

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

“EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE LOS  
COEFICIENTES DE GASTOS EN VERTEDEROS DE  
PARED DELGADA TIPO: SEMICIRCULAR,  
PARABÓLICO, TRAPEZOIDAL Y SUTRO EN  
CANALES RECTANGULARES”

Tesis para optar al título profesional de:

**Ingeniera Civil**

**Autor:**

Andrea Milagros Navarro Escobar

**Asesor:**

Mg. Juan Miguel De La Torre Ostos

<https://orcid.org/0000-0001-8226-5376>

Lima – Perú

2023

**JURADO EVALUADOR**

Jurado 1	Ing. Neicer Campos Vasquez	42584435
Presidente(a)	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	Ing. Jose L. Neyra Torres	21454204
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	Ing. Ruben K. Manturano Chipana	46905022
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

## INFORME DE SIMILITUD

### EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE LOS COEFICIENTES DE GASTOS EN VERTEDEROS DE PARED DELGADA TIPO: SEMICIRCULAR, PARABÓLICO, TRAPEZOIDAL Y SUTRO EN CANALES RECTANGULARES

---

#### ORIGINALITY REPORT

---

**11** %

SIMILARITY INDEX

**11** %

INTERNET SOURCES

**0** %

PUBLICATIONS

**6** %

STUDENT PAPERS

---

#### MATCH ALL SOURCES (ONLY SELECTED SOURCE PRINTED)

---

15%

★ [hdl.handle.net](https://hdl.handle.net)

Internet Source

---

## **DEDICATORIA**

A mis padres, a pesar de muchos obstáculos lograron siempre apoyarme y  
nunca darme la espalda.

A mis hermanos, a cada uno de ellos por darme el tiempo necesario para  
realizar este trabajo y apoyarme en lo más mínimo.

A mi hijo, por ser mi motor de cada día y darme fuerzas todos los días para  
ser una mejor persona.

A mi madrina, a pesar de la distancia sé que ella siempre me apoya en todo lo  
que ella puede.

### **AGRADECIMIENTO**

A mi familia por brindarme el apoyo necesario para poder completar este trabajo que me permitirá seguir avanzando como profesional, así como persona a pesar de los múltiples obstáculos siempre juntos salimos adelante.

A mis docentes de la universidad por haberme brindado sus conocimientos y apoyo en este trabajo de investigación además de sus consejos y tiempo.

A mis amistades cercanas además de familiares que cada uno me ha brindado su apoyo incondicional.

**TABLA DE CONTENIDO**

JURADO EVALUADOR .....	2
INFORME DE SIMILITUD .....	3
DEDICATORIA .....	4
AGRADECIMIENTO .....	5
TABLA DE CONTENIDO .....	6
ÍNDICE DE TABLAS .....	12
ÍNDICE DE FIGURAS .....	14
RESUMEN .....	18
ABSTRACT .....	19
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN .....	20
1.1. Realidad problemática .....	20
1.1.1. Antecedentes .....	23
1.2. Formulación del problema .....	29
1.2.1. Problema General.....	29
1.2.2. Problemas Específicos .....	29
1.3. Justificación del Estudio .....	30
1.4. Límites del Estudio .....	32
1.5. Objetivos.....	32
1.5.1. Objetivo General:.....	32
1.5.2. Objetivo Específicos: .....	32

1.6.Hipótesis .....	33
1.6.1. Hipótesis General:.....	33
1.6.2. Hipótesis Específicas:.....	33
<b>CAPÍTULO II: METODOLOGÍA .....</b>	<b>35</b>
2.1.Tipo de Investigación .....	35
2.1.1. Según su propósito .....	35
2.1.2. Por su enfoque .....	35
2.1.3. Por su diseño .....	35
2.1.4. Nivel de investigación .....	36
2.2.Enfoque de la investigación .....	36
2.3.Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos) .....	37
2.3.1. Población: .....	37
2.3.2. Muestra: .....	37
2.4.Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos .....	38
2.4.1. Técnicas de recolección e instrumentos .....	38
2.4.2. Técnicas de análisis de datos .....	39
2.4.3. Validación del instrumento .....	40
2.4.4. Confiabilidad del método Alfa de Cronbach .....	41
2.5.Aspectos éticos .....	42
2.6.Marco teórico .....	42
2.6.1. Caudal.....	42
2.6.1.1. Ecuación de Continuidad .....	42

2.6.1.2.	Ecuación del Caudal volumétrico .....	43
2.6.1.3.	Ecuación de Manning .....	44
2.6.1.4.	Ecuación de Bernoulli .....	44
2.6.2.	Vertederos .....	45
2.6.2.1.	Vertedero semicircular .....	47
2.6.2.2.	Vertedero parabólico .....	48
2.6.2.3.	Vertedero trapezoidal .....	49
2.6.2.4.	Vertedero sutro .....	50
2.6.3.	Canal de pendiente variable .....	51
2.7.	Desarrollo de la investigación .....	52
2.7.1.	Objetivo general.....	52
2.7.2.	Objetivo específico 1 .....	53
2.7.3.	Objetivo específico 2.....	54
2.7.4.	Objetivo específico 3.....	58
<b>CAPÍTULO III: RESULTADOS.....</b>		<b>60</b>
3.1.	Objetivo 1 .....	60
3.1.2.	Procedimiento teórico-matemático.....	60
3.1.2.1.	Vertedero semicircular .....	60
3.1.2.2.	Vertedero parabólico .....	61
3.1.2.3.	Vertedero trapezoidal .....	62
3.1.2.4.	Vertedero sutro .....	63
3.1.3.	Resultado 1.....	64



3.2.Objetivo 2 .....	64
3.2.2. Procedimiento práctico .....	65
3.2.2.1. Vertedero Semicircular .....	65
3.2.2.2. Vertedero Parabólico .....	65
3.2.2.3. Vertedero Trapezoidal .....	66
3.2.2.4. Vertedero Sutro.....	66
3.2.3. Resultado 2.....	67
3.3.Objetivo 3 .....	67
3.3.1. Resultado 3.....	68
3.4.Objetivo 4 .....	68
3.4.1. Medida de la altura del agua.....	68
3.4.2. Canal de pendiente variable .....	69
3.4.2.1. Caudal 1 (Q1).....	69
3.4.2.2. Caudal 2 (Q2).....	70
3.4.2.3. Caudal 3 (Q3).....	71
3.4.2.4. Caudal 4 (Q4).....	72
3.4.2.5. Caudal 5 (Q5).....	73
3.4.2.6. Caudal 6 (Q6).....	74
3.4.3. Variación de altura de agua.....	76
3.4.3.1. Parabólico .....	76
3.4.3.2. Sutro.....	77
3.4.3.3. Trapezoidal .....	79

3.4.3.4.	Semicircular .....	80
3.4.4.	Comprobando en ecuaciones .....	81
3.4.4.1.	Parabólico .....	82
3.4.4.2.	Sutro .....	82
3.4.4.3.	Trapezoidal .....	83
3.4.4.4.	Semicircular .....	83
3.4.5.	Resultado 4.....	84
3.5.	Gráficos estadísticos.....	85
3.5.1.	Ítem 1: Vertederos de geometrías no convencionales .....	85
3.5.2.	Ítem 2: Canal de pendiente variable.....	88
3.5.3.	Ítem 3: Aplicación de vertederos en el canal de pendiente variable.....	90
3.5.4.	Ítem 4: Los caudales .....	92
3.5.5.	Ítem 5: Verificación del caudal con las alturas.....	95
3.5.6.	Ítem 6: Coeficiente de corrección.....	96
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		99
4.1.	DISCUSIONES .....	99
4.1.1.	Discusión 1.....	99
4.1.2.	Discusión 2.....	100
4.1.3.	Discusión 3.....	101
4.1.4.	Discusión 4.....	102
4.2.	CONCLUSIONES .....	103
4.2.1.	Conclusión 1.....	103

4.2.2. Conclusión 2.....	103
4.2.3. Conclusión 3.....	104
4.2.4. Conclusión 4.....	105
4.3.RECOMENDACIONES.....	105
REFERENCIA .....	107
ANEXOS .....	112

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Juicio de Expertos .....	39
Tabla 2: Medidas de cada vertedero de geometría no convencional .....	64
Tabla 3: Altura de control para cada vertedero de geometría no convencional.....	66
Tabla 4: Altura del paso de agua con Caudal 1 ( $Q_1=3,32\text{l/s}$ ) .....	66
Tabla 5: Altura de agua con Caudal 1 ( $Q_1=3,32\text{l/s}$ ) .....	67
Tabla 6: Altura del paso de agua con Caudal 2 ( $Q_2=4,10\text{l/s}$ ) .....	67
Tabla 7: Altura de agua con Caudal 2 ( $Q_2=4,10\text{l/s}$ ) .....	68
Tabla 8. Altura del paso de agua con Caudal 3 ( $Q_3=5,38\text{l/s}$ ) .....	68
Tabla 9: Altura de agua con Caudal 3 ( $Q_3=5,38\text{l/s}$ ) .....	69
Tabla 10: Altura del paso de agua con Caudal 4 ( $Q_4=6,25\text{l/s}$ ) .....	69
Tabla 11: Altura de agua con Caudal 4 ( $Q_4=6,25\text{l/s}$ ) .....	70
Tabla 12: Altura del paso de agua con Caudal 5 ( $Q_5=7,54\text{l/s}$ ) .....	71
Tabla 13: Altura de agua con Caudal 5 ( $Q_5=7,54\text{l/s}$ ) .....	71
Tabla 14: Altura del paso de agua con Caudal 6 ( $Q_6=8,21\text{l/s}$ ) .....	72
Tabla 15: Altura de agua con Caudal 6 ( $Q_6=8,21\text{l/s}$ ) .....	72
Tabla 16: Altura de agua en vertedero parabólico .....	72
Tabla 17: Altura de agua en vertedero sutro .....	74
Tabla 18: Altura de agua en vertedero trapezoidal .....	75

Tabla 19: Altura de agua en vertedero semicircular ..... 77

Tabla 20: Fórmulas con factor de gasto ..... 81

## ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1: Valores de Alfa de Cronbach .....	41
Ilustración 2: Partes de un vertedero .....	46
Ilustración 3: Vertedero rectangular de pared delgada .....	46
Ilustración 4: Forma de la vena .....	47
Ilustración 5: Esquema de Vertedero Semicircular .....	48
Ilustración 6: Esquema de Vertedero parabólico .....	49
Ilustración 7: Esquema de Vertedero Trapezoidal .....	49
Ilustración 8: Esquema de Vertedero Sutro .....	50
Ilustración 9: Canal de pendiente variable .....	52
Ilustración 10: Implementación de manera física del vertedero semicircular .....	57
Ilustración 11: Implementación de manera física del vertedero sutro .....	57
Ilustración 12: Implementación de manera física del vertedero trapezoidal .....	57
Ilustración 13: Implementación de manera física del vertedero parabólico .....	57
Ilustración 14 : Midiendo la altura con ayuda del limnómetro .....	59
Ilustración 15: Hacer el mismo procedimiento con cada vertedero de geometría no convencional.....	59
Ilustración 16: Medidas del vertedero semicircular .....	61
Ilustración 17: Medidas del vertedero parabólico.....	62

Ilustración 18: Medidas del vertedero trapezoidal.....	63
Ilustración 19: Medidas del vertedero sutro .....	64
Ilustración 20: Diseño de Vertedero Semicircular .....	65
Ilustración 21: Diseño de Vertedero Parabólico .....	65
Ilustración 22: Diseño de Vertedero Trapezoidal .....	66
Ilustración 23: Diseño de Vertedero Sutro .....	66
Ilustración 24: Curvas de calibración en vertedero parabólico .....	77
Ilustración 25: Curvas de calibración en vertedero sutro .....	78
Ilustración 26: Curvas de calibración en vertedero trapezoidal .....	80
Ilustración 27: Curvas de calibración en vertedero semicircular.....	81
Ilustración 28: ¿Cree correcta la fórmula del vertedero semicircular?.....	86
Ilustración 29: ¿Cree correcta la fórmula del vertedero trapezoidal? .....	87
Ilustración 30: ¿Cree correcta la fórmula del vertedero parabólico? .....	87
Ilustración 31: ¿Cree correcta La fórmula del vertedero sutro?.....	88
Ilustración 32: ¿Es correcto comenzar midiendo el canal de pendiente variable? ...	89
Ilustración 33: ¿Cree usted conveniente continuar con la medida del espesor de la ranura del canal de pendiente variable? .....	89
Ilustración 34: ¿Es correcto iniciar con la implementación física de los vertederos después de la implementación analítica? .....	90

Ilustración 35: ¿Se comienza con la calibración de la pendiente? .....	91
Ilustración 36: ¿Se debe esperar unos minutos para que el agua se estabilice? ....	92
Ilustración 37: ¿ Es correcto iniciar con una altura de control? .....	93
Ilustración 38: ¿Es correcto ir anotando las medidas del tirante de los diferentes vertederos cuando el agua se estabilizó? .....	94
Ilustración 39: ¿Es aceptable la restricción que se le hizo al vertedero semicircular por su geometría? .....	94
Ilustración 40: ¿Es correcto que las curvas de calibración sea Q vs h? .....	95
Ilustración 41: ¿Es correcto usar un programa o software para el cálculo del tirante? .....	96
Ilustración 42: ¿Es correcto usar un programa o software para el cálculo del tirante? .....	97
Ilustración 43: ¿Los valores de factores de gasto deben estar entre los valores 0 a 1? .....	98
Ilustración 44: Cálculo de coeficiente para vertedero semicircular .....	124
Ilustración 45: Cálculo de coeficiente para vertedero parabólico .....	124
Ilustración 46: Cálculo de coeficiente para vertedero trapezoidal .....	125
Ilustración 47: Cálculo de coeficiente para vertedero sutro .....	125
Ilustración 48: Ingreso al laboratorio de Hidráulica con los implementos de seguridad necesarios .....	126



Ilustración 49: Verificando la altura con los datos del vertedero triangular calibrado de 53°7' .....	126
Ilustración 50: El paso del agua según el aumento del caudal .....	127
Ilustración 51: Limnómetro .....	127
Ilustración 52: Comprobando la pendiente .....	128
Ilustración 53: : Ajustando la pendiente requerida .....	128
Ilustración 54: Ranura metálica de 1cm .....	128
Ilustración 55: Vertedero triangular calibrado de 53° 7' .....	129
Ilustración 56: Paso del agua con vertedero parabólico .....	130
Ilustración 57: Uso de los vertederos en canal de pendiente variable y la medida de la altura con el limnómetro .....	130

## RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo realizar una evaluación experimental de los coeficientes de gastos utilizados en vertederos de pared delgada, semicircular, parabólico, trapezoidal y sutro para realizar aforos en canales rectangulares, el tipo de investigación fue cuantitativa, aplicada, descriptiva y no experimental. Asimismo, la población son los vertederos investigados y la muestra son los vertederos evaluados en el canal rectangular; semicircular, parabólico, trapezoidal y sutro.

Con el uso de los laboratorios de la UPN Sede Los Olivos se pudo hallar los coeficientes de gasto de cada diseño de vertedero tanto de manera física como de manera matemática con ayuda del vertedero triangular calibrado de  $53^{\circ} 7'$ , los caudales a utilizar fueron de 3.32 l/s, 4.10 l/s, 5.38 l/s, 6.25 l/s, 7.54 l/s y 8.21 l/s; a cada fórmula general de los vertederos evaluados en el canal rectangular se le añadió un coeficiente de gasto donde se hace el arreglo manual, oscilando a un valor entre 0 a 1 posteriormente en cada curva de calibración se determinó que, a mayor caudal, mayor será la altura del agua.

Y como conclusión final se logró la evaluación experimental de los coeficientes de gastos utilizados en vertederos de pared delgada, además de graficar sus curvas de calibración y verificar sus fórmulas tanto de manera física y manual.

Palabras clave: Vertedero, coeficiente de gasto, curvas de calibración.

## ABSTRACT

The objective of this research is to carry out an experimental evaluation of the cost coefficients used in thin-walled, semicircular, parabolic, trapezoidal and sutor weirs to carry out gauging in rectangular channels. The type of research was quantitative, applied, descriptive and non-experimental. Likewise, the population is the investigated landfills and the sample is the landfills evaluated in the rectangular channel; semicircular, parabolic, trapezoidal and sutor.

With the use of the laboratories of the UPN Los Olivos Headquarters, the flow coefficients of each spillway design could be found both physically and mathematically with the help of the calibrated triangular spillway of  $53^{\circ} 7'$ , the flows to be used were 3.32 l/s, 4.10 l/s, 5.38 l/s, 6.25 l/s, 7.54 l/s and 8.21 l/s; To each general formula of the weirs evaluated in the rectangular channel, a cost coefficient was added where the manual arrangement is made, oscillating at a value between 0 to 1. Subsequently, in each calibration curve, it was determined that, the greater the flow, the greater the the height of the water.

And as a final conclusion, the experimental evaluation of the expense coefficients used in thin-walled landfills was achieved, in addition to graphing their calibration curves and verifying their formulas both physically and manually.

Keywords: Landfill, expenditure coefficient, calibration curves.

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

El agua es un recurso tan necesario tanto para la vida humana como lo es la vida animal, así mismo es una sustancia única y esencial para la vida en la Tierra debido a sus propiedades físicas y químicas según la empresa IAGUA en el año 2017 definieron la importancia del agua, así como sus propiedades principales, dicha empresa es conocida en el país de España y Latinoamérica.

En tiempos pasados el agua fue necesaria para su consumo hasta su actualidad, pero con el paso del tiempo el hombre la utilizo para otros beneficios, se ve reflejada su uso en alcantarillados, presas, grifos, vertederos, etc.

Uno de las principales muestras de infraestructura hidrológica es el templo de Sacsayhuaman ubicado en Cusco, es uno de los departamentos más importantes del Perú en el área de turismo por poseer una de las 7 maravillas del mundo, pero también es uno de los departamentos con infraestructuras únicas en alcantarillados, hechos por los incas.

Además, la mayoría de departamentos del Perú en la parte sierra principalmente, las lluvias son constantes así que en las mismas calles se implementó un sistema de alcantarillado para que el agua no conleve a inundaciones.

Así como el agua es un elemento único también ha sido usado para el proceso de generar energía se puede notar en las centrales hidroeléctricas que en la mayoría utilizan vertederos, pero de preferencia con formas convencionales. Según ENEL (2016), las

centrales hidroeléctricas de Lima se ubican en las cuencas de los ríos Rímac y Santa Eulalia esto quiere decir que el agua es necesaria para la vida, pero también está siendo utilizado como recurso importante para generar la electricidad, así mismo se conoce que los desastres naturales provocados por la naturaleza son hechos que no se pueden predecir al punto que pueden destruir los proyectos del hombre.

El agua es conocido por tener una cantidad de energía desmedida es debido a la corriente ya que como sabemos los desastres naturales donde más se usa el agua es en tsunamis y huaycos, en el caso de los tsunamis las olas son alturas formidables que arrasan con edificios, casas, escuelas, etc. mientras que en el caso de los huaycos no es solo el agua sino también piedras o desechos. En la ciudad de Lima (2017) por el fenómeno del niño ocurrieron crecidas del río a tal punto que se llevó viviendas, casas, negocios hasta un puente, la energía del agua fue tanta que también hubo escasez de agua en todo el departamento de Lima.

En el caso de los fenómenos naturales a mencionar, en el año 2017 ocurrió en Lima el fenómeno del niño costero, la corriente de agua no solo desplazaba agua sino también rocas, lodo, desechos entre otros desperdicios justamente se usaron los vertederos para el desplazamiento de agua, pero no eran aptos los vertederos convencionales (triangular y rectangular) para el desplazamiento de dichos desperdicios por eso se llevó a cabo la propuesta de diseño de vertederos de geometrías no convencionales.

Los vertederos son dispositivos por el cual se obliga a pasar el agua a través de una abertura denominada ventana o escotadura (Matos Castro, 2022), indica que se puede calcular la energía del agua ya que el agua no tiene fuerza.

Los dispositivos mencionados sirven para la generación de energía se han implementado de múltiples formas pero como ya se comentó la mayoría de manera convencional, en un proyecto de investigación se manifestó que el efecto de la variación geométrica es la alteración de los caudales (Leaño Paucar, 2021) quiere decir que las formas geométricas van a afectar al flujo del agua así como el aumento o disminución del caudal, por lo tanto al tener un nuevo diseño e implementarlo en las enseñanzas continuas permitiría a los estudiantes el proceso de conocimientos mayor.

En ingeniería el aporte sería en el área de hidráulica hay múltiples elementos que se pueden utilizar, pero para esta investigación se emplearon los vertederos que son los encargados de la medición de caudales, cada vertedero de geometría convencional o no convencional tiene su fórmula para hallar el diseño deseado según diferentes parámetros que desee el investigador dependerá del caudal a utilizar para generar las alturas de agua

La formación de los estudiantes de ingeniería civil no se llega a experimentar en el área de mediciones de caudales mediante vertederos de formas no convencionales creando una limitación o un activo académico que esta investigación pretende llenar, proporcionando procedimiento dejando los vertederos a disposición de los estudiantes ya que no se enseña, no hay equipamiento, hay un vacío de esa área de estudio.

