



Laboratorio  
de Hidráulica  
Ing. David  
Hernández Huéramo



Dr. Juan Pablo Molina Aguilar • Ing. Jorge Leonel Angel Hurtado • M. I. Jesús Martín Caballero Ulaje

## NOMBRE DE LA PRÁCTICA

### INICIO DE MOVIMIENTO DE PARTÍCULAS CONDICIÓN CRÍTICA

#### OBJETIVO (S)

Una vez desarrollada la práctica, orientada a visualizar y comprender, el alumno será capaz de:

1. Identificar y relacionar las fuerzas que dan origen al fenómeno del inicio de movimiento de partículas en un cauce natural.
2. Visualizar los diferentes tipos de transporte de sedimentos al interior de un cauce natural.
3. Observar el desarrollo y evolución de diversas “formas del fondo” de un cauce generadas por el transporte de sedimentos.

#### ENCUADRE TEÓRICO

El movimiento de los sedimentos en las corrientes afecta la morfología del cauce, variando su configuración en el tiempo principalmente su sección transversal y forma en planta, también este movimiento de materiales en el río afecta a diversidad de estructuras alterando su funcionamiento normal, la obtención del volumen de sedimento transportado por el río tiene importancia en el cálculo de la capacidad de azolve en presas, la frecuencia del dragado en embalses y en cauces, la altura de una obra de toma, el dimensionamiento de trampas de sedimentos principalmente.

Una vez que el sedimento ha comenzado a moverse, inmediatamente comienzan a generarse formas geométricas de fondo, que dependen del régimen hidrodinámico. La geometría evoluciona de ser un plano a tener ripples, dunas, antidunas o cualquier otra forma definida.

Para lograr un buen diseño de las obras que van a estar sometidas al efecto de los sedimentos es necesario evaluar, además de la información histórica existente, la relación que existe entre la cuenca como productora de sedimentos y el río como conductor de los mismos.

#### **Inicio del movimiento de una partícula.**

Las partículas sólidas que forman el fondo de un cauce, son sometidas a la acción de las fuerzas hidrodinámicas del flujo como son la fuerza de arrastre,

sustentación y las fuerzas viscosas sobre la superficie de la partícula cuya resultante, sí se hace mayor que las fuerzas de equilibrio como son la gravedad y la cohesión, harán, que la partícula inicie su movimiento, conociéndose a esta condición como **CONDICIÓN CRÍTICA**.

Para calcular la fuerza crítica de la corriente capaz de iniciar el movimiento de las partículas existen 2 criterios:

**El primer criterio** y más simple es a partir de la velocidad media de la corriente, a lo cual se le denomina "Velocidad Media Crítica ( $U_c$ )" y muchos autores han desarrollado ecuaciones para obtenerla:

**MÉTODO DE MAZA-GARCÍA.** A partir de los resultados de otros autores propusieron la siguiente expresión:

$$U_c = 4.71\sqrt{\Delta}D^{0.35}R_h^{0.15}$$

$$Fr_c = 1.504\sqrt{\Delta}\left(\frac{D}{R_h}\right)^{0.35}$$

Donde:

$U_c$  = Velocidad crítica en el cauce natural [m/s]

$\Delta$  = Relación de presos específicos, sedimento - fluido [Adimensional]

$D$  = Diámetro nominal, vinculado a la velocidad crítica [m]

$R_h$  = Radio hidráulico de la sección transversal del cauce natural [m]

$Fr_c$  = Numero de Froude Critico asociado al caudal del cauce natural [Adimensional]

**El segundo criterio** es más representativo ya que define la condición crítica a partir del "esfuerzo cortante crítico ( $\tau_c$ )", existiendo numerosos autores que han determinado dicha condición:

**MÉTODO DE SHIELDS.** Como se mencionó anteriormente se basa en la determinación de los parámetros  $\tau_*$  y  $Re_*$  por medio de las expresiones siguientes:

$$\tau_* = \frac{\tau_c}{(\gamma_s - \gamma)D} = \frac{\gamma R_h S}{(\gamma_s - \gamma)D} = \frac{R_h S}{\Delta D}$$

$$Re_* = \frac{U_* D}{\nu}$$

$$U_* = \sqrt{gR_h S}$$

Donde:

$\tau_*$  = Esfuerzo cortante asociado a las partículas [kg/m<sup>2</sup>]

$U_*$  = Velocidad asociada a las partículas [m/s]

$\tau_c$  = Esfuerzo cortante crítico asociado al caudal de diseño [kg/m<sup>2</sup>]

$\gamma$  = Peso específico del fluido transportado en el cauce natural [kg/m<sup>3</sup>]

$\gamma_s$  = Peso específico del sedimento en el cauce natural [kg/m<sup>3</sup>]

$\nu$  = Viscosidad cinemática del fluido [m<sup>2</sup>/s]

### Sedimentos.

El agua de un cauce natural generalmente transporta material sólido o sedimentos, ya sea en suspensión cuando los diámetros son pequeños o la turbulencia de la corriente es alta, también pueden ser transportados rodando o saltando cuando su diámetro es mayor. Al referirse al material sólido se le llama generalmente sedimentos.

