



MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO HIDRÁULICA

Melquisedec, Cortés-Zambrano

**Colaboradores
Tania Mateus Mateus
Camila Silva López**



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA
T U N J A

VIGILADA MINEDUCACIÓN - SNIES 1732

Universidad Santo Tomás Tunja | 19 de marzo de 2021

ISBN 978-628-7504-28-8



Manual de Prácticas de Laboratorio Hidráulica

Melquisedec, Cortés-Zambrano
Colaboradores
Tania Mateus Mateus
Camila Silva López

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
Semillero de Investigación, Manejo Sostenible de Materiales
y Recursos Hidroambientales

MSMRHA

Universidad Santo Tomás Tunja | 19 de marzo de 2021
ISBN 978-628-7504-28-8

TABLA DE CONTENIDO

I. REGLAS DE USO DEL LABORATORIO.....	9
II. DESCRIPCIÓN ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL.....	13
III. PRÁCTICA “DEMOSTRACIÓN TEOREMA DE BERNOULLI EN BANCO HIDRÁULICO”.....	17
IV. PRÁCTICA “PÉRDIDAS POR ACCESORIOS”.....	29
V. PRÁCTICA “PÉRDIDAS POR LONGITUD”.....	39
VI. PRÁCTICA “CANAL DE VENTURI PARA TIPOS DE FLUJO”.....	53
VII. PRÁCTICA “TUBO PITOT EN EL CANAL HIDRÁULICO”.....	67
VIII. PRÁCTICA “COMPUERTA DE SEGMENTO (DESCARGA LIBRE)”.....	79
IX. PRÁCTICA “COMPUERTA DE SEGMENTO (DESCARGA DE REMANSO)”.....	93
X. PRÁCTICA “COMPUERTA PLANA DESLIZANTE (DESCARGA LIBRE)”.....	107
XI. PRÁCTICA “COMPUERTA PLANA DESLIZANTE (DESCARGA DE REMANSO)”.....	121
XII. PRÁCTICA “JUEGO DE VERTEDEROS DE CRESTA DELGADA, CUATRO TIPOS (INFLUENCIA DE LA AIREACIÓN EN LA FORMA DE LA NAPA Y LOS COEFICIENTES DE UNA PRESA)”.....	135
XIII. PRÁCTICA “JUEGO DE VERTEDEROS DE CRESTA DELGADA, CUATRO TIPOS (DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE UNA NAPA LIBRE)”.....	157
XIV. PRÁCTICA “VERTEDERO DE CRESTA ANCHA (CAÍDA LIBRE, CHORRO SUMERGIBLE Y NAPA)”.....	179
XV. PRÁCTICA “VERTEDERO DE CRESTA ANCHA (CAUDAL)”.....	193
XVI. PRÁCTICA “VERTEDERO DE PERFIL OGEE CON DOS TIPOS DE SALIDAS (CAUDAL Y ALTURA)”.....	209
XVII. PRÁCTICA “VERTEDERO DE PERFIL OGEE CON DOS TIPOS DE SALIDAS (RESALTO HIDRÁULICO)”.....	225
XVIII. PRÁCTICA “VERTEDERO DE PERFIL OGEE CON DOS TIPOS DE SALIDAS (TIPOS DE FLUJO Y TRANSICIÓN DE FLUJO)”.....	239
XIX. PRÁCTICA “VERTEDERO DE SIFÓN”.....	253
XX. PRÁCTICA “ELEMENTOS DE LA DISIPACIÓN DE ENERGÍA”.....	265
XXI. PRÁCTICA “BOX CULVERT (DESCARGA DE LIBRE)”.....	279
XXII. PRÁCTICA “BOX CULVERT (DESCARGA DE REMANSO)”.....	291
XXIII. BIBLIOGRAFÍA.....	303
XXIV. GLOSARIO.....	305



INTRODUCCIÓN

El siguiente manual se presenta como una guía para la elaboración de prácticas de laboratorio desarrolladas en los programas de mecánica de fluidos, tuberías y canales de la facultad de ingeniería civil. Se busca contextualizar la metodología que se debe llevar a cabo para el desarrollo de dichas prácticas. Este manual presenta 20 prácticas diseñadas con las herramientas y equipos disponibles en el laboratorio de hidráulica de la Universidad Santo Tomás, el cual contiene el paso a paso práctico y sencillo de cada laboratorio, y adicional a esto presenta 20 videos ilustrativos; 1 por cada práctica para facilitar aún más la comprensión de dichos laboratorios y garantizar así una mejor calidad en el aprendizaje y desarrollo de las prácticas por parte de los estudiantes.

Este documento es de uso exclusivo de los estudiantes que estén cursando las materias anteriormente mencionadas, con el fin de adquirir las bases suficientes para desarrollar cualquiera de las prácticas de laboratorio aquí descritas y que más allá de seguir un paso a paso, logre entender el fundamento teórico de las cosas y pueda aplicar en la práctica los conocimientos aprendidos en clase. A su vez desarrollar competencias de obtención de datos, análisis de resultados y plantear conclusiones que lleven a relacionar lo aprendido con el comportamiento de las estructuras hidráulicas existentes.

I. REGLAS DE USO DEL LABORATORIO

El reglamento general para el uso de los laboratorios de la universidad Santo Tomás, seccional Tunja, según el artículo 3 aplica para:

- a.** Todos los estudiantes regulares, ordinarios, especiales y asistentes, con carnet vigente.
- b.** Estudiantes con proyecto de grado con autorización del Decano de la Facultad.
- c.** Grupos de investigación adscritos a cada pregrado o Departamento.
- d.** Jóvenes investigadores con autorización del Decano Académico.
- e.** Egresados con previa autorización del Vicerrector Académico.
- f.** Personas externas que se encuentren en convenios especiales aprobados por la Universidad y requieran hacer uso de los laboratorios para actividades académicas.
- g.** Usuarios externos que contraten los servicios de utilización de laboratorios, equipos y materiales de acuerdo a las tarifas establecidas anualmente por la Vicerrectoría Administrativa a Financiera.

Dichos usuarios mencionados anteriormente deberán cumplir con las siguientes normas estipulas en el artículo 27 del reglamento del uso de laboratorio, para poder ingresar y disponer de estos:

- a.** Antes de ingresar al laboratorio dejar los elementos personales, maletas y prendas de abrigo dentro del locker ubicado afuera del laboratorio.

- b.** No llevar bufandas, pañuelos largos ni prendas u objetos que dificulten la movilidad.
- c.** Mantenga el laboratorio en óptimas condiciones de orden, higiene y aseo.
- d.** No está permitido fumar, usar vaporizadores, beber y consumir cualquier alimento o sustancia psicoactiva en el laboratorio.
- e.** No está permitido manipular lentes de contacto, maquillarse o almacenar alimentos para uso humano en las áreas de laboratorio.
- f.** No utilice joyas o accesorios colgantes (anillos, aretes, collares, pulseras, relojes) para realizar los procedimientos.
- g.** No utilice uñas artificiales, lleve las uñas cortas, limpias, saludables y sin esmalte.
- h.** En el caso de las mujeres y los hombres que tengan el cabello largo, por seguridad recogerse el cabello.
- i.** Es recomendable no vestir: pantalón corto, faldas cortas, sandalias o zapatos abiertos, se sugiere el uso de zapato cerrado y evitar la exposición de zonas de piel a posibles salpicaduras de productos químicos y/o biológicos.
- j.** Los estudiantes, docentes, investigadores y visitantes en los sitios de práctica deberán realizar un lavado cuidadoso de brazos, manos y uñas, con agua y jabón (líquido o sólido suspendido), después de cualquier manipulación de laboratorio y antes de retirarse del mismo. Para el secado de manos, cada estudiante deberá portar toallas de papel absorbente de fácil eliminación. Si hay alguna herida, se recomienda cubrirla.
- k.** Cualquier accidente por pequeño que sea, debe comunicarse al docente responsable de la práctica o al laboratorista.
- l.** Maneje con estricta precaución elementos cortopunzantes. De ningún modo reintroduzca agujas en sus capuchones dentro de los guardianes.
- m.** Nunca pipetee sustancia alguna con la boca, para ello se usarán pipeteadores o dispositivos de pipeteado.
- n.** Abstenerse de tocar con las manos enguantadas alguna parte de su cuerpo y de manipular objetos diferentes a los requeridos durante el procedimiento.
- o.** No deambular fuera de los laboratorios con los elementos de protección personal.
- p.** No substituyas nunca, sin autorización previa del profesor, un producto químico por otro en un experimento.
- q.** No utilices nunca un equipo o aparato sin conocer perfectamente su funcionamiento. En caso de duda, pregunta siempre al docente y laboratorista.
- r.** En caso de ruptura de material de vidrio contaminado con agua residual, cultivos microbianos, sangre u otro líquido corporal, los vidrios deben recogerse con escoba, recogedor y guantes de goma, nunca con las manos.

- s.** Todas las sustancias, equipos, materiales, etc., deberán ser manejados con el máximo cuidado, atendiendo a las indicaciones de las fichas técnicas, manuales de uso o de seguridad, según sea el caso.
- t.** Por seguridad no se debe colocar ningún tipo de objeto sobre los equipos.
- u.** Usar solo el equipo asignado por el docente a cargo de la práctica en el laboratorio.
- v.** Queda terminantemente prohibido correr en los laboratorios, así como la práctica de juegos y otras conductas irresponsables que atenten con la integridad de los estudiantes y/o de los equipos-mobiliario. Un comportamiento irresponsable puede ser motivo de expulsión inmediata del laboratorio y de sanción académica.
- w.** Quien, por mal uso o negligencia, dañe, rompa o inutilice una máquina, equipo, accesorio o instrumental del laboratorio, deberá correr con los gastos de reparación o reposición, con idénticas características técnicas.
- x.** Todos los carteles con señales y advertencias de seguridad deben ser respetados sin excepciones. Se deberá conocer la ubicación de los elementos de seguridad, tales como: extintores, salidas de emergencia, botiquín, etc.

El manual está sujeto a que se deben tener en cuenta los protocolos y normas establecidos por cada laboratorio adicionales a los mencionados anteriormente, a partir del momento de la publicación de este documento.

II. DESCRIPCIÓN ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

Para el uso del laboratorio de hidráulica es obligatorio el uso de elementos de protección personal para el desarrollo de actividades y prácticas, los cuales son una parte esencial para la protección a la salud, la integridad física y la bioseguridad. Dichos EPP son:

- Bata blanca: Esta prenda tendrá que cubrir los brazos y llegar hasta las rodillas, al igual que, tendrá que permanecer abotonada durante todo el laboratorio con el fin de evitar daños por agentes biológicos, con equipos o materiales que se encuentren en el laboratorio.
- Guantes de nitrilo: Estos permiten cubrir las manos, con el fin de protegerlas. Por lo que están hechos de un material muy resistente a la permeabilización de productos químicos, virus y bacterias.
- Gafas de seguridad: Estas gafas protectoras se usan para evitar la entrada de líquidos, objetos o productos químicos en los ojos.
- Tapabocas desechables: Estos tapabocas son de un solo uso, ya que al ser reutilizados pierden sus características de protección.

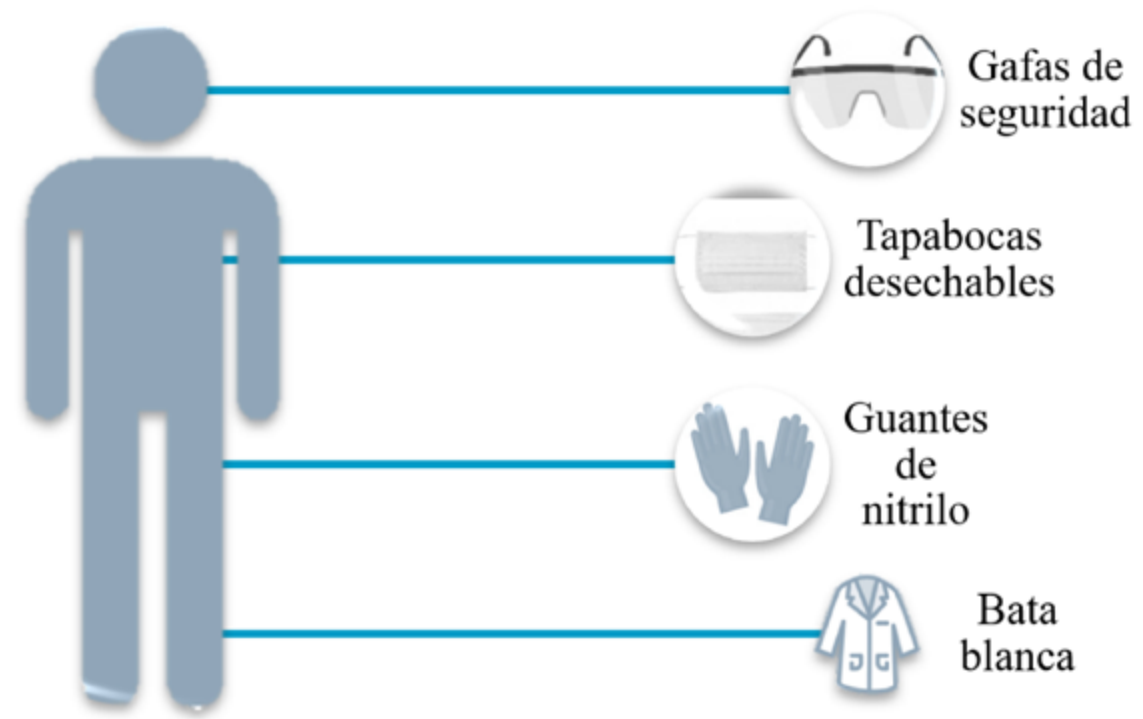


Ilustración 1. Elementos de protección personal
Fuente: Elaboración propia.

III. PRÁCTICA “DEMOSTRACIÓN TEOREMA DE BERNOULLI EN BANCO HIDRÁULICO”

A continuación se presentan los códigos QR para acceder al video ilustrativo de la práctica a trabajar.



SEMILLERO MSMRHA



SANTOTO TUNJA

1. OBJETIVO GENERAL

Demostrar el teorema de Bernoulli en el banco hidráulico.

1.1 Objetivos específicos

- Medir presión y velocidad a lo largo del tubo venturi.
- Determinar el caudal que fluye por el tubo venturi.
- Analizar los resultados obtenidos.

2. COMPETENCIA

Con la demostración del teorema de Bernoulli se busca desarrollar la capacidad de llevar a cabo una experimentación adecuada, analizar e interpretar los datos obtenidos, y usar criterios de la ingeniería civil para sacar conclusiones y tomar decisiones.

3. RESULTADO DE APRENDIZAJE

Demostrar el dominio del tema, comprendiendo correctamente el funcionamiento de los equipos, analizando los datos obtenidos y estableciendo conclusiones que le permitan evaluar sus conocimientos.

4. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

El equipo de demostración del teorema de Bernoulli, FME03, permite verificar la ecuación de Bernoulli realizando cálculos a partir de las tomas de presión en el tubo venturi. Para las medidas se emplean tubos piezométricos y un tubo de Pitot.

Teorema de Bernoulli

Considerando un caudal constante en dos secciones diferentes de una tubería y aplicando la ley de la conservación de la energía para flujos ideales, la ecuación de Bernoulli se puede escribir como:

$$v \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2 * g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2 * g} + Z_2$$

Para este caso la tubería es horizontal, es decir $Z_1 = Z_2$ por tal razón la ecuación queda de la siguiente manera:

$$H = \frac{P}{\gamma} + \frac{v^2}{2 * g} = \text{cte}$$

Donde,

$$\frac{v^2}{2 * g} = \text{Energía o altura cinética}$$

$$\frac{P}{\gamma} = \text{Energía o altura estática}$$

H = Altura total

Es decir, la energía total del fluido siempre va ser constante a lo largo de la tubería, en su lugar lo que varía es la energía cinética y estática, puesto que cuando la sección de la tubería es pequeña la velocidad aumenta, pero la presión disminuye; en cambio, cuando la sección de la tubería es mayor, la velocidad va a disminuir y la presión va a aumentar. De forma que la energía total se expresa de la siguiente manera:

$$E_T = E_s + E_k$$

Donde,

E_T = Energía total (mm.c.a)

$E_s = \frac{P}{\gamma}$ Energía estática (mm.c.a)

$E_k = \frac{v^2}{2 * g}$ Energía cinética (mm.c.a)

Vale aclarar que el teorema de Bernoulli cumple para fluidos ideales, es decir, para fluidos donde su viscosidad es nula. Sin embargo, experimentalmente se puede analizar que existen pérdidas de energía por la fricción que genera las partículas del fluido con respecto a la tubería. Como consecuencia, con ellas mismas parte de la energía del fluido se disipa en forma de calor.

Tubo de Pitot

Un tubo de Pitot se considera como un obstáculo fijo en el fluido en movimiento. Este es el encargado de medir la presión total del flujo a lo largo de la tubería, va ubicado en contra del flujo de agua, el cual, en su punta tiene un orificio conectado a un tubo piezométrico, con el fin de determinar la presión total en la sección.

5. ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

- Bata blanca
- Guantes de nitrilo
- Gafas de seguridad
- Tapabocas desechable

6. RECURSOS MATERIALES Y EQUIPOS

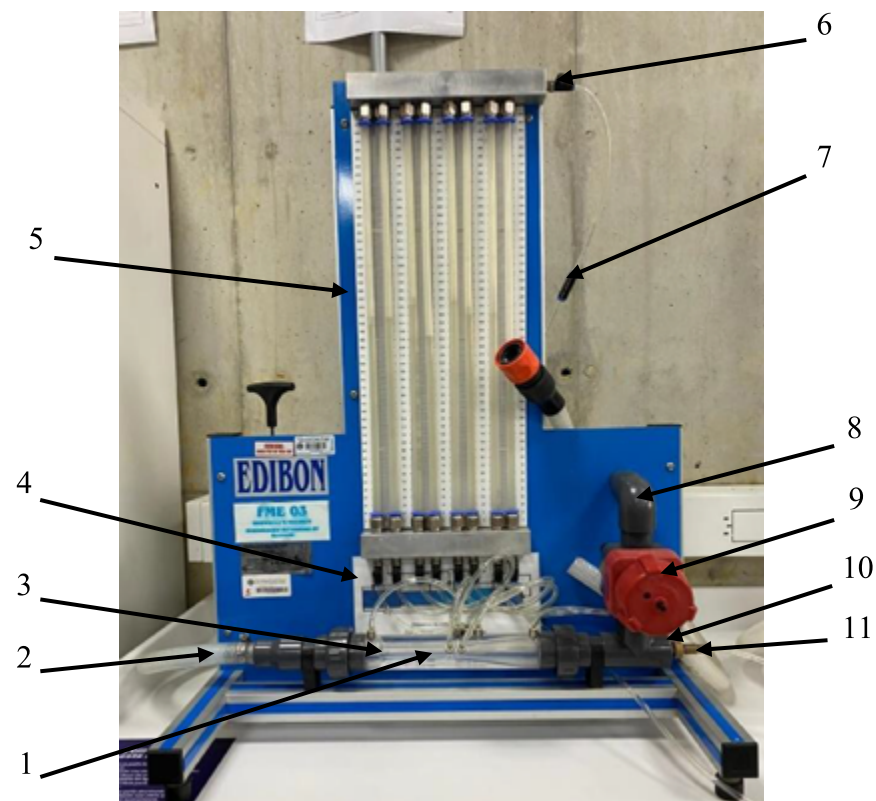


Imagen 1. Equipo de demostración teorema de Bernoulli FME-03.
Fuente: Elaboración propia.

En la imagen 1 se muestra el equipo de demostración del teorema de Bernoulli FM3-03, donde:

1. Tomas de presión insertadas en el tubo de Venturi y conectadas a los tubos piezométricos.
2. Tubería de entrada, la cual permite el suministro de agua hacia el tubo de Venturi.
3. Tubo de Venturi, conducto o tubería transparente de sección circular cónica entre dos tramos con 7 puntos de toma de presión. En la tabla 1 se muestra los diámetros del tubo Venturi para cada toma de presión.

Tabla 1. Diámetro del tubo de Venturi para cada punto de medición.

Diámetros del tubo de Venturi en [mm]							
D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D6
25,00	10,00	10,61	11,22	12,45	14,90	25,00	25,00

Fuente: Elaboración propia.

4. Válvulas de apertura y cierre, sirven para controlar el flujo que pasa a los tubos piezométricos.
5. Panel de tubos piezométricos, consiste en un juego de ocho (8) tubos directamente conectados a las tomas de presión del tubo de Venturi.
6. Válvula de purga, la cual permite regular la altura en los tubos piezométricos purgando el aire.
7. Válvula antirretorno, la cual permite purgar el sistema.
8. Tubería de salida del agua del sistema.
9. Válvula reguladora de caudal, como su nombre lo indica, permite regular el caudal con el cual se va a hacer la práctica.
10. Mando para ajustar la posición del tubo de Pitot en las distintas tomas de presión a lo largo del tubo Venturi.
11. Tubo de Pitot, sirve para medir la presión total de flujo a lo largo del Venturi. Este tubo tiene un orificio conectado a un tubo piezométrico, permitiendo así la toma de presión en cada punto.

Para realizar esta práctica se necesita un banco hidráulico FME-00 como en la imagen 2. Este banco permite colocar en su parte superior el equipo con el que se va a realizar la práctica. Cuenta con un depósito volumétrico de agua y una bomba centrífuga. Este le suministra caudal al equipo de ensayo, donde:

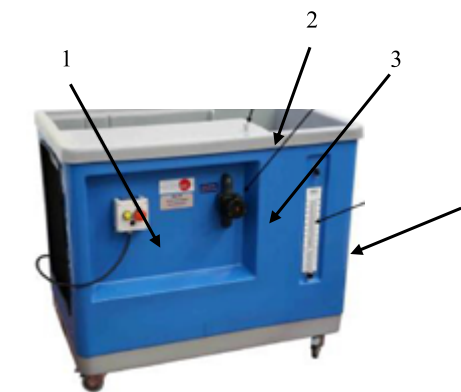


Imagen 2. Banco hidráulico FME-00.
Fuente: Elaboración propia.

1. Botón de encendido y apagado del banco hidráulico.
2. Accionador válvula de desagüe.
3. Válvula reguladora de caudal, permite regular el suministro de agua al equipo.
4. Probeta cilíndrica y graduada para las mediciones de caudales muy bajos.

7. INSTALACIÓN DEL EQUIPO

1. Situar el equipo FME-03 sobre la superficie del banco hidráulico FME00.
2. Conectar el tubo de entrada del equipo a la boca de impulsión del banco con el enchufe rápido y empalmar un conducto flexible a la salida de aquel, para que pueda desaguar en el tanque volumétrico.
3. Encender la bomba a través del botón de encendido y apagado. Seguidamente abrir despacio y completamente la válvula reguladora de caudal del banco hasta que se alcance un flujo máximo.
4. Comprobar que las válvulas que dan acceso a los tubos piezométricos y la válvula de purga estén abiertas.
5. Tras un tiempo trabajando en flujo máximo, cerrar completamente la válvula reguladora del equipo. Los tubos estarán llenos completamente.
6. Para regular la altura de los tubos se debe utilizar la válvula antirretorno. Desconectar el tubo y abrir la válvula de purga que regula la entrada de aire en los tubos piezométricos. Realizar una purga para eliminar las posibles burbujas que hubiesen podido quedar en los tubos piezométricos.
7. Con la bomba de aire, introducir en los tubos piezométricos para presurizar el sistema. Una vez se tenga cierta presión, cerrar la válvula de purga.
8. Si se requiere modificar el nivel de aire-agua en los tubos piezométricos se debe abrir durante muy poco tiempo la válvula reguladora del equipo, de esta manera el nivel de los tubos bajará.
9. Repetir los pasos del 5 al 7 hasta alcanzar en los tubos una altura deseada.

Nota: El último tubo piezométrico, corresponde al tubo de Pitot, tardará más en alcanzar la misma altura que los demás tubos piezométricos.

8. PROCEDIMIENTO

Una vez se encuentre instalado el equipo se procede a realizar la práctica como se especifica en la imagen 3:

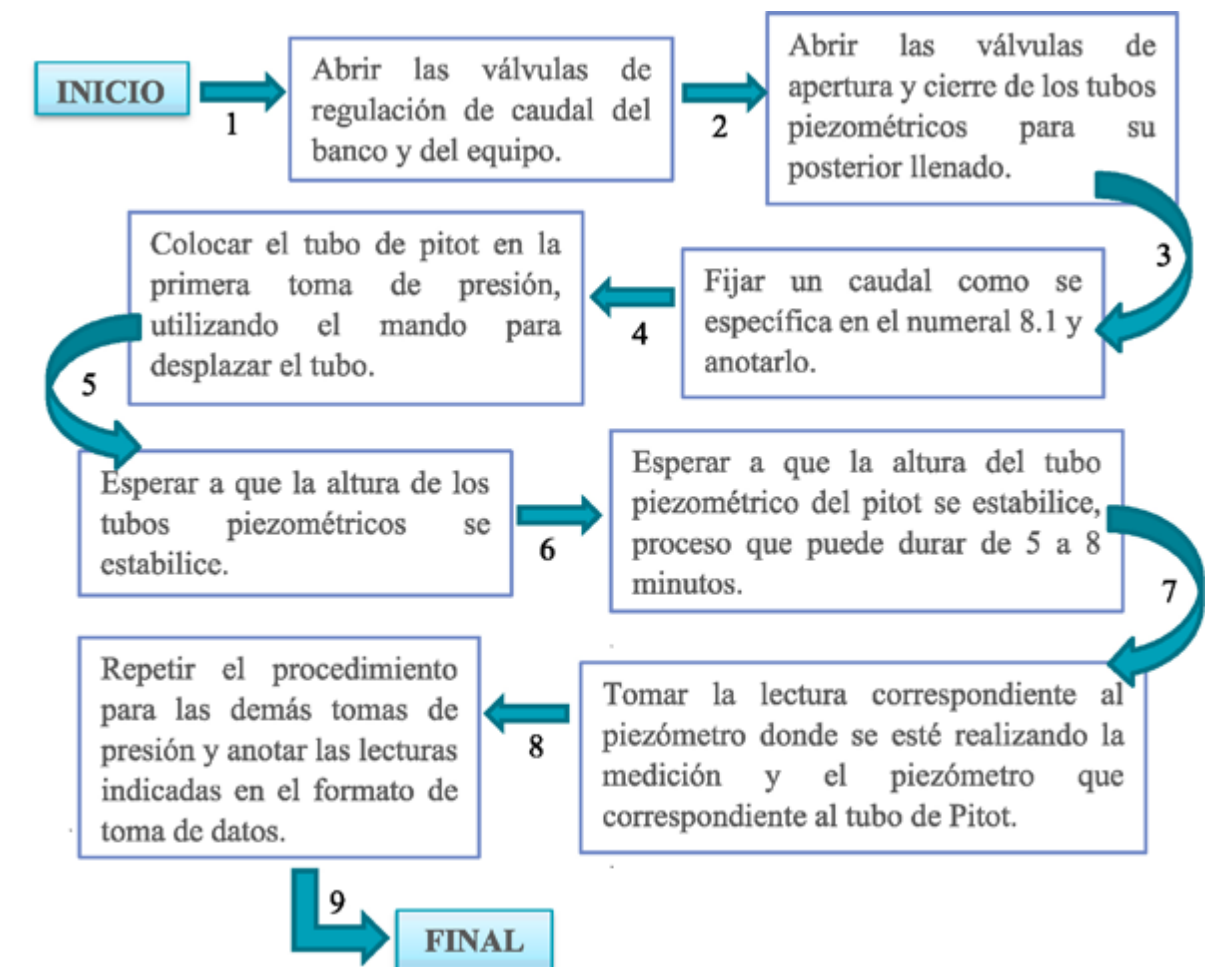


Imagen 3. Procedimiento práctica demostración teorema de Bernoulli.
Fuente: Elaboración propia.

8.1 Medición de caudal

El caudal se define como el tiempo que se demora en llenar cierto volumen de agua. Así que una manera de cuantificarlo es coger la manguera de desagüe del equipo y cronometrar el tiempo que tarda en llenar una probeta de determinado volumen, como se observa en la imagen 4. Este proceso se repite mínimo 3 veces con el fin de tener varios tiempos y sacar un promedio de estos.



Imagen 4. Medición de caudal.
Fuente: Elaboración propia.

IMPORTANTE:

Vale aclarar que esta práctica solo sirve para flujos turbulentos, por tal razón, existe un rango de caudal en los cuales es apropiado realizar el ensayo para obtener datos correctos: $0,00022 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ a $0,00017 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$.

9. CUESTIONARIO

1. Determinar el caudal del fluido.

$$Q = \frac{V}{t}$$

Donde,

Q = Caudal que circula por la tubería $\left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right)$

V = Volumen del fluido (m^3)

t = Tiempo en el que se deja llenar la probeta de medición de volumen (s)

2. Determinar la diferencia de alturas respecto a cada tubo piezométrico con el tubo piezométrico del Pitot.

$$\Delta h = ht_{\text{Pitot}} - h_s$$

Donde,

Δh = Diferencia de alturas piezométricas (m.c.a)

ht_{Pitot} = Energía o altura total medida con el tubo pitot (m.c.a)

h_s = Energía o altura estática respecto a donde se esté tomando la medición (m.c.a)

3. Calcular la velocidad media del fluido.

$$v = \sqrt{\left(2 * g * \left(\Delta h - \frac{D}{2}\right)\right)}$$

Donde,

v = Velocidad media del fluido en cada punto de medición $\left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)$

Δh = Diferencia de alturas piezométricas (m.c.a)

D = Diámetro del tubo venturi en cada punto de medición (m)

g = Constante de la gravedad $9,81 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)$

4. Determinar la sección del tubo Venturi para cada punto de medición.

$$S = \frac{Q}{v}$$

Donde,

S = Sección del tubo Venturi en cada punto de medición (m^2)

Q = Caudal que circula por la tubería $\left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right)$

v = Velocidad media del fluido en cada punto de medición $\left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)$

5. Calcular la altura cinética obtenida a partir del valor de Q y los valores de S calculados.

$$h_k = \frac{Q^2}{2 * g * S^2}$$

Donde,

h_k = Energía cinética para cada punto de medición (m.c.a)

g = Constante de la gravedad $9,81 \left(\frac{m}{s^2}\right)$

S = Sección del tubo venturi en cada punto de medición (m^2)

Q = Caudal que circula por la tubería $\left(\frac{m^3}{s}\right)$

6. Calcular la energía estática (h_s)

Nota: La energía estática es la misma de cada punto de medición, solo que en m.c.a.

7. Calcular la energía o altura total experimental (h_T).

$$h_T \text{ (m.c.a)} = h_k + h_s$$

8. Analizar la validez del teorema de Bernoulli, si cumple o no con lo establecido y ¿por qué?

Nota: La altura del tubo piezométrico de la derecha corresponde al tubo de Pitot, es decir que este registra la presión total en cada punto de medición. La presión estática (h_s) se obtiene para cada uno de los siete (7) tubos piezométricos.

10. FORMATO DE TOMA DE DATOS

Tabla 2. Formato toma de datos ensayo demostración teorema de Bernoulli.

Piezómetros	Energía estática	Energía total Pitot	Volumen	Tiempos		
	h_s [mm.c.a]	h_{tpitot} [mm.c.a]		$t1$ [s]	$t2$ [s]	$t3$ [s]
0						
1						
2						
3						
4						
5						
6						

11. FORMATO DE RESULTADOS

Tabla 3. Formato de resultados ensayo demostración teorema de Bernoulli.

Caudal	Dif. Alturas piezométricas	Velocidad	Sección	Energía cinética	Energía estática	Energía total experimental
Q [m ³ /s]	Δh [m.c.a]	v [m/s]	S [m ²]	h_k [m.c.a]	h_s [m.c.a]	h_T [m.c.a]

IV. PRÁCTICA “PÉRDIDAS POR ACCESORIOS”

A continuación se presentan los códigos QR para acceder al video ilustrativo de la práctica a trabajar.



SEMILLERO MSMRHA



SANTOTO TUNJA

1. OBJETIVO GENERAL

Determinar las pérdidas de carga de una corriente que circula a lo largo de una tubería, con 7 tipos de accesorios para controlar el direccionamiento del flujo.

1.1 Objetivos específicos

- Analizar los coeficientes de pérdidas “ k_m ”.
- Determinar el caudal que fluye por la tubería.

2. COMPETENCIA

Con la práctica de pérdidas de cargas locales se busca desarrollar la capacidad de llevar a cabo una experimentación adecuada, analizar e interpretar los datos obtenidos, y usar criterios de la ingeniería civil para sacar conclusiones y tomar decisiones.

3. RESULTADO DE APRENDIZAJE

Demostrar el dominio del tema, comprendiendo correctamente el funcionamiento de los equipos, analizando los datos obtenidos y estableciendo conclusiones que le permitan evaluar sus conocimientos.

4. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Cuando un flujo circula a lo largo de un circuito hidráulico va presentar pérdidas de carga, las cuales se deben a variaciones de la energía potencial y cinética del fluido, al igual que, a la fricción generada por las partículas del fluido con respecto a la tubería.

En esta práctica, el equipo FME-05 se encarga de medir la presión antes y después de realizar una perturbación en el caudal que circula por la tubería. Dichas perturbaciones son generadas por 7 tipos de accesorios: codo largo, ensanchamiento, contracción, codo medio, codo corto, válvula de membrana e inglete. Estos cambios geométricos generan variaciones bruscas de velocidad, produciendo así dichas pérdidas.

Las pérdidas de carga en un fluido se pueden calcular con la siguiente expresión:

$$h_m = k_m * \frac{v^2}{2 * g}$$

Donde,

h_m = Pérdida de carga (m)

k_m = Coeficiente de pérdida adimensional

v = Velocidad media del fluido $\left(\frac{m}{s}\right)$

g = Constante de la gravedad $9,81 \left(\frac{m}{s^2}\right)$

5. ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

- Bata blanca
- Guantes de nitrilo
- Gafas de seguridad
- Tapabocas desechable

6. RECURSOS MATERIALES Y EQUIPOS

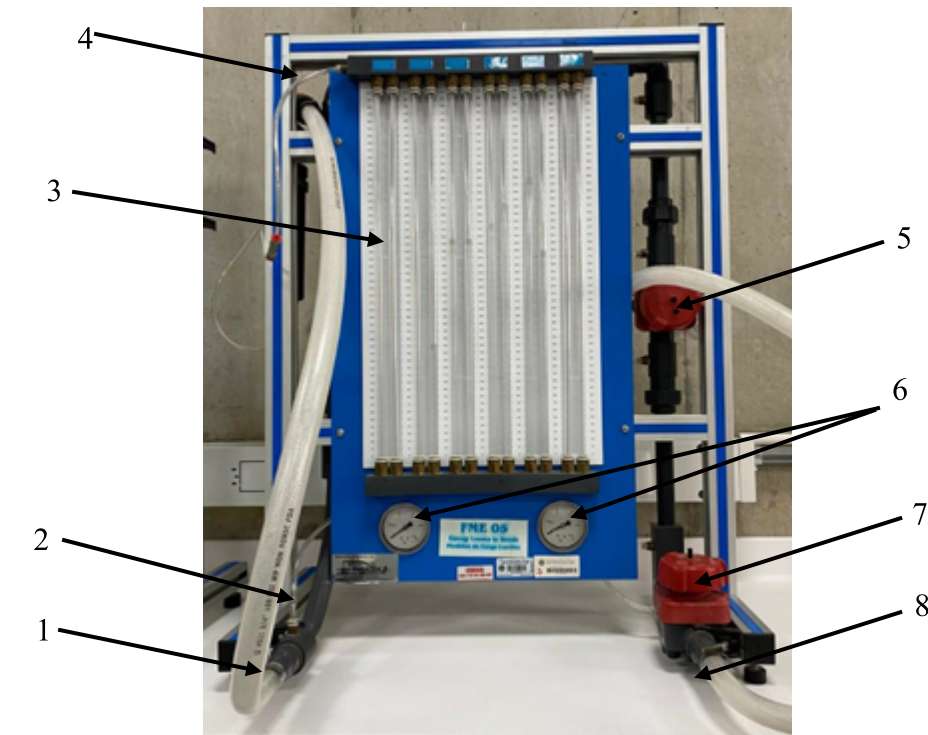


Imagen 5. Equipo de pérdidas cargas locales FME-05. Vista general.
Fuente: Elaboración propia.

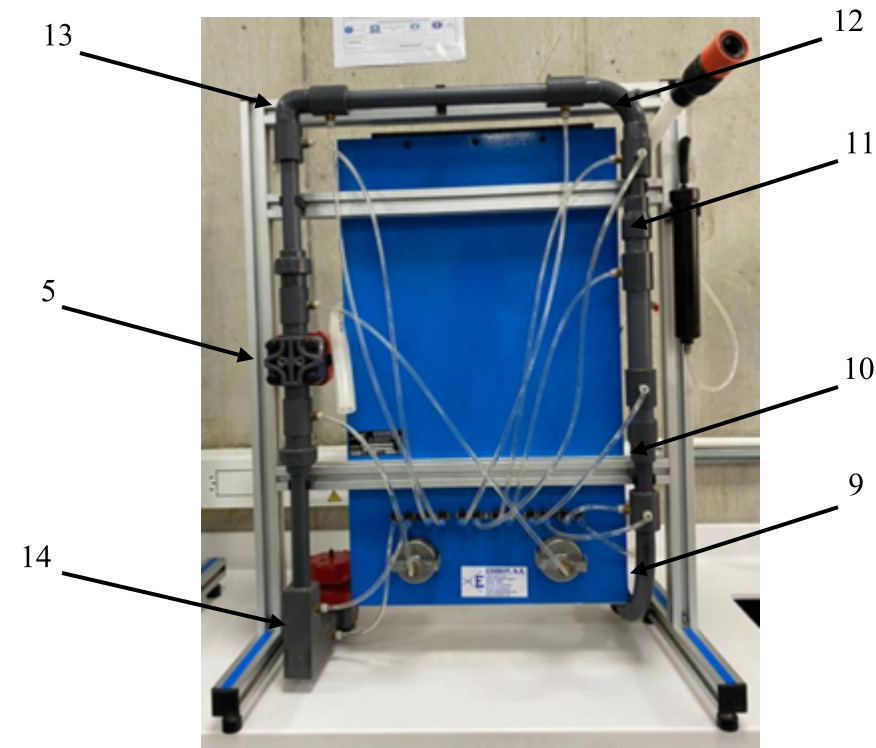


Imagen 6. Equipo de pérdidas cargas locales FME-05. Vista trasera.
Fuente: Elaboración propia.

1. Tubería de entrada, la cual permite el suministro de agua del banco al equipo.
2. Tubería rígida de PVC diámetro de $\frac{1}{2}$ in.
3. Juego de 6 tubos piezométricos, los cuales miden las presiones antes y después de todos los accesorios a excepción de la válvula de membrana.
4. Válvula de purga, la cual permite regular la altura en los tubos piezométricos purgando el aire.
5. Sexto accesorio: Válvula de membrana diámetro de $\frac{1}{2}$ in.
6. Manómetros de Bourdon, estos son los encargados de medir las presiones para la válvula de membrana; el primero mide antes y el segundo mide después del accesorio.
7. Válvula reguladora de caudal, como su nombre lo indica permite regular el caudal con el cual se va hacer la práctica.
8. Tubería de salida del agua del sistema.
9. Primer accesorio: Curva de 90° diámetro $\frac{1}{2}$ in.
10. Segundo accesorio: Ensanchamiento diámetro $\frac{1}{2}$ in a $\frac{3}{4}$ in.
11. Tercer accesorio: Estrechamiento diámetro nominal $\frac{3}{4}$ in a $\frac{1}{2}$ in.
12. Cuarto accesorio: Codo largo 90° diámetro de $\frac{1}{2}$ in.
13. Quinto accesorio: Codo corto 90° diámetro de $\frac{1}{2}$ in.
14. Séptimo accesorio: Inglete diámetro de $\frac{1}{2}$ in.

Para realizar esta práctica se necesita un banco hidráulico FME-00 como en la imagen 7. Este banco permite colocar en su parte superior el equipo con el que se va a realizar la práctica. Cuenta con un depósito volumétrico de agua y una bomba centrífuga. Este le suministra caudal al equipo de ensayo, donde:



Imagen 7. Banco hidráulico FME-00.
Fuente: Elaboración propia.

1. Botón de encendido y apagado del banco hidráulico.
2. Accionador válvula de desagüe.
3. Válvula reguladora de caudal permite regular el suministro de agua al equipo.
4. Probeta cilíndrica y graduada para las mediciones de caudales muy bajos.

7. INSTALACIÓN DEL EQUIPO

1. Situar el equipo FME-05 sobre la superficie del banco hidráulico.
2. Conectar el tubo de entrada del equipo a la boca de impulsión del banco con el enchufe rápido y empalmar un conducto flexible a la salida de aquel, para que pueda desaguar en el tanque volumétrico.
3. Encender la bomba a través del botón de encendido y apagado. Seguidamente abrir despacio y completamente la válvula reguladora de caudal del banco hasta que se alcance un flujo máximo.
4. Comprobar que las válvulas que dan acceso a los tubos piezométricos y la válvula de purga estén abiertas.
5. Tras un tiempo trabajando en flujo máximo, cerrar completamente la válvula reguladora del equipo. Los tubos estarán llenos completamente.

6. Para regular la altura de los tubos se debe utilizar la válvula antirretorno. Desconectar el tubo y abrir la válvula de purga que regula la entrada de aire en los tubos piezométricos. Realizar una purga para eliminar las posibles burbujas que hubiesen podido quedar en los tubos piezométricos.
7. Con la bomba de aire, introducir en los tubos piezométricos para presurizar el sistema. Una vez se tenga cierta presión, cerrar la válvula de purga.
8. Si se requiere modificar el nivel de aire-agua en los tubos piezométricos se debe abrir durante muy poco tiempo la válvula reguladora del equipo, de esta manera el nivel de los tubos bajará.
9. Repetir los pasos del 5 al 7 hasta alcanzar en los tubos una altura deseada.

8. PROCEDIMIENTO

Una vez se encuentre instalado el equipo se procede a realizar la práctica como se especifica en la imagen 8:

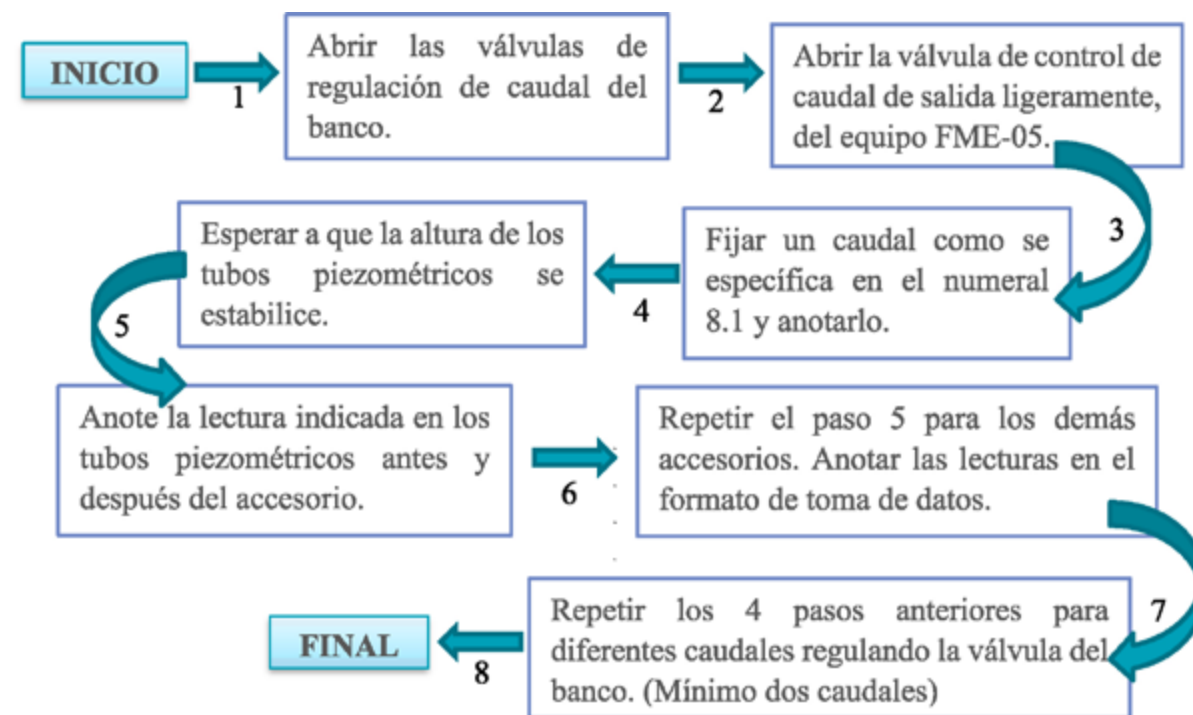


Imagen 8. Procedimiento prácticas pérdidas por accesorios.
Fuente: Elaboración propia.

8.1 Medición de caudal

El caudal se define como el tiempo que se demora en llenar cierto volumen de agua. Así que una manera de cuantificarlo es coger la manguera de desagüe del equipo y cronometrar el tiempo que tarda en llenar una probeta de determinado volumen,

como se observa en la imagen 9. Este proceso se repite mínimo 3 veces con el fin de tener varios tiempos y sacar un promedio de estos.



Imagen 9. Medición de caudal.
Fuente: Elaboración propia.

9. CUESTIONARIO

1. Determinar el caudal del fluido.

$$Q = \frac{V}{t}$$

Donde,

Q = Caudal que circula por la tubería ($\frac{m^3}{s}$)

V = Volumen del fluido (m^3)

t = Tiempo en el que se deja llenar la probeta de medición de volumen (s)

2. Determinar la pérdida de carga h_m para cada accesorio (m.c.a).

$$h_m = h_{entrada} - h_{salida}$$

Donde,

h_m = Pérdida de carga (m.c.a)

$h_{entrada}$ = Altura o energía piezométrica registrada en el tubo piezométrico de entrada correspondiente a cada accesorio (m.c.a)

h_{salida} = Altura o energía piezométrica registrada en el tubo piezométrico de salida correspondiente a cada accesorio (m.c.a)

3. Calcular la velocidad media del fluido.

$$v = \frac{Q}{A}$$

Donde,

v = Velocidad media del fluido $\left(\frac{m}{s}\right)$

Q = Caudal que circula por la tubería $\left(\frac{m^3}{s}\right)$

A = Área de la sección donde se está tomando la lectura (m^2)

4. Calcular el coeficiente de pérdida k_m

Nota: Los valores obtenidos por los manómetros de Bourdon de la válvula de membrana están dados en bar, donde el factor de conversión a m.c.a es:

$$\Delta P = \rho * g * h_m$$

Donde,

ΔP = Diferencia de presiones medidas en los manómetros de Bourdon (Pa)

h_m = Pérdida de carga (m.c.a)

ρ = Densidad del fluido $\left(\frac{Kg}{m^3}\right)$

g = Constante de la gravedad $\left(\frac{m}{s^2}\right)$

5. Analizar los coeficientes de pérdidas (k_m), determinar la razón por la cual unos accesorios generan más pérdidas que otros y que podría hacer para reducir dicha pérdida.

10. FORMATO DE TOMA DE DATOS

Tabla 4. Formato toma de datos ensayo pérdidas de carga locales.

Accesorio	Altura de entrada	Altura de salida	Volumen	Tiempos		
	hentrada [mm.c.a]	hsalida [mm.c.a]		V [L]	t1 [s]	t2 [s]
Curva de 90°						
Ensanchamiento						
Estrechamiento						
Codo largo 90°						
Codo corto 90°						
Inglete						
	hentrada [bar]	hsalida [bar]	V [L]	t1 [s]	t2 [s]	t3 [s]
Válvula de membrana						

11. FORMATO DE RESULTADOS

Tabla 5. Formato de resultados ensayo pérdidas de cargas locales.

Accesorio	Tiempo	Pérdida de carga	Caudal	Velocidad	Coeficiente de pérdida
	t [s]	hm [m.c.a]	Q [m³/s]	v [m/s]	Km
Curva de 90°					
Ensanchamiento					
Estrechamiento					
Codo largo 90°					
Codo corto 90°					
Inglete					
Válvula de membrana					

V. PRÁCTICA “PÉRDIDAS POR LONGITUD”

A continuación se presentan los códigos QR para acceder al video ilustrativo de la práctica a trabajar.



SEMILLERO MSMRHA



SANTOTO TUNJA

1. OBJETIVO GENERAL

Determinar de manera experimental la pérdida de carga por fricción para tipos de flujos.

1.1 Objetivos específicos

- Calcular el número de Reynolds para los distintos tipos de flujo.
- Medir el caudal que circula por la tubería.

2. COMPETENCIA

Con la práctica de pérdidas de carga por longitud busca desarrollar la capacidad de llevar a cabo una experimentación adecuada, analizar e interpretar los datos obtenidos, y usar criterios de la ingeniería civil para sacar conclusiones y tomar decisiones.

3. RESULTADO DE APRENDIZAJE

Demostrar el dominio del tema, comprendiendo correctamente el funcionamiento de los equipos, analizando los datos obtenidos y estableciendo conclusiones que le permitan evaluar sus conocimientos.

4. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Todo fluido en movimiento dentro de una tubería sufre pérdidas de energía, las cuales están relacionadas con la velocidad del mismo. Las pérdidas de energía, también denominadas pérdida de carga se expresan en metros columna de agua, las cuales se calculan por medio de la ecuación de Darcy-Weisbach:

$$h_f = f * \frac{v^2}{2 * g} * \frac{L}{D}$$

Donde:

h_f = Pérdida de fricción (m.c.a)

f = Factor de fricción adimensional

L = Longitud de la tubería (m)

D = Diámetro de la tubería (m)

g = Constante de la gravedad $\left(\frac{m}{s^2}\right)$

v = Velocidad media del fluido $\left(\frac{m}{s}\right)$

Número de Reynolds: Este permite evaluar la relación entre las fuerzas inerciales y las fuerzas viscosas presentes en un fluido. Con base a dicho número adimensional, se puede distinguir o clasificar los tipos de flujos de acuerdo a su movimiento, ya que el valor que tome indica si es un flujo laminar o turbulento.

$$R_e = \frac{v * D}{\nu}$$

Donde,

v = Velocidad media del fluido $\left(\frac{m}{s}\right)$

D = Diámetro de la tubería (m)

ν = Viscosidad cinemática del fluido $\left(\frac{m^2}{s}\right)$

Factores de fricción para tipos de flujo:

Flujo laminar: El flujo laminar dentro de una tubería se caracteriza porque está ordenado, estratificado, suave y las velocidades son bajas. Este tipo de flujo se determina de acuerdo al número de Reynolds, donde $Re \leq 2300$. El factor de fricción adimensional “ f ” se calcula por medio de la ecuación de Poiseuille, la cual es válida para tubos lisos o rugosos.

$$f = \frac{64}{R_e}$$

Flujo turbulento: Se caracteriza porque sus partículas se mueven desordenadamente y sus trayectorias se encuentran generando remolinos, debido a las velocidades altas que produce esta corriente de agua. Este tipo de flujo se determina de acuerdo al número de Reynolds, donde $Re \geq 4000$. El factor de fricción se calcula por medio de la ecuación de Colebrook-White, la cual es válida para tubos lisos o rugosos, en la zona de transición o turbulenta.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 * \log_{10} \left(\frac{K/D}{3,71} + \frac{2,51}{R_e * \sqrt{f}} \right)$$

Donde,

f = Factor de fricción adimensional

K = Rugosidad absoluta (m)

D = Diámetro de la tubería (m)

5. ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

- Bata blanca
- Guantes de nitrilo
- Gafas de seguridad
- Tapabocas desechable

6. RECURSOS MATERIALES Y EQUIPOS

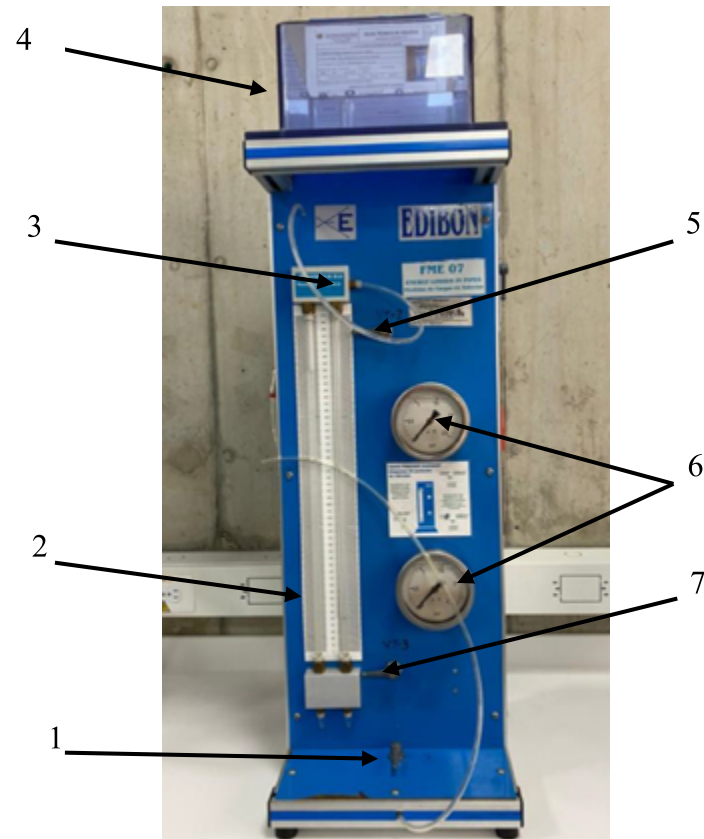


Imagen 10. Equipo de pérdidas de carga por longitud FME-07. Vista general.
Fuente: Elaboración propia.

1. Válvula dos vías, encargada de descargar el fluido del circuito, si está cerrada no hay flujo por el circuito, si está abierta sí lo hay.
2. Piezómetro diferencial de agua. Un tubo en forma de U para poder parar la medida de la presión diferencial en dos puntos de la tubería.
3. Válvula de purga, sirve para eliminar las burbujas de los tubos piezométricos.
4. Depósito de altura constante para ensayos en régimen laminar. Este depósito se utiliza como almacenaje del fluido y cae por gravedad al banco hidráulico.
5. Válvula de 3 vías, esta permite la conexión del fluido con los manómetros de Bourdon, el cual está directamente conectado a la primera toma de presión.
6. Manómetros de Bourdon, estos son los encargados de medir las presiones para flujo turbulento al inicio y al final de la tubería.
7. Válvula de 3 vías, esta permite la conexión del fluido a los manómetros de Bourdon la cual está directamente conectada a la segunda toma de presión.

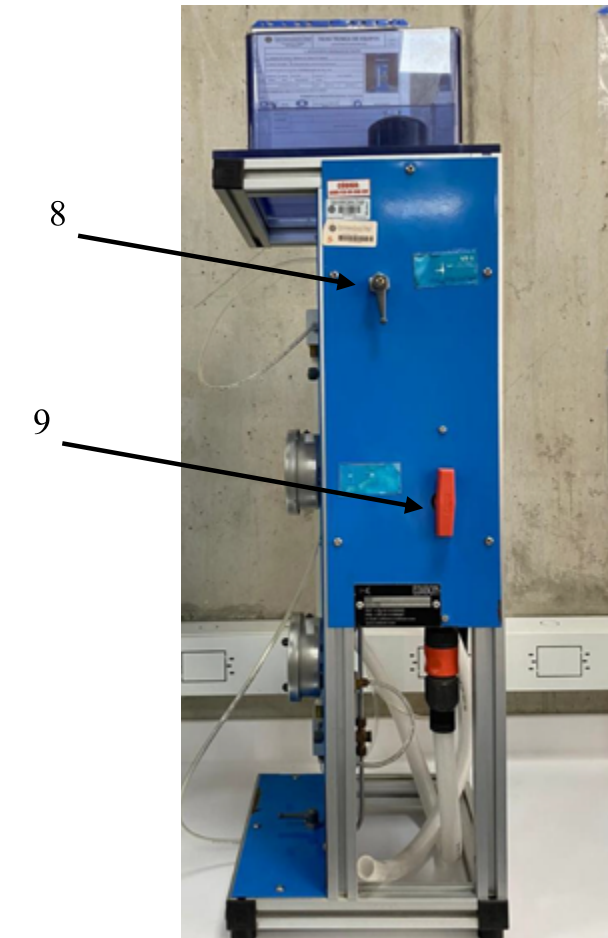


Imagen 11. Equipo de pérdidas de carga por longitud FME-07. Vista lateral.
Fuente: Elaboración propia.

8. Válvula 3 vías, permite cortar el flujo en posición cerrada, al igual que, dejarlo pasar por la tubería de prueba desde el depósito en posición laminar, o circular únicamente por la tubería de prueba en posición turbulento.
9. Válvula que permite al flujo subir al depósito cuando se encuentra abierta, o cortar ese paso, de manera que el flujo seguirá el circuito de tubería de prueba cuando está cerrada.

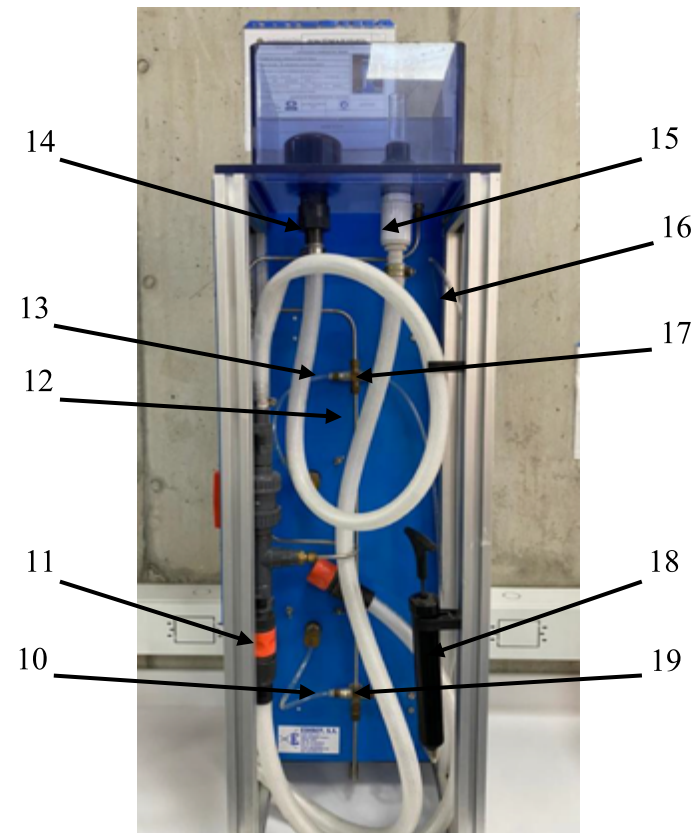


Imagen 12. Vista trasera equipo de pérdidas de carga por longitud FME-07.
Fuente: Elaboración propia.

