

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



Universidad Veracruzana

PRÁCTICAS DEL CANAL DE ARRASTRE DE SEDIMENTOS

Revisión julio 2023: Dr. Armando Aguilar Meléndez, Dr. Alejandro García Elías, Mtra. Amanda Elizabeth Salan Reyes, Mtro. Raymundo Ibáñez Vargas, Dr. Andrés Reyes Vivanco e Ing. José Luis Sánchez Amador

CONTENIDO

Objetivo de las prácticas	1
Descripción del equipo	1
Practica 1. Regímenes de flujo en un lecho fijo	1
Practica 2. Flujo sobre un lecho móvil de arena	3
Practica 3. Formas de fondo de la arena	6
Práctica 4. Configuración del lecho durante la etapa de cambio de histéresis	23
Practica 5. Erosión en las estructuras	26
Practica 6. Tasa de transporte de sedimentos	29
Practica 7. Resistencia del flujo en un lecho de grava	34

Objetivo de las prácticas: Apoyar el proceso enseñanza-aprendizaje para los estudiantes de la carrera de ingeniería civil a través de la realización de métodos y técnicas de medición, observación y experimentación en hidráulica y mecánica de fluidos.

Fomentar y realizar investigación en el área y disciplinas afines.

Vincularse permanentemente con los problemas de interés de la sociedad y contribuir con soluciones acordes a nuestra realidad e idiosincrasia.

Descripción del equipo: El canal de transporte de sedimentos de Armfield permite la demostración de la gama completa de formas de fondo que se plantean en una cama móvil como el flujo y / o la pendiente se incrementan.

El canal se puede usar para realizar la mayoría de los experimentos y demostraciones generalmente llevadas a cabo en los canales de flujo de laboratorio mucho más grandes, pero a mucho menor costo y sin la necesidad de técnico de copia de seguridad.

PRACTICA 1. REGÍMENES DE FLUJO EN UN LECHO FIJO

Objetivo: El objetivo de este experimento es demostrar visualmente los diferentes regímenes de flujo en un canal abierto con un lecho fijo. Es obvia la importancia para los estudiantes de la hidráulica y mecánica de fluidos, pero también es valioso para los estudiantes para ver y comprender las características básicas y la apariencia física del agua que fluye bajo distintas circunstancias.

Descripción de la práctica: En este experimento el canal de flujo es operado sin ningún tipo de sedimentos, a un caudal constante con pendiente variable. Esto proporciona una demostración de los regímenes de flujo posibles dentro de un canal de lecho fijo.

Equipo requerido: Armfield S8 MkII

Preparación del equipo: Si hay arena en el canal de flujo, retírelo y almacénalo para uso posterior. Llenar el tanque de sedimentación con agua limpia hasta la marca completa.

Procedimiento:

1. Establecer la pendiente en un valor bajo, cierre la válvula reguladora del caudal total y encienda la bomba en la graduación 1.
2. Aumentar la pendiente hasta que el flujo que sale del tanque de cabecera se vuelva notablemente menos profundo y más rápido.
3. Seguir aumentando la pendiente hasta que la profundidad sea poca, el flujo se extiende alrededor de un tercio de la longitud del canal y un fuerte salto hidráulico desarrolla formas entre este y el tranquilo, en la parte inferior del canal.

4. Tenga en cuenta la aparición de la corriente en el disparo, en las áreas de salto tranquilo e hidráulico. Si se desea llevara a cabo el trabajo cuantitativo, medir la profundidad del flujo aguas arriba y aguas abajo del salto hidráulico y tomar nota de la descarga.
5. Observar la aparición del flujo crítico en la cresta de la presa excedente al final del canal de flujo. La profundidad en este lugar se utiliza para calcular la descarga, que es constante a lo largo del canal.

Resultados: Este experimento pretende ser una introducción a los regímenes de flujo, y proporciona una demostración visual de tiro al flujo tranquilo, el flujo crítico y resalto hidráulico.

La apariencia de cada régimen de flujo debe ser descrita, junto con las condiciones en que el régimen se produjo, además de realizarse un boceto o dicho dibujo hecho del flujo dentro del canal con cada régimen marcado del flujo en el lugar correcto.

Conclusión: Este experimento es una previsión de una demostración de las características de los regímenes superior e inferior del caudal de flujo turbulento, y una demostración visual del salto hidráulico en el punto de transición entre estos dos regímenes. No se proporciona un análisis cuantitativo, aunque es posible una de las mediciones.

Discutir el cambio entre la parte superior e inferior, se refieren a los regímenes de flujo, y a la velocidad de flujo:

El flujo se observa constante, y este cambia al aumentar la velocidad de la bomba, así como la pendiente, y se observa un flujo turbulento que provoca el resalto hidráulico.

PRACTICA 2. FLUJO SOBRE UN LECHO MÓVIL DE ARENA

Objetivo: El objetivo de este experimento es demostrar el principio de la ingeniería geomorfológica que se cruza cuando el lecho de un canal cambia de la inmóvil o estática, condición para que el sedimento de una cama de arena se encuentre en movimiento.

Descripción de la práctica: En este experimento el flujo del canal es operado con el sedimento. La condición del cauce, se observa cuando la pendiente del canal se incrementa.

Equipo requerido: Armfield S8 MkII

El trabajo de cómputo: Los enfoques desarrollados en la década de 1930 por Hjustrom y Shield siguen siendo las técnicas más utilizadas para determinar el inicio del movimiento.

La velocidad media se calcula a partir de la ecuación de continuidad:

$$V = Q/wd$$

Donde

V= velocidad media (m/s)

Q= caudal o descarga (m³/s)

W= ancho del canal (m) y

d= profundidad media (m)

El tamaño de los granos en milímetros y la velocidad en centímetros por segundo se introducen en el diagrama de Hjustrom para cada posición de aforador (Dispositivo que sirve para determinar el caudal de una corriente de agua: el aforador suele estar montado en el lecho de un río o de una conducción hidráulica.)

El esfuerzo cortante se calcula utilizando la ecuación DuBoys:

$$\tau = \rho gRS$$

Dónde:

τ = Tensión cortante (N/m²)

P = densidad del agua (1000 kg/m³)

g = aceleración de la gravedad (9.81 m/s²)

R = radio hidráulico

S = pendiente del canal (m/m)

Nota: para la sección rectangular del canal de flujo, el radio hidráulico se define por:

$$R = wd / (w+2d)$$

Dónde:

W = ancho de canal (m), y d = profundidad media (m).

El esfuerzo cortante dimensional, el parámetro de Shield se calcula a partir de:

$$q = \tau / (Sg - 1) \rho g D_{50}$$

Dónde:

q = parámetro de Shield

Sg = peso específico del material (2,65 para la arena de cuarzo). Y

D_{50} = tamaño del grano mediano del material (m).

El número de Reynolds se calcula utilizando la anchura, profundidad, pendiente y la viscosidad cinemática del agua de la ecuación:

$$Re^* = u^* D_{50} / \nu$$

Donde,

Re^* = número de Reynolds,

U^* = velocidad de corte

ν = viscosidad cinemática del agua (m²/s)

La velocidad de corte se define por:

$$U^* = (gRS)^{0.5}$$

Y la viscosidad cinemática del agua es de aproximadamente 1×10^{-5} a temperatura ambiente.

Preparación del equipo: Colocar la arena de un tamaño uniforme en el canal a una profundidad uniforme, nivelar o enrazar con la parte superior del vertedero (escape para dar salida a los excesos de agua).

Comprimir ligeramente la superficie de la arena para que sea uniforme, ligeramente compactada y lo más plana posible.

Llenar el tanque de almacenamiento con agua limpia hasta la marca de máxima.

Procedimiento: Establecer el canal a una pendiente cero, cierre la válvula reguladora de caudal completamente y poner la bomba a su posición más baja 1. Encienda la bomba y permita que el agua entre en el canal de flujo. En estas condiciones, la cama de arena debe estar inmóvil. Espere hasta que el flujo constante a lo largo del canal se consigue. Y comprobar que no hay movimiento en la cama de arena. En este punto la pendiente se mantiene constante y la cama se observa para ver si el movimiento se mantiene o se detiene. Por lo general, el movimiento se extingue rápidamente, ya sea porque: 1) los granos fueron desalojados, los que realmente sobresalen ligeramente en el flujo, pese a los esfuerzos para producir una cama plana uniforme, 2) que eran fragmentos de un mineral ligero como la mica mixta con la arena de cuarzo. Esta es instructiva ya que muestra que incluso bajo condiciones controladas de laboratorio todavía no hay uniformidades en el empaquetado adecuado para proteger el transporte y la mineralogía del material del lecho.

La pendiente del canal se vuelve a aumentar lentamente hasta lograr pequeños pasos y se identifica un movimiento en la cama. Este proceso debe continuarse en condiciones uniformes. Con los granos sobrantes pasándolos a una corta distancia antes de que se establezcan nuevamente, pero sin ningún tipo de movimiento general o continuo. Si una investigación cuantitativa se desea hacer deben tomarse en cuenta los siguientes datos, el tamaño del grano, la descarga, la pendiente del canal y la profundidad media del agua.