La cantidad de material transportado se puede medir en dos formas una en unidades de peso (kg/s) y la otra en volumen (m<sup>3</sup>/s). Cuando se usa el primer tipo de unidad al gasto sólido transportado se le designa por la letra G, cuando se usa las unidades de volumen al gasto se le designa con las letras Qs. Para convertir de una unidad a otra se tiene que:

$$G = \gamma_s * Q_s$$

El transporte que puede llevar un cauce se puede clasificar en:

**Arrastre en la capa de fondo o arrastre de fondo.** Es aquel que se transporta en una capa cercana al fondo con un espesor de dicha capa igual a 2 veces el diámetro de la partícula representativa del cauce ( $gB$ ).

**MÉTODO DE ENGELUND Y HANSEN (1967).** Para determinar el Transporte de sedimentos total en la capa de fondo, se emplea la siguiente expresión.

$$g_{BT} = \frac{0.04 \gamma_s (R_h S)^{\frac{3}{2}} U^2}{\sqrt{g} \Delta^2 D_{35}}$$

Donde:

U = Velocidad media del flujo en la sección transversal del cauce [m/s]

Los límites de aplicación de este método son para diámetros de  $D_{50}$  entre 0.15 y 2 mm,  $Re > 1200$ . Generalmente da buenos resultados para cauces arenosos.

**Carga en suspensión.** Son los granos de sedimentos que se encuentran suspendidos en el fluido moviéndose por encima del lecho a favor de la corriente. Esto ocurre para las partículas de limo y arcilla.

**MÉTODO DE LANE Y KALINSKE (1941).** Utilizando la distribución de velocidades de Prandtl-Von-Karman y la distribución de la concentración de sedimentos en suspensión definida por los autores, proponen la siguiente expresión:

$$g_s = qC_y e^{(6zA)} P_1$$

$$A = \frac{a}{d}$$

$$P_1 = \frac{1.7n\sqrt{g}}{d^{\frac{1}{6}}}$$

Donde:

A = Profundidad relativa [m]

a = Profundidad en la cual se determinan los sedimentos [m]

$C_y$  = Concentración de sedimentos en una profundidad del cauce [ $\text{Kg}/\text{m}^3$ ]

z = Relación entre la velocidad de caída y la velocidad al cortante [Adimensional]

y = Distancia donde se desea conocer el transporte de sedimentos y es igual a 2 veces el diámetro representativo [m]

$P_1$  = Integral aproximada

n = Coeficiente de rugosidad de Manning [Adimensional]

Para la concentración a la distancia de interés, los autores proponen la siguiente ecuación:

$$C_y = C_a * e^{\left\{ \frac{-15 * \omega (y-a)}{U_* d} \right\}}$$

Para partículas naturales con diámetro mayor a 2 mm la velocidad de caída según Rubey



## EQUIPO O DISPOSITIVO

Canal de transporte de sedimentos.

## MATERIALES

- Arena de mar con curva granulométrica establecida

## PROCEDIMIENTO

### Etapa I.

1. Colocar una capa de arena de 5 cm de espesor en el fondo del modelo de transporte de sedimentos y compactarla.
2. Colocar el canal con una pendiente del 2%.
3. Conectar la bomba con una potencia de 2 y observar el comportamiento de la capa de fondo, si no hay un cambio apreciable o no se observa movimiento de las partículas, aumentar la pendiente gradualmente sin exceder del 2.5% hasta visualizar este fenómeno.
4. Observar el comportamiento del material de la capa de fondo y lo que está ocurriendo con el material que se encuentra en suspensión.
5. Aumentar gradualmente la pendiente del canal sin exceder del 3%, hasta lograr visualizar la formación de un rizo o rizos em el lecho del canal.

## ACTIVIDADES

### ETAPA 1

1. ¿Cuáles son los factores que intervienen directamente con el inicio del movimiento de una partícula?
2. Mencione y describa las diversas formas de clasificar el transporte de sedimentos.
3. Investigar las diversas formas de fondo que se pueden presentar en un cauce.
4. En función de lo observado defina la forma que tomo el fondo del canal.
5. Investigar que es el acorazamiento de un cauce.

## INSTRUCCIONES

1. Resolver cada una de las actividades solicitadas en la práctica.
2. Realizar una conclusión señalando lo aprendido durante la práctica.