Actualmente en los laboratorios de hidráulica como en la medición de caudales de múltiples universidades e institutos se desarrollan los ensayos correspondientes, pero solo de los vertederos de formas convencionales tales como vertederos rectangulares y vertederos sin contracciones mientras que los no convencionales se diseñan de manera teórica, lo cual conlleva a no tener un conocimiento aplicativo a fin de realizar mediciones reales de los vertederos con diseño tales como: semicircular, parabólico, trapezoidal y sutro. Así mismo que los estudiantes de ingeniería utilicen los vertederos para ampliar los conocimientos de geometría no convencionales.

El instrumento como patrón será un vertedero tipo triangular calibrado de  $53^\circ$  con el que cuenta el laboratorio de hidráulica de la Universidad Privada del Norte –Sede Los Olivos con su respectiva curva de calibración (medición de caudales en l/s).

### **1.1.1. Antecedentes**

#### **Antecedentes nacionales**

En el ámbito nacional en Cajamarca se tiene a Quiliche Vásquez (2015), dicha investigación se utiliza un vertedero triangular donde la variación fue en su ángulo, caudal y pendiente en el cálculo del coeficiente de gasto, pero todos teniendo en común el espesor del vertedero de 8mm, utilizado en el canal de pendiente variable.

Como objetivo principal es la determinación de los coeficientes de gasto para vertederos triangulares en el canal de pendiente variable.

En el procedimiento se utilizó el laboratorio de hidráulica de la UPN Sede Cajamarca, contaba con un vertedero triangular de  $90^\circ$ , así que se diseñó diferentes vertederos triangulares de ángulos de  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$  y  $60^\circ$ , a medida que avanzaba el procedimiento hubo variación en las pendientes 1%, 2% y 4%, llegando a la conclusión que los coeficientes de gasto van a ser variables según el ángulo, canal y pendiente del vertedero triangular.

En Trujillo, Sigüenza Corcuera (2017) nos relata en la investigación el uso de un vertedero Crump, tiene forma de pirámide triangular irregular, donde usando un rango de caudales específicamente para la medición de caudales, el análisis del comportamiento de la energía específica, la clasificación de los tipos de flujos y para las diferentes condiciones que se pueden presentar en las estructuras de aforamiento. Como objetivo principal es analizar desde el punto de vista hidráulico, los problemas de energía específica, tipos de flujo y estructuras de aforo; mediante el diseño y construcción de dispositivos y equipos hidráulicos, además de la elaboración de guías experimentales para el estudio de estos problemas en el canal de pendiente variable de la Universidad Privada Antenor Orrego, con todo el procedimiento dado se llegó a la conclusión final que las ecuaciones generadas para los diferentes vertederos fueron las correctas ya que solo se generó un margen de error mínimo.

### **Antecedentes Internacionales**



En el ámbito internacional se cuenta con Vintimilla Vintimilla & Patiño Fernández (2015) indica el uso de un vertedero en abanico para un proyecto donde se realizará un modelo matemático con ayuda del software Flow 3D para establecer el patrón de flujo, asimismo su objetivo principal es el análisis de dicho flujo. En conclusión, se logró analizar el flujo del agua para el proyecto con ayuda del software además de un futuro proceso de estudio de los modelos de simulación numérica para el diseño y análisis del funcionamiento de estructuras hidráulicas y procesos de flujo en proyectos de Ingeniería Civil.

Chandi Pozo & Escobar Montenegro (2018), en Ecuador se realizó un proyecto de investigación, su objetivo principal es realizar la modelación numérica tridimensional del flujo sobre los vertederos tipo cimacio de la presa Toachi, aplicando la metodología de la dinámica de fluidos computacional (CFD). En esta investigación ya no se usa el software Flow 3D al ser muy utilizado se decidió usar otro software ya que el modelo matemático querían corroborarlo de manera experimental y computacional con los vertederos en la presa Toachi. Como conclusión se pudo determinar la modelación numérica tridimensional según la metodología de la dinámica de fluidos computacional, según los resultados de la modelación numérica y física además de corroborar los datos con un porcentaje de error.

Otra investigación internacional en Ecuador de Guamán Sánchez & Torres Jara (2018) relata sobre el modelamiento numérico y computacional en un canal

rectangular con 3 tipos de vertederos entre ellos se encuentran; triangular, rectangular y trapezoidal, tiene como objetivo principal validar las tecnologías basadas en Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) con la finalidad de caracterizar adecuadamente el comportamiento de fluidos en vertederos y canales hidráulicos. A medida del avance del proceso de investigación se pudo concluir que tanto de manera experimental y de manera computarizada con el apoyo de un software CFD se da el uso adecuado del comportamiento de los fluidos en los vertederos.

Además, se logró obtener el comportamiento de los fluidos siempre y cuando los instrumentos estén bien calibrados además de el correcto uso del software.

Así como también Taris, Andrés (2023) en la Universidad de Ambato, el presente proyecto está encaminado al diseño y construcción de una pista de aire lineal con el propósito de implementar este equipo al laboratorio de Física de la facultad de ingeniería civil y mecánica, para que los estudiantes realicen prácticas de experimentación sobre cinemática y dinámica.

Se puede relatar la innovación de un laboratorio de ingeniería para otras áreas de manera que para ampliar los conocimientos de los estudiantes en áreas relacionadas para desarrollo de sus prácticas profesionales.

En Colombia, Díaz Alarcón (2020) el objetivo principal de dicho proyecto de investigación es modelar matemáticamente, a través del uso de software CFD,

las condiciones de flujo libre de agua en los ensayos de vertedero rectangular y vertedero triangular del Canal Hidráulico del laboratorio de hidráulica del Campus Aguas Claras de la Universidad Santo Tomás, sede Villavicencio, quiere decir que en cada vertedero por teoría están relacionados a las ecuaciones de Bernoulli, se usó un software además de hacer los ensayos previos en dichos vertederos. En el procedimiento se puede relatar que el uso del software no es una cantidad alta en el área de ingeniería, como todo dispositivo computacional tiene un margen de error mínimo mientras que se debería utilizar para mejorar el tiempo de conclusión de obra.

Como resultado, se halló un modelo matemático que verifica las condiciones del agua de manera precisa con el apoyo del software.

Otro documento de investigación que podemos destacar en el mismo país de Colombia es Guerreo, Luis (2015), tiene el propósito de desarrollar e implementar un laboratorio virtual para proporcionar un medio en línea para realizar experimentos en diversas áreas de ingeniería sísmica. Los laboratorios virtuales se han consolidado en la última década como una valiosa herramienta de apoyo para el ejercicio académico en diferentes áreas de la formación profesional. Con este proyecto se pretende implementar prácticas virtuales para el aprendizaje, mediante el desarrollo de módulos para proporcionar un medio de experimentos interactivos en línea, destinados a proporcionar una comprensión conceptual de temas relacionados con la dinámica de estructuras y la ingeniería sísmica.

Dicha investigación tiene innovación tecnológica para los estudiantes de ingeniería sísmica relacionado a la realidad virtual implementando un laboratorio para su ampliación de conocimientos.

En Ecuador, Quishpe Songor (2021) en dicha investigación habla del uso de modelos numéricos con ayuda del software Flow-3D, donde se usaron compuertas, así como también vertederos de pared delgada y gruesa. Como objetivo principal se priorizo el elaborar un manual para las prácticas de laboratorio virtual de Hidráulica en base a la ejecución de modelos numéricos para los estudiantes de la carrera de ingeniería civil empleando el software Flow 3D.

Como conclusión se comprobó que tanto la evaluación experimental como la del software Flow 3D, los resultados tienen concordancia.

En el país de El Salvador Aranda & Campos (2014) indica la importancia que la Facultad cuente con servicios de laboratorios siendo indispensables en la enseñanza práctica de la carrera de Ingeniería Civil, es por esta razón se presenta una Propuesta de Implementación del Laboratorio de Asfalto, que facilite la enseñanza del docente, el aprendizaje de los estudiantes y preste servicios a personas y empresas que lo requieran, ya que los estudiantes solo recurren a documentos teóricos que describen los ensayos de laboratorio por la falta de dichas instalaciones.

Al ser un país con escasos recursos, los laboratorios no están equipados eficientemente dicha implementación ayudaría a los estudiantes, así como los

docentes encargados de los cursos de ingeniería ampliar sus conocimientos y enseñanzas que deseen.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema General**

- ¿De qué manera una evaluación experimental permitirá determinar los coeficientes de gastos en vertederos de pared delgada tipo, semicircular, parabólico, trapezoidal y sutro en canales rectangulares?

### **1.2.2. Problemas Específicos**

- ¿Cómo diseñar de manera analítica los vertederos de pared delgada tipo, semicircular, parabólico, trapezoidal y sutro para el canal de pendiente variable del laboratorio de hidráulica de la UPN Sede Los Olivos?
- ¿En qué forma implementar de manera física los vertederos de pared delgada tipo, semicircular, parabólico, trapezoidal y sutro para el canal de pendiente variable del laboratorio de hidráulica de la UPN Sede Los Olivos?
- ¿De qué manera realizar las curvas de calibración por cada uno de los vertederos de pared delgada tipo, semicircular, parabólico, trapezoidal y sutro para el canal de pendiente variable del laboratorio de hidráulica de la UPN Sede Los Olivos?

### 1.3. Justificación del Estudio

El presente trabajo de investigación desarrolla la evaluación experimental de los coeficientes de gastos utilizados en vertederos de pared delgada tipo: semicircular, parabólico, trapezoidal y sutro para la ampliación de conocimiento de los estudiantes ya que solo se utilizan en la mayoría de laboratorios figuras básicas como lo son el vertedero rectangular y triangular además de corroborar la información de que sea la medida de la figura igual va a ver un cambio notorio en el flujo del agua así como su caudal, dicho procedimiento se usara un canal de pendiente variable con la ayuda de un vertedero triangular calibrado.

En Perú indica la implementación de un laboratorio de geotextiles acreditado (no fabricante) que realice los ensayos físicos, mecánicos e hidráulicos normados, para que, de esta manera, se pueda asegurar la calidad y cumplimiento según la norma ASTM de estos geo sintéticos (Díaz, 2022) así como en el área de ingeniería civil se requiere ver los temas de propuestas de diseño e implementación de laboratorios también se destaca en otras áreas de la ingeniera como este caso es en el área de geotextil.

En otras investigaciones también se desea emplear el laboratorio de mecánica de suelos y la asignatura básica de geología para el egreso de oficiales con mayor conocimiento y mejores capacitados, resultando beneficioso para el ejército peruano (Miranda Vargas & Miranda Pillco, 2018), indica que en varios lugares por falta de laboratorios o artefactos no se puede dar el conocimiento

completo de nuevas tecnologías así como también de asignaturas necesarias para la carrera estudiada.

En Colombia, La Universidad Tecnológica de Bolívar no cuenta con un laboratorio equipado para el desarrollo de las asignaturas de mecánica de suelos y pavimentos, teniendo en cuenta el crecimiento de la población estudiantil y las necesidades del programa (Gómez, 2006), indica el uso necesario de un laboratorio para su determinado uso para aumentar los conocimientos de los estudiantes.

El valor agregado del presente trabajo de investigación consiste en el uso por parte de los estudiantes de ingeniería civil de nuevos vertederos con formas no convencionales, las mediciones de caudales en proyectos hidráulicos pueden presentar desafíos tales como geometrías en los canales en los cuales nos veamos condicionados a la implementación de vertederos como los analizados en el presente trabajo ya que no siempre se utilizarán los vertederos rectangulares o trapezoidales.

Como innovación al ser vertederos con formas no muy estudiadas, difundidas, aplicadas, no son enseñadas en la formación de los ingenieros civiles, busca enriquecer los horizontes de la medición de caudales

#### **1.4. Límites del Estudio**

En la presente investigación, se evaluó experimentalmente los coeficientes de gastos utilizados en vertederos de pared delgada tipo: semicircular, parabólico, trapezoidal y sutro en el laboratorio con ayuda del vertedero triangular calibrado se comenzó con el flujo del agua para la determinación de las curvas de calibración.

Las limitaciones de dicho estudio son el diseño del vertedero debido a las medidas del canal de pendiente variable (aforo de sección rectangular) tiene que ser de medidas exactas para no tener fugas por ninguno de los lados de dicha pieza.

#### **1.5. Objetivos**

##### **1.5.1. Objetivo General:**

- Evaluar experimentalmente los coeficientes de gasto en vertederos de pared delgada tipo, semicircular, parabólico, trapezoidal y sutro en canales rectangulares

##### **1.5.2. Objetivo Específicos:**

- Diseñar de manera analítica los vertederos de pared delgada tipo, semicircular, parabólico, trapezoidal y sutro para el canal de pendiente variable del laboratorio de hidráulica de la UPN Sede Los Olivos



- Implementar de manera física los vertederos de pared delgada tipo, semicircular, parabólico, trapezoidal y sutro para el canal de pendiente variable del laboratorio de hidráulica de la UPN Sede Los Olivos
- Realizar las curvas de calibración por cada uno de los vertederos de pared delgada tipo, semicircular, parabólico, trapezoidal y sutro para el canal de pendiente variable del laboratorio de hidráulica de la UPN Sede Los Olivos

## **1.6. Hipótesis**

### **1.6.1. Hipótesis General:**

- Una evaluación experimental permite determinar los coeficientes de gastos en vertederos de pared delgada tipo, semicircular, parabólico, trapezoidal y sutro en canales rectangulares

### **1.6.2. Hipótesis Específicas:**

- El diseño analítico en los vertederos de pared delgada tipo, semicircular, parabólico, trapezoidal y sutro tuvo un progreso positivo en la determinación de caudales
- La implementación de manera física en los vertederos de pared delgada tipo, semicircular, parabólico, trapezoidal y sutro en el canal de pendiente variable para calcular el caudal de manera óptima

- La curva de calibración por cada uno de los vertederos vertederos de pared delgada tipo, semicircular, parabólico, trapezoidal y sutro tiene una similitud con el vertedero triangular de  $53^{\circ} 7'$  de la UPN Sede Los Olivos.

## **CAPÍTULO II: METODOLOGÍA**

### **2.1. Tipo de Investigación**

#### **2.1.1. Según su propósito**

Según (Investigadores, 2020), la investigación es aplicada debido a que los proyectos de investigación primero se establezca el marco teórico tanto para definir el campo de estudio como para identificar posibles teorías que pudieran probarse o aplicarse para resolver el problema específico planteado en el proyecto.

Se toma referencia de otros proyectos de investigación para el diseño de los vertederos con geometrías no convencionales.

#### **2.1.2. Por su enfoque**

Según (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014) una investigación cuantitativa es la que utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías.

Para dicha investigación se usarán los datos de laboratorio con cada propuesta de diseño de vertedero para hallar el caudal.

#### **2.1.3. Por su diseño**

Según (Portillo, 2013), la investigación se considera no experimental ya que no se controlan las variables, y el investigador se limita a medirlas,

indica que no se va a comparar con otros trabajos de investigación, se apoya principalmente en la observación.

No es un trabajo de diseño experimental ya que no se somete dicho vertedero a alguna simulación de un software, así como no se hace una comparación con otros proyectos similares.

#### **2.1.4. Nivel de investigación**

Según (Mugira, 2022), el proyecto de investigación es descriptiva ya que explica un hecho u objeto de estudio a través de la indagación y análisis de la realidad, quiere decir que no interesa las relaciones de las variables debido a que se comprueba que a medida que el caudal aumenta la altura también, de manera que los ensayos dados en los vertederos ayudaran en la recolección de datos para el proyecto de investigación.

#### **2.2. Enfoque de la investigación**

Esta investigación tiene un enfoque cuantitativo, dado que se busca la evaluación experimental de los coeficientes de gastos utilizados en vertederos de pared delgada tipo, semicircular, parabólico, trapezoidal y sutro tanto de manera analítica como física, así como graficar las curvas de calibración y calcular el factor de gasto

#### **Tipo de Variables**

Podemos identificar estas variables en dos tipos (Ver Anexo N°2: Matriz de Operacionalización de Variables)

#### **Variable dependiente**

- Coeficiente de gasto.

#### **Variable independiente**

- Vertederos de pared delgada tipo: semicircular, parabólico, trapezoidal y sutro.

### **2.3.Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)**

#### **2.3.1. Población:**

Según (Díaz de León, 2022) la población está compuesta por todos los elementos que participan del fenómeno que fue definido y delimitado en el análisis del problema de investigación. Entonces, la población sería los diferentes diseños de vertederos que se investigaron para evaluarlos y verificar que vertederos se utilizaran para la investigación.

#### **2.3.2. Muestra:**

Según (Lalangui D., 2017) la muestra es la parte de la población que se selecciona para la obtención de la información. En ella se realizará las mediciones u observaciones de las variables de estudio. En tal caso, la muestra

sería los vertederos de pared delgada tipo: semicircular, parabólico, trapezoidal y sutro.

Se implicó un muestreo deliberado ya que según la población se eligieron los diseños de los vertederos de geometrías no convencionales, indicando así que el muestreo sería los vertederos de geometrías no convencionales.

## **2.4. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos**

### **2.4.1. Técnicas de recolección e instrumentos**

Para recolectar los datos se utilizó la tecnología del internet junto con proyectos de investigación relacionados al tema, además de como instrumento principal los vertederos de geometría no convencional, así como el uso de canal de pendiente variable del laboratorio de hidráulica de la Universidad Privada del Norte-Sede Los Olivos.

Según el libro “Hidráulica de Canales”, indica el parámetro de diseño para el vertedero trapezoidal, es la unión de 2 triángulos con un rectángulo la relación de sus medidas debe ser de 1 a 4, la base del triángulo con la altura del rectángulo. Así como también el parámetro del vertedero parabólico que su fórmula solo puede ser usado si la parábola es de la ecuación  $y=9.85x^2$

#### **2.4.2. Técnicas de análisis de datos**

Para el análisis de datos se empleó los datos obtenidos de las alturas de agua generadas en el canal de pendiente variable para ver su variación según el cambio del caudal en cada uno de los vertederos de geometrías no convencionales.

Para realizar el trabajo de investigación se ha procedido a una revisión sistemática bibliográfica de más de 5 a 10 publicaciones relacionadas con la medición de caudales, producto de esto se han extraído fórmulas que han sido aplicadas, las mismas que no aparecen en las mallas curriculares en la formación de los ingenieros civiles por la especialización de dichos vertederos, en consecuencia, se ha investigado formas no convencionales a través de estos vertederos de pared delgada asimismo se ha procedido a realizar ensayos en laboratorio para validar la funcionalidad de estos sistemas de medición. Si bien es cierto los resultados de la investigación que fueron obtenidos en laboratorio no son exactamente igual al vertedero triangular calibrado de  $53^{\circ} 7'$  producto de este trabajo, se ha procedido a proponer un factor de corrección, de esta manera se contribuye al conocimiento implementando una tecnología de diseño, fabricación y calibración de vertederos de geometrías no convencionales.

### 2.4.3. Validación del instrumento

La validación de instrumentos, es considerada, por el alcance de su rigor científico, un tipo de estudio con sus características y procedimientos (López Fernández, Avello Martínez, Palmero Urquiza, Sánchez Gálvez, & Quintana Álvarez, 2019) refiere que se asigna al proceso de evaluar las preguntas de la encuesta para asegurar su confiabilidad.

El juicio de expertos es una metodología de estimación para la planificación de proyectos que confía en la opinión del experto para estimar los detalles cuantitativos del proyecto (Raeburn, 2023), indica la validación del instrumento por un encargado relacionado al área, en este caso de hidrología en ingeniería civil.

En este proyecto de investigación tuvo la validación de 3 expertos.

**Tabla 1**

*Juicio de Expertos*

Experto	Cargo
Atúncar Rojas César Augusto	Ingeniero Civil
Gonzáles Saucedo Darwin Gueybi	Ingeniero Civil
Cadenillas Calderon Miguel Antonio Jesus	Ingeniero Civil



#### 2.4.4. Confiabilidad del método Alfa de Cronbach

Es una medida utilizada para evaluar la confiabilidad y la consistencia interna de los ítems de una escala o test (Rodríguez, 2022) indica la validez y confianza de los ítems del cuestionario dado en el proyecto de investigación.

Alfa de cronbach ( $\alpha$ )	Consistencia interna
>0.9	Excelente.
>0.8	Bueno.
>0.7	Aceptable.
>0.6	Cuestionable.
>0.5	Pobre.
< 0.5	Inaceptable.

Ilustración 1: Valores de Alfa de Cronbach

Fuente: Cortina (1993)

Según sus intervalos, no debería salir negativo ni menor de 0.5 ya que se considera inaceptable la confiabilidad de los ítems sin embargo cuando el valor sale mayor de 0.9 se considera una confiabilidad excelente.

Dicha comprobación de confiabilidad se da utilizando la siguiente fórmula:

$$\alpha = \frac{k}{k - 1} \left[ 1 - \frac{\sum Vi}{Vt} \right]$$

Ecuación 1: Confiabilidad del Alfa de Cronbach

$\alpha$ : Alfa de Cronbach

k: cantidad de ítems

Vi: varianza inicial

Vt: varianza total

## **2.5. Aspectos éticos**

Se denomina ética de la investigación a un conjunto de principios y directrices que determinan y orientan el diseño, desarrollo, gestión, uso y divulgación de cualquier investigación (Galandini & Mager , 2020), indica que toda la información utilizada es previamente citada y garantiza los derechos de autor de cada diferente trabajo de investigación para el aporte a otros proyectos tanto de manera nacional e internacional.

