

# CALIBRACIÓN DEL *PARTICLE ENTRAINMENT SIMULATOR* PARA REALIZAR ENSAYOS DE SIMULACIÓN DE DRAGADO Y EVALUAR CAMBIOS EN CALIDAD DEL AGUA

Valeria Rodríguez Salemi<sup>1\*</sup>, Marisol Reale<sup>1</sup>, Hernán Vassallo<sup>2</sup>, Gustavo Curutchet<sup>3</sup> y Agnès Paterson<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Subgerencia Centro de Tecnología del Uso del Agua y <sup>2</sup>Subgerencia Laboratorio de Hidráulica ambos del Instituto Nacional del Agua;

<sup>3</sup>Escuela de Hábitat y Sostenibilidad, Universidad Nacional de San Martín y <sup>4</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires.

Argentina. \*vsalemi@ina.gov.ar

## Resumen

Los sedimentos suelen ser reservorios de contaminantes pudiendo convertirse en fuente de dispersión de los mismos. Es por esto que cuando el material a dragar se encuentra contaminado, resulta fundamental realizar una evaluación del impacto que esta actividad puede generar. El *Particle Entrainment Simulator* (PES) es un dispositivo experimental utilizado para evaluar los efectos de la resuspensión de sedimentos que permite el monitoreo de la columna de agua por inspección directa e induce la resuspensión a tensiones de corte ( $\tau$ ) conocidas. El objetivo de este trabajo fue verificar el funcionamiento de un PES de construcción propia, a través de la calibración de  $\tau$  en función de los rpm de giro del motor. Se realizaron ensayos en el PES con 5 diámetros de arenas pretratadas (lavadas y tamizadas) en una relación arena:agua destilada 1:4,21 (V:V) y por triplicado. Se determinó el valor de rpm en el cual se observó la iniciación de movimiento para cada diámetro, siendo los valores de tensión de corte crítica ( $\tau_{cr}$ ) estimados a partir de la curva de Shields modificada (van Rijn, 1993). Posteriormente, se generó la curva de  $\tau$  en función de rpm. La curva de calibración presentó un  $r^2$  de 0.998 y los porcentajes de recuperación de los predichos frente a los observados se encontraron entre los 97 y 104%. Los resultados se compararon con los obtenidos en el PES de USACE (Parchure y Gailani, 2005) que fue calibrado con un canal anular. La diferencia porcentual entre los predichos por la calibración USACE y la propia fueron menores al 3%. En conclusión, se verifica el correcto funcionamiento del PES construido, con el cual se espera realizar simulaciones de dragado con sedimento y agua de un sitio real para predecir la composición de la columna de agua durante el dragado. Esta predicción resulta de suma importancia, la misma podría mejorar la gestión de la actividad en lo que respecta al monitoreo de la calidad del agua, cobrando mayor relevancia en aquellos cursos cuyo uso principal es el de abastecimiento de agua para consumo.

## Introducción

El *Particle Entrainment Simulator* (PES) es un dispositivo experimental utilizado para evaluar los efectos de la resuspensión de sedimentos que permite el monitoreo de la columna de agua por inspección directa e induce la resuspensión a tensiones de corte ( $\tau$ ) conocidas (Parchure y Gailani 2005). Comparado con otros métodos utilizados para evaluar los efectos de la resuspensión de sedimentos, tiene la ventaja de permitir el monitoreo de la columna de agua por inspección directa y la resuspensión del sedimento a tensiones de corte conocidas. Ha demostrado ser una importante herramienta para evaluar movilidad de contaminantes en el sistema agua:sedimento (Cantwell, Burgess, y Kester 2002; Li et al. 2016; Parchure y Gailani 2005; Wang et al. 2015).

El objetivo de este trabajo fue verificar el funcionamiento de un PES de construcción propia, a través de la calibración de  $\tau$  en función de los rpm de giro del motor. Esta validación es muy importante para asegurar el funcionamiento correcto del equipo y la reproducción de las tensiones de corte deseadas.

## Materiales y Métodos

El PES consiste en un cilindro de acrílico con un disco perforado

(Figura 1) que posee un movimiento vertical de tipo pistón controlado por un motor de velocidad variable con un rango de trabajo de  $\tau$  que va desde 0.2 a 0.6 Pa. Para operarlo se debe colocar en el fondo del cilindro la muestra de sedimento y luego colocar un determinado volumen de muestra de agua para asegurarse una relación agua:sedimento (V:V) cercana a 4:1. El movimiento de ascenso y descenso del disco genera la resuspensión del sedimento y es posible monitorear la columna de agua.