Sin embargo, es discutible si se observa muy lento y esporádico el movimiento, en realidad constituye una condición del movimiento de la cama de arena, o si hay razones para aumentar la pendiente puede hacerse solo un poco más. El punto que se reconoce es que no hay en realidad condiciones exactas en las que el movimiento de la cama se puede decir que ha comenzado. Este principio se observó por primera vez por Hans Albert Einstein en la década de 1950, en este selló el análisis estadístico del movimiento de la plataforma de carga.

La pendiente se incrementa hasta una pequeña ranura, pero el número finito de los granos se mueven en un momento dado y todos coinciden en que la cama es móvil, si se trata de una investigación cuantitativa, las mediciones se repiten.

Observa como los granos se separan de la cama a través de un salto casi vertical de bolsillo en el que estaban sentados, pero que una vez en movimiento ruedan en continuo contacto con los granos de lecho estático, la carga de sedimentos transportada por el movimiento del mecanismo es denominado carga de fondo y, más concretamente, carga de contacto.

La observación de los granos son arrastrados por el flujo al salir del bolsillo en una trayectoria muy fuerte, se hizo por primera vez por el general de brigada Ralph Bagnold con una cámara de alta velocidad en la década de 1930. Su teoría era que esto se debió al efecto de la fuerza de sustentación de líquidos (la fuerza que permite volar a un avión) generado por la diferencia de presión entre el fluido que se mueve por encima de los granos de la cama y el flujo estático debajo de ella. Esta fuerza tiene un vital, pero generalmente descuidado, papel en el principio de

movimiento. Sin embargo, desaparece tan pronto como los granos se levantan del hueco y así el movimiento tiene lugar en continuo contacto con la cama bajo la acción solo de la tensión cortante.

Resultados: Si una investigación cuantitativa se requiere, los valores deben registrarse y los resultados obtenidos a partir de las ecuaciones que se presenten en la sección de trabajo de cómputo:

Ancho del canal, w :

Gravedad específica del material de lecho:

La viscosidad cinemática del agua*:

* El número se obtiene en las tablas de referencia estándar, si la temperatura del agua se mide, pero no son suficientes otras fuentes de error que la inexactitud ligera al usarse un valor típico de la temperatura ambiente es poco probable que sea significativo.

Utilice el tamaño del grano en milímetros y la velocidad en centímetros por segundo para entrar valores en el diagrama de Hjulsrom y trazar el punto correspondiente para cada posición del canal. Compruebe si el punto de empalme de la Curva de Hjulsrom coincide con la propuesta del principio.

Utilice los valores calculados de $* Re$ y q para graficar los puntos experimentales del diagrama de Shields.

Conclusión: Discuta las observaciones formuladas durante el experimento, haciendo comparaciones con el trabajo de Hjustrom y Shield.

Cuando la bomba se encuentra en la velocidad 1 y la pendiente es 0, la cama de arena se observa estática, al aumentar en pequeños incrementos se empieza a observar movimiento en la cama, esto es cuando la cama se encuentra con una inclinación del 0.5% produciéndose también un esfuerzo cortante.

PRACTICA 3. FORMAS DE FONDO DE LA ARENA

Objetivo: El objetivo de este experimento es demostrar la secuencia de las formas que aparecen en un canal abierto con una cama de arena móvil, con los aumentos de la intensidad de transporte de sedimentos.

Descripción de la práctica: En este experimento se opera el canal de flujo con sedimentos. Las características de desarrollo en la cama se observan cuando la pendiente del canal y el caudal de flujo son aumentados paulatinamente.

Equipo necesario:

Armfield

Arena limpia de un tamaño uniforme entre 0,1 y 0,3 mm.

Enganchar y calibrar el lugar

Preparación del equipo: Colocar arena de un tamaño uniforme entre 0.1 y 0.3 mm en el canal a una profundidad uniforme, nivelar con la parte superior excedente del canal.

Comprimir ligeramente la superficie de la arena para que sea completamente plana, ligeramente compactada y lo más plana posible.

Lenar el depósito de almacenamiento / sedimentación con agua limpia hasta la 'marca' total.

Formas de fondo: Son ondas pequeñas, configuraciones de fondo triangular. Con unos pocos milímetros de alto y un centímetro o dos de largo y son asimétricas, con una suave pendiente ascendente y una cara empinada de aguas abajo. La pendiente ascendente se llama el lado de sotavento (parte que cae hacia aquel lado) y la cara de aguas abajo es el lado de sotavento. El sedimento que forma las ondas se mueve como carga de fondo, laminados y de deslizamiento en continuo contacto con la cama. Los granos son arrastrados en el sotavento entre ondas. De esta forma, por arrastre de los granos de la onda anterior y la deposición den el descendente, la forma de las ondas de la cama de arena cambia de lugar lentamente en la dirección descendente.

Las formas de la cama no cambian de lugar en conjunto, sino a través de la suma neta de todos los movimientos de los granos. La velocidad del movimiento de la forma de la cama es mucho más lenta que cualquiera, ya sea el agua o los granos.

El flujo de saltación se produce con el aumento de velocidades, esto es cuando los granos se levantan de la cama por la turbulencia del fluido. Los granos se ven saltar y rebotar periódicamente, aunque incluso la forma predominante del movimiento sigue siendo por laminación. La saltación fue descrita por primera vez por Bagnold en la década de 1930. Los caminos de saltación de los granos describen trayectorias balísticas. Lo que indica que no son apoyados por las fuerzas del líquido durante saltación y que su peso es en realidad sumergido con el apoyo de rebote de contacto con la cama. Esto actúa para diferenciarlos de los granos que se suspenden en el líquido debido al apoyo por la turbulencia anisótropa (propiedades variables según la dirección en que se midan). Por definición común, los granos saltando forman parte de la carga de fondo.

Las dunas son formas de fondo triangulares que son más mayores que las ondas, y se producen a velocidades de flujo más altas. En las dunas de la naturaleza se escala en el flujo de su producción. Esta es la que diferencia a las dunas de las ondas, que son del mismo tamaño en el flujo de gasto en el medio ambiente. En un pequeño canal de flujo, el tamaño absoluto de las dunas es muy pequeño, tal vez 100 mm de largo y 10 o de 15 mm de altura. Por consiguiente no son muy grandes las ondas. También pueden ser distinguidos por otros motivos, sin embargo: aunque las dunas son triangulares, las ondas, son más largas y más bien planas de la parte superior. También, las dunas alterarían la superficie libre del flujo de ondas, mientras que no lo hacen. La superficie del agua se extrae disminuida ligeramente en una cresta de la duna, y se joroba sobre el valle entre las dunas. Las olas en la superficie del agua son por lo tanto fuera de la fase con las ondas en la cama de arena. Esta es una característica de menor régimen de flujo, o sub-crítico. El cálculo del número de Froude confirmara que el flujo sobre una cama de dunas es, en efecto sub-crítico. El área de joroba de la superficie del agua se caracteriza también por ebullición asociada con la turbulencia en el abrigo de la duna.

Los furúnculos (elevaciones que se forman) se pueden observar en los ríos en las fases de alto flujo y son un seguro de indicación de que una duna de forma de fondo está presente, incluso cuando el lecho de arena no se puede observar directamente. Las dunas se mueven en sentido descendente a los granos rodantes y saltando hasta la pendiente suave y el lado inclinado por avalanchas por la cara de la parte que cae empinada. Durante el movimiento de las dunas de madurez, hay una burbuja de separación en la cara del lado inclinado, con flujo dirigido contra la corriente. El efecto

es que los granos de barrido constantemente copias de seguridad de frente a la avalancha, causan el mantenimiento de esta cara en una pendiente algo mayor que el Angulo de fricción interna para la arena.

Las crestas de la duna están orientadas a lo ancho de la corriente, pero no permanecen de dos dimensiones, incluso en un canal estrecho. Las crestas se convierten rápidamente en sinuosas (que forman curvas, ondas), con profundos agujeros, la erosión tiende a desarrollarse junto a los muros en lados alternos del canal. El patrón de agujeros de las crestas y la erosión se asocian con fuertes corrientes secundarios que se desarrollan al abrigo de las dunas debido al sesgo de cruzar la corriente, o modo de duración, el movimiento en la dirección de larga secuencia cuando la cresta de la duna no es totalmente ortogonal a la corriente. En la naturaleza, este efecto es especialmente marcado en cada una de las curvas y conduce a una clasificación de los sedimentos importantes del mecanismo.

Como las velocidades de flujo siguen aumentando, los granos comienzan a moverse temporalmente como carga suspendida. El salto de los granos desde la cresta de una duna directamente sobre la pendiente del lado inclinado de la siguiente, sin llegar a descansar en el canal. Se llevan a cabo en el cuerpo de agua que fluye por los cambios alternativos de velocidad turbulenta y, a diferencia de la saltación de los granos, su peso no se ve respaldado por un sólido al contacto sólido en la cama de arena.

A medida que aumenta más la velocidad de flujo, la intensidad del movimiento de sedimentos también aumenta y las dunas crecen en altura, aproximadamente manteniendo una constante de longitud. Su tasa de progresión descendente también se incrementa.

En una cama de dunas establecidas, gran parte de los sedimentos en el hecho se han modificado a través del paso de las dunas, y las estructuras sedimentarias son evidentes en la arena. Estas capas son para preservar los patrones del ex sotavento y laderas del sotavento de las dunas que se llaman las camas cruzadas.