Como autora de esta investigación soy responsable de la información utilizada, así como también el desarrollo de los datos en el laboratorio, son auténticas y válidas por un juicio de expertos. Asimismo, se presentó la investigación realizando las citas y referencias bibliográficas de acuerdo con el formato APA 7ma edición.

## **2.6. Marco teórico**

### **2.6.1. Caudal**

#### **2.6.1.1.Ecuación de Continuidad**

La ecuación de continuidad, se manifiesta que, en un conducto o tubería, sin importar su sección; mientras no existan derivaciones, la cantidad de fluido que entra por uno de sus extremos debe salir por el otro (INACAP, 2020), indica que según el diseño del vertedero el área va a variar al igual que la velocidad, ya que cada diseño de vertedero es diferente.

$$Q = VA$$

*Ecuación 2: Ecuación de Continuidad*

Q: Caudal

V: Velocidad media de la sección normal al flujo

A: Área transversal

### **2.6.1.2. Ecuación del Caudal volumétrico**

El caudal es el volumen del agua que pasa por una unidad de tiempo por una sección determinada de una corriente líquida, usado para caudales muy pequeños y se requiere de un volumen conocido para recolectar el agua. En este caso para hallar el caudal en m<sup>3</sup>/s se usó el volumen en m<sup>3</sup> y el tiempo en segundos.

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

*Ecuación 3: Ecuación de Caudal volumétrico*

Q: Caudal

V: Velocidad

t: tiempo

### 2.6.1.3. Ecuación de Manning

Se usa en canales abiertos y tuberías para el cálculo de la velocidad del agua, también determina el carácter del flujo de los arroyos en condiciones normales y de inundación.

Así mismo se puede utilizar para determinar el tamaño y la pendiente óptimos de un canal artificial como un acueducto de suministro de agua.

$$v = \frac{1}{n} (Rh)^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

*Ecuación 4: Ecuación de Manning*

v: Velocidad del flujo (m/s)

n: Coeficiente de rugosidad (adimensional)

S: pendiente del tubo (m/m)

Rh: Radio hidráulico (m)

### 2.6.1.4. Ecuación de Bernoulli

Describe el comportamiento de un fluido moviéndose a lo largo de una línea de corriente que atraviesa una sección de un canal.

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2$$

*Ecuación 5: Ecuación de Bernoulli*

P: Presión

$\rho$ : Densidad

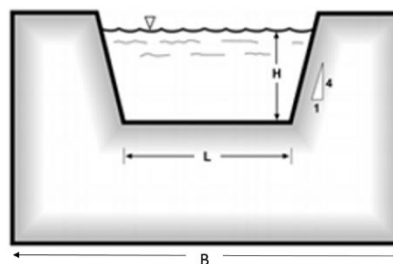
$v$ : Velocidad

$h$ : Altura

### 2.6.2. Vertederos

Son dispositivos hidráulicos a través de la cual se hace circular el caudal que se desea determinar mediante el líquido que fluye, usualmente son utilizados en la medición de caudales de pequeños cursos de agua, así como el control de flujos.

Existen múltiples diseños de vertederos de geometrías convencionales los usuales en la práctica profesional son rectangular y triangular también conocidos como los vertederos simples, sin embargo, se desarrollará en dicho proyecto de investigación los vertederos de geometrías no convencionales o también llamados vertederos compuestos como semicircular, parabólico, trapezoidal y sutro. Teniendo en cuenta que todos serán de cresta aguda ya que experimentalmente ya se han determinado las ecuaciones para el cálculo de los caudales según el diseño del vertedero.



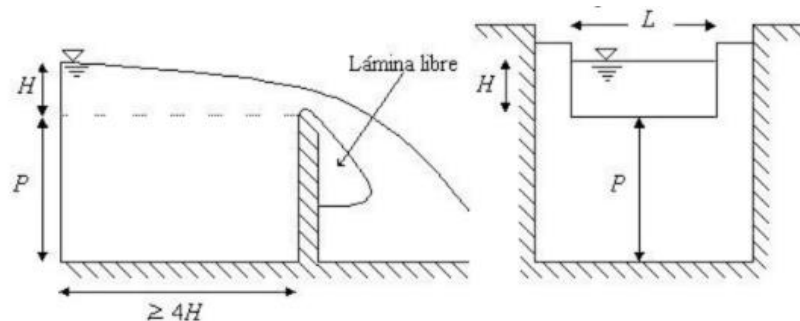
*Ilustración 2: Partes de un vertedero*

*Fuente: Universidad de Carabobo*

Teniendo en cuenta la imagen:

- a) H: Carga, es la altura alcanzada por el agua a partir de la cresta del vertedero.
- b) L: Cresta, es el borde horizontal o umbral
- c) B: Ancho, es el ancho del canal de acceso al vertedero.

Se usará un vertedero de cresta delgada, ya que es el más usado además de poseer una estructura de fácil construcción e instalación.



*Ilustración 3: Vertedero rectangular de pared delgada*

*Fuente: Universidad de Carabobo*

En el caso de la vena del vertedero o también conocido como chorro de agua, según la posición de la vena puede afectar el caudal.

- Lamina deprimida, el caudal suele ser mayor ya que ocurre un vacío por parte del trayecto del agua.

- Lamina adherida, suele pasar la misma situación donde también el caudal es mayor debido a que todo está cubierto de agua.
- Lamina ahogada, el caudal suele ser menor ya que está completamente al fondo la lámina y la cresta

### 2.6.2.1. Vertedero semicircular

En este tipo de vertedero se contará con un diseño de la mitad de un círculo, acotando que su diseño será diferente de los otros ya que su forma



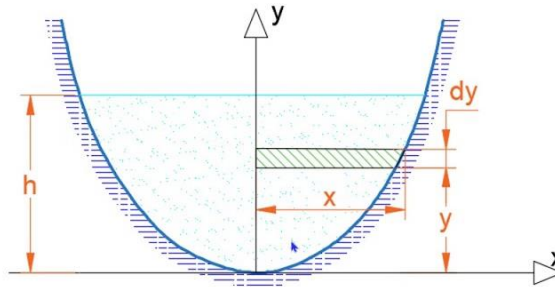
*Ilustración 4: Forma de la vena*

*Fuente: Universidad del Cauca Departamento de Hidráulica*



Figura II.8 Forma de la vena líquida. a) Deprimida; b) Adherida; c) Ahogada.

implica usar otro tipo de altura.



*Ilustración 5: Esquema de Vertedero Semicircular*

*Fuente: Universidad Nacional de Colombia*

$$Q = 1,518D^{0,693}H^{1,807}$$

*Ecuación 6: Caudal para vertedero semicircular*

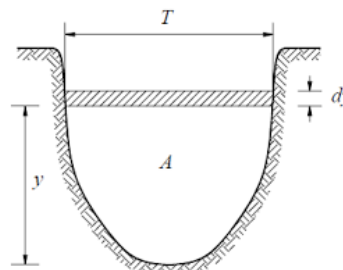
Q: Caudal

D: Diámetro.

H: altura de lámina de agua

### 2.6.2.2. Vertedero parabólico

Tomando en cuenta que la parábola tiene como ecuación  $y=9.85x^2$ , la ecuación sería la siguiente:





*Ilustración 6: Esquema de Vertedero parabólico*

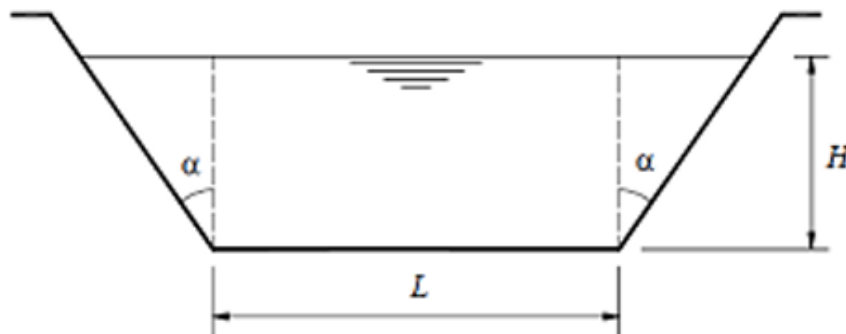
*Fuente: Universidad Nacional de Colombia*

$$Q = 0,606H^{1,98}$$

*Ecuación 7: Caudal para vertedero parabólico*

Q: Caudal

H: altura de lámina de agua



### 2.6.2.3. Vertedero trapezoidal

En el caso del vertedero trapezoidal se hizo un diseño de 1 a 4 relacionados con su altura y su base

$$Q = 1,859LH^{3/2}$$

*Ecuación 8: Caudal para vertedero trapezoidal*

*Ilustración 7: Esquema de Vertedero Trapezoidal*

*Fuente: Universidad Politécnica de Valencia*

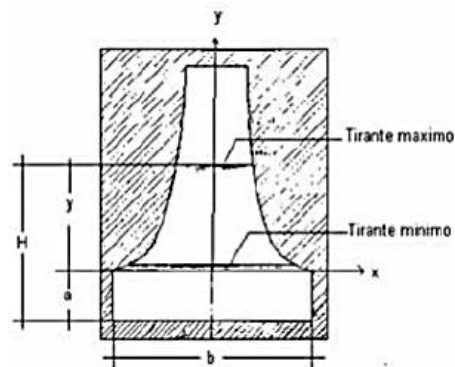
Q: Caudal

L: Base del trapecio

H: altura de lámina de agua

#### 2.6.2.4. Vertedero sutro

Al ser una geometría no convencional, se adaptan los datos para su diseño.



*Ilustración 8: Esquema de Vertedero Sutro*

*Fuente: Universidad de San Carlos de Guatemala*

$$Q = 2,74\sqrt{aL} \left( H - \frac{a}{3} \right)$$

Ecuación 9: Caudal para vertedero sutro

Q: Caudal

a: Ancho

L: Largo

H: altura de lámina de agua

### 2.6.3. Canal de pendiente variable

Es un aparato que se utiliza para estudiar el comportamiento de un flujo en canal abierto, con condiciones de flujo uniforme, permanente o gradual; con diferentes rugosidades en su piso de fondo (México, 200), indica que son de diferentes tipos según lo que se desee investigar, en este caso se usó el canal de pendiente variable de la UPN sede Los Olivos que cuenta con las siguientes características:

- Sección rectangular
- Hecho de concreto armado



- Resistencia al concreto ( $f'c = 175kg/cm^2$ )
- Rugosidad ( $n=0.010$ )
- Longitud de 5m
- Estructura metálica en la parte interna

- Tiene un punto de giro para regular la pendiente

## 2.7.Desarrollo de la investigación

### 2.7.1. Objetivo general

#### Materiales

- Uso del internet
- Uso de fórmulas por cada vertedero de geometría no convencional
- Canal de pendiente variable tipo rectangular
- Vertedero triangular calibrado de  $53^{\circ} 7'$  del laboratorio de hidráulica

*Ilustración 9: Canal de pendiente variable*

de la UPN Los Olivos

#### Procedimiento

Se comenzó el diseño de manera investigativa con vertederos usuales, pero teniendo de referencia que en el canal de pendiente variable se tiene unas medidas exactas, la fórmula para el vertedero semicircular, parabólico, trapezoidal y sutro son de La Universidad de Colombia y la Universidad de Guatemala, así como el libro de Hidráulica de Canales de Máximo Villón.

En los antecedentes indica los múltiples vertederos que se han utilizado, pero para otros fines como coeficiente de gasto, cambio de pendiente, velocidad de flujo entre otros.

### 2.7.2. Objetivo específico 1

#### Materiales

- Canal de pendiente variable tipo rectangular
- Vertedero triangular calibrado de  $53^{\circ} 7'$  del laboratorio de hidráulica de la UPN Los Olivos
- Vertedero semicircular, parabólico, trapezoidal y sutro
- Cuadernillo
- Cinta métrica o wincha
- Lapicero
- Implementos de seguridad

#### Procedimiento

Para el diseño de los vertederos se comenzó dirigiéndose al laboratorio de hidráulica de la UPN Sede Los Olivos para tomar medidas previas del canal de pendiente variable ya que la pieza a utilizar debe tener medidas exactas, para no generar fugas de agua y por consecuencia tener un dato erróneo.

Con las medidas ya obtenidas, solo tienen en común los 4 vertederos el espesor de 7mm de la mica de vidrio y un asa de metal para mejor manejo del vertedero además que se adecuo a la ranura metálica del canal de pendiente variable de 1cm para posteriormente se comienza con la investigación de fórmulas para hallar la altura de agua de cada vertedero de geometría no

convencional, para ello se necesita los datos del caudal además de sus medidas que mediante procedimientos se va adaptando.

El diseño de cada vertedero se va ir adaptando a la formula ya que según la altura de agua que se obtenga en cada vertedero la altura de la figura no puede sobrepasar a la altura del agua, no obstante, de superar el valor se tendría que tomar nuevos datos de medidas de los vertederos para que la formula sea aceptable.

Recordando además que los 4 tipos de vertederos para el trabajo de investigación tienen diferentes formas en el caso del semicircular solo cuenta con diámetro, en el parabólico es según la ecuación de la parábola además de su altura, en el trapecio sus bases y altura y por último en el sutro su medida de alturas con bases. (Verificar Figuras 16, 17, 18 y 19)

### **2.7.3. Objetivo específico 2**

#### **Materiales**

- Vertedero semicircular, parabólico, trapezoidal y sutro
- Canal de pendiente variable tipo rectangular
- Vertedero triangular calibrado de  $53^{\circ} 7'$  del laboratorio de hidráulica de la UPN Los Olivos
- Cuadernillo
- Limnómetro
- Lapicero

- Implementos de seguridad

### **Procedimiento**

Antes de hacer el uso del canal de pendiente variable se comprueba si los 4 tipos de vertederos entran en el canal de pendiente variable posteriormente para hallar las alturas de agua con ayuda de un limnómetro se toma una altura control para después que fluya el agua se pueda hallar la altura final haciendo una diferencia, para los vertederos parabólico, sutro y trapezoidal se tomó una altura de control de 10cm mientras que el vertedero semicircular se tomó 19cm.

Se procede al uso del canal de pendiente variable como primer paso los implementos de seguridad para posteriormente definir la pendiente, en este trabajo de investigación se usará el 0.1% con ayuda de la rueda se va acomodando al valor deseado también recordando que al ser 0.1% el valor estaría entre el 0 y el 1 pero más cercano al 1.

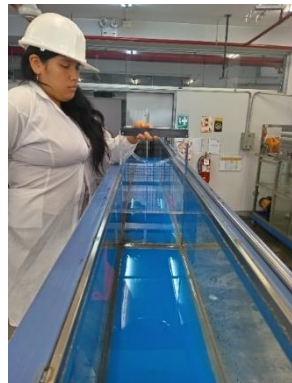
Se inicia abriendo la válvula de regulación de caudales, el agua circula por el canal de aproximación para fluir primero, a través del vertedero a calibrar. Para cada abertura de la válvula, se miden simultáneamente las cargas,  $h$ , correspondientes a los vertederos, como la diferencia entre el nivel de la superficie libre del agua y el nivel de la cresta, registrados por los limnómetro, una vez se haya estabilizado el flujo. (Marbello, 2017) indica el procedimiento inicial en el canal de pendiente variable para hacer uso de los vertederos de geometrías no convencionales.

Con los vertederos ya diseñados y fabricados se comienza con la calibración del vertedero triangular de  $53^{\circ}7'$  de la UPN Sede Los Olivos, al ser un vertedero ya estudiado se comienza con verificar su altura de agua con el caudal a medida que el caudal aumenta la altura también aumenta (Ver Anexo 1).



## EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE LOS COEFICIENTES DE GASTOS EN VERTEDEROS DE PARED DELGADA TIPO: SEMICIRCULAR, PARABÓLICO, TRAPEZOIDAL Y SUTRO EN CANALES RECTANGULARES

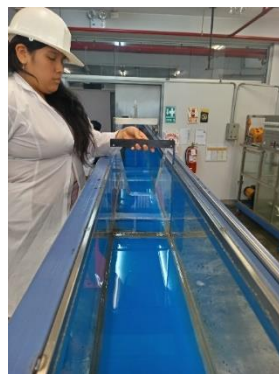
Los caudales a utilizar para los vertederos parabólico, sutro y trapezoidal fueron 3.32 l/s, 4.10 l/s, 5.38 l/s, 6.25 l/s, 7.54 l/s y 8.21 l/s mientras que en el vertedero semicircular se usó 3.32 l/s, 4.10 l/s, 5.38 l/s y 6.25 l/s, al ser un semicírculo de haber aumentado el caudal se hubiera inundado el laboratorio.



*Ilustración 10:  
Implementación de manera  
física del vertedero  
semicircular*



*Ilustración 11: Implementación  
de manera física del vertedero  
sutro*



*Ilustración 12: Implementación de  
manera física del vertedero  
trapezoidal*



*Ilustración 13: Implementación  
de manera física del vertedero  
parabólico*

### 2.7.4. Objetivo específico 3

#### **Materiales**

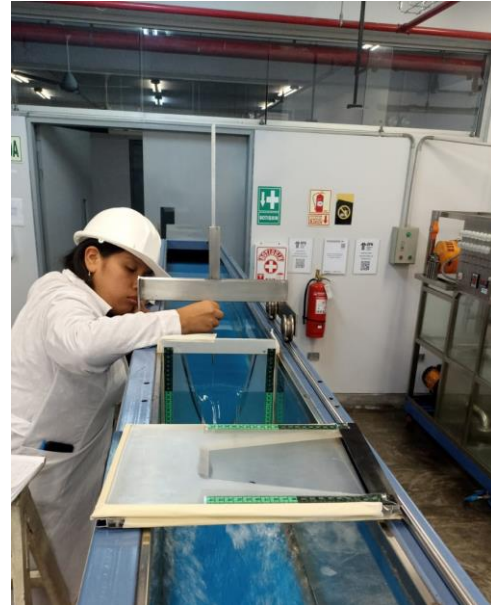
- Canal de pendiente variable tipo rectangular
- Vertedero triangular calibrado de  $53^{\circ} 7'$  del laboratorio de hidráulica de la UPN Los Olivos
- Cuadernillo
- Calculadora
- Lapicero

#### **Procedimiento**

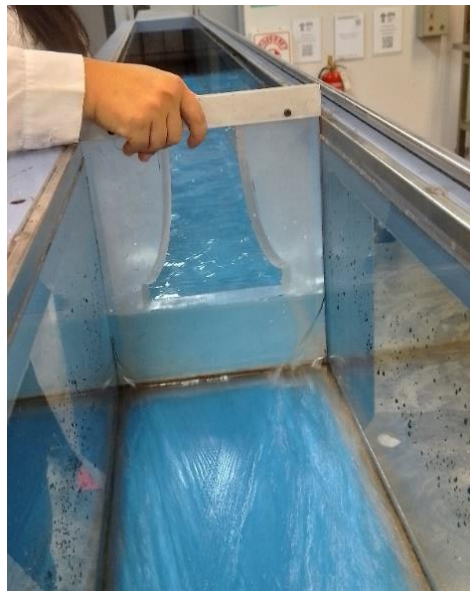
Indica la determinación de las alturas correspondientes  $h$  para todos los niveles de aguas arriba medidos (Cortés, 2021), significa que a medida que el caudal del agua va aumentando se comienza a tomar datos de las alturas con ayuda del limnómetro, con todos los datos ya obtenidos se comienza a calcular la altura de agua de cada vertedero.

Posteriormente se comienza a hacer el procedimiento matemático para calcular el coeficiente de ser necesario en cada ecuación, así como las curvas de cada tipo de vertedero con los datos obtenidos.

EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE LOS COEFICIENTES DE GASTOS EN VERTEDEROS DE PARED DELGADA TIPO: SEMICIRCULAR, PARABÓLICO, TRAPEZOIDAL Y SUTRO EN CANALES RECTANGULARES



*Ilustración 14 : Midiendo la altura con ayuda del limnómetro*



*Ilustración 15: Hacer el mismo procedimiento con cada vertedero de geometría no convencional*

## CAPÍTULO III: RESULTADOS

### 3.1. Objetivo 1

Evaluar experimentalmente los coeficientes de gastos utilizados en vertederos de pared delgada tipo, semicircular, parabólico, trapezoidal y sutro para realizar aforos en canales rectangulares

#### 3.1.2. Procedimiento teórico-matemático

##### 3.1.2.1. Vertedero semicircular

En dicho vertedero se dio la medida de 25cm de ancho y 30cm de alto además de un diámetro de 15cm y se tomó como caudal 14 l/s o 0.014 m<sup>3</sup>/s, quedando como altura de agua 15cm, de la siguiente manera:

$$Q = 1,518D^{0,693}H^{1,807}$$

$$0.014 = 1,518(0.15)^{0,693}H^{1,807}$$

$$\frac{0.014}{1.518(0.15)^{0.693}} = H^{1,807}$$

$$\sqrt[1.807]{\frac{0.014}{1.518(0.15)^{0.693}}} = H$$

$$0.15m = H$$

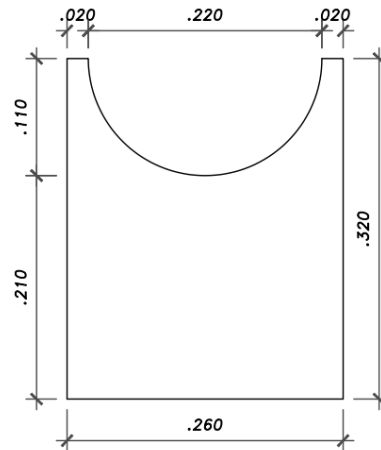


Ilustración 16: Medidas del vertedero semicircular

### 3.1.2.2. Vertedero parabólico

En el caso del vertedero parabólico se usó una parábola de fórmula  $y=9.85x^2$  con las mismas medidas anteriores de  $0.014\text{m}^3/\text{s}$ , 25cm de ancho y 30cm de alto.

