

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN CUANTITATIVO

I. GENERALIDADES

1.1. TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN

Análisis y Evaluación del coeficiente de gasto en vertederos triangular, trapezoidal y rectangular en canal de ensayo del Laboratorio de Estructura e Hidráulica UNU.

1.2. TESISISTAS

- Rojas Morón, Rosita Katherine.
- Cajas Campos, Eduardo Alexander Junior.

1.3. AÑO CRONOLÓGICO

2022

1.4. RESUMEN

En este proyecto de investigación se desea analizar y evaluar los coeficientes de gasto en vertederos de formas: triangular, trapezoidal, rectangular con contracción y rectangular sin contracción en el canal de ensayo del laboratorio de Estructura e Hidráulica, comparándolos con un modelo numérico que simula el comportamiento y los parámetros esperados del experimento.

La parte experimental se realizará en las instalaciones del Laboratorio de Estructura e Hidráulica de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de Sistemas e Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ucayali (UNU); el laboratorio cuenta con un canal de ensayo (86x300) mm y con un juego de 4 tipos de vertederos de cresta delgada, el canal de ensayo cuenta con un caudalímetro y un velocímetro para medir las velocidades del flujo.

Los resultados que esperamos obtener de la parte experimental es determinar los coeficientes de gasto en estos tipos de vertederos y los parámetros que influyen en la determinación de los coeficientes como la pendiente, espesor y ángulos, evaluar los resultados utilizando las fórmulas generales con un modelo numérico que simula los parámetros y condiciones del experimento.

1.5. Palabras claves

Coeficientes de gasto, canal, caudal, pendiente, vertedero.

1.6. Abstract

In this research project, it is desired to analyze and evaluate the expenditure coefficients in spillways of shapes: triangular, trapezoidal, rectangular with contraction and rectangular without contraction in the test channel of the Structure and Hydraulics laboratory, comparing them with a numerical model that simulates the expected behavior and parameters of the experiment.

The experimental part will be carried out in the facilities of the Structure and Hydraulics Laboratory of the Professional School of Civil Engineering of the Faculty of Systems Engineering and Civil Engineering of the National University of Ucayali (UNU); the laboratory has a test channel (86x300) mm and with a set of 4 types of thin crest weirs, the test channel has a flowmeter and a speedometer to measure flow velocities.

The results that we hope to obtain from the experimental part is to determine the coefficients of expenditure in these types of spillways and the parameters that influence the determination of the coefficients such as slope, thickness and angles, evaluate the results using the general formulas with a numerical model. that simulates the parameters and conditions of the experiment.

1.7. Keywords

Expenditure coefficients, channel, flow, slope, spillway.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. DESCRIPCIÓN Y FUNDAMENTACIÓN DEL PROBLEMA

- Nivel mundial:

El Laboratorio de Mecánica de Fluidos e Hidráulica de la Fundación Universitaria Agraria de Colombia (UNIAGRARIA) permite la realización de pruebas hidrostáticas con fluidos, en los que puede realizarse estudio de capilaridad, entre otros. En la sección de máquinas hidráulicas, se llevan a cabo estudios de pérdidas de presión, de configuración de equipo de bombeo en serie y en paralelo, generación de potencia en turbinas Pelton y Francis, un sistema hidráulico de alimentación (motobombas, tuberías, válvulas, etc.), un “banco de pruebas” (que puede ser un modelo físico o un banco de ensayos – un canal, un sistema de tuberías, etc.). En el Laboratorio de hidráulica se realizan prácticas en mecánica de fluidos. (*Mejía, 2013*)

El Laboratorio de Hidráulica del CITEEC cuenta con unas instalaciones que le permiten abordar problemas vinculados a casi cualquier ámbito de la ingeniería hidráulica, incluyendo tanto flujos en presión como en lámina libre. En los últimos años, el Laboratorio de Hidráulica del CITEEC se ha especializado en el desarrollo de modelos físicos y matemáticos vinculados a los sistemas de agua urbana, para lo que se mantiene una estrecha colaboración con el Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental del centro. Además de estas instalaciones permanentes, el laboratorio también dispone de espacio para proyectos relacionados con sistemas acuáticos naturales como ríos o embalses. (*Universidade da Coruña, s.f.*)

El laboratorio de Hidráulica marítima ayuda en el desarrollo y la construcción de grandes obras portuarias, la Ingeniería en México siempre se ha visto apoyada por los Laboratorios de Hidráulica Marítima, de tal forma, que han ayudado a que la Ingeniería Mexicana en estos tiempos sea reconocida a nivel Mundial. Siendo el Laboratorio de Hidráulica Marítima mejor equipado de los pocos que existen en Latinoamérica. (*Jacinto, 2007*)

- Nivel nacional:

El Laboratorio Nacional de Hidráulica (LNH) con sede en Lima - Perú, de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) cuenta dentro de sus instalaciones con un “Canal de Pruebas”, el cual es utilizado actualmente para la calibración de vertederos y correntómetros, La calibración se realiza de acuerdo a la norma ISO 3455. (*Martínez, 2013*).

El Laboratorio de Hidráulica de Canales del Departamento de Ingeniería de la Pontífice Universidad Católica del Perú da servicios académicos a la Facultad de

Ciencias e Ingeniería desde hace más de 40 años. Este ambiente está equipado con dispositivos que permiten el desarrollo de ensayos para estudiar propiedades de fluidos y para el flujo de caudales, dentro de los cuales se encuentra el canal de corriente horizontal de fabricación local que permite desarrollar los flujos en diferentes escenarios. (*Departamento Académico de Ingeniería PUCP, s.f.*)

El Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Andina “Néstor Cáceres Velásquez” del departamento de Puno, cuenta con un canal de pendiente variable de cinco metros para configurar el caudal de agua digitalmente; además, tiene un banco hidráulico que será utilizado para diferentes ensayos, como determinar el flujo laminar y el flujo turbulento del agua. Igualmente, equipos de hidrostática, calibrador de manómetros y la presión hidrostática. (*Calderon, 2019*)

La Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa cuenta con modernos equipos en tecnologías de ingeniería hidráulica, ingeniería hidrológica, mediante uso de sistemas de medición de ultrasonido y modelación numérica en software libre, además, permitirá a los estudiantes investigar y desarrollar una formación sólida en el área de la ingeniería hidráulica. (*Oficina Universitaria de Imagen Institucional, 2018*)