Cuando se conservan en la roca son registro de las caras utilizadas por los geólogos y paleontólogos a reconstruir la actual dirección y la fuerza en virtud del cual los depósitos sedimentarios se formaron.

Como la velocidad del flujo aumenta aún más, las formas de las dunas se alargan y se reduce en amplitud. El resultado de largo, de las formas de fondo bajos se llaman dunas arrasadas. Todavía están triangulares, pero carecen de las canaletas profundas y grandes agujeros de la erosión. El movimiento de carga de fondo toma la apariencia de una alfombra de granos en movimiento y estrías aparecen en el patrón de carga de fondo.

La ebullición y la disminución son áreas en la superficie del agua que desaparecen. Dentro de la cama, algunas de las camas cruzadas constituidas con arreglo al régimen de dunas es destruido y sustituido por el Angulo de largo y bajo capas de arena.

Como la intensidad de flujo sigue aumento, las dunas arrasadas desaparecen y una cama plana con el movimiento pasa a ser designad.

La profundidad del agua se reduce y las velocidades aumentan su secuencia.

La superficie del agua adquiere una suave, vidriosa mirada cuando va a lo largo del canal de flujo y se reducen, o no ondulaciones que están presentes debido a las grandes estructuras turbulentas y escala se suprimen por las altas secuencias de las velocidades.

Este patrón de flujo está asociado con un flujo crítico y el número de Froude se encuentra a poca distancia a la unidad. La carga de fondo forma una alfombra en movimiento de los granos, con vetas claramente identificables a lo largo del canal. Estas vetas están asociadas con pequeñas estructuras de flujo de la escala y las corrientes secundarias cerca de la cama de arena. Un aumento en la intensidad de flujo produce ondulaciones llamadas ondas estacionarias sobre la superficie del agua. Estas, como su nombre lo indican, son casi estacionarias.

El lecho también desarrolla las olas, pero a diferencia de la onda y a duna vistas anteriormente, estas características son simétricas y estacionarias. Las olas en la superficie del agua están en fase con los de la cama de arena. Este es un signo seguro de crítica o súper-crítica y así el flujo de las ondas estacionarias se clasifica como perteneciente al régimen superior de las formas del fondo. Cabe señalar, sin embargo, que los sistemas naturales las ondas estacionarias pueden desarrollar, en condiciones a nivel local supercrítica aun cuando el número Froude de la corriente es muy inferior a uno.

Como las velocidades de flujo se mueven bien en el régimen superior de la amplitud de las olas de

la superficie aumentan notablemente, al igual que el tamaño de la continuación de las formas del fondo de la cama.

Las olas simétricas llamadas anti dunas. Estas son muy regulares en su forma, con el movimiento de sedimentos intensos a medida que los granos son erosionados de la superficie de aguas abajo de una anti duna y el depositado en la superficie de aguas arriba de la próxima anti duna aguas abajo. De esta manera, el anti duna se mueve en dirección aguas arriba, contra el movimiento del flujo de agua y el movimiento de los granos.

El mayor incremento de la velocidad eflujo intensifica el movimiento de sedimentos, y la tasa de desplazamiento de los aumentos de anti dunas. A medida que la amplitud de la antiduna aumenta, la pérdida de energía, la pérdida de energía que participa en el flujo por la ladera hasta la cresta se vuelve progresivamente mayor. Llega un momento en que el flujo en la cresta aparece para detener la intensa turbulencia que se produce. Esto destruye las formas del fondo, que se rompe y se disipa en la dirección aguas arriba. Estos se llaman ruptura de formas de fondo gigantes (breaking – antidunes).

Por lo general, la ruptura no es aleatoria porque la ruptura de un antiduna aguas abajo provoca rotura de la ola contra la corriente, y así sucesivamente a lo largo del canal.

En la naturaleza esto lleva a pulso el flujo de la forma de los trenes antidunas y el descanso, aunque las formas son relativamente raras, debido al alto y sostenido transporte de los sedimentos involucrados en la cama de arena. Con intensidad creciente de flujo, el fuerte oleaje forma una oblicua hacia afuera de las paredes del canal, que se cruzan en las crestas de las antidunas. Estas características fueron primeramente observadas por Simons y Richardson que los nombró colas de gallo.

La velocidad muy intensa del flujo produce un flujo crítico y súper - intenso, la turbulencia asociada con el flujo de energía muy alto y el transporte de sedimentos intenso. Esta conduce a la adopción toboganes y piscinas de suplentes. Las cascadas son relativamente, súper - críticas, llegan con una plana cama y muy altas velocidades. La forma de las piscinas en el que llega hasta las pilas, con algunos locales de depósito del material del lecho y las pérdidas de energía intensa. El patrón es inestable en el tiempo y no uniforme en el espacio. Se sabe muy poco de la mecánica de fluidos y dinámica de sedimentos de la canaleta y el flujo de la piscina.

El trabajo Numérico: Los datos reunidos en los experimentos pueden ser utilizados para obtener varios e importantes parámetros que describen las dimensiones y el régimen de flujo, las fuerza ejercidas en la cama por el flujo y la resistencia al flujo ejerce sobre el flujo de la cama.

Una tabla sugerida de resultados se proporciona más adelante en este ejercicio. La manera ideal para realizar el trabajo numérico y generar la tabla de resultados es el uso de una hoja de cálculo, ya que esto evita errores de cálculo que pueden lanzar a los estudiantes fuera de la pista si no observo bien.

Dimensiones de flujo: Los parámetros necesarios para definir las dimensiones de la corriente son los valores medidos de la descarga, ancho, profundidad media y la pendiente, junto con el valor derivado del perímetro mojado, radio hidráulico y la velocidad media. Las ecuaciones necesarias para calcular estos parámetros son muy simples, pero el cuidado debe adoptarse para garantizar que las unidades coherentes de medida se emplean en todas partes, de lo contrario se introducen importantes errores. Se recomienda encarecidamente que todas las mediciones se conviertan a sus equivalentes del SI antes de los cálculos a empezar y que las unidades del SI se utilicen en todas las tablas de resultados.

El perímetro de contacto con el medio es la longitud del límite sólido en contacto con el agua. Para el canal rectangular que se define por:

$$P = (w + 2d)$$

Dónde:

P = Perímetro mojado (m).

w = ancho del canal de flujo (m), y

d = profundidad media (m).

El radio hidráulico es un parámetro utilizado por los ingenieros hidráulicos y liquido-mecanicistas para caracterizar la escala del flujo. Se define por:

$$R = A / P$$

$$A = WD$$

Donde

R = radio hidráulico (m), y

A = área de sección transversal (m²)

La velocidad media se define por la ecuación de continuidad como:

$$V = Q / A$$

Dónde:

V = velocidad media (m / s), y

Q = descarga (m³ / s)

Régimen de flujo: El régimen de flujo se define por dos números adimensionales: el número de Reynolds y el número de Froude. Ambos fueron desarrollados en el siglo 19 por los ingenieros británicos y que describen el equilibrio de fuerzas que actúan sobre el traslado de agua.

El número de Reynolds se define por:

$$Re = vd / u$$

Dónde:

Re = número de Reynolds,

u = viscosidad cinemática del agua (m² / s).

Este número describe la relación entre la inercia de las fuerzas viscosas. Para el canal abierto, el flujo de un valor inferior a 500 indica el flujo laminar, un valor superior a 2.000 indica el flujo turbulento y un valor de entre estas cifras indica el flujo de transición.

Los resultados demuestran que todos los flujos en el canal, y también en los ríos naturales, están totalmente turbulentos incluso cuando la superficie del agua es suave y cristalina.

El número de Froude se define por:

$$P = v / (gd)^{0.5}$$

Dónde:

P=Numero de Froude, y

g = aceleración de la gravedad (9.81 m/s²).

El número de Froude describe la relación entre la inercia de las fuerzas de la gravedad.

Los valores menores que la unidad indican menor régimen, un flujo sub-crítico en virtud del cual una pequeña onda de gravedad puede viajar río arriba contra la corriente. Los valores mayores que la unidad indican régimen superior, el flujo súper-crítico, en las que es imposible que una ola de gravedad pueda viajar río arriba. Un número de Froude de la unidad indica el flujo crítico, cuando las ondas son estacionarias y no hay una relación única entre el alta y la profundidad de flujo. El diagrama específico de energía muestra que no en todos los casos son críticas de flujo de

dos profundidades, son posibles para la misma descarga en función de si el flujo es sub o súper-critico.

En las ondas de flujo sub-critico en la superficie libre del agua debe de estar en fase. Los resultados experimentales deben ser analizados para verificar si esto se observó en el canal.

Fuerzas de flujo: Las fuerzas ejercidas sobre la cama de arena pueden ser representadas por el esfuerzo cortante, el parámetro de shield, la velocidad de corte, la fuerza de la corriente, y la cama del número de Reynolds. La tensión cortante por la plaza se encuentra con la ecuación de DuBoys:

$$\tau = \rho g R S$$

Dónde:

τ = esfuerzo cortante (N/m^2)

ρ = densidad del agua ($1000 \text{ kg} / m^3$), y

S = pendiente canal.