10. Toma de presión a la salida de la tubería de prueba para régimen turbulento.
11. Tubería de entrada, la cual le suministra caudal al equipo por medio del banco hidráulico.
12. Tubería de prueba con las siguientes especificaciones:
 - Diámetro interno: 0,004 m.
 - Longitud: 0,5 m.
 - Material: Acero inoxidable.
13. Toma de presión a la entrada de la tubería de prueba para régimen turbulento.
14. Tubería que conecta el flujo desde el banco hidráulico con el depósito superior, con salida a un difusor de seguridad que hace que el flujo caiga hacia el depósito evitando que salga disparado.
15. Salida de depósito superior hacia el banco hidráulico.
16. Válvula antirretorno. Solo permite el paso del fluido en una dirección.
17. Toma de presión a la entrada de la tubería de prueba para régimen laminar.
18. Bomba manual, para presurización del agua de los tubos del piezómetro diferencial.
19. Toma de presión a la salida de la tubería de prueba para régimen laminar.

Para realizar esta práctica se necesita un banco hidráulico FME-00 como en la imagen 13. Este banco permite colocar en su parte superior el equipo con el que se va a realizar la práctica. Cuenta con un depósito volumétrico de agua y una bomba centrífuga que le suministra caudal al equipo de ensayo, donde:



Imagen 13. Banco hidráulico FME-00.
Fuente: Elaboración propia.

1. Botón de encendido y apagado del banco hidráulico.
2. Accionador válvula de desagüe.
3. Válvula reguladora de caudal, permite regular el suministro de agua al equipo.
4. Probeta cilíndrica y graduada para las mediciones de caudales muy bajos.

7. INSTALACIÓN DEL EQUIPO

1. Situar el equipo FME-07 sobre la superficie del banco hidráulico.
2. Conectar el tubo de entrada del equipo a la boca de impulsión del banco con el enchufe rápido y empalmar un conducto flexible a la salida de aquel, para que pueda desaguar en el tanque volumétrico.
3. Encender la bomba a través del botón de encendido y apagado.
4. Una vez conectado, se procede al llenado del depósito interno del banco por medio de una manguera.
5. El depósito empezará a llenarse, así que su nivel irá subiendo a la medida que se le suministre caudal.

7.1 Llenado de tubos piezométricos diferenciales

1. Comprobar que la válvula de control de caudal del banco y la válvula de regulación del equipo FME-07 estén abiertas.
2. Verificar que las válvulas que sirven para pasar de tipo de régimen a otro este en dirección a los piezómetros y que la válvula de purga esté abierta.
3. Cerrar la válvula de regulación de caudal del equipo y purgar el sistema.
4. Presurizar la válvula de purga por medio de la bomba manual.
5. Cuando los tubos piezométricos hayan alcanzado un nivel de agua de más o menos a la mitad se cierra la válvula de purga.
6. Ambos tubos deben quedar a la misma altura, ya que eso indica que el equipo ya está preparado para la toma de datos.

7.2 Preparación del equipo para régimen turbulento..

1. Asegurarse de que el equipo está conectado al banco y que este tiene las respectivas conexiones al depósito superior del equipo.
2. Las válvulas que están situadas en la parte lateral del equipo, la primera debe estar cerrada y la segunda en posición turbulenta.
3. Cerrar la válvula del banco hidráulico, para luego prender la bomba y volverá abrir.
4. Abrir completamente la válvula de regulación del equipo.
5. Las válvulas encargadas de cambiar el tipo de régimen, deben girarse hacia los manómetros de Bourdon.
6. El equipo ya está preparado para la toma de datos.

7.3 Preparación del equipo para régimen laminar..

1. Asegurarse de que el equipo está conectado al banco y que este tienes las respectivas conexiones al depósito superior del equipo.
2. Las válvulas que están situadas en la parte lateral del equipo, la primera debe estar abierta y la segunda en posición laminar.
3. Prender la bomba, abrir la válvula de regulación del banco.
4. Llenar el depósito de altura constante de la siguiente manera: se cierra la válvula de regulación de caudal del equipo y se abre la válvula del banco lentamente. Observe que el depósito llegue a la altura del rebosadero, para que inmediatamente abra la válvula del equipo.
5. Las válvulas encargadas de cambiar el tipo de régimen, deben girarse hacia los piezómetros.
6. El equipo ya está preparado para la toma de datos.

8. PROCEDIMIENTO

Una vez se encuentre instalado el equipo se procede a realizar la práctica como se específica en la imagen 14:

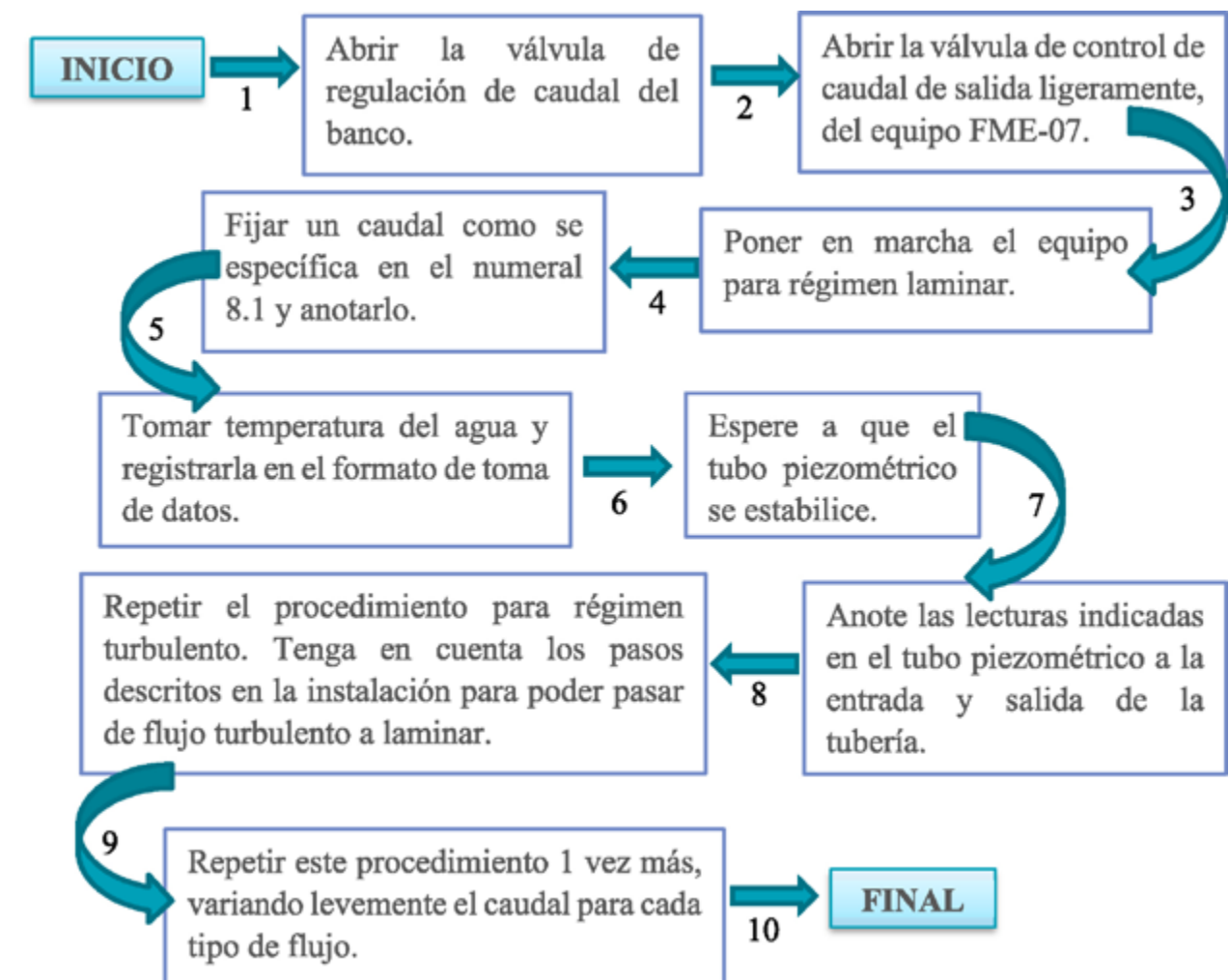


Imagen 14. Procedimiento práctica pérdida de carga por longitud.

Fuente: Elaboración propia.

8.1 Medición de caudal

El caudal se define como el tiempo que se demora en llenar cierto volumen de agua. Así que una manera de cuantificarlo es coger la manguera de desagüe del equipo y cronometrar el tiempo que tarda en llenar una probeta de determinado volumen, como se observa en la imagen 15. Este proceso se repite mínimo 3 veces con el fin de tener varios tiempos y sacar un promedio de estos.

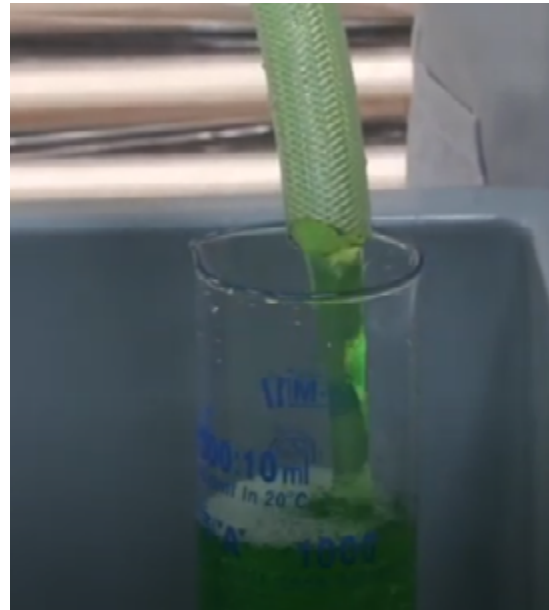


Imagen 15. Medición de caudal.
Fuente: Elaboración propia.

9. CUESTIONARIO

1. Determinar el caudal del fluido.

$$Q = \frac{V}{t}$$

Donde,

Q = Caudal que circula por la tubería ($\frac{m^3}{s}$)

V = Volumen del fluido (m^3)

t = Tiempo en el que se deja llenar la probeta de medición de volumen (s)

2. Determinar la pérdida de carga por fricción h_f experimental (m.c.a).

$$h_f = h_{\text{entrada}} - h_{\text{salida}}$$

Donde,

h_f = Pérdida de carga por fricción (m.c.a)

h_{entrada} = Altura o energía piezométrica registrada en la entrada de la tubería de prueba (m.c.a)

h_{salida} = Altura o energía piezométrica registrada en la salida de la tubería de prueba (m.c.a)

Nota: Los valores obtenidos por los manómetros de Bourdon de la válvula están dados en bar, donde el factor de conversión a m.c.a es:

$$\Delta P = \rho * g * h_f$$

Donde,

ΔP = Diferencia de presiones medidas en los manómetros de Bourdon (Pa)

h_f = Pérdida de carga (m.c.a)

ρ = Densidad del fluido ($\frac{Kg}{m^3}$)

g = Constante de la gravedad ($\frac{m}{s^2}$)

3. Calcular la velocidad media del fluido.

$$v = \frac{Q}{A}$$

Donde,

v = Velocidad media del fluido ($\frac{m}{s}$)

Q = Caudal que circula por la tubería ($\frac{m^3}{s}$)

A = Área de la sección donde se está tomando la lectura (m^2)

4. Determinar el número de Reynolds.
5. Calcular el factor de fricción de manera teórica y experimental.

Nota: El factor de fricción experimental se obtiene despejando "f" de la ecuación de Darcy-Weisbach, ya que la pérdida de carga " h_f " se obtiene experimentalmente de la práctica. De manera teórica, se calcula utilizando las ecuaciones para factores de fricción, dependiendo del tipo de flujo.

6. Calcular la pérdida de carga por fricción teórica.

Nota: La pérdida por fricción teórica se obtiene utilizando la ecuación de Darcy-Weisbach.

7. Analizar los resultados obtenidos experimental y teóricamente.

10. FORMATO DE TOMA DE DATOS

Tabla 6. Formato toma de datos ensayo pérdidas de carga por longitud en flujo laminar.

Flujo Laminar							
N°	Temperatura	Tiempo			Volumen	Altura de entrada	Altura de salida
	°C	t1 [s]	t2 [s]	t3 [s]	V [ml]	h _{entrada} [mm.c.a]	h _{salida} [mm.c.a]
1							
2							

Tabla 7. Formato toma de datos ensayo pérdidas de carga por longitud en flujo turbulento.

Flujo Turbulento							
N°	Temperatura	Tiempo			Volumen	Altura de entrada	Altura de salida
	°C	t1 [s]	t2 [s]	t3 [s]	V [ml]	h _{entrada} [bar]	h _{salida} [bar]
1							
2							

11. Formato de resultados

Tabla 8. Formato de resultados ensayo pérdidas de carga por longitud en flujo laminar.

Flujo Laminar								
N°	Tiempo	Caudal	Pérdida de carga experimental	Velocidad	Reynolds	Factor de fricción experimental	Factor de fricción teórico	Pérdida de carga teórica
	t [s]	Q [m³/s]	hf-exp [m.c.a]	v [m/s]	Re	fexp	fteórico	hf-teo [m.c.a]
1								
2								

Tabla 9. Formato de resultados ensayo pérdidas de carga por longitud en flujo turbulento.

Flujo Turbulento								
N°	Tiempo	Caudal	Pérdida de carga experimental	Velocidad	Reynolds	Factor de fricción experimental	Factor de fricción teórico	Pérdida de carga teórica
	t [s]	Q [m³/s]	hf-exp [m.c.a]	v [m/s]	Re	fexp	fteórico	hf-teo [m.c.a]
1								
2								

VI. PRÁCTICA “CANAL DE VENTURI PARA TIPOS DE FLUJO”

A continuación se presentan los códigos QR para acceder al video ilustrativo de la práctica a trabajar.



SEMILLERO MSMRHA



SANTOTO TUNJA

1. OBJETIVO GENERAL

Examinar los tipos de flujo en el canal Venturi.

1.2 Objetivos específicos

- Determinar el número de Froude para el respectivo caudal.
- Calcular la velocidad del flujo.
- Analizar los resultados obtenidos.

2. COMPETENCIA

La práctica de canal de Venturi para tipos de flujo, busca desarrollar los fundamentos necesarios en la hidráulica de canales abiertos con base en una experimentación adecuada, para poder analizar e interpretar los datos obtenidos, y usar criterios de la ingeniería civil para sacar conclusiones y tomar decisiones.

3. RESULTADO DE APRENDIZAJE

Demostrar el dominio del tema, comprendiendo correctamente el funcionamiento de los equipos, analizando los datos obtenidos y estableciendo conclusiones que le permitan evaluar sus conocimientos.

4. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Al igual que en las tuberías cerradas, en los canales abiertos también es necesario determinar varias veces el caudal. En las plantas depuradoras, el agua fluye, por ejemplo, principalmente en canales abiertos. Para el funcionamiento estable de una planta depuradora, es imprescindible disponer de un amplio conocimiento sobre los caudales en las distintas zonas del equipo.

Para medir el caudal en un canal abierto, se instalan estructuras en el canal. El principio fundamental siempre es el mismo. La estructura forma un remanso de agua en la parte de aguas arriba. Entre la altura del agua embalsada y el caudal suele existir una relación funcional. El nivel de aguas arriba es una medida para calcular el caudal que pasa por el canal.

Las estructuras destinadas a la medición del caudal en canales abiertos se dividen básicamente en dos grupos:

- Estructuras con flujo de paso: Las estructuras con flujo de paso reducen la anchura del canal y provocan un remanso de las aguas arriba. La ventaja de este método es que incluso las materias sólidas voluminosas como, p.ej., ramas, pueden atravesar la estructura. Una estructura muy común con flujo de paso es el canal de Venturi.
- Estructuras en las que el flujo fluye por encima: Las estructuras en las que el flujo fluye por encima (presas) reducen, sin embargo, la altura de la sección transversal del flujo disponible. Como estas estructuras alcanzan hasta la base del canal,

es necesario que el agua fluya a través de la estructura. Un inconveniente, sin embargo, es que las materias sólidas voluminosas como, p.ej., ramas, no pueden atravesar la estructura. Las presas son, por tanto, más costosas de mantener que una estructura con flujo de paso.

4.1 Tipos de flujo

En la hidráulica de canales se diferencia entre dos tipos de flujo: subcrítico y supercrítico; En el flujo subcrítico el nivel de agua es más alto y el agua fluye a una velocidad más baja. Por el contrario, en el flujo supercrítico el nivel de agua es más bajo y la velocidad del flujo mayor. Se produce una transición de flujo cuando el flujo pasa de un tipo de flujo a otro. El límite entre los dos tipos de flujo está definido por la profundidad crítica.

- Subcrítico → Supercrítico

Cuando en un canal abierto aumenta la velocidad del flujo, el nivel de agua disminuye. Cuando el nivel de agua queda por debajo de la profundidad crítica, se produce una transición de flujo de subcrítico a supercrítico. Esta transición de flujo se produce de forma continua.

- Supercrítico → Subcrítico

Si la velocidad del flujo se reduce en un canal abierto, el nivel de agua aumenta. Cuando se supera la profundidad crítica, se produce una transición de flujo de supercrítico a subcrítico. Esta transición de flujo es brusca y se denomina resalto hidráulico.

Un resalto hidráulico actúa como una barrera. Las estructuras que se encuentran detrás del resalto hidráulico en la dirección del flujo no influyen en el área del resalto hidráulico como se muestra en la imagen 16.

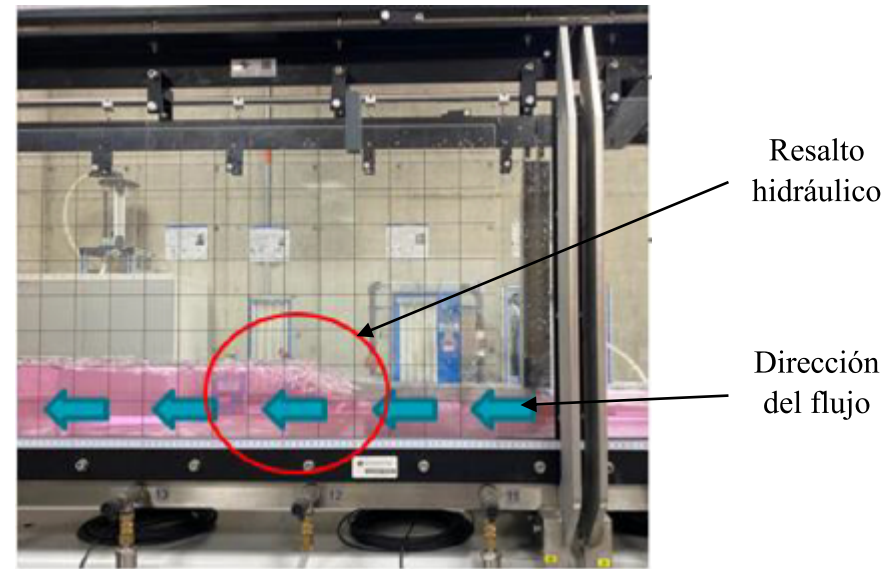


Imagen 16. Resalto hidráulico.
Fuente: Elaboración propia.

4.2 Número de Froude:

Este valor permite determinar el tipo de flujo, el cual se expresa de la siguiente manera:

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g * h}}$$

Donde, v es la velocidad media del fluido en $(\frac{m}{s})$ y se define con la siguiente expresión:

$$v = \frac{Q}{A}$$

Al reemplazar v en la ecuación del número de Froude queda:

$$Fr = \frac{Q}{A * \sqrt{g * h}}$$

Al aplicar la ecuación a un canal con área rectangular y sección transversal de $(b * h)$ se obtiene:

$$Fr = \frac{Q}{b * h * \sqrt{g * h}}$$

$$Fr = \frac{Q}{b * \sqrt{g * h^{1.5}}}$$

Con una descarga conocida Q se puede calcular el número de Froude midiendo la altura del nivel del agua (h). En este caso en la tabla 10 se diferencian tres tipos de caída:

Tabla 10. Criterios para determinar el tipo de flujo.

Fr < 1	Estado crítico
Fr = 1	Estado sub crítico
Fr > 1	Estado súper crítico

Fuente: Elaboración propia.

En el estado sub crítico ($Fr = 1$), el nivel de agua en el canal corresponde a la profundidad crítica (h_c). Si se introduce el valor 1 en la fórmula anterior para el número de Froude, se obtiene para el canal rectangular:

$$1 = \frac{Q}{b * \sqrt{g * h_c^{1.5}}}$$

Resolviendo con (h_c) se obtiene:

$$h_c^{1.5} = \frac{Q}{b * \sqrt{g}}$$

$$h_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{b^2 * g}}$$

De este modo se puede calcular la profundidad crítica, siempre que la anchura del canal B y el caudal Q sean conocidos.

4.3 Ecuación de Bernoulli

La altura de energía (H) total de un sistema cerrado se compone de tres elementos:

$$H = z + \frac{p}{\rho * g} + \frac{v^2}{2 * g}$$

Donde,

H = Altura de energía total en (m)

z = Energía potencial de la altura geodésica (energía potencial) en (m)

$\frac{p}{\rho * g}$ = Altura de la presión estática en (m)

$\frac{v^2}{2 * g}$ = Altura de velocidad en (m)

La ecuación de Bernoulli establece que la altura de energía (H) en un sistema cerrado es constante. Si se tiene en cuenta el balance energético en una tubería de flujo en dos posiciones cualquiera 1 y 2, se aplica:

$$H = z_1 + \frac{p_1}{\rho * g} + \frac{v_1^2}{2 * g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho * g} + \frac{v_2^2}{2 * g}$$

La ecuación de Bernoulli se aplica en las siguientes hipótesis:

- El flujo es estacionario
- El flujo está libre de fricción
- El medio es incompresible

4.3.1 Aplicación en la hidráulica de canales:

La ecuación de Bernoulli se puede utilizar también en la hidráulica de canales abiertos. En este caso, la altura de la presión estática corresponde al nivel de agua (h). Así que la fórmula queda de la siguiente manera:

4.4 El canal de Venturi

En un canal de Venturi se estrecha la sección transversal del flujo por ambos lados de la sección transversal del canal. Los canales de Venturi se caracterizan por el diseño favorable a la difusión y la corriente del estrechamiento de la sección transversal.

Debido al estrechamiento, antes del canal de Venturi se produce un remanso del agua. En el canal de Venturi se produce una transición de flujo de subcrítico a supercrítico. Como consecuencia, después del canal de Venturi se produce un resalto hidráulico. Por esta razón, el nivel de aguas arriba no se ve influido por el nivel de aguas abajo. De modo que, para determinar el caudal, debe medirse solo el nivel de aguas arriba.

5. ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

- Bata blanca
- Guantes de nitrilo
- Gafas de seguridad
- Tapabocas desechable

6. RECURSOS MATERIALES Y EQUIPOS

Para la realización de la práctica se necesitan los equipos expuestos en las imágenes 17 y 18.



Imagen 17. Indicador de medición manual.
Fuente: Elaboración propia.



Imagen 18. Indicador de medición digital.
Fuente: Elaboración propia.

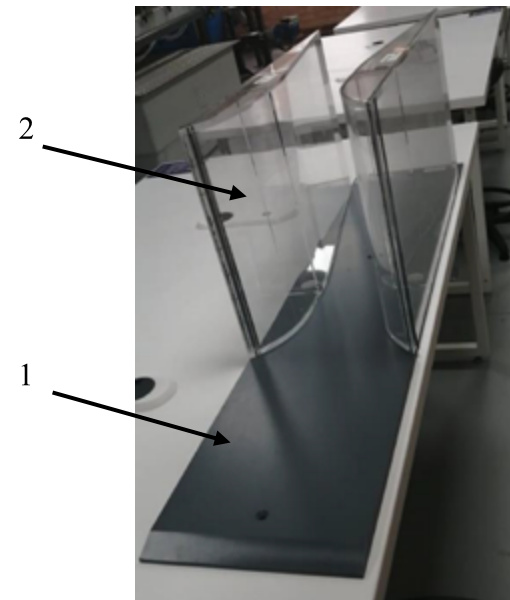


Imagen 19. Canal Venturi.
Fuente: Elaboración propia.

El canal Venturi consta de los elementos que se pueden apreciar en la imagen 19, para la instalación en el canal de ensayo, donde:

1. Placa base
2. Paredes laterales del canal Venturi.

El canal Venturi se estrecha en la sección transversal del flujo por ambos lados de la sección transversal del canal. Este estrechamiento hace que el flujo antes del canal Venturi tenga un comportamiento subcrítico. En el canal Venturi el flujo se comporta de manera crítica y después de este se produce un resalto hidráulico, es decir, se comporta como un flujo supercrítico.

El canal Venturi tiene las siguientes especificaciones mostradas en la imagen 20. Los puntos de medición x (cm) con las anchuras correspondientes $b(x)$ corresponde a los puntos donde se va tomar la medición con el indicador de nivel de agua.

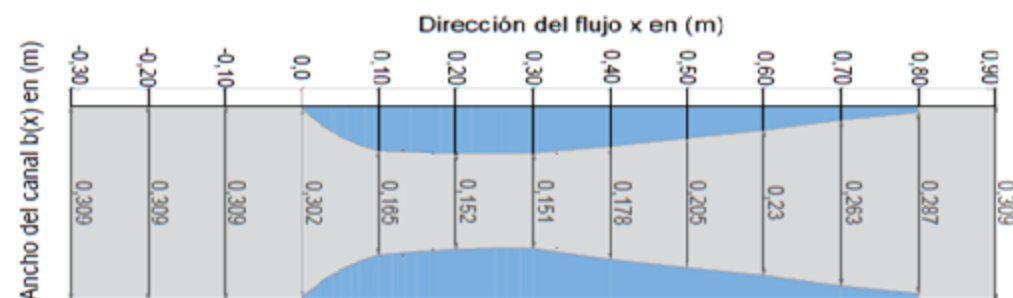


Imagen 20. Puntos de medición en X con las anchuras correspondientes $b(x)$.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11. Puntos de medición en X con las anchuras correspondientes $b(x)$

Dirección del flujo	Ancho del canal
X [m]	b(x) [m]
-0,30	0,309
-0,20	0,309
-0,10	0,309
0,0	0,302
0,10	0,165
0,20	0,152
0,30	0,151
0,40	0,179
0,50	0,205
0,60	0,230
0,70	0,263
0,80	0,287
0,90	0,309
0,10	0,309

Fuente: Elaboración propia.

7. INSTALACIÓN DEL EQUIPO

1. Coloque el recorrido de medición en posición horizontal con ayuda del ajuste de inclinación manual o por medio del software que tiene el canal hidráulico.
2. Coloque el canal de Venturi en el recorrido de medición.
3. Ajuste el nivel cero en el equipo con el que se mide los niveles de agua. El borde superior de la placa base debe corresponder a un valor de cero (0) cm.
4. Ajuste el instrumento de modo que en la escala se muestre el valor cero (0) cuando la punta de la varilla de medición toque el borde superior de la placa base.
5. Determine en qué posiciones de la dirección del flujo deben medirse los niveles de agua. Puede fijarse en la imagen 21 para la colocación de los puntos de medición, las líneas rojas representan los niveles de agua obtenidos con el equipo de indicador de niveles de agua. Estas alturas se toman cada 10 cm antes, durante y después del canal.
6. Determine la anchura correspondiente $b(x)$ de cada punto de medición en la dirección del flujo X. Para determinar estos puntos puede utilizar los datos suministrados en la imagen 19 y tabla 11 en el numeral de recursos materiales y equipos.
7. El canal ya está listo para empezar con la práctica.

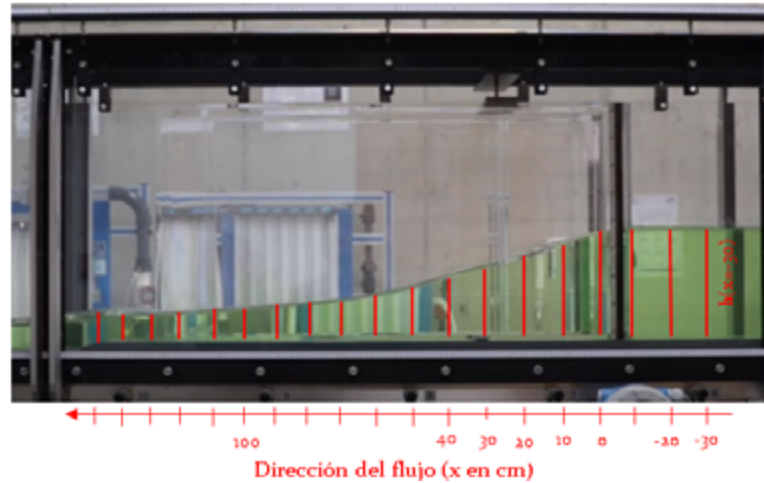


Imagen 21. Posiciones de los puntos de medición en la dirección del flujo (eje x)
Fuente: Elaboración propia.

8. PROCEDIMIENTO

Una vez se encuentre instalado el equipo se procede a realizar la práctica como se específica en la imagen 22:

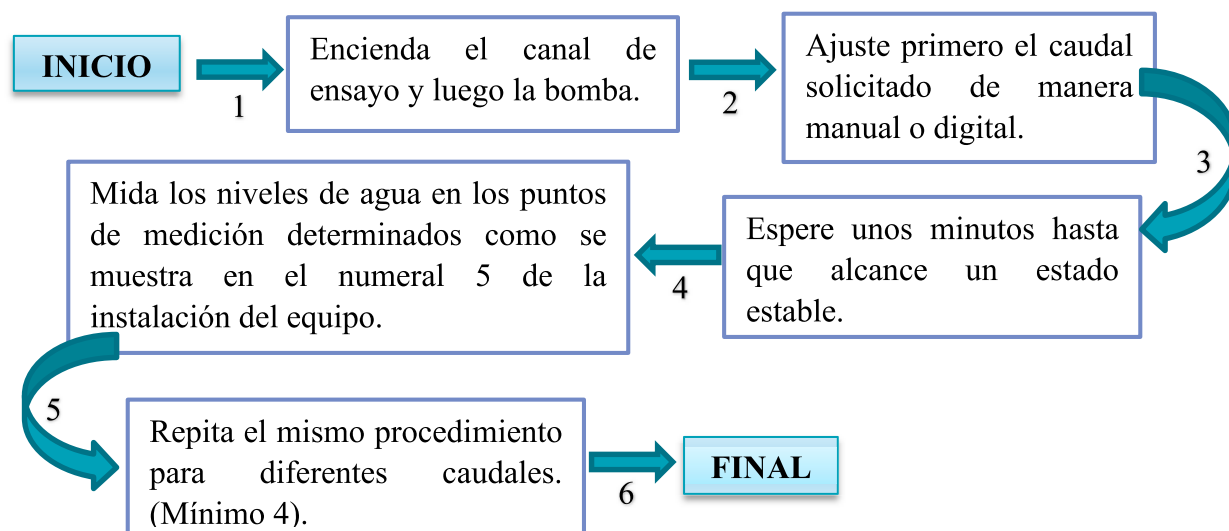


Imagen 22. Procedimiento práctica canal de Venturi para tipos de flujo.
Fuente: Elaboración propia.

9. CUESTIONARIO

1. Calcular el número de Froude para cada punto de medición y caudal.

$$Fr = \frac{Q}{b(x) * \sqrt{g} * h(x)^{1.5}}$$

Donde,

Fr = Número Froude adimensional

b(x) = Ancho del canal en función de (x) en (m)

g = Constante de la gravedad $\left(\frac{m}{s^2}\right)$

h(x) = Niveles de agua medidos en función de (x) en (m).

2. Calcular la velocidad del flujo para cada punto de medición y caudal. Donde la velocidad se expresa como:

$$v(x) = Fr * \sqrt{g * h(x)}$$

Donde,

v(x) = Velocidad del flujo en función de (x) en $\left(\frac{m}{s}\right)$

Fr = Número Froude adimensional

g = Constante de la gravedad $\left(\frac{m}{s^2}\right)$

h(x) = Niveles de agua medidos en función de (x) en (m).

3. Crear un diagrama que represente:

- Los niveles de agua medidos de (h) en función de (x) para todos los caudales.
- El número de Froude en función de (x) para todos los caudales.
- La velocidad del flujo en función de (x) para todos los caudales.

4. Haga un análisis de los diagramas obtenidos. ¿Se comportó el flujo como se esperaba? Sí o no y ¿por qué? ¿Qué aplicación le daría al canal de Venturi en la ingeniería civil?

10. FORMATO DE TOMA DE DATOS

Tabla 12. Formato toma de datos ensayo canal de Venturi para tipos de flujo.

Caudal	Dirección del flujo	Niveles de agua
Q [m ³ /h]	X [m]	$h(x)$ [m]
	-0,30	
	-0,20	
	-0,10	
	0,0	
	0,10	
	0,20	
	0,30	
	0,40	
	0,50	
	0,60	
	0,70	
	0,80	
	0,90	
	0,10	

11. FORMATO DE RESULTADOS

Tabla 13. Formato de resultados ensayo demostración teorema de Bernoulli.

Caudal	Dirección del flujo	Número de Froude	Velocidad
Q [m ³ /h]	X [cm]	Fr	v [m/s]
	-30		
	-20		
	-10		
	0,0		
	10		
	20		
	30		
	40		
	50		
	60		
	70		
	80		
	90		
	100		

VII. PRÁCTICA “TUBO PITOT EN EL CANAL HIDRÁULICO”

A continuación se presentan los códigos QR para acceder al video ilustrativo de la práctica a trabajar.



SEMILLERO MSMRHA



SANTOTO TUNJA

1. OBJETIVO GENERAL

Calcular la velocidad del flujo de agua a lo largo del canal.

1.3 Objetivos específicos

- Determinar la presión dinámica en el canal hidráulico.
- Analizar los resultados obtenidos.

2. COMPETENCIA

La práctica del tubo de Pitot busca desarrollar los fundamentos necesarios en la hidráulica de canales abiertos con base en una experimentación adecuada, para poder analizar e interpretar los datos obtenidos, y usar criterios de la ingeniería civil para sacar conclusiones y tomar decisiones.

3. RESULTADO DE APRENDIZAJE

Demostrar el dominio del tema, comprendiendo correctamente el funcionamiento de los equipos, analizando los datos obtenidos y estableciendo conclusiones que le permitan evaluar sus conocimientos.

4. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

En multitud de estructuras de ingeniería hidráulica, como, por ejemplo, en las presas, la medición de las velocidades de flujo es de suma importancia para evaluar las condiciones de flujo.

El tubo de Pitot estático consiste en la combinación de un tubo de Pitot para la medición de la presión total y un punto de medición para medir la presión estática. Las dos presiones se transmiten a través de un tubo de doble pared a un indicador de presión diferencial.

El punto de medición de la presión total se encuentra en la parte frontal de la sonda en la que incide el flujo. Para medir la presión estática, otros orificios de medición se encuentran en el lado, distribuidos uniformemente alrededor de la circunferencia. Mediante el cálculo del valor medio de los puntos de medición en la circunferencia se minimiza la influencia falseadora que tiene un flujo incidente oblicuo.

Según el principio de Bernoulli, la suma de la presión estática, la presión dinámica y la presión geodésica, es constante a lo largo de una sección con un flujo sin fricción y con caudal másico constante. Lo cual se expresa como:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2 * g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2 * g} + Z_2$$

Cuando la altura es la misma a lo largo de la sección, la presión geodésica no aplica. Así que la ecuación queda como:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2 * g} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2 * g}$$

Es decir, la presión total es la misma a lo largo del canal, lo único que varía es la presión estática y dinámica.

$$E_T = E_s + E_k$$

Donde,

E_T = Energía total (m)

$E_s = \frac{P}{\gamma}$ Energía estática (m)

$E_k = \frac{v^2}{2g}$ Energía cinética (m)

Al despejar la energía cinética de la energía total, queda:

$$E_K = E_T + E_s$$

$$E_K = \left(\frac{v^2}{2 * g} + \frac{P}{\gamma} \right) - \frac{P}{\gamma}$$

$$E_K = \frac{v^2}{2 * g}$$

Se calcula la velocidad media, despejando de la energía cinética:

$$v = \sqrt{2 * g * E_K}$$

Donde,

v = Velocidad media del fluido en cada punto de medición $\left(\frac{m}{s}\right)$

g = Constante de la gravedad $9,81 \left(\frac{m}{s^2}\right)$

E_k = Energía cinética o presión dinámica (m)

5. ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

- Bata blanca
- Guantes de nitrilo
- Gafas de seguridad
- Tapabocas desechable

6. RECURSOS MATERIALES Y EQUIPOS

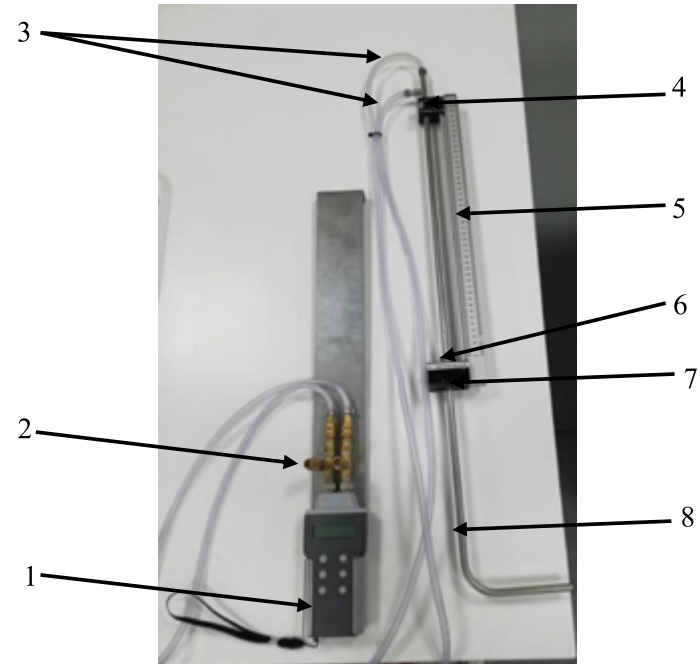


Imagen 22. Equipo tubo Pitot.
Fuente: Elaboración propia.

1. Indicador diferencial de presión, el cual mide la diferencia entre las presiones existentes en las entradas y la muestra en (mbar) en el indicador.
2. Tubuladura de purga.
3. Mangueras de medición.
4. Tornillos para fijación del índice de lectura.
5. Escala en (cm).
6. Unión roscada para la fijación del tubo de Pitot estático.
7. Zócalo.
8. Tubo de Pitot estático.



Imagen 23. Porta instrumentos HM162.59.
Fuente: Elaboración propia.

Para obtener mediciones perfectas, el equipo debe colocarse en el porta instrumentos que se ilustra en la imagen 23.



Imagen 24. Indicador de medición manual.
Fuente: Elaboración propia.



Imagen 25. Indicador de medición digital.
Fuente: Elaboración propia.

7. INSTALACIÓN DEL EQUIPO

Colocación sobre el canal de ensayo:

1. Fije la base del tubo de Pitot estático al porta instrumentos con los cuatro tornillos de hexágono interior.
2. Coloque el porta instrumentos con el tubo de Pitot estático montado, sobre el canal de ensayo. Asegúrese de que la abertura de la sonda apunte en dirección opuesta a la dirección del flujo.
3. Determine la posición en la sección medida.
4. Fije el porta instrumentos con el tornillo moleteado.
5. Enganche el soporte con el indicador de presión diferencial en la pared lateral del canal de ensayo.
6. Coloque el recorrido de medición en posición horizontal con ayuda del ajuste de inclinación manual o por medio del software que tiene el canal hidráulico.
7. Coloque el tubo Pitot en el recorrido de medición.
8. Ajuste el nivel cero en el equipo con el que se mide los niveles de agua. El borde superior de la placa base debe corresponder a un valor de cero (0) cm.
9. Ajuste el instrumento de modo que en la escala se muestre el valor cero (0) cuando la punta de la varilla de medición toque el borde superior de la placa base.
10. El canal ya está listo para empezar con la práctica.

Ajustar el punto cero del tubo de Pitot estático:

1. Suelte los tornillos para la fijación del alojamiento del índice de lectura. Deje que este se deslice completamente hacia abajo.
2. Suelte la unión roscada para la fijación del tubo de Pitot estático. Al hacerlo, sujete el tubo de Pitot estático para que no caiga al suelo.
3. Desplace el tubo de Pitot estático hacia abajo hasta que la sonda toque el fondo de la sección de medida.
4. Desplace el alojamiento del índice de lectura hasta que alcance la posición de 5 mm en la escala (radio del tubo de Pitot estático).
5. Vuelva apretar los tornillos para fijar el alojamiento del índice de lectura.
6. Fije el tubo de Pitot estático mediante la unión roscada.
7. Asegúrese de que no haya objetos sueltos en la sección de medida.

Purgar el aire del dispositivo de medición:

1. Llene el canal de ensayo con suficiente agua para sumergir el tubo de Pitot estático en él.
2. Sumerja completamente la parte horizontal del tubo de Pitot estático en el agua.
3. Conecte el indicador de presión diferencial del tubo de Pitot estático utilizando las mangueras de medición:
 - Conecte la conexión del tubo vertical con la entrada positiva (+) en el indicador y la conexión del tubo horizontal con la entrada negativa (-). Las mangueras no deben estar dobladas.
4. Enrosque el adaptador suministrado en una de las tubuladuras de purga horizontales del indicador de presión diferencial.
5. Inyecte agua en las mangueras utilizando una jeringa. Inyecte agua al interior de las mangueras hasta que ya no haya aire en las mangueras y ya no salga aire del tubo de Pitot estático.
6. Repita este procedimiento con la otra tubuladura de purga del indicador diferencial de presión.
7. Retire la jeringa y el adaptador.

Puesta cero del indicador de presión diferencial:

Antes de iniciar con la práctica de laboratorio el indicador de presión diferencial debe ponerse a cero de la siguiente manera:

1. Asegúrese de que las mangueras de medición estén conectadas y el aire haya sido purgado.
2. Cierre la entrada de agua en el canal de ensayo y ajuste allí la velocidad de flujo a (0 m/s).
3. Encienda el indicador de presión diferencial.
4. Ajuste la pantalla del indicador al valor (0 mbar) con ayuda de la tecla "Zero".
5. El tubo de Pitot estático está listo para iniciar con la práctica.

8. PROCEDIMIENTO

Una vez se encuentre instalado el equipo se procede a realizar la práctica como se especifica en la imagen 26:

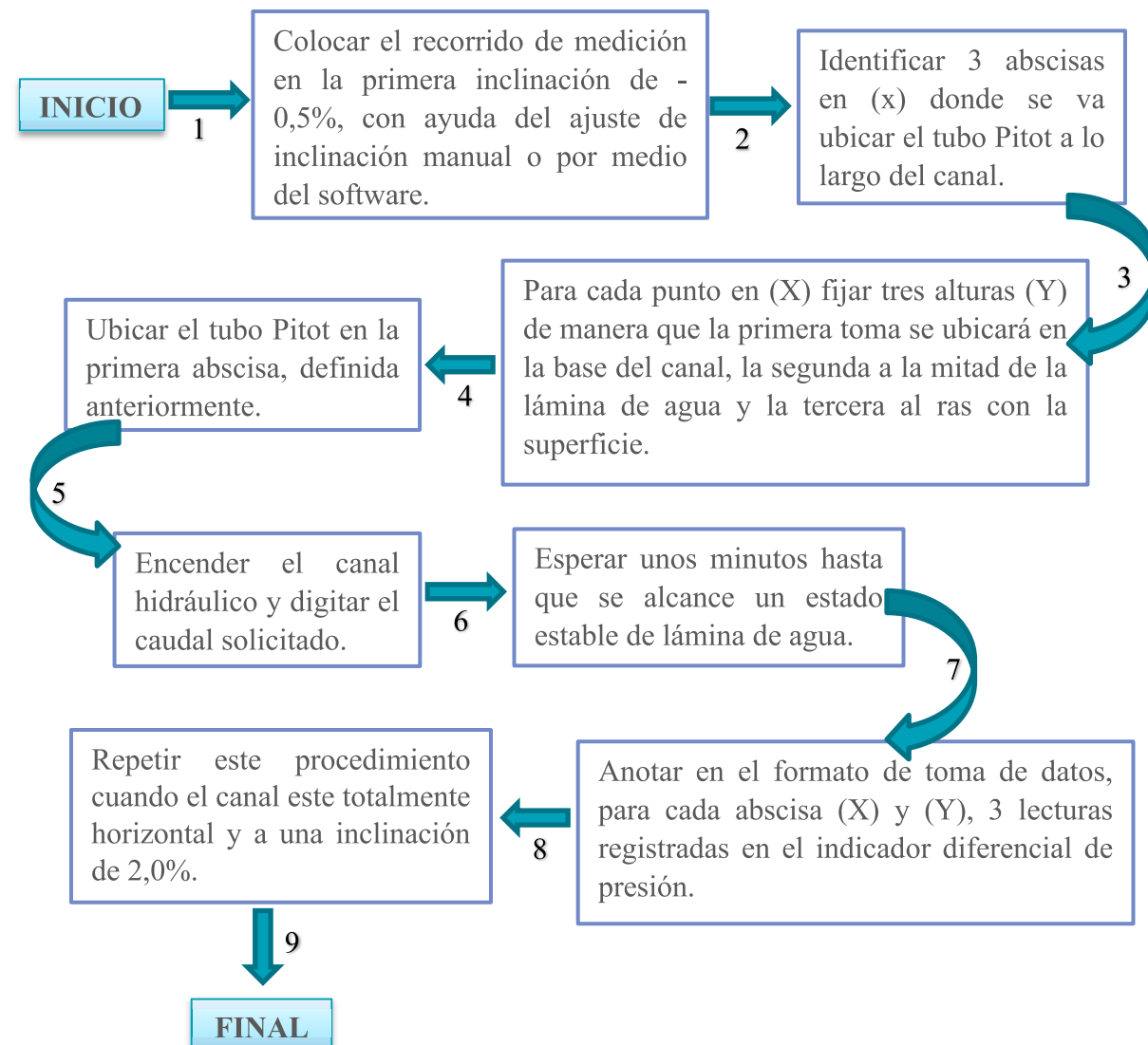


Imagen 26. Procedimiento práctica tubo Pitot en el canal hidráulico.
Fuente: Elaboración propia.

9. CUESTIONARIO

1. Calcular el promedio de presión dinámica en (mbar), para cada punto en (X) y en (Y), para las 3 inclinaciones del canal hidráulico.
2. Calcular la velocidad del fluido en cada abscisa de medición en (X) y en (Y), para las 3 inclinaciones del canal hidráulico.
3. Dibujar los perfiles de velocidad para cada abscisa de medición en (X) y en (Y), para las 3 inclinaciones del canal hidráulico.
4. Analizar los perfiles obtenidos. ¿Por qué el flujo se comporta de esa manera? ¿Qué aplicación le daría usted al tubo Pitot en la ingeniería civil?

10. FORMATO DE TOMA DE DATOS

Tabla 14. Formato toma de datos ensayo tubo Pitot en el canal hidráulico pendiente del -0,5%.

Inclinación de -0,5%									
Abcisas	Base			Medio			Superficie		
	Presiones dinámicas			Presiones dinámicas			Presiones dinámicas		
x [m]	P din 1 [mbar]	P din 2 [mbar]	P din 3 [mbar]	P din 1 [mbar]	P din 2 [mbar]	P din 3 [mbar]	P din 1 [mbar]	P din 2 [mbar]	P din 3 [mbar]

Tabla 15. Formato toma de datos ensayo tubo Pitot en el canal hidráulico pendiente del 0%.

Inclinación de 0%									
Abcisas	Base			Medio			Superficie		
	Presiones dinámicas			Presiones dinámicas			Presiones dinámicas		
x [m]	P din 1 [mbar]	P din 2 [mbar]	P din 3 [mbar]	P din 1 [mbar]	P din 2 [mbar]	P din 3 [mbar]	P din 1 [mbar]	P din 2 [mbar]	P din 3 [mbar]

Tabla 16. Formato toma de datos ensayo tubo Pitot en el canal hidráulico pendiente del 2,0%.

Inclinación de 2,0%									
Abcisas	Base			Medio			Superficie		
	Presiones dinámicas			Presiones dinámicas			Presiones dinámicas		
x [m]	P din 1 [mbar]	P din 2 [mbar]	P din 3 [mbar]	P din 1 [mbar]	P din 2 [mbar]	P din 3 [mbar]	P din 1 [mbar]	P din 2 [mbar]	P din 3 [mbar]

11. FORMATO DE RESULTADOS

Tabla 17. Formato de resultados ensayo tubo Pitot en el canal hidráulico pendiente del -0,5%.

Inclinación de -0,5%						
Abcisa	Base		Medio		Superficie	
	Presión dinámica	Velocidad	Presión dinámica	Velocidad	Presión dinámica	Velocidad
x [m]	P din [mbar]	v [m/s]	P din [mbar]	v [m/s]	P din [mbar]	v [m/s]

Tabla 18. Formato de resultados ensayo tubo Pitot en el canal hidráulico pendiente del 0%

Inclinación de 0%						
Abcisa	Base		Medio		Superficie	
	Presión dinámica	Velocidad	Presión dinámica	Velocidad	Presión dinámica	Velocidad
x [m]	P din [mbar]	v [m/s]	P din [mbar]	v [m/s]	P din [mbar]	v [m/s]

Tabla 19. Formato de resultados ensayo tubo Pitot en el canal hidráulico pendiente del 2,0%

Inclinación de 2,0%						
Abcisa	Base		Medio		Superficie	
	Presión dinámica	Velocidad	Presión dinámica	Velocidad	Presión dinámica	Velocidad
x [m]	P din [mbar]	v [m/s]	P din [mbar]	v [m/s]	P din [mbar]	v [m/s]

VIII. PRÁCTICA “COMPUERTA DE SEGMENTO (DESCARGA LIBRE)”

A continuación se presentan los códigos QR para acceder al video ilustrativo de la práctica a trabajar.



SEMILLERO MSMRHA



SANTOTO TUNJA

1. OBJETIVO GENERAL

Demostrar la descarga libre bajo una compuerta de segmento aguas abajo.

1.1 Objetivos específicos

- Analizar la relación entre la altura de la abertura de la compuerta y el nivel de aguas arriba.
- Observar el resalto hidráulico.
- Calcular la descarga bajo una compuerta de segmento y compararla con el caudal medido en el caudalímetro.

2. COMPETENCIA

Con la práctica de la compuerta de segmento se busca desarrollar la capacidad de llevar a cabo una experimentación adecuada, analizar e interpretar los datos obtenidos, y usar criterios de la ingeniería civil para sacar conclusiones y tomar decisiones.

3. RESULTADO DE APRENDIZAJE

Demostrar el dominio del tema, comprendiendo correctamente el funcionamiento de los equipos, analizando los datos obtenidos y estableciendo conclusiones que le permitan evaluar sus conocimientos.

4. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Las compuertas son un tipo de estructura de control. Se trata de elementos instalados en canales abiertos, que cumplen una o varias de las siguientes funciones:

- Elevación del nivel de agua, p.ej., para obtener una profundidad navegable suficiente o como protección de la erosión por escasas velocidades del flujo.
- Generación de un salto en el terreno para aprovechar el salto natural y generar energía mediante energía hidráulica.
- Regulación de la descarga y protección contra inundaciones, p.ej., los embalses compensan las oscilaciones estacionales del nivel del agua.
- Medición de la descarga.

Las estructuras de control se diferencian en: estructuras por las que el flujo fluye por encima (presas) y estructuras por las que el flujo fluye por debajo (compuertas), o estructuras fijas y móviles.

Tipos de flujo

En la hidráulica de canales se diferencia entre dos tipos de flujo: subcrítico y supercrítico; En el flujo subcrítico el nivel de agua es más alto y el agua fluye a una velocidad más baja. Por lo contrario, en el flujo supercrítico el nivel de agua es más bajo y la velocidad del flujo mayor. Se produce una transición de flujo cuando el flujo pasa de un tipo de flujo a otro. El límite entre los dos tipos de flujo está definido por la profundidad crítica.

- Subcrítico → Supercrítico

Cuando en un canal abierto aumenta la velocidad del flujo, el nivel de agua disminuye. Cuando el nivel de agua queda por debajo de la profundidad crítica, se produce una transición de flujo de subcrítico a supercrítico. Esta transición de flujo se produce de forma continua.

- Supercrítico → Subcrítico

Si la velocidad del flujo se reduce en un canal abierto, el nivel de agua aumenta. Cuando se supera la profundidad crítica, se produce una transición de flujo de supercrítico a subcrítico. Esta transición de flujo es brusca y se denomina resalto hidráulico.

Un resalto hidráulico actúa como una barrera. Las estructuras que se encuentran detrás del resalto hidráulico en la dirección del flujo no influyen en el área del resalto hidráulico como se muestra en la imagen 27.

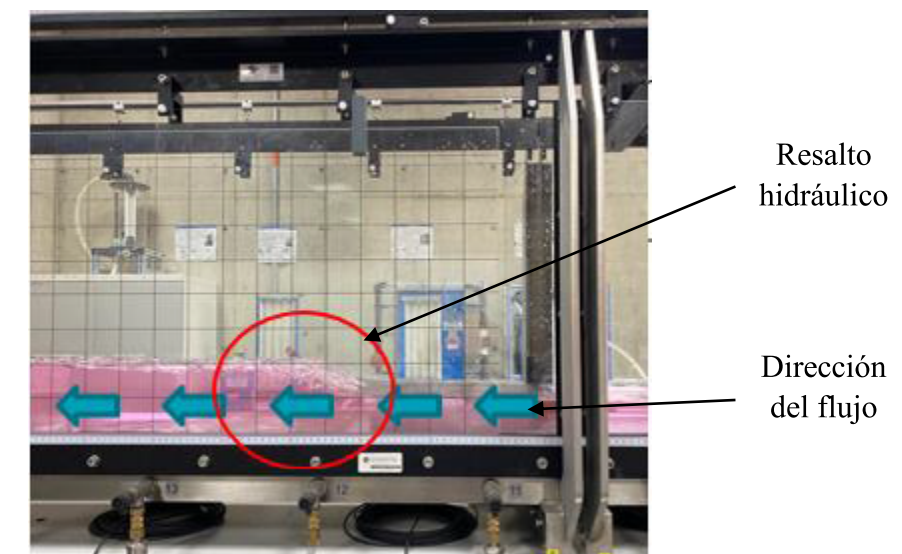


Imagen 27. Resalto hidráulico.
Fuente: Elaboración propia.

Condiciones de descarga en compuertas

En todas las compuertas pueden producirse dos condiciones de descarga: descarga libre y de remanso.

La descarga libre, el nivel de aguas abajo (h_1) no influye en el nivel de aguas arriba (h_0). El nivel de aguas abajo (h_1) es inferior a la altura (a) de la abertura de la compuerta. Bajo la compuerta, justo en la descarga se produce una transición de flujo subcrítico a supercrítico. Debido al estrechamiento de la sección transversal bajo la compuerta, se produce una contracción del chorro con una alta velocidad del flujo. Más adelante, la contracción del chorro se amplía y la velocidad del flujo disminuye. En el resalto hidráulico, la descarga de flujo supercrítico se transforma a descarga de flujo subcrítico, como se aprecia en la imagen 28.

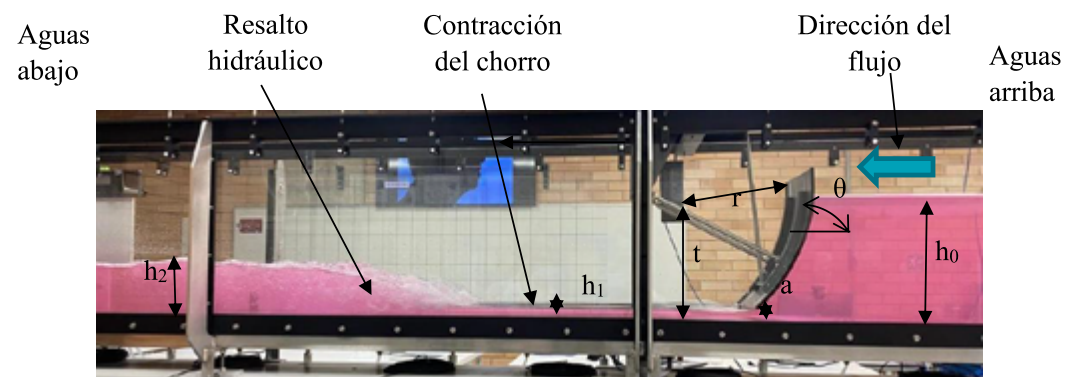


Imagen 28. Descarga libre bajo una compuerta de segmento.
Fuente: Elaboración propia.

Donde,

h_0 = Nivel aguas arriba

Θ = Inclinación de la compuerta de segmento

a = Altura de la abertura de la compuerta

r = Radio de la compuerta de segmento

t = Altura del punto de giro de la compuerta sobre la base

h_1 = Nivel aguas abajo en la contracción del chorro

h_2 = Nivel de aguas abajo detrás de la contracción del chorro

La descarga de remanso, el nivel de aguas abajo (h_1) influye en el nivel de aguas arriba (h_0). El nivel de aguas abajo (h_1) es superior a la altura (a) de la abertura de la compuerta. En este caso también se produce una contracción del chorro, que queda cubierta por las aguas abajo. La ampliación de la contracción del chorro se reconoce por un ligero aumento del nivel de agua, como se observa en la imagen 29.

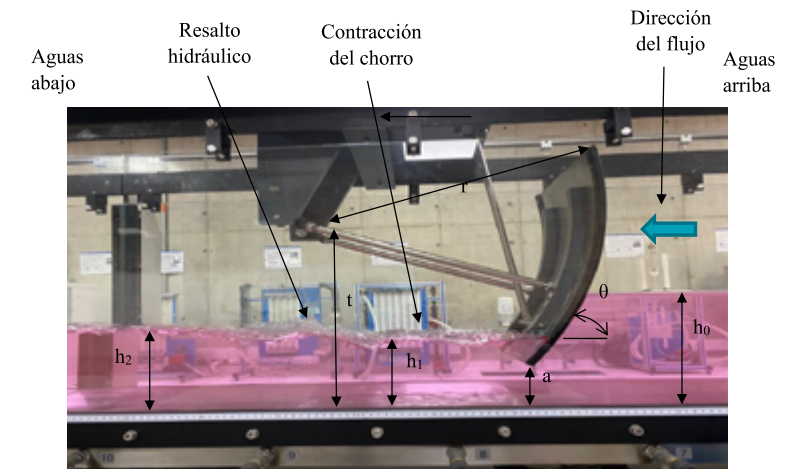


Imagen 29. Descarga de remanso bajo una compuerta de segmento.
Fuente: Elaboración propia.