- Nivel local:

El departamento de Ucayali se encuentra geográficamente en zona de selva baja, se puede decir que tiene un clima tropical. Un problema muy común en Ucayali es las inundaciones en comunidades rivereñas y las inundaciones de plantaciones y sembríos provocados por el incremento del nivel de las aguas del río Ucayali y por las constantes lluvias respectivamente. Se tiene conocimiento de lo siguiente: que a la fecha 21 de marzo de 2022, el SENAMHI informó sobre el comportamiento hidrológico del RÍO UCAYALI, mediante Aviso N°1072, en el cual menciona que las áreas de afectación que provocará este incremento serían los centros poblados de CANELOS, SAN PEDRO, CONTAMANA, IPUANO, ALTO PERILLO, JOSE OLAYA, SHETEBÓ y CANCHAHUAYA. (SENAMHI, 2022)

Frente a esta problemática surge la necesidad de llevar a cabo una solución o un planteamiento para reducir o mitigar los daños provocados por estos fenómenos particulares, por lo que la construcción de obras hidráulicas y el control de avenidas, incrementos del nivel de agua y transporte de agua a comunidades nativas y centros poblados son algunos de las alternativas que resuelven muchas de estas necesidades y/o problemas.

El presente trabajo de investigación tiene la finalidad de realizar el análisis y la evaluación de los coeficientes de gasto para los vertederos de formas triangular, trapezoidal, rectangular con contracción y sin contracción en el canal de ensayo del Laboratorio de Estructura de Hidráulica de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de Sistemas e Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ucayali y comparar con un modelo numérico que simula el comportamiento y los parámetros esperados del experimento, de esta manera se busca poner en conocimiento de los estudiantes de ingeniería civil de la universidad la aplicación e importancia de estos valores para el diseño de

vertederos en proyectos de canales hidráulicos, que son de gran utilidad para transportar y controlar los caudales.

2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

2.2.1. PROBLEMA GENERAL

- ¿Cuáles son los coeficientes de gasto en los vertederos triangular, trapezoidal y rectangular con contracción y sin contracción de pared delgada en el canal de ensayo del Laboratorio de Estructura e Hidráulica de la Universidad Nacional de Ucayali?

2.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿De qué manera influye la pendiente longitudinal del canal de ensayo en la determinación de los coeficientes de gasto en los vertederos triangular, trapezoidal y rectangular de pared delgada con contracción y sin contracción?
- ¿De qué manera serán iguales los resultados de los coeficientes de gasto en los vertederos triangular, trapezoidal y rectangular de pared delgada con contracción y sin contracción en el canal de ensayo del laboratorio de Estructura e Hidráulica de la Universidad Nacional de Ucayali, frente a los resultados obtenidos del modelo numérico?
- ¿Se podrán aplicar los resultados obtenidos del ensayo experimental en un proyecto hidráulico de escala?

2.3. OBJETIVOS

2.3.1. OBJETIVO GENERAL

- Analizar y evaluar los coeficientes de gasto para vertederos triangulares, trapezoidales, rectangulares con contracción y sin contracción en el canal de ensayo del Laboratorio de Estructura e Hidráulica de la Universidad Nacional de Ucayali, determinados en el ensayo experimental.

2.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtener experimentalmente los coeficientes de gasto y determinar si el gasto varía de acuerdo a la pendiente longitudinal.
- Comparar los resultados del ensayo experimental con un modelo numérico con los mismos parámetros y condiciones del canal de ensayo.
- Elaborar una propuesta para la determinación de los coeficientes de gasto en vertederos triangulares, trapezoidales, rectangulares con y sin contracción en proyectos hidráulicos de escala.

2.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Según la Oficina Universitaria de Imagen Institucional (2018), la implementación de equipos hidráulicos permitirá desarrollar 3 ejes: formación de profesionales con sólida formación en el área de hidráulica, desarrollar investigaciones y brindar servicios de investigación o perfeccionamiento de tecnologías en el manejo y conservación del agua a Entidades públicas y entidades privadas. (Oficina Universitaria de Imagen Institucional, 2018)

2.4.1. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

Los coeficientes de gasto en vertederos permitirán obtener el valor de la descarga mediante cálculos simples. La determinación de estos coeficientes

facilitará la comprensión de las descargas de este tipo de estructuras y la elaboración de gráficos y/o tablas será un aporte para los estudiantes del área de hidráulica de nuestra universidad.

La realización de esta investigación brindará un aporte de conocimiento de los equipos y ensayos que se podrán realizar en el laboratorio de Estructura e Hidráulica a los futuros ingenieros civiles de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil y a los profesionales de diferentes departamentos del Perú.

2.5. LIMITACIONES Y ALCANCES

2.5.1. LIMITACIONES

- La falta de obras hidráulicas cercanas al lugar de desarrollo de la investigación.
- El Laboratorio de Estructura e Hidráulica no cuenta con un modelo numérico en sus instalaciones que permita modelar y/o simular el comportamiento de los fluidos.
- No se puede medir las velocidades con el velocímetro ya que las velocidades de flujo antes de pasar por los vertederos del canal de ensayo son pequeños.

2.5.2. ALCANCES

- La presente investigación tiene el alcance de determinar el caudal de manera no probabilística y experimental, únicamente de las formas de vertederos triangular, trapezoidal y rectangular con los que cuenta el laboratorio de Estructura e Hidráulica de la Universidad Nacional de Ucayali.
- Dentro del alcance de la investigación se encuentra el análisis de un modelo numérico que sea capaz de simular las condiciones del ensayo y dar resultados claros respecto al caudal y coeficiente de gasto.

2.6. HIPÓTESIS

2.6.1. HIPÓTESIS GENERAL

- Los coeficientes de gasto de vertederos triangulares, trapezoidales y rectangulares determinados por medio del ensayo experimental son menores a 1.

2.6.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- Para las pendientes de 1% a 4%, a mayor pendiente se obtendrá un mayor gasto.
- Los coeficientes de gasto obtenidos del ensayo experimental resultan mayores que los coeficientes de gasto obtenidos del análisis del caudal con un modelo numérico.
- Los coeficientes de gasto para proyectos hidráulicos de escala son mayores que los coeficientes de gasto para el canal de ensayo del laboratorio de Estructura e Hidráulica.

2.7. SISTEMA DE VARIABLES-DIMENSIONES E INDICADORES

2.7.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

- Pendiente longitudinal, Caudal.