R = Radio hidráulico

Esto se expresa a menudo en la forma de las dimensiones del parámetro de shield:

$$q = \tau / (Sg - 1) \rho g D_{50}$$

Dónde:

q = parámetro de seguridad,

Sg = peso específico del material del lecho (2.65 para la arena de cuarzo), y

D_{50} = tamaño de grano promedio de material del lecho (m).

También puede ser expresada en unidades de velocidad como la velocidad de corte:

$$U^* = (gRS)^{0.5}$$

Donde

U^* = velocidad de corte (m / s).

Por último, la intensidad del flujo y la capacidad de transporte de sedimentos se pueden representar por su fuerza de corriente. Esto fue definido por Bagnold como:

$$W = \rho g R S / w$$

Dónde:

W= flujo de potencia por unidad de área de la cama (vatios/m²)

A diferencia de las otras medidas de fuerza de flujo, el flujo de energía es un escalar en lugar de una cantidad vectorial, lo que le da varias ventajas para los cálculos.

El número de <Reynolds define el patrón de flujo alrededor de los granos en la cama y se define por:

$$Re^* = u * D_{50} / \nu$$

Dónde:

Re * = Numero de Reynolds.

Cabe destacar que el número de Reynolds es muy diferente al Número de Reynolds para el flujo total, calculado mediante la ecuación siguiente

$$Re = v d / \nu$$

Dónde:

Re = número de Reynolds, y

U= viscosidad cinemática del agua (m² / s)

Resistencia de flujo: La resistencia al flujo describe las fuerzas de fricción y arrastre, la forma que ejerce sobre el movimiento del agua por los granos y las formas de fondo en el lecho del canal.

Se caracteriza generalmente en uno de los dos coeficientes de resistencia a la formula 'de Manning n' y la de Darcy-Weisbach 'f'. De ellos, 'n' es el más antiguo y más popular parámetro. Se desarrolló en el siglo 19 por un ingeniero irlandés, utilizando observaciones empíricas y cuando antes la ecuación menos conveniente de Cúter.

La ecuación de Manning es:

$$V = (R^{2/3} S^{1/2}) / n$$

Donde

N = coeficiente de Manning

Como la ecuación está dimensionada, el radio hidráulico debe estar en metros y la velocidad en metros por segundo en esta ecuación. La ecuación de Manning tiene una fuerte base empírica, pero no se basa en la mecánica de fluidos hidráulicos o apoyo al mismo. Por esta razón, el factor de fricción de Darcy-Weisbach es preferido por los teóricos a pesar de que “Manning, ‘n’ se utiliza más por los ingenieros y los científicos. Darcy y Weisbach eran ingenieros alemanes que trabajaban en tubería de flujo para desarrollar un coeficiente adimensional de fricción que tiene su base en la física. Para el flujo de canal abierto, su ecuación es:

$$F = 8gRS / v^2$$

Dónde:

F = factor de fricción.

La resistencia al flujo del canal no es constante sino que varía con la configuración de las formas del fondo y la forma de la sección transversal del canal. En el experimento la resistencia de las formas de fondo, que varía de cero en la configuración del plano de la cama a un máximo para las grandes, totalmente dunas desarrolladas. Esto debería ser evidente en los resultados.

Procedimiento: Ajuste el canal a una pendiente cero, cierre la válvula reguladora del caudal completamente y ponga la bomba a su posición más baja I. Encienda la bomba y permita que el agua entre el canal de flujo. En estas condiciones la cama debe estar inmóvil. Espere hasta que el flujo constante a lo largo del aforador se consigue, y compruebe que no hay movimiento en la cama.

Para tener éxito, es importante observar de cerca el estado de la cama y cuidadosamente durante el resto del experimento. Aumentar la pendiente de una fracción, pero no suficiente para superar el principio de movimiento del material del lecho. Esto es cero transportes de sedimentos y la cama es inmóvil. En estas condiciones no existen en el fondo y la configuración de la cama es el de una cama plana sin movimiento. Si se desea realizar un trabajo cuantitativo entonces el ancho del canal de flujo se debe medir y registrar, junto con el ajuste de la bomba, la pendiente canal y la profundidad media del agua. La media de profundidad debe basarse en al menos 10 mediciones en un punto de la profundidad del agua, hacerlo de forma aleatoria, puestos al alcance de trabajo del canal y bien lejos de cualquier entrada o efectos de salida. Tenga en cuenta que la profundidad del agua se mide desde la superficie libre de la parte superior del lecho de arena, no a la cama de canal sólido.

Aumentar gradualmente la pendiente hasta que haya una carga de sedimentos pequeña pero finita. Casi inmediatamente pequeñas, formas de fondo triangulares aparecerán. Se trata de ondas. Son de algunos milímetros de altura y un centímetro o dos de largo y son asimétricas, con una suave pendiente ascendente y un paramento de aguas abajo empinada. Observar el movimiento de los granos que componen las ondas.

Si el trabajo cuantitativo se va a realizar a continuación, tan pronto como una serie de ondas con el flujo aproximadamente uniforme se ha establecido, el tamaño del grano y el establecimiento de descarga deben tenerse en cuenta y las mediciones de la pendiente y la profundidad media del agua del canal debe hacerse también.

Al aumentar la configuración de la bomba a 3, la velocidad de descarga aumenta. La profundidad y la velocidad de movimiento de flujo de sedimentos aumentan inmediatamente. A continuación, aumentar la pendiente incrementalmente hasta que los granos se vean saltar y rebotar periódicamente, aunque el modo predominante sigue rodando. Este movimiento de salto o rebote se denomina saltación.

En esta intensidad de flujo, las formas de fondo triangular mayores son llamadas dunas. El tamaño de las dunas producidas en un canal pequeño no es mucho mayor que la de las ondas. Sin embargo, también son más largas y más plana rematada, y perturban la superficie libre del flujo. Observe que la superficie del agua se extrae disminuida ligeramente en una cresta de la duna, pero se joroba sobre el valle entre las dunas. Las olas en la superficie del agua son por lo tanto fuera de fase con las olas en la cama. Tenga en cuenta la presencia de cualquier hierva asociados a la turbulencia a bajo, con rodante y saltación de granos por el lado inclinado. Observar los granos por avalanchas, la vertiente del costado, y vigilar la presencia de burbujas de separación en las laderas del costado, causando flujo ascendente que barre los granos respaldados en la cara del canal.

Observe la orientación de las dunas en el lecho de dunas, el patrón de crestas de las dunas y notar la presencia y posición de cualquier socavación (agujeros).

Si el trabajo cuantitativo se va a realizar a continuación, en la cama debe establecerse las dunas en toda la sección, antes de tomar las mediciones del trabajo.

A continuación, el ajuste de la descarga, la pendiente del canal y la profundidad de flujo promedio debe tenerse en cuenta. Si en la geometría de las dunas se examinaron longitudes características y alturas, también se puede medir al mismo tiempo. Abrir el control de flujo completamente. La profundidad del flujo aumenta de nuevo, al igual que la intensidad de movimiento de sedimentos. La saltación se hará más pronunciada y el movimiento de algunos granos como la carga suspendida se puede observar, como los granos de salto desde la cresta de una duna directamente sobre la ladera del costado están próximos sin llegar a descansar en el canal. Tenga en cuenta que cualquier cambio en la altura de las dunas, la longitud y velocidad de progresión es descendente. Si es necesario, el ajuste de flujo puede ser observado y se toman medidas de la pendiente del aforador (dispositivo que sirve para determinar el caudal de una corriente de agua) y la profundidad del agua. Ahora haga un aumento sustancial de la pendiente, y observar que las dunas se alargan y se reducen en amplitud.

El resultado de largo, las formas de fondo bajas se llaman dunas arrasadas. Nota: La forma de los agujeros y la presencia (o ausencia de) los bebederos las recorren. Tenga en cuenta que la carga de fondo produce movimiento, y la presencia o ausencia de los furúnculos y áreas de retiro en la superficie del agua. Cuando las dunas arrasadas tienden a ocupar toda la longitud de trabajo, las mediciones de la pendiente y profundidad del agua se pueden hacer.

NOTA: El tiempo es la esencia de las partes restantes del experimento debido a que las altas tasas de transporte del material del lecho asociado con el régimen superior de las formas de fondo sobre la capacidad del canal de flujo para recircular el sedimento, lo recorren rápidamente hasta el lecho sólido del canal.

Las mediciones deberían realizarse o más rápidamente posible, una vez que el régimen de configuración de lecho se ha establecido.

Hacer un mayor aumento sustancial en la pendiente del canal.

Observar la desaparición de las dunas de lavado - hacia fuera y el establecimiento de una cama plana con el movimiento. Tenga en cuenta los cambios en la profundidad del agua y la aparición en la superficie del agua, y la presencia o ausencia de la ebullición y turbulencia de la superficie. Tenga en cuenta los cambios en la profundidad del agua y la aparición de la superficie del agua, y la presencia o ausencia de ebullición y turbulencia de la superficie. Tenga en cuenta el aspecto de la carga de fondo en movimiento y la presencia de rayas a lo largo del canal. Si el trabajo es cuantitativo deben emprenderse, medir la pendiente y la profundidad del canal de flujo.

