$  es la altura al vórtice [ $m$ ];  $r_2$  es el radio del reactor [ $m$ ].

2. Utilizando la siguiente **Ecuación 5**:

$$\left( \frac{H - Z_0}{r_2^2} \right) \left( \frac{g}{\omega^2} \right) = y^2 - y^4 \left[ 2.303 \log \left( \frac{1}{y} \right) + \frac{3}{4} \right] \quad (5)$$

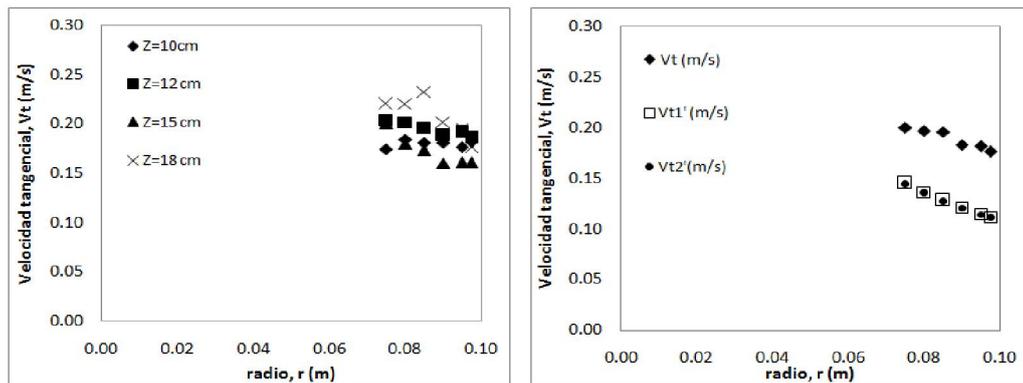
donde:  $H$  es la altura inicial del volumen de agua [ $m$ ] e  $y$  es una variable de cálculo. Se calculó el lado derecho de la ecuación (5) con el que se ingresó a un ábaco (Nagata, 1975) y se obtuvo la relación  $y=r_c/r_2$ . Posteriormente, con  $r_2$  e  $y$ , se obtuvo  $r_c$ . En función del valor de  $r_c$ , obtenido con ambas metodologías, se hallaron las velocidades tangenciales ( $V_{t1}'$ ) y ( $V_{t2}'$ ), respectivamente.

### Medición del vórtice

Para medir la altura al vórtice ( $Z_0$ ), se empleó una varilla graduada al milímetro. La diferencia entre la altura total del reactor ( $H=39.5 \text{ cm}$ ) y la medición obtenida en la varilla, permitió obtener la altura al vórtice ( $Z_0$ ).

## RESULTADOS

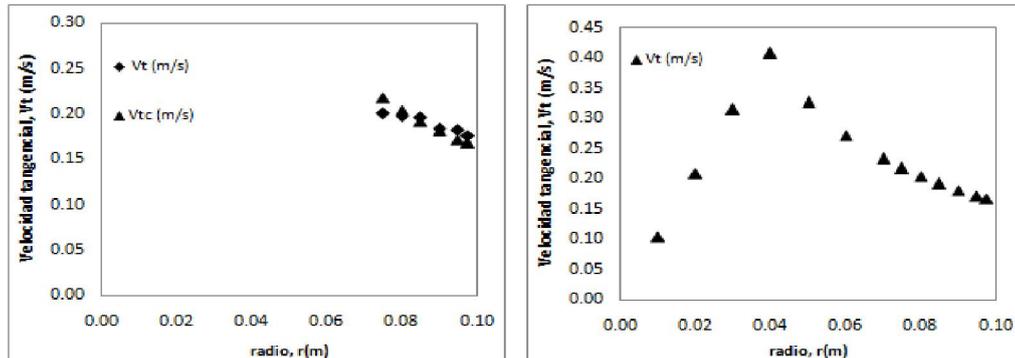
A continuación se presentan los valores de velocidad tangencial medidos con *FlowTracker* y los determinados mediante la expresión (2). El valor de  $r_c$  para  $N=100 \text{ rpm}$ , obtenido por ambas metodologías, fue de  $0.032 \text{ m}$  (**Figura 2**).



**Figura 2:**  $r$  vs.  $V_t$  para  $N=100 \text{ rpm}$  (izquierda), comparación de valores medidos ( $V_t$ ) y calculados  $V_{t1}'$  y  $V_{t2}'$  (derecha).

Los valores de velocidades tangenciales medidos con *FlowTracker* ( $V_t$ ) fueron aproximadamente iguales, lo que significa que en la zona de medición el agua se mueve como un sólido, tal como lo describe Nagata (1975).

Se observa además, que los valores de velocidad que se midieron con *FlowTracker*, para  $r < r_c$ , difieren de los calculados ( $V_{t1}$  y  $V_{t2}$ ) aproximadamente un 30% en el orden del centímetro. Analizando la dependencia de  $r_c$  con las variables  $r_2$ ,  $\omega$ ,  $Z_2$  y  $Z_0$ , se determinó que la variable que generaba mayor incertidumbre en su medición era  $Z_0$ . Esto se debe a la inestabilidad del vórtice producida por fluctuaciones en dirección vertical y horizontal. Para verificar la sensibilidad de dicha variable, se realizaron ajustes de la misma mediante el procedimiento de prueba y error. Con el valor modificado de  $Z_0$ , se calculó  $r_c$  con la metodología (1) y el correspondiente valor de velocidad tangencial corregida ( $V_{tc}$ ), para todos los  $r \geq r_c$ . En la **Figura 3**, se muestra la distribución de velocidades tangenciales dentro del reactor determinada con la **Ecuación (1)**, para valores de  $r \leq r_c$ .



**Figura 3:** comparación de  $V_t$  y  $V_{tc}$  (izquierda); distribución de velocidad tangencial en un reactor (derecha).

La diferencia entre valores de velocidad tangencial medidos con *FlowTracker* y los calculados por la expresión (2), se redujo a un error del 5%, en el orden del centímetro.

## CONCLUSIONES

Se verificó la hipótesis de Nagata (1975) en cuanto a que  $V_t = r\omega$ , para  $r \leq r_c$ .

$r_c$  es sensible a cambios de  $Z_0$ , lo que es mayor a más rpm debido a que se potencian los efectos de inestabilidad del vórtice.

La precisión obtenida en el cálculo de  $r_c$  con la metodología (1) fue superior a la metodología (2).

La diferencia entre los valores de velocidad tangencial medidos y los calculados, se deben a las dificultades presentadas en la medición de  $Z_0$ .

## BIBLIOGRAFÍA

- Coufort C., Bouyert D. and Linè A.**, 2005, Flocculation related to local hydrodynamics in a Taylor-Couette reactor in a jar. *Chemical Engineering Science*, 60, 2179-2192.
- Ives K. J. and Bhole A. G.**, 1977, Study of FlowthroughCouetteFlocculators - II. Laboratories Studies of Flocculation Kinetics. *Water Research*, 11, 209-215.
- Kumar R. G., Strom K. B. and Keyvani A.**, 2010, Floc properties and settling velocity of San Jacinto estuary mud under variable shear and salinity conditions. *Continental Shelf Research*, 30, 2067–2081.
- Lanza V., Zenclusen C.**, 2015. Ensayos con un reactor y mediciones de velocidad. XIX Encuentro de Jóvenes Investigadores, Santa Fe.
- Nagata S.**, 1975, *Mixing: principles and applications* halsted press wiley, chichester.
- Sontek.**, 2009. *FlowTracker HandHeld ADV Technical Manual Firmware 3.7 Software Version 2.30*. San Diego, USA.