2.7.2. VARIABLE DEPENDIENTE

- Coeficiente de gasto

2.8. DEFINICIÓN OPERACIONAL DE VARIABLES, DIMENSIONES E INDICADORES

TIPO DE VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
<u>Variable independiente</u>			
Pendiente longitudinal	Es el grado de inclinación de un elemento respecto a un eje horizontal.	m/m	Desnivel (%)
Caudal o descarga	Es la cantidad de flujo volumétrico que pasa por un área determinada en una unidad de tiempo.	Volumen Tiempo Velocidad Área	Lt, m ³ s m/s m ²
<u>Variable dependiente</u>			
Coefficiente de gasto	Es un factor de ajuste para los valores del gasto el cual debe variar de acuerdo a las características del vertedero (caudal, altura, pendiente).	Adimensional	

III. MARCO TEÓRICO

3.1. ANTECEDENTES

Nivel mundial:

Según Sotelo (1994), el control del nivel del agua y la regulación de descargas son necesarios para propósitos de irrigación, energía hidroeléctrica, conservación del agua, prevención y control de avenidas, navegación interior, etc. Para ello se dispone de una amplia variedad de estructuras hidráulicas de control, adecuadas a las necesidades particulares, que varían desde vertederos o compuertas utilizadas en pequeños ríos y canales, hasta obras de excedencias en grandes presas. (Sotelo, 1994).

Según Ochoa (2003), dice que los coeficientes de gasto están en función de las alturas de flujo para los ensayos que realizó de un vertedero triangular de 90° y con una pendiente del 1° se encontraron coeficientes de gasto mayor a 1, esto indica que es por el tipo de vertedero de material metálico y las alturas son más altas con las que ensayó. (Ochoa, 2003).

Según Beltrán et. al (2013), para el vertedero ángulo de 90° los valores se pasan de los límites, con rangos de Cd (0,65 – 0,75), mayores que los Cd calibrados (0,50 – 0,60) pero aproximados a su valor real. Estas diferencias se deben a pequeñas fuentes de errores originados en la toma de datos de caudal, más específicamente con el volumen, generando una fuente de error del 0,10 kg/m³. Lo que al final se ve reflejado con los diferentes valores del coeficiente de gasto. (Beltrán et. al, 2013).

Nivel nacional:

Según Sotelo (1994), las obras hidráulicas en los sistemas de aprovechamiento tienen como objetivo controlar y conducir el volumen de agua necesario o el excedente hasta el sitio en que se aprovecha o hacia el cauce del río. (Sotelo, 1994).

Según Martínez (2013), el laboratorio Nacional de Hidráulica (LNH) con sede en Lima – Perú, de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) cuenta dentro de sus instalaciones con un “Canal de Pruebas”, el cual es utilizado actualmente para la calibración de vertederos y correntómetros, La calibración se realiza de acuerdo a la norma ISO 3455. (Martínez, 2013).

Según Quiliche (2015), habla sobre el mal aprovechamiento de agua en el Perú ya que no se le da un buen mantenimiento a las represas y las malas construcciones, por las cuales no hay un buen control de poder transportar agua para el uso adecuado que se le debe dar. (Quiliche, 2015).

Nivel local:

El Laboratorio de Estructuras e Hidráulica de la Escuela profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de Sistemas e Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ucayali (UNU) fue puesta en operación a inicios del año 2022, cuenta con diferentes equipos hidráulicos de última tecnología para la realización de ensayos en base a las normativas y aún tiene poca experiencia en el tema de coeficientes de descarga, por lo que se desconoce los valores para el juego de vertederos que posee el laboratorio.

Además, el Laboratorio de Estructura e Hidráulica no cuenta todavía con algún antecedente de investigación reciente debido al corto plazo que existe desde su inauguración hasta la fecha.

Por los motivos mencionados anteriormente, la presente investigación busca fomentar a los estudiantes de pregrado y docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil al uso y manejo de los equipos hidráulicos con los que cuenta el laboratorio de Estructura e Hidráulica, y la finalidad de la elaboración de Apuntes de clase, grabaciones de procedimientos técnicos y teóricos que aporten experiencia, formación sólida en el área hidráulica.

3.2. BASES TEÓRICAS

3.2.1. Definición de vertedero de cresta delgada.

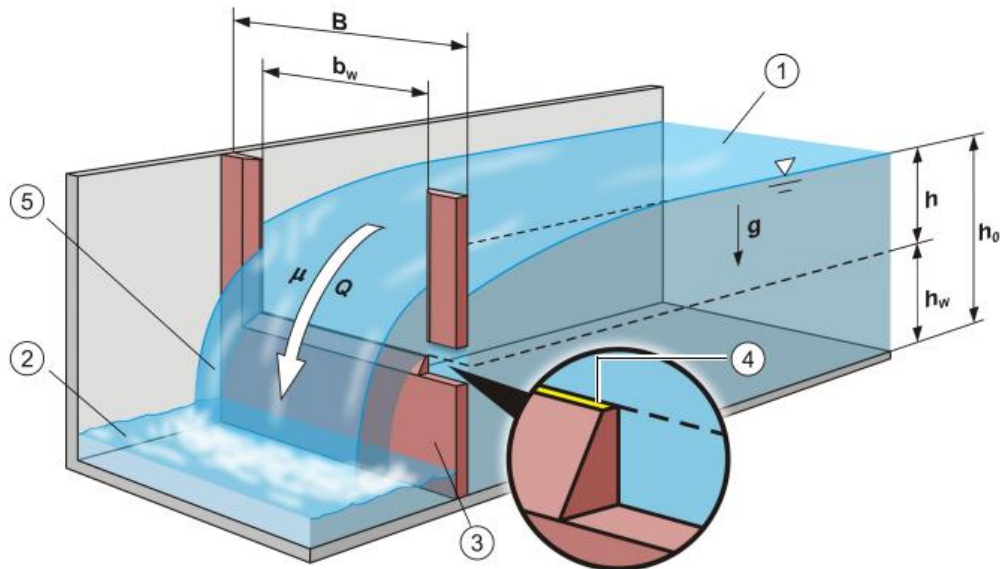
El vertedero, llamado también aliviadero, es el nombre que se le da a la estructura hidráulica cuya finalidad es la de permitir que pase el agua a los escurrimientos superficiales. Algunas de sus funciones más destacadas es garantizar que la estructura hidráulica ofrezca seguridad, pues impide que se eleve el nivel de aguas arriba sobre el nivel máximo. (Portal de arquitectura Arqhys.com)