Aumentar la pendiente del canal en una pequeña cantidad. Observe que el agua plana, la superficie lisa vidrios comienzan a deformarse en casi estacionarias ondulaciones llamadas ondas estacionarias. Observar la apariencia del aforador en la cama de arena, y observar si hay relación entre las características de la cama y la superficie del flujo. Las mediciones de la pendiente y la profundidad se pueden hacer si es necesario.

NOTA: Si el tiempo y los recursos son limitados, la próxima configuración del lecho (descrito en los dos párrafos siguientes) se debería omitir en favor de pasar directamente rompiendo las dunas.

Hacer un aumento bastante considerable en la pendiente del canal para mover el buen flujo en la parte superior del régimen. Observar la amplitud de las ondas de superficie y las formas de fondo debajo de ellos, y tenga en cuenta la simetría y regularidad de las formas de fondo debajo de ellos, y tenga en cuenta la

simetría y regularidad de las formas de fondo que se conocen como antidunas. Observe el movimiento de los granos, ya que son erosionados por el parámetro de aguas abajo. El mecanismo de los movimientos de la antiduna en la dirección aguas arriba, contra el movimiento del flujo de agua y el movimiento de los granos.

Esto se puede comprobar trazando se puede comprobar trazando el contorno de una antiduna en la pared del canal con un lápiz gráfico chino y observar su movimiento a través del tiempo. Hay que reconocer que el agua y los granos se mueven aguas abajo en todo momento, a pesar de los movimientos del fondo aguas arriba. Si la medición cuantitativa es necesaria, tener en cuenta la pendiente del aforador. Debido a la gran naturaleza dinámica del flujo y la configuración del lecho, medir la profundidad del flujo si se requieren repetidas veces en un punto fijo como dejar las formas del fondo atrás. Un valor medio se puede calcular. Aumentar la pendiente del canal por una cantidad moderada. Esto produce un correspondiente aumento de la intensidad del movimiento de sedimentos. Una novedad importante es que, como la amplitud del aumento de antidunas, es la pérdida de energía que participa en el flujo por la ladera hasta la cresta se hace cada vez mayor. Llega un momento en que el flujo en la cresta aparece para detener e intensar las turbulencias que ocurren. Esto destruye la configuración del lecho, que se rompe y se disipa en la dirección río arriba. Estas se llaman rupturas en las formas de fondo de antidunas. Por lo general, la ruptura no ocurre al azar, porque la ruptura de una antiduna aguas abajo provoca ruptura de la próxima ola ascendente, y así sucesivamente a lo largo del canal de flujo. En la naturaleza esto lleva a pulso el flujo de la formación de los trenes de las antidunas y el descanso, aunque las formas son relativamente raras, gracias al transporte de alta y sostenida de los sedimentos involucrados en la cama de arena. Aumentar la pendiente del canal lentamente, hasta que el fuerte oleaje produzca una forma oblicua hacia afuera de las paredes del canal, que se cruzan en las crestas de las antidunas.

Seguir incrementando la pendiente del canal a un ángulo muy empinado hasta que el flujo crítico es observado supercrítico, con una turbulencia intensa. Este flujo se asocia con la corriente de muy alta alimentación y transporte intenso de sedimentos. El patrón no puede ser sostenido en el canal durante mucho tiempo debido al agotamiento de los sedimentos disponibles en la cama del canal.

Las mediciones de la pendiente de canal y la profundidad media no son especialmente significativas ya que esto es inestable y la configuración del lecho no es uniforme.

Resultados y Conclusiones: Si el trabajo cuantitativo se va a realizar a continuación será conveniente usar las siguientes medidas y los valores derivados deben ser medidos y calculados:

Tamaño del Grano D50 (mm):0.1

Gravedad específica del material del lecho (2,65 para la arena de cuarzo):

Una tabla de los resultados de la práctica se proporciona en la página siguiente.

Hay una serie de elementos amplia de posibilidades en el análisis de los resultados experimentales y los ejercicios descritos aquí no son exhaustivos. Más bien se sugieren algunos, las comparaciones y tramas que son típicos de los tipos de trabajo que puede llevarse a cabo. Hay que recordar que el trabajo analítico, en cualquier caso ira acompañado de una narración escrita y algunos bocetos de lo que se observó en el experimento con el aforador (instrumento o dispositivo para medir la capacidad de un recipiente o el caudal de un fluido), de manera que se logre un equilibrio entre el análisis cuantitativo y descripción cualitativa.

Predictores de la configuración del lecho (o forma de la cama de arena): Hay muchos métodos para la predicción de la configuración del lecho. Estos pueden ser tipificados por los diagramas de Hjuström, Simons y Richardson, Leeder y BogRDI.

El diagrama de Hjuström utiliza parámetros muy simples de velocidad media (cm / s) y los sedimentos de diámetro (mm) para predecir la configuración del lecho como las dunas son, la cama plana (con movimiento) o antidunas para los flujos por encima del principio de movimiento del material de lecho. La cama plana (sin movimiento) condición que debe trazar por debajo de la línea del principio en la <<zona de depósito de la gráfica. Sin embargo, la simplicidad de los parámetros utilizados para caracterizar el flujo y el material del lecho y el lecho de que el grafico utiliza dimensiones que son inconsistentes, limita la aplicabilidad del diagrama Hjuström. Los datos tienden a concentrarse justo por encima del principio de la línea de arrastre y las predicciones basadas en esta grafica probablemente no están de acuerdo con las formas de la cama observadas.

El diagrama de Leeder, también utiliza el tamaño del grano en (mm) para representar el material del lecho, pero la tensión provocada por la cama de corte se representa con (N / m²) y sustituye a la velocidad media. Esta es una notable mejora en el esfuerzo cortante que es físicamente responsable del movimiento de la carga de fondo, en el lugar de la velocidad media. Además, el

diagrama de leeder se enmarca en términos de nuestra actual comprensión de las estructuras turbulentas cerca de la cama y hace referencia a la escala de explosión – que es la expulsión de agua del movimiento lento y hacia arriba de los granos de la cama durante el estallido y la actividad de barrido. Ahora bien, los ejes son más acotados, lo que limita la aplicabilidad del diagrama y se encontrará que las formas de fondo que predijo no coinciden con las observaciones experimentales particularmente bien.

El gráfico de Simons y el gráfico de Richardson utilizan una caída de diámetro (mm) para representar el material de la cama y el flujo de energía (ft.lb / s / m) para representar la intensidad de flujo. La caída de diámetro es el diámetro de la esfera con la velocidad de caída igual que los granos que componen la cama. Se encuentra generalmente en los textos de las tablas estándar de ingeniería como Vano ni (1975). Dado que este diagrama utiliza unidades de EE.UU. consuetudinario es necesario para convertir los resultados experimentales del equivalente al SI. Esto puede formar parte del ejercicio para el estudiantes o puede ser divulgado que la conversión correcta es multiplicar (vatios / m²) por 0.06851 para convertir a (ft.lb / s / m²). Este gráfico vuelve a utilizar ejes dimensionados y sufre de los mismos inconvenientes que los demás. Se encontró que mientras que la secuencia de las formas de fondo con el creciente flujo de energía coincide exactamente con la observada en el canal, los valores absolutos del flujo de energía al que se producen son mucho menores que el predicho.

El diagrama de Bogardi es diferente en que los ejes son adimensionales. De hecho, son los ejes del diagrama de Shields, de la cual se desarrolló esta gráfica. Las variables predictoras, por lo tanto, la tensión cortante adimensional de la cama, o parámetro de Shield, y el número de Reynolds en la cama.

Estos parámetros con bastante precisión representan las fuerzas y los patrones de flujo en la cama a pesar de que no tienen en cuenta los efectos de las turbulencias o salientes diferentes de granos en el flujo. Que sea adimensional es una gran ventaja, ya que debe hacer los argumentos igualmente aplicables a cualquier flujo, independientemente de la magnitud absoluta. Los resultados deben estar de acuerdo con las predicciones producidas a partir de este diagrama, que ilustra el beneficio del enfoque de dimensiones.

Hay muchas otras pequeñas partes, algunas de considerable complejidad, que puede ser examinado y probado. El instructor deberá seleccionar un conjunto de parcelas que ilustran los puntos fuertes y debilidades de los distintos enfoques y dejar a los estudiantes a que busque otros en la literatura que desean investigar.

Resistencias de Flujo: La mayoría de los libros de texto de ingeniería hidráulica y fluvial contienen tablas y gráficos de geomorfología que muestran los rangos de los coeficientes de resistencia para configuraciones de lechos diferentes (por ejemplo, véase Vanonni, 1975 o Richards, 1982). Estos pueden ser comparados con los valores calculados para los datos experimentales, para probar su validez. Un particularmente útil seguimiento de ejercicio para trazar un gráfico de coeficiente de resistencia en función de la pendiente del canal con la configuración del lecho se observó anotado a lo largo del eje-x.

Esto demostrará gráficamente cómo aumenta el flujo de la resistencia de un lecho (fondo) plano(sin movimiento), a través de ondulaciones de las dunas, antes de que abruptamente esté disminuyendo a medida que las dunas se lavan y reemplazan por una cama plana (con movimiento).