Donde,

h_0 = Nivel aguas arriba

Θ = Inclinación de la compuerta de segmento

a = Altura de la abertura de la compuerta

r = Radio de la compuerta de segmento

t = Altura del punto de giro de la compuerta sobre la base

h_1 = Nivel aguas abajo en la contracción del chorro

h_2 = Nivel de aguas abajo detrás de la contracción del chorro

Cálculo de la descarga en compuertas de segmento.

En la descarga libre bajo compuertas de segmento, la descarga se calcula del modo siguiente:

$$Q = \mu * a * b * \sqrt{2 * g * h_0}$$

Donde,

Q = Caudal de descarga en $\left(\frac{m^3}{s}\right)$

μ = Coeficiente de descarga adimensional

a = Altura de la abertura de la compuerta en (m)

b = Anchura de la abertura de la compuerta de 0,309 (m)

g = Constante de la gravedad $9,81 \left(\frac{m}{s^2}\right)$

h_0 = Nivel de aguas arriba en (m)

El coeficiente de descarga μ se ve afectado por los siguientes factores:

- La relación $\frac{h_0}{a}$
- El ángulo de abertura θ de la compuerta de segmento.

$$\theta = \cos^{-1} \frac{t - a}{r}$$

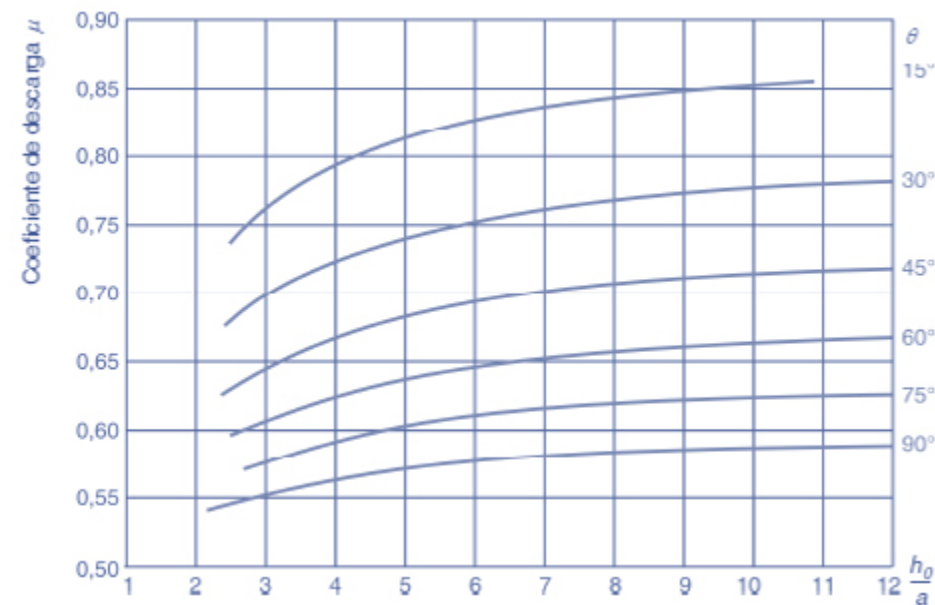
Donde,

a = Altura de la abertura de la compuerta en (cm)

r = Radio de la compuerta de segmento de 45 (cm)

t = Altura del punto de giro de la compuerta de segmento sobre la base de 36,5 (cm)

Dichos factores son necesarios para determinar el coeficiente de descarga μ mediante la gráfica 1:



Gráfica 1. Coeficiente de descarga μ para compuertas de segmento.

Fuente: Gunt Hamburg.

En la descarga de remanso bajo compuertas de segmento, la descarga se calcula como en la descarga libre, sin embargo, también se tiene en cuenta un coeficiente de remanso, además del coeficiente de descarga.

$$Q = k * \mu * a * b * \sqrt{2 * g * h_0}$$

Q = Caudal de descarga en $\left(\frac{m^3}{s}\right)$

k = Coeficiente de remanso adimensional

μ = Coeficiente de descarga adimensional

a = Altura de la abertura de la compuerta en (m)

b = Anchura de la abertura de la compuerta de 0,309 (m)

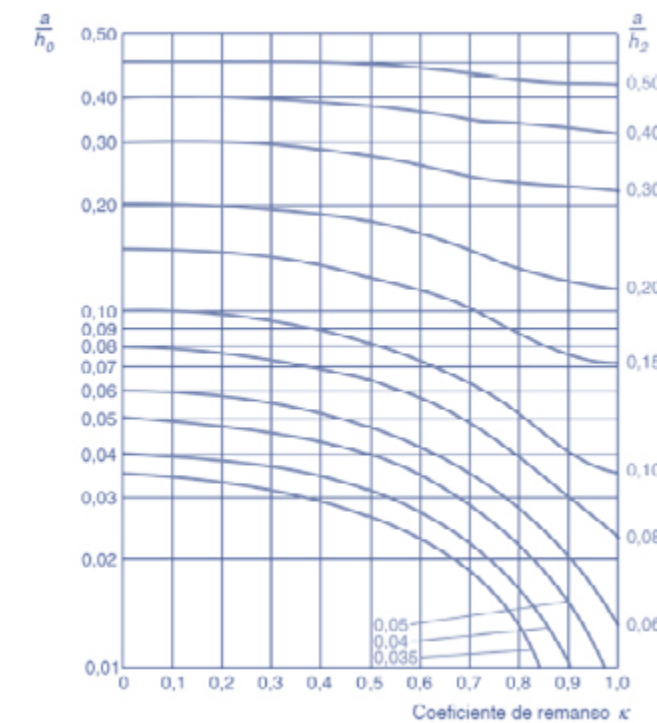
g = Constante de la gravedad 9,81 $\left(\frac{m}{s^2}\right)$

h_0 = Nivel de aguas arriba en (m)

El coeficiente de remanso k depende de los siguientes factores:

- La relación $\frac{a}{h_0}$ para la inundación
- La relación $\frac{a}{h_2}$ para el remanso

Dichos factores son necesarios para determinar el coeficiente de remanso k para compuertas de segmento, mediante la gráfica 2. Estos valores son de aplicabilidad limitada a las compuertas del segmento pequeñas, como en canales de ensayos.



Gráfica 2. Coeficiente de remanso k para compuertas de segmento.

Fuente: Gunt Hamburg.

5. ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

- Bata blanca
- Guantes de nitrilo
- Gafas de seguridad
- Tapabocas desechable

6. RECURSOS MATERIALES Y EQUIPOS



Imagen 30. Compuerta de segmento.
Fuente: Elaboración propia.

La compuerta de segmento consta de los elementos que se pueden apreciar en la imagen 30, para la instalación en el canal de ensayo, donde:

1. Compuerta
2. Juntas
3. Placa de retención
4. Tornillos de sujeción
5. Barra de control con mango de estrella

Para la realización de la práctica se necesitan los equipos expuestos en las imágenes 31, 32 y 33.



Imagen 31. Caudalímetro.
Fuente: Elaboración propia.



Imagen 32. Indicador de medición manual.
Fuente: Elaboración propia.



Imagen 33. Indicador de medición digital.
Fuente: Elaboración propia.

7. INSTALACIÓN DEL EQUIPO

1. Asegúrese de que:

- La bomba de agua del canal de ensayo esté apagada
- No haya agua en el canal de ensayo.

- Coloque el recorrido de medición en posición horizontal con ayuda del ajuste de inclinación manual o por medio del software que tiene el canal de ensayo.
- Humedezca las juntas de la compuerta de presa y las planchas de vidrio del canal de ensayo en la posición de instalación con una esponja húmeda.
- Coloque la compuerta de presa en las guías del canal de ensayo. Tenga en cuenta la dirección del flujo. Doble las juntas en sentido contrario a la dirección del flujo.
- Desplace la placa de retención debajo de las guías del canal de ensayo y atorníllela con los tornillos de sujeción a la compuerta de presa.
- Retire todos los objetos sueltos (tornillos, herramientas, etc.) del canal de ensayo.
- Instale el indicador de medición en el recorrido de medición del canal de ensayo.

8. PROCEDIMIENTO

Una vez se encuentre instalado el equipo se procede a realizar la práctica como se específica en la imagen 34:

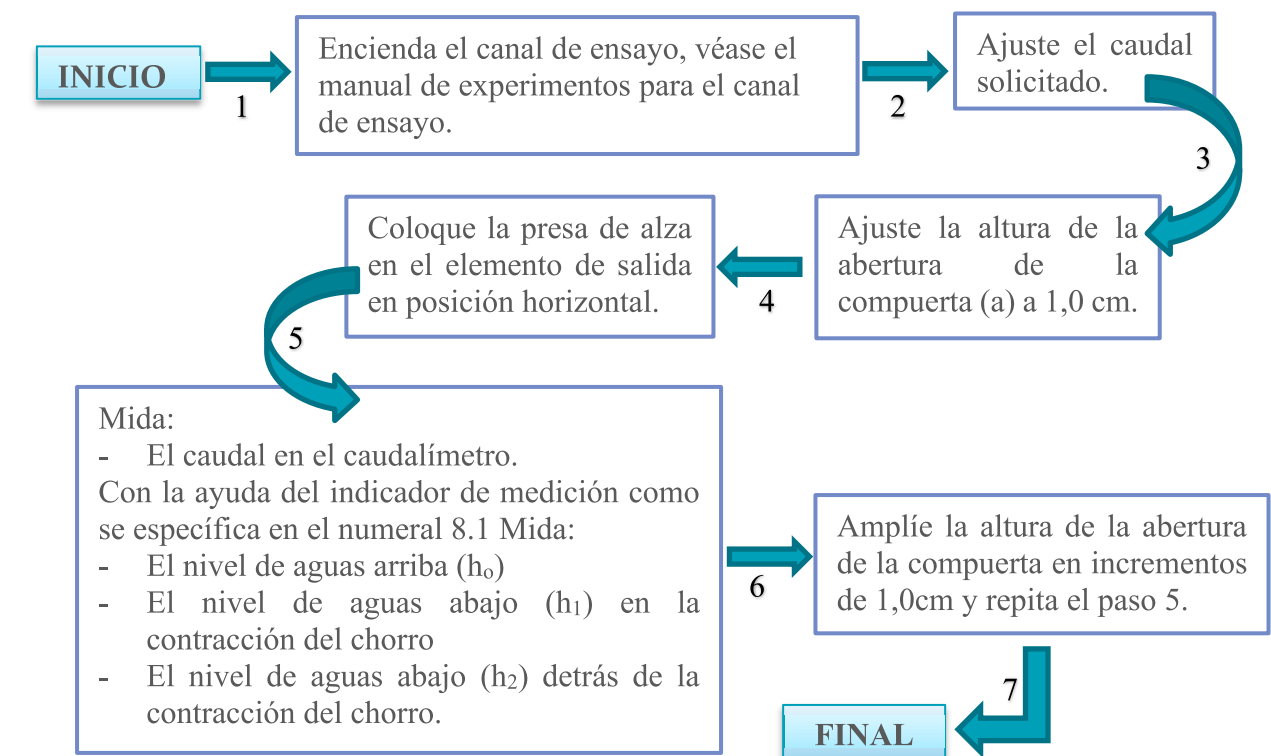


Imagen 34. Procedimiento práctica compuerta de segmento.
Fuente: Elaboración propia.

8.1 Medición niveles de agua

- Momento

Después de haber modificado el caudal u otros parámetros: espere hasta que el estado de los niveles de aguas arriba y aguas abajo y la transición de flujo sean estables. Después realice las mediciones.

- Instrumento de medición

Para los ensayos necesita un instrumento para la medición de niveles de agua, p.ej., el indicador del nivel de agua. La precisión del instrumento debería ser de 1mm.

- Puesta a cero

Los niveles de agua deberían relacionarse con la base del recorrido de medición. Coloque el indicador del nivel de agua de modo que el borde superior de la base del recorrido de medición tenga una altura de 0 mm.

- Nivel de aguas arriba (h_0)

La distancia (L_0) entre el punto de medición y la presa debe ser como mínimo 3 veces la altura (h). A esta distancia la altura (h) no se ve influida por la presa.

9. CUESTIONARIO

1. Determine el ángulo de abertura de la compuerta de segmento.

$$\theta = \cos^{-1} \frac{t - a}{r}$$

a= Altura de la abertura de la compuerta

r= Radio de la compuerta de segmento

t= Altura del punto de giro de la compuerta de segmento sobre la base

2. Realice un diagrama que represente el nivel aguas arriba (h_0), nivel aguas abajo (h_1) en función de la abertura de la compuerta (a).
3. Determinar la relación $\frac{h_0}{a}$
4. Determinar el coeficiente de descarga μ con base en la gráfica 1.
5. Calcular el caudal de descarga con base a la ecuación para descarga libre explicada anteriormente.

10. FORMATO DE TOMA DE DATOS

Tabla 20. Tabla de toma de datos práctica compuerta de segmento (descarga libre).

Caudal	Altura de la abertura de la compuerta	Nivel aguas arriba	Nivel de aguas abajo en la contracción del chorro	Nivel de aguas abajo detrás de las contracciones del chorro
Q [m ³ /h]	a [cm]	h ₀ [cm]	h ₁ [cm]	h ₂ [cm]

11. FORMATO DE RESULTADOS

Tabla 21. Formato de resultados práctica compuerta de segmento (descarga libre).

Altura de la abertura de la compuerta	Nivel de aguas arriba	Relación	Coeficiente de descarga	Caudal	
				Q [m ³ /s]	
a [cm]	h ₀ [cm]	$\frac{h_0}{a}$	μ	Medido	Calculado

IX. PRÁCTICA “COMPUERTA DE SEGMENTO (DESCARGA DE REMANSO)”

A continuación se presentan los códigos QR para acceder al video ilustrativo de la práctica a trabajar.



SEMILLERO MSMRHA



SANTOTO TUNJA

1. OBJETIVO GENERAL

Demostrar la descarga de remanso bajo una compuerta de segmento con aguas abajo embalsadas.

1.1 Objetivos específicos

- Analizar la relación entre la altura de la abertura de la compuerta y el nivel de aguas arriba.
- Observar el resalto hidráulico.
- Calcular la descarga bajo una compuerta de segmento y compararla con el caudal medido en el caudalímetro.

2. COMPETENCIA

Con la práctica de la compuerta de segmento se busca desarrollar la capacidad de llevar a cabo una experimentación adecuada, analizar e interpretar los datos obtenidos, y usar criterios de la ingeniería civil para sacar conclusiones y tomar decisiones.

3. RESULTADO DE APRENDIZAJE

Demostrar el dominio del tema, comprendiendo correctamente el funcionamiento de los equipos, analizando los datos obtenidos y estableciendo conclusiones que le permitan evaluar sus conocimientos.

4. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Las compuertas son un tipo de estructura de control. Se trata de elementos instalados en canales abiertos, que cumplen una o varias de las siguientes funciones:

- Elevación del nivel de agua, p.ej., para obtener una profundidad navegable suficiente o como protección de la erosión por escasas velocidades del flujo.
- Generación de un salto en el terreno para aprovechar el salto natural y generar energía mediante energía hidráulica.
- Regulación de la descarga y protección contra inundaciones, p.ej., los embalses compensan las oscilaciones estacionales del nivel del agua.
- Medición de la descarga.

Las estructuras de control se diferencian en: estructuras por las que el flujo fluye por encima (presas) y estructuras por las que el flujo fluye por debajo (compuertas), o estructuras fijas y móviles.

Tipos de flujo

En la hidráulica de canales se diferencia entre dos tipos de flujo: subcrítico y supercrítico; En el flujo subcrítico el nivel de agua es más alto y el agua fluye a una velocidad más baja. Por lo contrario, en el flujo supercrítico el nivel de agua es más bajo y la velocidad del flujo mayor. Se produce una transición de flujo cuando el flujo pasa de un tipo de flujo a otro. El límite entre los dos tipos de flujo está definido por la profundidad crítica.

- Subcrítico → Supercrítico

Cuando en un canal abierto aumenta la velocidad del flujo, el nivel de agua disminuye. Cuando el nivel de agua queda por debajo de la profundidad crítica, se produce una transición de flujo de subcrítico a supercrítico. Esta transición de flujo se produce de forma continua.

- Supercrítico → Subcrítico

Si la velocidad del flujo se reduce en un canal abierto, el nivel de agua aumenta. Cuando se supera la profundidad crítica, se produce una transición de flujo de supercrítico a subcrítico. Esta transición de flujo es brusca y se denomina resalto hidráulico.

Un resalto hidráulico actúa como una barrera. Las estructuras que se encuentran detrás del resalto hidráulico en la dirección del flujo no influyen en el área del resalto hidráulico, como se muestra en la imagen 35.

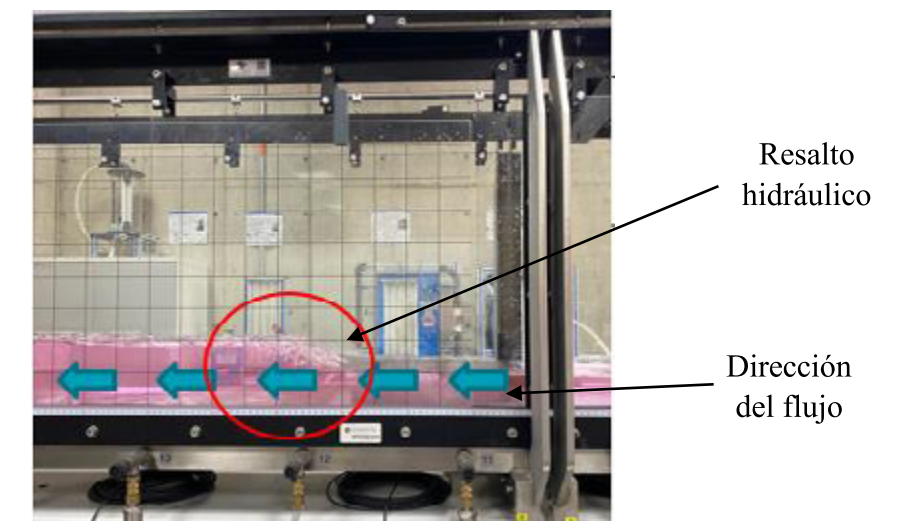


Imagen 35. Resalto hidráulico.

Fuente: Elaboración propia.

Condiciones de descarga en compuertas

En todas las compuertas pueden producirse dos condiciones de descarga: descarga libre y de remanso.

La descarga libre, el nivel de aguas abajo (h_1) no influye en el nivel de aguas arriba (h_0). El nivel de aguas abajo (h_1) es inferior a la altura (a) de la abertura de la compuerta. Bajo la compuerta, justo en la descarga se produce una transición de flujo subcrítico a supercrítico. Debido al estrechamiento de la sección transversal bajo la compuerta, se produce una contracción del chorro con una alta velocidad del flujo. Más adelante, la contracción del chorro se amplía y la velocidad del flujo disminuye. En el resalto hidráulico, la descarga de flujo supercrítico se transforma a descarga de flujo subcrítico, como se aprecia en la imagen 36.

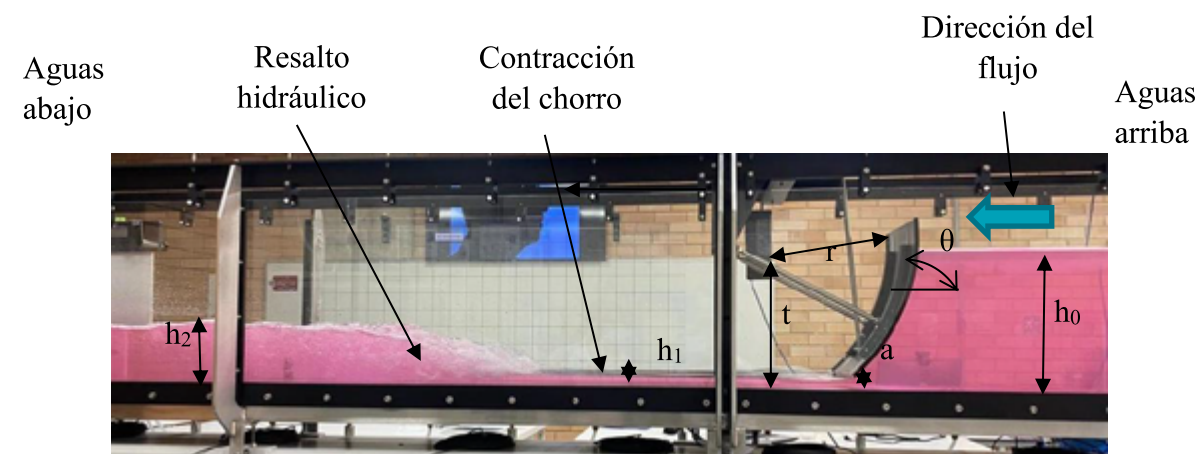


Imagen 36. Descarga libre bajo una compuerta de segmento.
Fuente: Elaboración propia.

Donde,

h_0 = Nivel aguas arriba

θ = Inclinación de la compuerta de segmento

a = Altura de la abertura de la compuerta

r = Radio de la compuerta de segmento

t = Altura del punto de giro de la compuerta sobre la base

h_1 = Nivel aguas abajo en la contracción del chorro

h_2 = Nivel de aguas abajo detrás de la contracción del chorro

La descarga de remanso, el nivel de aguas abajo (h_1) influye en el nivel de aguas arriba (h_0). El nivel de aguas abajo (h_1) es superior a la altura (a) de la abertura de la compuerta. En este caso también se produce una contracción del chorro, que queda cubierta por las aguas abajo. La ampliación de la contracción del chorro se reconoce por un ligero aumento del nivel de agua, como se observa en la imagen 37.

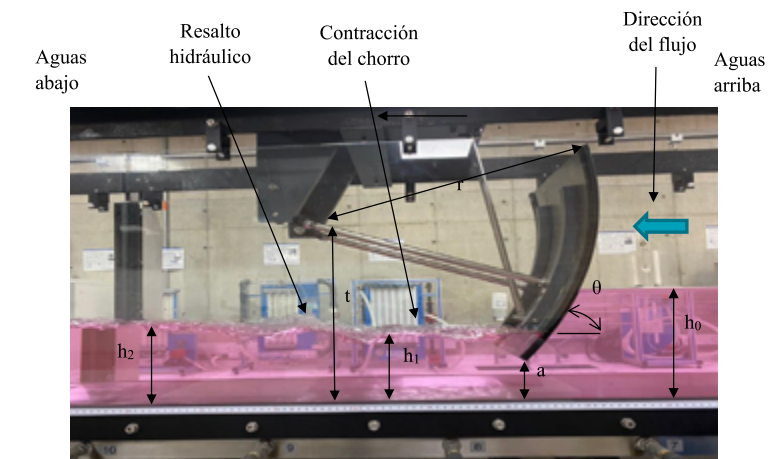


Imagen 37. Descarga de remanso bajo una compuerta de segmento.
Fuente: Elaboración propia.

Donde,

h_0 = Nivel aguas arriba

θ = Inclinación de la compuerta de segmento

a = Altura de la abertura de la compuerta

r = Radio de la compuerta de segmento

t = Altura del punto de giro de la compuerta sobre la base

h_1 = Nivel aguas abajo en la contracción del chorro

h_2 = Nivel de aguas abajo detrás de la contracción del chorro

Cálculo de la descarga en compuertas de segmento.

En la descarga libre bajo compuertas de segmento, la descarga se calcula del modo siguiente:

$$Q = \mu * a * b * \sqrt{2 * g * h_0}$$

Donde,

Q = Caudal de descarga en $\left(\frac{m^3}{s}\right)$

μ = Coeficiente de descarga adimensional

a = Altura de la abertura de la compuerta en (m)

b = Anchura de la abertura de la compuerta de 0,309 (m)

g = Constante de la gravedad 9,81 $\left(\frac{m}{s^2}\right)$

h₀ = Nivel de aguas arriba en (m)

El coeficiente de descarga μ se ve afectado por los siguientes factores:

- La relación $\frac{h_0}{a}$
- El ángulo de abertura θ de la compuerta de segmento.

$$\theta = \cos^{-1} \frac{t - a}{r}$$

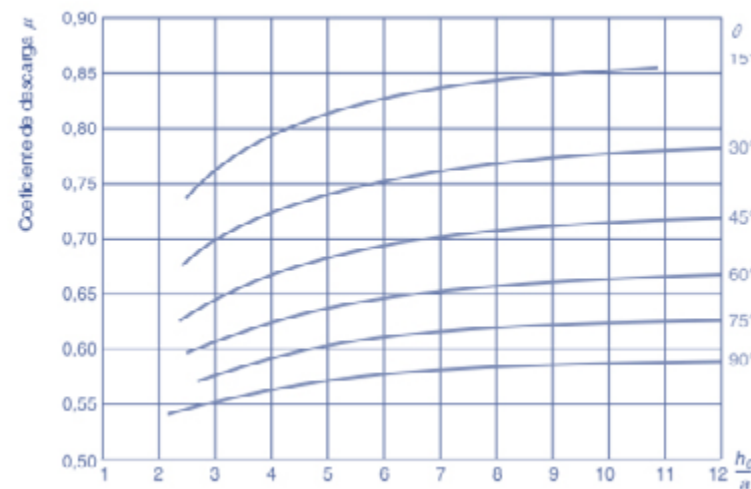
Donde,

a = Altura de la abertura de la compuerta en (cm)

r = Radio de la compuerta de segmento de 45 (cm)

t = Altura del punto de giro de la compuerta de segmento sobre la base de 36,5 (cm)

Dichos factores son necesarios para determinar el coeficiente de descarga μ mediante la gráfica 3:



Gráfica 3. Coeficiente de descarga μ para compuertas de segmento.
Fuente: Gunt Hamburg.

En la descarga de remanso bajo compuertas de segmento, la descarga se calcula como en la descarga libre, sin embargo, también se tiene en cuenta un coeficiente de remanso, además del coeficiente de descarga.

$$Q = k * \mu * a * b * \sqrt{2 * g * h_0}$$

Donde,

Q = Caudal de descarga en $\left(\frac{m^3}{s}\right)$

k = Coeficiente de remanso adimensional

μ = Coeficiente de descarga adimensional

a = Altura de la abertura de la compuerta en (m)

b = Anchura de la abertura de la compuerta de 0,309 (m)

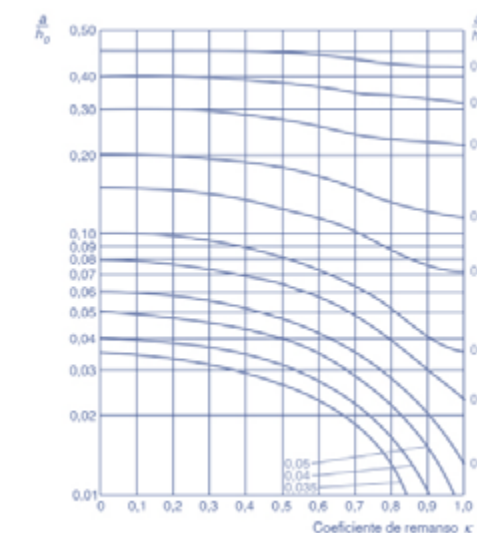
g = Constante de la gravedad 9,81 $\left(\frac{m}{s^2}\right)$

h₀ = Nivel de aguas arriba en (m)

El coeficiente de remanso k depende de los siguientes factores:

- La relación $\frac{a}{h_0}$ para la inundación
- La relación $\frac{a}{h_2}$ para el remanso

Dichos factores son necesarios para determinar el coeficiente de remanso k para compuertas de segmento, mediante la gráfica 4. Estos valores son de aplicabilidad limitada a las compuertas des segmento pequeñas, como en canales de ensayos.



Gráfica 4. Coeficiente de remanso k para compuertas de segmento.
Fuente: Gunt Hamburg.

5. ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

- Bata blanca
- Guantes de nitrilo
- Gafas de seguridad
- Tapabocas desechable

6. RECURSOS MATERIALES Y EQUIPOS



Imagen 38. Compuerta de segmento.
Fuente: Elaboración propia.

La compuerta de segmento consta de los elementos que se pueden apreciar en la imagen 37, para la instalación en el canal de ensayo, donde:

1. Compuerta
2. Juntas
3. Placa de retención
4. Tornillos de sujeción
5. Barra de control con mango de estrella

Para la realización de la práctica se necesitan los equipos expuestos en las imágenes 39, 40 y 41.



Imagen 39. Caudalímetro.
Fuente: Elaboración propia.



Imagen 40. Indicador de medición manual.
Fuente: Elaboración propia.



Imagen 41. Indicador de medición digital.
Fuente: Elaboración propia.

7. INSTALACIÓN DEL EQUIPO

1. Asegúrese de que:

- La bomba de agua del canal de ensayo esté apagada
- No haya agua en el canal de ensayo.

2. Coloque el recorrido de medición en posición horizontal con ayuda del ajuste de inclinación manual o por medio del software que tiene el canal de ensayo.
3. Humedezca las juntas de la compuerta de presa y las planchas de vidrio del canal de ensayo en la posición de instalación con una esponja húmeda.
4. Coloque la compuerta de presa en las guías del canal de ensayo. Tenga en cuenta la dirección del flujo. Doble las juntas en sentido contrario a la dirección del flujo.
5. Desplace la placa de retención debajo de las guías del canal de ensayo y atorníllela con los tornillos de sujeción a la compuerta de presa.
6. Retire todos los objetos sueltos (tornillos, herramientas, etc.) del canal de ensayo.
7. Instale el indicador de medición en el recorrido de medición del canal de ensayo.

8. PROCEDIMIENTO

Una vez se encuentre instalado el equipo se procede a realizar la práctica como se específica en la imagen 42:

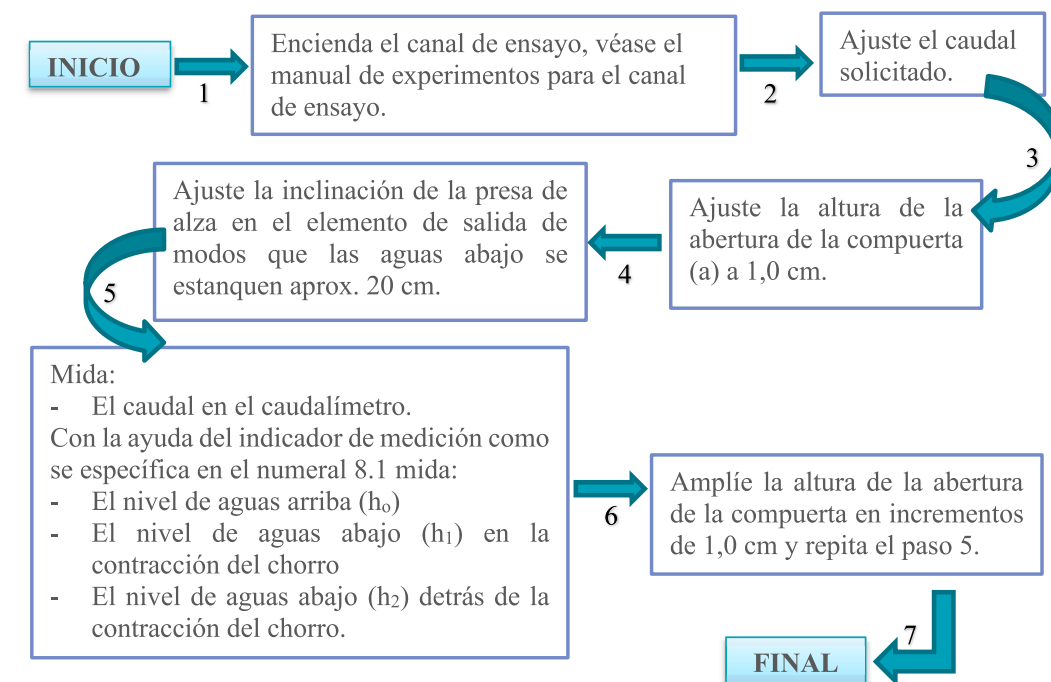


Imagen 42. Procedimiento práctica compuerta de segmento.
Fuente: Elaboración propia.

8.1 Medición niveles de agua

- Momento

Después de haber modificado el caudal u otros parámetros: espere hasta que el estado de los niveles de aguas arriba y aguas abajo y la transición de flujo sean estables. Después realice las mediciones.

- Instrumento de medición

Para los ensayos necesita un instrumento para la medición de niveles de agua, p.ej., el indicador del nivel de agua. La precisión del instrumento debería ser de 1 mm.

- Puesta a cero

Los niveles de agua deberían relacionarse con la base del recorrido de medición. Coloque el indicador del nivel de agua de modo que el borde superior de la base del recorrido de medición tenga una altura de 0 mm.

- Nivel de aguas arriba (h_0)

La distancia (L_0) entre el punto de medición y la presa debe ser como mínimo 3 veces la altura (h). A esta distancia la altura (h) no se ve influida por la presa.

9. CUESTIONARIO

1. Determine el ángulo de abertura de la compuerta de segmento.

$$\theta = \cos^{-1} \frac{t - a}{r}$$

a= Altura de la abertura de la compuerta

r= Radio de la compuerta de segmento

t= Altura del punto de giro de la compuerta de segmento sobre la base.

2. Realice un diagrama que represente el nivel aguas arriba (h_0), nivel aguas abajo (h_1) en función de la abertura de la compuerta (a).
3. Determinar las relaciones $\frac{h_0}{a}$, $\frac{a}{h_0}$, $\frac{a}{h_2}$
4. Determinar el coeficiente de descarga μ con base en la gráfica 3 y el coeficiente de remanso k con base en la gráfica 4.
5. Calcular el caudal de descarga con base a la ecuación para descarga libre explicada anteriormente.

10. FORMATO DE TOMA DE DATOS

Tabla 22. Tabla de toma de datos práctica compuerta de segmento (descarga de remanso).

Caudal	Altura de la abertura de la compuerta	Nivel aguas arriba	Nivel de aguas abajo en la contracción del chorro	Nivel de aguas abajo detrás de las contracciones del chorro
Q [m ³ /h]	a [cm]	h ₀ [cm]	h ₁ [cm]	h ₂ [cm]

11. FORMATO DE RESULTADOS

Tabla 23. Formato de resultados práctica compuerta de segmento (descarga de remanso).

Altura de la abertura de la compuerta	Nivel de aguas arriba	Nivel de aguas abajo	Relación	Coeficiente de descarga	Relación	Relación	Coeficiente de remanso	Caudal	
								Q [m ³ /s]	Medido
a [cm]	h ₀ [cm]	h ₂ [cm]	$\frac{h_0}{a}$	μ	$\frac{a}{h_0}$	$\frac{a}{h_2}$	k		

X. PRÁCTICA “COMPUERTA PLANA DESLIZANTE (DESCARGA LIBRE)”

A continuación se presentan los códigos QR para acceder al video ilustrativo de la práctica a trabajar.



SEMILLERO MSMRHA



SANTOTO TUNJA

1. OBJETIVO GENERAL

Demostrar la descarga libre bajo una compuerta plana deslizante aguas abajo.

1.4 Objetivos específicos

- Analizar la relación entre la altura de la abertura de la compuerta y el nivel de aguas arriba.
- Observar el resalto hidráulico.
- Calcular la descarga bajo una compuerta plana deslizante y compararla con el caudal medido en el caudalímetro.

2. COMPETENCIA

Con la demostración de la compuerta plana deslizante, cuatro tipos se busca desarrollar la capacidad de llevar a cabo una experimentación adecuada, analizar e interpretar los datos obtenidos, y usar criterios de la ingeniería civil para sacar conclusiones y tomar decisiones.

3. RESULTADO DE APRENDIZAJE

Demostrar el dominio del tema, comprendiendo correctamente el funcionamiento de los equipos, analizando los datos obtenidos y estableciendo conclusiones que le permitan evaluar sus conocimientos.

4. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Las compuertas son un tipo de estructura de control. Se trata de elementos instalados en canales abiertos, que cumplen una o varias de las siguientes funciones:

- Elevación del nivel de agua, p.ej., para obtener una profundidad navegable suficiente o como protección de la erosión por escasas velocidades del flujo.
- Generación de un salto en el terreno para aprovechar el salto natural y generar energía mediante energía hidráulica.
- Regulación de la descarga y protección contra inundaciones, p.ej., los embalses compensan las oscilaciones estacionales del nivel del agua.
- Medición de la descarga.

Las estructuras de control se diferencian en: estructuras por las que el flujo fluye por encima (presas) y estructuras por las que el flujo fluye por debajo (compuertas), o estructuras fijas y móviles.

Tipos de flujo

En la hidráulica de canales se diferencia entre dos tipos de flujo: subcrítico y supercrítico; En el flujo subcrítico el nivel de agua es más alto y el agua fluye a una velocidad más baja. Por lo contrario, en el flujo supercrítico el nivel de agua es más bajo y la velocidad del flujo mayor. Se produce una transición de flujo cuando el flujo pasa de un tipo de flujo a otro. El límite entre los dos tipos de flujo está definido por la profundidad crítica.

- Subcrítico → Supercrítico

Cuando en un canal abierto aumenta la velocidad del flujo, el nivel de agua disminuye. Cuando el nivel de agua queda por debajo de la profundidad crítica, se produce una transición de flujo de subcrítico a supercrítico. Esta transición de flujo se produce de forma continua.

- Supercrítico → Subcrítico

Si la velocidad del flujo se reduce en un canal abierto, el nivel de agua aumenta. Cuando se supera la profundidad crítica, se produce una transición de flujo de supercrítico a subcrítico. Esta transición de flujo es brusca y se denomina resalto hidráulico.

Un resalto hidráulico actúa como una barrera. Las estructuras que se encuentran detrás del resalto hidráulico en la dirección del flujo no influyen en el área del resalto hidráulico, como se muestra en la imagen 43.

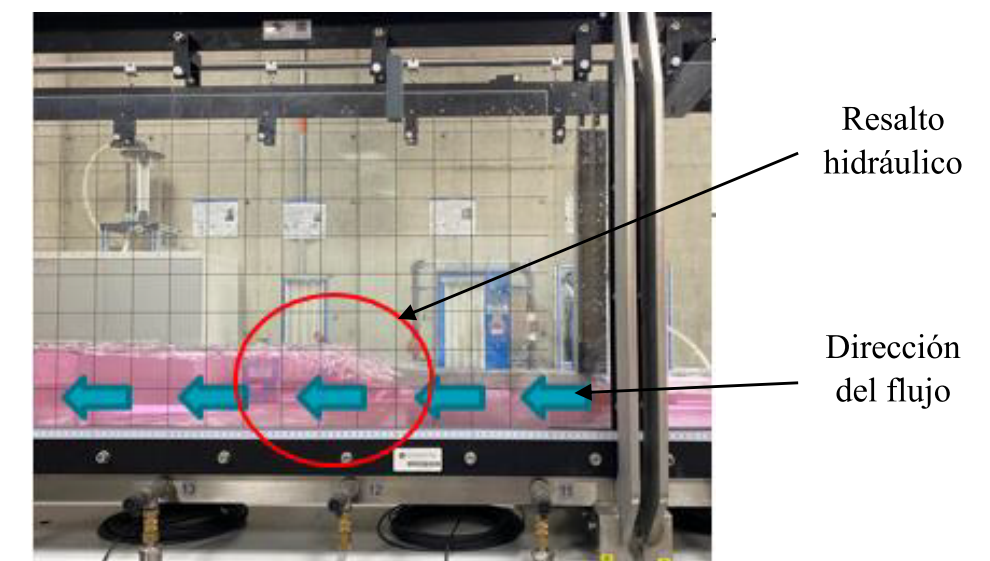


Imagen 43. Resalto hidráulico.

Fuente: Elaboración propia.

Condiciones de descarga en compuertas

En todas las compuertas pueden producirse dos condiciones de descarga: descarga libre y de remanso.

La descarga libre, el nivel de aguas abajo (h_1) no influye en el nivel de aguas arriba (h_0). El nivel de aguas abajo (h_1) es inferior a la altura (a) de la abertura de la compuerta. Bajo la compuerta, justo en la descarga se produce una transición de flujo subcrítico a supercrítico. Debido al estrechamiento de la sección transversal bajo la compuerta, se produce una contracción del chorro con una alta velocidad del flujo. Más adelante, la contracción del chorro se amplía y la velocidad del flujo disminuye. En el resalto hidráulico, la descarga de flujo supercrítico se transforma a descarga de flujo subcrítico, como se aprecia en la imagen 44.

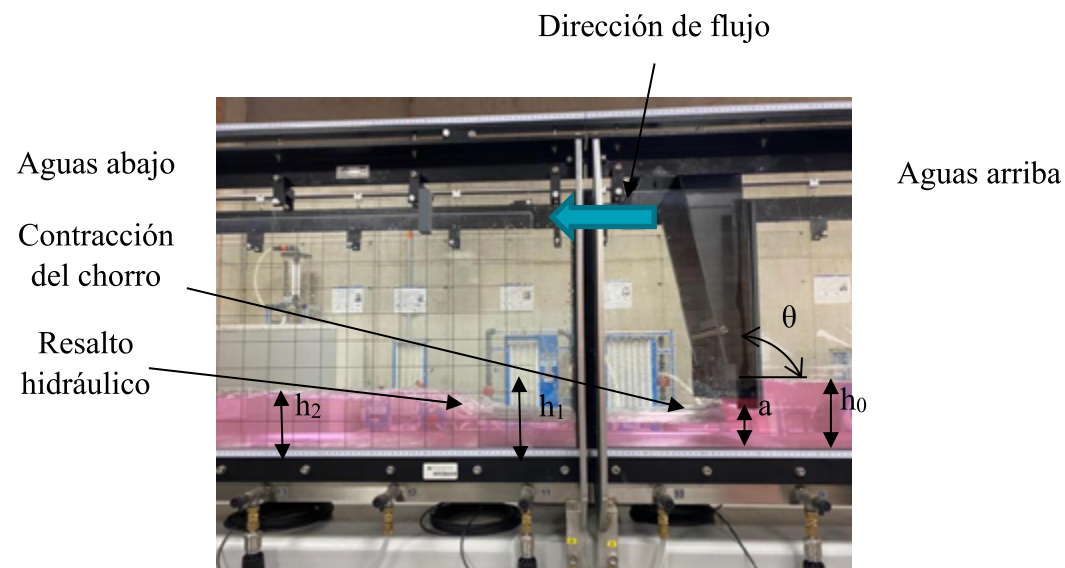


Imagen 44. Descarga libre bajo una compuerta plana deslizante.
Fuente: Elaboración propia.

Donde,

h_0 = Nivel aguas arriba

Θ = Inclinación de la compuerta

a = Altura de la abertura de la compuerta

h_1 = Nivel aguas abajo en la contracción del chorro

h_2 = Nivel de aguas abajo detrás de la contracción del chorro

La descarga de remanso, el nivel de aguas abajo (h_1) influye en el nivel de aguas arriba (h_0). El nivel de aguas abajo (h_1) es superior a la altura (a) de la abertura de la compuerta. En este caso también se produce una contracción del chorro, que queda cubierta por las aguas abajo. La ampliación de la contracción del chorro se reconoce por un ligero aumento del nivel de agua, como se aprecia en la imagen 45.

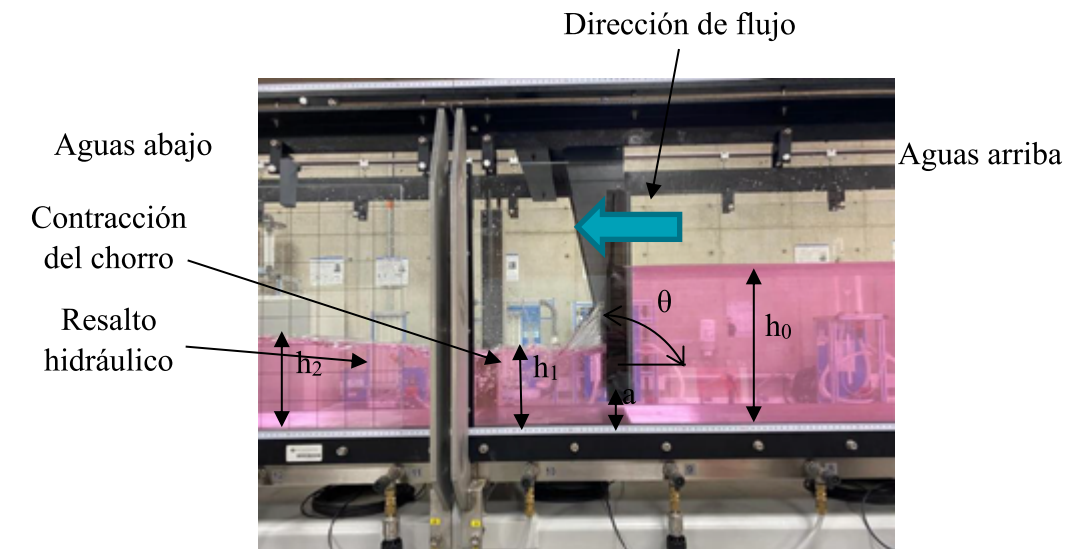


Imagen 45. Descarga de remanso bajo una compuerta plana deslizante.
Fuente: Elaboración propia.

Donde,

h_0 = Nivel aguas arriba

Θ = Inclinación de la compuerta

a = Altura de la abertura de la compuerta

h_1 = Nivel aguas abajo en la contracción del chorro

h_2 = Nivel de aguas abajo detrás de la contracción del chorro

Cálculo de la descarga en compuertas de segmento.

En la descarga libre bajo compuertas de presa, la descarga se calcula del modo siguiente:

$$Q = \mu * a * b * \sqrt{2 * g * h_0}$$

Donde,

Q = Caudal de descarga en $\left(\frac{m^3}{s}\right)$

μ = Coeficiente de descarga adimensional

a = Altura de la abertura de la compuerta en (m)

b = Anchura de la abertura de la compuerta de 0,309 (m)

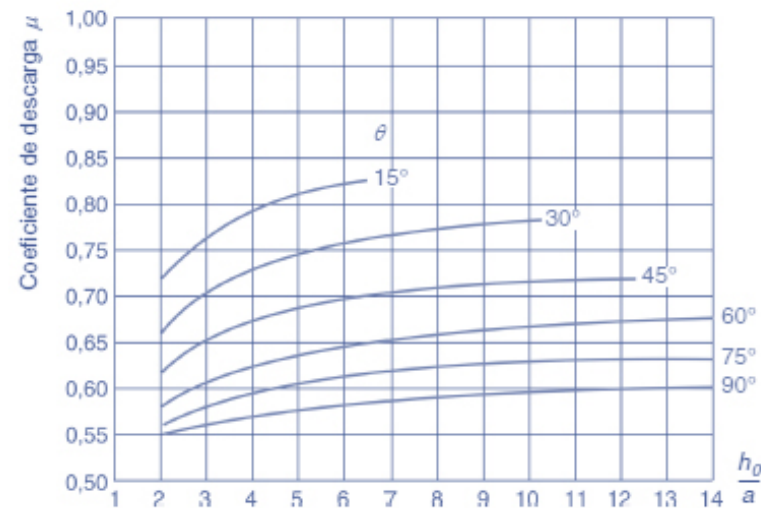
g = Constante de la gravedad 9,81 $\left(\frac{m}{s^2}\right)$

h_0 = Nivel de aguas arriba en (m)

El coeficiente de descarga μ se ve afectado por los siguientes factores:

- La relación
- El ángulo de apertura θ de la compuerta de presa.

Dichos factores son necesarios para determinar el coeficiente de descarga μ mediante la gráfica 5:



Gráfica 5. Coeficiente de descarga μ para compuertas planas deslizantes.
Fuente: Gunt Hamburg.

En la descarga de remanso bajo compuertas de presa, la descarga se calcula como en la descarga libre, sin embargo, también μ se tiene en cuenta un coeficiente de remanso, k además del coeficiente de descarga.

$$Q = k * \mu * a * b * \sqrt{2 * g * h_0}$$

Donde,

Q = Caudal de descarga en $\left(\frac{m^3}{s}\right)$

k = Coeficiente de remanso adimensional

μ = Coeficiente de descarga adimensional

a = Altura de la abertura de la compuerta en (m)

b = Anchura de la abertura de la compuerta de 0,309 (m)

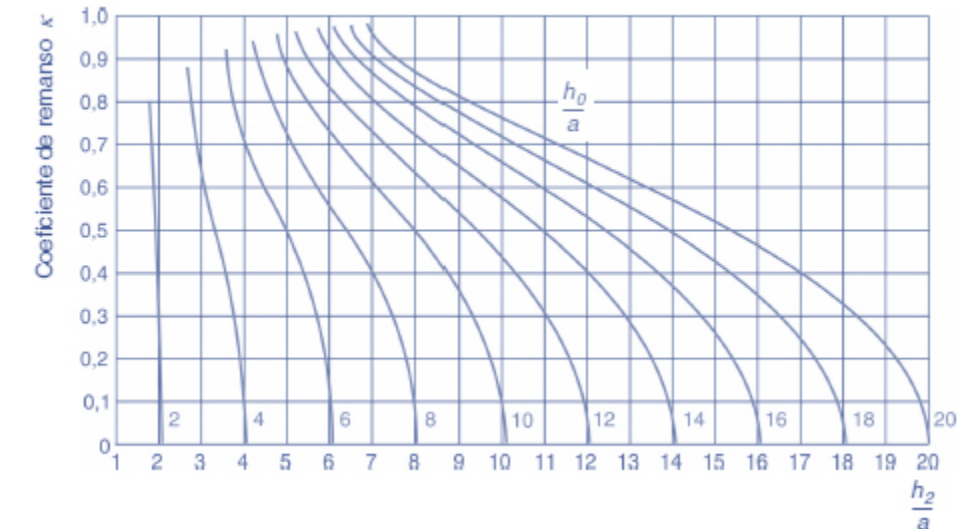
g = Constante de la gravedad $9,81 \left(\frac{m}{s^2}\right)$

h_0 = Nivel de aguas arriba en (m)

El coeficiente de remanso k depende de los siguientes factores:

- La relación $\frac{h_0}{a}$ para la inundación
- La relación $\frac{h_2}{a}$ para el remanso

Dichos factores son necesarios para determinar el coeficiente de remanso k para compuertas planas deslizantes, mediante la gráfica 6.



Gráfica 6. Coeficiente de remanso k para compuertas planas deslizantes.
Fuente: Gunt Hamburg.

5. ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

- Bata blanca
- Guantes de nitrilo
- Gafas de seguridad
- Tapabocas desechable

6. RECURSOS MATERIALES Y EQUIPOS

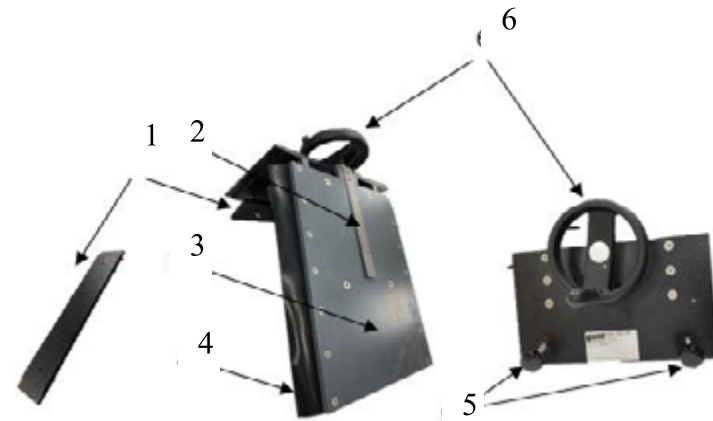


Imagen 46. Compuerta de presa.

Fuente: Elaboración propia.

La compuerta de presa consta de los elementos que se pueden apreciar en la imagen 46, para la instalación en el canal de ensayo, donde:

1. Placa de retención
2. Escala
3. Compuerta
4. Juntas
5. Tornillos de sujeción
6. Volante manual

Para la realización de la práctica se necesitan los equipos expuestos en las imágenes 47, 48 y 49.



Imagen 47. Caudalímetro.

Fuente: Elaboración propia



Imagen 48. Indicador de medición manual.

Fuente: Elaboración propia.



Imagen 49. Indicador de medición digital.

Fuente: Elaboración propia.

7. INSTALACIÓN DEL EQUIPO

Asegúrese de que:

1. La bomba de agua del canal de ensayo esté apagada.
2. No haya agua en el canal de ensayo.
3. Coloque el recorrido de medición en posición horizontal con ayuda del ajuste de inclinación manual o por medio del software que tiene el canal de ensayo.
4. Humedezca las juntas de la compuerta de presa y las planchas de vidrio del canal de ensayo en la posición de instalación con una esponja húmeda.
5. Coloque la compuerta de presa en las guías del canal de ensayo. Tenga en cuenta la dirección del flujo. Doble las juntas en sentido contrario a la dirección del flujo.
6. Desplace la placa de retención debajo de las guías del canal de ensayo y atorníllela con los tornillos de sujeción a la compuerta de presa.
7. Retire todos los objetos sueltos (tornillos, herramientas, etc.) del canal de ensayo.
8. Instale el indicador de medición en el recorrido de medición del canal de ensayo.

8. PROCEDIMIENTO

Una vez se encuentre instalado el equipo se procede a realizar la práctica como se específica en la imagen 50:

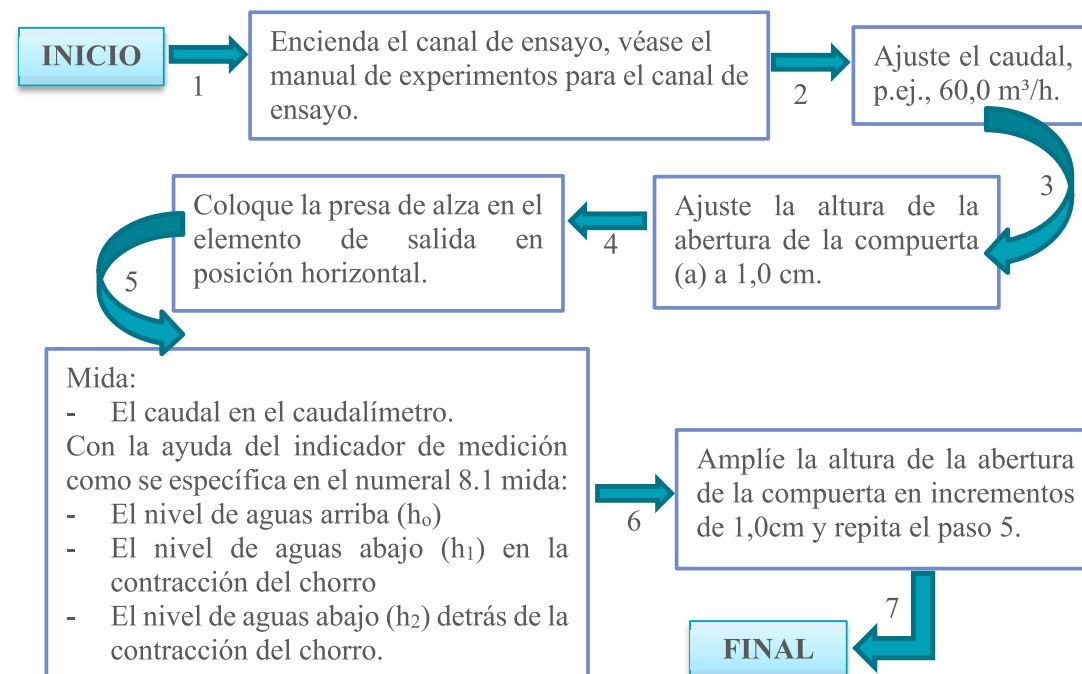


Imagen 50. Procedimiento práctica compuerta plana deslizante.

Fuente: Elaboración propia.

8.1 Medición niveles de agua

- Momento

Después de haber modificado el caudal u otros parámetros: espere hasta que el estado de los niveles de aguas arriba y aguas abajo y la transición de flujo sean estables. Después realice las mediciones.

- Instrumento de medición

Para los ensayos necesita un instrumento para la medición de niveles de agua, p.ej., el indicador del nivel de agua. La precisión del instrumento debería ser de 1 mm.

- Puesta a cero

Los niveles de agua deberían relacionarse con la base del recorrido de medición. Coloque el indicador del nivel de agua de modo que el borde superior de la base del recorrido de medición tenga una altura de 0 mm.

- Nivel de aguas arriba (h_0)

La distancia (L_0) entre el punto de medición y la presa debe ser como mínimo 3 veces la altura (h). A esta distancia la altura (h) no se ve influida por la presa.

9. CUESTIONARIO

1. Realice un diagrama que represente el nivel aguas arriba (h_0), nivel aguas abajo (h_1) en función de la abertura de la compuerta (a).
2. Determinar las relaciones $\frac{h_0}{a}$.
3. Determinar el coeficiente de descarga μ con base en la gráfica 5.
4. Calcular el caudal de descarga con base a la ecuación para descarga libre explicada anteriormente.

10. FORMATO DE TOMA DE DATOS

Tabla 24. Formato toma de datos práctica compuesta plana deslizante (descarga libre).

Caudal	Altura de la apertura de la compuerta	Nivel aguas arriba	Nivel de aguas abajo en la contracción del chorro	Nivel de aguas abajo detrás de las contracciones del chorro
Q [m ³ /h]	a [cm]	h_0 [cm]	h_1 [cm]	h_2 [cm]

11. FORMATO DE RESULTADOS

Tabla 25. Formato de resultados ensayo demostración compuesta plana deslizante (descarga libre).

Altura de la apertura de la compuerta	Nivel de aguas arriba	Relación	Coeficiente de descarga	Caudal	
				Q [m ³ /h]	
a [cm]	h_0 [cm]	$\frac{h_0}{a}$	μ	Medido	Calculado

XI. PRÁCTICA “COMPUERTA PLANA DESLIZANTE (DESCARGA DE REMANSO)”

A continuación se presentan los códigos QR para acceder al video ilustrativo de la práctica a trabajar.



SEMILLERO MSMRHA



SANTOTO TUNJA

1. OBJETIVO GENERAL

Demostrar la descarga de remanso bajo una compuerta plana deslizante con aguas abajo embalsadas.

1.1 Objetivos específicos

- Detectar la relación entre la altura de la abertura de la compuerta y el nivel de aguas arriba.
- Observar del resalto hidráulico.
- Calcular la descarga bajo una compuerta plana deslizante y compararla con el caudal medido en el caudalímetro.

2. COMPETENCIA

Con la demostración de la compuerta plana deslizante, cuatro tipos se busca desarrollar la capacidad de llevar a cabo una experimentación adecuada, analizar e interpretar los datos obtenidos, y usar criterios de la ingeniería civil para sacar conclusiones y tomar decisiones.

3. RESULTADO DE APRENDIZAJE

Demostrar el dominio del tema, comprendiendo correctamente el funcionamiento de los equipos, analizando los datos obtenidos y estableciendo conclusiones que le permitan evaluar sus conocimientos.

4. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Las compuertas son un tipo de estructura de control. Se trata de elementos instalados en canales abiertos, que cumplen una o varias de las siguientes funciones:

- Elevación del nivel de agua, p.ej., para obtener una profundidad navegable suficiente o como protección de la erosión por escasas velocidades del flujo.
- Generación de un salto en el terreno para aprovechar el salto natural y generar energía mediante energía hidráulica.
- Regulación de la descarga y protección contra inundaciones, p.ej., los embalses compensan las oscilaciones estacionales del nivel del agua.
- Medición de la descarga.