Los vertederos triangulares, según Monroy (2010), permiten obtener medidas más precisas de las alturas de carga (H) correspondientes a caudales reducidos. Por lo general son contruidos de placas metálicas. (Monroy, 2010)

Este vertedor se puede describir mejor como un corte en V ubicado simétricamente en una placa delgada que es perpendicular al fondo y a los lados del canal abierto. Dentro de esta categoría se tienen tres subdivisiones: Totalmente contraídos, Parcialmente contraídos y Sin contracciones. (Pérez, 2005)

La arista o superficie más elevada del vertedero y además está en contacto con el fluido se llama cresta. La altura h se refiere a la distancia que existe entre de la lámina de fluido sobre la cresta, es responsable de la descarga sobre el vertedero. (Manual de laboratorio HM 160.30)

Gráfico 1. Vertedero de pared delgada



- 1 Aguas arriba
- 2 Aguas abajo
- 3 Dorso de la presa
- 4 Cresta de presa (borde de vertedero)
- 5 Napa

Fuente: (Manual de Laboratorio de Estructura e Hidráulica)

El flujo a través del vertedero tiene su motor en la fuerza de gravedad y el uso frecuente de los vertederos de pared delgada, como aforadores, se debe a que son estructuras de construcción sencilla y, principalmente, por la facilidad de determinar, con bastante aproximación, el caudal del flujo en un canal, a partir de la carga del vertedero, h . (Pérez, 2005)

3.2.2 Canal hidrodinámico de pendiente variable.

El canal hidrodinámico es un equipo básico de composición modular con el que se pueden hacer numerosos ensayos visibles al comportamiento de las corrientes. Este ofrece muchos aspectos interesantes de la investigación y de la teoría y con el uso de amplios accesorios, la posibilidad de realizar ensayos en todos los sectores de la hidráulica. El cual utilizamos para poder desarrollar las pruebas que finalmente nos proporcionen los datos característicos del fluido, y a partir de éstos, obtengamos los coeficientes de gasto para el medidor Venturi, en el cual realizamos los ensayos. (Pérez, 2005)

En 1889 el Ingeniero Irlandés Robert Manning presentó una ecuación para determinar el valor de "C", en función del radio hidráulico y la rugosidad del material del cual está construido el canal. Esta ecuación es el resultado del proceso de ajuste de curvas, por tanto, es completamente empírica.

La ecuación de Manning más adelante fue modificada y simplificada hasta llegar a su conocida forma actual. Para utilizar la ecuación de Manning debemos conocer el sistema de unidades a utilizar, para que se utilice el coeficiente apropiado. (Fernández, 2008)

3.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

3.3.1. Flujo permanente y flujo no permanente

Se dice que el flujo en un canal abierto es permanente si la profundidad de flujo no cambia o puede suponerse constante durante el intervalo de tiempo en consideración. El flujo es no permanente si la profundidad de flujo cambia con respecto al tiempo en consideración. Cuando se estudian los fenómenos de creciente y oleadas, por ejemplo, son casos comunes de flujo no permanente, el nivel de flujo cambia de manera instantánea a medida que las ondas pasan y el elemento tiempo se vuelve de vital importancia para el diseño de estructuras de control. (Monroy, 2010)

3.3.2. Elementos geométricos de una sección de canal

Los elementos geométricos son propiedades de una sección de canal que pueden ser definidos por completo por la geometría de la sección y la profundidad de flujo. Para secciones regulares y simples, los elementos geométricos pueden expresarse matemáticamente en términos de la profundidad de flujo y de otras dimensiones de la sección, pero para secciones complicadas y secciones de corrientes naturales, no se puede escribir una ecuación simple para expresar estos elementos, pero pueden prepararse curvas que representen la relación entre estos elementos y la profundidad de flujo para uso en cálculos hidráulicos. (Mejía, 2013)

3.3.3. Profundidad de flujo

Es la distancia vertical desde el punto más bajo de una sección del canal hasta la superficie libre, la profundidad de flujo de la sección es la profundidad de flujo perpendicular a la dirección de éste, o la altura de la sección del canal que contiene el agua. (Mejía, 2013)

3.3.4. Formas de vertederos

Los vertederos tienen muchas variantes diferentes. La mayoría de los vertederos se clasifican en una de las siguientes formas básicas:

- Vertedero de cresta Ogee
- Vertedero de cresta delgada
- Vertedero de cresta ancha
- Vertedero en forma de tejado

3.3.5. Ecuaciones para 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:

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

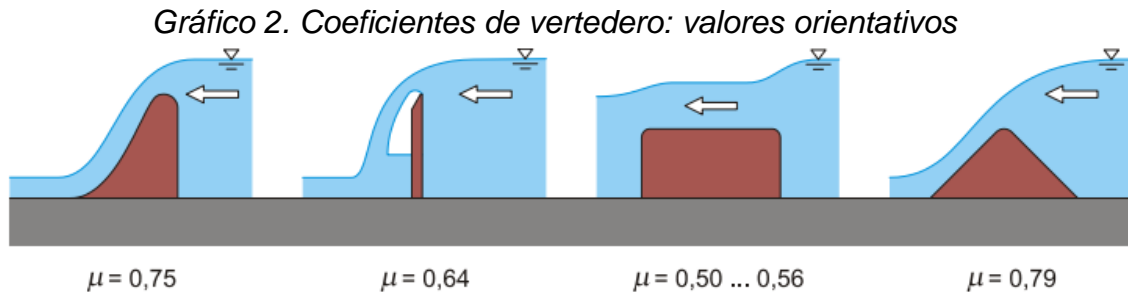
3.3.6. Coeficiente de vertedero

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 la presa. En base a la ecuación de Poleni, entre el coeficiente de vertedero μ y el grado de depresión ϕ se aplica la siguiente relación:

$$\mu = 1 - \phi^{1.5}$$

El coeficiente de vertedero depende fundamentalmente de la geometría de la presa. En el siguiente gráfico se indican los valores orientativos para μ .