Las dos configuraciones de la cama plana debe tener casi coeficientes idénticos tanto la resistencia, como se deben únicamente a la rugosidad del grano. Sin embargo, el coeficiente para el caso de la cama móvil puede ser un poco menor debido a que el movimiento de granos presenta una superficie más suave y de menos fricción en el flujo que tiene la estática en el caso de la cama. La resistencia aumenta de nuevo con las ondas estacionarias y desarrolla antidunas (ante-colinas de arena), pero no a valores tan altos como para la cama de colinas de arena.

Configuración de lecho GENERIC diagrama de fase

(Modificado después de Leeder, 1983)

PRÁCTICA 4: CONFIGURACION DEL LECHO DURANTE LA ETAPA DE CAMBIO DE HISTÉRESIS

Objetivo: El objetivo de este experimento es investigar el fenómeno por el cual las características de la cama no están bien ajustadas con el flujo efectivo cuando el caudal es variable. Una teoría sugiere que esto es más probable cuando el caudal se baja, como un flujo de energía más bajo no se puede eliminar fácilmente la configuración del lecho producido por un mayor flujo de energía, y por tanto la configuración del lecho se observó a una velocidad de flujo que puede depender sobre si, el caudal disminuye después de un evento de alto flujo o el aumento de condiciones de flujo más lento.

Descripción de la práctica: En este experimento se opera el canal de flujo de sedimentos. La condición de la cama se observa como el valor de descarga y la pendiente de aforador (Dispositivo que sirve para determinar el caudal de una corriente de agua: el aforador suele estar montado en el lecho de un río o de una conducción hidráulica), se incrementa y, a continuación se disminuye. Las configuraciones del lecho van en aumento y las ramas que caen del diagrama de flujo se comparan.

Equipo necesario:

Armfield S8 MkII

Enganchar y calibrar el punto

Configuración del equipo:

Colocar arena de un tamaño uniforme entre 0.1 y 0.3 mm en el canal a una profundidad uniforme, y nivelar o enraizar con la parte superior del vertedero (escape para dar salida a los excesos de agua) excedente.

Comprimir ligeramente la superficie de la arena para que sea uniforme, ligeramente compactada y lo más plana posible.

Llenar el depósito de almacenamiento / llenar con agua limpia hasta la 'marca' total.

Procedimiento: Establecer la pendiente del canal cero, cierre la válvula reguladora total del caudal y el interruptor de la bomba sobre la configuración I. Comienza el experimento por la

inclinación del canal de flujo en pequeños incrementos hasta que haya suficiente pendiente para una configuración del lecho móvil, que dominó a desarrollar (los experimentos anteriores deben dar un indicio razonable de a pendiente necesaria para esto).

Mida y registre la descarga y la profundidad media del flujo. Describir las formas de fondo presentes en este tipo de descarga.

Aumentar la bomba, a la velocidad III, de modo que el transporte de sedimentos se haga más intenso y las ondulaciones se sustituyan por las dunas. Después de un tiempo suficiente para convertirse en las dunas establecidas, pero no necesariamente madurar por completo, medir y registrar la descarga y la profundidad media. Describir las formas de fondo presentes en este caudal.

Abra la válvula reguladora de caudal completamente. Las dunas ahora crecen en amplitud. Deje suficiente tiempo para que las dunas lleguen a su altura máxima y a la forma de resistencia. Cuando ocupan toda la sección de trabajo y han crecido, anote la profundidad media y la velocidad de descarga. Describiendo las formas de fondo presentes. Reducir la velocidad de la bomba a 1. E inmediatamente anote la profundidad media y la tasa alta. Tenga en cuenta las formas de fondo presentes. Observe cuidadosamente la forma en que el nivel ha reducido el movimiento de sedimentos llevando a la forma del cauce a convertirse moribunda, pero aún con una tendencia de la amplitud para disminuir la erosión de las crestas y el llenado de los canales a través del tiempo.

Una vez que las mediciones se han hecho, volver y grabar la configuración del lecho que se observó durante las últimas dos etapas.

El canal se puede dejar en esta posición durante un tiempo considerable. Si esto es posible en el tiempo disponible, se puede observar que la cama de dunas finalmente se transformará en ondas, que se ajustan al flujo impuesto y al medio ambiente del transporte de sedimentos.

Resultados

Conclusión: Opina sobre las diferencias relacionadas con la instalación d una sola línea que pasa por alto los efectos de histéresis.

¿Los resultados obtenidos sugieren la necesidad de tomar en cuenta la histéresis de la configuración del lecho cuando la predicción de la descarga de los escenarios en la cama de arena en un río?

El fenómeno de histéresis se observa al final del canal, donde los sedimentos que se lleva el flujo del agua son re depositados, este fenómeno es en gran parte ocasionado por el aumento de la velocidad y de la pendiente.

PRACTICA 5: EROSION EN LAS ESTRUCTURAS

Objetivo: El propósito de este experimento es estudiar los efectos sobre la erosión asociada con el canal en construcciones y el flujo alrededor de las estructuras en el canal.

Descripción de la práctica: En este experimento se opera el canal de flujo de sedimentos. A diferentes estructuras que son colocadas en el canal, y la condición de la cama se observa en las diferentes tasas de flujo.

Equipo necesario:

Armfield S8 MkII

Calibrar el equipo

Ajustar los accesorios del vertedero

Colocar verticalmente los accesorios del puente

Configuración del equipo:

Colocar arena de un tamaño uniforme entre 0.1 y 0.3 mm en el canal a una profundidad uniforme, nivelar con la parte superior de la presa excedente.

Comprimir ligeramente la superficie de la arena para que sea uniforme, ligeramente compactada y más plana posible.

Llenar el depósito / sedimentación con agua limpia hasta la 'marca' total.

Procedimiento

Flujo y erosión por debajo de un disparo en vertedero.

Ajuste el modelo de la presa en la entrada del canal, con la construcción en el borde de la cama sólida del depósito de cabecera (esto es necesario para garantizar que las dimensiones de la abertura del vertedero permanezcan constantes durante el experimento).

Establecer la pendiente del canal a cero, cierre la válvula reguladora del caudal total y el interruptor de la bomba se establece en 1.

Aumentar la pendiente en incrementos muy pequeños hasta que un pozo de socavación se empieza a desarrollar aguas debajo de la presa. Tenga en cuenta las características del flujo y la geometría del pozo de socavación. También observamos cómo los sedimentos erosionados del pozo de socavación se vuelven a depositar en la cama aguas abajo.

El patrón de flujo puede ser mejor visualizado por el uso de un indicador de color introducido en varios lugares con una jeringa o un gotero.

Para llevar a cabo el trabajo cuantitativo, debe medirse y tomar registros de lo siguiente: las dimensiones del pozo de socavación, la descarga, la pendiente y la diferencia, al cruzar el canal.

Recorrer la intensidad puede aumentar según se desee mediante el aumento de la pendiente y / o la descarga. Las mediciones de la diferencia de la punta y la geometría del pozo de erosión deben ir acompañadas de una observación cuidadosa para apoyar el trabajo cuantitativo.

Si lo desea, el trabajo experimental adicional puede llevarse a cabo para investigar el efecto al cambiar la altura de la presa.

Flujo y erosión en torno a una columna de un puente.

Apague la bomba, vaciar el canal, quitar los accesorios de la prensa y preparar el canal de flujo como se describe en la preparación del Equipo.

Coloque la pila del puente vertical en el tramo de trabajo de fluido del canal. El cilindro debe ser insertado en posición vertical con la parte inferior y enterrado en la arena, como un profundo pozo de erosión que se forma en esta región.

Establecer la pendiente del canal a cero, cierre la válvula reguladora del caudal totalmente y encender la bomba en la velocidad 1.

Aumentar la pendiente del canal en pequeños incrementos hasta que un pozo de socavación se empieza a desarrollar alrededor de la pila del puente. Tenga en cuenta la geometría del pozo de socavación. En concreto, respetando la formación de un remolino de zapata y la erosión asociada con la zanja en el lado aguas arriba de la obstrucción. Este es el resultado de un flujo potencial en esta área junto con el desarrollo de una capa límite en el flujo cerca del lecho del canal. Aguas debajo de la pila del patrón de flujo está denominado por grandes remolinos que giran alrededor de ejes verticales. A través del tiempo, los remolinos son emitidos desde lados alternos de la pila y

se lleva río abajo por el flujo principal. La línea resultante de los remolinos es llamada “una calle de remolinos”. Algunos de los sedimentos erosionados desde el pozo de erosión en toda la pila son re depositados a lo largo del eje de la calle de remolinos. El patrón de flujo puede ser mejor visualizado por el uso de un trazador de color introducido en varios lugares con una jeringa o un gotero.

Si el trabajo cuantitativo se va a realizar: a continuación, deben medirse y registrarse; las dimensiones del pozo de socavación, la descarga, pendiente y profundidad media del enfoque del flujo.

Al recorrer la intensidad se puede aumentar según se desee mediante el aumento de la pendiente y / o la descarga. Una amplia variedad del enfoque del flujo, la configuración del lecho y los regímenes de transporte de sedimentos pueden llegar a ser modificados usando distintas combinaciones para variar el flujo de energía y el número de Froude. Las mediciones de la profundidad y la geometría de la erosión del pozo deben ir acompañadas de una observación cuidadosa para apoyar el trabajo cuantitativo.