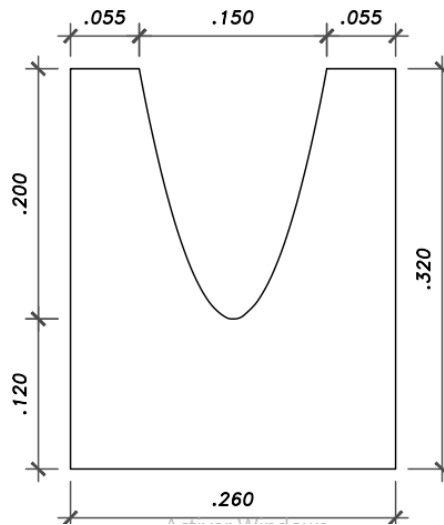
$$Q = 0,606H^{1,98}$$

$$0.014 = 0,606H^{1,98}$$

$$\frac{0.014}{0.606} = H^{1,98}$$

$$\sqrt[1.98]{\frac{0.014}{0.606}} = H$$

$$0.15\text{m} = H$$



*Ilustración 17: Medidas del vertedero parabólico*

### 3.1.2.3. Vertedero trapezoidal

En el trapecio de igual manera se utilizó un caudal de  $0.014 \text{ m}^3/\text{s}$ , 15cm de base menor del trapecio, 25cm de ancho y 30cm de largo además que se tomó medida de 1 a 4 de los extremos del trapecio quedando como altura de agua 17cm.

$$Q = 1,859LH^{3/2}$$

$$0.014 = 1,859(0.15)H^{3/2}$$

$$\frac{0.014}{1,859(0.15)} = H^{3/2}$$

$$\sqrt[3/2]{\frac{0.014}{1,859(0.15)}} = H$$

$$0.17\text{m} = H$$

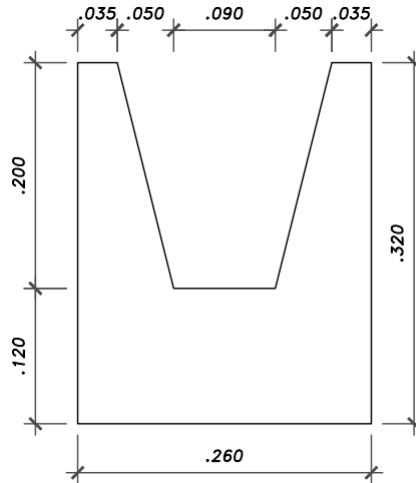


Ilustración 18: Medidas del vertedero trapezoidal

### 3.1.2.4. Vertedero sutor

Por ultimo en el vertedero sutor el caudal es de  $0.014\text{m}^3/\text{s}$ , 2cm el ancho mínimo, 15cm de base del sutor, 25cm de ancho y 30 de alto; quedando como altura de agua 10cm.

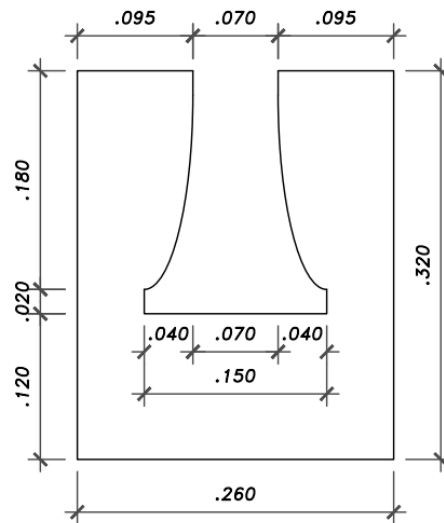
$$Q = 2,74\sqrt{ab} \left( H - \frac{a}{3} \right)$$

$$0.014 = 2,74\sqrt{0.02 \times 0.15} \left( H - \frac{0.02}{3} \right)$$

$$\frac{0.014}{2,74\sqrt{0.02 \times 0.15}} = H - \frac{0.02}{3}$$

$$\frac{0.014}{2,74\sqrt{0.02 \times 0.15}} + \frac{0.02}{3} = H$$

$$10\text{cm} = H$$



*Ilustración 19: Medidas del vertedero sutro*

### 3.1.3. Resultado 1

Se procedieron a utilizar las ecuaciones de cada tipo de vertedero, teniendo como restricción la geometría del canal de pendiente variables de la UPN con altura 25cm de fondo rectangular y 30cm de alto de los laterales.

Como resultado, se evaluó experimentalmente los coeficientes de gastos utilizados en vertederos de pared delgada tipo, semicircular, parabólico, trapezoidal y sutro con ayuda de las ecuaciones y el cálculo matemático se obtuvo el diseño de cada uno de los vertederos de geometría no convencional.

### 3.2. Objetivo 2

Diseñar de manera analítica los vertederos de pared delgada tipo: semicircular, parabólico, trapezoidal, sutro para el canal de pendiente variable del laboratorio de hidráulica de la UPN Sede Los Olivos.



### 3.2.2. Procedimiento práctico

Como se puede notar en cada vertedero según la fórmula hallada con la investigación, se pudo calcular la altura del agua.

#### 3.2.2.1. Vertedero Semicircular



*Ilustración 20: Diseño de Vertedero Semicircular*

#### 3.2.2.2. Vertedero Parabólico



*Ilustración 21: Diseño de Vertedero Parabólico*

### 3.2.2.3. Vertedero Trapezoidal



*Ilustración 22: Diseño de Vertedero Trapezoidal*

### 3.2.2.4. Vertedero Sutro



*Ilustración 23: Diseño de Vertedero Sutro*

### 3.2.3. Resultado 2

Se obtuvo como resultado las 4 piezas de vidrio, se tuvo que hacer un diseño de manera manual, corroborar con las fórmulas para posteriormente iniciar con el diseño en la placa de vidrio, como ya se explicó anteriormente primero se tomaron las medidas del canal de pendiente variable para comenzar con el diseño ya que la pieza de vidrio debe ser exacta de no ser así se tendrá fugas de agua y se obtendrá un dato erróneo que no es lo que se desea para el proyecto de investigación.

**Tabla 2**

*Medidas de cada vertedero de geometría no convencional*

Vertedero	Ancho	Alto	Radio	Altura donde pasa el agua
Parabólico	26	32	No tiene	20
Sutro	26	32	No tiene	20
Trapezoidal	26	32	No tiene	20
Semicircular	26	32	11	11

### 3.3. Objetivo 3

Implementar de manera física los vertederos de pared delgada tipo: semicircular, parabólico, trapezoidal y sutro el canal de pendiente variable del laboratorio de hidráulica de la UPN Sede Los Olivos.

### **3.3.1. Resultado 3**

Se obtuvo como resultado el uso de cada diferente tipo de vertedero en el canal de pendiente variable recalcando que el caudal va aumentando y su altura de agua también, cada vertedero se utilizó para el cálculo del caudal, curvas de calibración y factor de gasto para el siguiente objetivo. (Ver figura 9)

Todo el procedimiento para la implementación física de los vertederos de pared delgada tipo semicircular, parabólico trapezoidal y sutro fue con ayuda del manual de laboratorio de hidráulica de la Universidad de Colombia donde indica el paso a paso a seguir.

### **3.4. Objetivo 4**

Realizar las curvas de calibración por cada uno de los vertederos de pared delgada tipo semicircular, parabólico trapezoidal y sutro para el canal de pendiente variable del laboratorio de hidráulica de la UPN Sede Los Olivos.

#### **3.4.1. Medida de la altura del agua**

Para iniciar con el proceso de hallar las curvas de calibración, Cortés (2021) indica que primero se tienen que tomar las medidas de la altura de control.

Se optó por usar un limnómetro, para posteriormente con el paso del agua hallar la altura deseada con la sustracción de la altura al momento del paso de agua menos la altura de control.

**Tabla 3**

*Altura de control para cada vertedero de geometría no convencional*

Vertedero	Altura (cm)
Parabólico	10
Sutro	10
Trapezoidal	10
Semicircular	19

### 3.4.2. Canal de pendiente variable

Al hacer uso de la maquina se tomó 6 pruebas de caudal en los vertederos de geometrías no convencionales donde salieron los siguientes resultados:

#### 3.4.2.1. Caudal 1 (Q1)

Al inicio se utilizó un caudal de 3,32 l/s, según el vertedero triangular calibrado de la Universidad Privada del Norte Sede Los Olivos llego hasta una altura de 11,8cm.

**Tabla 4**

*Altura del paso de agua con Caudal 1 (Q1=3,32l/s)*

Vertedero	Altura en canal de pendiente variable (cm)
Parabólico	19,6
Sutro	15,6
Trapezoidal	16,8
Semicircular	25,1

**Tabla 5**

*Altura de agua con Caudal 1 ( $Q1=3.32l/s$ )*

Vertedero	Altura en canal de pendiente variable (cm)	Altura de control (cm)	Altura de agua (h)
Parabólico	19,6	10	9,6
Sutro	15,6	10	5,6
Trapezoidal	16,8	10	6,8
Semicircular	25,1	19	6,1

### 3.4.2.2.Caudal 2 (Q2)

De igual manera se hace con el caudal 2 y con los demás caudales, en este caso el caudal es de 4,10 l/s a una altura de 12,8cm del vertedero triangular calibrado de la Universidad Privada del Norte Sede Los Olivos Ilego, asumiendo que los caudales aumentarían según el paso del agua.

**Tabla 6**
*Altura del paso de agua con Caudal 2 ( $Q_2=4,10$  l/s)*

Vertedero	Altura en canal de pendiente variable (cm)
Parabólico	21,0
Sutro	16,8
Trapezoidal	18,1
Semicircular	26,1

**Tabla 7**
*Altura de agua con Caudal 2 ( $Q_2=4,10$  l/s)*

Vertedero	Altura en canal de pendiente variable (cm)	Altura de control (cm)	Altura de agua (h)
Parabólico	21,0	10	11,0
Sutro	16,8	10	6,8
Trapezoidal	18,1	10	8,1
Semicircular	26,1	19	7,1

### 3.4.2.3.Caudal 3 (Q3)

Se sigue con el caudal 3, en este caso es 5,38 l/s a una altura de 14,3cm del vertedero triangular calibrado de la Universidad Privada del Norte Sede Los Olivos Ilego.

**Tabla 8**
*Altura del paso de agua con Caudal 3 ( $Q_3=5,38$  l/s)*

Vertedero	Altura en canal de pendiente variable (cm)
Parabólico	22,8
Sutro	18,8
Trapezoidal	19,5
Semicircular	26,7

**Tabla 9**
*Altura de agua con Caudal 3 ( $Q_3=5,38$  l/s)*

Vertedero	Altura en canal de pendiente variable (cm)	Altura de control (cm)	Altura de agua (h)
Parabólico	22,8	10	12,8
Sutro	18,8	10	8,8
Trapezoidal	19,5	10	9,5
Semicircular	26,7	19	7,7

#### 3.4.2.4.Caudal 4 (Q4)

Continuando con el caudal 4 es 6,25 l/s a una altura de 15,1cm del vertedero triangular calibrado de la Universidad Privada del Norte Sede Los Olivos llevo.



**Tabla 10**
*Altura del paso de agua con Caudal 4 ( $Q_4=6,25$  l/s)*

Vertedero	Altura en canal de pendiente variable (cm)
Parabólico	23,7
Sutro	19,9
Trapezoidal	20,5
Semicircular	27,7

**Tabla 11**
*Altura de agua con Caudal 4 ( $Q_4=6,25$  l/s)*

Vertedero	Altura en canal de pendiente variable (cm)	Altura de control (cm)	Altura de agua (h)
Parabólico	23,7	10	13,7
Sutro	19,9	10	9,9
Trapezoidal	20,5	10	10,5
Semicircular	27,7	19	8,7

#### 3.4.2.5.Caudal 5 ( $Q_5$ )

En el caso del caudal 5 es 7,54 l/s a una altura de 16,4cm del vertedero triangular calibrado de la Universidad Privada del Norte Sede Los Olivos Ilego. Además, ya no se tomará la medida del vertedero semicircular ya que su diseño es diferente a los demás por la forma

geométrica no convencional, por lo tanto, ya no se utilizó porque en el canal de pendiente variable se habría sobrepasado el agua.

**Tabla 12**

*Altura del paso de agua con Caudal 5 ( $Q_5=7,54$  l/s)*

Vertedero	Altura en canal de pendiente variable (cm)
Parabólico	25,1
Sutro	21,4
Trapezoidal	21,8

**Tabla 13**

*Altura de agua con Caudal 5 ( $Q_5=7,54$  l/s)*

Vertedero	Altura en canal de pendiente variable (cm)	Altura de control (cm)	Altura de agua (h)
Parabólico	25,1	10	15,1
Sutro	21,4	10	11,4
Trapezoidal	21,8	10	11,8

#### 3.4.2.6. Caudal 6 (Q6)

Por ultimo en el caudal 6 es 8,21 l/s a una altura de 17,0cm del vertedero triangular calibrado de la Universidad Privada del Norte Sede

Los Olivos Ilego. Además, de igual manera ya no se tomará la medida del vertedero semicircular.

**Tabla 14**

*Altura del paso de agua con Caudal 6 ( $Q_6=8,21$  l/s)*

Vertedero	Altura en canal de pendiente variable (cm)
Parabólico	25,8
Sutro	22,2
Trapezoidal	22,3

**Tabla 15**

*Altura de agua con Caudal 6 ( $Q_6=8,21$  l/s)*

Vertedero	Altura en canal de pendiente variable (cm)	Altura de control (cm)	Altura de agua (h)
Parabólico	25,1	10	15,1
Sutro	21,4	10	11,4
Trapezoidal	21,8	10	11,8

### 3.4.3. Variación de altura de agua

#### 3.4.3.1. Parabólico

A medida que los caudales van aumentando la altura como se puede apreciar en la Tabla 13 va ir aumentando.

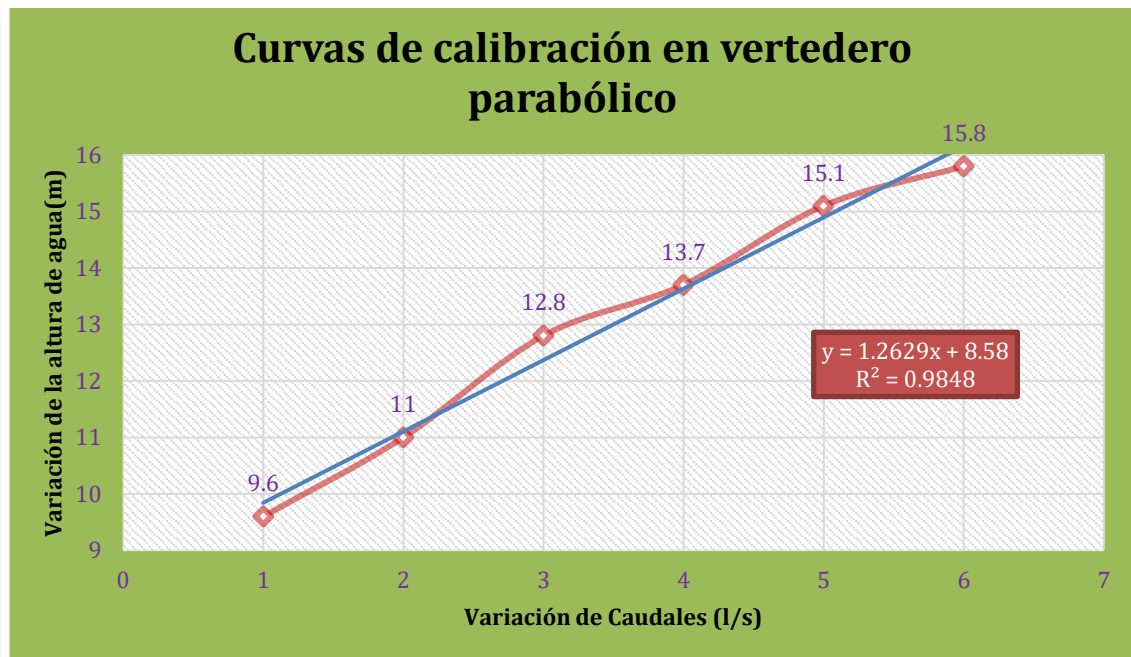
**Tabla 16**

*Altura de agua en Vertedero Parabólico*

Caudal	Altura de agua (h)
Q1	9,6
Q2	11,0
Q3	12,8
Q4	13,7
Q5	15,1
Q6	15,8

En el siguiente grafico de título “Curvas de calibración en vertedero parabolico” con eje x “variación de caudales” y eje y “variación de la altura de agua” indica que los caudales van aumentando también lo harán las alturas de agua, recordando que el caudal se mantiene constante ya que al momento de que se estabiliza se toma la medida correspondiente con los datos del vertedero triangular calibrado de 53° 7’.

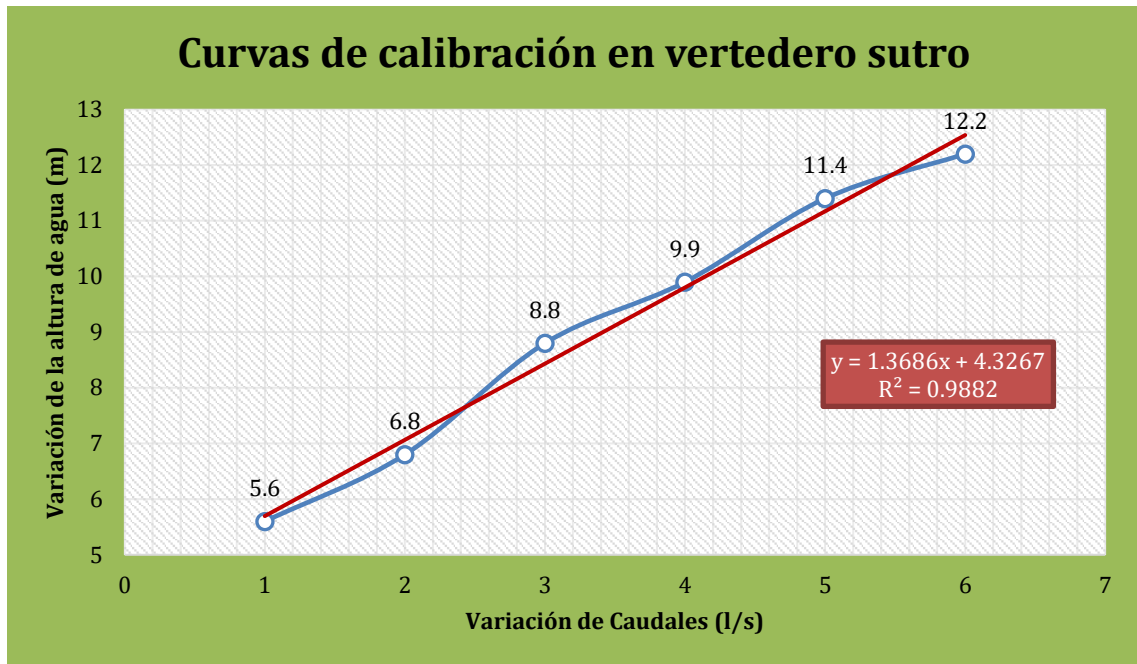
*Ilustración 24: Curvas de calibración en vertedero parabólico*



### 3.4.3.2.Sutro

En el caso del vertedero sutro se dará el mismo procedimiento se hallar la variación de la altura de agua.

**Tabla 17**



*Altura de agua en Vertedero Sutro*

Caudal	Altura de agua (h)
Q1	5,6
Q2	6,8
Q3	8,8
Q4	9,9
Q5	11,4
Q6	12,2

De igual manera se hace con todos los gráficos que representan las curvas de calibración según el tipo de vertedero, en el caso del sutro al tener una abertura menor se obtuvieron alturas pequeñas, teniendo en cuenta que a la curva de calibración se le

*Ilustración 25: Curvas de calibración en vertedero sutro*

añadió un coeficiente de correlación que indica que cuando el valor oscila de 0 a 1 la información es confiable.

### 3.4.3.3. Trapezoidal

Recordando que en caso del vertedero trapezoidal tiene un diseño de 1 a 4, de igual manera las alturas varían con el aumento del caudal.

**Tabla 18**

*Altura de agua en Vertedero Trapezoidal*

Caudal	Altura de agua (h)
Q1	6,8
Q2	8,1
Q3	9,5
Q4	10,5
Q5	11,8
Q6	12,3

Al ser una figura combinada de rectángulo con triángulo tiene un área mayor donde puede pasar el agua los datos de las alturas de agua a considerar son semejantes al vertedero parabólico

### 3.4.3.4.Semicircular

Debido al diseño que se le dio al vertedero semicircular solo se pudo tomar datos en los 4 primeros caudales.