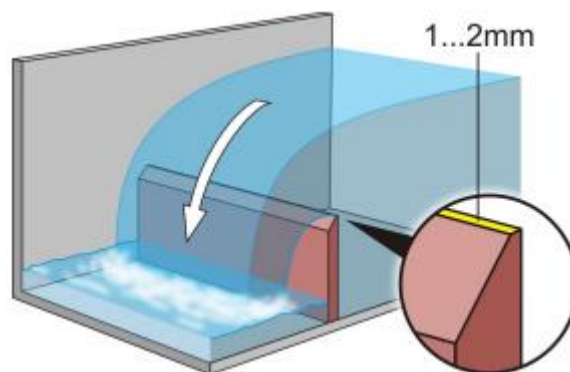


Fuente: (Manual de Laboratorio de Estructura e Hidráulica)

3.3.7. Vertedero 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.

Gráfico 3. Vertedero de cresta delgada



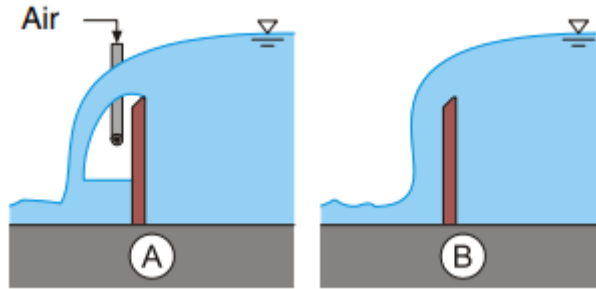
Fuente: (Manual de Laboratorio de Estructura e Hidráulica)

Napa

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

Sin aireación, la napa es adyacente al dorso del vertedero. En este caso, en el dorso puede producirse una depresión, que puede provocar daños en la estructura.

Gráfico 4. Napa libre (A), Napa adyacente (B)



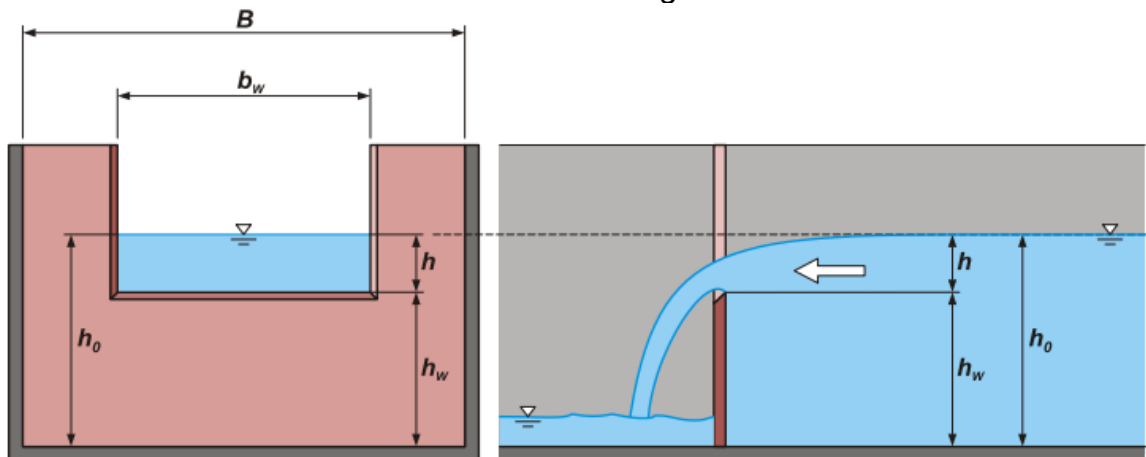
Fuente: (Manual de Laboratorio de Estructura e Hidráulica)

3.3.8. Presa de medición rectangular con contracción

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

Gráfico 5. Vertedero de forma rectangular con contracción



Fuente: (Manual de Laboratorio de Estructura e Hidráulica)

La caída sobre un vertedero rectangular, aireado, se puede describir con la ecuación de Poleni:

$$Q = \frac{2}{3} \cdot \mu \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot b_w \cdot h^{1.5}$$

$$Q = \frac{2}{3} \cdot \mu \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot b_w \cdot (h_0 - h_w)^{1.5}$$

Coeficiente de vertedero

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

$$\mu = \left[0.578 + 0.037 \cdot \left(\frac{b_w}{B} \right)^2 + \frac{3.615 - 3 \cdot \left(\frac{b_w}{B} \right)^2}{1000 \cdot h + 1.6} \right] \cdot \left[1 + 0.5 \cdot \left(\frac{b_w}{B} \right)^4 \cdot \left(\frac{h}{h + h_w} \right)^2 \right]$$

3.3.9. Presa de medición triangular

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 vertedero es apto para caudales pequeños. La napa de un vertedero triangular siempre está aireada.

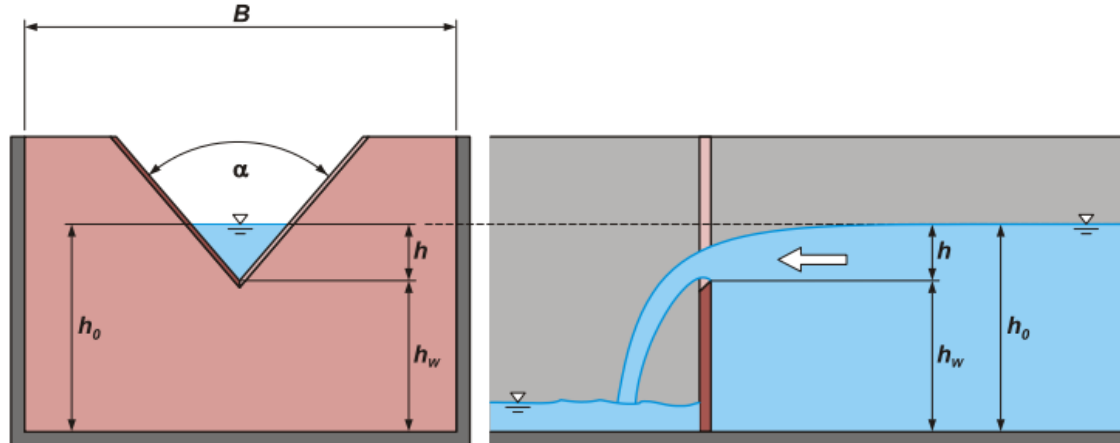
Ecuación de vertedero

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

$$Q = \frac{8}{15} \cdot \mu \cdot \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot h^{2.5}$$

$$Q = \frac{8}{15} \cdot \mu \cdot \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot (h_0 - h_w)^{2.5}$$