Los cilindros adicionales (no incluidos) pueden ser introducidos en varios patrones a lo largo y a través del canal de flujo para simular el puente de múltiples soportes y el efecto de confinamiento que puede tener sobre el flujo.

Los obstáculos de diferentes formas se pueden hacer hasta en metacrilato (nombre genérico de las sales de los ésteres del ácido metacrilato, empleados en la fabricación de plásticos de gran dureza y transparencia) u otro material adecuado (no suministrado) para simular las pilas y soportes de cualquier geometría deseada y el tamaño relativo.

Conclusión: Opina sobre la respuesta de la cama del canal a los obstáculos sólidos propuestos. Si se relacionan a situaciones de la vida real, y describir las formas en que el recorrido podría ser minimizado por las opciones de diseño realizadas en la construcción de estructuras hidráulicas.

-Los Vórtices formados arrastran la arena, pero estos son re depositados centímetros adelante.

-Después de la pila, la cama permanece plana antes de la pila se formaron dunas.

PRACTICA 6: TASA DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

Objetivo: El objetivo de este experimento es investigar la relación entre la intensidad del flujo y su capacidad de transporte de sedimentos.

Descripción de la práctica: Las mediciones se realizan sobre una variedad de velocidades de flujo y las pendientes del canal para determinar la velocidad de flujo, la energía de la corriente, y la carga de sedimentos.

Equipo requerido:

Armfield S8 MkII

Arena limpia

Calibrar el equipo

Configuración del equipo: Coloque la arena de un tamaño uniforme en el canal a una profundidad uniforme, a nivel con la parte superior del vertedero excedente.

Comprimir ligeramente la superficie de la arena para que sea uniforme, ligeramente compactada y como más plana posible.

Llenar el depósito / sedimentación con agua limpia hasta la 'marca' total.

Procedimiento: Mida el tamaño medio de grano de la arena utilizada en el canal. Ajuste el canal a una pendiente cero, cierre la válvula de control de flujo completamente y establezca la bomba a I. Gire a la posición más baja de la bomba y que penetre en agua en el canal. En estas las condiciones la cama debe estar inmóvil. Espere hasta que el flujo constante a lo largo del canal se consiga, y comprobar que no hay movimiento de la cama.

Para tener éxito, es importante observar el estado de la cama estrecha y cuidadosamente durante el resto del experimento. Para poner la cama hasta el principio de movimiento, el esfuerzo cortante se incrementa al aumentar la pendiente del canal de flujo en muy pequeños incrementos hasta que los granos sólo uno o dos se observan moverse. En este punto la pendiente se mantiene constante y la cama se observa para ver si el movimiento se mantiene o se detiene. Por lo general, el movimiento rápidamente se desvanece, ya sea porque: i) los granos fueron desalojados, los que eran realmente sobresalientes ligeramente en el flujo, a pesar de los

esfuerzos para producir un cama plana uniforme, o ii) que eran fragmentos de un mineral ligero como la mica mixta con la arena de cuarzo. Este es instructivo ya que muestra que incluso en condiciones controladas de laboratorio todavía hay una falta de uniformidad en el resguardo y la mineralogía del material de la cama.

La pendiente del canal se ha vuelto a aumentar lentamente en pequeños pasos hasta que se identifica el movimiento de la cama. Este proceso debe continuar en condiciones uniformes, con el grano de vez en cuando en movimiento a una corta distancia antes de establecerse de nuevo, pero sin ningún tipo de movimiento general o continuo.

NOTA: Tenga en cuenta las condiciones de alojamiento y el registro de la descarga, la pendiente media del canal y la profundidad del agua.

Sin embargo, es discutible si el movimiento muy lento y esporádico se observa, en realidad constituye una condición de lecho móvil, o si hay un caso para aumentar la pendiente sólo un poco más. El punto que se reconoce es que en realidad no existen condiciones exactas en las que el movimiento se puede decir que han comenzado. En realidad, como el esfuerzo cúbico aumenta la probabilidad de que un grano se mueva (que es inicialmente, en aumentos muy pequeños, pero también podría decirse que no es cero), hasta que en algún momento se define arbitrariamente el nivel de un número finito de los granos que se mueven en cualquier momento y la cama se considera que está en movimiento. Este punto se hizo por primera vez por Hans Albert Einstein en 1950, en su análisis estadístico, sello de circulación de la plataforma de carga.

La pendiente del canal se incrementa hasta que un pequeño, pero finito, número de granos se mueven en un momento dado y todos están de acuerdo en que la cama es móvil.

NOTA: Tenga en cuenta que este es el inicio del movimiento y registro de la descarga, la pendiente de canal y profundidad media de agua.

El aumento de la pendiente y / o la descarga suficientemente hasta que el movimiento se convierte en la plataforma de carga pronunciada, pero no hay carga suspendida. Una cama de dunas se forma con bastante rapidez.

Cuando la cama de dunas se ha establecido a lo largo de toda la longitud del canal, tenga en cuenta las condiciones de alojamiento y el registro de la descarga, la pendiente de canal y la profundidad media del agua como antes. Si ninguna de las ecuaciones de transporte de

sedimentos se va a probar entonces cualquier entrada necesaria de parámetros deben ser medidos.

La carga total se puede medir mediante la colocación de un tamiz con una malla un poco más pequeña que el tamaño del material del lecho bajo el chorro de agua que sale y los sedimentos del canal, para el periodo medido de tiempo. El tiempo debe ser suficiente para coger un mensurable peso de la arena. La arena puede ser capturada, luego se seca y se pesa. La carga de fondo se puede medir mediante el seguimiento de las dunas. Para ello, se coloque un pedazo de papel milimetrado transparente en el lado del aforador en la sección de trabajo y seguir el esbozo (Dibujo inacabado y esquemático) de una configuración lecho de dunas típicas. Después de un periodo de medida de tiempo suficiente para que las dunas que emigraron aguas debajo de forma apreciable, volver a trazar su contorno en el papel cuadriculado. La tasa de transporte de carga de fondo se puede calcular a partir de la ecuación:

$$Q_b = ((1 - \lambda) V_s d_b \rho_b) / 2$$

Donde

Q_b = Tasa de transporte de carga por unidad de longitud (kg / s)

V_s = Velocidad media de las formas de fondo (m/s)

d_b = Altura promedio de las formas de fondo (m)

λ = Porosidad del material de la cama, y

ρ_b = Densidad de cara de fondo = área de cuarzo = 2650 (kg / m³)

La porosidad, λ , se puede determinar con precisión al medir el volumen de agua necesaria para saturar un volumen conocido bruto de sedimento seco. Un valor aproximado de 0.3 a 0.4. Se puede utilizar si un valor exacto no es necesario.

La precisión del cálculo basado en el seguimiento de las dunas se puede comprobar comparando la carga de fondo informatizado utilizando este método para el valor medido en el canal emisario. Los datos medidos se pueden comparar a las cargas de predecir a partir de varias ecuaciones de transporte de sedimentos.

La intensidad del transporte de sedimentos puede aumentar con el empinamiento de la pendiente y / o aumentar el valor de descarga. Después de dejar tiempo para las formas de fondo para ajustarse a la carga total que puede ser medido en la descarga y la carga de fondo determinado por las dunas y el seguimiento en el alcance de trabajo, tal como se describe anteriormente en este ejercicio. Una vez que la exactitud de las dunas de seguimiento es la representación de movimiento de la carga de la cama se ha establecido, la magnitud de la carga suspendida se puede determinar restando la carga de fondo de la carga total. El experimento se puede repetir con el uso de la arena de diferentes tamaños, y uniforme tanto y mal clasificados estén los materiales de la cama, para investigar la influencia del tamaño de los sedimentos y la clasificación sobre el transporte. Sin embargo, no se debe utilizar sedimentos más gruesos que 2mm, ya que podrá dañar la bomba.

Resultados: Si una investigación cuantitativa es necesaria, los valores deberán registrarse y también los resultados obtenidos a partir de las ecuaciones presentadas en la sección de Teoría:

Ancho del canal, w :

El tamaño promedio de grano de material de la cama:

La porosidad del material de la cama:

Temperatura del agua:

Densidad del agua

* Esto se puede obtener de las tablas de referencia estándar, utilizando la medida de temperatura.

Conclusión: En este experimento se observó que la profundidad disminuye en cantidades muy pequeñas casi inobservables, al igual que la velocidad aumenta al aumentar la pendiente del canal. Todo lo anterior propicia a que haya un arrastre de sedimentos, esto puede saberse al recolectar la arena considerando el tiempo de recolección.

Describir la carga total del flujo dentro de la sección de canal de trabajo, desglosadas por:

1. Fuente de sedimentos.

Los sedimentos que este caso es la arena colocada en el canal, de un tamaño entre 0.1mm y 0.3mm.

2. El modo de transporte.

Al abrir la represa de paso, el agua recorre la sección de trabajo del canal, al aumentar gradualmente la pendiente, aumenta también la velocidad y por consecuencia

aumenta la intensidad del flujo. Lo anterior propicia al movimiento de partículas, existe un movimiento de carga y con esto un arrastre de movimientos.