Las estructuras de control se diferencian en: estructuras por las que el flujo fluye por encima (presas) y estructuras por las que el flujo fluye por debajo (compuertas), o estructuras fijas y móviles.

Tipos de flujo

En la hidráulica de canales se diferencia entre dos tipos de flujo: subcrítico y supercrítico; En el flujo subcrítico el nivel de agua es más alto y el agua fluye a una velocidad más baja. Por lo contrario, en el flujo supercrítico el nivel de agua es más bajo y la velocidad del flujo mayor. Se produce una transición de flujo cuando el flujo pasa de un tipo de flujo a otro. El límite entre los dos tipos de flujo está definido por la profundidad crítica.

- Subcrítico → Supercrítico

Cuando en un canal abierto aumenta la velocidad del flujo, el nivel de agua disminuye. Cuando el nivel de agua queda por debajo de la profundidad crítica, se produce una transición de flujo de subcrítico a supercrítico. Esta transición de flujo se produce de forma continua.

- Supercrítico → Subcrítico

Si la velocidad del flujo se reduce en un canal abierto, el nivel de agua aumenta. Cuando se supera la profundidad crítica, se produce una transición de flujo de supercrítico a subcrítico. Esta transición de flujo es brusca y se denomina resalto hidráulico.

Un resalto hidráulico actúa como una barrera. Las estructuras que se encuentran detrás del resalto hidráulico en la dirección del flujo no influyen en el área del resalto hidráulico, como se muestra en la imagen 51.

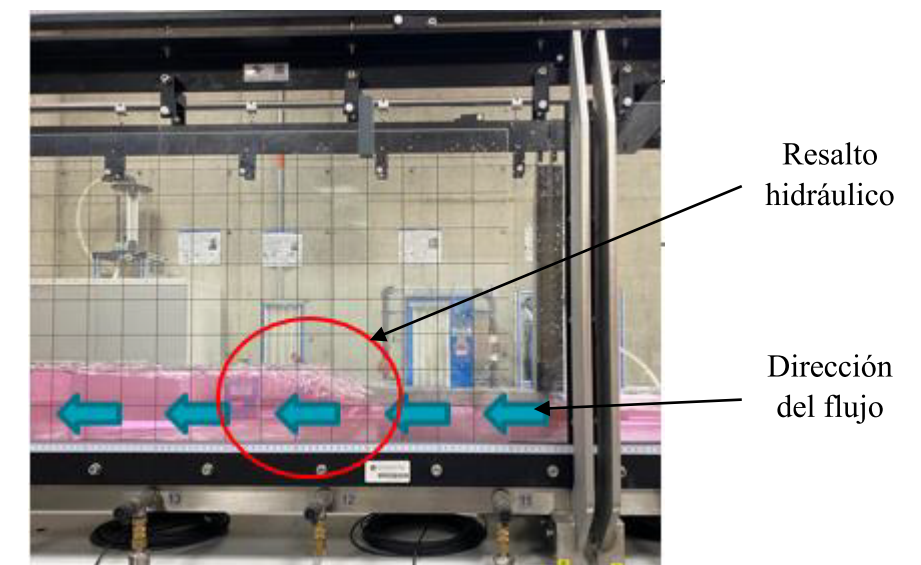


Imagen 51. Resalto hidráulico.
Fuente: Elaboración propia.

Condiciones de descarga en compuertas

En todas las compuertas pueden producirse dos condiciones de descarga: descarga libre y de remanso.

La descarga libre, el nivel de aguas abajo (h_1) no influye en el nivel de aguas arriba (h_0). El nivel de aguas abajo (h_1) es inferior a la altura (a) de la abertura de la compuerta. Bajo la compuerta, justo en la descarga se produce una transición de flujo subcrítico a supercrítico. Debido al estrechamiento de la sección transversal bajo la compuerta, se produce una contracción del chorro con una alta velocidad del flujo. Más adelante, la contracción del chorro se amplía y la velocidad del flujo disminuye. En el resalto hidráulico, la descarga de flujo supercrítico se transforma a descarga de flujo subcrítico, como se aprecia en la imagen 52.

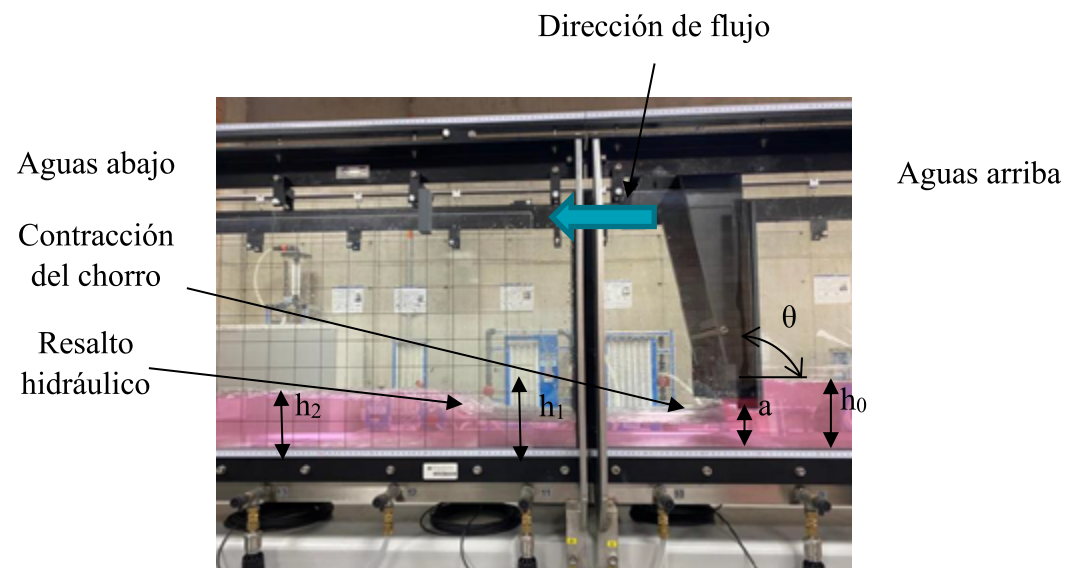


Imagen 52. Descarga libre bajo una compuerta plana deslizante.
Fuente: Elaboración propia.

Donde,

h_0 = Nivel aguas arriba

θ = Inclinación de la compuerta

a = Altura de la abertura de la compuerta

h_1 = Nivel aguas abajo en la contracción del chorro

h_2 = Nivel de aguas abajo detrás de la contracción del chorro.

La descarga de remanso, el nivel de aguas abajo (h_1) influye en el nivel de aguas arriba (h_0). El nivel de aguas abajo (h_1) es superior a la altura (a) de la abertura de la compuerta. En este caso también se produce una contracción del chorro, que queda cubierta por las aguas abajo. La ampliación de la contracción del chorro se reconoce por un ligero aumento del nivel de agua, como se aprecia en la imagen 53.

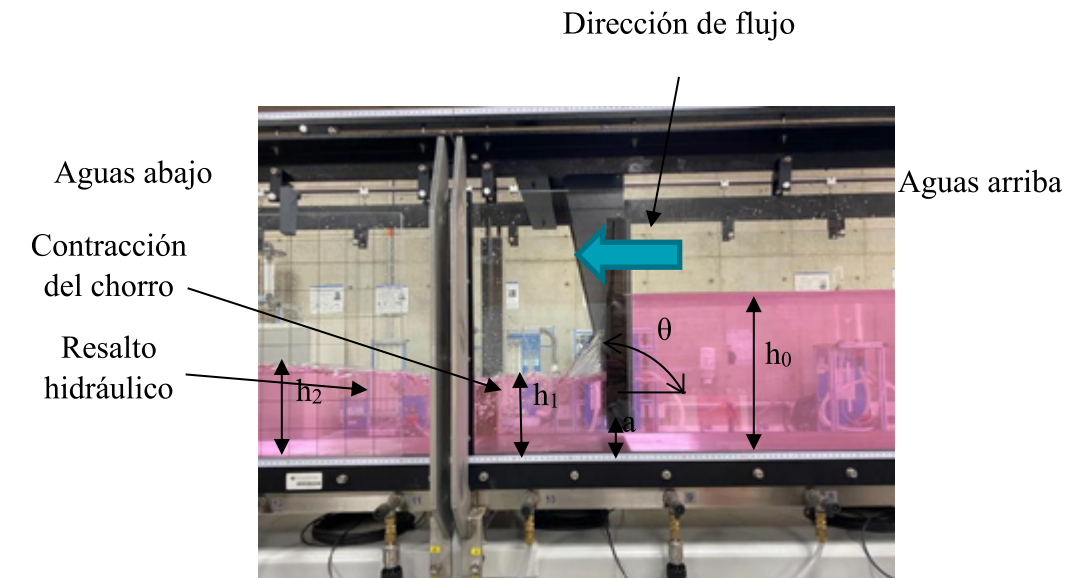


Imagen 53. Descarga de remanso bajo una compuerta plana deslizante.
Fuente: Elaboración propia.

Donde,

h_0 = Nivel aguas arriba

θ = Inclinación de la compuerta

a = Altura de la abertura de la compuerta

h_1 = Nivel aguas abajo en la contracción del chorro

h_2 = Nivel de aguas abajo detrás de la contracción del chorro.

Cálculo de la descarga en compuertas de segmento.

En la descarga libre bajo compuertas de presa, la descarga se calcula del modo siguiente:

$$Q = \mu * a * b * \sqrt{2 * g * h_0}$$

Donde,

Q = Caudal de descarga en $\left(\frac{m^3}{s}\right)$

μ = Coeficiente de descarga adimensional

a = Altura de la abertura de la compuerta en (m)

b = Anchura de la abertura de la compuerta de 0,309 (m)

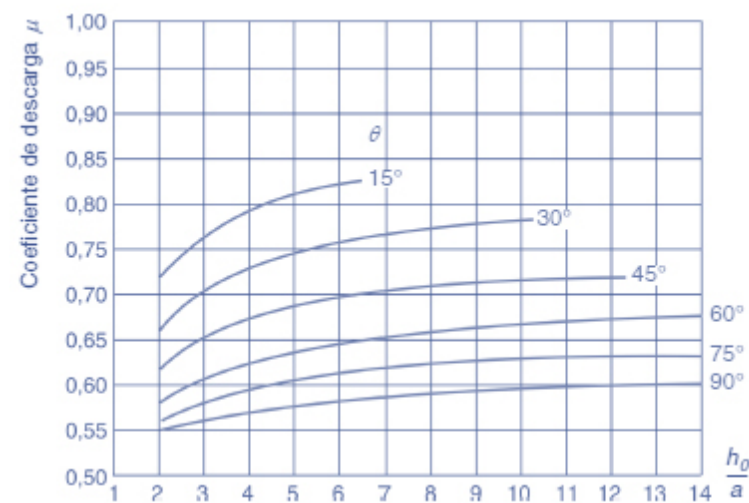
g = Constante de la gravedad 9,81 $\left(\frac{m}{s^2}\right)$

h_0 = Nivel de aguas arriba en (m)

El coeficiente de descarga μ se ve afectado por los siguientes factores:

- La relación $\frac{h_0}{a}$
- El ángulo de abertura θ de la compuerta de presa.

Dichos factores son necesarios para determinar el coeficiente de descarga μ mediante la gráfica 7:



Gráfica 7. Coeficiente de descarga μ para compuertas planas deslizantes.
Fuente: Gunt Hamburg.

En la descarga de remanso bajo compuertas de presa, la descarga se calcula como en la descarga libre, sin embargo, también μ se tiene en cuenta un coeficiente de remanso, k además del coeficiente de descarga.

$$Q = k * \mu * a * b * \sqrt{2 * g * h_0}$$

Donde,

Q = Caudal de descarga en $\left(\frac{m^3}{s}\right)$

k = Coeficiente de remanso adimensional

μ = Coeficiente de descarga adimensional

a = Altura de la abertura de la compuerta en (m)

b = Anchura de la abertura de la compuerta de 0,309 (m)

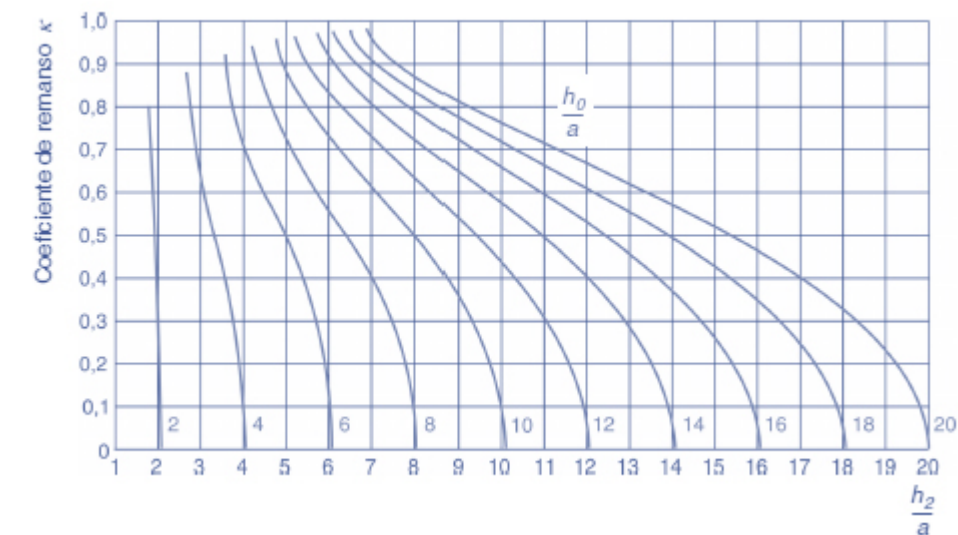
g = Constante de la gravedad 9,81 $\left(\frac{m}{s^2}\right)$

h_0 = Nivel de aguas arriba en (m)

El coeficiente de remanso depende de los siguientes factores:

- La relación $\frac{h_0}{a}$ para la inundación
- La relación $\frac{h_2}{a}$ para el remanso

Dichos factores son necesarios para determinar el coeficiente de remanso k para compuertas planas deslizantes, mediante la gráfica 8.



Gráfica 8. Coeficiente de remanso k para compuertas planas deslizantes.
Fuente: Gunt Hamburg.

5. ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

- Bata blanca
- Guantes de nitrilo
- Gafas de seguridad
- Tapabocas desechable

6. RECURSOS MATERIALES Y EQUIPOS

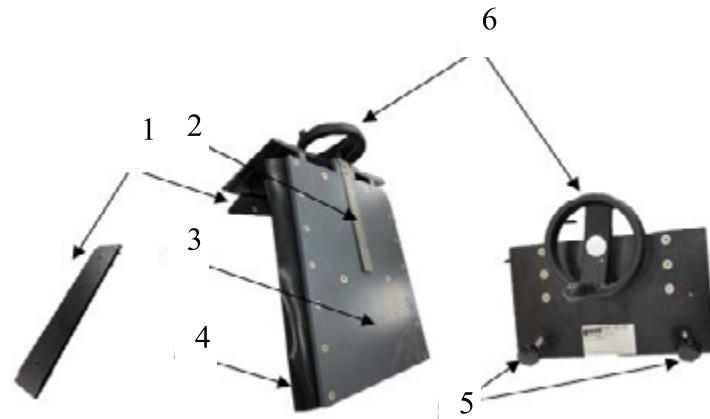


Imagen 54. Compuerta plana deslizante.
Fuente: Elaboración propia.

La compuerta de presa consta de los elementos que se puede apreciar en la imagen 54, para la instalación en el canal de ensayo, donde:

1. Placa de retención
2. Escala
3. Compuerta
4. Juntas
5. Tornillos de sujeción
6. Volante manual

Para la realización de la práctica se necesitan los equipos expuestos en las imágenes 55, 56 y 57.



Imagen 55. Caudalímetro.
Fuente: Elaboración propia.



Imagen 56. Indicador de medición manual.
Fuente: Elaboración propia.



Imagen 57. Indicador de medición digital.
Fuente: Elaboración propia.

7. INSTALACIÓN DEL EQUIPO

Asegúrese de que:

- La bomba de agua del canal de ensayo esté apagada.
- No haya agua en el canal de ensayo.

1. Coloque el recorrido de medición en posición horizontal con ayuda del ajuste de inclinación manual o por medio del software que tiene el canal de ensayo.

2. Humedezca las juntas de la compuerta de presa y las planchas de vidrio del canal de ensayo en la posición de instalación con una esponja húmeda.
3. Coloque la compuerta de presa en las guías del canal de ensayo. Tenga en cuenta la dirección del flujo. Doble las juntas en sentido contrario a la dirección del flujo.
4. Desplace la placa de retención debajo de las guías del canal de ensayo y atorníllela con los tornillos de sujeción a la compuerta de presa.
5. Retire todos los objetos sueltos (tornillos, herramientas, etc.) del canal de ensayo.
6. Instale el indicador de medición en el recorrido de medición del canal de ensayo.

8. PROCEDIMIENTO

Una vez se encuentre instalado el equipo se procede a realizar la práctica como se especifica en la imagen 58:

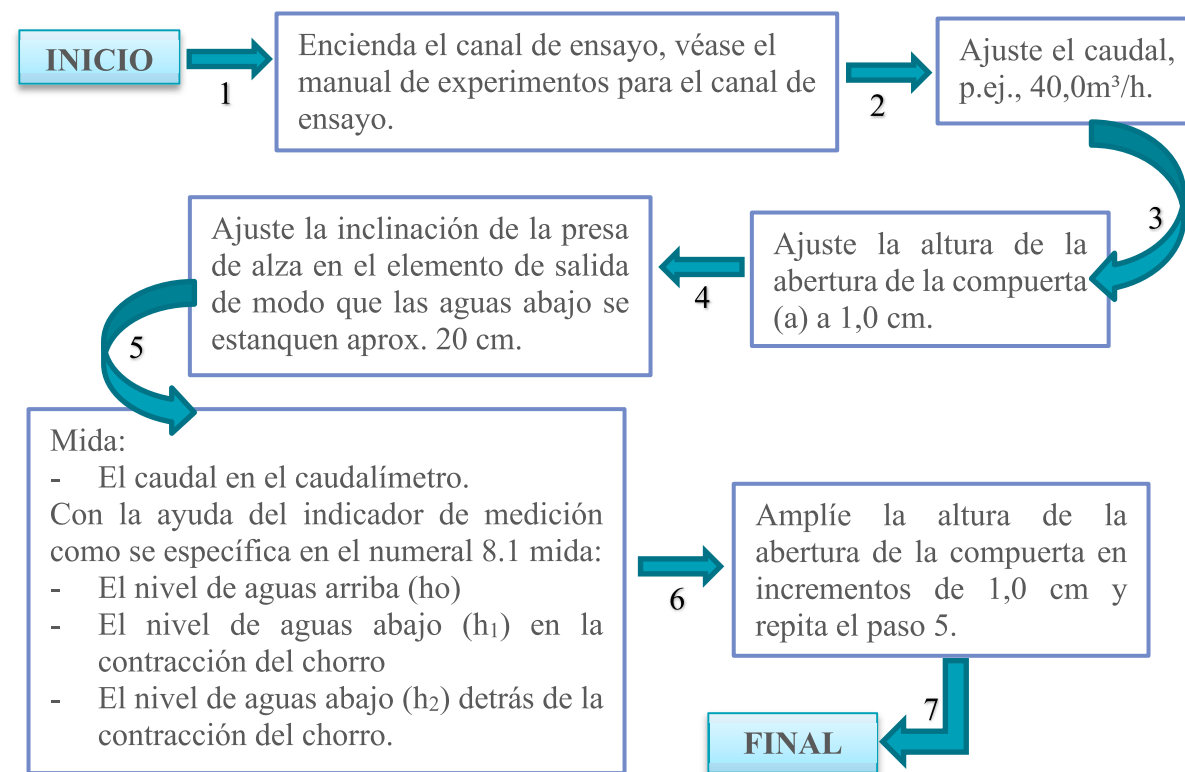


Imagen 58. Procedimiento práctica compuerta plana deslizante.
Fuente: Elaboración propia.

8.1 Medición niveles de agua

- Momento

Después de haber modificado el caudal u otros parámetros: espere hasta que el estado de los niveles de aguas arriba y aguas abajo y la transición de flujo sean estables. Después realice las mediciones.

- Instrumento de medición

Para los ensayos necesita un instrumento para la medición de niveles de agua, p.ej., el indicador del nivel de agua. La precisión del instrumento debería ser de 1 mm.

- Puesta a cero

Los niveles de agua deberían relacionarse con la base del recorrido de medición. Coloque el indicador del nivel de agua de modo que el borde superior de la base del recorrido de medición tenga una altura de 0 mm.

- Nivel de aguas arriba (h_0)

La distancia (L_0) entre el punto de medición y la presa debe ser como mínimo 3 veces la altura (h). A esta distancia la altura (h) no se ve influida por la presa.

9. CUESTIONARIO

1. Realice un diagrama que represente el nivel aguas arriba (h_0), nivel aguas abajo (h_1) en función de la abertura de la compuerta (a).
2. Determinar las relaciones $\frac{h_0}{a}$ y $\frac{h_2}{a}$
3. Determinar el coeficiente de descarga μ con base en la gráfica 3 y el coeficiente de remanso k con base en la gráfica 4.
4. Calcular el caudal de descarga con base a la ecuación para descarga libre explicada anteriormente.

10. FORMATO DE TOMA DE DATOS

Tabla 26. Tabla de toma de datos práctica compuerta plana deslizante (descarga de remanso).

Caudal	Altura de la abertura de la compuerta	Nivel aguas arriba	Nivel de aguas abajo en la contracción del chorro	Nivel de aguas abajo detrás de las contracciones del chorro
Q [m ³ /h]	a [cm]	h_0 [cm]	h_1 [cm]	h_2 [cm]

11. FORMATO DE RESULTADOS

Tabla 27. Formato de resultados práctica compuerta plana deslizante (descarga de remanso).

Altura de la abertura de la compuerta	Nivel de aguas arriba	Nivel de aguas abajo	Relación	Relación	Coeficiente de descarga	Coeficiente de remanso	Caudal	
							Q [m ³ /h]	
a [cm]	h_0 [cm]	h_2 [cm]	$\frac{h_0}{a}$	$\frac{h_2}{a}$	μ	k	Medido	Calculado

XII. PRÁCTICA “JUEGO DE VERTEDEROS DE CRESTA DELGADA, CUATRO TIPOS (INFLUENCIA DE LA AIREACIÓN EN LA FORMA DE LA NAPA Y LOS COEFICIENTES DE UNA PRESA)”

A continuación se presentan los códigos QR para acceder al video ilustrativo de la práctica a trabajar.



SEMILLERO MSMRHA



SANTOTO TUNJA

1. OBJETIVO GENERAL

Demostrar la influencia de la aireación en la forma de la napa en una presa de cresta delgada y los coeficientes de vertedero para todas las presas. Además, deben representarse gráficamente las ecuaciones de vertedero de presa.

1.1 Objetivos específicos

- Determinar experimentalmente los coeficientes de vertedero de distintas presas de platos
- Evidenciar la influencia de la forma de la presa en el rango de medición
- Evidenciar la aireación en la forma de la napa

2. COMPETENCIA

Con la demostración de los elementos del juego de vertederos de cresta delgada, cuatro tipos se busca desarrollar la capacidad de llevar a cabo una experimentación adecuada, analizar e interpretar los datos obtenidos, y usar criterios de la ingeniería civil para sacar conclusiones y tomar decisiones.

3. RESULTADO DE APRENDIZAJE

Demostrar el dominio del tema, comprendiendo correctamente el funcionamiento de los equipos, analizando los datos obtenidos y estableciendo conclusiones que le permitan evaluar sus conocimientos.

4. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Tipos de flujo

En la hidráulica de canales se diferencia entre dos tipos de flujo: subcrítico y supercrítico; En el flujo subcrítico el nivel de agua es más alto y el agua fluye a una velocidad más baja. Por el contrario, en el flujo supercrítico el nivel de agua es más bajo y la velocidad del flujo mayor. Se produce una transición de flujo cuando el flujo pasa de un tipo de flujo a otro. El límite entre los dos tipos de flujo está definido por la profundidad crítica.

- Subcrítico → Supercrítico

Cuando en un canal abierto aumenta la velocidad del flujo, el nivel de agua disminuye. Cuando el nivel de agua queda por debajo de la profundidad crítica, se produce una transición de flujo de subcrítico a supercrítico. Esta transición de flujo se produce de forma continua.

- Supercrítico → Subcrítico

Si la velocidad del flujo se reduce en un canal abierto, el nivel de agua aumenta. Cuando se supera la profundidad crítica, se produce una transición de flujo de supercrítico a subcrítico. Esta transición de flujo es brusca y se denomina resalto hidráulico.

Un resalto hidráulico actúa como una barrera. Las estructuras que se encuentran detrás del resalto hidráulico en la dirección del flujo no influyen en el área del resalto hidráulico, como se muestra en la imagen 59.

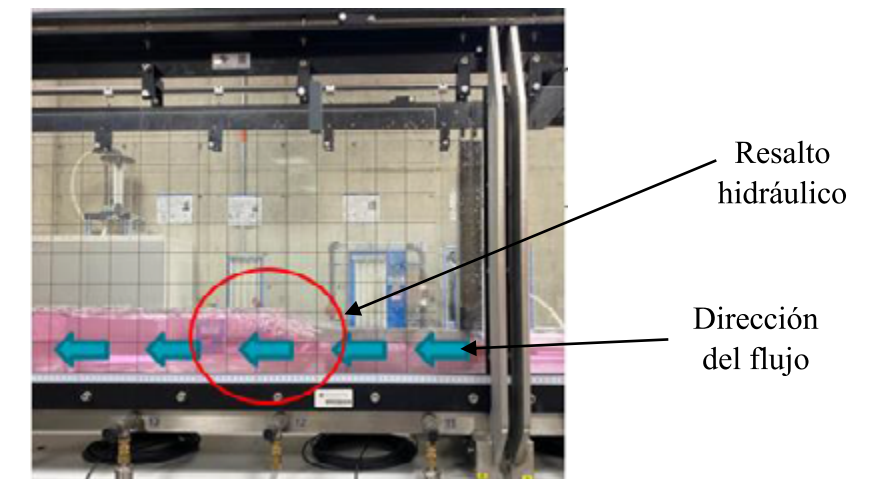


Imagen 59. Resalto hidráulico.
Fuente: Elaboración propia.

Condiciones de caída

- Caída libre

Detrás de la presa el nivel de agua es tan profundo que no influye en la descarga sobre la presa. En la cresta de presa se produce una transición de flujo de subcrítico a supercrítico. Los niveles de aguas arriba y aguas abajo de la presa no son interdependientes, como se muestra en la imagen 60.

Aguas abajo

Aguas arriba



Imagen 60. Caída libre.
Fuente: Elaboración propia.

- Chorro sumergible

El nivel de aguas abajo (h_1) influye en el nivel de aguas arriba (h_0). El nivel de aguas abajo (h_1) suele ser más alto que la altura (h_w) de la presa. No se produce ninguna transición de flujo. La presa actúa como presa sumergible, como se observa en la imagen 61.

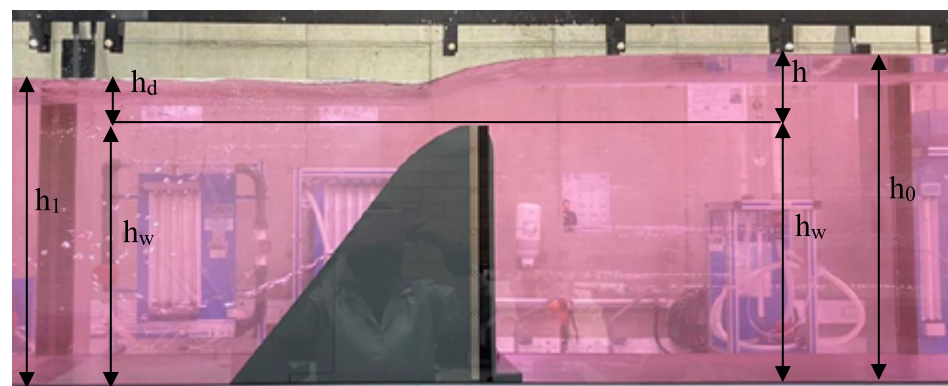


Imagen 61. Chorro sumergible.
Fuente: Elaboración propia.

Ecuación de vertedero

Una ecuación de vertedero es la relación funcional entre la altura h y la descarga sobre la presa Q . Las ecuaciones de vertedero dependen del tipo de construcción de la presa. Todas las ecuaciones de vertedero corresponden a la forma general:

$$Q = [...] * \sqrt{2 * g} * \mu * h^n \quad n > 1$$

Las ecuaciones de vertedero corresponden formalmente a una función potencial. La expresión [...] varía según la forma de la presa.

Ecuación de Poleni

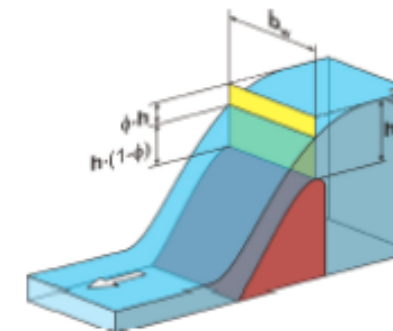


Imagen 62. Presa de cresta Ogee.
Fuente: Gunt Hamburg.

La caída libre sobre una presa rectangular sin contracción lateral se puede describir de forma simplificada mediante la ecuación de Poleni:

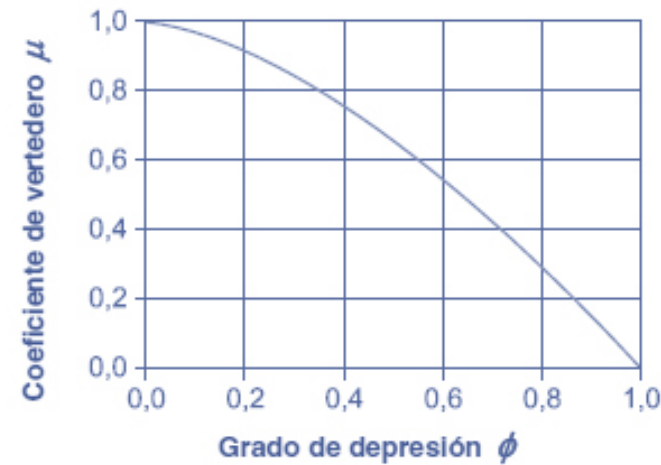
$$Q = \frac{2}{3} * b_w * \sqrt{2 * g} * (1 - \phi) * h^{1,5}$$

El parámetro ϕ es una medida de la reducción del nivel del agua sobre la cresta de presa en la imagen 62. El término $(1 - \phi^{1,5})$ se denomina coeficiente de vertedero μ , de modo que también se puede escribir:

$$Q = \frac{2}{3} * b_w * \sqrt{2 * g} * \mu * h^{1,5}$$

Coficiente de vertedero

El coeficiente de vertedero es una medida de la influencia de la presa en la descarga. Esto se observa en la depresión del nivel del agua sobre la cresta de presa. Con base a la ecuación de Poleni, entre el coeficiente de vertedero μ y el grado de depresión ϕ se aplica la siguiente relación:



Gráfica 9. Coeficiente de vertedero.
Fuente: Gunt Hamburg.

Esta relación se representa gráficamente en la gráfica 9. Se observa que el coeficiente de vertedero se reduce con la depresión creciente del nivel del agua. Con la altura h indicada, la descarga Q aumenta linealmente sobre la presa con el coeficiente de vertedero. La descarga sobre una presa es mayor, cuanto menor sea la influencia de la presa.

El coeficiente de vertedero depende fundamentalmente de la geometría de la presa. En la imagen 63 se indican valores orientativos para algunas formas de presa.

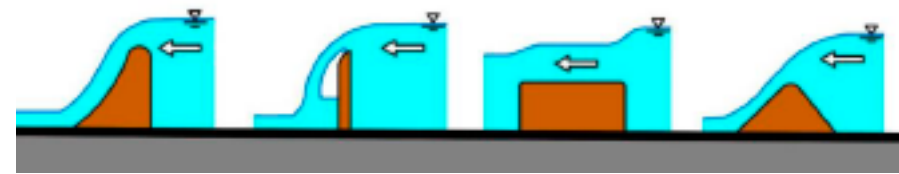


Imagen 63. Coeficiente de vertedero: valores orientativos.
Fuente: Elaboración propia.

Presa de cresta delgada

Para la medición de caudal se utilizan principalmente, presas de cresta delgada. Una presa de cresta delgada consta de una placa vertical con un flujo incidente vertical. Una característica esencial de las presas de cresta delgada es el borde de vertedero extremadamente estrecho. La anchura del borde de vertedero es aprox. 1...2 mm, como se muestra en la imagen 64.

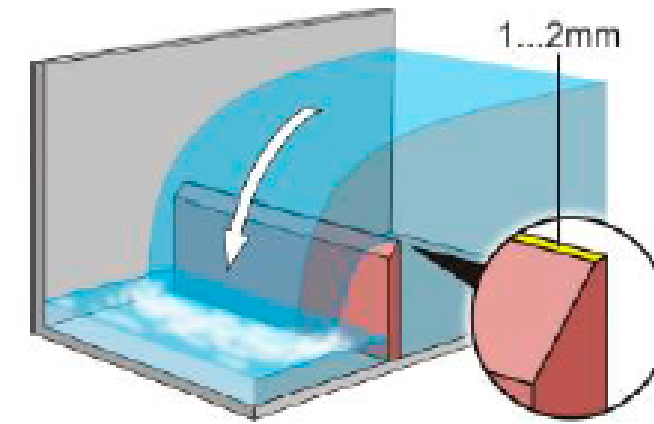


Imagen 64. Presa de cresta delgada.
Fuente: Gunt Hamburg.

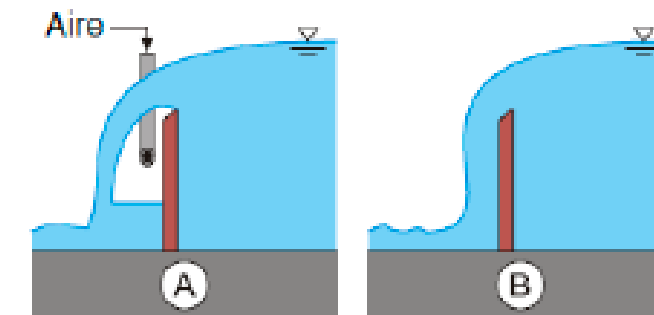


Imagen 65. Napa libre (A), napa adyacente (B).
Fuente: Gunt Hamburg.

- Napa

Si existe una conexión entre el área detrás de la presa y el entorno, la presa se airea. Debajo de la napa se forma un colchón de aire con presión ambiente. En este caso, la napa se desprende del dorso de la presa (napa libre), como se observa en la imagen 65. La posibilidad más sencilla de aireación de una presa es una contracción lateral. Sin contracción, debe instalarse una instalación de aireación separada. Sin aireación, la napa es adyacente al dorso de la presa, como se muestra en la imagen 66.

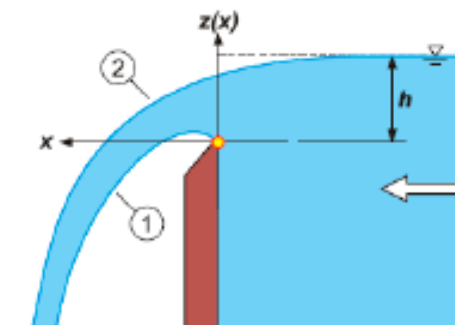


Imagen 66. Sistema de coordenadas.
Fuente: Gunt Hamburg.

PRESA DE MEDICIÓN RECTANGULAR (REHBOCK)

En una presa rectangular, el borde de vertedero tiene forma horizontal. Este tipo de presa es apto para grandes caudales. A alturas escasas, esta presa ofrece, sin embargo, una escasa exactitud de medición. Las presas rectangulares pueden estar diseñadas con o sin contracción lateral.

Ecuación de vertedero

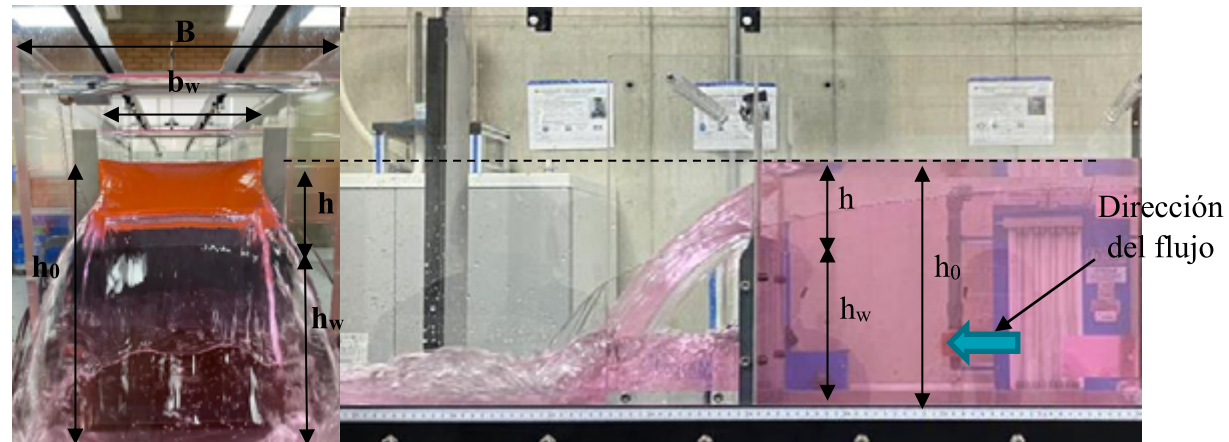


Imagen 67. Presa de medición rectangular: nomenclatura.
Fuente: Elaboración Propia.

La caída sobre una presa rectangular, aireada, se puede describir con la ecuación de Poleni:

$$Q = \frac{2}{3} * \mu * \sqrt{2 * g} * b_w * h^{1,5}$$

$$Q = \frac{2}{3} * \mu * \sqrt{2 * g} * b_w * (h_0 - h_w)^{1,5}$$

Coefficiente de vertedero

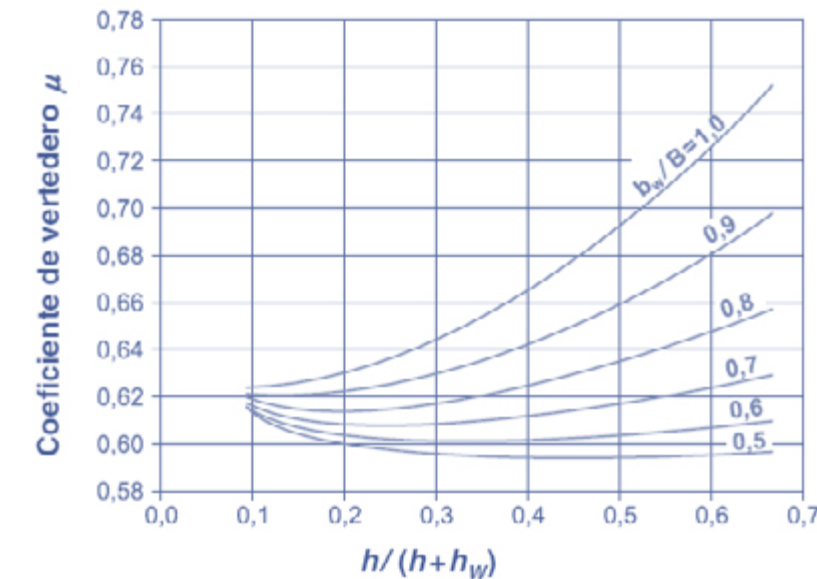
El coeficiente de vertedero puede determinarse con la siguiente ecuación empírica:

$$\mu = \left[0,578 + 0,037 * \left(\frac{b_w}{B}\right)^2 + \frac{3,615 - 3 * \left(\frac{b_w}{B}\right)^2}{1000 * h + 1,6} \right] * \left[1 + 0,5 * \left(\frac{b_w}{B}\right)^4 - \left(\frac{h}{h + h_w}\right)^2 \right]$$

$$h_w \geq 0,3 \text{ m}$$

$$0,025\text{m} * \left(\frac{b_w}{B}\right) \leq 0,8\text{m}$$

La altura (h) y la altura de la cresta de presa (h_w) deben introducirse en metros. Depende principalmente del grado de contracción $\frac{b_w}{B}$. En la gráfica 10 se representan gráficamente los coeficientes de vertedero para distintas relaciones $\frac{b_w}{B}$. como aclaración.



Gráfica 10. Presa medición rectangular: Coeficientes de vertedero h_w = 1 m
Fuente: Gunt Hamburg.

- Caso excepcional b_w= B

En el caso especial de una presa rectangular sin contracción lateral se aplica:

$$B_w = B \rightarrow \frac{b_w}{B} = 1$$

$$\mu = \left[0,578 + 0,037 * (1)^2 + \frac{3,615 - 3 * (1)^2}{1000 * h + 1,6} \right] * \left[1 + 0,5 * (1)^4 - \left(\frac{h}{h + h_w}\right)^2 \right]$$

$$\mu = \left[0,615 + \frac{0,615}{1000 * h + 1,6} \right] * \left[1 + 0,5 * \left(\frac{h}{h + h_w}\right)^2 \right]$$

$$\mu = 0,0615 \left[1 + \frac{1}{1000 * h + 1,6} \right] * \left[1 + 0,5 * \left(\frac{h}{h + h_w}\right)^2 \right]$$

Presas de medición triangular (Thomson)

En una presa triangular, el borde de vertedero aumenta hacia los lados. Debido a la forma triangular, esta presa presenta una gran exactitud en el área de medición inferior. Este tipo de presa es apto para caudales pequeños. La napa de una presa triangular siempre está aireada.

Ecuación de vertedero

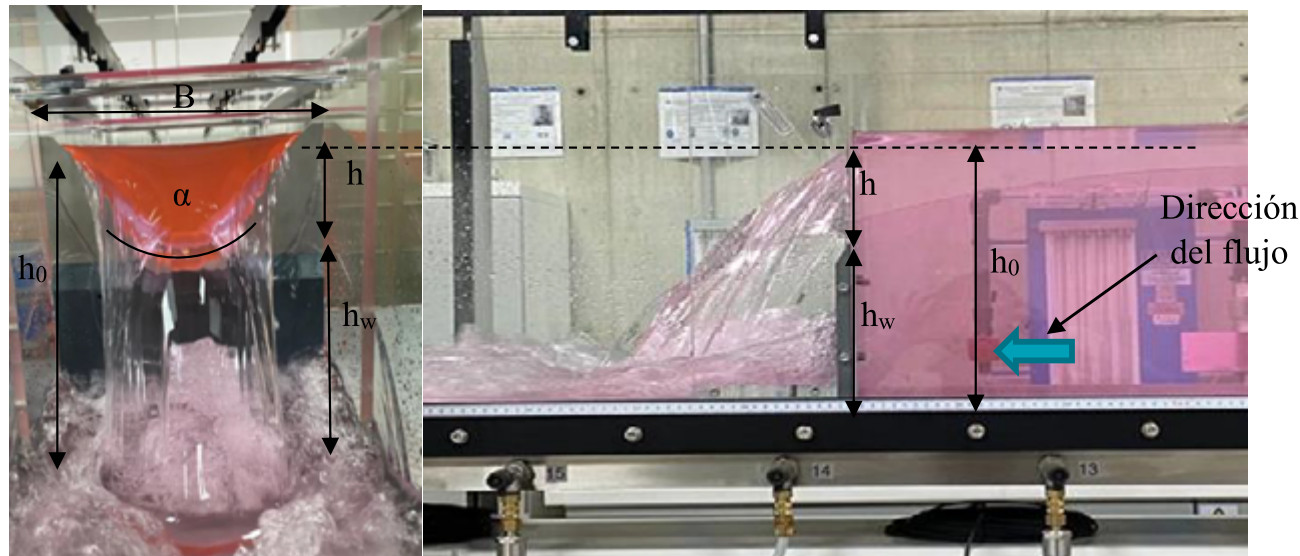


Imagen 68. Presa de medición triangular: nomenclatura.
Fuente: Elaboración propia.

La caída sobre una presa triangular se puede describir con la ecuación siguiente:

$$Q = \frac{8}{15} * \mu * \tan \frac{\alpha}{2} * \sqrt{2 * g} * h^{2,5}$$

$$Q = \frac{8}{15} * \mu * \tan \frac{\alpha}{2} * \sqrt{2 * g} * (h_0 - h_w)^{2,5}$$

- Coeficiente de vertedero

El coeficiente de vertedero μ puede determinarse con la siguiente ecuación empírica:

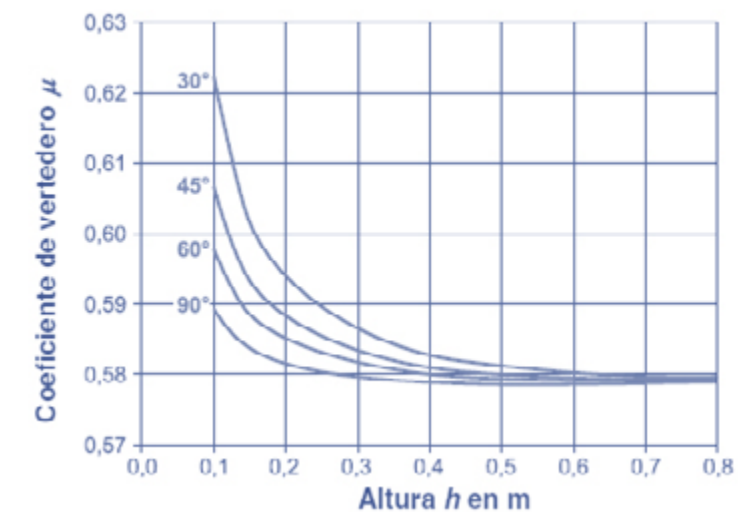
$$\mu = \frac{1}{\sqrt{3}} * \left[1 + \left(\frac{h^2 * \tan \frac{\alpha}{2}}{3 * B * (h + h_w)} \right)^2 \right] * \left[1 + \frac{0,66}{1000 + h^{1,5} * \tan \frac{\alpha}{2}} \right]$$

$$h > 0,05m$$

$$h_w > h$$

$$20^\circ < \alpha < 110^\circ$$

La altura (h) y la altura de la cresta de presa (h_w) deben introducirse en metros. En la gráfica 11 se representan, a modo de ejemplo, los coeficientes de vertedero para una anchura del canal de $B = 2$ m y una altura de la presa de $h_w = 1$ m.



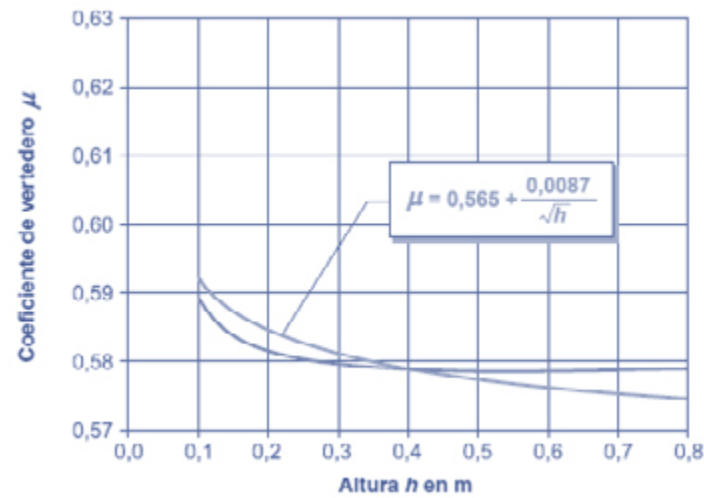
Gráfica 11. Presa medición triangular: coeficientes de vertedero $h_w = 1$ m
Fuente: Gunt Hamburg.

- Caso excepcional $\alpha = 90^\circ$

A menudo se utilizan presas con un ángulo de apertura de 90° . En este caso especial, los coeficientes de vertedero pueden determinarse también con la siguiente ecuación empírica según Strickland:

$$\mu = 0,565 + \frac{0,0087}{\sqrt{h}}$$

La altura (h) se debe introducir con la unidad en metros. La gráfica 12 muestra una comparación de las para calcular el coeficiente de vertedero para un ángulo de $= 90^\circ$.



Gráfica 12. Coeficiente de vertedero según Stickland para $h_w = 1 \text{ m}$ y $\alpha = 90^\circ$
Fuente: Gunt Hamburg.

Presas de medición trapezoidal (Cipolletti)

La presa de medición trapezoidal presenta una combinación de una presa rectangular y una triangular. En comparación con la presa triangular, la presa trapezoidal presenta una exactitud algo menor en el área de medición inferior. Sin embargo, un aspecto positivo es el límite superior mucho más alto del área de medición. La presa trapezoidal combina las ventajas de una presa triangular y las de una presa rectangular. La napa de una presa trapezoidal siempre está aireada.

Ecuación de vertedero

La ecuación de vertedero para una presa de medición según la imagen 11 se obtiene dividiendo el área de la sección transversal trapezoidal en un rectángulo y un triángulo:

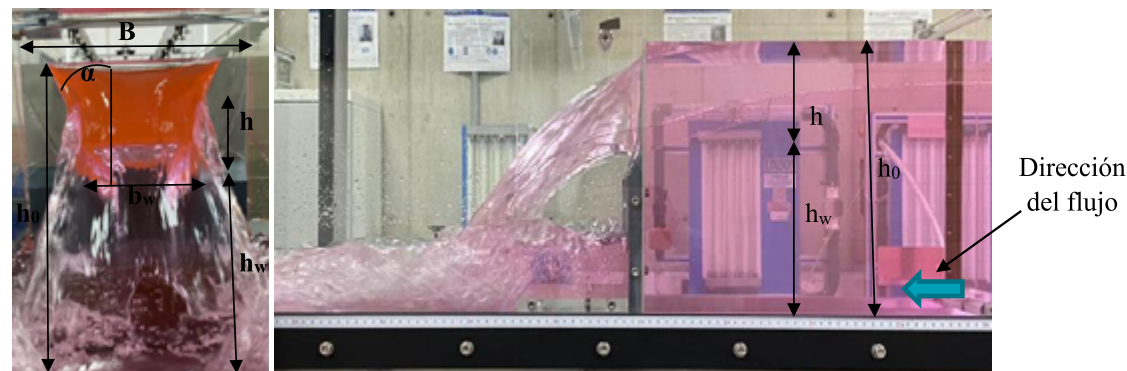


Imagen 69. Presa medición trapezoidal: nomenclatura.
Fuente: Elaboración propia.

La ecuación de vertedero para una presa de medición según la imagen 70 se obtiene dividiendo el área de la sección transversal trapezoidal en un rectángulo y un triángulo:

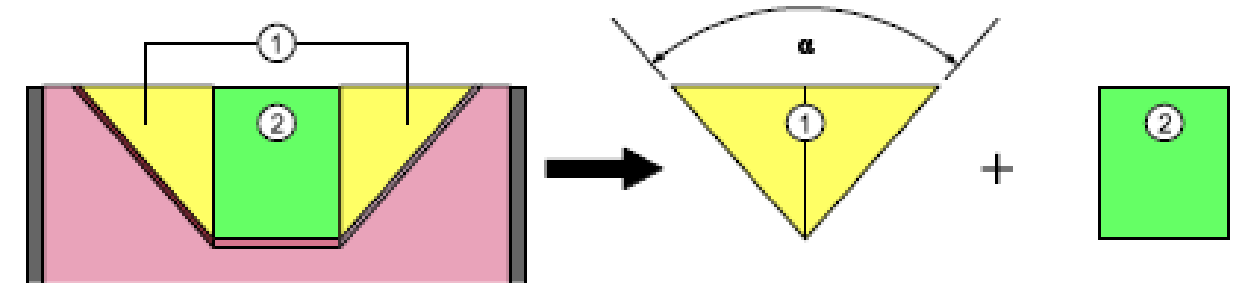


Imagen 70. Presa medición trapezoidal: división del área de la sección transversal.
Fuente: Gunt Hamburg.

Área triangular: $Q_1 = \frac{8}{15} * \mu * \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) * \sqrt{2 * g} * h^{2,5}$

Área rectangular: $Q_2 = \frac{2}{3} * \mu * \sqrt{2 * g} * b_w * h^{1,5}$

Sumando las fórmulas se obtiene finalmente la ecuación de vertedero para una presa de cresta delgada trapezoidal:

$$Q = Q_1 + Q_2$$

$$Q_1 = \frac{2}{3} * \mu * \sqrt{2 * g} * h^{1,5} \left[b_w + \frac{4}{5} * h * \tan\frac{\alpha}{2} \right]$$

- Coeficiente de vertedero

El coeficiente de vertedero μ debe determinarse experimentalmente para cada presa con la anterior fórmula.

5. ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

- Bata blanca
- Guantes de nitrilo
- Gafas de seguridad
- Tapabocas desechable

6. RECURSOS MATERIALES Y EQUIPOS



Imagen 71. Equipo de demostración vertedero de cresta delgada
Fuente: Elaboración propia.



Para la realización de la práctica son necesarios los equipos expuestos en las imágenes 72, 73 y 74.



Imagen 72. Caudalímetro.
Fuente: Elaboración propia.

El equipo de demostración vertedero de cresta delgada consta de los elementos que se pueden apreciar en la imagen 71, para la instalación en el canal de ensayo, donde:

1. Placa de presa para presa rectangular sin contracción
2. Placa de presa para presa rectangular con contracción
3. Placa de presa para presa triangular
4. Placa de presa para presa trapezoidal
5. Cuerpo básico
6. Grifo de bola para abrir y cerrar la tubería de aireación
7. Soportes para fijar las placas de presa (1) a (4)
8. Accesorios de montaje



Imagen 73. Indicador de medición manual.
Fuente: Elaboración propia.



Imagen 74. Indicador de medición digital.
Fuente: Elaboración propia.

7. INSTALACIÓN DEL EQUIPO

1. Asegúrese de que la bomba de agua del canal de ensayo esté apagada.
2. Asegúrese de que no haya agua en el recorrido de medición.
3. Fije la posición de la presa en el recorrido de medición. El tramo entre el comienzo del recorrido de medición y la presa debe ser de 50 cm como mínimo.
4. Retire de esta área 2 soportes de cada pared lateral del recorrido de medición.
5. Humedezca las caras interiores de las paredes laterales de la zona respectiva del recorrido de medición.
6. Humedezca las juntas de goma del cuerpo básico.
7. Coloque el cuerpo básico en el recorrido de medición. Tenga en cuenta la dirección del flujo (flecha). Doble las juntas de goma hacia fuera. Las juntas no se deben girar demasiado y deben apoyarse sobre las paredes de vidrio.
8. Coloque el cuerpo básico de modo que los orificios de los dos listones del zócalo se encuentren exactamente sobre los dos orificios roscados de la base del recorrido de medición.
9. Fije el cuerpo básico con dos tornillos al recorrido de medición.
10. Introduzca la placa de presa deseada en la ranura prevista para ello.

11. Fije la placa de presa con cuatro tornillos al soporte.
12. Vuelva a montar los soportes retirados en el paso 4.
13. Asegúrese de que no se encuentren objetos sueltos (p.ej., tornillos, herramientas, etc.) en el recorrido de medición.

8. PROCEDIMIENTO

Una vez se encuentre instalado el equipo se procede a realizar la práctica como se especifica en la imagen 75:

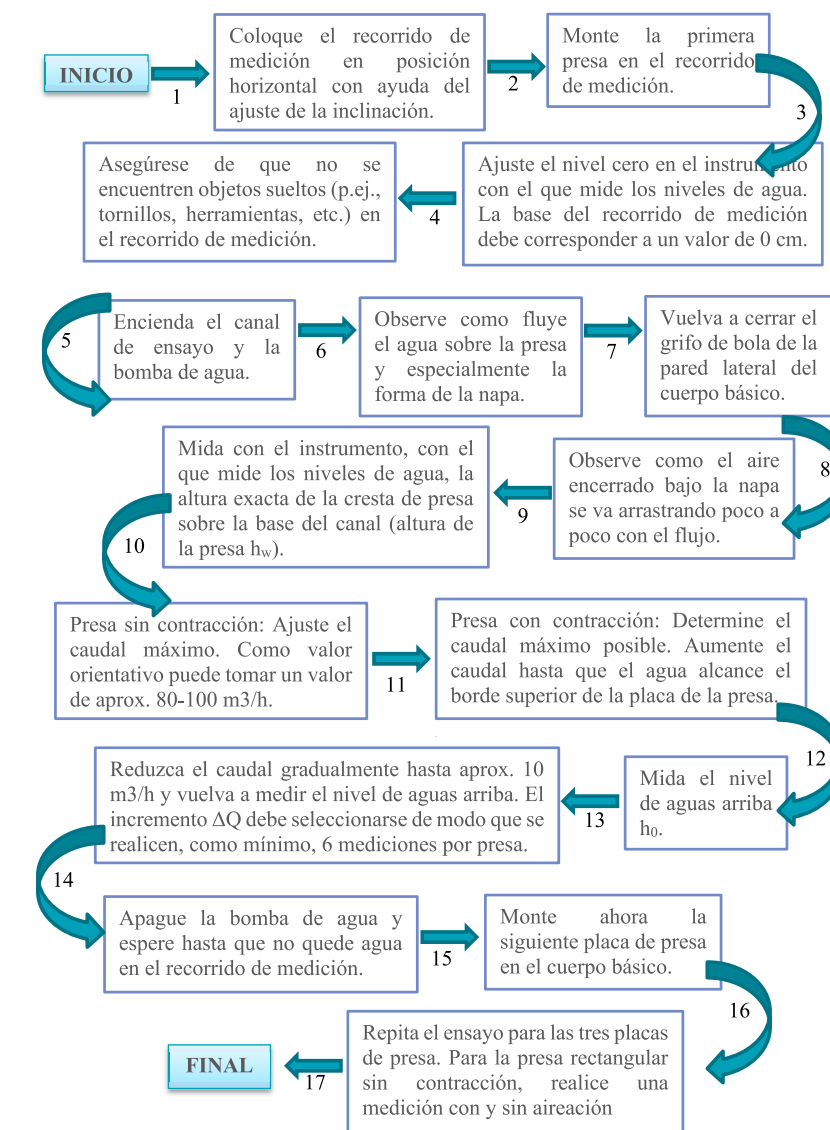


Imagen 75. Procedimiento práctica vertedero de cresta delgada.
Fuente: Elaboración propia.

8.1 Medición de caudal

Medición de caudal en canales abiertos

Al igual que en las tuberías cerradas, en los canales abiertos también es necesario determinar varias veces el caudal. En las plantas depuradoras, el agua fluye, por ejemplo, principalmente en canales abiertos. Para el funcionamiento estable de una planta depuradora, es imprescindible disponer de un amplio conocimiento sobre los caudales en las distintas zonas del equipo.