Ilustración 26: Curvas de calibración en vertedero trapezoidal

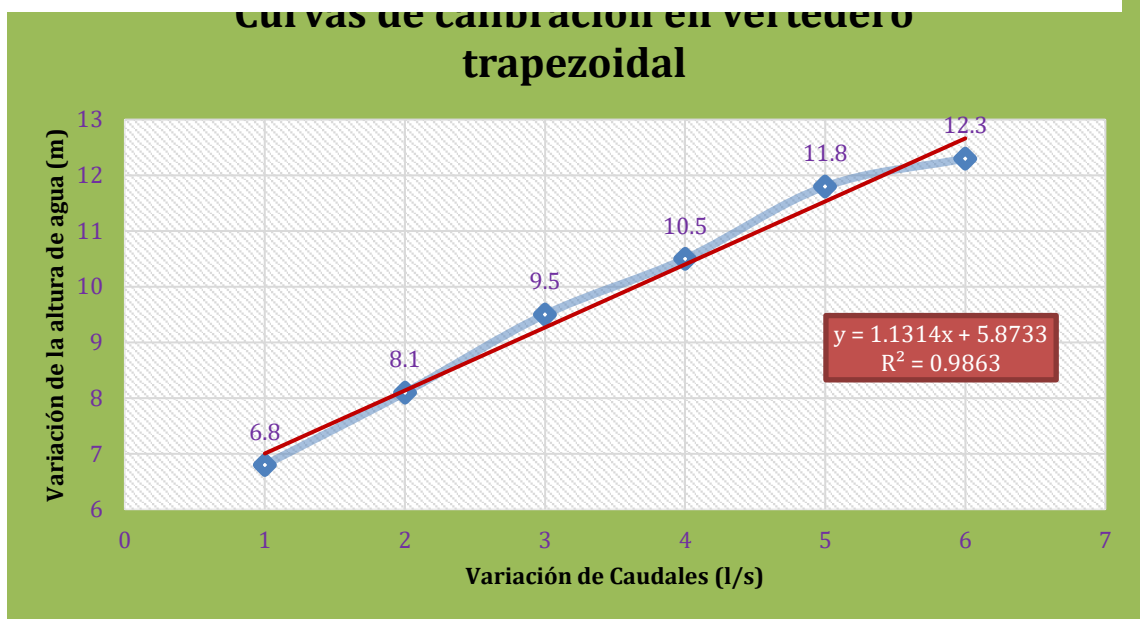


Tabla 19

Altura de agua en Vertedero Semicircular

Caudal	Altura de agua (h)
Q1	6,1



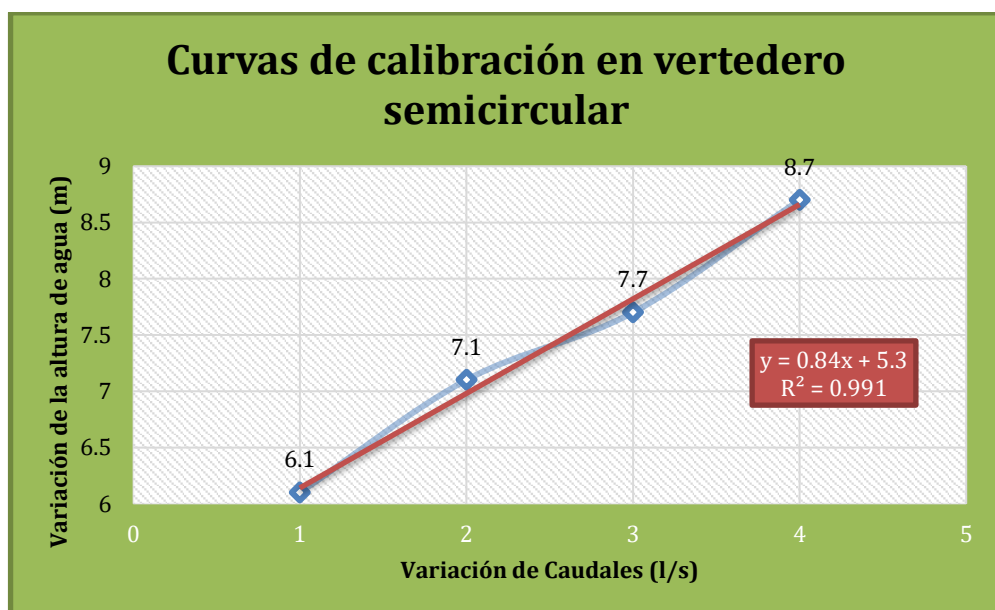
Q2	7,1
Q3	7,7
Q4	8,7

En el caso del vertedero semicircular al tener una abertura menor solo se pudieron tomar 4 datos de caudal además de su diseño al tener que ser una forma circular, así como también se pudo comprobar la ecuación de continuidad donde indica que a mayor área menor va a ser la velocidad.

#### 3.4.4. Comprobando en ecuaciones

Con los datos del canal de pendiente variable y las formulas dadas para cada vertedero se comenzará a buscar un coeficiente a cada fórmula para que los valores hallados concuerden.

*Ilustración 27: Curvas de calibración en vertedero semicircular*



### 3.4.4.1. Parabólico

De la tabla N°14 se pueden notar los valores de altura de agua, haciendo los cálculos matemáticos respectivos se da que la nueva fórmula para el vertedero parabólico sería un valor multiplicado el cual es 1,33 como coeficiente, recordando que solo se puede usar dicha fórmula con una parábola de  $y=9.85x^2$ .

$$Q = k0,606H^{1,98}$$

Ecuación 10: Ecuación del vertedero parabólico

Q: Caudal (m<sup>3</sup>/s)

k: Coeficiente=1,33

H: Altura de agua (m)

### 3.4.4.2. Sutró

En el caso del vertedero sutro los valores de a y b siguen iguales solo cambian los caudales y de igual manera se tuvo que multiplicar por un coeficiente de valor 1,95.

$$Q = k2,87\sqrt{ab} \left( H - \frac{a}{3} \right)$$

Ecuación 11: Ecuación del vertedero sutro

Q: Caudal (m<sup>3</sup>/s)

k: Coeficiente=1,95

H: Altura de agua (m)

a: Ancho mínimo (m)

b: Largo (m)

### 3.4.4.3. Trapezoidal

Al tener el diseño de 1 a 4 de igual manera se dio un  
coeficiente de 0,92 para futuros datos estadísticos.

$$Q = k1,859LH^{3/2}$$

Ecuación 12: Ecuación del vertedero trapezoidal

Q: Caudal (m<sup>3</sup>/s)

k: Coeficiente=0,92

H: Altura de agua (m)

L: Largo (m)

### 3.4.4.4. Semicircular

Al ser el diseño de diferente manera solo le logro  
tomar 4 datos de las alturas de agua, pero de igual manera  
se pudo hallar un coeficiente que tiene el valor de 1,01.

$$Q = k1,518D^{0,693}H^{1,807}$$

Ecuación 13: Ecuación del vertedero semicircular

Q: Caudal ( $m^3/s$ )

k: Coeficiente=0,92

D: Diámetro (m)

H: Altura de agua (m)

#### **3.4.5. Resultado 4**

Al realizar el uso del canal de pendiente variable con los vertederos de pared delgada de tipo semicircular, parabólico, trapezoidal y sutro se logró hallar las alturas de agua, para posteriormente determinar las curvas de calibración para asimilar la ecuación con un factor de gasto asimismo cada curva de calibración tiene su ecuación y coeficiente de correlación, que indica la confiabilidad del trabajo, dando como resultado los valores que pueden ser decimales y menores que 1. (Cortés, 2021)

Además, con los vertederos diseñados de pared delgada de tipo semicircular, parabólico, trapezoidal y sutro ayudara en la ampliación de conocimientos para los estudiantes de hidráulica ya que de manera física se podrán hacer nuevos estudios así como diferentes diseños en diferentes áreas de ingeniería.

**Tabla 20**

*Fórmulas con factor de gasto*

Vertedero	Fórmula inicial	Factor de gasto	Fórmula final
Parabólico	$Q = 0,606H^{1,98}$	1.33	$Q = 0,806H^{1,98}$
Sutro	$Q = 2,74\sqrt{ab}\left(H - \frac{a}{3}\right)$	1.95	$Q = 5,343\sqrt{ab}\left(H - \frac{a}{3}\right)$
Trapezoidal	$Q = 1,859LH^{3/2}$	0.92	$Q = 1,710LH^{3/2}$
Semicircular	$Q = 1,518D^{0,693}H^{1,807}$	1.01	$Q = 1,533D^{0,693}H^{1,807}$

### 3.5. Gráficos estadísticos

Con el método de confiabilidad de Alfa de Cronbach el valor dado es 0.807 indicando su nivel de confianza buena.

$$\alpha = \frac{k}{k-1} \left[ 1 - \frac{\sum Vi}{Vt} \right]$$

$$\alpha = \frac{16}{16-1} \left[ 1 - \frac{2.000}{8.222} \right]$$

Según la validación de expertos se realizó un proceso de estadístico para observar la variación de las respuestas de cada experto. (Revisar Anexo N°4).

#### 3.5.1. Ítem 1: Vertederos de geometrías no convencionales

En este ítem es referido a las diferentes fórmulas utilizadas en cada vertedero de geometría no convencional, se dieron 4 preguntas referente a las fórmulas utilizadas en el proyecto de investigación.

a) Pregunta N°1:

$$Q = 1,518D^{0,693}H^{1,807}$$

*Ilustración 28: ¿Cree correcta la fórmula del vertedero semicircular?*

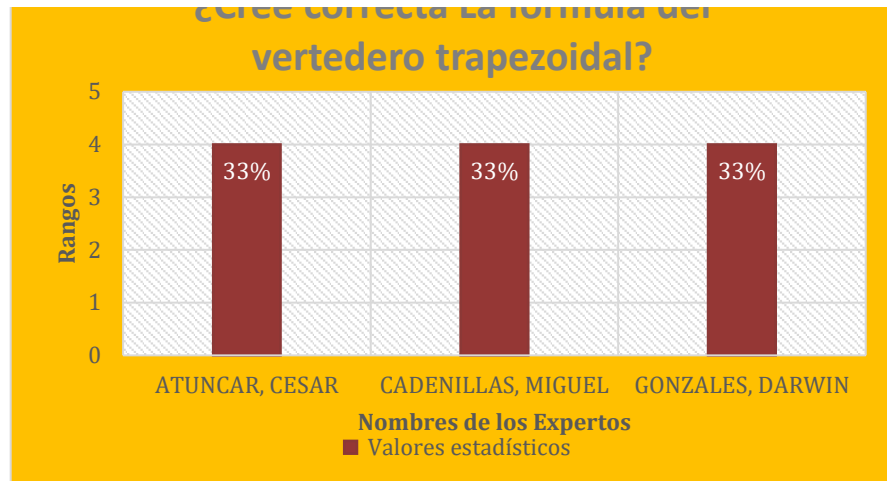
Los rangos están del 1 al 5, indicando que el 5 es muy de acuerdo mientras que el 1 es muy en desacuerdo, según al grafica señala que el 72% está muy de acuerdo.



b) Pregunta N°2

$$Q = 1,859LH^{3/2}$$

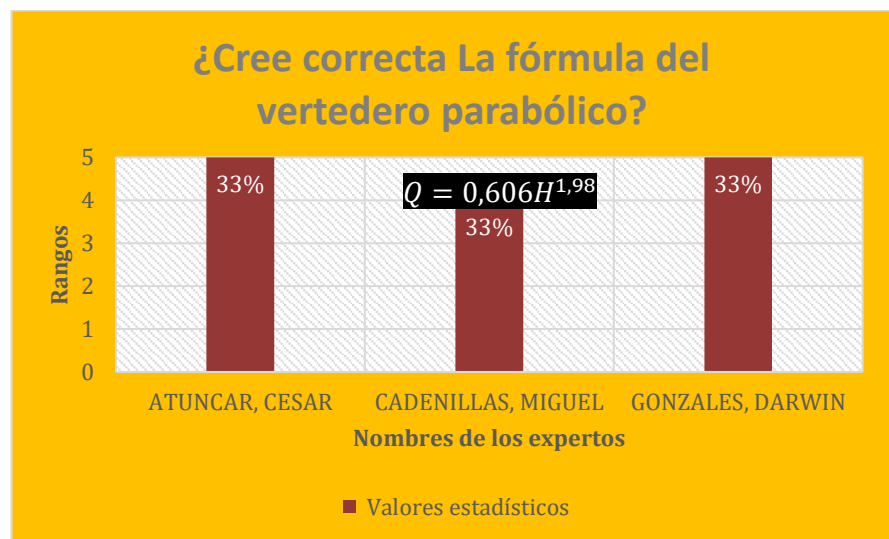
Ilustración 29: ¿Cree correcta la fórmula del vertedero trapezoidal?



Un valor aproximado del 100% está de acuerdo que la fórmula del vertedero trapezoidal es la correcta para el trabajo de investigación.

c) Pregunta N°3:

Ilustración 30: ¿Cree correcta la fórmula del vertedero parabólico?



Así como el gráfico anterior tiene valor aproximado del 100% está de acuerdo que la fórmula del vertedero parabólico es la correcta,

recordando que solo dicha fórmula será posible usarla con la ecuación de la parábola  $y=9.85x^2$

d) Pregunta N°4:

$$Q = 2,74\sqrt{ab} \left( H - \frac{a}{3} \right)$$

Ilustración 31: ¿Cree correcta La fórmula del vertedero sutro?



Para la fórmula del vertedero sutro están muy de acuerdo un 67% mientras que en acuerdo solo es el 29%, recordando que para este vertedero son 3 longitudes para hallar el coeficiente de gasto.

### 3.5.2.Ítem 2: Canal de pendiente variable

En el siguiente ítem se dan las indicaciones de cómo se debe calibrar el canal de pendiente variable para continuar con la implementación de manera física de los vertederos tipo semicircular, parabólico, sutro y trapezoidal.

a) Pregunta N°1:



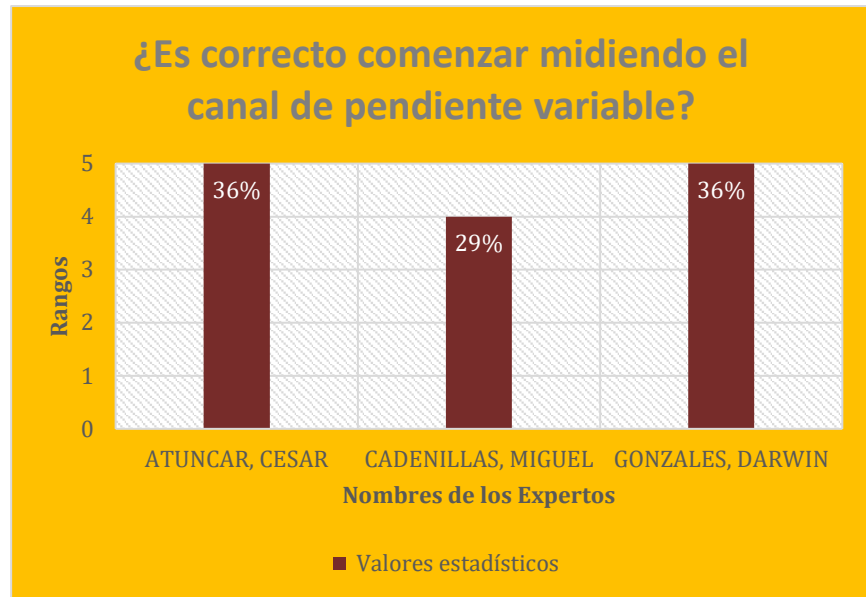


Ilustración 32: ¿Es correcto comenzar midiendo el canal de pendiente variable?

En dicho gráfico están muy de acuerdo el 72% de iniciar con la medición del canal de pendiente variable para posteriormente iniciar con el diseño de los vertederos.

b) Pregunta N°2:

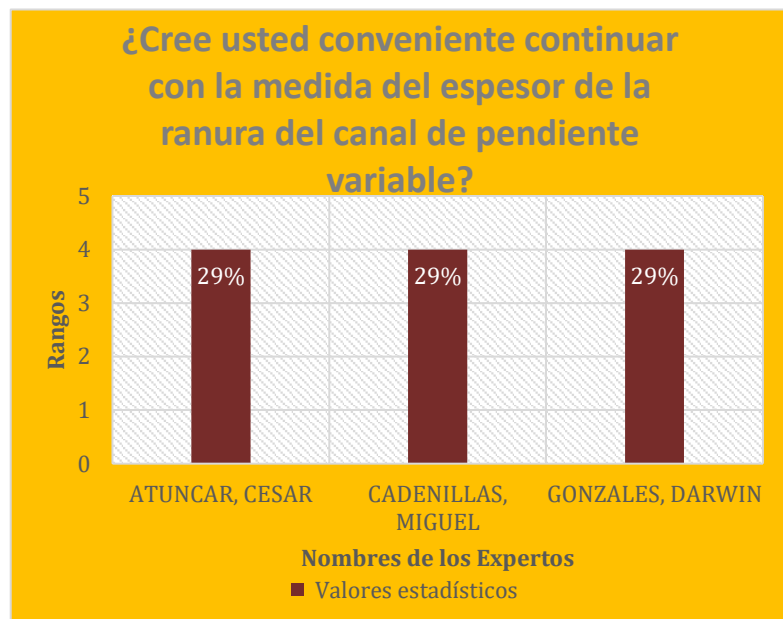


Ilustración 33: ¿Cree usted conveniente continuar con la medida del espesor de la ranura del canal de pendiente variable?

En el siguiente grafico muestra que la mayoría de expertos están de acuerdo con un 100% aproximado de tomar en cuenta la medida del espesor de la ranura del canal de pendiente variable para cada tipo de vertedero utilizado

### 3.5.3. Ítem 3: Aplicación de vertederos en el canal de pendiente variable

Ya se comienza con insertar los vertederos no sin antes calibrar el canal de pendiente variable y dejar que el agua fluya para el cambio de los caudales.

a) Pregunta N°1:



Ilustración 34: ¿Es correcto iniciar con la implementación física de los vertederos después de la implementación analítica?

Se da un valor de 72% que está muy de acuerdo para comenzar con la implementación física de los diferentes vertederos.

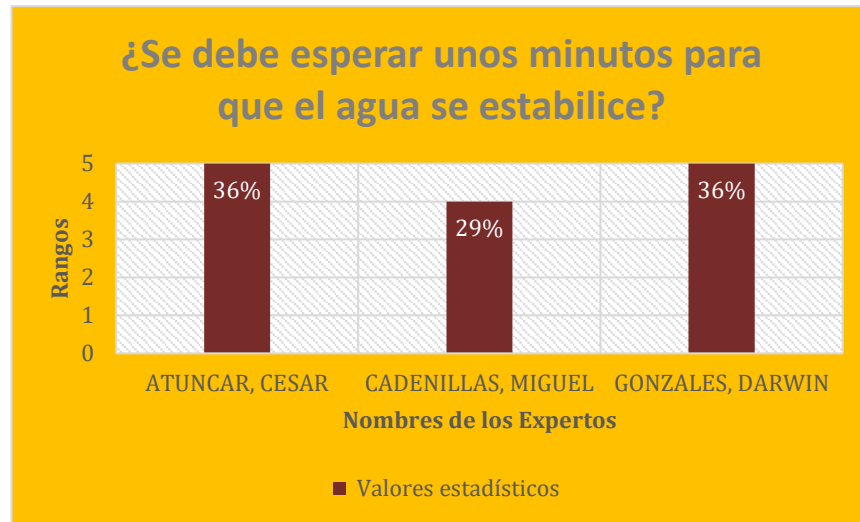
b) Pregunta N°2:



Ilustración 35: ¿Se comienza con la calibración de la pendiente?

En el siguiente gráfico, el 29% está de acuerdo que se comience con la calibración de la pendiente, en este trabajo de investigación se tomó la pendiente de 0.1%

c) Pregunta N°3:



*Ilustración 36: ¿Se debe esperar unos minutos para que el agua se estabilice?*

El grafico indica que el 72% está de acuerdo con la espera para la estabilización del agua en el canal de pendiente variable.

Cuando se inicia a prender las bombas de agua, se tiene que esperar unos minutos para que se estabilice para que se pueda notar las curvas de calibración, así como apoyarse de los datos ya hallados del canal triangular calibrado de  $53^{\circ} 7'$ .

#### **3.5.4. Ítem 4: Los caudales**

Con el paso del agua, se decidió tomar 6 caudales con la ayuda del vertedero triangular calibrado de  $53^{\circ} 7'$  de la UPN Los Olivos.

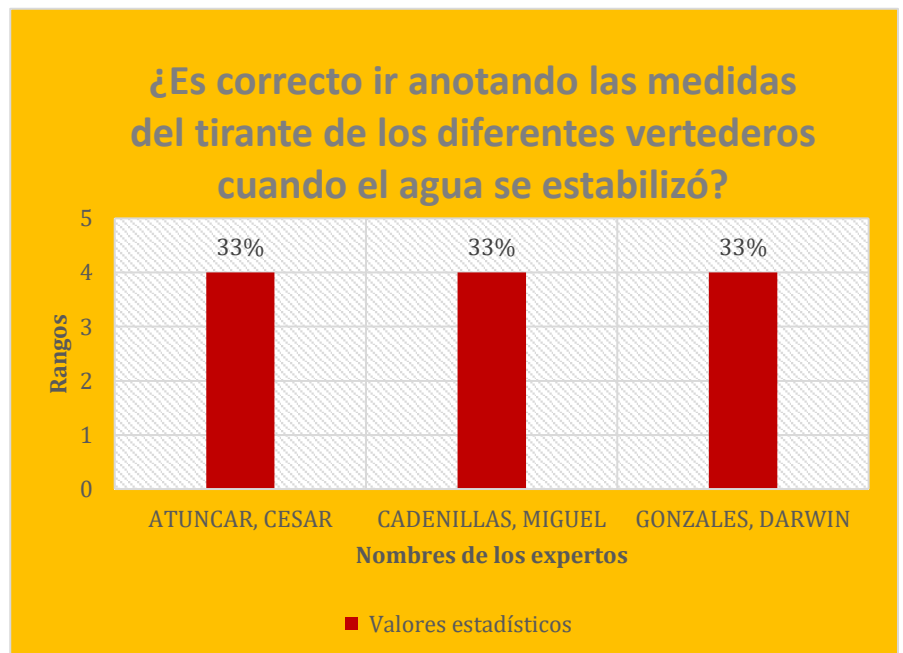
a) Pregunta N°1:



*Ilustración 37: ¿ Es correcto iniciar con una altura de control?*

Con ayuda de un limnómetro se tomó una altura control para posteriormente restarla con la altura donde pasa el agua, según el gráfico los jurados están muy de acuerdo en el comienzo de tomar la medida de la altura de control.