Gráfico 6. Vertedero de forma triangular



Fuente: (Manual de Laboratorio de Estructura e Hidráulica)

Coeficiente de vertedero

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

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \left[1 + \left(\frac{h^2 \cdot \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{3 \cdot B \cdot (h + h_w)} \right)^2 \right] \cdot \left[1 + \frac{0.66}{1000 \cdot h^{1.5} \cdot \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \right]$$

Caso excepcional $\alpha = 90^\circ$

A menudo se utilizan vertederos 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:

$$\mu = 0.565 + \frac{0.0087}{\sqrt{h}}$$

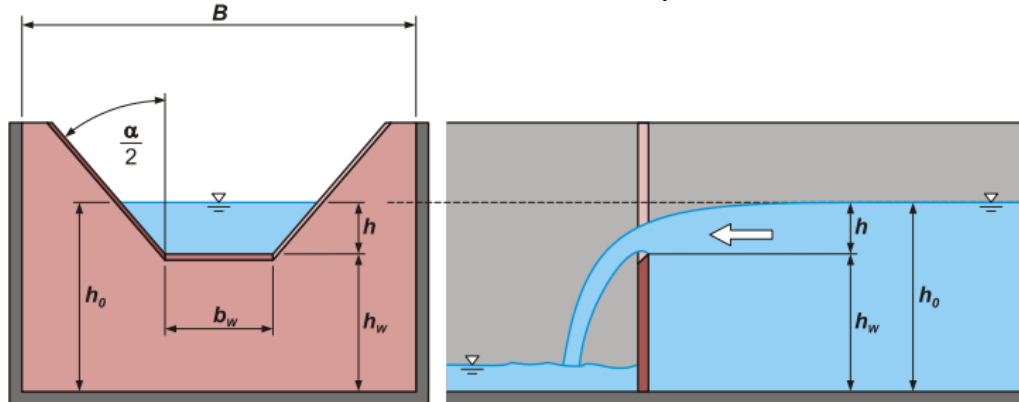
La altura h debe introducirse en metros.

3.3.10. Presa de medición trapezoidal

La presa de medición trapezoidal presenta una combinación de un vertedero rectangular y uno triangular. En comparación con el vertedero triangular, el vertedero 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. El vertedero trapezoidal combina las ventajas de un vertedero triangular y las de uno rectangular. La napa de un vertedero trapezoidal siempre está aireada.

Ecuación de vertedero

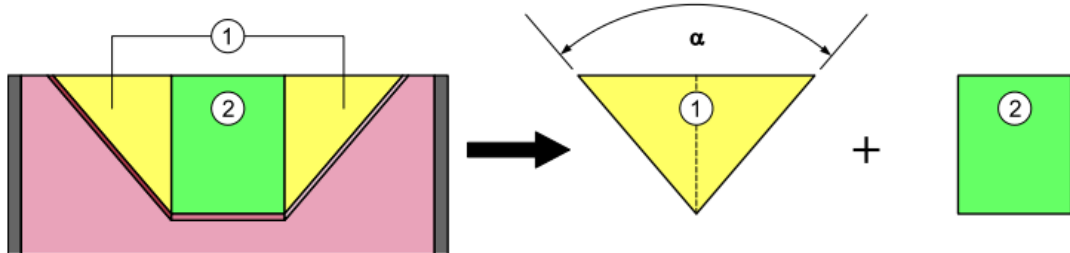
Gráfico 7. Vertedero de forma trapezoidal



Fuente: (Manual de Laboratorio de Estructura e Hidráulica)

La ecuación de vertedero para una presa de medición según la figura mostrada se obtiene dividiendo el área de la sección transversal trapezoidal en un rectángulo y un triángulo, como se muestra en la figura siguiente.

Gráfico 8. Presa de medición trapezoidal: división del área de la sección transversal



Fuente: (Manual de Laboratorio de Estructura e Hidráulica)

- Área triangular (1):

$$Q_1 = \frac{8}{15} \cdot \mu \cdot \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot h^{2.5}$$

- Área rectangular (2):

$$Q_2 = \frac{2}{3} \cdot \mu \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot b_w \cdot h^{1.5}$$

Sumando la fórmula del área triangular (1) y el área rectangular (2) se obtiene finalmente la ecuación de vertedero para una presa de cresta delgada trapezoidal:

$$Q = Q_1 + Q_2$$

$$Q = \frac{2}{3} \cdot \mu \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot h^{1.5} \left[b_w + \frac{4}{5} \cdot h \cdot \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) \right]$$

Coeficiente de vertedero

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

3.3.11. Coeficiente de gasto

Se determina el coeficiente de gasto C_d para hallar el Caudal real Q_r , tal como se muestra en la ecuación.

$$C_d = \frac{Q_r}{Q_t}$$

Dónde:

C_d = Coeficiente de gasto

Q_r = Caudal real

Q_t = Caudal teórico

IV. METODOLOGÍA O MARCO METODOLÓGICO

4.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

4.1.1. Tipo de investigación

El enfoque de la investigación es del tipo Cuantitativo, ya que se requiere de la medición numérica y la estadística.

4.1.2. Nivel de investigación

Aplicada y experimental.

4.1.3. Diseño de investigación

El diseño de la investigación es Experimental, ya que se hará uso del Laboratorio de Estructura e Hidráulica de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de Sistemas e Ingeniería Civil (FISelC) de la Universidad Nacional de Ucayali para realizar los ensayos de laboratorio.

4.2. POBLACIÓN Y TAMAÑO DE MUESTRA

Población.

Vertederos triangular, trapezoidal y rectangular de pared delgada.

Muestra

La muestra será no probabilística, vertederos triangular, trapezoidal y rectangular con contracción y sin contracción.