Para medir el caudal en un canal abierto, se instalan estructuras en el canal. El principio fundamental siempre es el mismo. La estructura forma un remanso de agua en la parte de aguas arriba. Entre la altura del agua embalsada y el caudal suele existir una relación funcional. El nivel de aguas arriba es una medida para calcular el caudal que pasa por el canal.

Las estructuras destinadas a la medición del caudal en canales abiertos se dividen básicamente en dos grupos:

- Estructuras con flujo de paso
- Estructuras en las que el flujo fluye por encima

Estructuras con flujo de paso

Las estructuras con flujo de paso reducen la anchura del canal y provocan un remanso de las aguas arriba. La ventaja de este método es que incluso las materias sólidas voluminosas como, p.ej., ramas, pueden atravesar la estructura. Una estructura muy común con flujo de paso es el canal de venturi.

Estructuras en las que el flujo fluye por encima (presas)

Las estructuras en las que el flujo fluye por encima (presas) reducen, sin embargo, la altura de la sección transversal del flujo disponible. Como estas estructuras alcanzan hasta la base del canal, es necesario que el agua fluya a través de la estructura. Un inconveniente, sin embargo, es que las materias sólidas voluminosas como, p.ej., ramas, no pueden atravesar la estructura. Las presas son, por tanto, más costosas de mantener que una estructura con flujo de paso.

Medición de niveles de agua

- Instrumentos de medición

Para los ensayos se requiere un instrumento apropiado para la medición de niveles de agua. La precisión del instrumento debería ser de 1 mm. En este caso, recomendamos nuestro indicador del nivel de agua. Este equipo tiene unas instrucciones de uso separadas.

- Nivel de aguas arriba

El nivel de agua se reduce antes de la presa. La longitud de esta área aumenta con la altura h creciente. Los niveles de aguas arriba deben medirse con distancia suficiente de la presa. La distancia L_0 debe ser como mínimo el triple de la altura (h). Los niveles de agua deberían relacionarse siempre con la base del recorrido de medición.

9. CUESTIONARIO

1. Observe y analice la aireación en la napa con la presa.
2. Determine las alturas correspondientes h para todos los niveles de aguas arriba medidos h_0 según la siguiente ecuación:

$$h = h_0 - h_w$$

Donde,

h = Altura

h_w = Altura de la presa

h_0 = Nivel de aguas arriba

3. Calcule ahora el coeficiente de vertedero para cada altura. Utilice para ello las siguientes ecuaciones de vertedero:

- Presa triangular
- Presa trapezoidal
- Presas rectangulares

Resuelva las ecuaciones de vertedero con el coeficiente de vertedero μ .

XIII. PRÁCTICA “JUEGO DE VERTEDEROS DE CRESTA DELGADA, CUATRO TIPOS (DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE UNA NAPA LIBRE)”

A continuación se presentan los códigos QR para acceder al video ilustrativo de la práctica a trabajar.



SEMILLERO MSMRHA



SANTOTO TUNJA

1. OBJETIVO GENERAL

Determinar experimentalmente la forma de una napa libre y comparar con la forma calculada teóricamente.

1.2 Objetivos específicos

- Determinar experimentalmente los coeficientes de vertedero de distintas presas.
- Evidenciar la influencia de la forma de la presa en el rango de medición
- Evidenciar la aireación en la forma de la napa.

2. COMPETENCIA

Con la demostración de los elementos del juego de vertederos de cresta delgada, cuatro tipos se busca desarrollar la capacidad de llevar a cabo una experimentación adecuada, analizar e interpretar los datos obtenidos, y usar criterios de la ingeniería civil para sacar conclusiones y tomar decisiones.

3. RESULTADO DE APRENDIZAJE

Demostrar el dominio del tema, comprendiendo correctamente el funcionamiento de los equipos, analizando los datos obtenidos y estableciendo conclusiones que le permitan evaluar sus conocimientos.

4. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Tipos de flujo

En la hidráulica de canales se diferencia entre dos tipos de flujo: subcrítico y supercrítico; En el flujo subcrítico el nivel de agua es más alto y el agua fluye a una velocidad más baja. Por el contrario, en el flujo supercrítico el nivel de agua es más bajo y la velocidad del flujo mayor. Se produce una transición de flujo cuando el flujo pasa de un tipo de flujo a otro. El límite entre los dos tipos de flujo está definido por la profundidad crítica.

- Subcrítico → Supercrítico

Cuando en un canal abierto aumenta la velocidad del flujo, el nivel de agua disminuye. Cuando el nivel de agua queda por debajo de la profundidad crítica, se produce una transición de flujo de subcrítico a supercrítico. Esta transición de flujo se produce de forma continua.

- Supercrítico → Subcrítico

Si la velocidad del flujo se reduce en un canal abierto, el nivel de agua aumenta. Cuando se supera la profundidad crítica, se produce una transición de flujo de supercrítico a subcrítico. Esta transición de flujo es brusca y se denomina resalto hidráulico.

Un resalto hidráulico actúa como una barrera. Las estructuras que se encuentran detrás del resalto hidráulico en la dirección del flujo no influyen en el área del resalto hidráulico, como se muestra en la imagen 76.

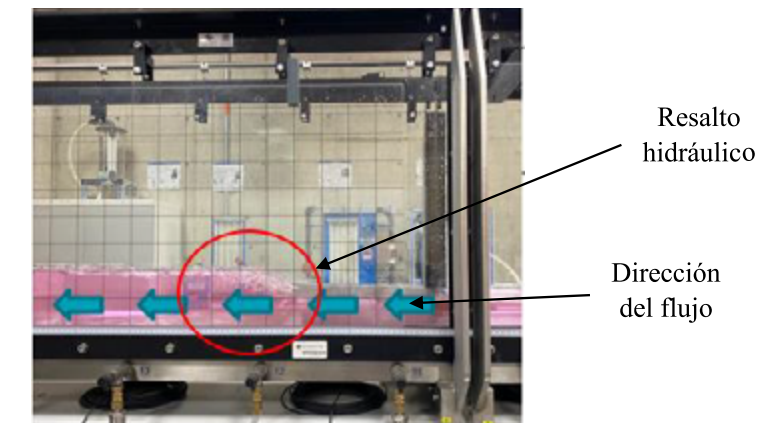


Imagen 76. Resalto hidráulico.
Fuente: Elaboración propia.

Condiciones de caída

- Caída libre

Detrás de la presa el nivel de agua es tan profundo que no influye en la descarga sobre la presa. En la cresta de presa se produce una transición de flujo de subcrítico a supercrítico. Los niveles de aguas arriba y aguas abajo de la presa no son interdependientes, como se muestra en la imagen 77.

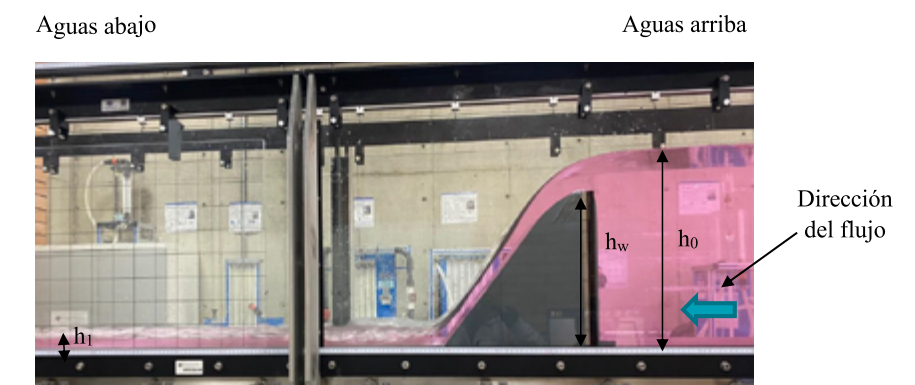


Imagen 77. Caída libre.
Fuente: Elaboración propia.

- Chorro sumergible

El nivel de aguas abajo (h_1) influye en el nivel de aguas arriba (h_0). El nivel de aguas abajo (h_1) suele ser más alto que la altura (h_w) de la presa. No se produce ninguna transición de flujo. La presa actúa como presa sumergible, como se observa en la imagen 78.

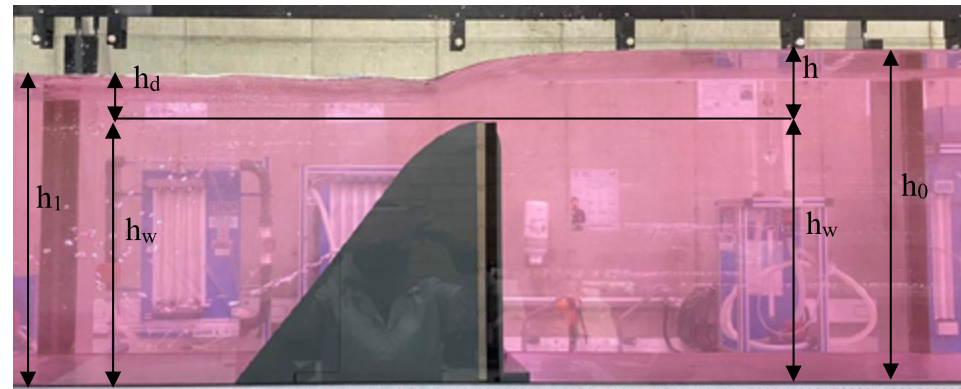


Imagen 78. Chorro sumergible.
Fuente: Elaboración propia.

Ecuación de vertedero

Una ecuación de vertedero es la relación funcional entre la altura h y la descarga sobre la presa Q . Las ecuaciones de vertedero dependen del tipo de construcción de la presa. Todas las ecuaciones de vertedero corresponden a la forma general:

$$Q = [...] * \sqrt{2 * g} * \mu * h^n \quad n > 1$$

Las ecuaciones de vertedero corresponden formalmente a una función potencial. La expresión [...] varía según la forma de la presa.

Ecuación de Poleni

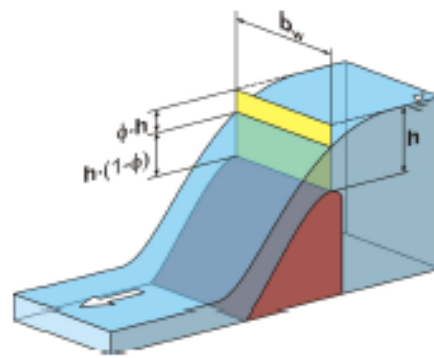


Imagen 79. Presa de cresta Ogee.
Fuente: Gunt Hamburg.

La caída libre sobre una presa rectangular sin contracción lateral se puede describir de forma simplificada mediante la ecuación de Poleni:

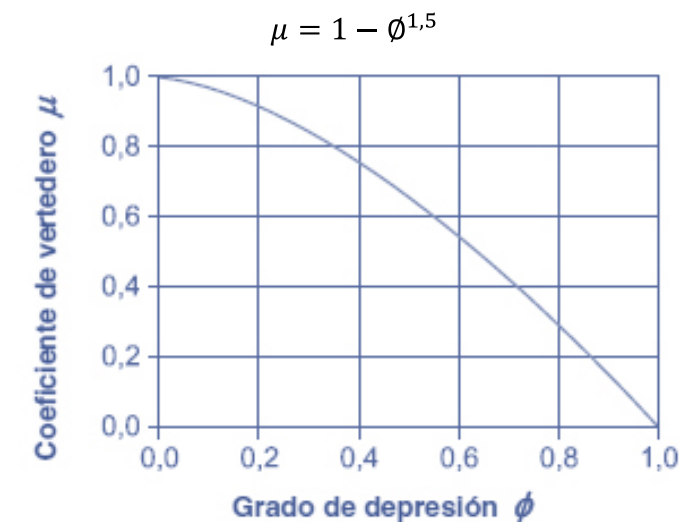
$$Q = \frac{2}{3} * b_w * \sqrt{2 * g} * (1 - \phi) * h^{1,5}$$

El parámetro ϕ es una medida de la reducción del nivel del agua sobre la cresta de presa en la imagen 79. El término $(1 - \phi^{1,5})$ se denomina coeficiente de vertedero μ , de modo que también se puede escribir:

$$Q = \frac{2}{3} * b_w * \sqrt{2 * g} * \mu * h^{1,5}$$

Coefficiente de vertedero

El coeficiente de vertedero es una medida de la influencia de la presa en la descarga. Esto se observa en la depresión del nivel del agua sobre la cresta de presa. Con base a la ecuación de Poleni, entre el coeficiente de vertedero μ y el grado de depresión ϕ se aplica la siguiente relación:



Gráfica 13. Coeficiente de vertedero.
Fuente: Gunt Hamburg.

Esta relación se representa gráficamente en la gráfica 13. Se observa que el coeficiente de vertedero se reduce con la depresión creciente del nivel del agua. Con la altura h indicada, la descarga Q aumenta linealmente sobre la presa con el coeficiente de vertedero. La descarga sobre una presa es mayor, cuanto menor sea la influencia de la presa.

El coeficiente de vertedero depende fundamentalmente de la geometría de la presa. En la imagen 80 se indican valores orientativos para algunas formas de presa.

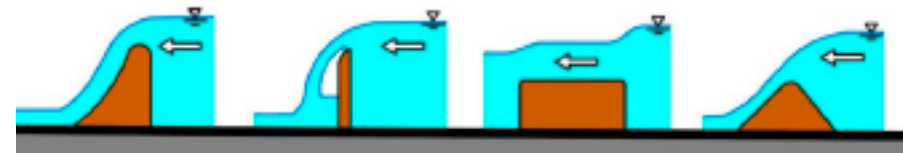


Imagen 80. Coeficiente de vertedero: Valores orientativos.
Fuente: Elaboración propia.

Presas de cresta delgada

Para la medición de caudal se utilizan principalmente, presas de cresta delgada. Una presa de cresta delgada consta de una placa vertical con un flujo incidente vertical. Una característica esencial de las presas de cresta delgada es el borde de vertedero extremadamente estrecho. La anchura del borde de vertedero es aprox. 1...2 mm, como se muestra en la imagen 81.

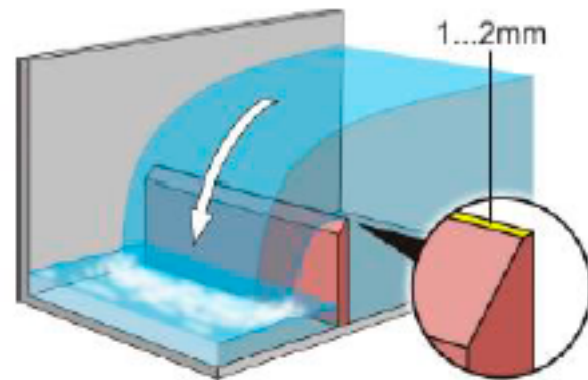


Imagen 81. Presa de cresta delgada.
Fuente: Gunt Hamburg.

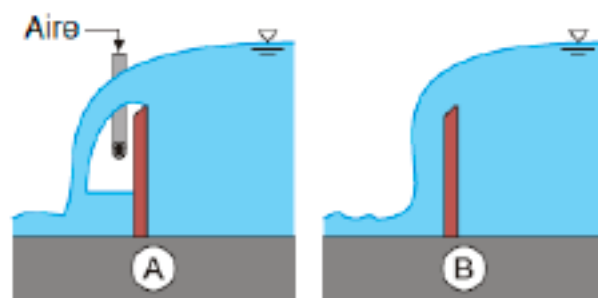


Imagen 82. Napa libre (A), napa adyacente (B).
Fuente: Gunt Hamburg.

- Napa

Si existe una conexión entre el área detrás de la presa y el entorno, la presa se airea. Debajo de la napa se forma un colchón de aire con presión ambiente. En este caso, la napa se despegue del dorso de la presa (napa libre), como se observa en la imagen 82. La posibilidad más sencilla de aireación de una presa es una contracción lateral. Sin contracción, debe instalarse una instalación de aireación separada. Sin aireación, la napa es adyacente al dorso de la presa, como se muestra en la imagen 83.

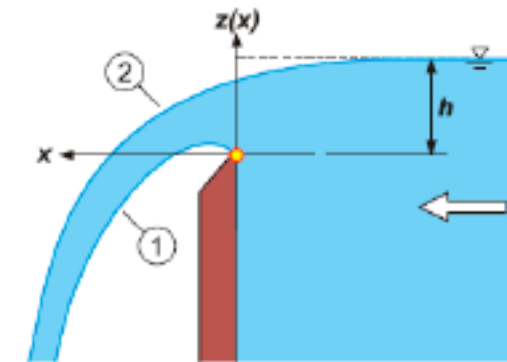


Imagen 83. Sistema de coordenadas.
Fuente: Gunt Hamburg.

PRESA DE MEDICIÓN RECTANGULAR (REHBOCK)

En una presa rectangular, el borde de vertedero tiene forma horizontal. Este tipo de presa es apto para grandes caudales. A alturas escasas, esta presa ofrece, sin embargo, una escasa exactitud de medición. Las presas rectangulares pueden estar diseñadas con o sin contracción lateral.

Ecuación de vertedero

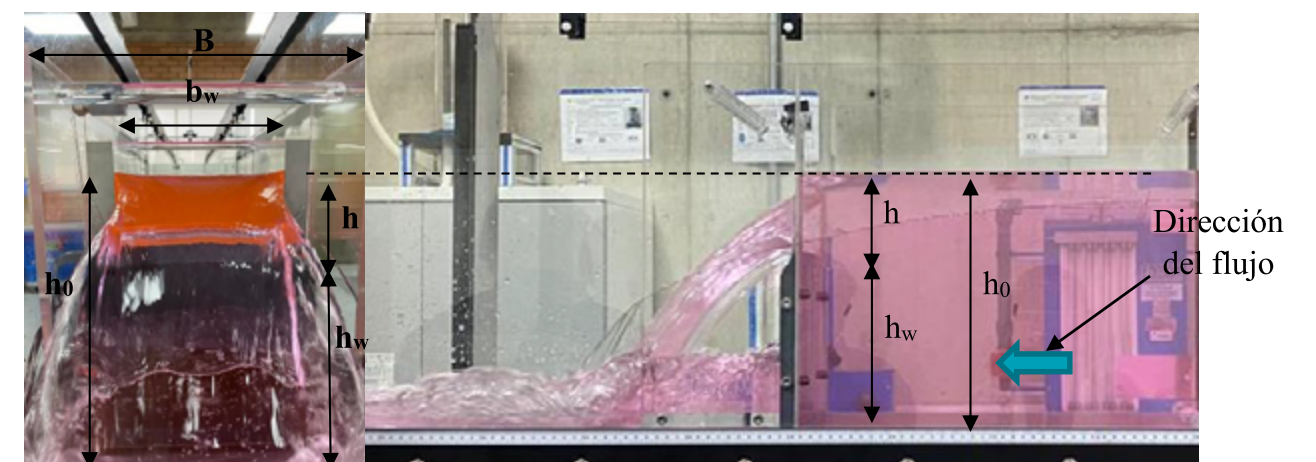


Imagen 84. Presa de medición rectangular: nomenclatura.
Fuente: Elaboración Propia.

La caída sobre una presa rectangular, aireada, se puede describir con la ecuación de Poleni:

$$Q = \frac{2}{3} * \mu * \sqrt{2 * g} * b_w * h^{1,5}$$

$$Q = \frac{2}{3} * \mu * \sqrt{2 * g} * b_w * (h_0 - h_w)^{1,5}$$

Coefficiente de vertedero

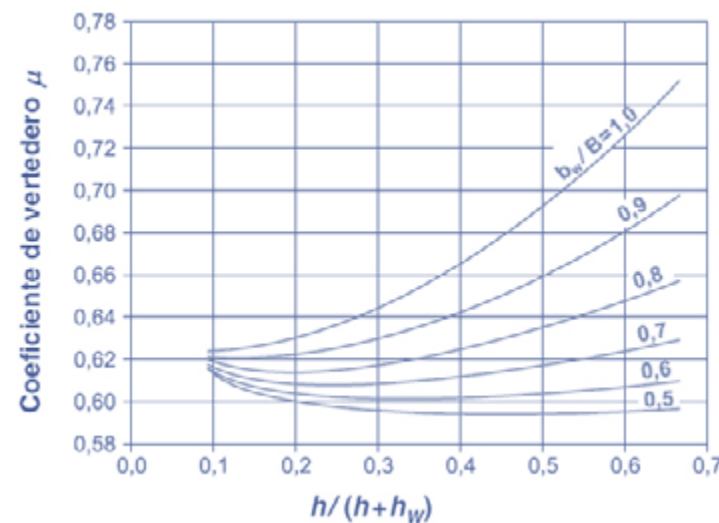
El coeficiente de vertedero puede determinarse con la siguiente ecuación empírica:

$$\mu = \left[0,578 + 0,037 * \left(\frac{b_w}{B}\right)^2 + \frac{3,615 - 3 * \left(\frac{b_w}{B}\right)^2}{1000 * h + 1,6} \right] * \left[1 + 0,5 * \left(\frac{b_w}{B}\right)^4 - \left(\frac{h}{h + h_w}\right)^2 \right]$$

$$h_w \geq 0,3 \text{ m}$$

$$0,025\text{m} * \left(\frac{b_w}{B}\right) \leq 0,8\text{m}$$

La altura (h) y la altura de la cresta de presa (h_w) deben introducirse en metros. Depende principalmente del grado de contracción $\frac{b_w}{B}$. En la gráfica 14 se representan gráficamente los coeficientes de vertedero para distintas relaciones $\frac{b_w}{B}$. como aclaración.



Gráfica 14. Presa medición rectangular: Coeficientes de vertedero hw = 1 m
Fuente: Gunt Hamburg.

- Caso excepcional b_w= B

En el caso especial de una presa rectangular sin contracción lateral se aplica:

$$B_w = B \rightarrow \frac{b_w}{B} = 1$$

$$\mu = \left[0,578 + 0,037 * (1)^2 + \frac{3,615 - 3 * (1)^2}{1000 * h + 1,6} \right] * \left[1 + 0,5 * (1)^4 - \left(\frac{h}{h + h_w}\right)^2 \right]$$

$$\mu = \left[0,615 + \frac{0,615}{1000 * h + 1,6} \right] * \left[1 + 0,5 * \left(\frac{h}{h + h_w}\right)^2 \right]$$

$$\mu = 0,0615 \left[1 + \frac{1}{1000 * h + 1,6} \right] * \left[1 + 0,5 * \left(\frac{h}{h + h_w}\right)^2 \right]$$

Presa de medición triangular (Thomson)

En una presa triangular, el borde de vertedero aumenta hacia los lados. Debido a la forma triangular, esta presa presenta una gran exactitud en el área de medición inferior. Este tipo de presa es apto para caudales pequeños. La napa de una presa triangular siempre está aireada.

Ecuación de vertedero

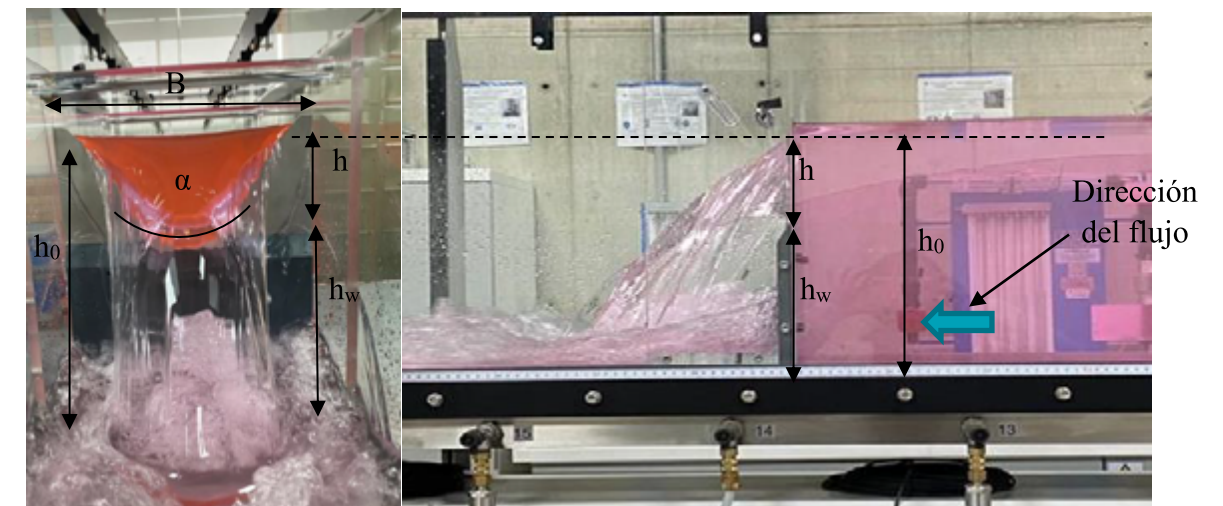


Imagen 85. Presa de medición triangular: nomenclatura.
Fuente: Elaboración propia.

La caída sobre una presa triangular se puede describir con la ecuación siguiente:

$$Q = \frac{8}{15} * \mu * \tan \frac{\alpha}{2} * \sqrt{2 * g} * h^{2,5}$$

$$Q = \frac{8}{15} * \mu * \tan \frac{\alpha}{2} * \sqrt{2 * g} * (h_0 - h_w)^{2,5}$$

- Coeficiente de vertedero

El coeficiente de vertedero μ puede determinarse con la siguiente ecuación empírica:

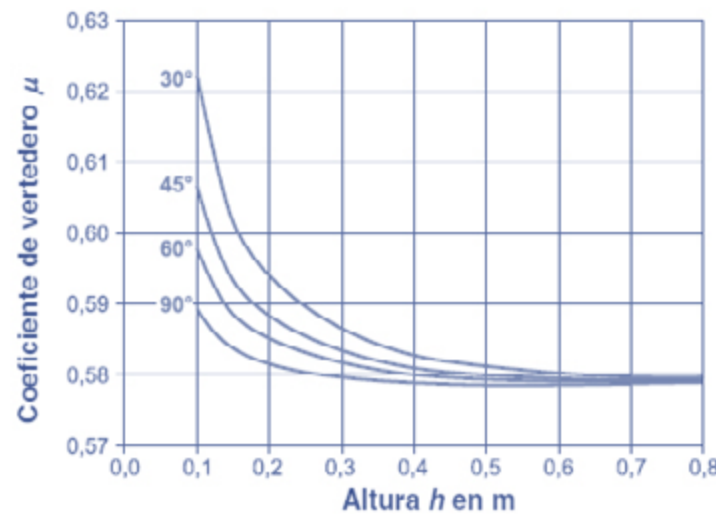
$$\mu = \frac{1}{\sqrt{3}} * \left[1 + \left(\frac{h^2 * \tan \frac{\alpha}{2}}{3 * B * (h + h_w)} \right)^2 \right] * \left[1 + \frac{0,66}{1000 + h^{1,5} * \tan \frac{\alpha}{2}} \right]$$

$$h > 0,05m$$

$$h_w > h$$

$$20^\circ < \alpha < 110^\circ$$

La altura (h) y la altura de la cresta de presa (h_w) deben introducirse en metros. En la gráfica 15 se representan, a modo de ejemplo, los coeficientes de vertedero para una anchura del canal de B = 2 m y una altura de la presa de $h_w = 1$ m.



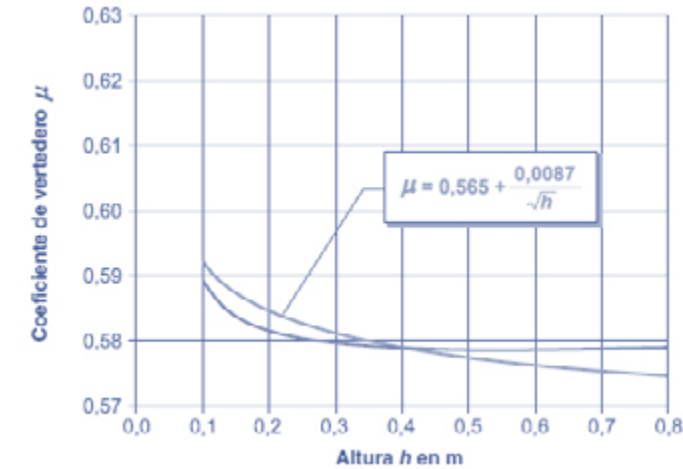
Gráfica 15. Presa medición triangular: coeficientes de vertedero $h_w = 1$ m
Fuente: Gunt Hamburg.

- Caso excepcional $\alpha = 90^\circ$

A menudo se utilizan presas con un ángulo de abertura de 90° . En este caso especial, los coeficientes de vertedero pueden determinarse también con la siguiente ecuación empírica según Strickland:

$$\mu = 0,565 + \frac{0,0087}{\sqrt{h}}$$

La altura (h) se debe introducir con la unidad en metros. La gráfica 16 muestra una comparación de las para calcular el coeficiente de vertedero para un ángulo de $= 90^\circ$.



Gráfica 16. Coeficiente de vertedero según Strickland para $h_w = 1$ m y $\alpha = 90^\circ$
Fuente: Gunt Hamburg.

Presa de medición trapezoidal (Cipolletti)

La presa de medición trapezoidal presenta una combinación de una presa rectangular y una triangular. En comparación con la presa triangular, la presa trapezoidal presenta una exactitud algo menor en el área de medición inferior. Sin embargo, un aspecto positivo es el límite superior mucho más alto del área de medición. La presa trapezoidal combina las ventajas de una presa triangular y las de una presa rectangular. La napa de una presa trapezoidal siempre está aireada.

Ecuación de vertedero

La ecuación de vertedero para una presa de medición según la imagen 86 se obtiene dividiendo el área de la sección transversal trapezoidal en un rectángulo y un triángulo:

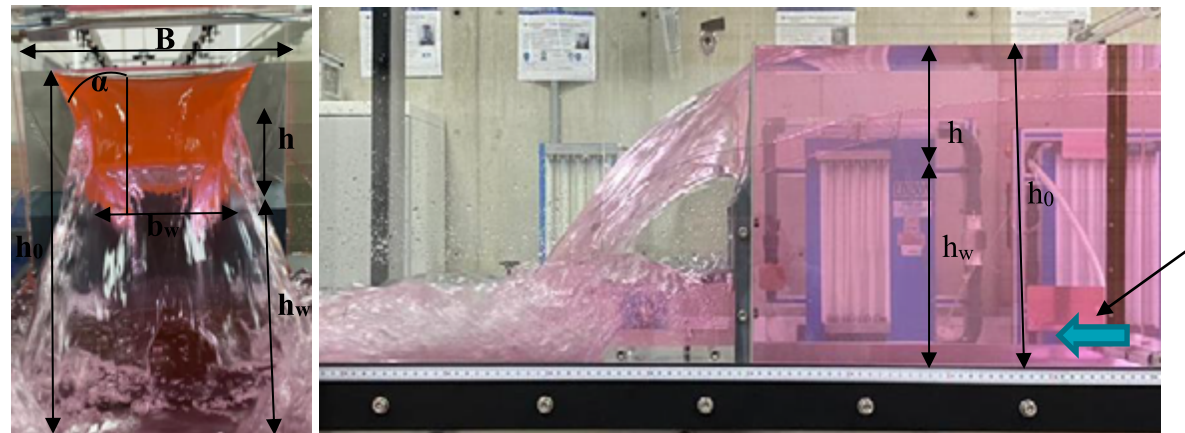


Imagen 86. Presa medición trapezoidal: nomenclatura.
Fuente: Elaboración propia.

La ecuación de vertedero para una presa de medición según la imagen 87 se obtiene dividiendo el área de la sección transversal trapezoidal en un rectángulo y un triángulo:

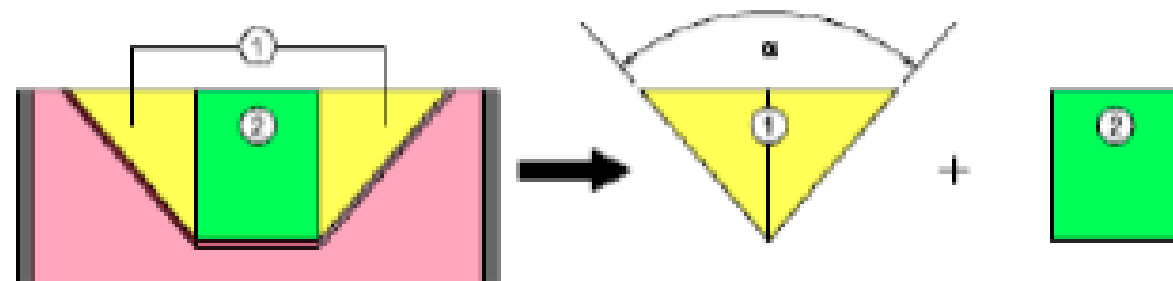


Imagen 87. Presa medición trapezoidal: división del área de la sección transversal.
Fuente: Gunt Hamburg.

$$\text{Área triangular: } Q_1 = \frac{8}{15} * \mu * \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) * \sqrt{2 * g} * h^{2,5}$$

$$\text{Área rectangular: } Q_2 = \frac{2}{3} * \mu * \sqrt{2 * g} * b_w * h^{1,5}$$

Sumando las fórmulas se obtiene finalmente la ecuación de vertedero para una presa de cresta delgada trapezoidal:

$$Q = Q_1 + Q_2$$

$$Q_1 = \frac{2}{3} * \mu * \sqrt{2 * g} * h^{1,5} \left[b_w + \frac{4}{5} * h * \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) \right]$$

- Coeficiente de vertedero

El coeficiente de vertedero μ debe determinarse experimentalmente para cada presa con la anterior fórmula.

5. ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

- Bata blanca
- Guantes de nitrilo
- Gafas de seguridad
- Tapabocas desechable

6. RECURSOS MATERIALES Y EQUIPOS

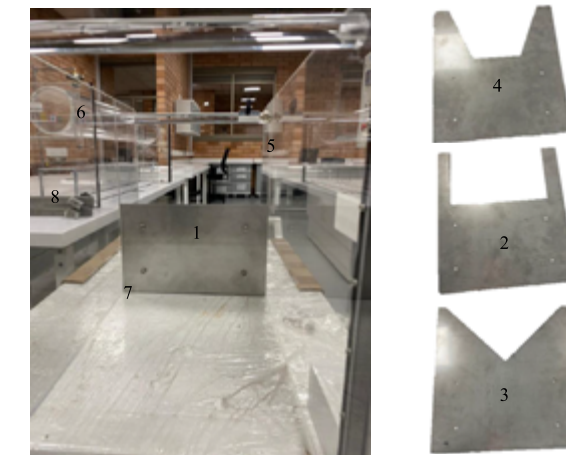


Imagen 88. Equipo de demostración vertedero de cresta delgada
Fuente: Elaboración propia.

El equipo de demostración vertedero de cresta delgada consta de los elementos que se pueden apreciar en la imagen 88, para la instalación en el canal de ensayo, donde:

1. Placa de presa para presa rectangular sin contracción
2. Placa de presa para presa rectangular con contracción
3. Placa de presa para presa triangular
4. Placa de presa para presa trapezoidal
5. Cuerpo básico
6. Grifo de bola para abrir y cerrar la tubería de aireación
7. Soportes para fijar las placas de presa (1) a (4)
8. Accesorios de montaje.

Para la realización de la práctica son necesarios los equipos expuestos en las imágenes 89, 90 y 91.



Imagen 89. Caudalímetro.
Fuente: Elaboración propia.



Imagen 90. Indicador de medición manual.
Fuente: Elaboración propia.



Imagen 91. Indicador de medición digital.
Fuente: Elaboración propia.

7. INSTALACIÓN DEL EQUIPO

1. Asegúrese de que la bomba de agua del canal de ensayo esté apagada.
2. Asegúrese de que no haya agua en el recorrido de medición.
3. Fije la posición de la presa en el recorrido de medición. El tramo entre el comienzo del recorrido de medición y la presa debe ser de 50cm como mínimo.
4. Retire de esta área 2 soportes de cada pared lateral del recorrido de medición.
5. Humedezca las caras interiores de las paredes laterales de la zona respectiva del recorrido de medición.
6. Humedezca las juntas de goma del cuerpo básico.
7. Coloque el cuerpo básico en el recorrido de medición. Tenga en cuenta la dirección del flujo (flecha). Doble las juntas de goma hacia fuera. Las juntas no se deben girar demasiado y deben apoyarse sobre las paredes de vidrio.
8. Coloque el cuerpo básico de modo que los orificios de los dos listones del zócalo se encuentren exactamente sobre los dos orificios roscados de la base del recorrido de medición.
9. Fije el cuerpo básico con dos tornillos al recorrido de medición.
10. Introduzca la placa de presa deseada en la ranura prevista para ello.

11. Fije la placa de presa con cuatro tornillos al soporte.
12. Vuelva a montar los soportes retirados en el paso 4.
13. Asegúrese de que no se encuentren objetos sueltos (p.ej., tornillos, herramientas, etc.) en el recorrido de medición.

8. PROCEDIMIENTO

Una vez se encuentre instalado el equipo se procede a realizar la práctica como se especifica en la imagen 92:

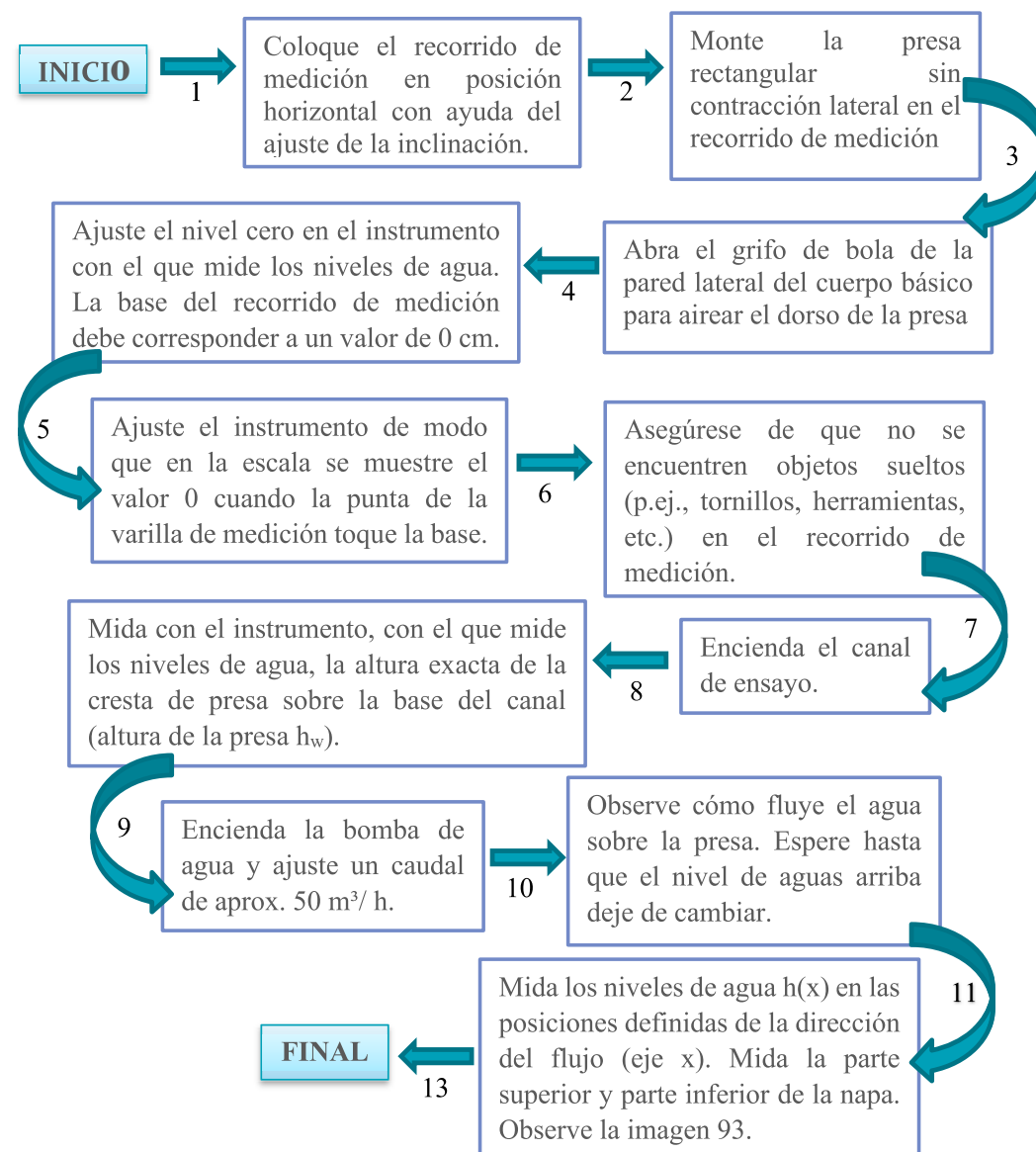


Imagen 92. Procedimiento práctica demostración vertedero de cresta delgada.
Fuente: Elaboración propia.

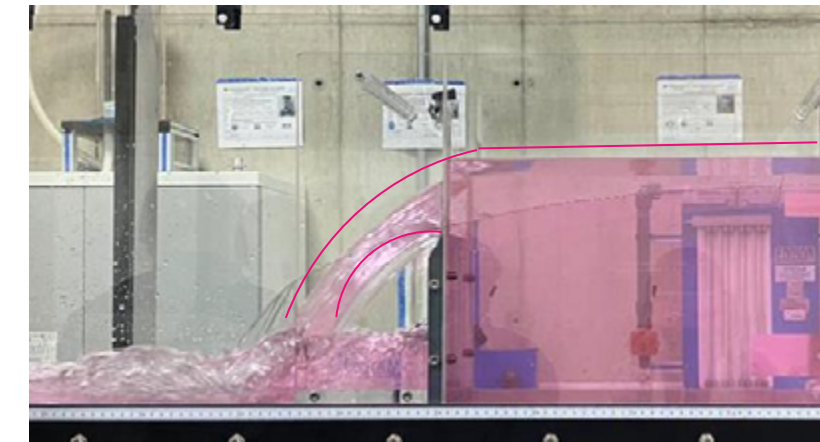


Imagen 93. Niveles de agua $h(x)$ en las posiciones definidas de la dirección del flujo (eje x).
Fuente: Elaboración propia.

8.1 Medición de caudal

Medición de caudal en canales abiertos

Al igual que en las tuberías cerradas, en los canales abiertos también es necesario determinar varias veces el caudal. En las plantas depuradoras, el agua fluye, por ejemplo, principalmente en canales abiertos. Para el funcionamiento estable de una planta depuradora, es imprescindible disponer de un amplio conocimiento sobre los caudales en las distintas zonas del equipo.

Para medir el caudal en un canal abierto, se instalan estructuras en el canal. El principio fundamental siempre es el mismo. La estructura forma un remanso de agua en la parte de aguas arriba. Entre la altura del agua embalsada y el caudal suele existir una relación funcional. El nivel de aguas arriba es una medida para calcular el caudal que pasa por el canal.

Las estructuras destinadas a la medición del caudal en canales abiertos se dividen básicamente en dos grupos:

- Estructuras con flujo de paso
- Estructuras en las que el flujo fluye por encima

Estructuras con flujo de paso

Las estructuras con flujo de paso reducen la anchura del canal y provocan un remanso de las aguas arriba. La ventaja de este método es que incluso las materias sólidas voluminosas como, p.ej., ramas, pueden atravesar la estructura. Una estructura muy común con flujo de paso es el canal de venturi.

Estructuras en las que el flujo fluye por encima (presas)

Las estructuras en las que el flujo fluye por encima (presas) reducen, sin embargo, la altura de la sección transversal del flujo disponible. Como estas estructuras alcanzan hasta la base del canal, es necesario que el agua fluya a través de la estructura. Un inconveniente, sin embargo, es que las materias sólidas voluminosas como, p.ej., ramas, no pueden atravesar la estructura. Las presas son, por tanto, más costosas de mantener que una estructura con flujo de paso.

Medición de niveles de agua

- Instrumentos de medición

Para los ensayos se requiere un instrumento apropiado para la medición de niveles de agua. La precisión del instrumento debería ser de 1 mm. En este caso, recomendamos nuestro indicador del nivel de agua. Este equipo tiene unas instrucciones de uso separadas.

- Nivel de aguas arriba

El nivel de agua se reduce antes de la presa. La longitud de esta área aumenta con la altura h creciente. Los niveles de aguas arriba deben medirse con distancia suficiente de la presa. La distancia L0 debe ser como mínimo el triple de la altura h. Los niveles de agua deberían relacionarse siempre con la base del recorrido de medición.

9. CUESTIONARIO

1. Determine la altura (h) de acuerdo con la ecuación siguiente:

$$h = h_0 + h_w$$

Donde,

h =Altura

h_w = Altura de la presa

h₀ =Nivel de aguas arriba

2. Calcule primero la forma teórica de la napa.

$$x = \frac{x}{h} * h$$

$$z(x) = \frac{z}{h} * h$$

3. Sume la altura de la presa h_w a los valores calculados previamente para la coordenada z. Esto corresponde a un desplazamiento del eje z.

$$h(x) = z(x) + h_w$$

4. Cree un diagrama que represente la forma medida y calculada de la napa.
5. Evalúe si la forma calculada teóricamente corresponde aproximadamente a la forma medida de la napa.

10. FORMATO DE TOMA DE DATOS

Tabla 31. Tabla toma de datos práctica para demostración cresta delgada.

Parte inferior			
X	h(x)	X	h(x)
[cm]	[cm]	[cm]	[cm]

Parte superior			
X	h(x)	X	h(x)
[cm]	[cm]	[cm]	[cm]

XIV. PRÁCTICA “VERTEDERO DE CRESTA ANCHA (CAÍDA LIBRE, CHORRO SUMERGIBLE Y NAPA)”

A continuación se presentan los códigos QR para acceder al video ilustrativo de la práctica a trabajar.



SEMILLERO MSMRHA



SANTOTO TUNJA

1. OBJETIVO GENERAL

Demostrar las distintas condiciones de la caída en la presa. Se aclara la diferencia entre caída libre (presa de rebose) y chorro sumergible (presa sumergible). Evidenciar los efectos de distintos bordes de la presa en la napa detrás de la presa.

1.1 Objetivos específicos

- Demostrar la caída libre y chorro sumergible.
- Comparar el flujo en presas de cresta ancha con bordes redondeados.
- Calcular la descarga con caída libre y chorro sumergible.

2. COMPETENCIA

Con la práctica del vertedero de cresta ancha se busca desarrollar la capacidad de llevar a cabo una experimentación adecuada, analizar e interpretar los datos obtenidos, y usar criterios de la ingeniería civil para sacar conclusiones y tomar decisiones.

3. RESULTADO DE APRENDIZAJE

Demostrar el dominio del tema, comprendiendo correctamente el funcionamiento de los equipos, analizando los datos obtenidos y estableciendo conclusiones que le permitan evaluar sus conocimientos.

4. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Caída sobre presas

Las presas son un tipo de estructura de control. Se trata de elementos instalados en canales abiertos, que cumplen una o varias de las siguientes funciones:

- Elevación del nivel de agua, p.ej., para obtener una profundidad navegable suficiente o como protección de la erosión por escasas velocidades del flujo.
- Generación de un salto en el terreno para aprovechar el salto natural y generar energía mediante energía hidráulica.
- Regulación de la descarga y protección contra inundaciones, p.ej., los embalses compensan las oscilaciones estacionales del nivel del agua.
- Medición de la descarga. Las estructuras de control se diferencian en: estructuras por las que el flujo fluye por encima (presas) y estructuras por las que el flujo fluye por debajo (compuertas), o estructuras fijas y móviles.

Tipos de flujo

En la hidráulica de canales se diferencia entre dos tipos de flujo: subcrítico y supercrítico. En el flujo subcrítico el nivel de agua es más alto y el agua fluye a una velocidad más baja. Por lo contrario, en el flujo supercrítico el nivel de agua es más bajo y la velocidad del flujo mayor. Se produce una transición de flujo cuando el flujo pasa de un tipo de flujo a otro. El límite entre los dos tipos de flujo está definido por la profundidad crítica.

- Subcrítico → Supercrítico

Cuando en un canal abierto aumenta la velocidad del flujo, el nivel de agua disminuye. Cuando el nivel de agua queda por debajo de la profundidad crítica, se produce una transición de flujo de subcrítico a supercrítico. Esta transición de flujo se produce de forma continua.

- Supercrítico → Subcrítico

Si la velocidad del flujo se reduce en un canal abierto, el nivel de agua aumenta. Cuando se supera la profundidad crítica, se produce una transición de flujo de supercrítico a subcrítico. Esta transición de flujo es brusca y se denomina resalto hidráulico.

Un resalto hidráulico actúa como una barrera. Las estructuras que se encuentran detrás del resalto hidráulico en la dirección del flujo no influyen en el área del resalto hidráulico, como se muestra en la imagen 94.

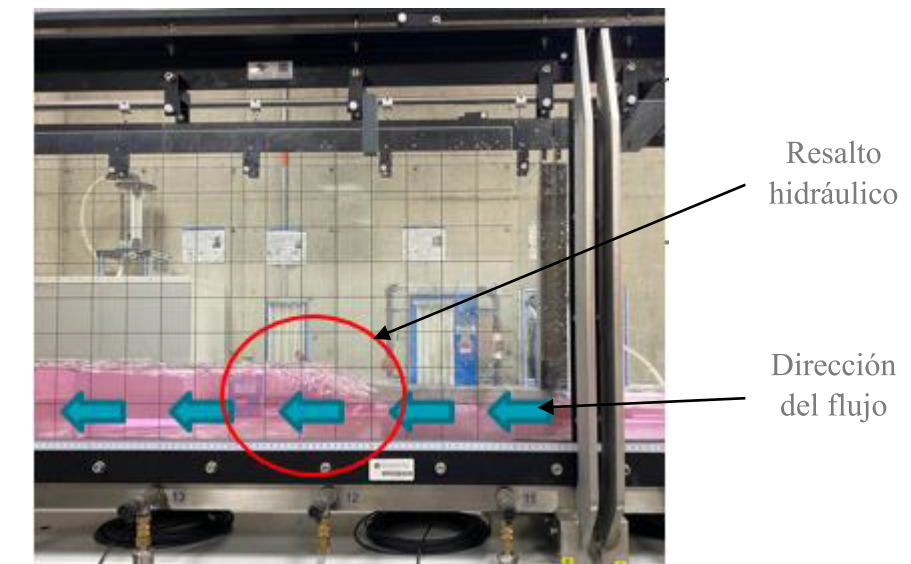


Imagen 94. Resalto hidráulico.
Fuente: Elaboración propia.

Condiciones de caída

En todas las presas pueden producirse dos condiciones de caída.

- En la caída libre, el nivel de aguas abajo (h_1) no influye en el nivel de aguas arriba (h_0). El nivel de aguas abajo (h_1) suele ser inferior a la altura (h_w) de la presa. En la cresta de presa se produce una transición de flujo de subcrítico a supercrítico. En este caso, la presa se denomina presa de rebose, como en la imagen 95.

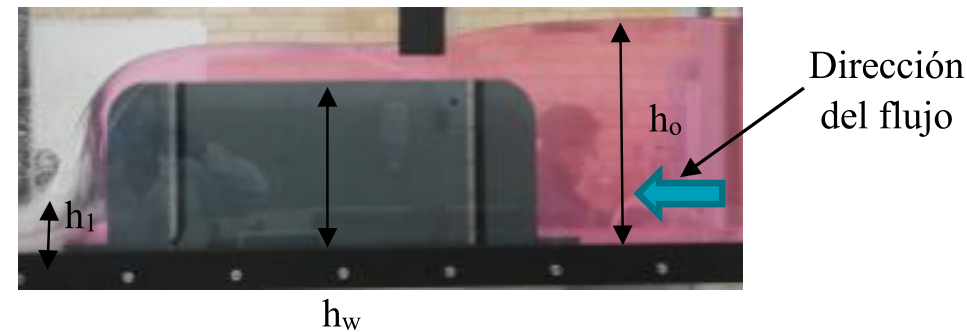


Imagen 95. Caída libre.
Fuente: Elaboración propia.

- En el chorro sumergible, el nivel de aguas abajo (h_1) influye en el nivel de aguas arriba (h_0). El nivel de aguas abajo (h_1) suele ser más alto que la altura (h_w) de la presa. No se produce ninguna transición de flujo. La presa actúa como presa sumergible, como en la imagen 96.

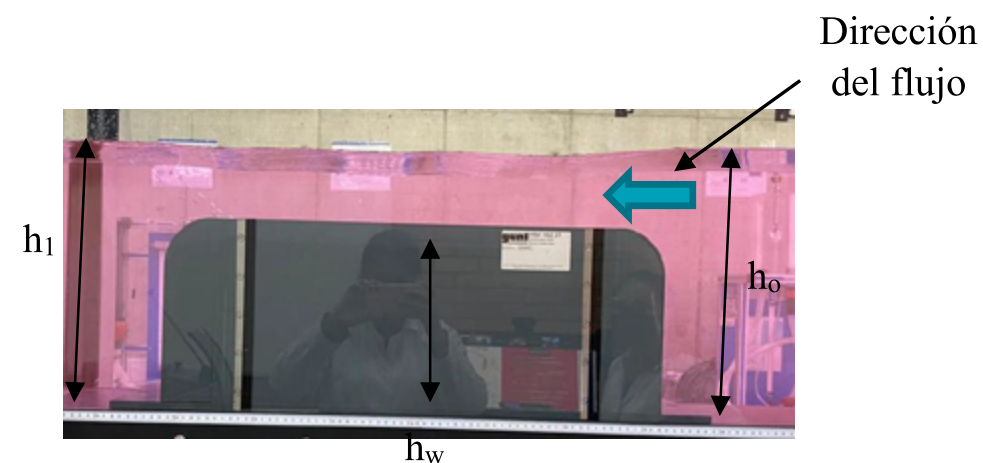


Imagen 96. Chorro sumergible.
Fuente: Elaboración propia

Las denominaciones de «presa de rebose» y «presa sumergible» no se refieren a una forma constructiva, sino a las condiciones de la caída. Cada presa puede, por lo menos en teoría, actuar como presa de rebose y también sumergible. Sin embargo,

al diseñar una presa se tiene en cuenta solo una condición de caída. Además, la depresión y el aire encerrado entre la napa y la presa provocan daños en la presa. Por esta razón, las presas deben construirse de modo que no tengan bordes vivos y la napa siempre esté pegada a la presa.

Presa de cresta ancha

- Líneas de corriente

Las presas de cresta ancha forman parte de las presas fijas y se utilizan principalmente para elevar ligeramente el nivel de agua de canales abiertos. También pueden ser la subestructura de una estructura de control móvil. A diferencia de las otras formas de presa, en las presas de cresta ancha pueden surgir líneas de corriente paralelas por áreas. Para ello debe darse la condición siguiente:

$$\frac{L_w}{h} > 3$$

Donde,

L_w = Longitud de la presa

h = Altura medida aguas arriba de la presa

En la longitud L_w de la presa no se tiene en cuenta los bordes redondeados como se muestra en la imagen 97.

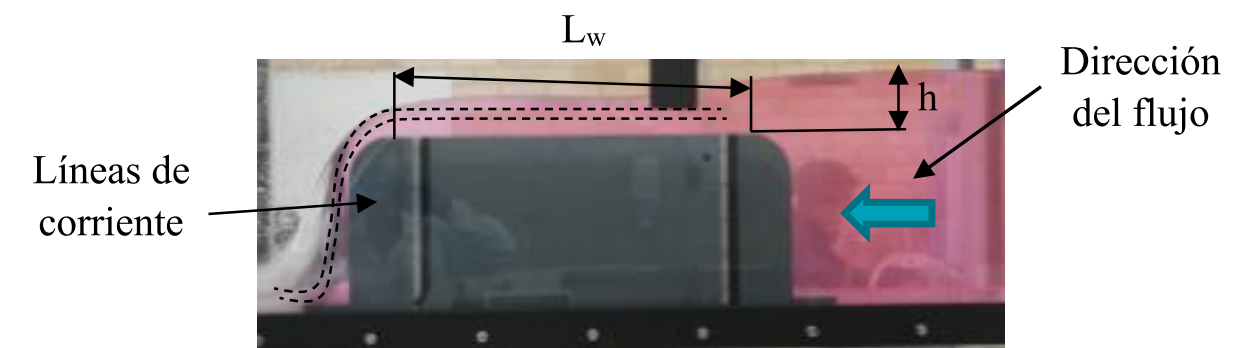


Imagen 97. Líneas de corriente.
Fuente: Elaboración propia.

Napa

En la caída libre se forma una napa detrás del borde aguas abajo de una presa de cresta ancha. Si la presa de cresta ancha tiene bordes vivos y el área detrás de la presa no está aireada, se produce una depresión detrás de la presa. Esta provoca que entre la napa y la presa quede aire encerrado como se observa en la imagen 98.

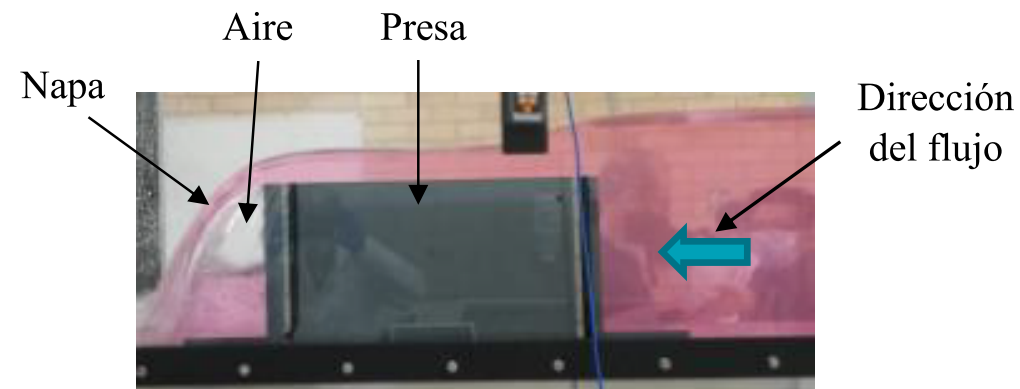


Imagen 98. Presa de cresta ancha con bordes vivos.
Fuente: Elaboración propia.

En una presa de cresta ancha con bordes redondeados la napa es adyacente a la presa como se observa en la imagen 99.

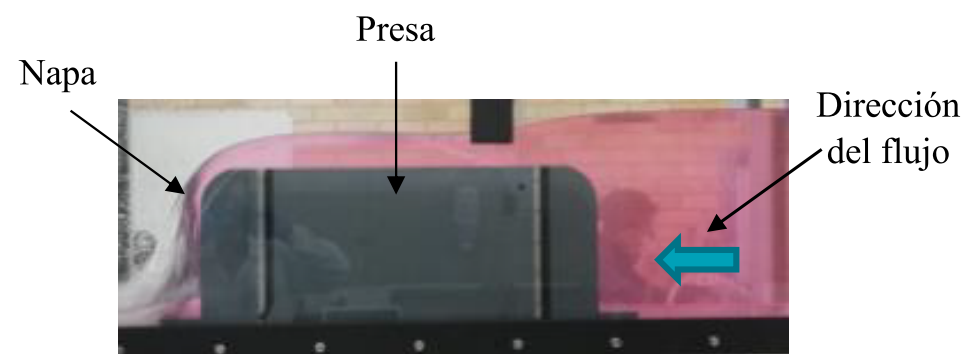


Imagen 99. Presa de cresta ancha con bordes redondeados.
Fuente: Elaboración propia.

