



Laboratorio
de Hidráulica
Ing. David
Hernández Huéramo

Manual de prácticas Ingeniería de Ríos *9º semestre*



Autores:
Héctor Rivas Hernandez
Juan Pablo Molina Aguilar
Salatiel Castillo Contreras



1. INICIO DEL MOVIMIENTO DE UNA PARTÍCULA, TRANSPORTE DE SEDIMENTOS Y FORMAS DE FONDO DE UN CAUCE.

Objetivo

El alumno conocerá, los diferentes tipos de transporte de sedimentos y aprenderá a cuantificar la cantidad de partículas transportadas por un cauce en todas sus formas, así como también podrá identificar las diversas formas del fondo de un cauce generadas por el transporte de sedimentos.

Aplicación.

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.



Desarrollo

La práctica se desarrollará en dos etapas, en la primera se visualizará el inicio del movimiento de una partícula en la segunda se observará el transporte de sedimentos, así como la formación y movimiento de la duna generada por el cambio de pendiente y gasto en el canal.

Material y Equipo

- Canal de transporte de sedimentos.
- Arena de mar con curva granulométrica establecida.

Definiciones, fórmulas y unidades a utilizar

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, si se hace mayor que las fuerzas de equilibrio como son la gravedad y la cohesión, hará, 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" y muchos autores han desarrollado ecuaciones para obtenerla:

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

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

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

El segundo criterio es más representativo ya que define la condición crítica a partir del “esfuerzo cortante crítico (τ_c)”, existiendo numerosos autores que han determinado dicha condición:



MÉTODO DE SHIELDS. Como se mencionó anteriormente se basa en la determinación de los parámetros τ^* y Re^* por medio de las expresiones siguientes:

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

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

$$U_* = \sqrt{g R_h S}$$

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^3/s). Cuando se usa el primer tipo de unidad al gasto sólido transportado se le designara 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:

$$G = \gamma_s * Q_s \quad 2.1$$

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 (g_B).

Método de Engelund y Hansen (1967). Para determinar el Transporte de sedimentos total en la capa de fondo.

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

Los límites de aplicación de este método es para diámetros de D_{50} entre 0.15 y 2 mm, $Re \geq 1200$. 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

y = es la distancia donde se desea conocer el transporte de sedimentos y es igual a 2 veces el diámetro representativo.

P_1 = integral aproximada

n = Coeficiente de rugosidad de Manning.

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

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

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

$$\omega = 0.806 (\Delta g D)^{\frac{1}{2}}$$

$$\Delta = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{\gamma_w}$$

$$U_* = \sqrt{g R_h S}$$

Donde:

y = distancia sobre el fondo a la que se desea calcular la concentración, m, ver figura 5.1

a = distancia sobre el fondo a la cual se conoce la concentración C_a (en unidades de peso kg/m^3), en m.

ω = Velocidad de caída asociada a una partícula de diámetro conocido, m/s.

U_* = Velocidad al cortante asociada a una partícula, m/s.

D = Diámetro de la partícula, mm.



Δ = γ de material sumergido

g = Aceleración de la gravedad 9.81 m/s^2

γ_s = Peso específico del material en kg/m^3

γ_w = Peso específico del agua de $1,000 \text{ kg/m}^3$

Duna. Es una acumulación ondulada de arena de tamaño variable. El tamaño de las dunas está definido por la profundidad del fondo y se asocia a tamaños de grano grueso, generalmente con diámetros superiores a 0.6 mm .

Conociendo la velocidad media de la corriente (u), la profundidad del agua (d) y el tamaño del sedimento, es posible predecir las posibles formas generadas en el fondo por medio de diagramas empíricos, en los cuales el tamaño del sedimento está representado por la velocidad de caída del mismo (ω_s).

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

$$\omega = 0.806 (\Delta g D)^{\frac{1}{2}}$$
$$\Delta = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{\gamma_w}$$

En donde:

ω = Velocidad de Caída, m/s .

D = Diámetro de la partícula mm .

Δ = γ de material sumergido

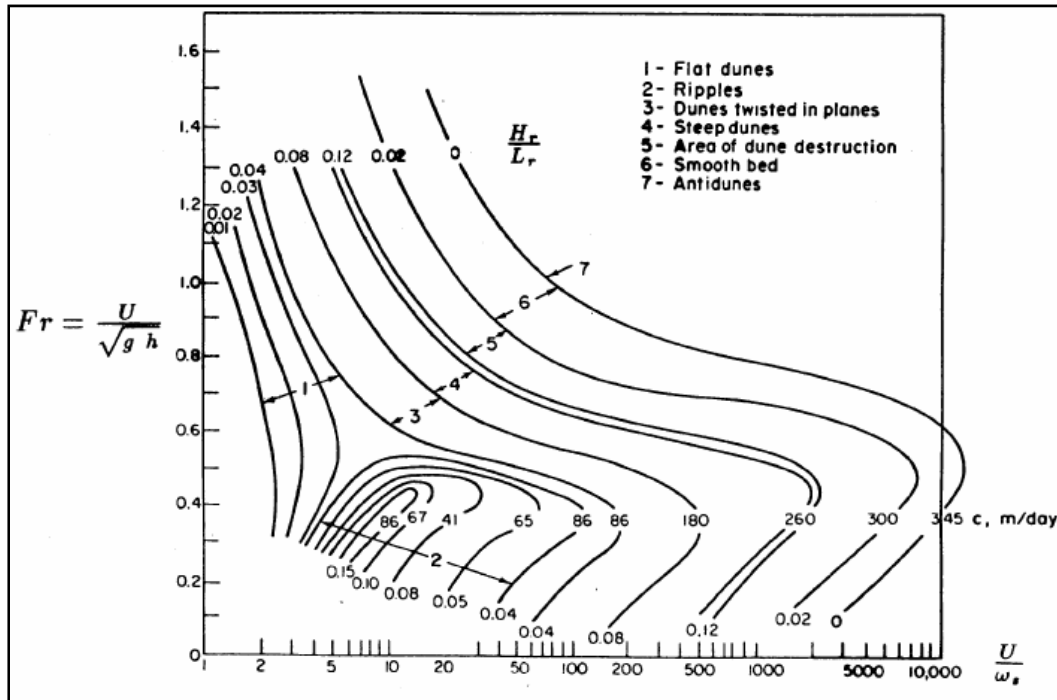
g = Aceleración de la gravedad 9.81 m/s^2

γ_s = Peso específico del material en kg/m^3

γ_w = Peso específico del agua de $1,000 \text{ kg/m}^3$



Figura 2.1. Formas de fondo de un cauce en función de ωs y Fr. (Raudkivi, 1990)



Procedimiento

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 excederla 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 deformación del fondo del canal.

Actividades

1. ¿Cuáles son los factores que intervienen directamente con el inicio del movimiento de un 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.