3. Método de medición.

se obtuvo datos del volumen y el tiempo de recolección, para calcular el caudal o descarga. Para calcular la tasa de transportes, recolecte arena tomando en cuenta el tiempo de recolección. Para esto use la malla número 300, un cronometro para tomar el tiempo. Pese y seque la arena recolectada.

Opina sobre la pertinencia o no de cada método de subdivisión para el flujo dentro del canal, y para el flujo generalizado dentro de un canal de arroyo o río.

PRACTICA 7: RESISTENCIA DEL FLUJO EN UN LECHO DE GRAVA

Objetivo: El objetivo de este experimento es investigar la resistencia al flujo en un lecho de grava, y así ilustrar la diferencia entre el flujo de la cama con grava y el flujo de la cama con arena investigado en los experimentos anteriores.

Descripción de la práctica: En este experimento el canal de flujo es operado con sedimentos de grava. La profundidad media del caudal se mide por encima de un lecho de grava de la distribución de tamaño conocido en un rango de caudal y las pendientes del canal.

Equipo requerido:

Armfield S8 MkII

Limpiar, la grava de río (recogida a nivel local y se lava bien para eliminar los sedimentos finos y restos orgánicos).

Calibrar el equipo.

Teoría: Aunque el canal no es capaz de producir las condiciones de movimiento de la grava en la cama, se puede utilizar para investigar la resistencia al flujo de un canal de grava-cama. Esto es interesante porque los procesos responsables de la resistencia al flujo en un canal con una cama gruesa de material son sustancialmente diferentes a las de un canal de arena cama.

En un canal con cama de arena con un flujo sub-critico, la resistencia está dominada por la fricción debida a la forma o rizado y a las formas de fondo de las dunas.

En una cama de grava de un río las formas de fondo están ausentes y esto, junto con el tamaño relativamente grande de las partículas que componen la cama, hace hincapié en la importancia de la fricción de la piel debido a la rugosidad del grano. Por lo tanto un enfoque diferente para el análisis y la predicción de la resistencia al flujo en ríos de grava-cama es necesario.

Este análisis se basa en la teoría de la capa límite desarrollada por primera vez por Theodore von Karman. La teoría de la capa límite tiene sus usos fundamentales en la mecánica de fluidos para explicar cómo la velocidad que varía con la distancia a la frontera del sólido en un flujo de fluido de corte. Para hidrodinámicamente suavizar el límite del perfil de velocidades es parabólico, pero para una rugosa frontera como una forma en la grava, la distribución de velocidades es logarítmica. En consecuencia, la mayoría de las ecuaciones utilizadas para caracterizar la resistencia al flujo en el lecho de los ríos de grava es en forma logarítmica.

Las gravas fluviales están bien ordenadas y una amplia variedad de tamaños de grano suelen estar presentes. La altura de la rugosidad efectiva de la mezcla es una función de la distribución de tamaños, y tanto el análisis teórico de Keith Richards y el análisis empírico de Richard Hey han demostrado que es más grande que los granos tienen la mayor influencia en la eficacia rugosa de la altura.

Este es el caso porque los granos más pequeños tienden a ser ocultados por los más grandes que sobresalen en el flujo.

Por lo tanto, se acostumbra a utilizar el 84º (D84) o incluso el quinto percentil noventa (D95) o la distribución de tamaño acumulativo cuando se selecciona un tamaño de grano para representar el material de la cama en una ecuación de resistencia al flujo. Esto requiere una cuidadosa toma de muestras del material de la cama para producir una distribución de tamaño fiable.

Cuando se utiliza la altura de rugosidad efectiva para estimar la resistencia al flujo, se consideró que no es la rugosidad absoluta, que es importante, pero la rugosidad medida como proporción de la profundidad de flujo del agua. Esta es la rugosidad relativa que se expresa como una relación de dimensiones del tamaño de grano representante dividido por cualquiera de las profundidades de flujo medio o radio hidráulico.

$$\text{Rugosidad relativa} = D / d$$

Donde

D = D50, D84 o D95, según proceda, y

d = profundidad de flujo promedio.

En los ríos cama de grava de baja descargas y en los ríos cama de piedra, incluso a alto flujo, la rugosidad relativa puede ser muy grande. No es raro que los granos más grandes de la cama sobresalgan completamente a través de la superficie libre. Los investigadores, incluyendo a James Bathurst, han demostrado que no hay evidencia de que esta rugosidad a gran escala interrumpe la capa límite en la medida en que las ecuaciones logarítmicas de resistencia al flujo ya no aplican. En estas circunstancias, nuevas ecuaciones son preferibles, quizás basadas en la resistencia de forma de los elementos de rugosidad individual y estar en forma de función.

Por último, cabe señalar que, si bien en un canal de paredes lisas la gran mayoría de la resistencia al flujo es atribuible a la rugosidad de la cama, la escasa anchura introduce un flujo tridimensional que también contribuye a las pérdidas de energía. En el canal con sede en investigaciones científicas y de ingeniería es costumbre introducir una corrección de la pared lateral para dar cuenta de las pérdidas de energía asociadas a la anchura finita del canal.

Mientras que el procedimiento para la corrección de las mediciones de los efectos observados en la pared lateral es, probablemente, más allá del alcance de los experimentos relativamente simples a cabo en esta enseñanza del canal, los usuarios deben ser conscientes de la necesidad de corregir los datos del canal para proyectos de investigación.

Una cuenta detallada de los pasos necesarios para llevar a cabo una corrección de la pared lateral se da en el manual técnico de ASCE 54, "La sedimentación de ingeniería ", editado por Vito Vanoni y publicado por primera vez en 1975.

Ecuaciones de los experimentos anteriores:

$$\text{Velocidad del flujo } V = Q / wd$$

Dónde:

Q = canal de descarga

w = ancho de canal de flujo, y

d = promedio (media) profundidad de la corriente

$$\text{Factor de fricción } f = 8gRS / v^2$$

Dónde:

g = Aceleración de la gravedad (= 9.81 m/ s²)

S = pendiente del canal

R = Radio hidráulico

$$= A/P$$

Donde

A = área transversal del canal

= wd

P = perímetro mojado

= w + 2d)

$$\text{Numero de Froude } Fr = v / (gd)^{0.5}$$

5.7.5 Configuración del equipo

Limpiar el canal de la arena utilizada en los experimentos anteriores.

Limpiar la grava de río, nivelar la grava en el canal a una profundidad uniforme, a nivel con la parte superior de desbordamiento de la presa.

Comprimir ligeramente la superficie de la grava para que sea uniforme.

Llenar el depósito / sedimentación con agua limpia hasta la marca "total".

5.7.6 Procedimiento

Definir la inclinación a un valor bajo, cierre la válvula reguladora de caudal total y el interruptor de la bomba s establece a la configuración I.

Registre la descarga y medir la pendiente y el promedio de la profundidad del flujo.

Aumentar la bomba a la posición 3 y luego abrir la válvula de control de flujo totalmente, repetir las mediciones para cada posición.

Aumentar la pendiente del canal y repetir las observaciones de descarga en la configuración 1, y 3 con la válvula de control de flujo completamente cerrada.

Luego, con la válvula reguladora del caudal completamente abierto.

Apague la bomba y permita que el canal desagüe.

Muestra el material de la cama para determinar la distribución de tamaño. Esto se puede hacer ya sea por tomar una muestra global de tamizado, o por el método de conteo de Wolman gravilla.

En cualquier caso, el tamaño debe ser trazado de forma acumulativa con el fin de permitir la determinación de la 50°, 84 y 95 por ciento.

5.7.7 Resultados

Material del lecho distribución de tamaño:

50° por ciento D50

84° por ciento D84

95° por ciento D95

De los datos de medición, los gráficos de puntos sin dimensión de factor de fricción en comparación con inmersión relativa.

Los datos medidos también se pueden utilizar para aplicar y probar una amplia variedad de las ecuaciones de resistencia. Por ejemplo, el factor de fricción (coeficiente de resistencia) se describe encima de la ecuación y se calcula utilizando la formula con Darcy-Weisbach, a menudo escrita como:

$$V = (8gRSf-1)^{1/2}$$

Sin embargo, otras dos ecuaciones de resistencia comúnmente citados son los siguientes:

La fórmula de Manning

$$V = R^{2/3} S^{1/2} n^{-1}$$

donde n=Coeficiente de Resistencia

La fórmula de Chezy

$$V = C (RS)^{1/2}$$

donde C=Coeficiente de resistencia

La precisión de las fórmulas de este tipo cuando se aplica al canal S8 MkII puede ser probado con los resultados obtenidos. El factor de fricción (coeficiente de resistencia) para la arena también puede calcularse a partir de los resultados anteriores para la comparación. Estudios adicionales podrían implicar el uso de tipos alternativos de grava para permitir una investigación exhaustiva de la relación entre el tamaño del material del lecho y la resistencia al flujo.

5.7.8 Conclusión

Describe las diferencias entre el flujo de grava-cama observado en este ejercicio y el flujo de arena-cama observada en experimentos anteriores.

Formular observaciones sobre los gráficos obtenidos a partir de la experiencia, así como toda relación entre el factor de fricción y sumersión relativa.

Las conclusiones finales que se pueden extraer de este ejercicio dependerán de las ecuaciones de la resistencia a prueba y de la disponibilidad de otros resultados para la comparación. Características se dejan al estudiante para decidir.