4.3. ESQUEMA DE LA INVESTIGACIÓN, MÉTODOS Y USO DE MATERIALES

a) Esquema de la investigación

- La muestra se preparará en el laboratorio de Estructura e Hidráulica.
- El canal de ensayo se calibrará mediante la norma ISO 3455 Hydrometry.
- Se realizarán tres ensayos por cada uno de los vertederos y una determinada pendiente, sumando 12 ensayos por cada forma geométrica y un total de 48 ensayos de laboratorio.
- Por cada ensayo se realizarán 5 pruebas las cuales se tomará el tiempo de ensayo con ayuda del cronómetro.
- Se preparará el canal de ensayo y el banco hidráulico para
- Se registrarán estos resultados en fichas técnicas

b) Uso de materiales, equipos, insumos, entre otros

- Canal de ensayo
- Juego de vertederos de cresta delgada, 4 tipos
- Banco hidráulico
- Velocímetro
- Cronómetro
- Cámara fotográfica digital
- Computadora con programas de procesamiento de datos
- Tablero de recolección de datos
- Software ANSYS módulo CFX

c) Aplicación de prueba estadística inferencial

Para esta investigación se realizará estadística inferencial, con la finalidad de analizar los resultados obtenidos de los ensayos en el canal de ensayo.

El diseño de la investigación que se utilizará para la comparación de los resultados con un modelo numérico que simula los parámetros y condiciones del experimento será la prueba de post-test con un solo grupo con el siguiente esquema: O1 X O2.

4.4. Instrumentos de recolección de datos.

Tabla 1. Ficha técnica de trabajo N°01

[illegible]

Fuente: (Manual de laboratorio HM 160.30)

Tabla 2. Recolección de datos para vertedero de forma [...] y pendiente [...]

Ensayo	Tiempos (seg)	Tiempo Prom.	Caudal (L/seg)	Volumen Prom.	Altura h (cm)
--------	---------------	--------------	----------------	---------------	---------------

		(seg)		(L/seg)	
1	Tiempo 1	Tiempo Prom. 1	Volumen 1	Volumen Prom. 1	H1
	Tiempo 2		Volumen 2		
	Tiempo 3		Volumen 3		
	Tiempo 4		Volumen 4		
	Tiempo 5		Volumen 5		
2	Tiempo 1	Tiempo Prom. 2	Volumen 1	Volumen Prom. 2	H2
	Tiempo 2		Volumen 2		
	Tiempo 3		Volumen 3		
	Tiempo 4		Volumen 4		
	Tiempo 5		Volumen 5		
3	Tiempo 1	Tiempo Prom. 3	Volumen 1	Volumen Prom. 3	H3
	Tiempo 2		Volumen 2		
	Tiempo 3		Volumen 3		
	Tiempo 4		Volumen 4		
	Tiempo 5		Volumen 5		

Fuente: (Elaboración Propia.)

V. ASPECTOS ADMINISTRATIVOS Y PRESUPUESTALES

5.1. CONTRIBUCIONES DEL PROYECTO

Si se determina los coeficientes de gasto en vertederos triangulares, rectangulares con contracción y sin contracción y trapezoidales, se logrará tener datos para la construcción de futuros vertederos a escala real en la Amazonía.

5.2. IMPACTOS ESPERADOS

5.2.1. IMPACTOS EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

- Aporte al área de hidráulica de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de Sistemas e Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ucayali.
- Conocimiento en coeficientes de gasto en vertederos en nuestro departamento de Ucayali.

5.2.2. IMPACTOS ECONÓMICOS

- Elaboración de vertederos de diferentes tipos de espesor.
- Estudio y evaluación de costos en soluciones a problemas hidráulicos.

5.2.3. IMPACTOS SOCIALES

- Beneficio en conocimiento en área de hidráulica para la construcción de futuras presas en nuestro departamento de Ucayali.

5.2.4. IMPACTOS AMBIENTALES

- Conocimiento en mitigación de daños provocados por la crecida de las avenidas con la construcción de vertederos.

5.3. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Actividad	Año 2022																	
	Febrero				Marzo					Abril					Mayo			
	1	2	3	4	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2		

	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Planificación y Aprobación del Proyecto																		
Elección del tema					X													
Revisión bibliográfica					X													
Elaboración del proyecto					X													
Aprobación del proyecto					X													
Aprobación de uso del laboratorio					X													
Ejecución del Proyecto																		
Marco teórico					X													
Trabajo de campo en río Ucayali					X													
Calibración y prueba de los equipos						X												
Análisis y diseño de la experimentación						X												
Realización de ensayos en laboratorio						X	X	X	X	X	X							
Procesamiento de datos de laboratorio								X										
Análisis de modelo con el software ANSYS								X		X								
Análisis e interpretación de datos										X	X							
Informe final																		
Sistematización final del informe													X					
Elaboración de conclusiones y sugerencias													X					
Presentación del informe final														X				
Aprobación de la tesis															X			
Sustentación del informe final																		X

5.4. PRESUPUESTO

ASPECTO	DESCRIPCIÓN	COSTO UNITARIO (S/.)	CANTIDAD	COSTO TOTAL (S/.)
POTENCIAL HUMANO	RECURSOS HUMANOS			
	Trabajo de campo	400.00	2	800.00
	Asesoría	1500.00	1	1500.00
RECURSOS MATERIALES Y EQUIPOS	MATERIAL BIBLIOGRÁFICO			
	Libros	500.00	Global	500.00
	Internet	200.00	Global	200.00
	Otros	100.00	Global	100.00
	MATERIAL DE IMPRESIÓN			
	Impresiones	200.00	Global	200.00
	Laptop	1800.00	1 unid	1800.00
	Empastado de la tesis	60.00	4 unid	240.00
	USB	70.00	Global	70.00
	CD	4.00	4 unid	16.00
	MATERIAL DE ESCRITORIO			
	Papel bond A4 - 80 gr	12.00	2 unid	24.00
	Cinta adhesiva	2.00	2 unid	4.00
	Cuaderno cuadriculado	2.00	2 unid	4.00
	Lapiceros	20.00	1 docena	20.00
	Lápices	15.00	1 docena	15.00
	Otros	100.00	Global	100.00
	EQUIPAMIENTO DE BIOSEGURIDAD Y HERRAMIENTAS			
	Mascarilla quirúrgica	15.00	6 cajas	90.00
	Alcohol 70°	15.00	6 unid	90.00
	Mascarilla KN95	25.00	6 cajas	150.00
	Protector facial	24.00	2 docenas	48.00

	Guantes de seguridad	45.00	2 pares	90.00
	Botas de seguridad	80.00	2 pares	160.00
SERVICIOS	PROGRAMAS			
	Software Ansys módulo CFX	1200.00	1 unid	1200.00
	MOVILIDAD			
	Movilidad local	1500.00	Global	1500.00
	Movilidad nacional	900.00	Global	900.00
	Viáticos	600.00	Global	600.00
TOTAL				10,121.00

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Beltrán et. al (2013). Laboratorio de Hidráulica / Vertederos. Práctica N°4 Vertederos triangulares. Universidad de la Costa, Colombia.