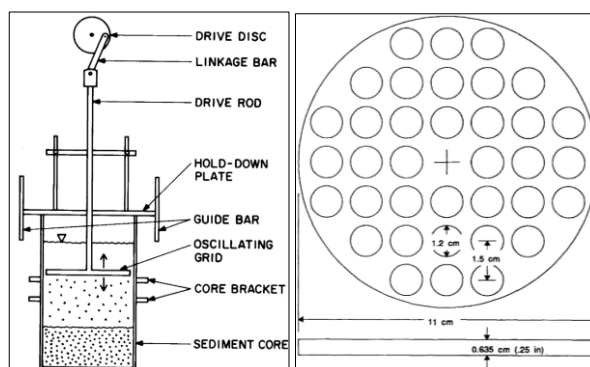


Figura 1.- Esquema del PES (Tsai y Lick 1986) (izquierda) y del disco perforado (Abdelrhman, Paul, y Davis 1996)

Basándose en el PES de USACE (Parchure y Gailani 2005) se construyó un dispositivo propio (Figura 2). El motor eléctrico utilizado es marca SIEMENS modelo SIMOTICS GP 1AV1073B de  $P=0,3$  [KW] con un convertidor de frecuencia marca SIEMENS modelo SINAMICS V20 permitiendo controlar el trabajo del eje del motor con una precisión de 0,1 Hz.



Figura 2.- Foto del PES construido

Los valores de  $\tau$  generados en el cilindro fueron estimados a partir de la tensión de corte crítica ( $\tau_{cr}$ ) de arenas de diámetro conocidos a través del ensayo de calibración de  $\tau$  en función de los rpm de giro del motor.

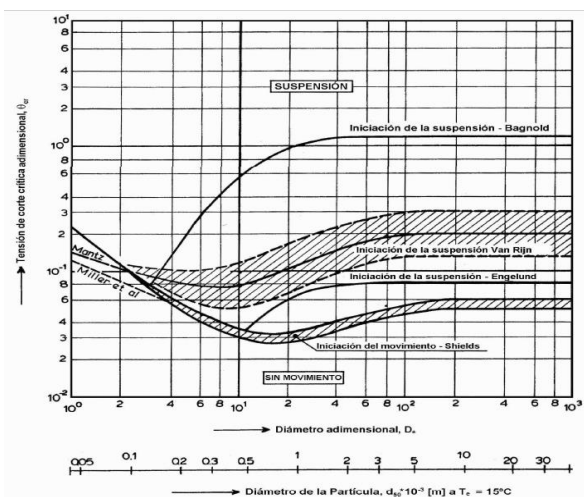
Se convierten los Hz del variador de frecuencia a rpm para poder comparar los resultados obtenidos con los del PES de USACE (Parchure y Gailani 2005) que fue calibrado con un canal anular.

La relación existente entre la frecuencia del variador y los rpm de giro del motor se realizó con un tacómetro óptico marca LUTRON modelo DT-2268 sobre el eje del motor del PES. Las mediciones se realizaron en 3 días diferentes en una relación sedimento:agua 1:4,21 (V:V). Para estos ensayos se utilizaron arena fina (<250 μm)-agua destilada, arena gruesa (entre 1190 y 2000 μm)-agua destilada y sedimento-agua fluvial.

**Tabla 1.-** Tamices utilizados en el pretratamiento de las arenas de la calibración

| Apertura de poro (μm) | US Alternative |
|-----------------------|----------------|
| 250                   | #60            |
| 300                   | #50            |
| 425                   | #40            |
| 600                   | #30            |
| 850                   | #20            |
| 1190                  | #16            |

La calibración se realizó mediante ensayos en el PES con 5 diámetros de arenas pretratadas (lavadas y tamizadas) (Tabla 1) en una relación arena:agua destilada 1:4,21 (V:V), por triplicado y registrando el valor de rpm en el cual se observó la iniciación de movimiento para cada diámetro. Los valores de tensión de corte crítica (τ<sub>cr</sub>) fueron estimados a partir de la curva de Shields modificada por van Rijn (Figura 3) y el cálculo del diámetro adimensional (D\*) (Ecuación 1) (van Rijn 1993). Posteriormente, se generó la curva de τ en función de rpm.