La depresión y el aire encerrado entre la napa y la presa provocan daños en la presa. Por esta razón, las presas deben construirse de modo que no tengan bordes vivos y la napa siempre esté pegada a la presa.

5. ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

- Bata blanca
- Guantes de nitrilo
- Gafas de seguridad
- Tapabocas desechable

6. RECURSOS MATERIALES Y EQUIPOS

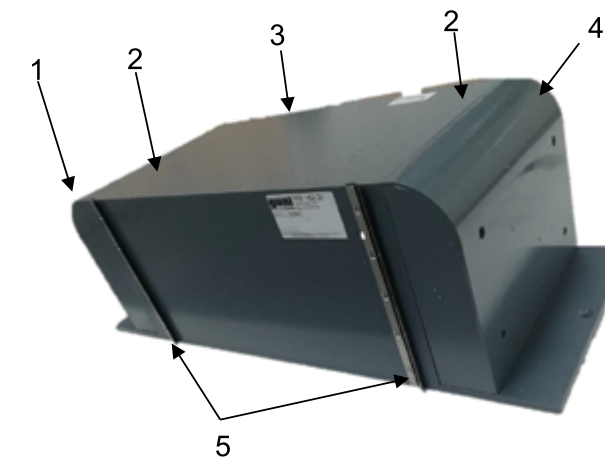


Imagen 100. Vertedero de cresta ancha
Fuente: Elaboración propia.

La presa de cresta ancha que se muestra en la imagen 100 consta de una presa con bordes vivos. Pueden atornillarse a la presa dos partes laterales con bordes redondeados para crear una presa con bordes redondeados.

1. Parte lateral con borde redondeado para lado de salida
2. Borde vivo
3. Presa
4. Parte lateral con borde redondeado para lado de entrada
5. Juntas

Para la realización de la práctica son necesarios los equipos expuestos en las imágenes 101, 102 y 103.



Imagen 101. Caudalímetro.
Fuente: Elaboración propia.



Imagen 102. Indicador de medición manual.
Fuente: Elaboración propia.



Imagen 103. Indicador de medición digital.
Fuente: Elaboración propia.

7. INSTALACIÓN DEL EQUIPO

1. Asegúrese de que:

- La bomba de agua del canal de ensayo esté apagada.
- No haya agua en el recorrido de medición.

2. Fije la posición de instalación de la presa en el recorrido de medición. Desmonte los 3 soportes adyacentes para las planchas de vidrio en la parte delantera y posterior.
3. Humedezca las juntas de la presa y las paredes laterales del recorrido de medición en la posición de instalación con una esponja húmeda.
4. Con 2 personas: Gire la presa con los bordes vivos de modo que el lado con el orificio quede hacia la parte de entrada del recorrido de medición. Al principio de los ensayos fluye agua en la presa a través del orificio, reduciendo el empuje.
5. Levante la presa y colóquela con el lado de salida primero en el recorrido de medición.
6. Doble las juntas en la presa en contra de la dirección del flujo, teniendo cuidado de no girarlas demasiado.
7. Los orificios de la placa de la base de la presa deben estar colocados directamente sobre los orificios roscados del recorrido de medición. En caso necesario, desplace la presa ligeramente en la dirección del flujo (y no en contra).
8. Fije la presa con 2 tornillos a los orificios roscados.
9. Monte el soporte para las planchas de vidrio en la parte delantera y posterior.
10. Para ensayos con presa de cresta ancha con bordes redondeados: Atornille la parte lateral con orificios con 4 tornillos a la parte de entrada de la presa.
11. Al principio de los ensayos fluye agua en la presa a través de los orificios, reduciendo el empuje.
12. Atornille la parte lateral sin orificios con 4 tornillos a la parte de salida de la presa.
13. Hermetice la presa, en caso necesario, con pasta de modelar para las planchas de vidrio y la base del recorrido de medición.
14. Retire todos los objetos sueltos (tornillos, herramientas, etc.) del recorrido de medición.

8. PROCEDIMIENTO

Una vez se encuentre instalado el equipo se procede a realizar la práctica como se específica en la imagen 104:

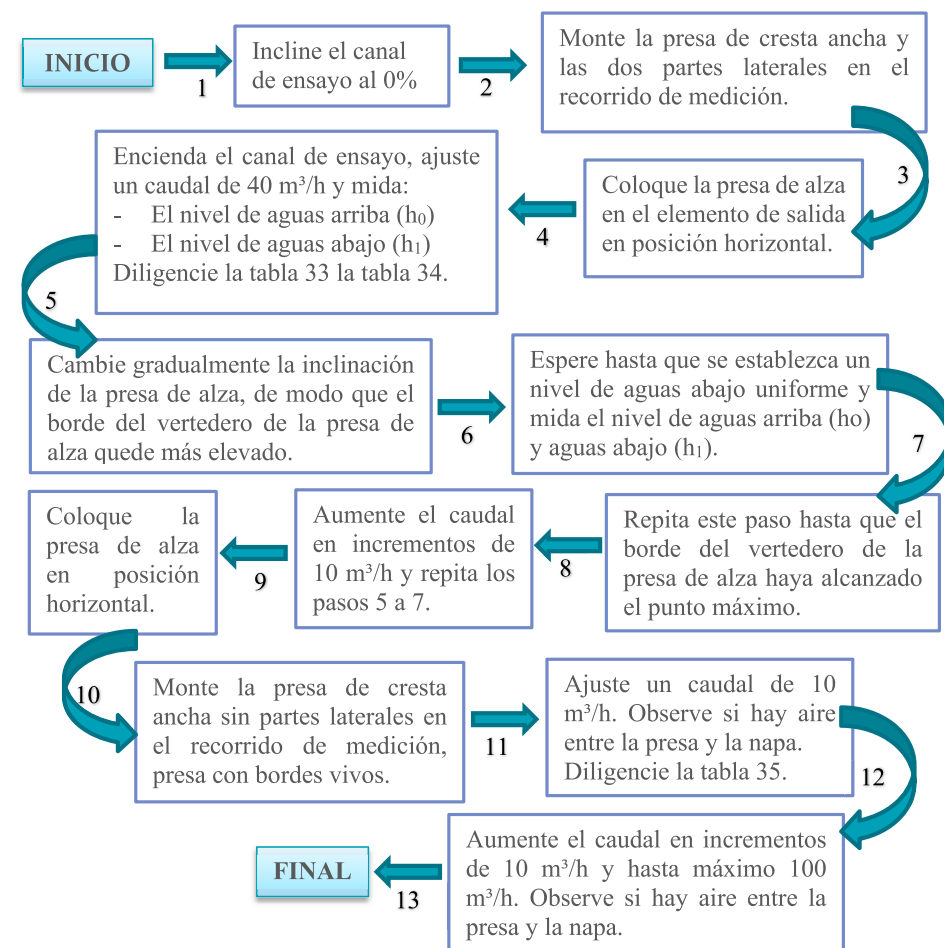


Imagen 104. Procedimiento práctica demostración compuerta de segmento.

Fuente: Elaboración propia.

8.1 Medición niveles de agua

- Momento

Después de haber modificado el caudal u otros parámetros: espere hasta que el estado de los niveles de aguas arriba y aguas abajo y la transición de flujo sean estables. Después realice las mediciones.

- Instrumento de medición

Para los ensayos necesita un instrumento para la medición de niveles de agua, p.ej., el indicador del nivel de agua. La precisión del instrumento debería ser de 1 mm.

- Puesta a cero

Los niveles de agua deberían relacionarse con la base del recorrido de medición. Coloque el indicador del nivel de agua de modo que el borde superior de la base del recorrido de medición tenga una altura de 0 mm.

- Nivel de aguas arriba h_0

La distancia (L_0) entre el punto de medición y la presa debe ser como mínimo 3 veces la altura h . A esta distancia la altura h no se ve influida por la presa.

9. CUESTIONARIO

1. Compare en la tabla 34 de toma de resultados

- El nivel de aguas arriba (h_0) medido.
- El nivel de aguas abajo (h_1) medido.
- Con la altura (h_w) de la presa (25,0 cm).

2. Observe y analice si hay aire entre la presa y la napa.

XV. PRÁCTICA “VERTEDERO DE CRESTA ANCHA (CAUDAL)”

A continuación se presentan los códigos QR para acceder al video ilustrativo de la práctica a trabajar.



SEMILLERO MSMRHA



SANTOTO TUNJA

1. OBJETIVO GENERAL

Calcular la descarga y comparar con el caudal medido.

1.1 Objetivos específicos

- Demostrar la caída libre y chorro sumergible.
- Comparar el flujo en presas de cresta ancha con bordes redondeados.
- Calcular la descarga con caída libre y chorro sumergible.

2. COMPETENCIA

Con la práctica del vertedero de cresta ancha se busca desarrollar la capacidad de llevar a cabo una experimentación adecuada, analizar e interpretar los datos obtenidos, y usar criterios de la ingeniería civil para sacar conclusiones y tomar decisiones.

3. RESULTADO DE APRENDIZAJE

Demostrar el dominio del tema, comprendiendo correctamente el funcionamiento de los equipos, analizando los datos obtenidos y estableciendo conclusiones que le permitan evaluar sus conocimientos.

4. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Caída sobre presas

Las presas son un tipo de estructura de control. Se trata de elementos instalados en canales abiertos, que cumplen una o varias de las siguientes funciones:

- Elevación del nivel de agua, p.ej., para obtener una profundidad navegable suficiente o como protección de la erosión por escasas velocidades del flujo.
- Generación de un salto en el terreno para aprovechar el salto natural y generar energía mediante energía hidráulica.
- Regulación de la descarga y protección contra inundaciones, p.ej., los embalses compensan las oscilaciones estacionales del nivel del agua.
- Medición de la descarga. Las estructuras de control se diferencian en: estructuras por las que el flujo fluye por encima (presas) y estructuras por las que el flujo fluye por debajo (compuertas), o estructuras fijas y móviles.

Tipos de flujo

En la hidráulica de canales se diferencia entre dos tipos de flujo: subcrítico y supercrítico; En el flujo subcrítico el nivel de agua es más alto y el agua fluye a una velocidad más baja. Por el contrario, en el flujo supercrítico el nivel de agua es más bajo y la velocidad del flujo mayor. Se produce una transición de flujo cuando el flujo pasa de un tipo de flujo a otro. El límite entre los dos tipos de flujo está definido por la profundidad crítica.

- Subcrítico → Supercrítico

Cuando en un canal abierto aumenta la velocidad del flujo, el nivel de agua disminuye. Cuando el nivel de agua queda por debajo de la profundidad crítica, se produce una transición de flujo de subcrítico a supercrítico. Esta transición de flujo se produce de forma continua.

- Supercrítico → Subcrítico

Si la velocidad del flujo se reduce en un canal abierto, el nivel de agua aumenta. Cuando se supera la profundidad crítica, se produce una transición de flujo de supercrítico a subcrítico. Esta transición de flujo es brusca y se denomina resalto hidráulico.

Un resalto hidráulico actúa como una barrera. Las estructuras que se encuentran detrás del resalto hidráulico en la dirección del flujo no influyen en el área del resalto hidráulico, como se muestra en la imagen 105.

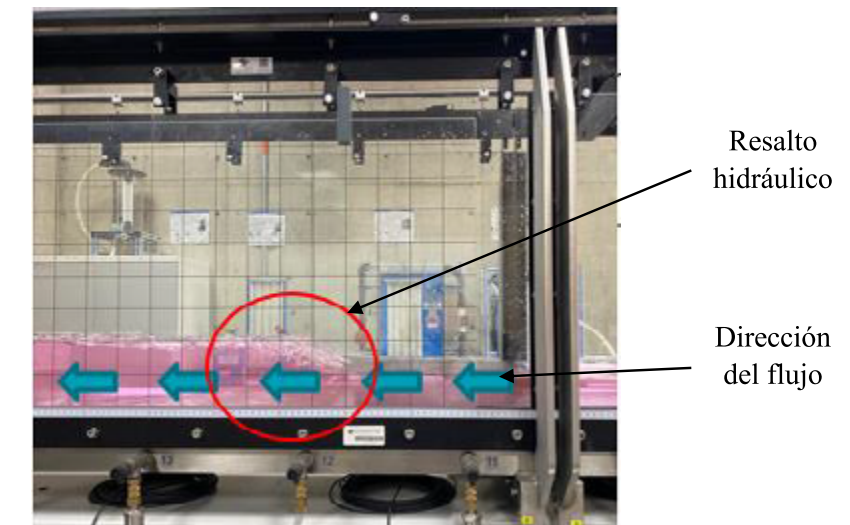


Imagen 105. Resalto hidráulico.

Fuente: Elaboración propia.

Condiciones de caída

En todas las presas pueden producirse dos condiciones de caída.

- En la caída libre, el nivel de aguas abajo (h_1) no influye en el nivel de aguas arriba (h_0). El nivel de aguas abajo (h_1) suele ser inferior a la altura (h_w) de la presa. En la cresta de presa se produce una transición de flujo de subcrítico a supercrítico. En este caso, la presa se denomina presa de rebose, como se observa en la imagen 106.

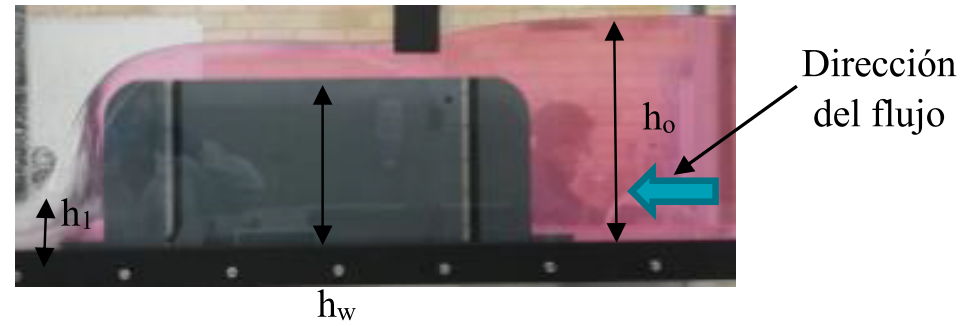


Imagen 106. Caída libre.
Fuente: Elaboración propia.

- En el chorro sumergible, el nivel de aguas abajo (h_1) influye en el nivel de aguas arriba (h_0). El nivel de aguas abajo (h_1) suele ser más alto que la altura (h_w) de la presa. No se produce ninguna transición de flujo. La presa actúa como presa sumergible, como se observa en la imagen 107.

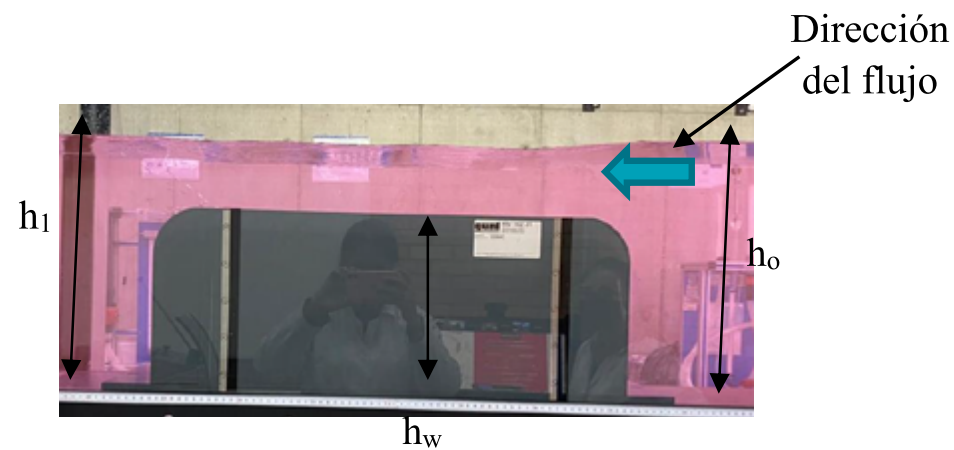


Imagen 107. Chorro sumergible.
Fuente: Elaboración propia.

Las denominaciones de «presa de rebose» y «presa sumergible» no se refieren a una forma constructiva, sino a las condiciones de la caída. Cada presa puede, por lo menos en teoría, actuar como presa de rebose y también sumergible. Sin embargo, al diseñar una presa se tiene en cuenta solo una condición de caída. Además, la depresión y el aire encerrado entre la napa y la presa provocan daños en la presa. Por esta razón, las presas deben construirse de modo que no tengan bordes vivos y la napa siempre esté pegada a la presa.

Presa de cresta ancha

- Líneas de corriente

Las presas de cresta ancha forman parte de las presas fijas y se utilizan principalmente para elevar ligeramente el nivel de agua de canales abiertos. También pueden ser la subestructura de una estructura de control móvil. A diferencia de las otras formas de presa, en las presas de cresta ancha pueden surgir líneas de corriente paralelas por áreas. Para ello debe darse la condición siguiente:

$$\frac{L_w}{h} > 3$$

Donde,

L_w = Longitud de la presa

h = Altura medida aguas arriba de la presa

En la longitud (L_w) de la presa no se tiene en cuenta los bordes redondeados como se muestra en la imagen 108.

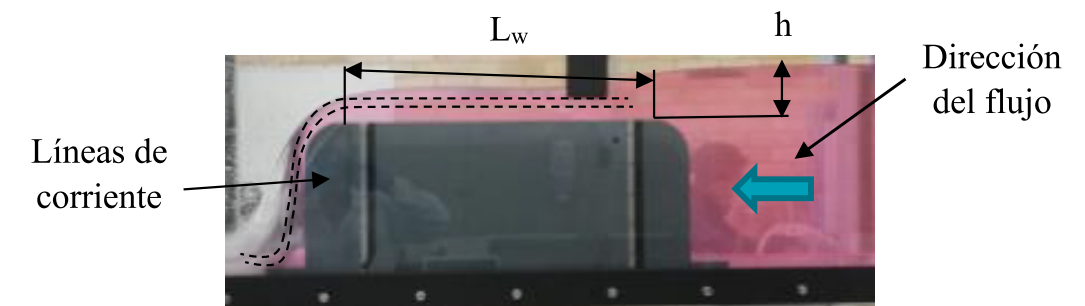


Imagen 108. Líneas de corriente.
Fuente: Elaboración propia.

Napa

En la caída libre se forma una napa detrás del borde aguas abajo de una presa de cresta ancha. Si la presa de cresta ancha tiene bordes vivos y el área detrás de la presa no está aireada, se produce una depresión detrás de la presa. Esta provoca que entre la napa y la presa quede aire encerrado como se observa en la imagen 109.

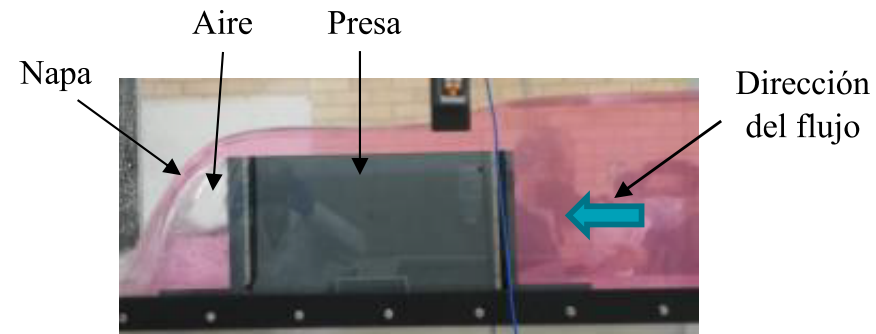


Imagen 109. Presa de cresta ancha con bordes vivos.
Fuente: Elaboración propia.

En una presa de cresta ancha con bordes redondeados la napa es adyacente a la presa como se observa en la imagen 110.

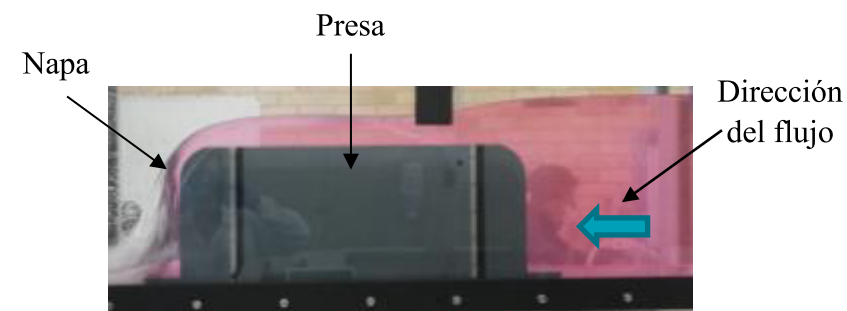


Imagen 110. Presa de cresta ancha con bordes redondeados.
Fuente: Elaboración propia.

La depresión y el aire encerrado entre la napa y la presa provocan daños en la presa. Por esta razón, las presas deben construirse de modo que no tengan bordes vivos y la napa siempre esté pegada a la presa.

5. ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

- Bata blanca
- Guantes de nitrilo
- Gafas de seguridad

- Tapabocas desechable

6. RECURSOS MATERIALES Y EQUIPOS

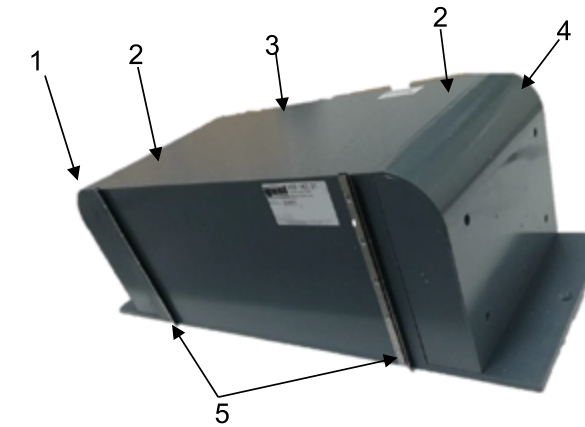


Imagen 111. Vertedero de cresta ancha
Fuente: Elaboración propia.

La presa de cresta ancha que se muestra en la imagen 111, consta de una presa con bordes vivos. Pueden atornillarse a la presa dos partes laterales con bordes redondeados para crear una presa con bordes redondeados.

1. Parte lateral con borde redondeado para lado de salida
2. Borde vivo
3. Presa
4. Parte lateral con borde redondeado para lado de entrada
5. Juntas

Para la realización de la práctica son necesarios los equipos expuestos en las imágenes 112, 113 y 114.



Imagen 112. Caudalímetro.
Fuente: Elaboración propia.



Imagen 113. Indicador de medición manual.
Fuente: Elaboración propia.



Imagen 114. Indicador de medición digital.
Fuente: Elaboración propia.

7. INSTALACIÓN DEL EQUIPO

1. Asegúrese de que:

- La bomba de agua del canal de ensayo esté apagada.
- No haya agua en el recorrido de medición.

2. Fije la posición de instalación de la presa en el recorrido de medición. Desmonte los 3 soportes adyacentes para las planchas de vidrio en la parte delantera y posterior.
3. Humedezca las juntas de la presa y las paredes laterales del recorrido de medición en la posición de instalación con una esponja húmeda.
4. Con 2 personas: Gire la presa con los bordes vivos de modo que el lado con el orificio quede hacia la parte de entrada del recorrido de medición. Al principio de los ensayos fluye agua en la presa a través del orificio, reduciendo el empuje.
5. Levante la presa y colóquela con el lado de salida primero en el recorrido de medición.
6. Doble las juntas en la presa en contra de la dirección del flujo, teniendo cuidado de no girarlas demasiado.
7. Los orificios de la placa de la base de la presa deben estar colocados directamente sobre los orificios roscados del recorrido de medición. En caso necesario, desplace la presa ligeramente en la dirección del flujo (y no en contra).
8. Fije la presa con 2 tornillos a los orificios roscados.
9. Monte el soporte para las planchas de vidrio en la parte delantera y posterior.
10. Para ensayos con presa de cresta ancha con bordes redondeados: Atornille la parte lateral con orificios con 4 tornillos a la parte de entrada de la presa.
11. Al principio de los ensayos fluye agua en la presa a través de los orificios, reduciendo el empuje.
12. Atornille la parte lateral sin orificios con 4 tornillos a la parte de salida de la presa.
13. Hermetice la presa, en caso necesario, con pasta de modelar para las planchas de vidrio y la base del recorrido de medición.
14. Retire todos los objetos sueltos (tornillos, herramientas, etc.) del recorrido de medición.

8. PROCEDIMIENTO

Una vez se encuentre instalado el equipo se procede a realizar la práctica como se específica en la imagen 115:

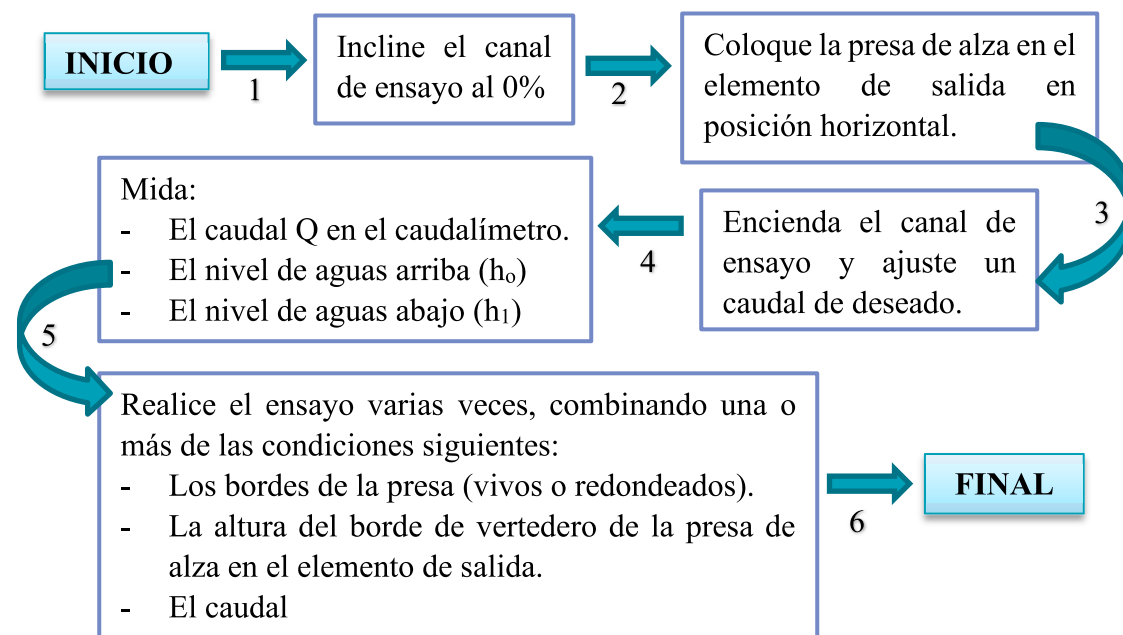


Imagen 115. Procedimiento práctica vertedero de cresta ancha.
Fuente: Elaboración propia.

8.1 Medición niveles de agua

- Momento

Después de haber modificado el caudal u otros parámetros: espere hasta que el estado de los niveles de aguas arriba y aguas abajo y la transición de flujo sean estables. Después realice las mediciones.

- Instrumento de medición

Para los ensayos necesita un instrumento para la medición de niveles de agua, p.ej., el indicador del nivel de agua. La precisión del instrumento debería ser de 1 mm.

- Puesta a cero

Los niveles de agua deberían relacionarse con la base del recorrido de medición. Coloque el indicador del nivel de agua de modo que el borde superior de la base del recorrido de medición tenga una altura de 0 mm.

- Nivel de aguas arriba (h_0)

La distancia L_0 entre el punto de medición y la presa debe ser como mínimo 3 veces la altura h . A esta distancia la altura h no se ve influida por la presa.

9. CUESTIONARIO

1. Compare:

- El nivel de aguas arriba h_0 medido
- El nivel de aguas abajo h_1 medido
- Con la altura h_w de la presa (25,0cm).

¿Se trata de una caída libre o de un chorro sumergible?

2. Calcule la descarga en función de la fórmula para la condición de la caída correspondiente.

- Caída libre

Calcule primero la altura h :

$$h = h_0 - h_w$$

Con $h_w = 25,0$ cm

Calcule después la descarga Q :

$$Q = \frac{2}{3} * \mu * b_w * \sqrt{2 * g * h^{1,5}}$$

Con $b_w = 30,9$ cm

$\mu = 0,58$ en la presa con bordes redondeados

$\mu = 0,52$ en la presa con bordes vivos

- Chorro sumergible

Calcule las alturas h_d y h :

$$h_d = h_1 - h_w$$

$$h = h_0 - h_w$$

Con $h_w = 25,0$ cm

Calcule la relación $\frac{h_d}{h}$

Determine el coeficiente de reducción C

Calcule la descarga Q

$$Q = \frac{2}{3} * \mu * b_w * \sqrt{2 * g * h^{1,5}}$$

Con $b_w = 30,9$ cm

$\mu = 0,58$ en la presa con bordes redondeados

$\mu = 0,52$ en la presa con bordes vivos

3. Compare el resultado con el caudal medio.

10. FORMATO DE TOMA DE DATOS

Tabla 36. Toma de datos para práctica vertedero de cresta ancha para presas con bordes vivos.

Bordes vivos		
Caudal	Nivel de aguas arriba	Nivel de aguas arriba
Q [m ³ /h]	h_0 [cm]	h_1 [cm]

Tabla 37. Toma de datos para práctica vertedero de cresta ancha para presas con bordes redondeados.

Bordes redondeados		
Caudal	Nivel de aguas arriba	Nivel de aguas arriba
Q [m ³ /h]	h_0 [cm]	h_1 [cm]

11. FORMATO DE RESULTADOS

Tabla 38. Formato de resultados para práctica vertedero de cresta ancha para presas con bordes redondeados.

Presa con bordes redondeados						
Medido				Calculado		
Caudal	Nivel de aguas arriba	Altura de la presa	Nivel de aguas arriba	Tipo de caída	Altura	Caudal
Q [m ³ /h]	h_0 [cm]	h_w [cm]	h_1 [cm]		h [cm]	Q [m ³ /h]

XVI. PRÁCTICA “VERTEDERO DE PERFIL OGEE CON DOS TIPOS DE SALIDAS (CAUDAL Y ALTURA)”

A continuación se presentan los códigos QR para acceder al video ilustrativo de la práctica a trabajar.



SEMILLERO MSMRHA



SANTOTO TUNJA

1. Objetivo GENERAL

Demostrar la dependencia entre la altura y el caudal. Además, se calcula la descarga y se compara con el caudal medido.

1.2 Objetivos específicos

- Calcular la de descarga.
- Evidenciar los distintos tipos de flujo (subcrítico y supercrítico) y transición de flujo.
- Compara el flujo sobre presas de cresta Ogee con distintas salidas.

2. COMPETENCIA

Con la demostración del vertedero de perfil Ogee con dos tipos de salidas se busca desarrollar la capacidad de llevar a cabo una experimentación adecuada, analizar e interpretar los datos obtenidos, y usar criterios de la ingeniería civil para sacar conclusiones y tomar decisiones.

3. RESULTADO DE APRENDIZAJE

Demostrar el dominio del tema, comprendiendo correctamente el funcionamiento de los equipos, analizando los datos obtenidos y estableciendo conclusiones que le permitan evaluar sus conocimientos.

4. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Caída sobre presas

Las presas son un tipo de estructura de control. Se trata de elementos instalados en canales abiertos, que cumplen una o varias de las siguientes funciones:

1. Elevación del nivel de agua, p.ej., para obtener una profundidad navegable suficiente o como protección de la erosión por escasas velocidades del flujo.
2. Generación de un salto en el terreno para aprovechar el salto natural y generar energía mediante energía hidráulica.
3. Regulación de la descarga y protección contra inundaciones, p.ej., los embalses compensan las oscilaciones estacionales del nivel del agua.
4. Medición de la descarga. Las estructuras de control se diferencian en: estructuras por las que el flujo fluye por encima (presas) y estructuras por las que el flujo fluye por debajo (compuertas), o estructuras fijas y móviles.

Tipos de flujo

En la hidráulica de canales se diferencia entre dos tipos de flujo: subcrítico y supercrítico; En el flujo subcrítico el nivel de agua es más alto y el agua fluye a una velocidad más baja. Por el contrario, en el flujo supercrítico el nivel de agua es más bajo y la velocidad del flujo mayor. Se produce una transición de flujo cuando el flujo pasa de un tipo de flujo a otro. El límite entre los dos tipos de flujo está definido por la profundidad crítica.

- Subcrítico → Supercrítico

Cuando en un canal abierto aumenta la velocidad del flujo, el nivel de agua disminuye. Cuando el nivel de agua queda por debajo de la profundidad crítica, se produce una transición de flujo de subcrítico a supercrítico. Esta transición de flujo se produce de forma continua.

- Supercrítico → Subcrítico

Si la velocidad del flujo se reduce en un canal abierto, el nivel de agua aumenta. Cuando se supera la profundidad crítica, se produce una transición de flujo de supercrítico a subcrítico. Esta transición de flujo es brusca y se denomina resalto hidráulico.

Un resalto hidráulico actúa como una barrera. Las estructuras que se encuentran detrás del resalto hidráulico en la dirección del flujo no influyen en el área del resalto hidráulico, como se muestra en la imagen 116.

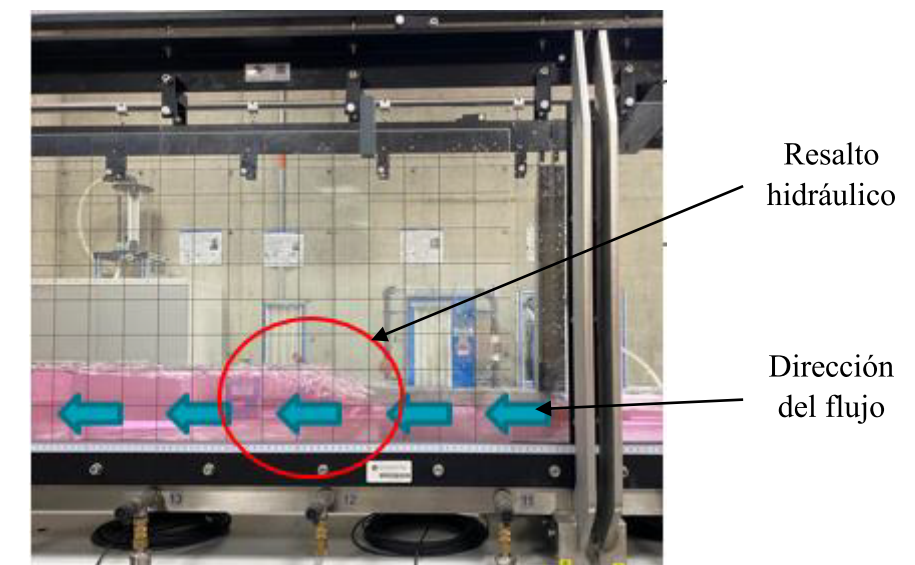


Imagen 116. Resalto hidráulico.
Fuente: Elaboración propia.

Condiciones de caída

- Caída libre

En la caída libre, el nivel de aguas abajo (h_1) no influye en el nivel de aguas arriba (h_0). El nivel de aguas abajo (h_1) suele ser inferior a la altura (h_w) de la presa. En la cresta de presa se produce una transición de flujo de subcrítico a supercrítico, como se muestra en la imagen 117. En este caso, la presa se denomina presa de rebose.



Imagen 117. Caída libre.
Fuente: Elaboración propia.

- Chorro sumergible

El nivel de aguas abajo (h_1) influye en el nivel de aguas arriba (h_0). El nivel de aguas abajo (h_1) suele ser más alto que la altura (h_w) de la presa. No se produce ninguna transición de flujo. La presa actúa como presa sumergible, como se observa en la imagen 118.

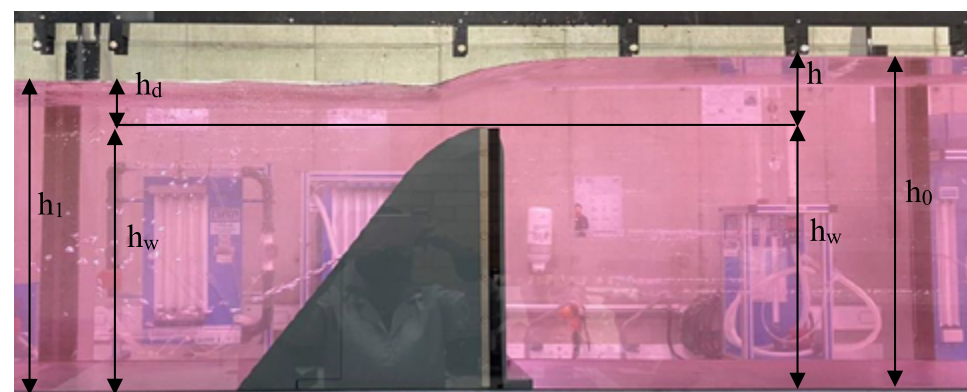


Imagen 118. Chorro sumergible.
Fuente: Elaboración propia.

Las denominaciones de «presa de rebose» y «presa sumergible» no se refieren a una forma constructiva, sino a las condiciones de la caída. Cada presa puede, por lo menos en teoría, actuar como presa de rebose y también sumergible. Sin embargo, al diseñar una presa se tiene en cuenta solo una condición de caída.

Presa de cresta ogee

Las presas de cresta ogee forman parte de las presas fijas. Son edificadas para embalsar aguas corrientes.

La presa consta en sí de un cuerpo de retención. El momento aplicado de la presión de agua es compensado por el peso de la presa. Por esta razón, las presas se suelen construir de modo que los contornos externos correspondan aproximadamente a un triángulo, como se muestra en la imagen 119.



Imagen 119. Triángulo y cresta de presa.
Fuente: Elaboración propia.

La cresta de presa se diseña para favorecer al flujo y así lograr la descarga más grande posible. La salida de una presa puede tener formas diferentes.



Imagen 120. Salida empinada de una presa.
Fuente: Elaboración propia.

En una salida empinada, el agua fluye por la salida de la presa al fondo del agua, como se muestra en la imagen 119. Una salida de salto de esquí genera un chorro libre, que cae sobre la superficie del agua a cierta distancia de la presa, como se muestra en la imagen 121. Esta salida se utiliza para disipar energía. Teniendo en cuenta que, el fondo del agua detrás de una presa está expuesto a altas cargas debido al chorro de agua producido. Por tanto, debe fijarse o protegerse de la erosión mediante un alto nivel de agua.

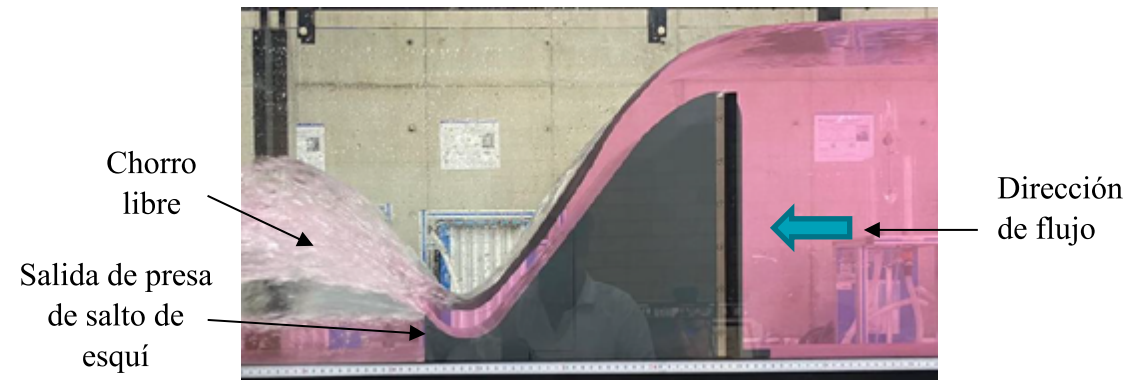


Imagen 121. Salida de salto de esquí de una presa.
Fuente: Elaboración propia.

Cálculo de la descarga

En la caída libre sobre una presa rectangular sin contracción lateral, la descarga se calcula según Poleni del modo siguiente:

$$Q = \frac{2}{3} * \mu * b_w * \sqrt{2 * g} * h^{1,5}$$

Donde,

Q= Descarga ($\frac{m^3}{s}$)

μ = Coeficiente de vertedero (adimensional)

b_w = Anchura de la presa 0,309 (m)

g= Aceleración de gravedad 9,81 ($\frac{m}{s^2}$)

h= Altura (m)

El coeficiente de vertedero μ depende (en las presas de cresta de Ogee) de la altura de la presa (h_w) y la curvatura de la napa. El coeficiente de vertedero μ es mayor si la geometría de la cresta de presa favorece más la corriente, como se muestra en la imagen 38.

Tabla 40. Coeficiente de vertedero μ .

Geometría de la presa	Coeficiente vertedero μ
Presa de cresta Ogee con lado de aguas arriba vertical y lado de aguas abajo inclinado.	0,73-0,75

Fuente: Gunt Hamburg

En el chorro sumergible, el nivel de aguas abajo (h_1) influye en el nivel de aguas arriba (h_0). La descarga se calcula aquí de modo similar a la caída libre, pero se añade un coeficiente de reducción.

$$Q = c * \frac{2}{3} * \mu * b_w * \sqrt{2 * g} * h^{1,5}$$

Donde,

Q= Descarga ($\frac{m^3}{s}$)

C= coeficiente de reducción (adimensional)

μ = Coeficiente de vertedero (adimensional)

b_w = Anchura de la presa 0,309 (m)

g= Aceleración de gravedad 9,81 ($\frac{m}{s^2}$)

h= Altura (m)

El coeficiente de reducción c depende de la relación

h_w = Altura de la presa

h= Altura

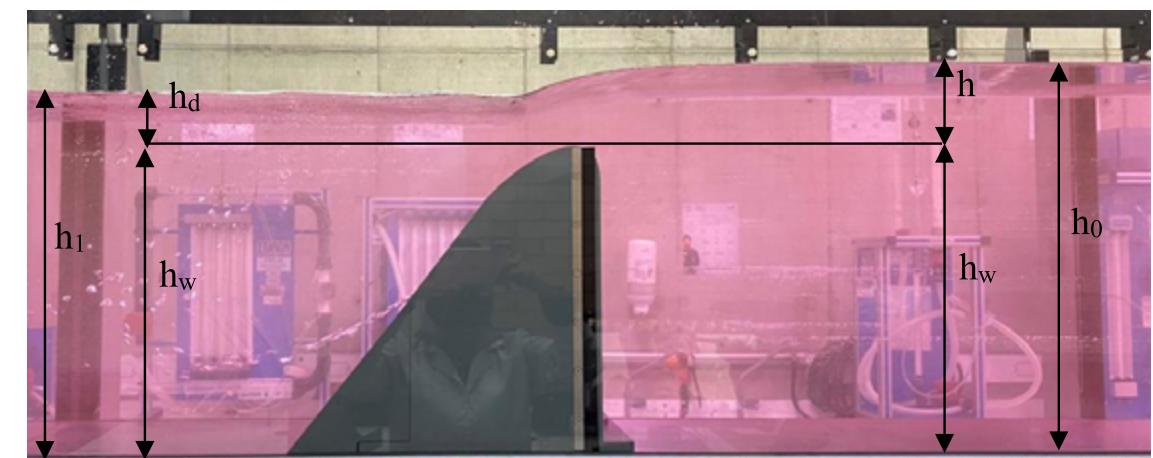
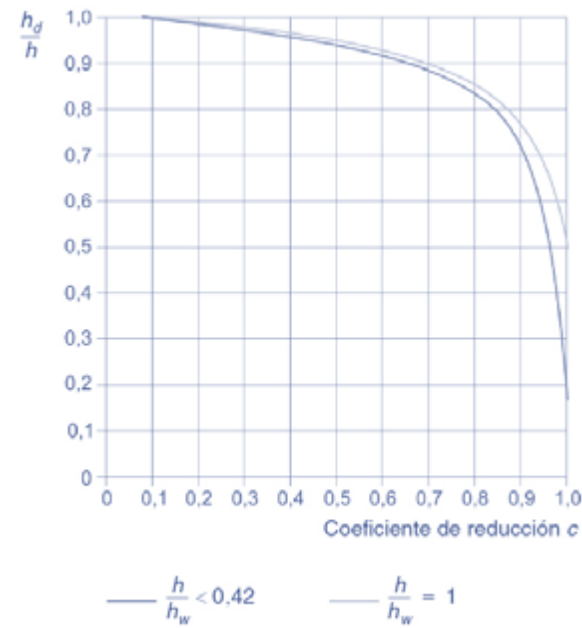


Imagen 122. Parámetros para determinar el coeficiente de reducción C.
Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 17. Coeficiente de reducción c para el chorro sumergible en presas de cresta Ogee
Fuente: Gunt Hamburg

Debe tenerse en cuenta que las presas de cresta Ogee están diseñadas para caídas libres. No se prevé que el nivel de aguas abajo (h_1) supere la altura de la presa (h_w).

5. ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

- Bata blanca
- Guantes de nitrilo
- Gafas de seguridad
- Tapabocas desechable

6. RECURSOS MATERIALES Y EQUIPOS

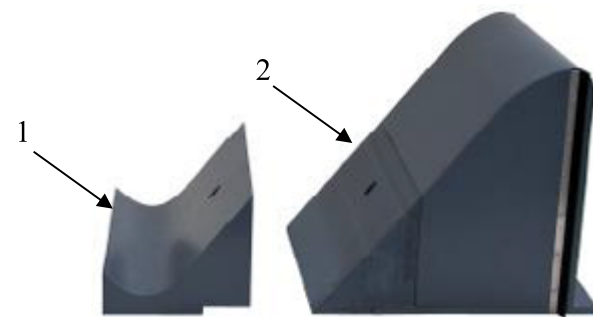


Imagen 123. Presa de cresta Ogee con 2 salidas diferentes.
Fuente: Elaboración propia.

El equipo de presa de cresta Ogee con 2 salidas diferentes, consta de los elementos que se pueden apreciar en la imagen 123, para la instalación en el canal de ensayo, donde:

1. Salida de salto de esquí.
2. Presa de cresta Ogee con salida empinada.

Para la realización de la práctica son necesarios los equipos expuestos en las imágenes 124, 125 y 126.



Imagen 124. Caudalímetro.
Fuente: Elaboración propia.



Imagen 125. Indicador de medición manual.
Fuente: Elaboración propia.



Imagen 126. Indicador de medición digital.
Fuente: Elaboración propia.

7. INSTALACIÓN DEL EQUIPO

1. Asegúrese de que:

- La bomba de agua del canal de ensayo esté apagada.
- No haya agua en el recorrido de medición.

2. Fije la posición de instalación de la presa en el recorrido de medición. Desmonte cada soporte para las planchas de vidrio en la parte delantera y posterior.
3. Humedezca las juntas de la presa y las paredes laterales del recorrido de medición en la posición de instalación con una esponja húmeda.
4. Coloque la presa en el recorrido de medición. Doble las juntas en la presa hacia fuera, teniendo cuidado de no girarlas demasiado.
5. Los dos orificios de la placa de la base de la presa deben estar colocados directamente sobre los orificios roscados del recorrido de medición. En caso necesario, desplace la presa ligeramente en la dirección del flujo (y no en contra).
6. Fije la presa con una arandela y un tornillo a un orificio roscado.
7. Coloque la salida deseada en la presa.
8. Fije la salida con un tornillo a un orificio roscado.
9. Monte el soporte para las planchas de vidrio en la parte delantera y posterior.
10. Hermetice la presa, en caso necesario, con pasta de modelar para las planchas de vidrio y la base del recorrido de medición.
11. Retire todos los objetos sueltos (tornillos, herramientas, etc.) del recorrido de medición.

8. PROCEDIMIENTO

Una vez se encuentre instalado el equipo se procede a realizar la práctica como se específica en la imagen 127:

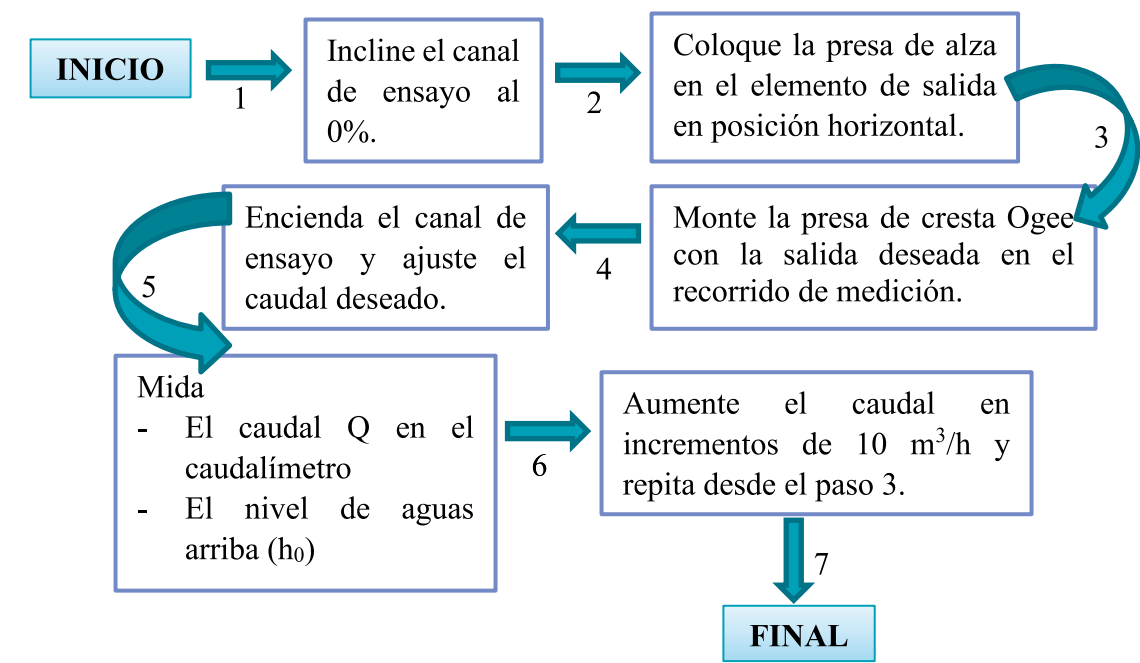


Imagen 127. Procedimiento práctica vertedero de perfil Ogee.
Fuente: Elaboración propia.

8.1 Medición niveles de agua

- Momento

Después de haber modificado el caudal u otros parámetros: espere hasta que el estado de los niveles de aguas arriba y aguas abajo y la transición de flujo sean estables. Después realice las mediciones.

- Instrumento de medición

Para los ensayos necesita un instrumento para la medición de niveles de agua, p.ej., el indicador del nivel de agua. La precisión del instrumento debería ser de 1 mm.

- Puesta a cero

Los niveles de agua deberían relacionarse con la base del recorrido de medición. Coloque el indicador del nivel de agua de modo que el borde superior de la base del recorrido de medición tenga una altura de 0 mm.

XVII.PRÁCTICA “VERTEDERO DE PERFIL OGEE CON DOS TIPOS DE SALIDAS (RESALTO HIDRÁULICO)”

A continuación se presentan los códigos QR para acceder al video ilustrativo de la práctica a trabajar.



SEMILLERO MSMRHA



SANTOTO TUNJA

1. OBJETIVO GENERAL

Visualizar la dependencia entre la posición del resalto hidráulico y el nivel de aguas abajo.

1.1 Objetivos específicos

- Evidenciar los distintos tipos de flujo (subcrítico y supercrítico) y transición de flujo.
- Comparar el flujo sobre presas de cresta Ogee con distintas salidas.

2. COMPETENCIA

Con la demostración del vertedero de perfil Ogge con dos tipos de salidas se busca desarrollar la capacidad de llevar a cabo una experimentación adecuada, analizar e interpretar los datos obtenidos, y usar criterios de la ingeniería civil para sacar conclusiones y tomar decisiones.

3. RESULTADO DE APRENDIZAJE

Demostrar el dominio del tema, comprendiendo correctamente el funcionamiento de los equipos, analizando los datos obtenidos y estableciendo conclusiones que le permitan evaluar sus conocimientos.

4. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Caída sobre presas

Las presas son un tipo de estructura de control. Se trata de elementos instalados en canales abiertos, que cumplen una o varias de las siguientes funciones:

- Elevación del nivel de agua, p.ej., para obtener una profundidad navegable suficiente o como protección de la erosión por escasas velocidades del flujo.
- Generación de un salto en el terreno para aprovechar el salto natural y generar energía mediante energía hidráulica.
- Regulación de la descarga y protección contra inundaciones, p.ej., los embalses compensan las oscilaciones estacionales del nivel del agua.
- Medición de la descarga. Las estructuras de control se diferencian en: estructuras por las que el flujo fluye por encima (presas) y estructuras por las que el flujo fluye por debajo (compuertas), o estructuras fijas y móviles.

Tipos de flujo

En la hidráulica de canales se diferencia entre dos tipos de flujo: subcrítico y supercrítico; En el flujo subcrítico el nivel de agua es más alto y el agua fluye a una velocidad más baja. Por lo contrario, en el flujo supercrítico el nivel de agua es más bajo y la velocidad del flujo mayor. Se produce una transición de flujo cuando el flujo pasa de un tipo de flujo a otro. El límite entre los dos tipos de flujo está definido por la profundidad crítica.

- Subcrítico → Supercrítico

Cuando en un canal abierto aumenta la velocidad del flujo, el nivel de agua disminuye. Cuando el nivel de agua queda por debajo de la profundidad crítica, se produce una transición de flujo de subcrítico a supercrítico. Esta transición de flujo se produce de forma continua.

- Supercrítico → Subcrítico

Si la velocidad del flujo se reduce en un canal abierto, el nivel de agua aumenta. Cuando se supera la profundidad crítica, se produce una transición de flujo de supercrítico a subcrítico. Esta transición de flujo es brusca y se denomina resalto hidráulico.

Un resalto hidráulico actúa como una barrera. Las estructuras que se encuentran detrás del resalto hidráulico en la dirección del flujo no influyen en el área del resalto hidráulico, como se muestra en la imagen 128.

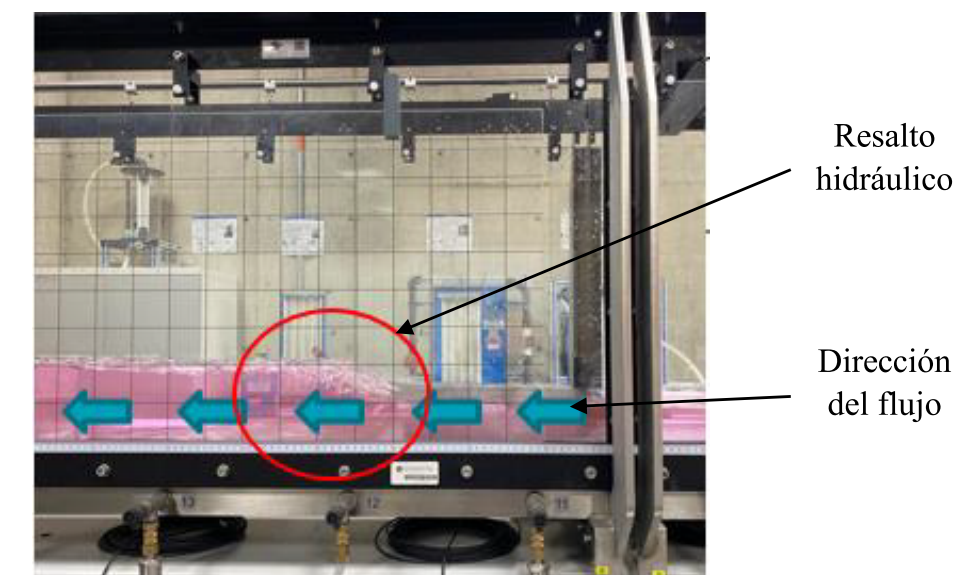


Imagen 128. Resalto hidráulico.
Fuente: Elaboración propia.

Condiciones de caída

- Caída libre

En la caída libre, el nivel de aguas abajo (h_1) no influye en el nivel de aguas arriba (h_0). El nivel de aguas abajo (h_1) suele ser inferior a la altura (h_w) de la presa. En la cresta de presa se produce una transición de flujo de subcrítico a supercrítico, como se muestra en la imagen 129. En este caso, la presa se denomina presa de rebose.



Imagen 129. Caída libre.
Fuente: Elaboración propia.

- Chorro sumergible

El nivel de aguas abajo (h_1) influye en el nivel de aguas arriba (h_0). El nivel de aguas abajo (h_1) suele ser más alto que la altura (h_w) de la presa. No se produce ninguna transición de flujo. La presa actúa como presa sumergible, como se observa en la imagen 130.

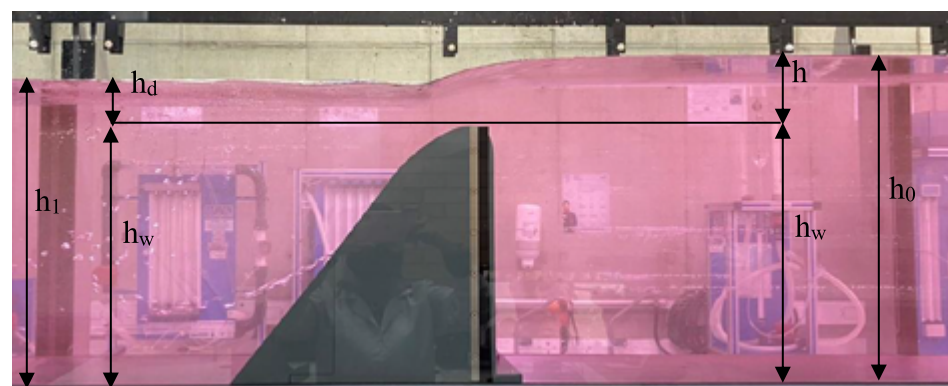


Imagen 130. Chorro sumergible.
Fuente: Elaboración propia.

Las denominaciones de «presa de rebose» y «presa sumergible» no se refieren a una forma constructiva, sino a las condiciones de la caída. Cada presa puede, por lo menos en teoría, actuar como presa de rebose y también sumergible. Sin embargo, al diseñar una presa se tiene en cuenta solo una condición de caída.

Presa de cresta ogee

Las presas de cresta ogee forman parte de las presas fijas. Son edificadas para embalsar aguas corrientes.

La presa consta en sí de un cuerpo de retención. El momento aplicado de la presión de agua es compensado por el peso de la presa. Por esta razón, las presas se suelen construirse de modo que los contornos externos correspondan aproximadamente a un triángulo, como se muestra en la imagen 131.