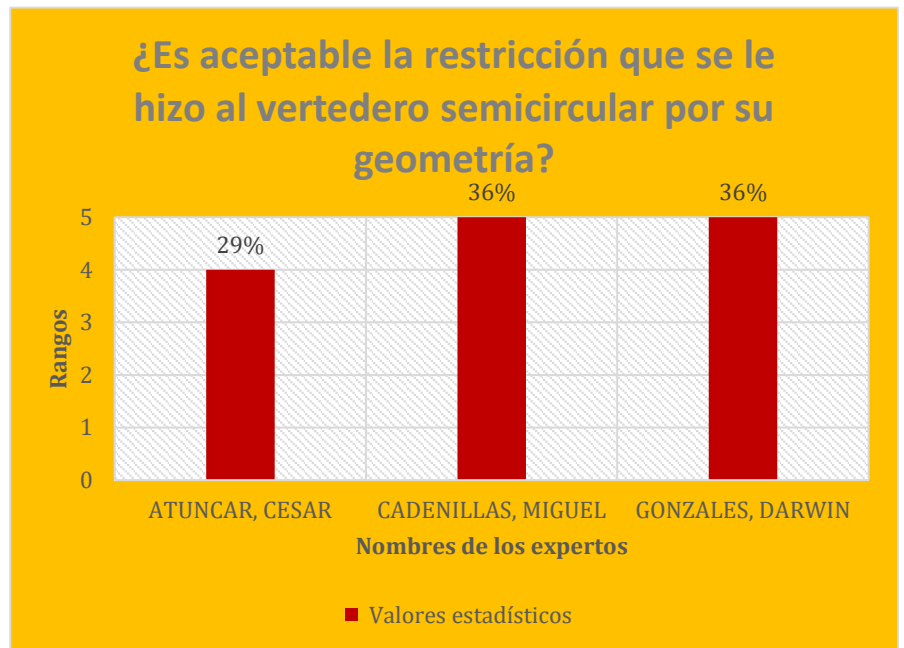
b) Pregunta N°2:



*Ilustración 38: ¿Es correcto ir anotando las medidas del tirante de los diferentes vertederos cuando el agua se estabilizó?*

Con el paso del agua, cuando ya se estabilice, se pueden ir tomando las alturas de agua o tirantes según el grafico los 3 ingenieros están muy de acuerdo con lo establecido.

c) Pregunta N°3:



*Ilustración 39: ¿Es aceptable la restricción que se le hizo al vertedero semicircular por su geometría?*

Para todos los vertederos se usaron la misma cantidad de caudales, pero referente al vertedero semicircular se tuvo que hacer menor cantidad, ya que de tener los 6 caudales como los demás vertederos hubiera ocurrido un sobrepaso de agua en el laboratorio de

hidráulica por la misma forma que es circular se optó por tomar solo 4 caudales, según el grafico es un 72% aceptado usar solo 4 caudales ara el vertedero semicircular.

### 3.5.5. Ítem 5: Verificación del caudal con las alturas

Así como se inició de manera manual también se obtuvo datos de manera experimental para de ahí comenzar con el cálculo del factor de gasto de cada formula de tipo de vertedero.

a) Pregunta N°1:

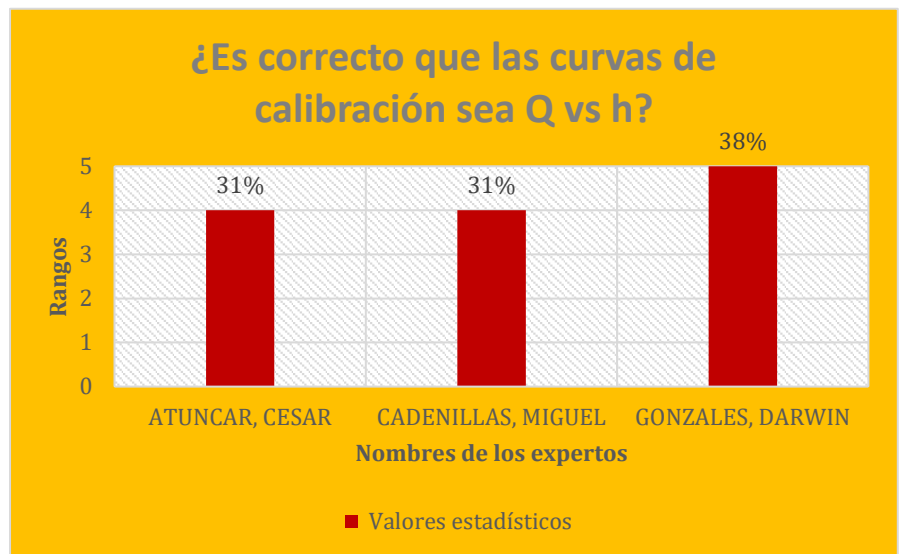


Ilustración 40: ¿Es correcto que las curvas de calibración sea Q vs h?

Con el 62% indica que están de acuerdo en que las curvas de calibración sea Q vs h para generar el factor de gasto para cada tipo de vertedero.

b) Pregunta N°2:

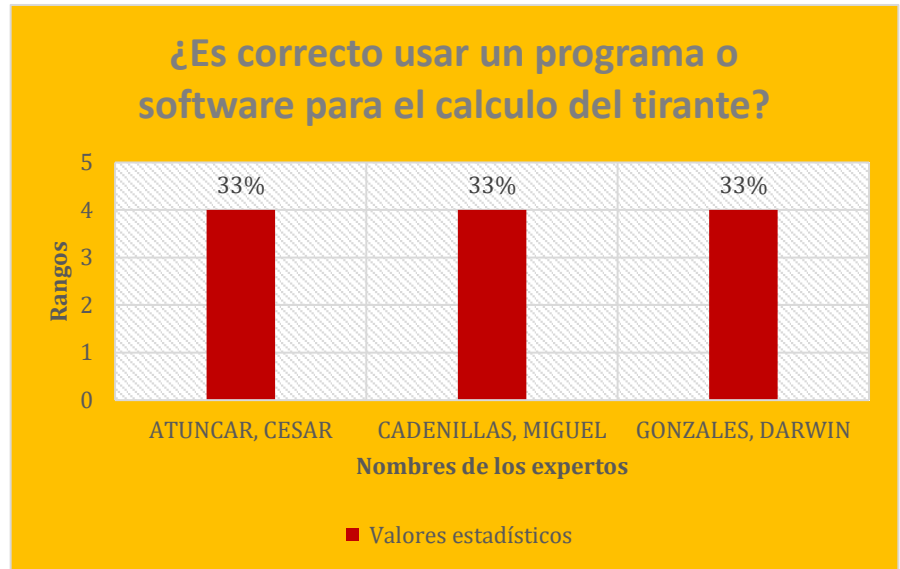


Ilustración 41: ¿Es correcto usar un programa o software para el cálculo del tirante?

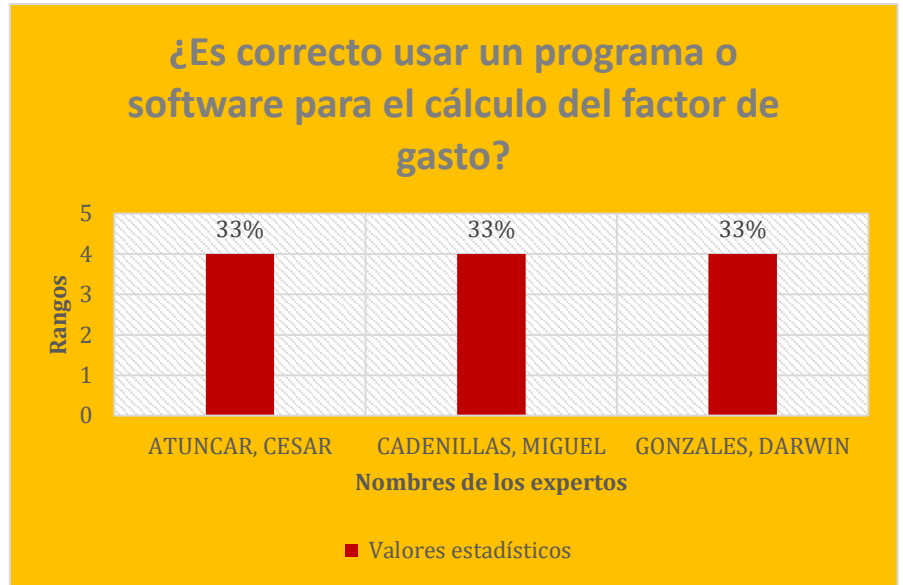
Con los datos obtenidos se comienza a hacer un cálculo matemático para ver cuánto es lo que se asemeja de manera física y analítica, según el grafico los 3 ingenieros están de acuerdo con el uso de un software, para dicho proyecto de investigación se usó Excel.

### 3.5.6. Ítem 6: Coeficiente de corrección

Con el ultimo ítem se corroboró que el factor de corrección debe estar en valores de 0 a 1 así como en cada formula se tuvo que agregar dicho factor.



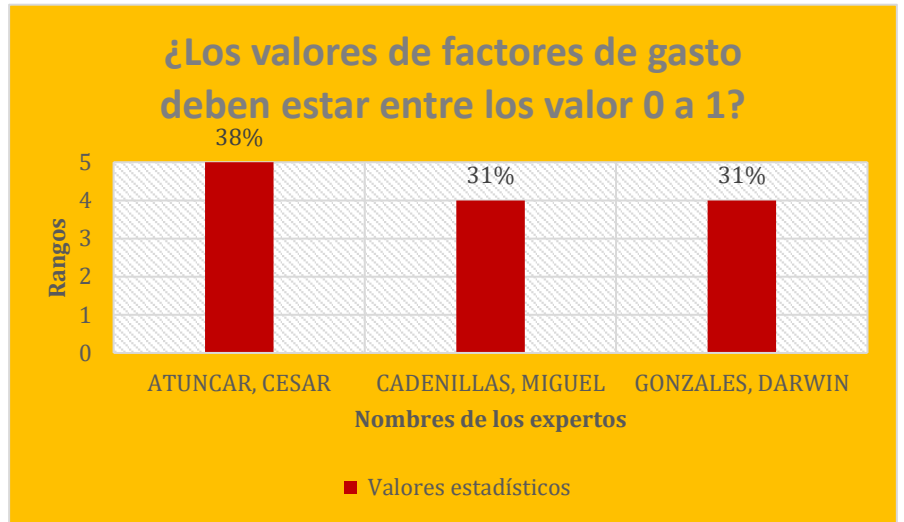
a) Pregunta N°1:



*Ilustración 42: ¿Es correcto usar un programa o software para el cálculo del tirante?*

Se puede hacer de manera manual, pero se hace con el apoyo de un software debido a su rápida operación, así como también aproximación de decimales, los 3 expertos estuvieron de acuerdo en hacer uso de un software para el cálculo del factor de gasto.

b) Pregunta N°2:



*Ilustración 43: ¿Los valores de factores de gasto deben estar entre los valores 0 a 1?*

Con el cálculo de manera analítica y física se comienza a probar valores para que den ambos valores iguales, según los expertos un 62% estuvo de acuerdo con el procedimiento.

## **CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **4.1. DISCUSIONES**

#### **4.1.1. Discusión 1**

En el presente trabajo de investigación para poder evaluar experimentalmente los coeficientes de gastos utilizados en vertederos de pared delgada tipo, semicircular, parabólico, trapezoidal y sutro se comenzó con la investigación de procesos similares como se muestra en los antecedentes donde indicaron diferentes tipos de procedimientos para los vertederos sin embargo cuando hablamos de propuestas de diseño no hay otros trabajos de investigación, que permita validar, compartir o discutir con otras investigaciones.

Según los autores Aceituno, Alosilla & Moscoso (2021) explican que la base de las limitaciones es una posibilidad de sugerir formas de mejorar la calidad de la próxima investigación, como un mayor tamaño de muestra, la recopilación de datos con un cierto instrumento de mejor confiabilidad, seguimiento más prolongado de los participantes o la adopción de otro tipo de diseño.

Para poder mejorar el trabajo de investigación sería ampliar el uso de datos de los caudales, en esta investigación solo se pudo dar 6 caudales, pero al tener un margen de 10 a 20 caudales se daría una

precisión con mayor eficiencia como indica los manuales de procedimientos de laboratorio de hidráulica, así como también nuevas propuestas de diseño de manera interna para cada vertedero, como se identificó en la investigación en el vertedero semicircular solo se pudo obtener 4 caudales pero al cambiar su diseño se podría dar nuevos datos para el caudal . Así como también no existen muchos laboratorios de hidráulica donde se puedan visualizar este tipo de ensayos, asimismo técnicos expertos del tema.

#### **4.1.2. Discusión 2**

En la tesis de Cabrera, T. (2017) denominada “Metodología para la determinación de la capacidad de descarga del vertedero de excesos en presas de tierra” indica que para las diferentes longitudes de cada vertedero es necesario un estudio de terrenos, así como de los parámetros establecidos para cada vertedero. En nuestro caso se determinó cada diseño de los diferentes vertederos se diseñaron de diferente manera, por ejemplo, en caso del trapezoidal fue un diseño de 1 a 4 quiere decir una parte de la base y la altura del trapecio estarían en esa combinación, el semicircular fue un poco complicado ya que su geometría no convencional no permitió que tuviera las mismas medidas que los demás por eso solo se pudo tomar 3 datos de las alturas del agua ya que de usar caudales mayores estaría el riesgo de que se rebalse el agua, en el caso del parabólico la formula solo especifica este tipo de vertedero según el

diseño de su parábola y por último en el caso del vertedero sutro se tomaron medidas acorde al canal de pendiente variable.

También en la tesis de Quiliche, J. (2015) denominada “Coeficientes de gasto en vertederos triangulares en el canal de pendiente variable - laboratorio de hidráulica de la UPN - Cajamarca, 2015” indica que el diseño de los vertederos fue en un canal de pendiente variable elevado, denota que se tomó una pendiente mayor de 0.1% como es el presente trabajo de investigación.

Acotando que la limitación para el diseño del vertedero es la medida del canal de pendiente variable al ser de forma rectangular todos los vertederos tendrán esa medida en su contorno, así como también se tendrá que dar una medida exacta del vertedero ya que a ser más grande no entraría la mica de vidrio y de ser muy pequeña habría posibles fugas y daría un dato erróneo en la investigación.

#### **4.1.3. Discusión 3**

En la tesis Jiménez, J & Morocho, J. (2018) denominada “Elaboración del modelo físico y la guía metodológica para la práctica: vertederos de pared delgada, de la asignatura Mecánica de Fluidos de la Universidad del Azuay” indica la esquematización del flujo a través de un vertedero donde se debe considerar la longitud de la cresta, el ancho del canal y las contracciones mientras que en el presente trabajo de

investigación según el diseño de cada vertedero se comenzó con la búsqueda de las formulas según la forma de cada vertedero de geometría no convencional para el inicio de su diseño para corroborar los datos de manera manual y física ya que las formulas multiplicándolo por un coeficiente se daría la formula real.

Adicionalmente en la tesis Guamán, V. (2018) denominada “Modelación numérica y experimental de un canal rectangular abiertos con diferentes tipos de vertederos” indica que cualquier fórmula variara según su forma del vertedero además de sus contracciones mientras que en el presente trabajo de investigación si presenta contracciones y se trabaja el caudal en  $m^3/s$ .

#### **4.1.4. Discusión 4**

En la tesis Quiliche, J. (2015) denominada “Coeficientes de gasto en vertederos triangulares en el canal de pendiente variable - laboratorio de hidráulica de la UPN - Cajamarca, 2015” indica el uso de diferentes pendientes para hallar los coeficientes de gasto mientras que en el presente proyecto de investigación solo se mantuvo una ya que se decidió hallar las curvas de calibración para los vertederos de geometrías no convencionales, teniendo como pendiente al valor de 0.1%

## 4.2. CONCLUSIONES

### 4.2.1. Conclusión 1

En base del objetivo general planteado podemos concluir que se han obtenido coeficientes de gastos de manera variable ya que dependen de la geometría de cada vertedero, se usó como vertedero patrón el vertedero calibrado de pared delgada de  $53^{\circ} 7'$  que se encuentra en el laboratorio de hidráulica de la UPN Sede Los Olivos.

Para evaluar experimentalmente los coeficientes de gastos en vertederos tipo, semicircular, parabólico, trapezoidal y sutro se comenzó con la investigación de sus fórmulas mencionadas en el libro “Hidráulica de canales” del autor Máximo Villón Béjar, así como también sus parámetros en el caso del vertedero semicircular se optó por un diámetro de 22cm, en el vertedero trapezoidal la geometría de 1 a 4 en función de su altura y parte de su base, en el vertedero parabólico, la formula se únicamente con la parábola de  $y=9.85x^2$  y por último en el caso del vertedero sutro se tomó las medidas en función de su fórmula. Asimismo, se tomó en cuenta los vertederos triangular y rectangular del laboratorio de hidráulica de la UPN Sede Los Olivos.

### 4.2.2. Conclusión 2

Se logró diseñar de manera analítica a fin de dimensionar los vertederos semicircular, parabólico, trapezoidal y sutro utilizando las

ecuaciones de “Hidráulica de Canales” del autor Maximo Villón. Teniendo como restricción la geometría del canal de pendiente variable del laboratorio de hidráulica de la UPN Sede Los Olivos el cual tiene un fondo de 25 cm y un alto de 30 cm, asimismo se trabajó con un caudal máximo de 12 l/s. Verificándose experimentalmente la funcionalidad de los vertederos utilizados en el presente trabajo de investigación.

Acorde con la geometría del canal de pendiente variable los cuales tiene 25 cm de fondo rectangular y 30 cm de alto de los laterales en el cual se verifico la funcionalidad de los vertederos semicircular, trapezoidal, parabólico y sutro, así mismo nuestros vertederos funcionan hasta un rango del caudal máximo de 12 l/s.

#### **4.2.3. Conclusión 3**

Es factible el diseño e implementación de los vertederos de pared delgada sutro, semicircular, parabólica y trapezoidal en el canal de pendiente variable de la UPN Sede Los Olivos con el diseño terminado de cada vertedero se colocó cada uno en el canal de pendiente variable, variando el caudal con el vertedero calibrado de la UPN Sede Los Olivos posteriormente para hallar el caudal y verificar las fórmulas para graficar las curvas de calibración de cada vertedero, el factor de gasto es diferente en cada vertedero de geometría no convencional; semicircular 1.01, trapezoidal 0.92, parabólico 1.33 y sutro 1.95, a fin que guarde relación



con el vertedero calibrado de  $53^{\circ}7'$  instalado en el laboratorio de la UPN y teniendo una confiabilidad aceptable debido al factor de correlación de cada curva de calibración.

#### 4.2.4. Conclusión 4

Producto de los ensayos realizados en los diferentes tipos de vertedero y a diferentes caudales es factible generar la curva Caudal vs Carga el cual nos brinda la relación entre estos valores permitiendo generar una curva la cual posteriormente es ajustada obteniéndose los coeficientes de correlación  $R^2$ ; semicircular 0.991, parabólico 0.9848, trapezoidal 0.9863y sutro 0.9882

En las figuras 24, 25, 26, 27 se encuentran las curvas de calibración donde se puede notar que a medida que el caudal aumenta también aumentara la altura del agua para cada vertedero según el diseño que se le dio, guiándose del manual de laboratorio de hidráulica que indica paso a paso el procedimiento para hallar las curvas de calibración de cada tipo de vertedero.

#### 4.3.RECOMENDACIONES

- Continuar con las investigaciones para implementar otros dispositivos en canal de pendiente variable como pueden ser sistema de enrocado, disipadores de energía, compuertas variables,

vertedero tipo parshall, vertederos de pared gruesa, entre otros dispositivos.

- Verificar las formulas a utilizar ya que en caso de dicho proyecto de investigación se trabajó con pared delgada, pero para próximas investigaciones también hay la posibilidad de usar la pared gruesa afirmando que cambiaran las formulas.
- Al tener las medidas del canal de pendiente variable hacer el uso correcto de las formulas junto con el diseño de cada vertedero de geometría no convencional para no realizar doble gasto al momento de ejecutar la placa de vidrio.
- Tener en cuenta como recomendación el máximo de caudal que se trabajara en el proyecto de investigación tiene que establecerse desde el inicio ya que si el caudal aumenta podría generarse de un desbordamiento de agua en el canal de pendiente variable.