Calderon, E. (25 de septiembre de 2019). *Moderno laboratorio de hidráulica para filial Puno*. <https://uancv.edu.pe/es/node/249>

Departamento Académico de Ingeniería PUCP. (s.f.). *Laboratorio de Hidráulica*. <https://departamento.pucp.edu.pe/ingenieria/laboratorio/laboratorio-de-hidraulica/>

ISO 3455: 2021 Hydrometry – Calibration of current-meters in straight open tanks.

Jacinto, D. (2007). Determinación de los coeficientes de gasto del aforador Venturi para canal. Tesis, México.

Kellow, M. (2015). Manual de experimentos, HM 160.30 Juego de vertederos de cresta delgada, 4 tipos.

Linares, J. (2012). Diseño y construcción de un canal hidráulico de pendiente variable para uso didáctico e investigación. Tesis, San Salvador.

Martínez, M. (2013). Visita técnica laboratorio nacional de hidráulica. Facultad de Ingeniería, Lima, Perú.

Mejía, J. (2013). Departamento de Geociencias y Medio Ambiente. Facultad de Minas, Colombia.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). Manual de Ensayo de materiales (Edición mayo de 2016). Lima, Perú: MTC.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje (1era Edición: diciembre 2011). Lima, Perú: MTC.

Ochoa, A. (2003). *Determinación de coeficientes de gasto de vertedores en el canal hidrodinámico de pendiente variable*. Tesis, México.

Oficina Universitaria de Imagen Institucional. (06 de noviembre de 2018).

Laboratorio de Hidráulica de la UNAS es implementado con equipos de tecnología de última generación. <https://www.unsa.edu.pe/implementan-con-modernos-equipos-de-ultima-generacion-laboratorio-de-hidraulica-de-la-uns/>

Portal de arquitectura Arqhys.com. Equipo de redacción profesional. (2012, 12). *Vertederos hidráulicos*. Escrito por: Arqhys Construcción. Obtenido en fecha 04, 2022, desde el sitio web: <https://www.arqhys.com/construccion/vertederos-hidraulicos.html>

Quiliche, J. (2015). *Coeficiente de gasto en vertederos triangulares en el canal de pendiente variable – laboratorio de hidráulica de la UPN – Cajamarca, 2015*. Tesis, Perú.

Ramos, H. (2011). *Evaluación experimental de los coeficientes de gastos utilizados en fórmulas de vertederos en diferentes condiciones de operación*. Tesis.

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2022). *Avisos Hidrológicos Regionales*. Aviso N°1072. Lima, Perú: SENAMHI.

Sotelo, G. (1994). *Apuntes de Hidráulica II. Capítulo 8. Diseño hidráulico de estructuras*. Ciudad Universitaria, México.

Universidade da Coruña. (s.f.). *Laboratorio de Hidráulica*. <https://www.udc.es/citeec/hidraulica.html>

VII. ANEXO

Matriz de consistencia.

“Análisis y Evaluación del coeficiente de gasto en vertederos triangular, trapezoidal y rectangular en canal de ensayo del laboratorio de Estructura e Hidráulica (UNU) – 2022.”

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA
Problema General: - ¿Cuáles son los coeficientes de gasto en los vertederos triangular, trapezoidal y rectangular con contracción y sin contracción de pared delgada en el canal de ensayo del Laboratorio de Estructura e Hidráulica de la Universidad Nacional de Ucayali?	Objetivo General: - Evaluar los coeficientes de gasto para vertederos triangulares, rectangulares con contracción y sin contracción y trapezoidales en el canal de ensayo.	Hipótesis General: - Los coeficientes de gasto de vertederos triangulares, trapezoidales y rectangulares determinados por medio del ensayo experimental son menores a 1.	Variable independiente: • Pendiente longitudinal Indicadores: Desnivel (%) • Caudal o descarga Indicadores: Volumen (Lt) Tiempo (s) Velocidad (m/s) Área (m ²)	Tipo de Investigación: Tipo Cuantitativa Nivel de Investigación: Aplicada y experimental Diseño de investigación: Diseño Experimental
Problemas específicos: - ¿De qué manera influyen las variables de estudio en la	Objetivos Específicos: - Obtener experimentalmente los coeficientes de	Hipótesis Específicas: - Para las pendientes de 1% a 4%, a mayor	Variable dependiente: • Coeficientes de gasto	Aplicación de prueba estadística: Prueba de un solo grupo Post test.

<p>determinación de los coeficientes de gasto en los vertederos triangular, trapezoidal y rectangular de pared delgada con contracción y sin contracción?</p> <p>- ¿De qué manera serán iguales los resultados de los coeficientes de gastos en los vertederos triangular, trapezoidal y rectangular de pared delgada con contracción y sin contracción en el canal de ensayo del laboratorio de Estructura e Hidráulica de la Universidad Nacional de Ucayali, frente a los resultados obtenidos del modelo numérico?</p> <p>- ¿Se podrán aplicar los resultados obtenidos del ensayo experimental en un proyecto hidráulico de escala?</p>	<p>gasto y determinar si el gasto varía de acuerdo a la pendiente longitudinal.</p> <p>- Comparar los resultados del ensayo experimental con un modelo numérico con los mismos parámetros y condiciones del canal de ensayo.</p> <p>- Elaborar una propuesta para la determinación de los coeficientes de gasto en vertederos triangulares, trapezoidales, rectangulares con y sin contracción en proyectos hidráulicos de escala.</p>	<p>pendiente se obtendrá un mayor gasto.</p> <p>- Los coeficientes de gasto obtenidos del ensayo experimental resultan mayores que los coeficientes de gasto obtenidos del análisis del caudal con un modelo numérico.</p> <p>- Los coeficientes de gasto para proyectos hidráulicos de escala son mayores que los coeficientes de gasto para el canal de ensayo del laboratorio de Estructura e Hidráulica.</p>	<p><u>Indicadores:</u> Adimensional</p>	<p>GE: O1 X O2</p> <p>Donde: GE: Grupo de Estudio. O1: Realización de ensayos de laboratorio. X: Análisis con el software ANSYS. O2: Comparación de resultados del ensayo experimental y del software.</p>
--	--	--	---	--