Imagen 131. Triángulo y cresta de presa.
Fuente: Elaboración propia.

La cresta de presa se diseña para favorecer al flujo y así lograr la descarga más grande posible. La salida de una presa puede tener formas diferentes.



Imagen 132. Salida empinada de una presa.
Fuente: Elaboración propia.

En una salida empinada, el agua fluye por la salida de la presa al fondo del agua, como se muestra en la imagen 131. Una salida de salto de esquí genera un chorro libre, que cae sobre la superficie del agua a cierta distancia de la presa, como se muestra en la imagen 133. Esta salida se utiliza para disipar energía. Teniendo en cuenta que, el fondo del agua detrás de una presa está expuesto a altas cargas debido al chorro de agua producido. Por tanto, debe fijarse o protegerse de la erosión mediante un alto nivel de agua.

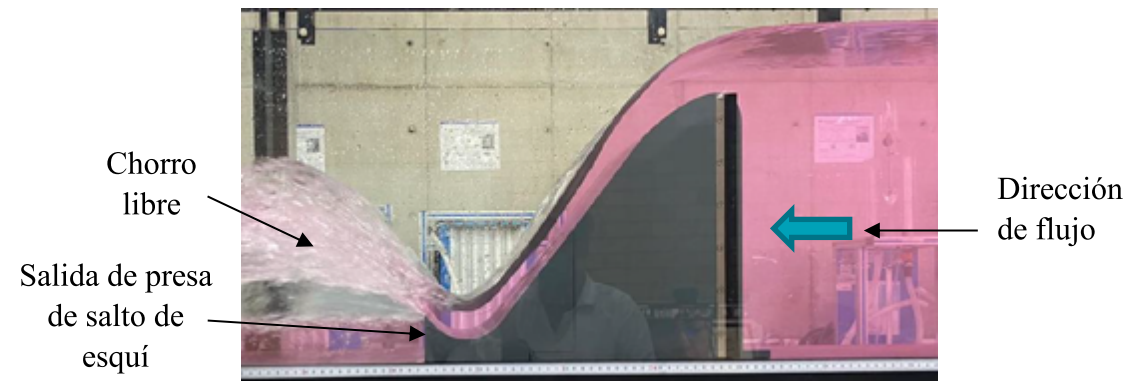


Imagen 133. Salida de salto de esquí de una presa.
Fuente: Elaboración propia.

Cálculo de la descarga

En la caída libre sobre una presa rectangular sin contracción lateral, la descarga se calcula según Poleni del modo siguiente:

$$Q = \frac{2}{3} * \mu * b_w * \sqrt{2 * g} * h^{1,5}$$

Donde,

$$Q = \text{Descarga } \left(\frac{m^3}{s}\right)$$

μ = Coeficiente de vertedero (adimensional)

b_w = Anchura de la presa 0,309 (m)

g = Aceleración de gravedad 9,81 $\left(\frac{m}{s^2}\right)$

h = Altura (m)

El coeficiente de vertedero μ depende (en las presas de cresta de ogee) de la altura de la presa (h_w) y la curvatura de la napa. El coeficiente de vertedero μ es mayor si la geometría de la cresta de presa favorece más la corriente, como se muestra en la tabla 44.

Tabla 44. Coeficiente de vertedero μ .

Geometría de la presa	Coeficiente vertedero μ
Presa de cresta Ogee con lado de aguas arriba vertical y lado de aguas abajo inclinado.	0,73-0,75

Fuente: Gunt Hamburg

En el chorro sumergible, el nivel de aguas abajo (h_1) influye en el nivel de aguas arriba (h_0). La descarga se calcula aquí de modo similar a la caída libre, pero se añade un coeficiente de reducción.

$$Q = c * \frac{2}{3} * \mu * b_w * \sqrt{2 * g} * h^{1,5}$$

Donde,

$$Q = \text{Descarga } \left(\frac{m^3}{s}\right)$$

C = coeficiente de reducción (adimensional)

μ = Coeficiente de vertedero (adimensional)

b_w = Anchura de la presa 0,309 (m)

g = Aceleración de gravedad 9,81 $\left(\frac{m}{s^2}\right)$

h = Altura (m)

El coeficiente de reducción c depende de la relación $\frac{h}{h_d}$

h_w = Altura de la presa

h = Altura

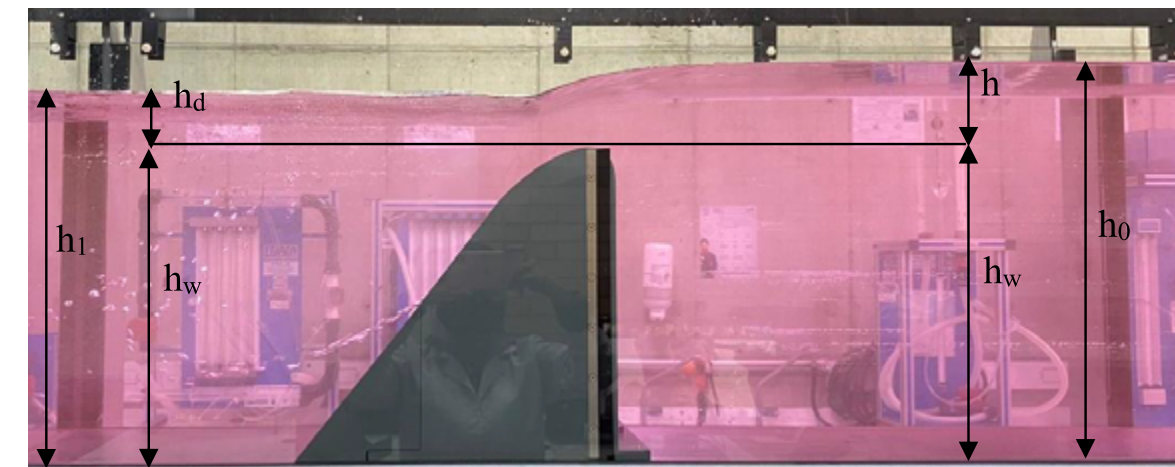
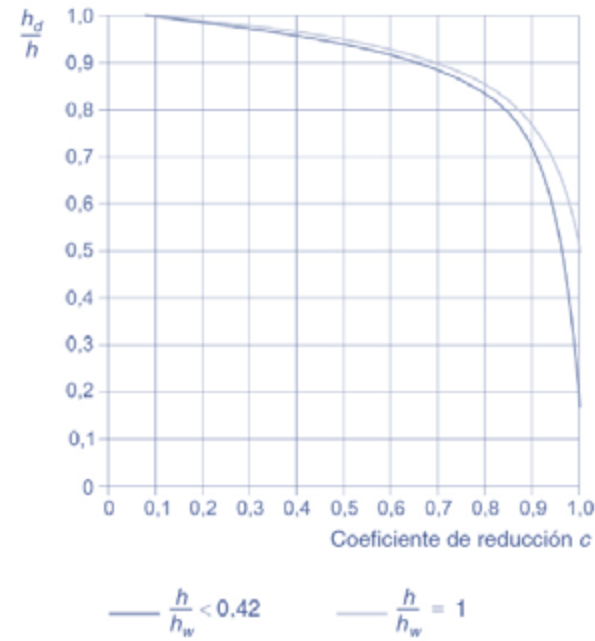


Imagen 134. Parámetros para determinar el coeficiente de reducción C .

Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 18. Coeficiente de reducción c para el chorro sumergible en presas de cresta Ogee
Fuente: Gunt Hamburg

Debe tenerse en cuenta que las presas de cresta Ogee están diseñadas para caídas libres. No se prevé que el nivel de aguas abajo (h_1) supere la altura de la presa (h_w).

5. ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

- Bata blanca
- Guantes de nitrilo
- Gafas de seguridad
- Tapabocas desechable

6. RECURSOS MATERIALES Y EQUIPOS

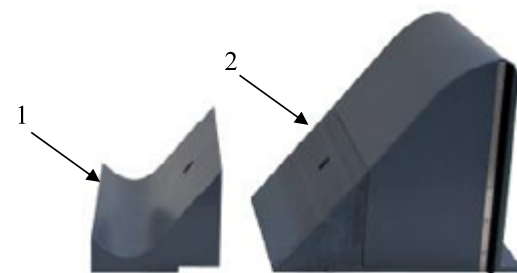


Imagen 135. Presa de cresta Ogee con 2 salidas diferentes.
Fuente: Elaboración propia.

El equipo de presa de cresta Ogee con 2 salidas diferentes, consta de los elementos que se pueden apreciar en la imagen 135, para la instalación en el canal de ensayo, donde:

3. Salida de salto de esquí.
4. Presa de cresta Ogee con salida empinada.

Para la realización de la práctica son necesarios los equipos expuestos en las imágenes 136, 137 y 138.



Imagen 136. Caudalímetro.
Fuente: Elaboración propia.



Imagen 137. Indicador de medición manual.
Fuente: Elaboración propia.



Imagen 138. Indicador de medición digital.
Fuente: Elaboración propia.

7. INSTALACIÓN DEL EQUIPO

1. Asegúrese de que:

La bomba de agua del canal de ensayo esté apagada.
No haya agua en el recorrido de medición.

2. Fije la posición de instalación de la presa en el recorrido de medición. Desmonte cada soporte para las planchas de vidrio en la parte delantera y posterior.
3. Humedezca las juntas de la presa y las paredes laterales del recorrido de medición en la posición de instalación con una esponja húmeda.
4. Coloque la presa en el recorrido de medición. Doble las juntas en la presa hacia fuera, teniendo cuidado de no girarlas demasiado.
5. Los dos orificios de la placa de la base de la presa deben estar colocados directamente sobre los orificios roscados del recorrido de medición. En caso necesario, desplace la presa ligeramente en la dirección del flujo (y no en contra).
6. Fije la presa con una arandela y un tornillo a un orificio roscado.
7. Coloque la salida deseada en la presa.
8. Fije la salida con un tornillo a un orificio roscado.
9. Monte el soporte para las planchas de vidrio en la parte delantera y posterior.
10. Hermetice la presa, en caso necesario, con pasta de modelar para las planchas de vidrio y la base del recorrido de medición.
11. Retire todos los objetos sueltos (tornillos, herramientas, etc.) del recorrido de medición.

8. PROCEDIMIENTO

Una vez se encuentre instalado el equipo se procede a realizar la práctica como se específica en la imagen 139:

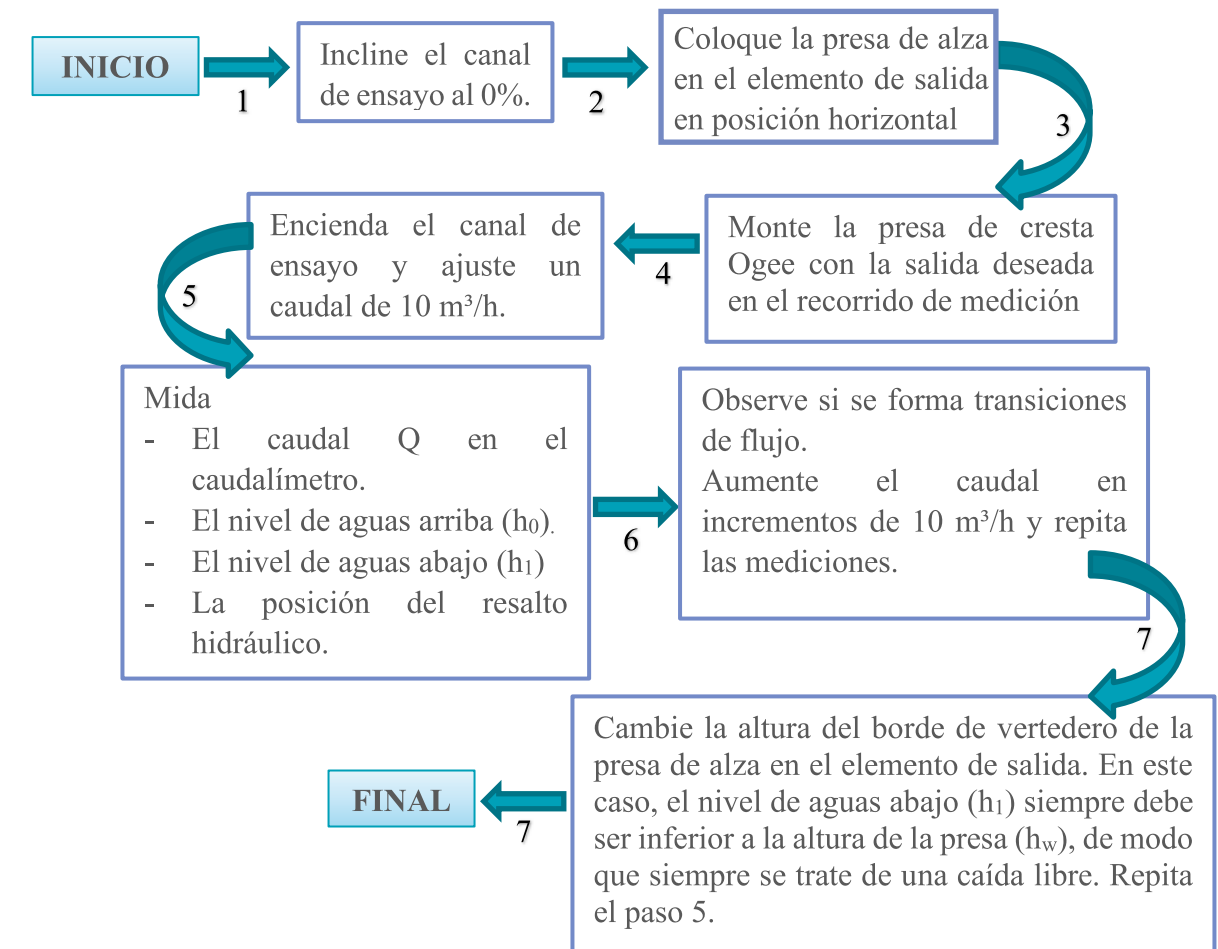


Imagen 139. Procedimiento práctica vertedero de perfil Ogee.
Fuente: Elaboración propia.

8.1 MEDICIÓN NIVELES DE AGUA

- Momento

Después de haber modificado el caudal u otros parámetros: espere hasta que el estado de los niveles de aguas arriba y aguas abajo y la transición de flujo sean estables. Después realice las mediciones.

XVIII.PRÁCTICA “VERTEDERO DE PERFIL OGEE CON DOS TIPOS DE SALIDAS (TIPOS DE FLUJO Y TRANSICIÓN DE FLUJO)”

A continuación se presentan los códigos QR para acceder al video ilustrativo de la práctica a trabajar.



SEMILLERO MSMRHA



SANTOTO TUNJA

1. OBJETIVO GENERAL

Visualizar los tipos de flujo subcrítico y supercrítico, y la transición de flujo entre los dos tipos con distintas condiciones de caída.

1.1 Objetivos específicos

- Calcular la descarga
- Evidenciar los distintos tipos de flujo (subcrítico y supercrítico) y transición de flujo
- Comparar el flujo sobre presas de cresta Ogee con distintas salidas.

2. COMPETENCIA

Con la demostración del vertedero de perfil Ogge con dos tipos de salidas se busca desarrollar la capacidad de llevar a cabo una experimentación adecuada, analizar e interpretar los datos obtenidos, y usar criterios de la ingeniería civil para sacar conclusiones y tomar decisiones.

3. RESULTADO DE APRENDIZAJE

Demostrar el dominio del tema, comprendiendo correctamente el funcionamiento de los equipos, analizando los datos obtenidos y estableciendo conclusiones que le permitan evaluar sus conocimientos.

4. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Caída sobre presas

Las presas son un tipo de estructura de control. Se trata de elementos instalados en canales abiertos, que cumplen una o varias de las siguientes funciones:

- Elevación del nivel de agua, p.ej., para obtener una profundidad navegable suficiente o como protección de la erosión por escasas velocidades del flujo.
- Generación de un salto en el terreno para aprovechar el salto natural y generar energía mediante energía hidráulica.
- Regulación de la descarga y protección contra inundaciones, p.ej., los embalses compensan las oscilaciones estacionales del nivel del agua.
- Medición de la descarga. Las estructuras de control se diferencian en: estructuras por las que el flujo fluye por encima (presas) y estructuras por las que el flujo fluye por debajo (compuertas), o estructuras fijas y móviles.

Tipos de flujo

En la hidráulica de canales se diferencia entre dos tipos de flujo: subcrítico y supercrítico; En el flujo subcrítico el nivel de agua es más alto y el agua fluye a una velocidad más baja. Por lo contrario, en el flujo supercrítico el nivel de agua es más bajo y la velocidad del flujo mayor. Se produce una transición de flujo cuando el flujo pasa de un tipo de flujo a otro. El límite entre los dos tipos de flujo está definido por la profundidad crítica.

- Subcrítico → Supercrítico

Cuando en un canal abierto aumenta la velocidad del flujo, el nivel de agua disminuye. Cuando el nivel de agua queda por debajo de la profundidad crítica, se produce una transición de flujo de subcrítico a supercrítico. Esta transición de flujo se produce de forma continua.

- Supercrítico → Subcrítico

Si la velocidad del flujo se reduce en un canal abierto, el nivel de agua aumenta. Cuando se supera la profundidad crítica, se produce una transición de flujo de supercrítico a subcrítico. Esta transición de flujo es brusca y se denomina resalto hidráulico.

Un resalto hidráulico actúa como una barrera. Las estructuras que se encuentran detrás del resalto hidráulico en la dirección del flujo no influyen en el área del resalto hidráulico, como se muestra en la imagen 140.

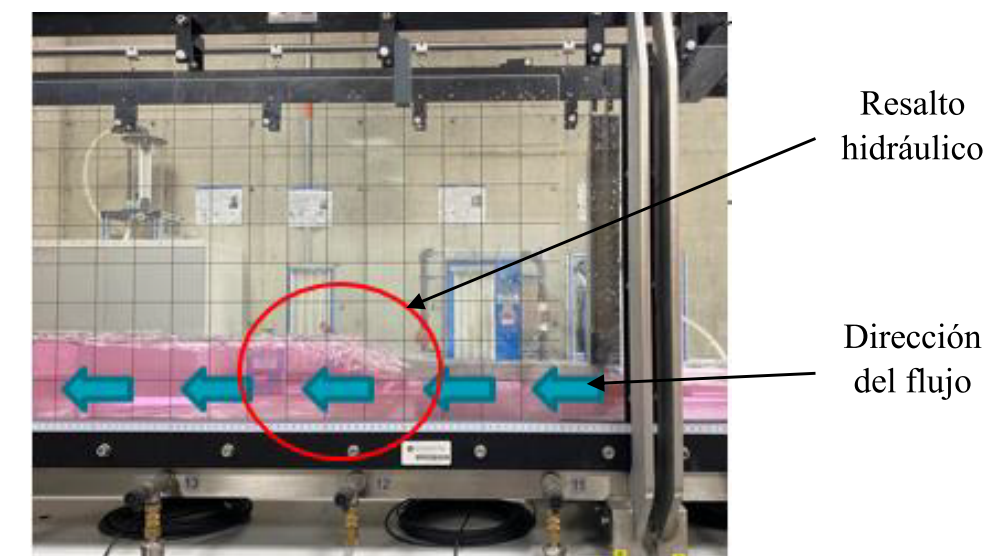


Imagen 140. Resalto hidráulico.
Fuente: Elaboración propia.

Condiciones de caída

- Caída libre

En la caída libre, el nivel de aguas abajo (h_1) no influye en el nivel de aguas arriba (h_0). El nivel de aguas abajo (h_1) suele ser inferior a la altura (h_w) de la presa. En la cresta de presa se produce una transición de flujo de subcrítico a supercrítico, como se muestra en la imagen 141. En este caso, la presa se denomina presa de rebose.



Imagen 141. Caída libre.
Fuente: Elaboración propia.

- Chorro sumergible

El nivel de aguas abajo (h_1) influye en el nivel de aguas arriba (h_0). El nivel de aguas abajo (h_1) suele ser más alto que la altura (h_w) de la presa. No se produce ninguna transición de flujo. La presa actúa como presa sumergible, como se observa en la imagen 142.

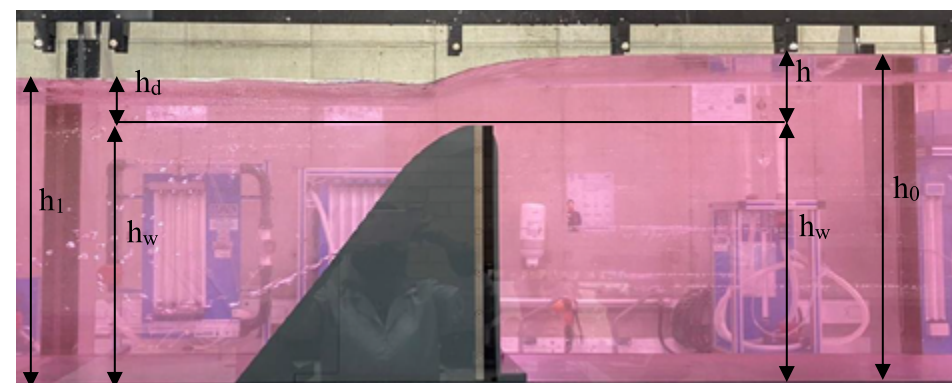


Imagen 142. Chorro sumergible.
Fuente: Elaboración propia.

Las denominaciones de «presa de rebose» y «presa sumergible» no se refieren a una forma constructiva, sino a las condiciones de la caída. Cada presa puede, por lo menos en teoría, actuar como presa de rebose y también sumergible. Sin embargo, al diseñar una presa se tiene en cuenta solo una condición de caída.

Presa de cresta ogee

Las presas de cresta ogee forman parte de las presas fijas. Son edificadas para embalsar aguas corrientes.

La presa consta en sí de un cuerpo de retención. El momento aplicado de la presión de agua es compensado por el peso de la presa. Por esta razón, las presas se suelen construirse de modo que los contornos externos correspondan aproximadamente a un triángulo, como se muestra en la imagen 143.



Imagen 143. Triángulo y cresta de presa.
Fuente: Elaboración propia.

La cresta de presa se diseña para favorecer al flujo y así lograr la descarga más grande posible. La salida de una presa puede tener formas diferentes.



Imagen 144. Salida empinada de una presa.
Fuente: Elaboración propia.

En una salida empinada, el agua fluye por la salida de la presa al fondo del agua, como se muestra en la imagen 144. Una salida de salto de esquí genera un chorro libre, que cae sobre la superficie del agua a cierta distancia de la presa, como se muestra en la imagen 145. Esta salida se utiliza para disipar energía. Teniendo en cuenta que, el fondo del agua detrás de una presa está expuesto a altas cargas debido al chorro de agua producido. Por tanto, debe fijarse o protegerse de la erosión mediante un alto nivel de agua.

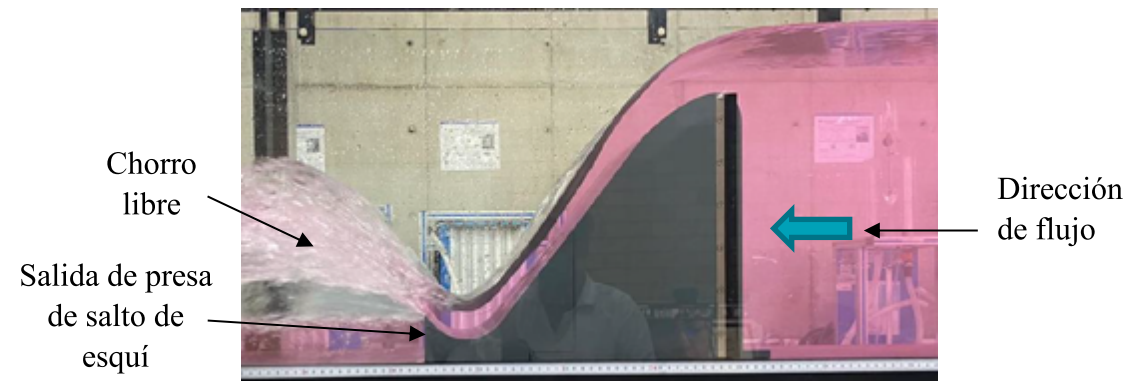


Imagen 145. Salida de salto de esquí de una presa.
Fuente: Elaboración propia.

Cálculo de la descarga

En la caída libre sobre una presa rectangular sin contracción lateral, la descarga se calcula según Poleni del modo siguiente:

$$Q = \frac{2}{3} * \mu * b_w * \sqrt{2 * g} * h^{1,5}$$

Donde,

Q= Descarga

μ = Coeficiente de vertedero (adimensional)

b_w = Anchura de la presa 0,309 (m)

g= Aceleración de gravedad 9,81

h= Altura (m)

El coeficiente de vertedero μ depende (en las presas de cresta de ogee) de la altura de la presa (h_w) y la curvatura de la napa. El coeficiente de vertedero μ es mayor si la geometría de la cresta de presa favorece más la corriente.

Tabla 46. Coeficiente de vertedero μ .

Geometría de la presa	Coeficiente vertedero μ
Presa de cresta Ogee con lado de aguas arriba vertical y lado de aguas abajo inclinado.	0,73-0,75

Fuente: Gunt Hamburg

En el chorro sumergible, el nivel de aguas abajo (h_1) influye en el nivel de aguas arriba (h_0). La descarga se calcula aquí de modo similar a la caída libre, pero se añade un coeficiente de reducción.

$$Q = c * \frac{2}{3} * \mu * b_w * \sqrt{2 * g} * h^{1,5}$$

Donde,

Q= Descarga ($\frac{m^3}{s}$)

C= coeficiente de reducción (adimensional)

μ = Coeficiente de vertedero (adimensional)

b_w = Anchura de la presa 0,309 (m)

g= Aceleración de gravedad 9,81 ($\frac{m}{s^2}$)

h= Altura (m)

El coeficiente de reducción c depende de la relación $\frac{h}{h_d}$

h_w = Altura de la presa

h= Altura

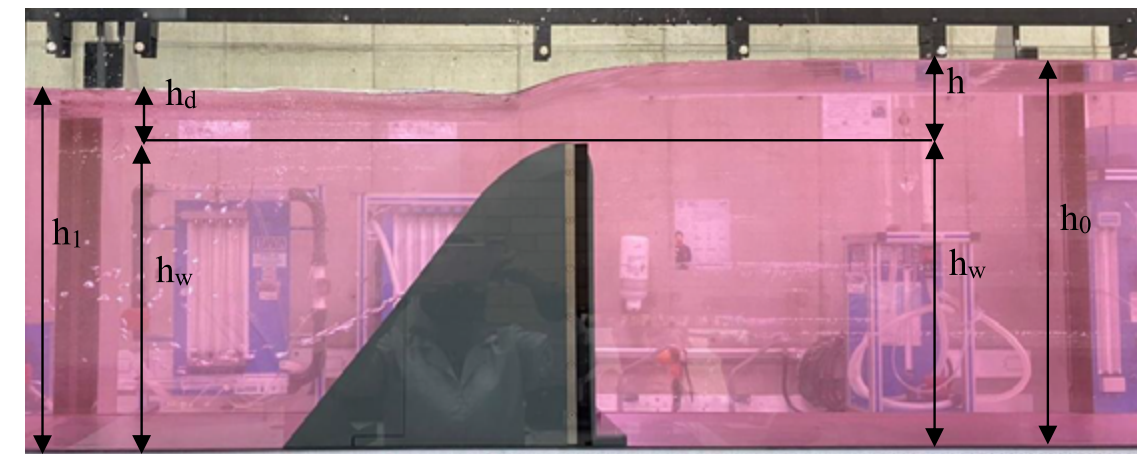
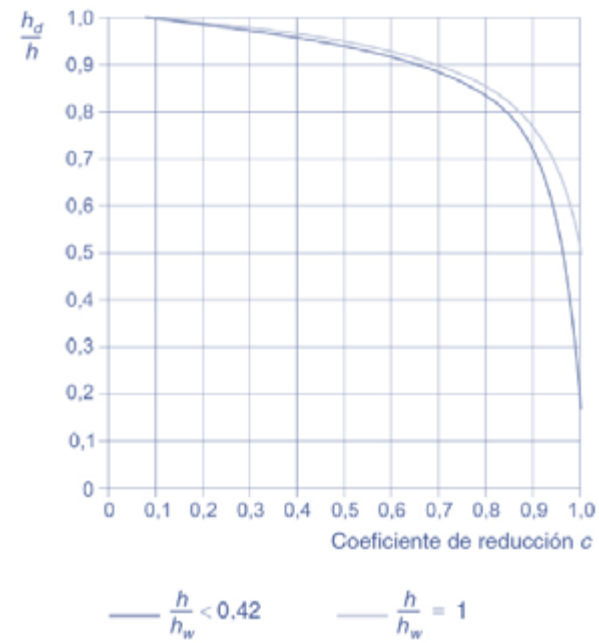


Imagen 146. Parámetros para determinar el coeficiente de reducción C.
Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 19. Coeficiente de reducción c para el chorro sumergible en presas de cresta Ogee
Fuente: Gunt Hamburg

Debe tenerse en cuenta que las presas de cresta Ogee están diseñadas para caídas libres. No se prevé que el nivel de aguas abajo (h_1) supere la altura de la presa (h_w).

5. ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

- Bata blanca
- Guantes de nitrilo
- Gafas de seguridad
- Tapabocas desechable

6. RECURSOS MATERIALES Y EQUIPOS

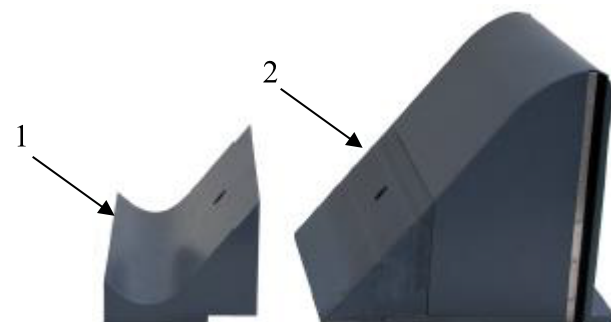


Imagen 147. Presa de cresta Ogee con 2 salidas diferentes.
Fuente: Elaboración propia.

El equipo de presa de cresta Ogee con 2 salidas diferentes, consta de los elementos que se pueden apreciar en la imagen 155, para la instalación en el canal de ensayo, donde:

- Salida de salto de esquí.
- Presa de cresta Ogee con salida empinada.

Para la realización de la práctica son necesarios los equipos expuestos en las imágenes 148, 149 y 150.



Imagen 148. Caudalímetro.
Fuente: Elaboración propia.



Imagen 149. Indicador de medición manual.
Fuente: Elaboración propia.



Imagen 150. Indicador de medición digital.
Fuente: Elaboración propia.

7. INSTALACIÓN DEL EQUIPO

1. Asegúrese de que:

- La bomba de agua del canal de ensayo esté apagada.
- No haya agua en el recorrido de medición.

2. Fije la posición de instalación de la presa en el recorrido de medición. Desmonte cada soporte para las planchas de vidrio en la parte delantera y posterior.
3. Humedezca las juntas de la presa y las paredes laterales del recorrido de medición en la posición de instalación con una esponja húmeda.
4. Coloque la presa en el recorrido de medición. Doble las juntas en la presa hacia fuera, teniendo cuidado de no girarlas demasiado.
5. Los dos orificios de la placa de la base de la presa deben estar colocados directamente sobre los orificios roscados del recorrido de medición. En caso necesario, desplace la presa ligeramente en la dirección del flujo (y no en contra).
6. Fije la presa con una arandela y un tornillo a un orificio roscado.
7. Coloque la salida deseada en la presa.
8. Fije la salida con un tornillo a un orificio roscado.
9. Monte el soporte para las planchas de vidrio en la parte delantera y posterior.
10. Hermetice la presa, en caso necesario, con pasta de modelar para las planchas de vidrio y la base del recorrido de medición.
11. Retire todos los objetos sueltos (tornillos, herramientas, etc.) del recorrido de medición.

8. PROCEDIMIENTO

Una vez se encuentre instalado el equipo se procede a realizar la práctica como se específica en la imagen 151:

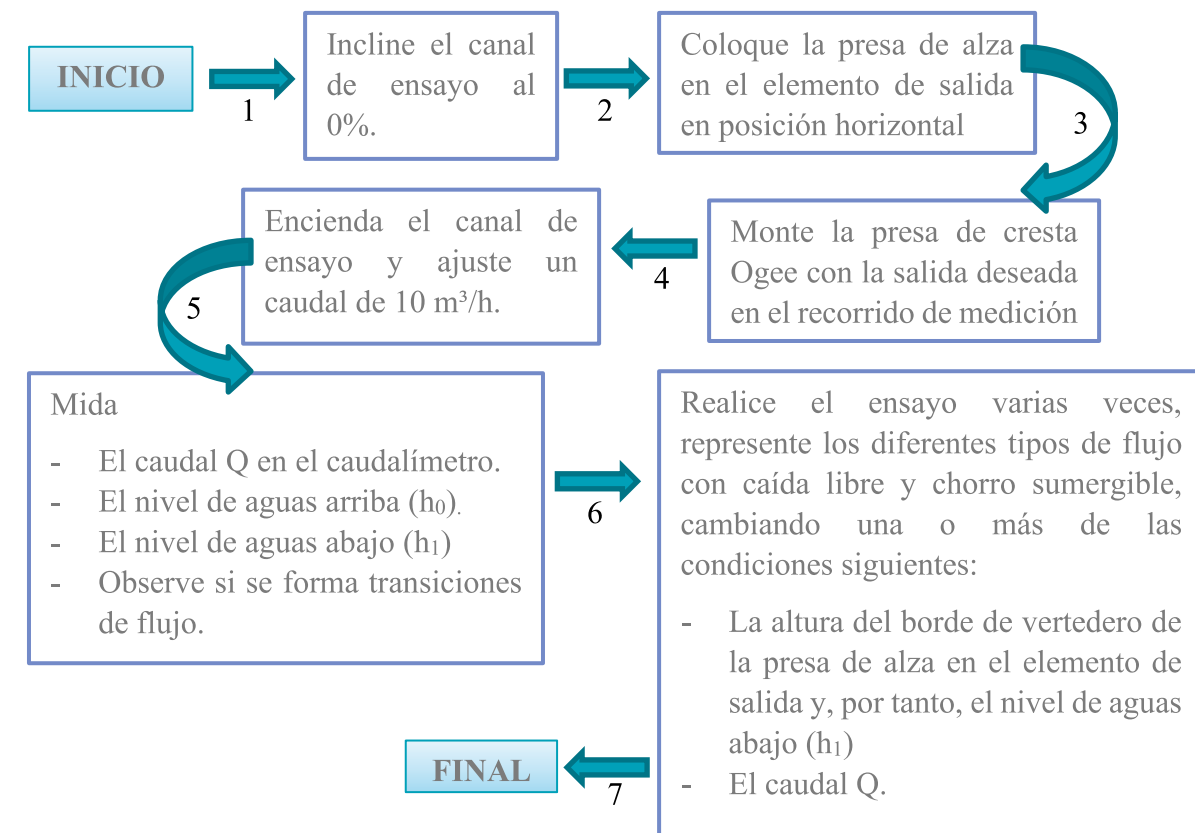


Imagen 151. Procedimiento práctica vertedero de perfil Ogee.
Fuente: Elaboración propia.

8.1 Medición niveles de agua

- Momento

Después de haber modificado el caudal u otros parámetros: espere hasta que el estado de los niveles de aguas arriba y aguas abajo y la transición de flujo sean estables. Después realice las mediciones.

- Instrumento de medición

XIX. PRÁCTICA “VERTEDERO DE SIFÓN”

A continuación se presentan los códigos QR para acceder al video ilustrativo de la práctica a trabajar.



SEMILLERO MSMRHA



SANTOTO TUNJA

1. OBJETIVO GENERAL

Determinar el coeficiente de descarga de un vertedero de sifón totalmente evacuado de manera experimental.

1.1 Objetivos específicos

- Determinar el nivel aguas arriba para distintos caudales.
- Analizar los resultados obtenidos.

2. COMPETENCIA

La práctica del vertedero de sifón busca desarrollar los fundamentos necesarios en la hidráulica de vertederos con base en una experimentación adecuada, para poder analizar e interpretar los datos obtenidos, y usar criterios de la ingeniería civil para sacar conclusiones y tomar decisiones.

3. RESULTADO DE APRENDIZAJE

Demostrar el dominio del tema, comprendiendo correctamente el funcionamiento de los equipos, analizando los datos obtenidos y estableciendo conclusiones que le permitan evaluar sus conocimientos.

4. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Un vertedero de sifón tiene una forma especial de una presa fija. La característica principal de un vertedero de sifón es el techo de sifón encima del dorso de la presa. Por esta razón se forma una tubería cerrada encima del dorso de la presa sin conexión a la atmósfera. En la parte inferior del dorso de la presa se encuentra un retallo de cebado que desvía el chorro de agua hacia el techo del sifón. Opcionalmente, el techo de sifón se puede equipar con un dispositivo de aireación como, p. ej., una compuerta.

En la imagen 152 está representado el principio hidráulico del sifón cuando es utilizado, p. ej., como vertedero de crecidas.

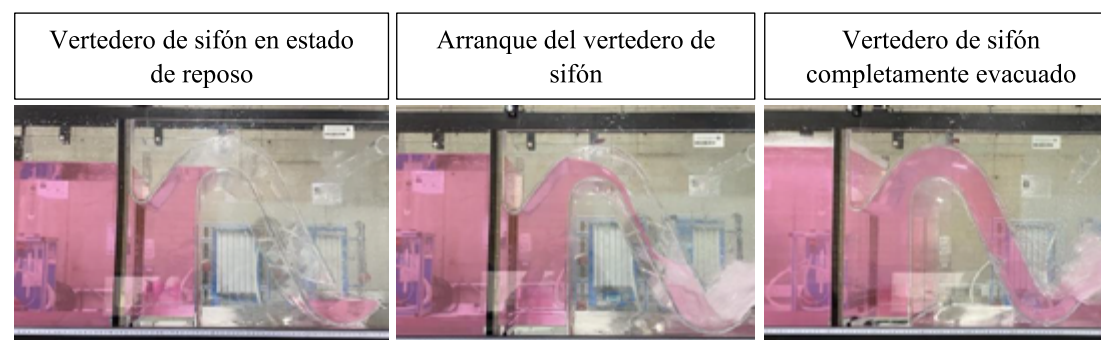


Imagen 152. Funcionamiento de un vertedero de sifón.
Fuente: Elaboración propia.

En cuanto el nivel de agua delante del vertedero de sifón sube ligeramente por encima de la cresta del cuerpo de retención, arranca el vertedero de sifón. Brevemente se convierte en un vertedero libre. En caso de un nivel de agua ligeramente

creciente, o sea en caso de una descarga ligeramente creciente, el chorro de agua es desviado por el retallo de cebado hacia el techo de sifón. Por consiguiente, el aire atrapado en la tubería de sifón es arrastrado por el agua. Esto conduce poco a poco a una evacuación de la tubería de sifón. En cuanto ya no haya aire dentro de la tubería de sifón, se produce una descarga de presión. Esta descarga de presión tiene una capacidad de descarga considerablemente más alta que en el caso de una presa con vertedero libre. Cuando el nivel de agua vuelve a caer hasta quedar por debajo del borde del labio de entrada, el aire es aspirado al interior de la tubería de sifón. Por consiguiente, el flujo de agua se corta abruptamente. Mediante la apertura de una compuerta en el techo de sifón, la descarga también se puede interrumpir en cualquier momento.

Ecuación de vertedero

Una ecuación de vertedero es la relación funcional entre la altura h y la descarga sobre la presa Q . Las ecuaciones de vertedero dependen del tipo de construcción de la presa. Todas las ecuaciones de vertedero corresponden a la forma general:

$$Q = [\dots] * \sqrt{2 * g * \mu} * h^n \quad n > 1$$

Las ecuaciones de vertedero corresponden formalmente a una función potencial. La expresión [...] varía según la forma de la presa.

Ecuación de Poleni

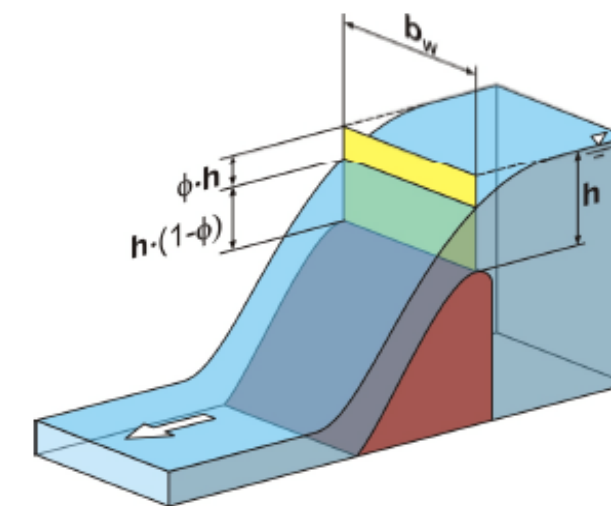


Imagen 153. Presa de cresta Ogee.
Fuente: Gunt Hamburg.

El vertedero completo sobre una presa rectangular sin contracción lateral se puede describir de forma simplificada mediante la ecuación de Poleni:

$$Q = \frac{2}{3} * b_w * \sqrt{2 * g} * (1 - \phi) * h^{1,5}$$

El parámetro ϕ es una medida de la reducción del nivel del agua sobre la cresta de presa. El término $(1 - \phi^{1,5})$ se denomina coeficiente de vertedero μ , de modo que también se puede escribir:

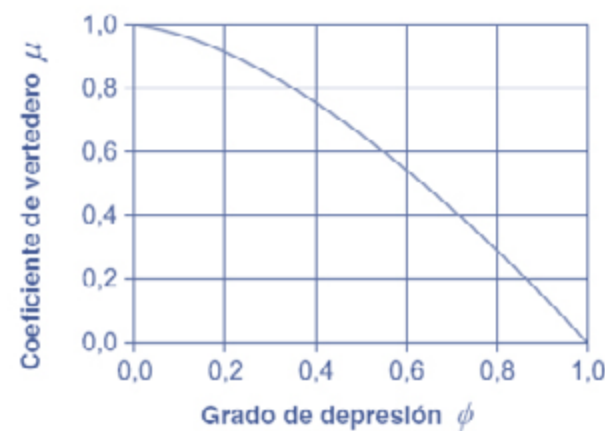
$$Q = \frac{2}{3} * b_w \sqrt{2 * g * \mu * h^{1,5}}$$

Coefficiente de vertedero

El coeficiente de vertedero es una medida de la influencia de la presa en la descarga. Esto se observa en la depresión del nivel del agua sobre la cresta de presa. Con base a la ecuación de Poleni, entre el coeficiente de vertedero μ y el grado de depresión ϕ se aplica la siguiente relación:

$$\mu = 1 - \phi^{1,5}$$

Esta relación se representa gráficamente en la gráfica 20. Se observa que el coeficiente de vertedero se reduce con la depresión creciente del nivel del agua. Con la altura de vertedero (h) dada, la descarga aumenta linealmente sobre la presa con el coeficiente de vertedero. La descarga sobre una presa es mayor, cuanto menor sea la influencia de la presa.



Gráfica 20. Coeficiente de vertedero. Fuente: Gunt Hamburg.

El coeficiente de vertedero depende principalmente de la geometría de la presa. En la imagen 154 se indican valores orientativos para algunas formas de presa.

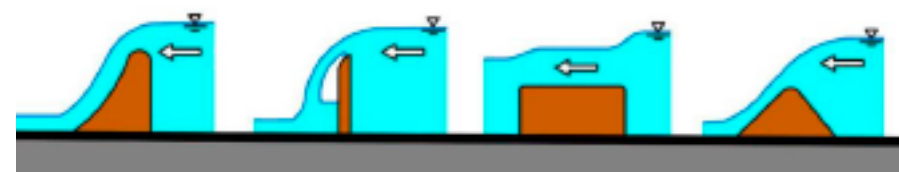


Imagen 154. Valores orientativos para coeficientes de vertedero. Fuente: Elaboración propia.

Ecuación de vertedero para vertederos de sifón

Cuando el flujo circula por la tubería de sifón este va estar a presión, siempre y cuando la evacuación del flujo sea completa y para este caso se aplica la siguiente ecuación:

$$Q = a * b_w * \mu^* * \sqrt{2 * g * h^*}$$

Al despejar el coeficiente de descarga la ecuación queda de la siguiente manera:

$$\mu^* = \frac{Q}{3600 \frac{s}{h} * a * b_w * \sqrt{2 * g * h^*}}$$

La altura de la caída de la tubería de sifón (h^*) se calcula de la siguiente manera para luego reemplazar en la ecuación anterior.

$$h^* = h_o - 0,085$$

Donde,

Q = Caudal que circula por la tubería ($\frac{m^3}{s}$)

a= Altura de la tubería de sifón de 0,060 (m)

b_w = Anchura de la tubería de sifón de 0,284 (m)

μ^* = Coeficiente de descarga adimensional

g = Constante de la gravedad 9,81 ($\frac{m}{s^2}$)

h^* Altura de caída de la tubería de sifón en (m)

h_o = Nivel aguas arriba en (m)

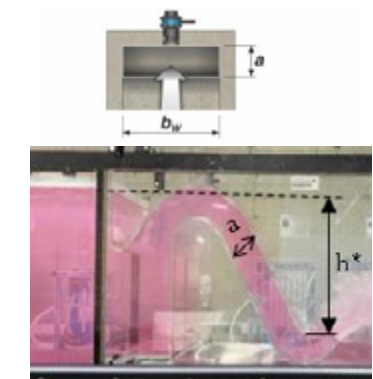


Imagen 155. Variables vertedero de sifón Fuente: Elaboración propia.

El coeficiente de descarga o vertedero μ^* es una medida de la influencia de la presa en la descarga, el cual se puede calcular de manera teórica con la siguiente ecuación:

$$\mu^* = \left(\sqrt{\lambda * \frac{l}{d_{hy}} + K_m} \right)^{-1}$$

Donde,

μ^* = Coeficiente de descarga adimensional puede tomar valores de 0,6 a 0,8.

λ = Coeficiente de resistencia adimensional

d_{hy} = Diámetro hidráulicamente equivalente (m)

l = Longitud de la tubería de sifón (m)

K_m = Coeficiente de pérdida adimensional

5. Elementos de protección personal

- Bata blanca
- Guantes de nitrilo
- Gafas de seguridad
- Tapabocas desechable

6. RECURSOS MATERIALES Y EQUIPOS

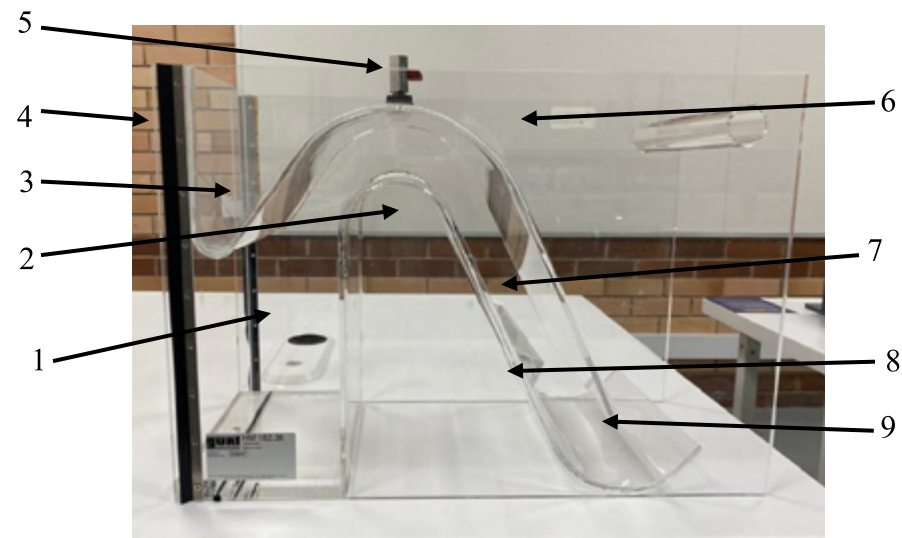


Imagen 156. Vertedero de sifón HM 162.36
Fuente: Elaboración propia.

El vertedero de sifón HM 162.36 consta de los elementos que se puede apreciar en la imagen 156, para la instalación en el canal de ensayo HM 162. Donde:

1. Área de entrada
2. Cresta de presa
3. Borde de entrada
4. Orificio de fijación
5. Dispositivo de aireación (opcional)
6. Techo de sifón
7. Tubería de sifón
8. Retallo de cebado
9. Área de salida

Para la realización de la práctica son necesarios los equipos expuestos en las imágenes 157 y 158.



Imagen 157. Indicador de medición manual.
Fuente: Elaboración propia.



Imagen 158. Indicador de medición digital.
Fuente: Elaboración propia.

7. INSTALACIÓN DEL EQUIPO

1. Asegúrese de que la bomba de agua del canal de ensayo esté apagada y no haya agua en el recorrido de medición.
2. Coloque el recorrido de medición en posición horizontal con ayuda del ajuste de inclinación manual o sistemático.
3. Fije la posición de la presa en el recorrido de medición. El tramo entre el comienzo del recorrido de medición y la presa debe ser de 50 cm como mínimo.
4. Retire en esta área dos soportes de cada lado del recorrido de medición.
5. Humedezca las caras interiores de las paredes laterales de la zona respectiva del recorrido de medición.
6. Humedezca las juntas de goma exteriores del vertedero de sifón.
7. Coloque el vertedero de sifón en el recorrido de medición. Tenga en cuenta la dirección del flujo (flecha). Doble las juntas de goma laterales hacia fuera. Las juntas no se deben torcer y deben quedar apoyadas en las paredes laterales del recorrido de medición.
8. Coloque el vertedero de sifón de tal modo que el orificio de fijación en la placa base se encuentre exactamente sobre un orificio roscado en la base del recorrido de medición.
9. Fije el vertedero de sifón con el tornillo al recorrido de medición.
10. Vuelva a montar los soportes en las paredes laterales.
11. Asegúrese de que no se encuentren objetos sueltos (p. ej., tornillos, herramientas, etc.) en el recorrido de medición.
12. Cierre el grifo de aireación ubicado en la parte superior de la cresta de la presa.
13. El canal ya está listo para empezar con la práctica.

8. PROCEDIMIENTO

Una vez se encuentre instalado el equipo se procede a realizar la práctica como se especifica en la imagen 159:

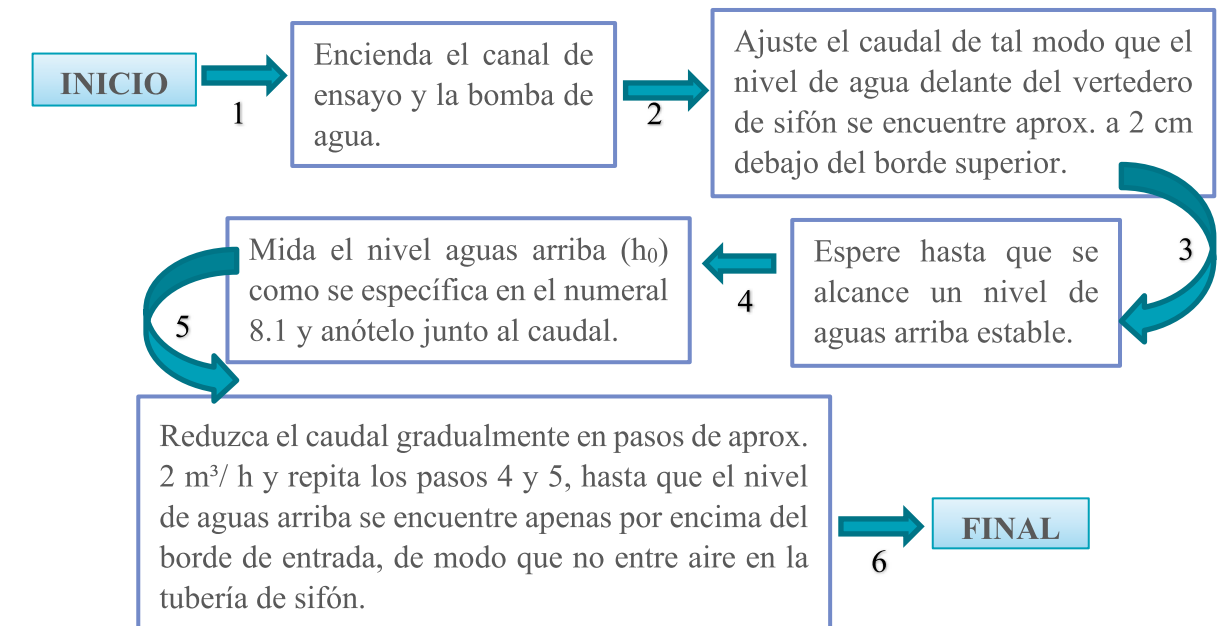


Imagen 159. Procedimiento práctica vertedero de sifón.
Fuente: Elaboración propia.

1.2 Medición niveles de agua

- Momento

Después de haber modificado el caudal u otros parámetros: espere hasta que el estado de los niveles de aguas arriba y aguas abajo y la transición de flujo sean estables. Después realice las mediciones.

- Instrumento de medición

Para los ensayos necesita un instrumento para la medición de niveles de agua, p.ej., el indicador del nivel de agua. La precisión del instrumento debería ser de 1 mm.

- Puesta a cero

Los niveles de agua deberían relacionarse con la base del recorrido de medición. Coloque el indicador del nivel de agua de modo que el borde superior de la base del recorrido de medición tenga una altura de 0 mm.

- Nivel de aguas arriba h_0

La distancia (L_0) entre el punto de medición y la presa debe ser como mínimo 3 veces la altura h . A esta distancia la altura h no se ve influida por la presa.

XX. PRÁCTICA “ELEMENTOS DE LA DISIPACIÓN DE ENERGÍA”

A continuación se presentan los códigos QR para acceder al video ilustrativo de la práctica a trabajar.



SEMILLERO MSMRHA



SANTOTO TUNJA

1. OBJETIVO GENERAL

Demostración del flujo con elementos de disipación de energía.

1.2 Objetivos específicos

- Demostrar si el resalto hidráulico se encuentra en el cuenco de disipación.
- Demostrar si el cuenco de disipación es lo más corto posible.
- Demostrar la disipación de energía con los diferentes elementos.

2. COMPETENCIA

Con la demostración de los elementos de la disipación de energía se busca desarrollar la capacidad de llevar a cabo una experimentación adecuada, analizar e interpretar los datos obtenidos, y usar criterios de la ingeniería civil para sacar conclusiones y tomar decisiones.

3. RESULTADO DE APRENDIZAJE

Demostrar el dominio del tema, comprendiendo correctamente el funcionamiento de los equipos, analizando los datos obtenidos y estableciendo conclusiones que le permitan evaluar sus conocimientos.

4. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Disipación de energía detrás de una presa

La descarga detrás de una presa tiene una alta energía de flujo, que puede provocar erosión en la base del canal. Por esta razón, la energía excedente debe disiparse. Esto se puede realizar mediante:

- Una salida de salto de esquí en la presa. Esta salida genera un chorro libre, que cae sobre la superficie del agua a cierta distancia de la presa.
- Escarificador de chorro en el dorso de la presa. La napa aumenta por el escarificador de chorro.
- El resalto hidráulico, es decir, la transición de descarga de tiro a descarga corriente.
- Un cuenco de disipación.

Cuenco de disipación

Un cuenco de disipación es una cuenca colectora detrás de una presa. Los cuencos de disipación tienen las funciones siguientes:

- Estabilización del resalto hidráulico en un lugar definido. El resalto hidráulico debe «retenerse» en el cuenco de disipación fuertemente anclado y no desplazarse a las aguas abajo con base sujeta a la erosión.
- Disipación de energía cinética y potencial excedente del agua a energía térmica y energía acústica.

- Protección del fondo del agua de la erosión y formación de socavación. Para ello, el cuenco de disipación está fuertemente anclado, normalmente con hormigón.

Los cuencos de disipación suelen estar excavados. Si no fuera posible, se construyen umbrales de salida para estabilizar el resalto hidráulico. Mediante el montaje de otros obstáculos, p.ej., umbrales dentados, se puede fomentar la disipación de energía en el cuenco de disipación y acortar la longitud del cuenco de disipación.

- Cuenco disipador de diseño generalizado. En trabajos importantes o es aquellos que involucran un gran número de cuenco disipadores, a menudo se necesitan diseños generalizados de los cuencos por razones económicas y para cumplir requerimientos específicos. Estos diseños pueden desarrollarse a través de años de experiencia y observaciones sobre estructuras existentes, o mediante investigaciones en modelo, o ambos. Los cuencos diseñados de esta manera a menudo están provistos de accesorios especiales, incluidos bloques de rápida, umbrales y pirales deflectores.

Los bloques en la rápida se utilizan para conformar una estructura dentada a la entrada del cuenco disipador. Su función es a partir el chorro de entrada y elevar una parte del desde el piso, produciendo una longitud de resalto más corta que la que sería posible sin ellos. Estos bloques también tienden a estabilizar el resalto y por consiguiente a mejorar su comportamiento, como se observa en la imagen 160.

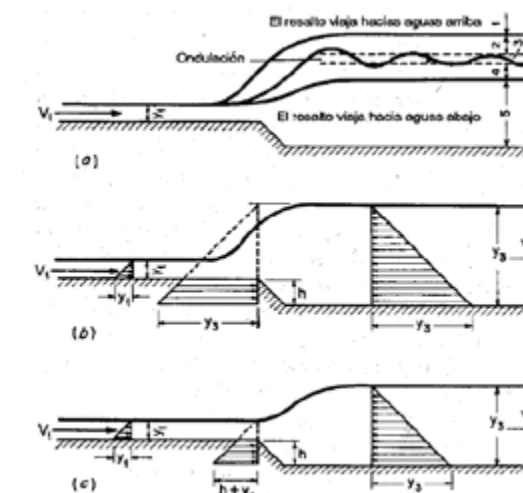


Imagen 160. Relaciones experimentales y analítica entre F , y_3/y_1 y h/y_1 , para una caída abrupta.
Fuente: Hidráulica de canales.

Los umbrales dentados, o sólidos, a menudo se colocan al final del cuenco disipador. Su función es reducir además la longitud del resalto y controlar la socavación. Para cuencos grandes diseños para altas velocidades de entrada, el umbral por lo general es dentado para llevar a cabo la función adicional de difundir la parte resi-

dual del chorro de alta velocidad que puede alcanzar el extremo del cuenco. Los pilares deflectores son bloques localizados en posiciones intermedias sobre el piso del cuenco.

Su función es disipar la energía principalmente mediante una acción de impacto. Los bloques deflectores son muy útiles en pequeñas estructuras con velocidades de entrada bajas. Sin embargo, no son recomendables cuando las altas velocidades hacen posible la cavitación. En ciertas circunstancias, deben diseñarse para soportar el impacto de hielo o desechos flotantes. Existen muchos diseños generalizados de cuencos disipadores que utilizan un resalto hidráulico como medio para la disipación de energía.