## REFERENCIA

- Aguilar Laverde, D. F., & Escobar Moreno, V. A. (2020). SIMULACIÓN DEL FLUJO DE AGUA SOBRE UN VERTEDERO RECTANGULAR, MEDIANTE EL USO DE UNA HERRAMIENTA APLICADA A LA DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL. Bogotá, Colombia.
- Aceituno Huacani, C., Alosilla Robles, W., & Moscoso Paricoto, I. (2021). *Discusión de resultados*. Cusco: Primera Edición Digital.
- Aranda Argueta , J. E., & Campos Fuente, , M. A. (2014). *PROPUESTA DE IMPLEMENTACION DEL LABORATORIO DE ASFALTO EN LA FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL DE LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR*. El Salvador.
- Cabrera Guerrero , T. J. (2014). *METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE DESCARGA DEL VERTEDERO DE EXCESOS EN PRESAS DE TIERRA*. Ecuador .
- Chandi Pozo, P. J., & Escobar Montenegro, J. F. (2018). MODELACIÓN NUMÉRICA TRIDIMENSIONAL DE LOS VERTEDEROS DE EXCESOS DE LA PRESA TOACHI MEDIANTE EL PROGRAMA FLOW-3D. Quito, Ecuador.
- Cortés, M. (2021). *MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO DE HIDRÁULICA*. Boyacá: MSMRHA.
- Díaz Alarcón, A. G. (2020). MODELACIÓN MEDIANTE SOFTWARE CFD DE LOS ENSAYOS DE VERTEDERO RECTANGULAR Y TRIANGULAR DEL CANAL HIDRÁULICO DEL

LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE LA UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS, SEDE  
VILLAVICENCIO. Villavicencio, Colombia.

Díaz de León, N. T. (2022). *Universidad Autónoma del Estado de México*. Obtenido de Población  
y Muestra: chrome-  
extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/https://core.ac.uk/download/pdf/8053160  
8.pdf

Díaz, L. (2022). *PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE UN LABORATORIO DE  
CONFORMIDAD ACREDITADO DE GEOTEXTILES EN EL PERÚ*. Lima.

Galandini, S., & Mager, F. (2020). *ÉTICA DE LA INVESTIGACIÓN: UNA GUÍA PRÁCTICA*.  
OXFAM.

Gómez, M. (2006). *PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACION DEL LABORATORIO DE  
MECANICADE SUELOS Y PAVIMENTOS AL PROGRAMA DE ING CIVIL DE LA  
UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE BOLIVAR*. Colombia.

Guamán Sánchez, V. A., & Torres Jara, P. B. (2018). *MODELACIÓN NUMÉRICA Y  
EXPERIMENTAL DE UN CANAL RECTANGULAR ABIERTO CON DIFERENTES  
TIPOS DE VERTEDEROS*. Ecuador.

Guerrero Mosquera, L. F. (2015). *DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN LABORATORIO  
VIRTUAL DE INGENIERÍA SÍSMICA*. Cali.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. d. (2014). *Metodología de  
la Investigación-Sexta Edición*. México: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA  
EDITORES, S.A. DE C.V.

INACAP. (2020). *Ecuación de Continuidad, de Bernoulli y sus aplicaciones*. Santiago de Chile.

Investigadores. (22 de Febrero de 2020). *Técnicas de Investigación*. Obtenido de ¿Cuáles son los principales tipos de investigación y en que consisten?: [https://tecnicasdeinvestigacion.com/tipos-de-investigacion/#Tipos\\_de\\_investigacion\\_según\\_el\\_propósito](https://tecnicasdeinvestigacion.com/tipos-de-investigacion/#Tipos_de_investigacion_según_el_propósito)

Jiménez Jiménez, J. C., & Morocho Jiménez, J. C. (2018). *Elaboración del modelo físico y la guía metodológica para la práctica: vertederos de pared delgada, de la asignatura Mecánica de Fluidos de la Universidad del Azuay*. Ecuador.

Juárez Bonilla, M. I. (2017). *CALIBRACIÓN DE VERTEDERO PROPORCIONAL O SUTRO*. Guatemala.

Lalangui D., D. (30 de Mayo de 2017). *Emprendimiento Contable Perú*. Obtenido de Población y Muestra de Tesis: <https://www.emprendimientocontperu.com/poblacion-y-muestra-de-tesis/>

Leaño Paucar, M. H. (2021). *DISEÑO DE VERTEDEROS HIDRÁULICOS TRIANGULARES, RECTANGULARES Y COMBINADOS EN EL ENTORNO RURAL DEL SECTOR QUIVES, KM 40 LIMA – CANTA, AÑO 2021*. Lima.

López Fernández, R., Avello Martínez, R., Palmero Urquiza, D. E., Sánchez Gálvez, S., & Quintana Álvarez, M. (2019). *Validación de instrumentos como garantía de la credibilidad en las investigaciones científicas*. Cuba.

Marbello, R. (2017). *MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO DE HIDRÁULICA*. Medellín

Matos Castro, K. A. (2022). *Diseño hidr-ulico de un vertedero triangular y su influencia en la uniformidad del nivel de agua en los pre sedimentadores de la EPS Seda Huánuco S.A.* 2022. Lima.

México, G. d. (200). *Gobierno de México*. Obtenido de Tecnológico Nacional de México:  
[https://crodemerida.tecnm.mx/index.php/component/k2/item/70-canal-de-pendiente-  
variable](https://crodemerida.tecnm.mx/index.php/component/k2/item/70-canal-de-pendiente-variable)

Miranda Vargas, A. M., & Miranda Pillco, D. S. (2018). *EMPLEO DEL LABORATORIO DE  
MECÁNICA DE SUELOS Y SU RELACIÓN CON LA ASIGNATURA BÁSICA DE  
GEOLOGÍA PARA LOS CADETES DE INGENIERÍA DE LA ESCUELA MILITAR DE  
CHORRILLOS*. Lima.

Muguira, A. (2022). *QuestionPro*. Obtenido de Diseño de investigación. Elementos y  
características: <https://www.questionpro.com/blog/es/disenio-de-investigacion/>

Ngamalieu Nengoue, U. A. (2015). *CARACTERIZACIÓN DE VERTEDEROS HIDRÁULICOS  
MEDIANTE TÉCNICAS CFD*. España.

Portillo, D. (9 de Enero de 2013). *Slideshare*. Obtenido de Tema 2 Metodología de la  
Investigación Científica: [https://es.slideshare.net/danelo10/tema-2-metodologa-la-  
investigacin-cientifica](https://es.slideshare.net/danelo10/tema-2-metodologa-la-investigacin-cientifica)

Quiliche Vásquez, J. A. (2015). *“COEFICIENTES DE GASTO EN VERTEDEROS  
TRIANGULARES EN EL CANAL DE PENDIENTE VARIABLE-LABORATORIO DE  
HIDRÁULICA DE LA UPN-CAJAMARCA,2015”*. Lima.

Quishpe Songor, D. J. (2021). *MANUAL DE PRÁCTICAS VIRTUALES DE  
LABORATORIO, APLICANDO MODELACIÓN NUMÉRICA (CFD) PARA USO EN LAS  
ASIGNATURAS DE MECÁNICA DE FLUIDOS E HIDRÁULICA APLICADA*. Ecuador.

Raeburn, A. (7 de Abril de 2023). *asana*. Obtenido de Cómo usar el juicio de expertos en la  
gestión de proyectos: <https://asana.com/es/resources/expert-judgment>

Sigüenza Corcuera, H. M. (2017). ANÁLISIS DE PROBLEMAS HIDRÁULICOS, TIPOS DE FLUJO Y ESTRUCTURAS DE AFORO MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN DE SEIS EQUIPOS EXPERIMENTALES EN EL CANAL DE PENDIENTE VARIABLE – UPAO. Trujillo, Perú.

Taris Carrasco, A. S. (2023). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PISTA DE AIRE LINEAL, CON MOVIMIENTOS UNIDIMENSIONALES, PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE EQUIPOS ENFOCADOS AL MACROPROYECTO DEL LABORATORIO DE FÍSICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO*. Ambato.

Tomala, O. (2016). *Oswaldo Tomala*. Obtenido de Tipos de Investigación: <https://sites.google.com/site/misitioweboswaldotomala2016/tipos-de-investigacion>

Vintimilla Vintimilla, D. M., & Patiño Fernandez, D. F. (2015). *ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL FLUJO A TRAVÉS DE UN VERTEDERO EN ABANICO Y SU SUBSECUENTE CUENCO DISIPADOR MEDIANTE UN MODELO MATEMÁTICO DE FLUJO EN TRES DIMENSIONES*. Ecuador.

Webinar. (16 de Mayo de 2017). *IAGUA*. Obtenido de Las propiedades del Agua: <https://www.iagua.es/noticias/mexico/conagua/17/05/16/propiedades-agua>

**ANEXOS**

**Anexo N°1: Matriz de Consistencia**

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES INDICADORES	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS	INDICE	DISEÑO
<p>PREGUNTA GENERAL</p> <p>¿De qué manera una evaluación experimental permitirá determinar los coeficientes de gastos utilizados en vertederos de pared delgada tipo, semicircular, parabólico, trapezoidal y sutro para realizar aforos en canales rectangulares?</p>	<p>OBJETIVO GENERAL</p> <p>Evaluar experimentalmente los coeficientes de gastos utilizados en vertederos de pared delgada tipo, semicircular, parabólico, trapezoidal y sutro para realizar aforos en canales rectangulares</p>	<p>HIPOTESIS GENERAL</p> <p>Una evaluación experimental permite determinar los coeficientes de gastos utilizados en vertederos de pared delgada tipo, semicircular, parabólico, trapezoidal y sutro para realizar aforos en canales rectangulares</p>	<p>VARIABLE DEPENDENTE</p> <p>Coefficiente de gasto</p>	<p>Al tener las curvas de calibración se comienza a dar el cálculo del factor de gasto para hallar la formula real</p>	<p>El canal de pendiente variable</p>	<p>Excel, datos tomados en el canal de pendiente variable y los vertederos de geometría no convencional</p>	<p><b>Adimensional</b></p>	<p>SEGÚN EL PROPÓSITO:</p> <p>Tipo Aplicada</p> <p>POR SU ENFOQUE:</p> <p>Cuantitativa</p>
<p>PREGUNTAS ESPECÍFICAS</p> <p>PE1: ¿Cómo diseñar de manera analítica los vertederos con geometrías no convencionales para el canal de pendiente variable del laboratorio de hidráulica de la UPN Sede Los Olivos?</p>	<p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p> <p>OE1: Diseñar de manera analítica los vertederos con geometrías no convencionales para el canal de pendiente variable del laboratorio de hidráulica de la UPN Sede Los Olivos</p>	<p>HIPOTESIS ESPECIFICAS</p> <p>HE1: El diseño analítico en los vertederos con geometrías no convencionales tuvo un progreso positivo en la determinación de caudales</p>	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE</p> <p>Vertederos de pared delgada tipo: semicircular, parabólico, trapezoidal y sutro.</p>	<p>Con el apoyo del canal de pendiente variable y del vertedero triangular calibrado se darán la información de cada caudal para cada vertedero de geometría no convencional</p>	<p>El uso del canal de pendiente variable</p>	<p>Wincha, Cuaderno, Lápiz, calculadora y canal de pendiente variable</p>	<p>l/s</p>	<p>SEGÚN EL DISEÑO:</p> <p>No Experimental</p>
<p>PE2: ¿De qué manera implementar de manera física los vertederos de geometrías no convencionales para el canal de pendiente variable del laboratorio de hidráulica de la UPN Sede Los Olivos?</p>	<p>OE2: Implementar de manera física los vertederos de geometrías no convencionales para el canal de pendiente variable del laboratorio de hidráulica de la UPN Sede Los Olivos</p>	<p>HE2: La implementación de manera física en los vertederos de geometrías no convencionales en el canal de pendiente variable para calcular el caudal de manera optima</p>		<p>Con apoyo de la formula investigada por cada vertedero se comienza con el diseño de cada vertedero con la altura de diseño hallada de cada fórmula</p>	<p>Altura y ancho para cada vertedero, según la figura se dará el diámetro, alto, ancho, etc</p>	<p>Tesis, Artículos, Wincha, Cuaderno, Lápiz y calculadora</p>	<p>cm</p>	<p>NIVEL DE INVESTIGACIÓN:</p> <p>Descriptivo</p>
<p>PE3: ¿De qué manera influye las curvas de calibración por cada uno de los vertederos de la geometría no convencionales para el canal de pendiente variable del laboratorio de hidráulica de la UPN Sede Los Olivos?</p>	<p>OE3: Realizar las curvas de calibración por cada uno de los vertederos de la geometría no convencionales para el canal de pendiente variable del laboratorio de hidráulica de la UPN Sede Los Olivos</p>	<p>HE3: Las curvas de calibración por cada uno de los vertederos de la geometría no convencionales tiene una similitud con el vertedero triangular de 53° 7' de la UPN sede los olivos</p>		<p>A medida que el caudal avanza también cambiara el valor del tirante</p>	<p>Altura de control</p>	<p>Los vertederos de geometría no convencional y canal de pendiente variable</p>	<p>cm</p>	



Anexo N°2: Matriz de Operacionalización de Variables

MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN				
Variables	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores	Ítems
		¿Qué necesito estudiar de la variable?	¿Qué necesito estudiar de la dimensión?	¿Qué necesito para estudiar del indicador?
<b>V. D.:</b> Coeficiente de gasto	“Una vez encendido la bomba que alimenta al canal de pendiente variable, el caudal (l/s) es constante es decir no cambia en el tiempo o sea es permanente asimismo la geometría del canal rectangular no cambia”	Con el apoyo del canal de pendiente variable y del vertedero triangular calibrado se darán la información de cada caudal para cada vertedero de geometría no convencional	- El uso del canal de pendiente variable	- Observación - Canal de pendiente variable
<b>V.I.:</b> Vertederos de pared delgada tipo: semicircular, parabólico, trapezoidal y sutro.	“Las dimensiones del vertedero dependen a la geometría del canal rectangular de pendiente variable”	Con la formula investigada por cada vertedero se comienza con el diseño de cada vertedero con la altura de diseño hallada de cada fórmula	- Altura y ancho para cada vertedero, según la figura se dará el diámetro, alto, ancho, etc. -Altura de las paredes	- AutoCad - Tesis - Calculadora -Wincha

## Anexo N°3: Cuestionario para expertos

Dimensión	Ítems	MUY DE ACUERDO	DE ACUERDO	INDIFERENTE	EN DESACUERDO	MUY EN DESACUERDO
<b>Lea cuidadosamente cada proposición y marque con un aspa (x) solo una alternativa, la que mejor refleje su puntovista al respecto de las actividades. Respondatodas las proposiciones, no hay respuestas buenas ni malas.</b>		5	4	3	2	1
<b>Dimensión 1</b>	<b>1. Vertederos de geometrías no convencionales</b>	Se comenzó con la investigación de las ecuaciones para hallar el caudal de cada vertedero de geometría no convencional				
Ecuaciones de los vertederos	<b>1.1.</b> Semicircular ( $Q = 1,518D^{0,693}H^{1,807}$ )					
	<b>1.2.</b> Trapezoidal ( $Q = 1,859LH^{3/2}$ )					
	<b>1.3.</b> Parabólico ( $Q = 0,606H^{1,98}$ ), solo esta fórmula es cuando la parábola tiene la ecuación de $y=9.85x^2$					
	<b>1.4.</b> Sutro ( $Q = 2,74\sqrt{aL}\left(H - \frac{a}{3}\right)$ )					
	<b>2. Canal de pendiente variable</b>	El equipo fue usado así mismo en conjunto con el vertedero triangular calibrado de $53^\circ 7'$				
	<b>2.1.</b> Se comenzó con las medidas del canal de pendiente variable para posteriormente usar las formulas					
	<b>2.2.</b> la ranura se tomó para el espesor de los vertederos					

<b>Dimensión 2</b>	<b>3. Aplicación de vertederos en el canal de pendiente variable</b>	Ya se comenzara el uso de los vertederos en el canal de pendiente variable				
Implementación de manera física de los vertederos	<b>3.1.</b> Cada vertedero ingresara en el canal de pendiente variable					
	<b>3.2.</b> Se calibra el canal de pendiente variable (pendiente=0.1%)					
	<b>3.3.</b> Se enciende el dispositivo para el paso del agua, esperar como 2 minutos para que se estabilice el agua					
	<b>4. Los caudales</b>	Con el paso del agua se usan las medidas ya determinadas del vertedero triangular calibrado de 53° 7'				
	<b>4.1.</b> Se tomó una altura de control con ayuda del limnómetro					
	<b>4.2.</b> A medida que los caudales van aumentando se van anotando las alturas					
	<b>4.3.</b> Se usaron 6 caudales en los vertederos pero en caso del vertedero semicircular solo hasta el caudal n°4 por sus medidas					
<b>Dimensión 3</b>	<b>5. Verificación del caudal con las alturas</b>	Se debería corroborar que a medida que los caudales aumentan también debería aumentar las alturas por lo tanto las curvas también deberían estar aumentando				
Curvas de calibración	<b>5.1.</b> Con los datos obtenidos se comenzó a diseñar las curvas de calibración (Q vs h)					
	<b>5.2.</b> De manera experimental se tomaron los datos para corroborarlos de manera manual					
	<b>6. Coeficiente de corrección</b>	Con los datos obtenidos se comienza a emplear los datos en las fórmulas de manera manual para corroborar por cuanto se				

Firma del validador experto	
Apellidos y Nombres	
CIP	
DNI	

		debería multiplicar para que sea un dato casi similar al del experimental				
<b>6.1.</b>	De manera experimental se tomaron los datos para corroborarlos de manera manual					
<b>6.2.</b>	Los factores de corrección solo deben oscilar entre 0 a 1					


Anexo N°4: Validación de Juicio de Expertos

DIMENSIÓN	ÍTEMS	MUY DE ACUERDO	DE ACUERDO	INDIFERENTE	EN DESACUERDO	MUY EN DESACUERDO
	<p>Lea cuidadosamente cada preposición y marque con un aspa (x) solo una alternativa, la que mejor refleje su punto de vista al respecto de las actividades. Respondatodas las preposiciones, no hay respuestas buenas ni malas.</p>	5	4	3	2	1
Dimensión 1	1. Vertederos de geometrías no convencionales	Se comenzó con la investigación de las ecuaciones para hallar el caudal de cada vertedero de geometría no convencional				
Ecuaciones de los vertederos	1.1. Semicircular ( $Q = 1,518D^{0,693}H^{1,807}$ )	X				
	1.2. Trapezoidal ( $Q = 1,859LH^{3/2}$ )		X			
	1.3. Parabólico ( $Q = 0,606H^{1,98}$ ), solo esta fórmula es cuando la parábola tiene la ecuación de $y=9.85x^2$	X				
	1.4. Sutro ( $Q = 2,74\sqrt{aL} \left(H - \frac{a}{3}\right)$ )		X			
	2. Canal de pendiente variable	El equipo fue usado así mismo en conjunto con el vertedero triangular calibrado de $53^\circ 7'$				
	2.1. Se comenzó con las medidas del canal de pendiente variable para posteriormente usar las formulas	X				
	2.2. la ranura se tomó para el espesor de los vertederos		X			
Dimensión 2	3. Aplicación de vertederos en el canal de pendiente variable	Ya se comenzará el uso de los vertederos en el canal de pendiente variable				
Implementación de manera física de los vertederos	3.1. Cada vertedero ingresara en el canal de pendiente variable	X				
	3.2. Se calibra el canal de pendiente variable (pendiente=0.1%)		X			
	3.3. Se enciende el dispositivo para el paso del agua, esperar como 2 minutos para que se establezca el agua	X				
	4. Los caudales	Con el paso del agua se usan las medidas ya determinadas del vertedero triangular calibrado de $53^\circ 7'$				



EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE LOS COEFICIENTES DE GASTOS EN  
VERTEDEROS DE PARED DELGADA TIPO: SEMICIRCULAR, PARABÓLICO,  
TRAPEZOIDAL Y SUTRO EN CANALES RECTANGULARES

	<b>4.1.</b> Se tomó una altura de control con ayuda del limnómetro		X			
	<b>4.2.</b> A medida que los caudales van aumentando se van anotando las alturas		X			
	<b>4.3.</b> Se usaron 6 caudales en los vertederos, pero en caso del vertedero semicircular solo hasta el caudal n°4 por sus medidas		X			
<b>Dimensión 3</b>	<b>5. Verificación del caudal con las alturas</b>	Se debería corroborar que a medida que los caudales aumentan también debería aumentar las alturas por lo tanto las curvas también deberían estar aumentando				
Curvas de calibración	<b>5.1.</b> Con los datos obtenidos se comenzó a diseñar las curvas de calibración (Q vs h)		X			
	<b>5.2.</b> De manera experimental se tomaron los datos para corroborarlos de manera manual		X			
	<b>6. Coeficiente de corrección</b>	Con los datos obtenidos se comienza a emplear los datos en las fórmulas de manera manual para corroborar por cuanto se debería multiplicar para que sea un dato casi similar al del experimental				
	<b>6.1.</b> De manera experimental se tomaron los datos para corroborarlos de manera manual		X			
	<b>6.2.</b> Los factores de corrección solo deben oscilar entre 0 a 1		X			

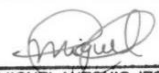
Firma del validador experto	 CESAR AUGUSTO ATUNCAR ROJAS Ingeniero Mecánico de Fluidos CIP N° 310096
Apellidos y Nombres	Atúnca Rojas César Augusto
CIP	310096
DNI	42598701

EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE LOS COEFICIENTES DE GASTOS EN VERTEDEROS DE PARED DELGADA TIPO: SEMICIRCULAR, PARABÓLICO, TRAPEZOIDAL Y SUTRO EN CANALES RECTANGULARES

X	ÍTEMS	MUY DE ACUERDO	DE ACUERDO	INDIFERENTE	EN DESACUERDO	MUY EN DESACUERDO
<p>Lea cuidadosamente cada preposición y marque con un aspa (x) solo una alternativa, la que mejor refleje su punto de vista respecto de las actividades. Respondatodas las preposiciones, no hay respuestas buenas ni malas.</p>		5	4	3	2	1
Dimensión 1	<p>1. Vertederos de geometrías no convencionales</p>	Se comenzó con la investigación de las ecuaciones para determinar el caudal de cada vertedero de geometría no convencional				
Ecuaciones de los vertederos	1.1. Semicircular ( $Q = 1,518D^{0,693}H^{1,807}$ )		X			
	1.2. Trapezoidal ( $Q = 1,859LH^{3/2}$ )		X			
	1.3. Parabólico ( $Q = 0,606H^{1,98}$ ), esta fórmula se usa cuando la parábola tiene la ecuación de $y = 9,85x^2$	X				
	1.4. Sutro ( $Q = 2,74\sqrt{aL} \left( H - \frac{a}{3} \right)$ )	X				
	2. Canal de pendiente variable	El equipo fue usado en conjunto con el vertedero triangular calibrado de $53^\circ 7'$				
	2.1. Se comenzó con las medidas del canal de pendiente variable para posteriormente usar las fórmulas	X				
Dimensión 2	3. Aplicación de vertederos en el canal de pendiente variable	Ya se comenzará con el uso de los vertederos en el canal de pendiente variable				
Implementación de manera física de los vertederos	3.1. Cada vertedero ingresara en el canal de pendiente variable	X				
	3.2. Se calibra el canal de pendiente variable (pendiente = 0.1%)	X				
	3.3. Se enciende el dispositivo para el paso del agua, esperar como 2 minutos para que se estabilice el agua	X				
	4. Los caudales	Con el paso del agua se usan las medidas ya determinadas del vertedero triangular calibrado de $53^\circ 7'$				

EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE LOS COEFICIENTES DE GASTOS EN  
 VERTEDEROS DE PARED DELGADA TIPO: SEMICIRCULAR, PARABÓLICO,  
 TRAPEZOIDAL Y SUTRO EN CANALES RECTANGULARES

		7'			
	4.1. Se tomó una altura de control con ayuda del limnómetro	X			
	4.2. A medida que los caudales van aumentando se van anotando las alturas		X		
	4.3. Se usaron 6 caudales en los vertederos pero en caso del vertedero semicircular solo hasta el caudal n°4 por sus medidas	X			
<b>Dimensión 3</b>	<b>5. Verificación del caudal con las alturas</b>	Se debería corroborar que a medida que los caudales aumentan también debería aumentar las alturas por lo tanto las curvas también deberían estar aumentando			
Curvas de calibración	5.1. Con los datos obtenidos se comenzó a diseñar las curvas de calibración (Q vs h)	X			
	5.2. De manera experimental se tomaron los datos para corroborarlos de manera manual	X			
	<b>6. Coeficiente de corrección</b>	Con los datos obtenidos se comienza a emplear los datos en las fórmulas de manera manual para corroborar por cuanto se debería multiplicar para que sea un dato casi similar al del experimental			
	6.1. De manera experimental se tomaron los datos para corroborarlos de manera manual		X		
	6.2. Los factores de corrección solo deben oscilar entre 0 a 1		X		

Firma del validador experto	 <b>MIGUEL ANTONIO JESUS CADENILLAS CALDERON</b> Ingeniero Civil CIP N° 244134
Apellidos y Nombres	Cadenillas Calderon Miguel Antonio Jesus
CIP	244134
DNI	72935260



EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE LOS COEFICIENTES DE GASTOS EN VERTEDEROS DE PARED DELGADA TIPO: SEMICIRCULAR, PARABÓLICO, TRAPEZOIDAL Y SUTRO EN CANALES RECTANGULARES

X	ÍTEMS	MUY DE ACUERDO	DE ACUERDO	INDIFERENTE	EN DESACUERDO	MUY EN DESACUERDO
	Lea cuidadosamente cada preposición y marque con un aspa (x) solo una alternativa, la que mejor refleje su punto de vista respecto de las actividades. Responda todas las preposiciones, no hay respuestas buenas ni malas.	5	4	3	2	1
<b>Dimensión 1</b>	<b>1. Vertederos de geometrías no convencionales</b>	Se comenzó con la investigación de las ecuaciones para determinar el caudal de cada vertedero de geometría no convencional				
Ecuaciones de los vertederos	1.1. Semicircular ( $Q = 1,518D^{0,693}H^{1,807}$ )		X			
	1.2. Trapezoidal ( $Q = 1,859LH^{3/2}$ )		X			
	1.3. Parabólico ( $Q = 0,606H^{1,98}$ ), esta fórmula se usa cuando la parábola tiene la ecuación de $y = 9.85x^2$	X				
	1.4. Sutró ( $Q = 2,74\sqrt{aL} \left( H - \frac{a}{3} \right)$ )	X				
	<b>2. Canal de pendiente variable</b>	El equipo fue usado en conjunto con el vertedero triangular calibrado de 53° 7'				
	2.1. Se comenzó con las medidas del canal de pendiente variable para posteriormente usar las fórmulas	X				
	2.2. La ranura se tomó para el espesor de los vertederos		X			
<b>Dimensión 2</b>	<b>3. Aplicación de vertederos en el canal de pendiente variable</b>	Ya se comenzará con el uso de los vertederos en el canal de pendiente variable				
Implementación de manera física de los vertederos	3.1. Cada vertedero ingresara en el canal de pendiente variable	X				
	3.2. Se calibra el canal de pendiente variable (pendiente = 0.1%)	X				
	3.3. Se enciende el dispositivo para el paso del agua, esperar como 2 minutos para que se establezca el agua	X				
	<b>4. Los caudales</b>	Con el paso del agua se usan las medidas ya determinadas del vertedero triangular calibrado de 53° 7'				

EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE LOS COEFICIENTES DE GASTOS EN VERTEDEROS DE PARED DELGADA TIPO: SEMICIRCULAR, PARABÓLICO, TRAPEZOIDAL Y SUTRO EN CANALES RECTANGULARES

	4.1. Se tomó una altura de control con ayuda del limnómetro		X				
	4.2. A medida que los caudales van aumentando se van anotando las alturas		X				
	4.3. Se usaron 6 caudales en los vertederos, pero en el caso del vertedero semicircular sólo hasta el caudal N°4, por sus medidas	X					
<b>Dimensión 3</b>	<b>5. Verificación del caudal con las alturas</b>	Se debería corroborar que a medida que los caudales aumentan también debería aumentar las alturas por lo tanto las curvas también deberían estar aumentando					
Curvas de calibración	5.1. Con los datos obtenidos se comenzó a diseñar las curvas de calibración (Q vs h)	X					
	5.2. De manera experimental se tomaron los datos para corroborarlos de manera manual		X				
	<b>6. Coeficiente de corrección</b>	Con los datos obtenidos se comienza a emplear los datos en las fórmulas de manera manual para corroborar por cuanto se debería multiplicar para que sea un dato casi similar al del experimental					
	6.1. De manera experimental se tomaron los datos para corroborarlos de manera manual	X					
	6.2. Los factores de corrección solo deben oscilar entre 0 a 1		X				

Firma del validador experto	 <hr/> <b>DARWIN GUEYBI</b> <b>GONZALES SAUCEDO</b> <small>Ingeniero Mecánico de Fluidos</small> <small>CIP N° 310281</small>
Apellidos y Nombres	González Saucedo Darwin Gueybi
CIP	310281
DNI	76524522

EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE LOS COEFICIENTES DE GASTOS EN  
 VERTEDEROS DE PARED DELGADA TIPO: SEMICIRCULAR, PARABÓLICO,  
 TRAPEZOIDAL Y SUTRO EN CANALES RECTANGULARES

Anexo N°5: Lista de caudales del vertedero triangular calibrado de la UPN Sede  
 Lima Este

LABORATORIO DE MECANICA DE FLUIDOS

VERTEDERO TRIANGULAR 60° 08'

h mm	Qm l/s	h mm	Qm l/s	h mm	Qm l/s	h mm	Qm l/s
80	1.25	120	3.49	160	7.10	200	12.35
81	1.30	121	3.55	161	7.21	201	12.52
82	1.34	122	3.61	162	7.30	202	12.69
83	1.39	123	3.70	163	7.45	203	12.85
84	1.42	124	3.78	164	7.54	204	13.02
85	1.48	125	3.87	165	7.61	205	13.20
86	1.50	126	3.92	166	7.80	206	13.30
87	1.54	127	4.01	167	7.90	207	13.45
88	1.60	128	4.10	168	8.04	208	13.62
89	1.64	129	4.19	169	8.12	209	13.80
90	1.69	130	4.24	170	8.21	210	14.00
91	1.72	131	4.31	171	8.34	211	14.15
92	1.79	132	4.41	172	8.49	212	14.30
93	1.82	133	4.50	173	8.59	213	14.50
94	1.89	134	4.60	174	8.70	214	14.69
95	1.94	135	4.66	175	8.81	215	14.82
96	1.99	136	4.80	176	8.98	216	15.00
97	2.04	137	4.85	177	9.10	217	15.15
98	2.10	138	4.91	178	9.21	218	15.35
99	2.13	139	4.98	179	9.34	219	15.55
100	2.19	140	5.10	180	9.49	220	15.70
101	2.24	141	5.19	181	9.60	221	15.90
102	2.30	142	5.29	182	9.75	222	16.05
103	2.37	143	5.38	183	9.90	223	16.20
104	2.41	144	5.45	184	10.02	224	16.40
105	2.49	145	5.55	185	10.14	225	16.60
106	2.54	146	5.67	186	10.30	226	16.80
107	2.61	147	5.74	187	10.49	227	17.00
108	2.69	148	5.85	188	10.60	228	17.20
109	2.73	149	5.98	189	10.75	229	17.40
110	2.79	150	6.05	190	10.89	230	17.60
111	2.86	151	6.17	191	11.05	231	17.75
112	2.92	152	6.25	192	11.20	232	17.95
113	2.98	153	6.36	193	11.30	233	18.07
114	3.01	154	6.48	194	11.45	234	18.39
115	3.11	155	6.59	195	11.60	235	18.60
116	3.20	156	6.69	196	11.75	236	18.75
117	3.29	157	6.80	197	11.90	237	19.00
118	3.32	158	6.90	198	12.05	238	19.20
119	3.40	159	7.01	199	12.20	239	19.40

Anexo N°6: Cálculo de coeficiente de gasto para cada vertedero de geometría no convencional

a) Cálculo de coeficiente de gasto para vertedero semicircular

SEMICIRCULAR	$Q = 1,518D^{0,693}H^{1,807}$			D	0,3501861
	formula		Coeficiente=1,01		
Altura	m	cm	m	cm	valores
H1	0,0603	6,026	0,0609	6,09	6.1
H2	0,0677	6,773	0,0691	6,91	7.1
H3	0,0787	7,872	0,0803	8,03	7.7
H4	0,0855	8,553	0,0872	8,72	8.7

Ilustración 44: Cálculo de coeficiente para vertedero semicircular

b) Cálculo de coeficiente de gasto para vertedero parabólico

PARABÓLICO	$Q = 0,606H^{1,98}$				
	formula		Coeficiente=1,33		
Altura	m	cm	m	cm	valores
H1	0,0721	7,210	0,0959	9,59	9.6
H2	0,0802	8,020	0,1067	10,67	11.0
H3	0,0920	9,200	0,1224	12,24	12.8
H4	0,0992	9,924	0,1320	13,20	13.7
H5	0,1091	10,910	0,1451	14,51	15.1
H6	0,1139	11,389	0,1515	15,15	15.8

Ilustración 45: Cálculo de coeficiente para vertedero parabólico

c) Cálculo de coeficiente de gasto para vertedero trapezoidal

TRAPEZOIDAL	$Q = 1,859LH^{3/2}$		L	0,09	
	formula		Coeficiente=0,92		
Altura	m	cm	m	cm	valores
H1	0,0733	7,330	0,0674	6,74	6.8
H2	0,0844	8,437	0,0776	7,76	8.1
H3	0,1011	10,112	0,0930	9,30	9.5
H4	0,1117	11,175	0,1028	10,28	10.5
H5	0,1266	12,664	0,1165	11,65	11.8
H6	0,1340	13,403	0,1233	12,33	12.3

Ilustración 46: Cálculo de coeficiente para vertedero trapezoidal

d) Cálculo de coeficiente de gasto para vertedero sutro

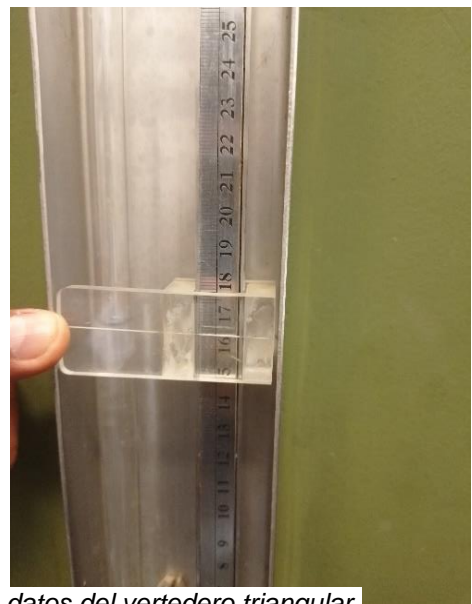
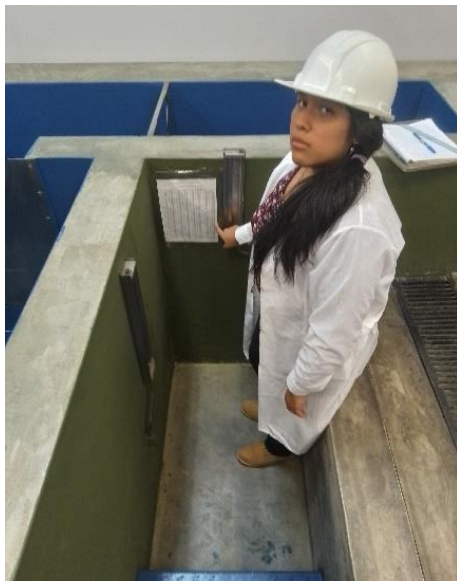
SUTRO	$Q = 2,74\sqrt{ab} \left( H - \frac{a}{3} \right)$		raiz de ab	0,0547723	
	formula		Coeficiente=1,95		
Altura	m	cm	m	cm	valores
H1	0,0288	2,879	0,0561	5,61	5.6
H2	0,0340	3,399	0,0663	6,63	6.8
H3	0,0425	4,252	0,0829	8,29	8.8
H4	0,0483	4,831	0,0942	9,42	9.9
H5	0,0569	5,691	0,1110	11,10	11.4
H6	0,0614	6,137	0,1197	11,97	12.2

Ilustración 47: Cálculo de coeficiente para vertedero sutro

Anexo N°7: Panel Fotográfico



*Ilustración 48: Ingreso al laboratorio de Hidráulica con los implementos de seguridad necesarios*



*Ilustración 49: Verificando la altura con los datos del vertedero triangular calibrado de 53°7'*



EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE LOS COEFICIENTES DE GASTOS EN  
VERTEDEROS DE PARED DELGADA TIPO: SEMICIRCULAR, PARABÓLICO,  
TRAPEZOIDAL Y SUTRO EN CANALES RECTANGULARES

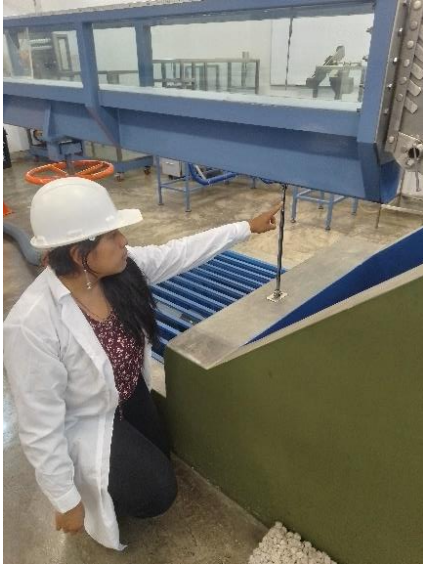


*Ilustración 50: El paso del agua según el aumento del caudal*



*Ilustración 51: Limnómetro*

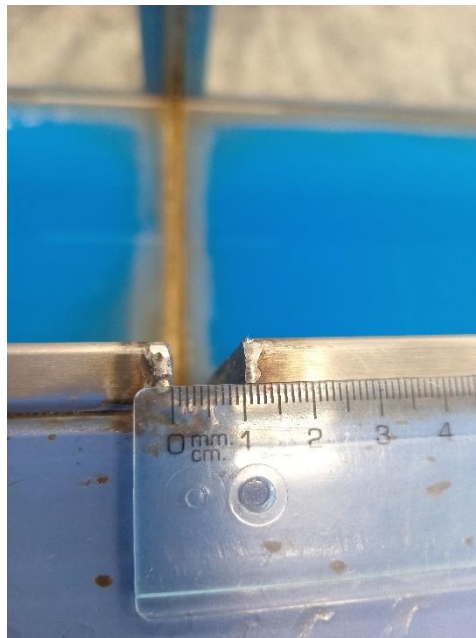
EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE LOS COEFICIENTES DE GASTOS EN VERTEDEROS DE PARED DELGADA TIPO: SEMICIRCULAR, PARABÓLICO, TRAPEZOIDAL Y SUTRO EN CANALES RECTANGULARES



*Ilustración 53: : Ajustando la pendiente requerida*



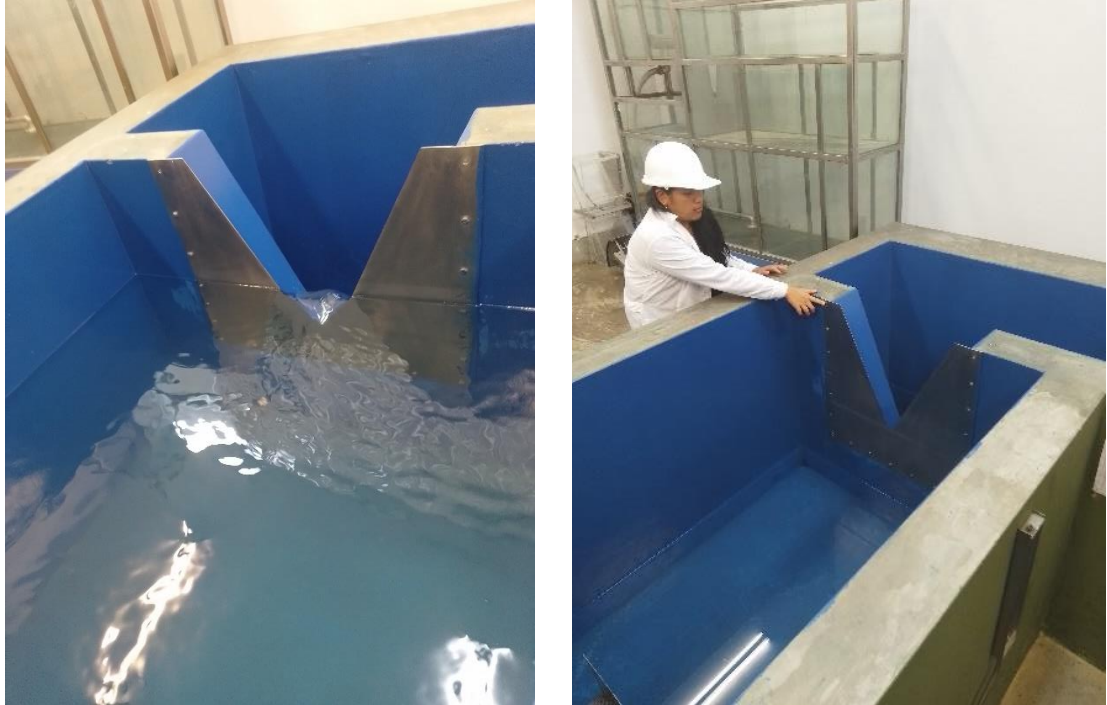
*Ilustración 52: Comprobando la pendiente*



*Ilustración 54: Ranura metálica de 1cm*



EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE LOS COEFICIENTES DE GASTOS EN  
VERTEDEROS DE PARED DELGADA TIPO: SEMICIRCULAR, PARABÓLICO,  
TRAPEZOIDAL Y SUTRO EN CANALES RECTANGULARES



*Ilustración 55: Vertedero triangular calibrado de 53° 7'*



EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE LOS COEFICIENTES DE GASTOS EN  
VERTEDEROS DE PARED DELGADA TIPO: SEMICIRCULAR, PARABÓLICO,  
TRAPEZOIDAL Y SUTRO EN CANALES RECTANGULARES



*Ilustración 56: Paso del agua con  
vertedero parabólico*



*Ilustración 57: Uso de los vertederos en canal de pendiente variable y la  
medida de la altura con el limnómetro*