**Figura 1.-** Curva de Shields

El criterio para considerar “iniciación de movimiento” fue el de movimiento débil que es el que se produce cuando algunas o varias de las partículas de arena están en movimiento en lugares aislados y en cantidad suficientemente pequeña como para poder contar las que se mueven en un centímetro cuadrado de fondo.

$$D * = \frac{ds}{\nu} \sqrt{0.1 \left( \frac{\gamma_s}{\gamma} - 1 \right) g ds} \quad [1]$$

Dónde: ds es el diámetro de la partícula (m), ν es la viscosidad cinemática (m<sup>2</sup>/s), γ<sub>s</sub> es el peso específico del cuarzo (N/m<sup>3</sup>), γ es el peso específico del agua (N/m<sup>3</sup>) y g es la gravedad (m/s<sup>2</sup>).

**Resultados**

La Ecuación 2 es la que relaciona los Hz del variador con los rpm de giro del eje del motor.

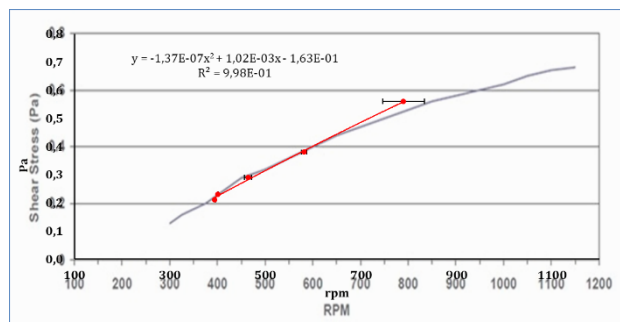
$$Hz = 0.0346 * rpm - 0.0842 \quad [2]$$

En la Tabla 2 figuran los resultados obtenidos en la calibración del PES. El diámetro de partícula considerado fue la media entre los dos tamices utilizados durante el pretratamiento de las arenas. Los valores de rpm de la Tabla 2 se corresponden con los que se registraron cuando se iniciaba el movimiento de cada diámetro de arena.

**Tabla 2.-** Valores de rpm obtenidos para cada diámetro de arena y sus correspondientes valores de tensión de corte crítica

| Diámetro de partícula (μm) | τ <sub>cr</sub> (Pa) | rpm de iniciación de movimiento |          |          |
|----------------------------|----------------------|---------------------------------|----------|----------|
|                            |                      | Ensayo 1                        | Ensayo 2 | Ensayo 3 |
| 275                        | 0,21                 | 390                             | 396      | 396      |
| 362,5                      | 0,23                 | 399                             | 402      | 402      |
| 512,5                      | 0,29                 | 448                             | 471      | 471      |
| 725                        | 0,38                 | 569                             | 587      | 587      |
| 1020                       | 0,56                 | 841                             | 824      | 702      |

La curva de calibración obtenida se puede observar en la Figura 4, la misma fue superpuesta a la curva de calibración del PES de USACE (Parchure y Gailani 2005). La curva de calibración presentó un r<sup>2</sup> de 0.998 y los porcentajes de recuperación de los predichos frente a los observados se encontraron entre los 97 y 104%. Por otro lado, la diferencia porcentual entre los predichos por la calibración USACE y la propia fueron menores al 3%.



**Figura 4.-** Curva de calibración del PES propio (línea roja y ecuación) superpuesta a la curva de calibración del PES de USACE (línea negra) Los puntos rojos son los valores medios obtenidos en la calibración y las barras de error corresponden al EE

**Conclusiones**

Se verifica el correcto funcionamiento del PES construido, con el cual se espera realizar simulaciones de dragado con sedimento y agua de sitios fluviales reales para predecir la composición de la columna de agua durante una operación de dragado. Contar con esta predicción resulta de suma importancia ya que permitiría anticiparse a los impactos ambientales que la actividad puede generar, cobrando mayor relevancia en aquellos cursos cuyo uso principal es el de abastecimiento de agua para consumo.

**Referencias**

Cantwell, M. G., R. M. Burgess, y D. R. Kester. 2002. “Release and phase partitioning of metals from anoxic estuarine sediments during periods of simulated resuspension”. Environmental Science and Technology 36: 5328–34.

Li, R. et al. 2016. “Multiphase redistribution differences of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) between two successive sediment suspensions”. Frontiers of Environmental Science and Engineering 10(2): 381–89.

Parchure, T. M, y J. Z. Gailani. 2005. Particle Entrainment Simulator at the U. S. Army Engineer Research and Development Center. Washington.

van Rijn, L. 1993. “Principles of Sediment Transport in Rivers, Estuaries and Coastal Seas”. Principles of Sediment Transport in Rivers, Estuaries and Coastal Seas.

Wang, P. et al. 2015. “Effects of hydrodynamic conditions on the sorption behaviors of aniline on sediment with coexistence of nitrobenzene”. Environmental Science and Pollution Research 22(15): 11595–605.