Son tres diferentes cuencos, los cuales son: 1. El cuenco SAF. Se recomienda para ser utilizado en estructuras pequeñas de vertederos, obras de salida y canales donde $F_1 = 1.7$ a 17 . La reducción en la longitud del cuenco conseguida por el uso de accesorios diseñado para el mismo es de alrededor del 80% (70% a 90%) 2. El cuenco USBR II. Se recomienda para ser utilizado en estructuras grandes de vertederos, canales, etc., donde $F_1 > 4.5$. La longitud del resalto y del cuenco se reduce alrededor del 33% mediante el uso de accesorios. 3. El cuenco USBR IV. Se recomienda para ser utilizado con resaltos de $F = 2.5$ a 4.5 , lo cual a menudo ocurre en estructuras de canal y en presas de derivación. Este diseño reduce las ondas excesivas creadas en resaltos imperfectos. Nótese que estos diseños sólo son ejemplos comunes y debe tenerse cuidado al utilizarlos en aplicaciones de cuencos disipadores en condiciones de diseño completamente diferentes.

El principio del cuenco disipador también se aplica al diseño de una caída de canal (o descenso de canal), la cual es una estructura construida para asegurar un descenso en la superficie del agua de un canal y una destrucción segura de la energía liberada de esta manera. La caída del canal algunas veces se diseña con un ancho contraído parecido al de la canaleta Parshall, y se conoce como caída contraída, la cual puede construirse a bajo costo en conjunto con un puente y funciona también como un medidor o regulador.

- Cuenco disipador SAF. Este cuenco proviene del inglés San Anthony Falls, Cataratas de san Antonio) se desarrolló en el Laboratorio de Hidráulica San Anthony Falls, en la Universidad de Minnesota, para ser utilizado en pequeñas estructuras de drenaje, como las construidas por el Servicio de Conservación de Suelos de EE. UU. Las reglas de diseño resurgidas por el investigador Blaisdell son como se observa en la imagen 161:

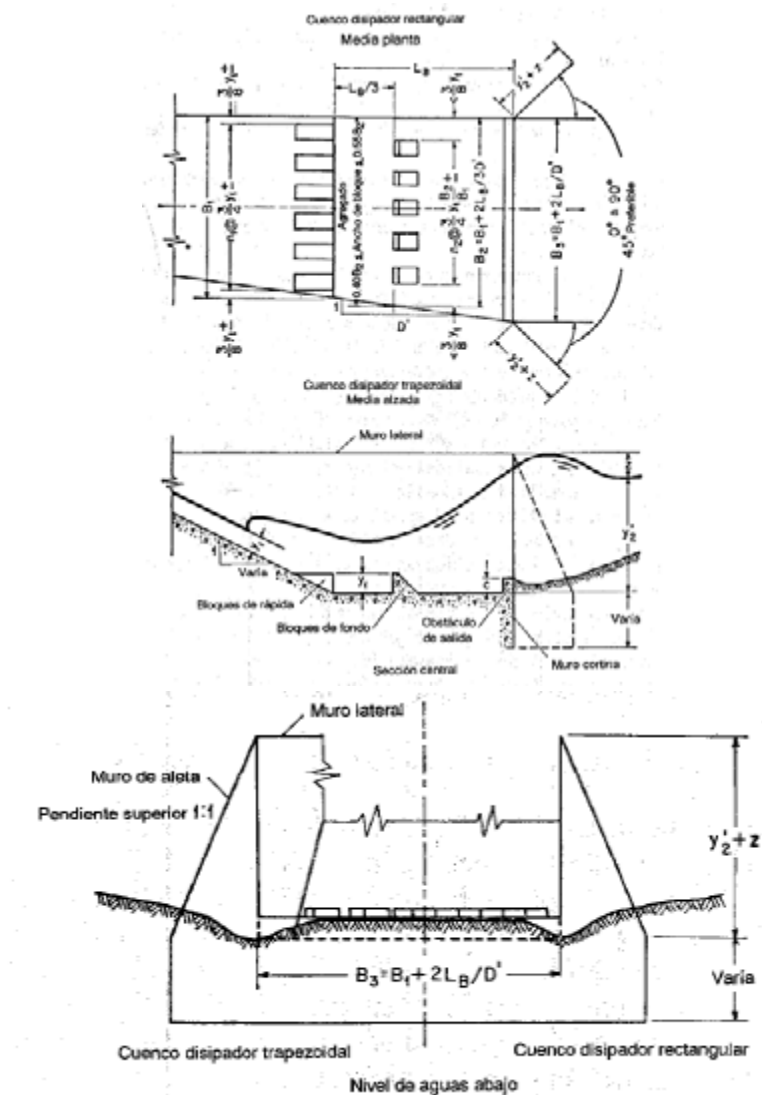


Imagen 161. Dimensiones del cuenco SAF.

Fuente: Hidráulica de canales abiertos, HUBERT CHANSON.

- Cuenco disipador USBR II. El cuenco USBR I lo origina un resalto hidráulico que ocurre en un piso plano sin ningún accesorio, y puede diseñar con facilidad siguiendo los principios descritos en las secciones iniciales de este capítulo. Sin embargo, tal cuenco por lo general es muy práctico, debido a que su longitud lo hace costoso y a su falta de control. El cuenco USBR III se diseña para un propósito similar al del cuenco SAF, pero un factor de seguridad mayor, ajustado a las necesidades del Bureau. El comportamiento de este cuenco indica que su longitud y el resalto pueden reducirse alrededor del 60%, con accesorios en comparación con el 80% para el cuenco SAF. Por consiguiente, el cuenco SAF es más corto y más económico, pero menos seguro. El cuenco USBR II se desarrolló para cuencos disipadores de uso común en vertederos de presas altas y de presas de tierra y para estructuras de canales grandes. El cuenco contiene bloques

en la rápida del extremo de aguas arriba y un umbral dentado cerca del extremo de aguas abajo. No se utilizan bloques de impacto debido a que las velocidades relativamente altas que entran al resalto pueden causar cavitación en dichos bloques, como se observa en la imagen 162.

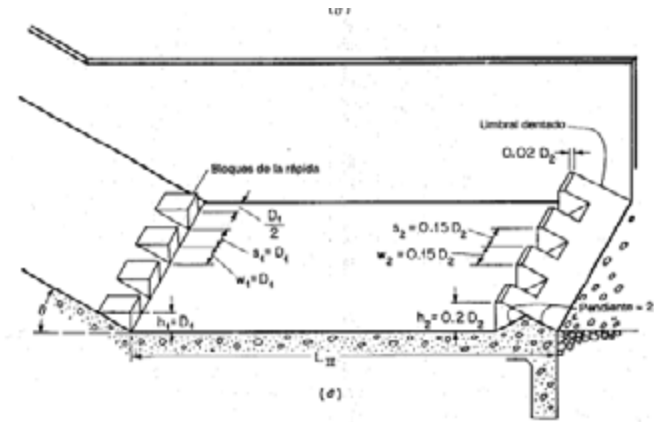


Imagen 162. Dimensiones del cuenco disipador USBR II.
Fuente: Hidráulica de canales abiertos, HUBERT CHANSON.

- Cuenco disipador USBR IV: Cuando $F = 2.5$ a 4.5 , se producirá un resalto oscilante en el cuenco disipador, el cual genera una onda que es difícil de atenuar. El cuenco USBR IV se diseña para combatir este problema eliminando la onda en su fuente. Esto se lleva a cabo intensificando el remolino, que aparece en la parte superior del resalto, con los chorros direccionales deflactados utilizando grandes bloques en la rápida cuyo número mínimo requerido para este propósito se muestra en la imagen. Para un comportamiento hidráulico mejor, es conveniente construir estos bloques más angostos que lo indicado, preferiblemente con un ancho igual a $0.75 D_1$, y fijar la profundidad de salida, de tal manera que sea un 5% a 10% mayor que la profundidad se cuente del resalto. La longitud del cuenco se hace igual a la del resalto en un cuenco disipador horizontal sin accesorios. El cuenco IV sólo se utiliza en las secciones transversales rectangulares, como se observa en la imagen 163.

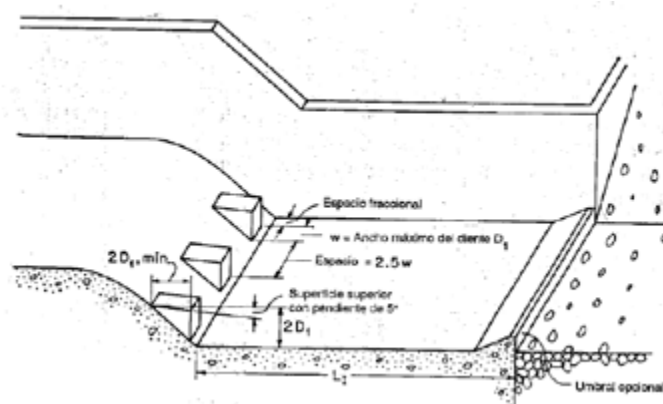


Imagen 163. Dimensiones del cuenco disipador USBR IV.
Fuente: Hidráulica de canales abiertos, HUBERT CHANSON.

5. ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

- Bata blanca
- Guantes de nitrilo
- Gafas de seguridad
- Tapabocas desechable

6. RECURSOS MATERIALES Y EQUIPOS

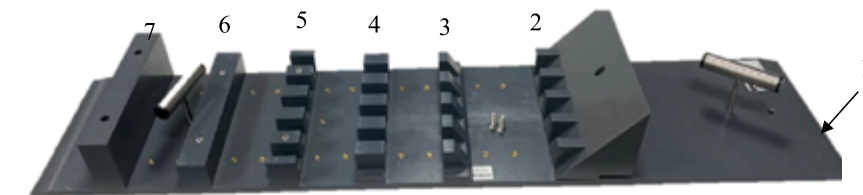


Imagen 164. Equipo de demostración pérdidas por energía.
Fuente: Elaboración propia.

El equipo de demostración pérdidas por energía consta de los elementos que se pueden apreciar en la imagen 164, para la instalación en el canal de ensayo, donde:

1. Placa base
2. Escarificador de chorro
3. Umbral dentado triangular
4. Umbral dentado cuadrado, primera fila
5. Umbral dentado cuadrado, segunda fila
6. Umbral de salida bajo
7. Umbral de salida alto

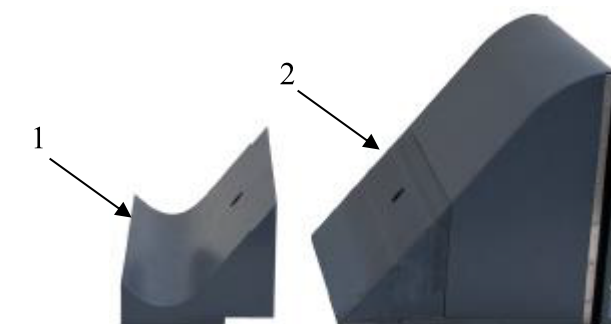


Imagen 165. Presa de cresta Ogee con 2 salidas diferentes.
Fuente: Elaboración propia.

El equipo de presa de cresta Ogee con 2 salidas diferentes, consta de los elementos que se pueden apreciar en la imagen 173, para la instalación en la placa base del equipo de elementos de disipación de la energía, donde:

8. Salida de salto de esquí.
9. Presa de cresta Ogee con salida empinada.

Para la realización de la práctica son necesarios los equipos expuestos en las imágenes 166, 167 y 168.



Imagen 166. Caudalímetro.
Fuente: Elaboración propia.



Imagen 167. Indicador de medición manual.
Fuente: Elaboración propia.



Imagen 168. Indicador de medición digital.
Fuente: Elaboración propia.

7. INSTALACIÓN DEL EQUIPO

Se necesita:

- Presa-vertedero de perfil Ogee con 2 tipos de salidas
- Elementos para la disipación de energía

1. Asegúrese de que:

- La bomba de agua del canal de ensayo esté apagada
- No haya agua en el canal de ensayo.

2. Fije la posición de instalación de la placa base en el canal de ensayo. Desmunte los 3 soportes adyacentes para las planchas de vidrio en la parte delantera y posterior.
3. Coloque la placa base en el canal de ensayo. Observe la dirección del flujo y la posición de los orificios en la placa base.
4. Monte la presa de cresta Ogee en la placa base (véase el manual de experimentos. Resulta práctico utilizar el orificio más a la derecha. Monte después:

- una salida de la presa, véase el manual de experimentos.
 - el escarificador de chorro de los accesorios con un tornillo en la placa base.
5. Monte uno o varios umbrales de salida o dentados a la placa base con 2 tornillos cada uno, como se observa en la imagen 176. Para ello, hay orificios en la placa base a una distancia de 5 cm entre sí.
 6. Monte el soporte para las planchas de vidrio en la parte delantera y posterior.
 7. Retire todos los objetos sueltos (tornillos, herramientas, etc.) del recorrido de medición.



Placa base Umbral de salida bajo Umbral dentado triangular Escarificador de chorro Presa de cresta Ogee

Imagen 169. Montaje del equipo de demostración pérdidas por energía.

Fuente: Elaboración propia.

8. PROCEDIMIENTO

Una vez se encuentre instalado el equipo se procede a realizar la práctica como se especifica en la imagen 170:

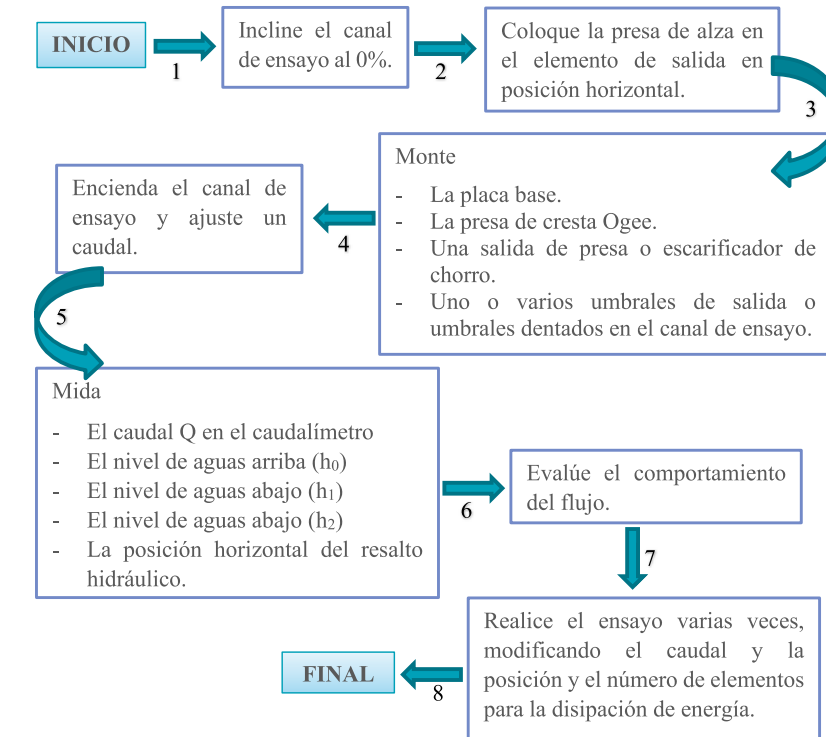


Imagen 170. Procedimiento práctica elementos de la disipación de la energía.

Fuente: Elaboración propia.

8.1 Medición niveles de agua

- Momento

Después de haber modificado el caudal u otros parámetros: espere hasta que el estado de los niveles de aguas arriba y aguas abajo y la transición de flujo sean estables. Después realice las mediciones.

- Instrumento de medición

Para los ensayos necesita un instrumento para la medición de niveles de agua, p.ej., el indicador del nivel de agua. La precisión del instrumento debería ser de 1 mm.

- Puesta a cero

Los niveles de agua deberían relacionarse con la base del recorrido de medición. Coloque el indicador del nivel de agua de modo que el borde superior de la base del recorrido de medición tenga una altura de 0mm.

XXI. PRÁCTICA “BOX CULVERT (DESCARGA DE LIBRE)”

A continuación se presentan los códigos QR para acceder al video ilustrativo de la práctica a trabajar.



SEMILLERO MSMRHA



SANTOTO TUNJA

1. OBJETIVO GENERAL

Analizar los diferentes escenarios de descarga en una obra de paso parcialmente llena o completamente llena.

1.1 Objetivos específicos

- Entender el comportamiento del flujo en un canal abierto cuando coexiste una obra de paso en la sección transversal del flujo.
- Analizar los resultados obtenidos.

2. Competencia

La práctica de box culvert busca desarrollar los fundamentos necesarios en la hidráulica de canales con base en una experimentación adecuada, para poder analizar e interpretar los datos obtenidos, y usar criterios de la ingeniería civil para sacar conclusiones y tomar decisiones.

3. RESULTADO DE APRENDIZAJE

Demostrar el dominio del tema, comprendiendo correctamente el funcionamiento de los equipos, analizando los datos obtenidos y estableciendo conclusiones que le permitan evaluar sus conocimientos.

4. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

El canal hidráulico dispone de dos tipos de obras de paso o box culvert: una circular y otra rectangular con áreas transversales iguales. Estas estructuras permiten la conducción de fluidos de un lado a otro, por lo general debajo de carreteras y líneas de ferrocarril.

Tipos de flujo

En la hidráulica de canales se diferencia entre dos tipos de flujo: subcrítico y supercrítico; En el flujo subcrítico el nivel de agua es más alto y el agua fluye a una velocidad más baja. Por el contrario, en el flujo supercrítico el nivel de agua es más bajo y la velocidad del flujo mayor. Se produce una transición de flujo cuando el flujo pasa de un tipo de flujo a otro. El límite entre los dos tipos de flujo está definido por la profundidad crítica.

- Subcrítico → Supercrítico

Cuando en un canal abierto aumenta la velocidad del flujo, el nivel de agua disminuye. Cuando el nivel de agua queda por debajo de la profundidad crítica, se produce una transición de flujo de subcrítico a supercrítico. Esta transición de flujo se produce de forma continua.

- Supercrítico → Subcrítico

Si la velocidad del flujo se reduce en un canal abierto, el nivel de agua aumenta. Cuando se supera la profundidad crítica, se produce una transición de flujo de supercrítico a subcrítico. Esta transición de flujo es brusca y se denomina resalto hidráulico.

Un resalto hidráulico actúa como una barrera. Las estructuras que se encuentran detrás del resalto hidráulico en la dirección del flujo no influyen en el área del resalto hidráulico, como se muestra en la imagen 171.

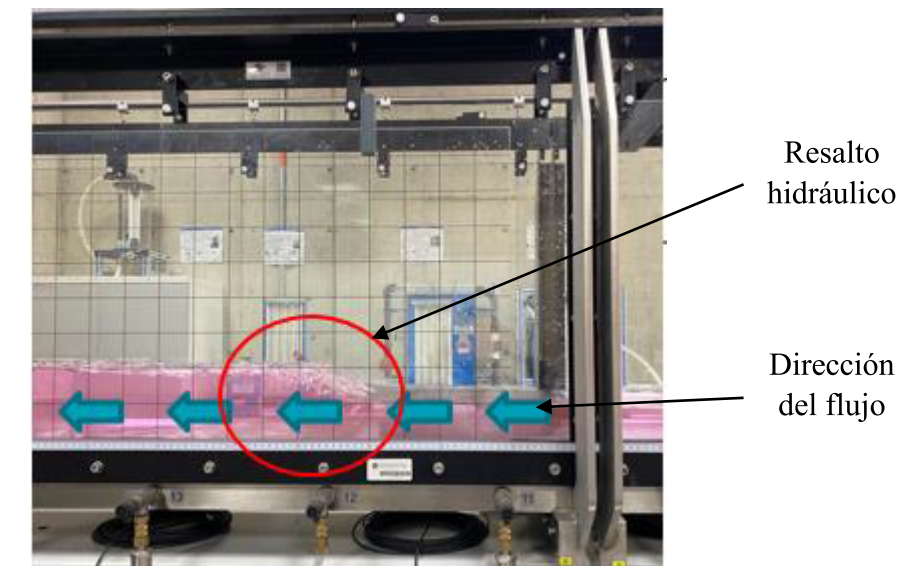


Imagen 171. Resalto hidráulico.
Fuente: Elaboración propia.

Tipos de descarga: En un canal abierto existen 2 tipos de descarga:

- Descarga libre: Se caracteriza porque el agua fluye libremente por encima de la estructura o presa, de igual manera, el nivel aguas arriba no afecta el nivel aguas abajo como se observa en la imagen 172.

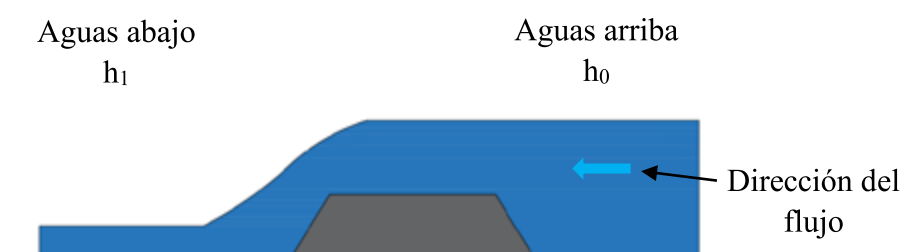


Imagen 172. Descarga libre.
Fuente: Elaboración propia.

- Descarga de remanso: Se caracteriza porque el nivel de aguas abajo afecta el nivel aguas arriba, como se observa en la imagen 173.

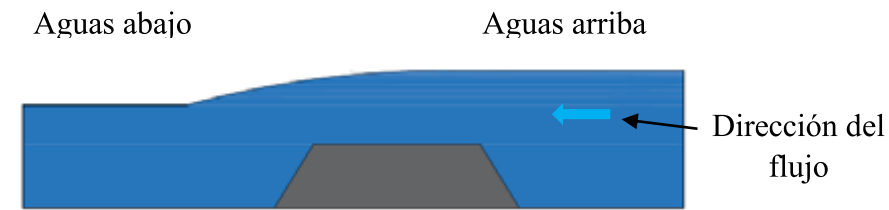


Imagen 173. Descarga de remanso.
Fuente: Elaboración propia.

Función de las obras de paso

Las obras de paso son estructuras de cruce en aguas corrientes como se observa en la imagen 174. Permiten el paso de aguas corrientes de un lado de una estructura hacia el otro lado sin necesidad de bombas. La entrada y la salida de la obra de paso se encuentran a la altura del fondo del agua.

Las obras de paso se encuentran mayormente debajo de vías o líneas de ferrocarril. Estas pueden tener diferentes contornos: circular, rectangular, arqueado, etc. Siempre provocan un estrechamiento de las aguas, formando, por lo tanto, obstáculos en el cauce de las aguas.

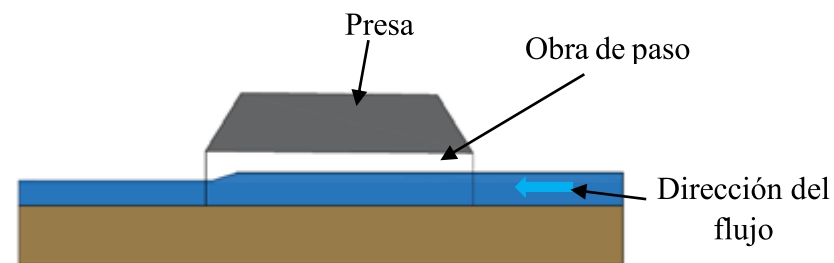


Imagen 174. Obra de paso o box culvert.
Fuente: Elaboración propia.

Escenarios de descarga en obras de paso

Dependiendo del nivel de agua en una obra de paso, se contemplan los estados representados en las imágenes.

- Las obras de paso parcialmente llenas pertenecen a los canales abiertos, ya que tienen una superficie de agua libre como en la imagen 175.



Imagen 175. Obra de paso parcialmente llena (canal abierto).
Fuente: Elaboración propia.

- Las obras de paso completamente llenas como en la imagen 176, sin embargo, son canales cerrados (tuberías).



Imagen 176. Obra de paso completamente llena (canal cerrado).
Fuente: Elaboración propia.

En las obras de paso se diferencian varios escenarios de descarga. Los siguientes puntos son de importancia en esta diferenciación:

- ¿Está la entrada de la obra de paso parcialmente llena o represada?
- ¿Está la obra de paso parcialmente o completamente llena?
- ¿Está la salida de la obra de paso parcialmente o completamente llena? ¿Se trata de una descarga libre o de remanso?

En las siguientes imágenes se muestran cuatro escenarios de descarga a modo de ejemplo.

Escenario de descarga A

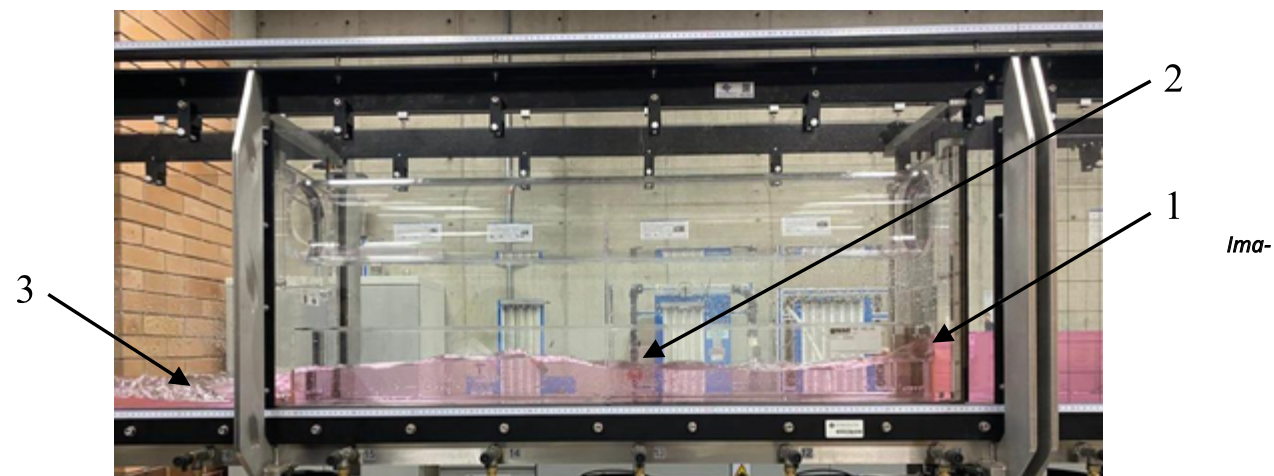


Imagen 177. Escenario de descarga A
Fuente: Elaboración propia.

1. La entrada está parcialmente llena.
2. La obra de paso está parcialmente llena.
3. La salida está parcialmente llena.

Escenario de descarga B

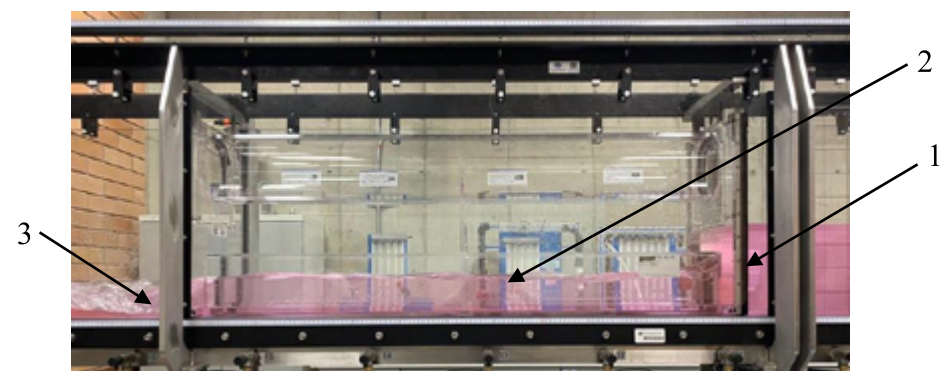


Imagen 178. Escenario de descarga B.
Fuente: Elaboración propia.

1. La entrada está represada.
2. La obra de paso está parcialmente llena.
3. La salida está parcialmente llena.

Escenario de descarga C:

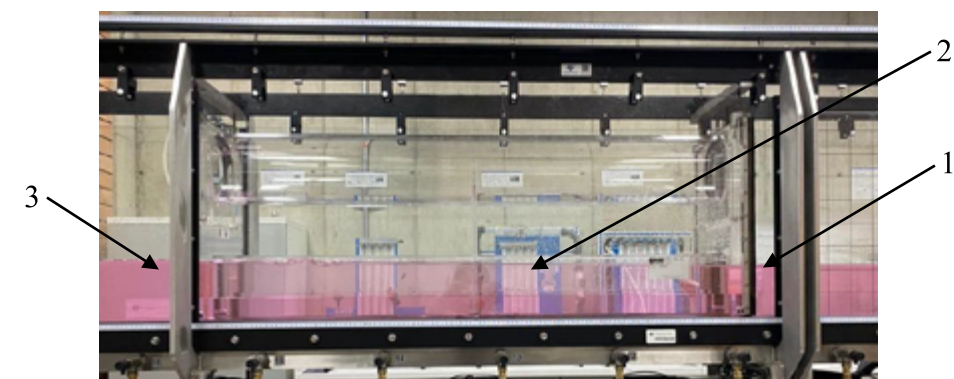


Imagen 179. Escenario de descarga C.
Fuente: Elaboración propia.

- La entrada está represada.
- La obra de paso está completamente llena.
- La salida está completamente llena con descarga libre.

Escenario de descarga D:

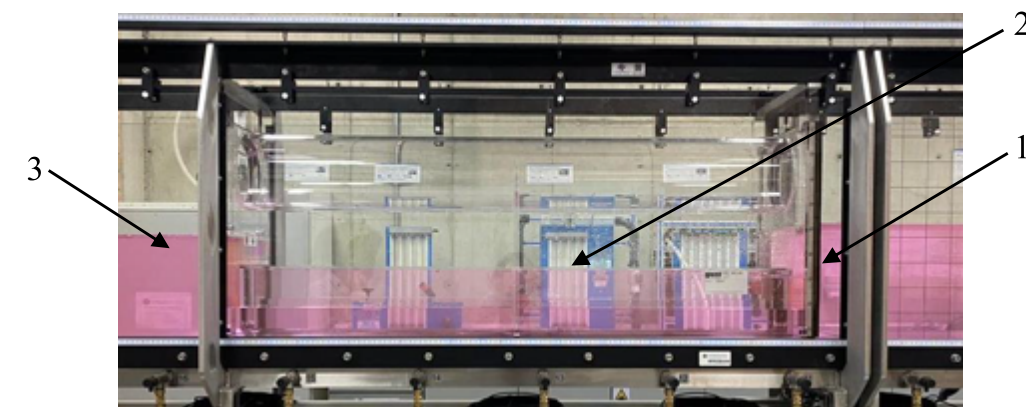


Imagen 180. Escenario de descarga D.
Fuente: Elaboración propia.

- La entrada está represada.
- La obra de paso está completamente llena.
- La salida está completamente llena con descarga de remanso.

5. ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

- Bata blanca
- Guantes de nitrilo
- Gafas de seguridad
- Tapabocas desechable

6. RECURSOS MATERIALES Y EQUIPOS



Imagen 181. Escenario de descarga D.
Fuente: Elaboración propia

La obra de paso consta de los elementos que se pueden apreciar en la imagen 181, para la instalación en el canal de ensayo, donde:

1. Obra de paso rectangular
2. Obra de paso circular
3. Elemento de fijación con tornillo de estrella
4. Placa de retención
5. Tapa
6. Pared lateral

7. INSTALACIÓN DEL EQUIPO

1. Asegúrese de que la bomba de agua del canal de ensayo esté apagada y no haya presencia de agua en el recorrido de medición.

2. Gire la obra de paso solicitada (circular o rectangular) de tal modo que quede ubicada en la parte de abajo.
3. Cierre la obra de paso superior no requerida, atornillando las dos tapas en las paredes laterales de la obra de paso.
4. Con la ayuda de una esponja humedezca las juntas de la obra de paso y las paredes laterales del recorrido de medición en la posición de la instalación.
5. Entre 2 personas levante la obra de paso y colóquela en el recorrido de medición y doble las juntas en la obra de paso hacia a fuera, teniendo cuidado de no girarlas demasiado.
6. Coloque los 2 elementos de fijación, empuje y atornille la placa de retención debajo de las guías del canal de ensayo.
7. El canal ya está listo para empezar con la práctica.

8. PROCEDIMIENTO

Una vez se encuentre instalado el equipo se procede a realizar la práctica como se específica en la imagen 182:

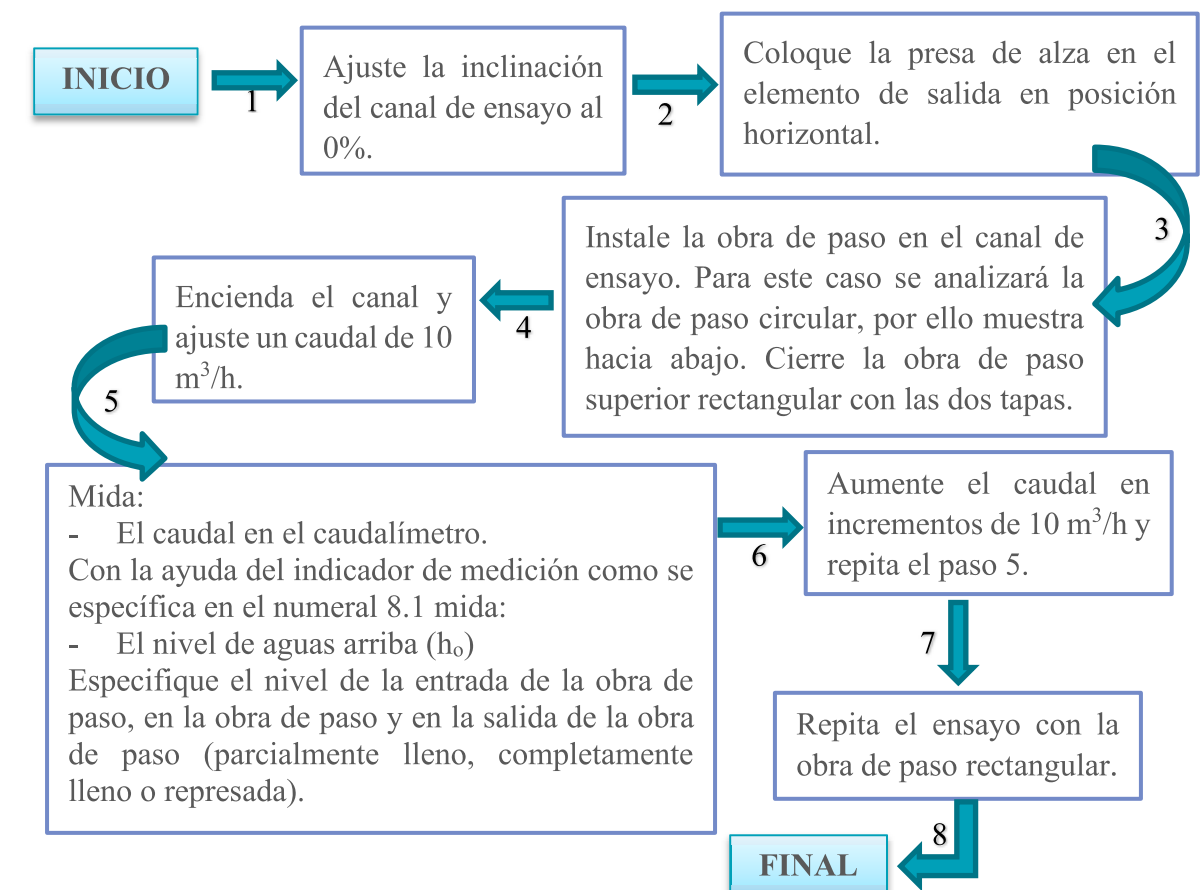


Imagen 182. Procedimiento práctica box culvert.
Fuente: Elaboración propia.

9. CUESTIONARIO

1. ¿Cómo se comporta la obra de paso con caudales reducidos?
2. ¿Cómo se comporta la obra de paso con caudales medios?
3. ¿La geometría de la obra de paso influye en los niveles y condiciones de descarga?

10. FORMATO DE TOMA DE DATOS

Tabla 51. Formato de toma de datos práctica de box culvert (descarga libre)

Caudal Q [m ³ /h]	Nivel aguas arriba h ₀ [cm]	Niveles y condiciones de descarga		
		Entrada de la obra de paso	En la obra de paso	Salida de la obra de paso
Obra de paso circular				
10				
20				
30				
40				
50				
60				
70				
80				
90				
100				
Obra de paso rectangular				
10				
20				
30				
40				
50				
60				
70				
80				
90				
100				

XXII.PRÁCTICA “BOX CULVERT (DESCARGA DE REMANSO)”

A continuación se presentan los códigos QR para acceder al video ilustrativo de la práctica a trabajar.



SEMILLERO MSMRHA



SANTOTO TUNJA

1. OBJETIVO GENERAL

Analizar los diferentes escenarios de descarga en una obra de paso parcialmente llena o completamente llena.

1.1 Objetivos específicos

- Entender el comportamiento del flujo en un canal abierto cuando coexiste una obra de paso en la sección transversal del flujo.
- Analizar los resultados obtenidos.

2. COMPETENCIA

La práctica de box culvert busca desarrollar los fundamentos necesarios en la hidráulica de canales con base en una experimentación adecuada, para poder analizar e interpretar los datos obtenidos, y usar criterios de la ingeniería civil para sacar conclusiones y tomar decisiones.

3. RESULTADO DE APRENDIZAJE

Demostrar el dominio del tema, comprendiendo correctamente el funcionamiento de los equipos, analizando los datos obtenidos y estableciendo conclusiones que le permitan evaluar sus conocimientos.

4. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

El canal hidráulico dispone de dos tipos de obras de paso o box culvert: una circular y otra rectangular con áreas transversales iguales. Estas estructuras permiten la conducción de fluidos de un lado a otro, por lo general debajo de carreteras y líneas de ferrocarril.

Tipos de flujo

En la hidráulica de canales se diferencia entre dos tipos de flujo: subcrítico y supercrítico; En el flujo subcrítico el nivel de agua es más alto y el agua fluye a una velocidad más baja. Por lo contrario, en el flujo supercrítico el nivel de agua es más bajo y la velocidad del flujo mayor. Se produce una transición de flujo cuando el flujo pasa de un tipo de flujo a otro. El límite entre los dos tipos de flujo está definido por la profundidad crítica.

- Subcrítico → Supercrítico

Cuando en un canal abierto aumenta la velocidad del flujo, el nivel de agua disminuye. Cuando el nivel de agua queda por debajo de la profundidad crítica, se produce una transición de flujo de subcrítico a supercrítico. Esta transición de flujo se produce de forma continua.

- Supercrítico → Subcrítico

Si la velocidad del flujo se reduce en un canal abierto, el nivel de agua aumenta. Cuando se supera la profundidad crítica, se produce una transición de flujo de

supercrítico a subcrítico. Esta transición de flujo es brusca y se denomina resalto hidráulico.

Un resalto hidráulico actúa como una barrera. Las estructuras que se encuentran detrás del resalto hidráulico en la dirección del flujo no influyen en el área del resalto hidráulico, como se muestra en la imagen 183.

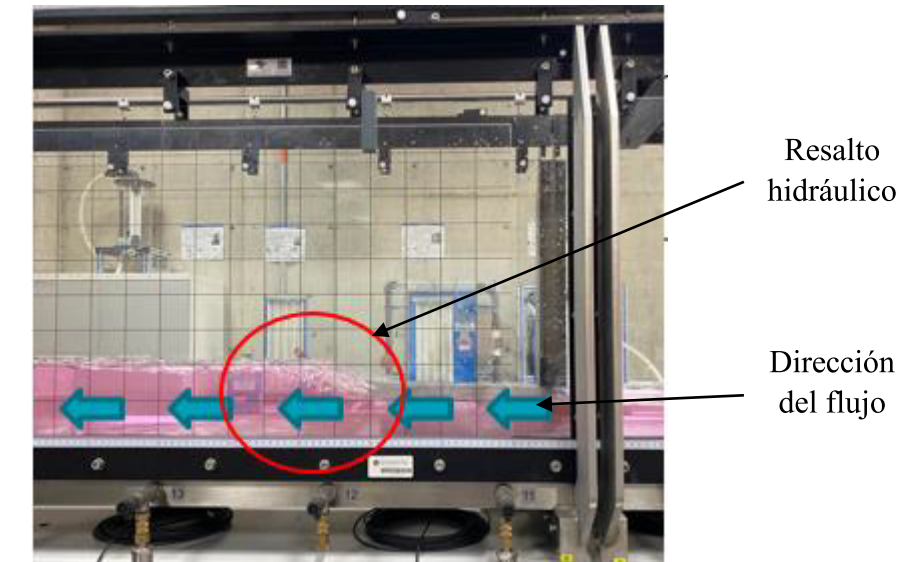


Imagen 183. Resalto hidráulico.
Fuente: Elaboración propia.

Tipos de descarga: En un canal abierto existen 2 tipos de descarga:

- Descarga libre: Se caracteriza porque el agua fluye libremente por encima de la estructura o presa, de igual manera, el nivel aguas arriba no afecta el nivel aguas abajo como se observa en la imagen 184.

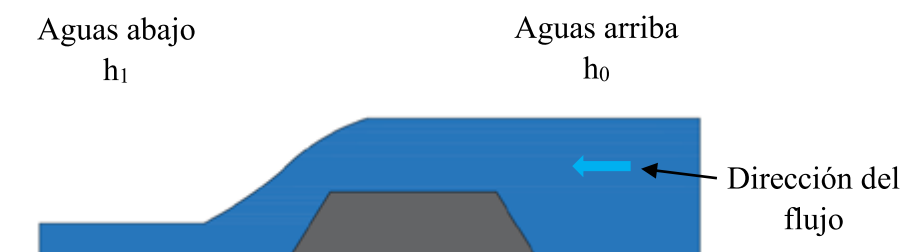


Imagen 184. Descarga libre.
Fuente: Elaboración propia.

- Descarga de remanso: Se caracteriza porque el nivel de aguas abajo afecta el nivel aguas arriba, como se observa en la imagen 185.

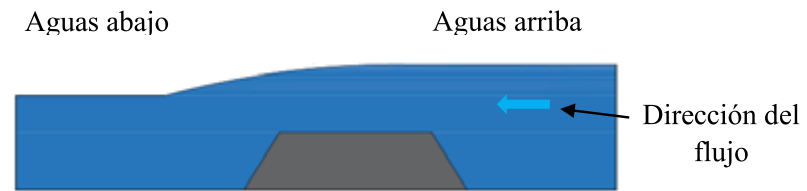


Imagen 185. Descarga de remanso.
Fuente: Elaboración propia.

Función de las obras de paso

Las obras de paso son estructuras de cruce en aguas corrientes como se observa en la imagen 186. Permiten el paso de aguas corrientes de un lado de una estructura hacia el otro lado sin necesidad de bombas. La entrada y la salida de la obra de paso se encuentran a la altura del fondo del agua.

Las obras de paso se encuentran mayormente debajo de vías o líneas de ferrocarril. Estas pueden tener diferentes contornos: circular, rectangular, arqueado, etc. Siempre provocan un estrechamiento de las aguas, formando, por lo tanto, obstáculos en el cauce de las aguas.

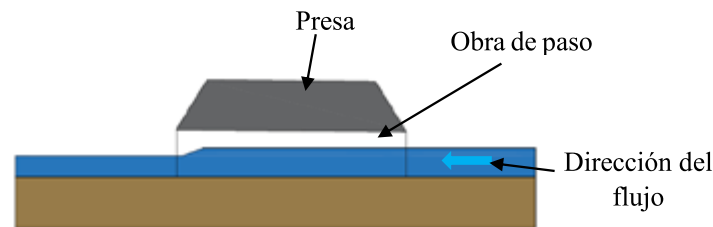


Imagen 186. Obra de paso o box culvert.
Fuente: Elaboración propia.

Escenarios de descarga en obras de paso

Dependiendo del nivel de agua en una obra de paso, se contemplan los estados representados en las imágenes.

- Las obras de paso parcialmente llenas pertenecen a los canales abiertos, ya que tienen una superficie de agua libre como en la imagen 187.



Imagen 187. Obra de paso parcialmente llena (canal abierto)
Fuente: Elaboración propia.

- Las obras de paso completamente llenas como en la imagen 188, sin embargo, son canales cerrados (tuberías).



Imagen 188. Obra de paso completamente llena (canal cerrado)
Fuente: Elaboración propia.

En las obras de paso se diferencian varios escenarios de descarga. Los siguientes puntos son de importancia en esta diferenciación:

- ¿Está la entrada de la obra de paso parcialmente llena o represada?
- ¿Está la obra de paso parcialmente o completamente llena?
- ¿Está la salida de la obra de paso parcialmente o completamente llena? ¿Se trata de una descarga libre o de remanso?

En las siguientes imágenes se muestran cuatro escenarios de descarga a modo de ejemplo.

Escenario de descarga A

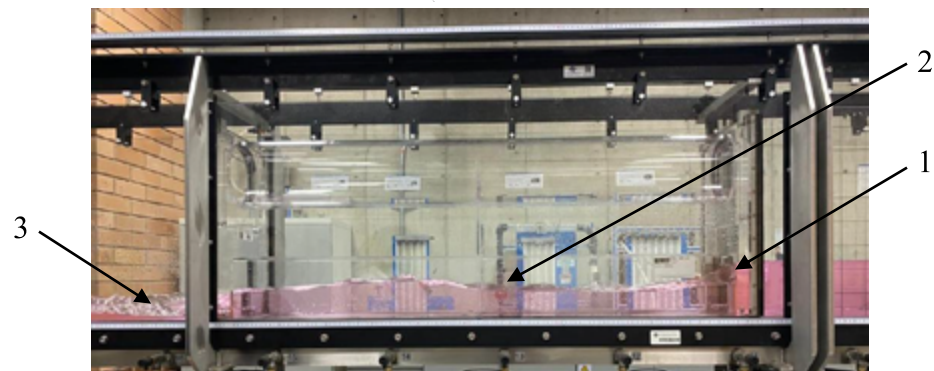


Imagen 189. Escenario de descarga A
Fuente: Elaboración propia.

1. La entrada está parcialmente llena.
2. La obra de paso está parcialmente llena.
3. La salida está parcialmente llena.

Escenario de descarga B

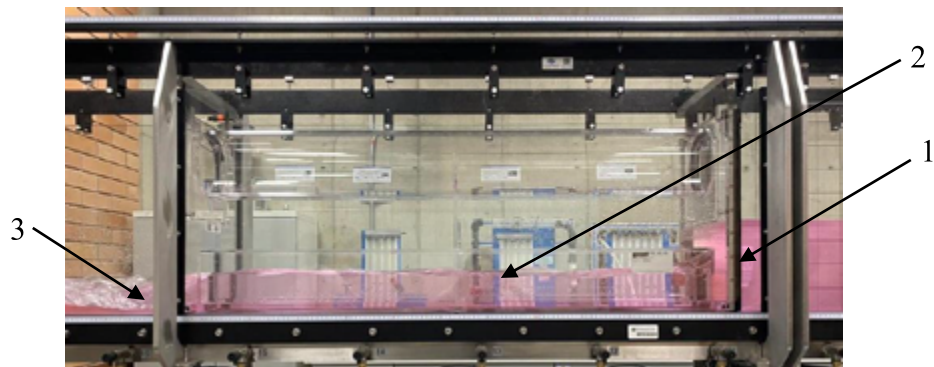


Imagen 190. Escenario de descarga B.
Fuente: Elaboración propia.

1. La entrada está represada.
2. La obra de paso está parcialmente llena.
3. La salida está parcialmente llena.

Escenario de descarga C:

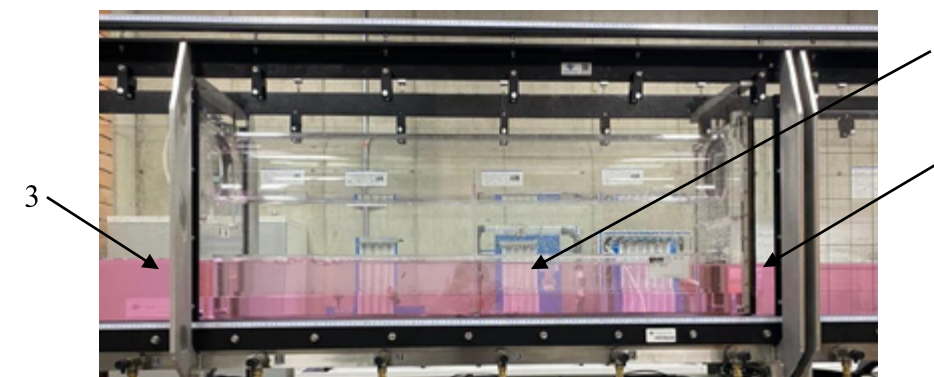


Imagen 191. Escenario de descarga C.
Fuente: Elaboración propia.

1. La entrada está represada.
2. La obra de paso está completamente llena.
3. La salida está completamente llena con descarga libre.

Escenario de descarga D:

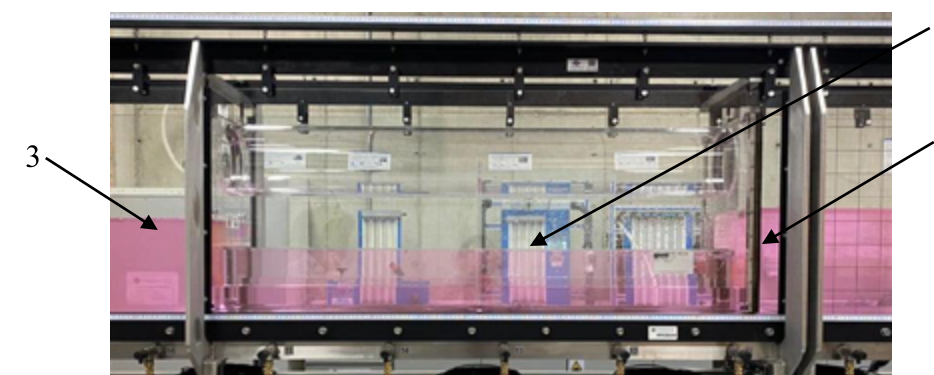


Imagen 192. Escenario de descarga D.
Fuente: Elaboración propia.

1. La entrada está represada.
2. La obra de paso está completamente llena.
3. La salida está completamente llena con descarga de remanso.

5. ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

- Bata blanca
- Guantes de nitrilo
- Gafas de seguridad
- Tapabocas desechable

6. RECURSOS MATERIALES Y EQUIPOS



Imagen 193. Escenario de descarga D.
Fuente: Elaboración propia.

La obra de paso consta de los elementos que se pueden apreciar en la imagen 193, para la instalación en el canal de ensayo, donde:

4. Obra de paso rectangular
5. Obra de paso circular
6. Elemento de fijación con tornillo de estrella
7. Placa de retención
8. Tapa
9. Pared lateral

7. INSTALACIÓN DEL EQUIPO

1. Asegúrese de que la bomba de agua del canal de ensayo esté apagada y no haya presencia de agua en el recorrido de medición.

2. Gire la obra de paso solicitada (circular o rectangular) de tal modo que quede ubicada en la parte de abajo.
3. Cierre la obra de paso superior no requerida, atornillando las dos tapas en las paredes laterales de la obra de paso.
4. Con la ayuda de una esponja humedezca las juntas de la obra de paso y las paredes laterales del recorrido de medición en la posición de la instalación.
5. Entre 2 personas levante la obra de paso y colóquela en el recorrido de medición y doble las juntas en la obra de paso hacia a fuera, teniendo cuidado de no girarlas demasiado.
6. Coloque los 2 elementos de fijación, empuje y atornille la placa de retención debajo de las guías del canal de ensayo.
7. El canal ya está listo para empezar con la práctica.

8. PROCEDIMIENTO

Una vez se encuentre instalado el equipo se procede a realizar la práctica como se específica en la imagen 194:

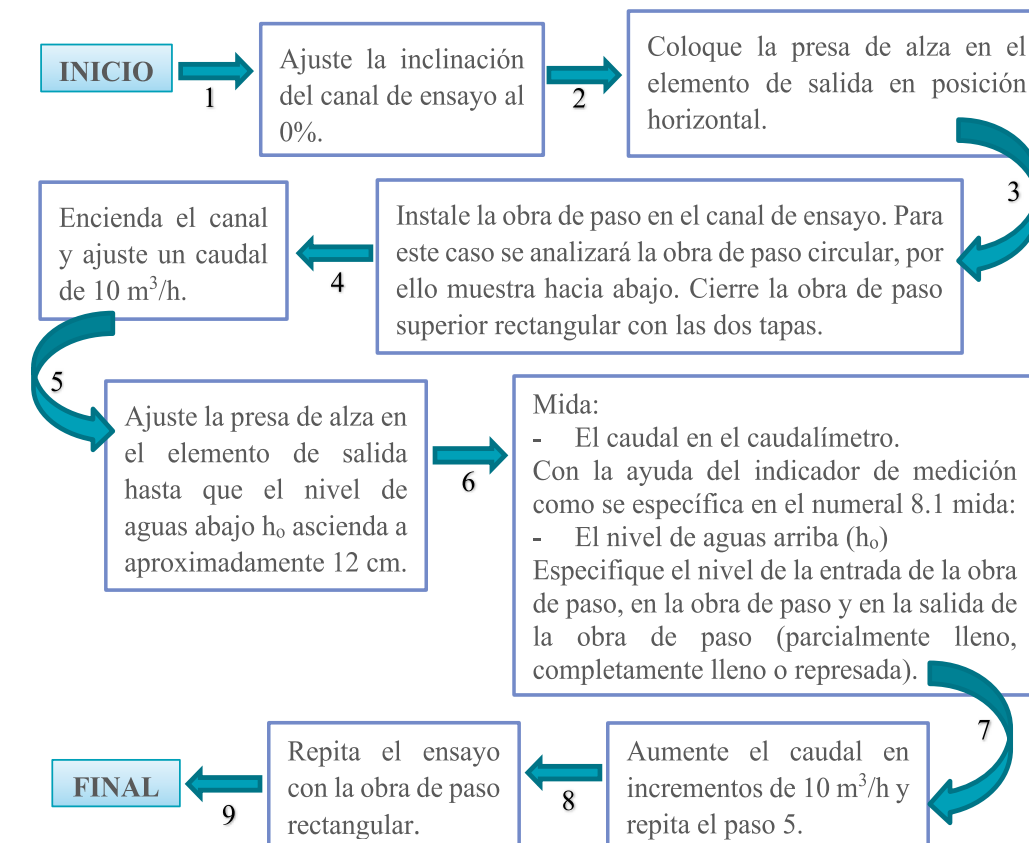


Imagen 194. Procedimiento práctica box culvert (descarga de remanso).
Fuente: Elaboración propia.

9. CUESTIONARIO

1. ¿Cómo se comporta la obra de paso con caudales reducidos?
2. ¿Cómo se comporta la obra de paso con caudales medios?
3. ¿La geometría de la obra de paso influye en los niveles y condiciones de descarga?

10. FORMATO DE TOMA DE DATOS

Tabla 52. Formato de toma de datos práctica de box culvert (descarga de remanso)

Caudal Q [m ³ /h]	Nivel aguas arriba h_0 [cm]	Niveles y condiciones de descarga		
		Entrada de la obra de paso	En la obra de paso	Salida de la obra de paso
Obra de paso circular				
10				
20				
30				
40				
50				
60				
70				
80				
90				
100				
Obra de paso rectangular				
10				
20				
30				
40				
50				
60				
70				
80				
90				
100				

XXIII. BIBLIOGRAFÍA

- Chanson, H. (2004). *The Hydraulics of open channel flow: An introduction*, Oxford, Second Edition.
- Gunt Hamburg. (2015). *Manual Pitotstatic tuve*, Electroequipos Colombia S.A.S.
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2020). *Lineamientos generales para el uso de tapabocas convencional y mascarillas de alta eficiencia*. Recuperado de: <https://www.minsalud.gov.co/Ministerio/Institucional/Procesos%20y%20procedimientos/GIPS18.pdf>
- Sotelo, G. (1997). *Hidráulica general*. México, D.F. Editorial Limusa, S.A.
- Chanson, H. (2004). *Hidráulica de caudal en canal abierto*. Elsevier.
- Chow, V. T. (1994). *Hidráulica de canales abiertos* (No. 627.13 C552h). Bogotá, CO: McGraw-Hill.
- EDIBON. (2002). *Manual*. Madrid España.
- Marbello Pérez, R. (1997). *Fundamentos para las prácticas de laboratorio de hidráulica*. *Escuela de Geociencias y Medio Ambiente*.
- Marbello Pérez, R. V. (2005). *Manual de prácticas de laboratorio de hidráulica*. *Escuela de Geociencias y Medio Ambiente*.
- Arias Medina, G. S., & Mojica Gutiérrez, C. E. (2014). *Manual práctico de laboratorio mecánica de fluidos e hidráulica*.

XXIV. GLOSARIO

Aguas arriba: Si el nivel de agua se sitúa antes de la sección considerada en el recorrido de medición.

Aguas abajo: Si el nivel de agua se sitúa después de la sección considerada en el recorrido de medición.

Caída libre: Cuando el flujo fluye adherido a la forma de la presa.

Canal hidráulico: construcción destinada al transporte de fluidos por lo general es utilizada para el flujo de agua que, a diferencia de las tuberías, es abierta a la atmósfera.

Caudal: Cantidad de agua que lleva la corriente o en dado caso fluye de un manantial o fuente.

Chorro sumergible: Cuando el flujo de agua sumerge en su totalidad de la presa.

Cresta: Parte más alta de una presa.

Cuenca de disipación: Es un cuenco detrás del vertedero, el cual recolecta el agua.

Disipación de energía: Se logra mediante la introducción de elementos colocados en el recorrido de medición o en la estructura, con el fin de reducir las deformaciones y esfuerzos sobre ella. Estos dispositivos reducen la demanda de deformación

y esfuerzos producidos por el sismo mediante el aumento del amortiguamiento estructural.

Energía cinética: Es la energía que acumula un cuerpo en movimiento.

Energía potencial: Es la energía mecánica según la localización de un cuerpo dentro de un campo de fuerza, puede ser gravitacional, electrostática, entre otros.

Gravedad: Fenómeno natural por el cual los objetos con masa son atraídos entre sí.

Napa: Cuando se crea la aireación entre la cresta de agua y el borde del vertedero.

Presa: Elemento que retiene el flujo, almacena, controlar y posteriormente fluye por los diferentes elementos de salida.

Resalto hidráulico: Se presenta cuando el flujo es rápidamente variado y ocurre en el paso brusco del régimen supercrítico al régimen subcrítico.

Vertedero: Es parte de la estructura la cual permite la evacuación de las aguas en forma habitual o para controlar.

Volumen: espacio determinado que ocupa un cuerpo.



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA
T U N J A



Res. MEN No. 01456 del 29 de enero de 2016

Vigencia por seis años

